

METODOLOGIA DE SUPORTE A DECISÃO PARA REALIZAÇÃO DE NOVOS LEVANTAMENTOS HIDROGRÁFICOS: UMA SUGESTÃO BASEADA EM LÓGICA NEBULOSA

Sebastião Simões de Oliveira
Centro de Hidrografia da Marinha – CHM
Capitão-de-Corveta
Aperfeiçoado em Hidrografia

Ricardo Ramos Freire
Centro de Hidrografia da Marinha – CHM
Primeiro-Tenente (EN)
Engenheiro Cartógrafo

Flávio Joaquim de Souza, DSc.
Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

SUMÁRIO

O processo de tomada de decisão para se determinar a necessidade de se realizar a atualização das informações hidrográficas de uma área é algo extremamente complexo. No intuito de realizá-lo da melhor forma possível as autoridades responsáveis devem procurar um meio de combinar as informações disponíveis para selecionar as áreas que deverão ser re-levantadas. Nesse artigo será analisada a maneira que devem ser organizadas as informações necessárias e descritos os principais tipos de indicadores para a decisão de um novo levantamento hidrográfico. A seguir serão mostradas as vantagens de se usar a Lógica Nebulosa para combinar esses indicadores em critérios. Finalmente será apresentada uma metodologia de suporte a decisão para re-levantamento, seguida de um estudo de caso e de algumas breves conclusões.

Palavras Chaves: levantamentos hidrográficos, indicadores, Lógica Nebulosa.

ABSTRACT

The decision making for hydrographic re-surveying is not an ordinary job to do. In order to do that as better as possible, authorities must find a way to combine many types of information into a decision to select the areas that should be re-surveyed. In this article we will analyze how to organize the necessary information and describe the main types of indicators for re-surveying decision. After that, we will show the advantages of using Fuzzy Logic to combine them into criteria. Finally a suggestion of a re-surveying decision support methodology will be given, followed by a case study and some brief conclusions.

Keywords: hydrographic surveys, indicators, Fuzzy Logic.

1 - INTRODUÇÃO

Em sua mais recente versão, a publicação S-55 – “Status of Hydrographic Surveying and Nautical Charting Worldwide” da OHI (Organização Hidrográfica Internacional), afirma que uma das maiores deficiências existentes é a falta de capacidade de muitos países costeiros de planejar e implementar um programa de levantamentos hidrográficos que estabeleça prioridades. Segundo a mesma publicação, esse programa deveria incorporar, principalmente, rotinas de re-levantamento, principalmente para garantir o acesso seguro a portos e áreas de navegação restritas (OHI, 2004).

Uma maneira de atender às recomendações da OHI e estabelecer um programa de prioridades seria através da utilização de critérios para determinar as situações existentes em cada área. Para obter esses critérios, poder-se-ia realizar a seleção dos fatores mais importantes para indicar a necessidade de re-levantamento. Em seguida essas informações seriam classificadas em conjuntos, de acordo com a necessidade, e combinadas através de regras lógicas, primeiro para se determinar o grau de desatualização da informação e depois para estabelecer-se uma prioridade relativa para elas serem re-levantadas.

No entanto, ao tentarmos utilizar essa metodologia, verificamos que a mesma não é tão simples quanto aparenta. A maioria dos dados que poderia ser utilizada como indicadores de desatualização e priorização é expressa através de uma escala contínua, sem fronteiras facilmente definíveis, não podendo, portanto, ser expressos de uma forma realística pela classificação temática convencional. Além disso, o número de regras lógicas necessárias para combinar o grande número de indicadores e conjuntos para alcançarmos um critério razoável para solucionar o problema seria muito alto, dificultando o seu estabelecimento e revisão por parte dos especialistas.

Os SIF (Sistemas de Inferência Nebuloso ou Fuzzy), baseados na Lógica Nebulosa, vem sendo utilizado com sucesso para lidar com este tipo de problemas em diversos sistemas de controle e suporte a decisão. O sucesso destes sistemas ocorre, não só pela proximidade que conseguem expressar a percepção e o raciocínio humano, mas também pela sua simplicidade.

Porém antes de explicar-se o funcionamento de um SIF e de como utilizá-lo em uma metodologia de priorização de áreas para levantamentos, é importante especificar quais os indicadores para estabelecermos a necessidade de se re-levantar uma área bem como quais as informações que irão nos fornecer os mesmos de forma a inseri-los no SIF.

2 – PREPARAÇÃO DOS DADOS

Podemos entender por indicadores índices quantificadores de determinado conceito, fato ou fenômeno que servem para avaliá-lo ou compará-lo (LAZZAROTTO et al, 2002).

No caso dos LH (levantamentos hidrográficos), para se obter os indicadores que determinarão o grau de desatualização, e a priorização entre as áreas, é necessário que se possua as informações dos levantamentos previamente realizados na área e padrões para comparar com os mesmos de modo a avaliá-los. Essas informações das sobre as áreas deverão estar digitalizadas em um banco de dados.

A confecção de um banco de dados hidrográficos onde existam as informações, principalmente batimétricas, de todos os levantamentos efetuados é uma possibilidade ainda distante da realidade de muitos países. Isso exigiria, não só uma imensa capacidade de armazenamento, como um grande esforço de tempo e pessoal para a digitalização dos levantamentos feitos ainda sem processamento digital.

Em contrapartida, a criação de um banco de dados com os metadados dos levantamentos não só é algo possível como viável num período de tempo bem mais curto, possibilitando sua utilização como indicadores de atualização. Por metadados podemos entender “dados sobre os dados”, ou seja, dados que descrevem informações sobre outros dados e que, no caso dos LH, encontram-se presentes nos relatórios dos levantamentos.

Porém, antes de digitalizar os metadados, é necessário que seja feita uma leitura e análise de cada levantamento para saber se eles estão de acordo com as especificações técnicas exigidas. A determinação de quais tipos de levantamentos serão digitalizados é outra fase importante desse planejamento. Permite poupar tempo e capacidade computacional do serviço hidrográfico ao abordar questões como o aproveitamento, ou não, de LH realizados por instituições não-governamentais, assim como o limite de idade dos levantamentos que serão utilizados. Ao digitalizarmos os metadados, também é importante tentarmos obedecer, dentro do possível, os padrões estabelecidos na publicação S-57 pela OHI (OHI, 2000) no intuito de simplificar seu uso e análise.

Além de se digitalizar os metadados dos levantamentos, como falado anteriormente, é necessário especificarmos quais seriam os padrões de comparação com as informações disponíveis. Estes podem ser entendidos como os padrões mínimos de levantamento que deveriam ser aplicados em cada área. É verdade que a OHI (OHI, 1998) determina esses padrões mínimos para cada uma das Ordens de Levantamento na S-44, porém é indispensável que os Serviços Hidrográficos especifiquem as áreas geográficas onde cada uma dessas Ordens se aplicam. No estabelecimento desses limites devem ser considerados, além dos critérios especificados pelo OHI, outros como a relevância militar, estratégica e econômica. Por sua subjetividade e importância, esta análise deve ser fonte de constante preocupação e reavaliação pelas autoridades dos serviços hidrográficos.

Os indicadores poderão advir, ainda, de outros estudos e aspectos considerados importantes por sua relevância política, econômica ou ambiental. Portanto dados considerados importantes deverão ser, sempre que possível, coletados e seus limites geográficos especificados.

Assim, de posse das informações sobre realidade existente na área marítima, será possível estabelecer quais indicadores serão efetivamente utilizados e, posteriormente, como combiná-los em um critério.

3- INDICADORES

A primeira coisa a fazer, caso se deseje selecionar uma área para ser re-levantada, é estabelecer a quão atualizada está a informação disponível. Nesse tipo de problema, a idade da informação é o principal fator a ser considerado. O tempo é a principal dimensão, ao longo da qual variam a maioria dos outros indicadores. Até mesmo a palavra “atualização” traz a noção de tempo em seu conceito. Assim sendo a idade do levantamento, dos indicadores relevantes, é o claramente identificável.

Na classificação da idade de um levantamento, inserimos noções como desenvolvimento tecnológico, alteração da batimetria, do contorno da costa por pontos notáveis e do balizamento na área de estudo. Assim, além da desatualização, diversos fatores físicos, tecnológicos e econômicos são incorporados. O tempo é, portanto, o grande substituto dos fatores que não conseguimos mensurar ou identificar claramente entre os dados disponíveis. Deve-se ficar atento, portanto, para não aumentar ou minimizar sua relevância, estabelecendo seu peso e classificação de acordo com os outros indicadores presentes nos critérios.

Outros indicadores que também estão diretamente ligados ao conceito de atualização são os indicadores de modificação espacial. A principal razão de se re-levantar uma área são as mudanças espaciais que lá ocorreram. Essas alterações podem ter sido causadas por fatores humanos, ou naturais, tanto acima como abaixo da linha d'água. Apesar da parte terrestre ser importante, as principais motivações que levam uma área a ser re-levantada são as alterações das informações de batimetria. Infelizmente, o estabelecimento de uma taxa que consiga expressar essa variação não é uma tarefa fácil. Existem diversos modos de medi-la, da comparação de dados de levantamentos hidrográficos a metodologias de perfilamento de sedimentos. Um grande esforço para determiná-la deve ser feito, pois a modelagem desse indicador no critério permitirá determinar a desatualização das informações e priorizar os levantamentos hidrográficos.

Além destes, outros indicadores importantes podem ser obtidos, como falado anteriormente, da comparação dos dados dos levantamentos prévios da área com os padrões mínimos da mesma. Esses indicadores, conhecidos como Indicadores Técnicos da Informação, possibilitarão determinar se a quantidade e qualidade dos dados existentes estão de acordo com as necessidades da área.

Existem diversas maneiras de combinar essas informações. Talvez a mais fácil seja estabelecer uma razão numérica entre os valores existentes e os desejáveis. A obtenção desse valor para os elementos de quantidade da informação, determinados pelo espaçamento entre linhas e cobertura do fundo, normalmente não será difícil. Porém o mesmo não pode se dizer sobre as razões que se referem à qualidade das informações (fornecidas pela precisão da posição e da profundidade medida), principalmente em levantamentos antigos, onde poucos dados relativos à essa qualidade estão disponíveis. Nesse caso deve-se considerar a utilização desse tipo de informação inserida na classificação dos conjuntos do indicador temporal, ao invés de utilizá-la diretamente como um indicador.

Depois de utilizarmos esses três tipos de indicadores para determinarmos se a informação hidrográfica está desatualizada, e se a área necessita de um novo levantamento, é importante classificarmos essas áreas de modo a identificar qual delas deve ser levantada primeiro. Para isso usamos os chamados Indicadores de Priorização. Diversas informações de cunho político, estratégico e econômico podem ser usadas para construir um critério de priorização. Dentre elas podemos destacar a relevância econômica e de navegação da área. As autoridades competentes e os especialistas devem ficar atentos para considerarem a dificuldade de se estabelecer os limites geográficos desses indicadores.

Agora, com os principais tipos de indicadores especificados será possível explicar as vantagens de se utilizar os SIF em sua combinação através de regras lógicas.

4- LÓGICA NEBULOSA E SISTEMAS DE INFERÊNCIA NEBULOSOS

4.1- Conjuntos Nebulosos

A teoria dos conjuntos nebulosos, concebida nos anos 60 por Lofti Zadeh (Zadeh, 1965), é a base da lógica nebulosa. Seu principal objetivo é generalizar a idéia representada pela teoria dos conjuntos ordinários, ou convencionais, aproximando-se da imprecisão e do aspecto vago do raciocínio humano (KOSKO B., 1992).

Diferentemente da teoria de conjuntos convencionais, onde um elemento pertence ou não pertence a um conjunto, na teoria de conjuntos nebulosos um determinado elemento está associado a um conjunto através de um grau de pertinência (μ) que varia de 0 a 1. Esse tipo de tratamento possibilita que a transição entre as condições de pertinência, e não pertinência, não ocorra de modo abrupto, mas sim progressivamente, conforme mostrado na Figura 1.

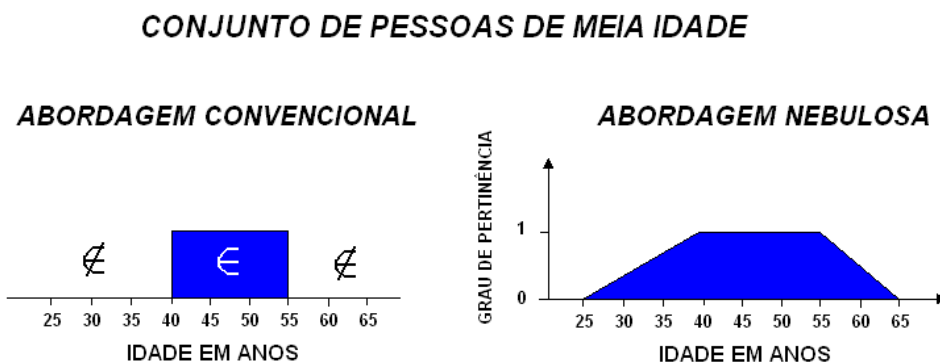


Figura 1: Gráfico do conjunto de pessoas de meia idade apresentado através da abordagem convencional da teoria dos conjuntos e da abordagem *fuzzy*

O conceito de “meia-idade” é vago. Uma pessoa não é jovem quando tem 39 anos de idade e instantaneamente no momento do seu 40º aniversário passa a ser de meia-idade. Na vida real o que acontece é uma mudança gradativa de um ponto onde se tem certeza que a pessoa não é de meia-idade para outro aonde se

tem certeza que ela é. Esse tipo de situação também é aplicável a outros tipos de conceitos vagos, normalmente utilizados pelo ser humano em seu raciocínio, como “pesado”, “longe” e também para quantificadores como “muito” e “pouco”. Desta forma a teoria dos conjuntos nebulosos pode expressar, de modo mais adequado que a teoria convencional, situações que envolvam dados temporais, geográficos, biofísicos, socioeconômicos, e outros de escala contínua onde normalmente se encontram tais conceitos.

Da mesma forma que na teoria convencional dos conjuntos, existem operações específicas para se combinar conjuntos nebulosos. Seguindo as operações para conjuntos nebulosos inicialmente definidas por Zadeh, as operações básicas para dois conjuntos “A” e “B” respectivamente com elementos “x” e “y” são:

$$\text{Interseção} - A \cap B = \min (\mu_A[x], \mu_B [y]) \quad (1)$$

$$\text{União} - A \cup B = \max (\mu_A[x], \mu_B[y]) \quad (2)$$

$$\text{Complemento} - \sim A = 1 - \mu_A[x] \quad (3)$$

Dado que os conjuntos nebulosos não são divididos de um modo abrupto, *crispy*, pertence ou não pertence, diversamente do que ocorre nos conjuntos convencionais, todos os elementos são expressos conjuntamente com um grau de pertinência. Assim sendo tais operações devem ser aplicadas em todos os elementos do universo de estudo para $x = y$. É importante, portanto, que se tenha conhecimento das características dos conjuntos e dos elementos por eles abrangidos, para que não se perca desnecessariamente tempo combinando elementos com $\mu = 0$ (COX, 1994).

Deve-se ressaltar que, após as formas de operações entre conjuntos nebulosos propostas por Zadeh (mínimo μ para interseção e máximo μ para união), surgiram ainda outras formas para realizar a união e a interseção entre os conjuntos nebulosos, já que aquelas são casos específicos de situações mais abrangentes de agregação de conjuntos nebulosos.

Para generalização dos conceitos de união e interseção utilizam-se, respectivamente, as t-conormas e t-normas, que são um conjunto de axiomas que cada uma das operações deve obedecer.

As t-normas (**T**) generalizam o conceito da operação de interseção, devendo satisfazer os axiomas :

- Condições de contorno: $x \mathbf{T} 0 = 0, \forall x \in [0,1]$
 $x \mathbf{T} 1 = x, \forall x \in [0,1]$
- Propriedade comutativa: $x \mathbf{T} y = y \mathbf{T} x$
- Propriedade associativa: $x \mathbf{T} (y \mathbf{T} z) = (x \mathbf{T} y) \mathbf{T} z$
- Condições monotônicas: para $z \mathbf{T} w \leq x \mathbf{T} y$ se $z \leq x$ e $w \leq y$

Como outro exemplo de interseção, além do proposto por Zadeh, pode-se citar o produto algébrico. Define-se o produto algébrico “AB” para dois conjuntos “A” e “B” respectivamente com elementos “x” e “y” como:

$$\mu_{AB} (x) = \mu_A (x) * \mu_B (y), \forall x = y \quad (4)$$

As t-conormas (**L**) generalizam o conceito da operação de união, devendo satisfazer os axiomas :

- Condições de contorno: $x \mathbf{L} 0 = x, \forall x \in [0,1]$
 $x \mathbf{L} 1 = 1, \forall x \in [0,1]$
- Propriedade comutativa: $x \mathbf{L} y = y \mathbf{L} x$
- Propriedade associativa: $x \mathbf{L} (y \mathbf{L} z) = (x \mathbf{L} y) \mathbf{L} z$
- Condições monotônicas: para $z \mathbf{L} w \leq x \mathbf{L} y$ se $z \leq x$ e $w \leq y$

Como outros exemplos de união pode-se citar a soma algébrica. Define-se a soma algébrica “A⊕B” para dois conjuntos “A” e “B” respectivamente com elementos “x” e “y” como:

$$\mu_{A \oplus B} (x) = \mu_A (x) + \mu_B (y) - \mu_{AB} (x), \forall x = y \quad (5)$$

É importante notar que as t-normas e t-conormas são reduzidas aos operadores clássicos de união e interseção quando os conjuntos são *crispy*.(SANDRI; CORREA,1999)

4.2– Lógica Nebulosa

As operações de união, interseção, e complemento, aplicadas aos conjuntos do universo de estudo são ferramentas básicas para as implicações lógicas. Na lógica Booleana a interseção pode ser utilizada para representar a operação lógica de conjunção “e”, a união pode ser utilizada como a conjunção “ou”, e o complemento como a negação “não”.

As mesmas proposições, e implicações lógicas, aplicáveis para casos de conjuntos convencionais podem ser aplicadas em conjuntos nebulosos. Esse tipo de lógica passa a ser denominada então de “Lógica Nebulosa”.

Conforme se observa na Figura 2, em diversos casos a teoria dos conjuntos nebulosos pode classificar um mesmo fenômeno de forma mais adequada e em um número menor de conjuntos que a teoria convencional. Devido a essa característica o uso da lógica nebulosa é ainda mais vantajoso em casos onde se deve combinar em uma inferência um grande número de antecedentes em um predicado. Usando tal tipo de abordagem evita-se tanto a criação desnecessária de conjuntos para expressar o fenômeno, como o conseqüente aumento do número de regras necessárias para combinarem-se esses conjuntos.

CONJUNTO DE PESSOAS DE MEIA IDADE

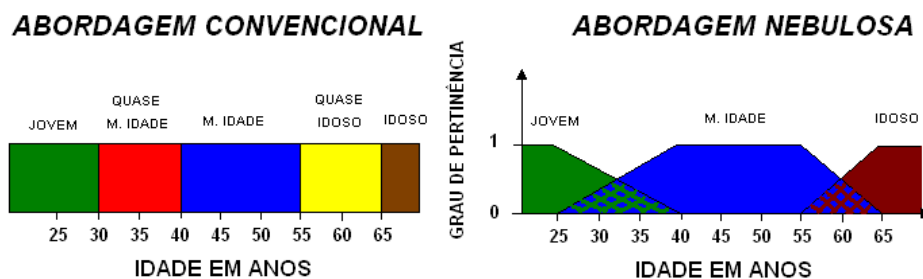


Figura 2: Conjuntos de classificação de pessoas quanto à idade

Por exemplo, caso se necessite expressar as condições de transição entre as classes, “jovem”, “meia idade” e “idoso”, ao serem combinados os conjuntos de classificação de pessoas quanto à idade da Figura 2, para determinar-se as chances de um casamento ser bem sucedido, o número de regras necessárias seria muito maior se utilizasse conjuntos convencionais (5 casos para maridos * 5 casos para esposas = 25 regras) ao invés de conjuntos nebulosos (3 casos para maridos * 3 casos para esposas = 9 regras).

A Lógica Nebulosa permite, ainda, abordar situações onde não se possui certeza se a proposição lógica a ser utilizada deve ser “e” ou “ou”, como na afirmação: “Quem fuma muito e/ou é obeso tem alto risco de ataque cardíaco”. Para essas situações utiliza-se um operador que satisfaça tanto as t-normas como as t-conormas. Esse operador conhecido como “Gama” é definido a partir do produto algébrico (equação 4) e da soma algébrica (equação 5) como:

$$\text{Operador Gama} = (\text{Soma Algébrica})^\gamma * (\text{Produto Algébrico})^{1-\gamma} \quad (6)$$

onde os valores de γ variam no intervalo de 0 a 1, sendo que para $\gamma=0$ o resultado se iguala ao produto algébrico *fuzzy*, enquanto que para $\gamma=1$ o resultado é o mesmo que o da soma algébrica fuzzy.

4.3– Sistema de Inferência Nebuloso

O Sistema de Inferência Nebuloso, também chamado de SIF (Sistema de Inferência Fuzzy), ou de Controlador Nebuloso, é uma técnica que ganhou espaço no cenário internacional por representa um modo efetivo e preciso de se descrever a percepção humana em problemas de tomada de decisão (TURBAN et al, 2005).

Como pode ser visto na Figura 3 ela é baseada no simples conceito de entrada, processamento e saída. Ela consiste basicamente de entradas cujos valores são associados, através de um grau de pertinência, a conjuntos

nebulosos por um processo chamado “fuzzificação”. Os conjuntos nebulosos são, então, combinados através de regras lógicas e em uma unidade de inferência para gerar um conjunto nebuloso de saída.

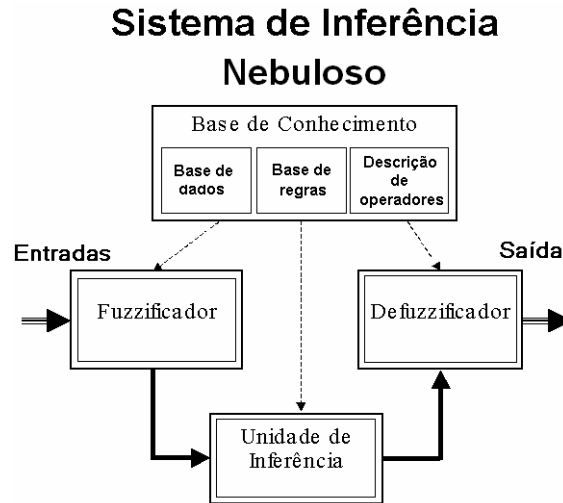


Figura 3: Esquema básico de um SIF

Deve-se então combinar os conjuntos nebulosos de saída resultantes das diversas regras aplicadas de modo a obter-se único conjunto nebuloso. Isto é feito através de um processo denominado “agregação”. Os métodos de agregação mais difundidos, e que têm implementação em programas de computador, são o “máximo” e a “soma algébrica” (MARANHÃO, 2005).

Por último o conjunto nebuloso proveniente da agregação é transformado em um valor *crispy*, isto é, um valor determinístico desassociado de conjuntos nebulosos em um processo denominado “defuzzificação”. O problema é que o mundo físico não “entende” conjuntos nebulosos e logo devem ser geradas grandezas exatas que representem, ou resumam da melhor maneira possível, a informação contida nestes resultados (OLIVEIRA JR.,1999).

O processo de “defuzzificação” pode ser feito matematicamente através de vários métodos. Os métodos de defuzzificação mais utilizados, segundo TANSCHKEIT (1999), são:

- Método de média dos máximos (MOM): utiliza a abscissa do ponto médio entre os valores que tem o maior grau de pertinência inferido pelas regras;
- Método do centro de gravidade (COG): fornece a abscissa do centro de massa associada ao gráfico da função de pertinência resultante da fase de inferência. A saída é o valor no universo que divide a área, sob a curva da função de pertinência, em duas partes iguais.

Este último método, por vezes também chamado de chamado de centro de área (COA) ou centróide, é largamente utilizado e bastante satisfatório. Porém, quando as variáveis linguísticas de saída são discretas, como é caso de uma escala ordinal, usa-se normalmente o Método de média ponderada para evitar demasiado esforço computacional.

Há diversos modelos de SIF que podem diferenciar-se quanto à forma de representação dos termos na premissa, quanto à representação das ações de controle e quanto aos operadores utilizados para implementação do controlador. A escolha de qual será o modelo mais adequado às necessidades do utilizador dependerá do tipo de informação utilizada e da precisão requerida do sistema.

Pode-se dividir os tipos de SIF encontrados em modelos clássicos, compreendendo o modelo de Mandani e o de Larsen, e em modelos de interpolação, que utilizam o Operado Gama compreendendo o modelo de Takagi-Sugeno e o de Tsukamoto (SANDRI; CORREA, 1999). Para o problema dos levantamentos hidrográficos sugere-

se, inicialmente, o uso do modelo de Mandani, pela sua simplicidade e larga implementação nos softwares existentes.

5- METODOLOGIA PARA SELEÇÃO DE ÁREAS USANDO UM SIF

A metodologia sugerida para estabelecer a seleção e priorização de áreas para serem re-levantadas é mostrada na Figura 4.

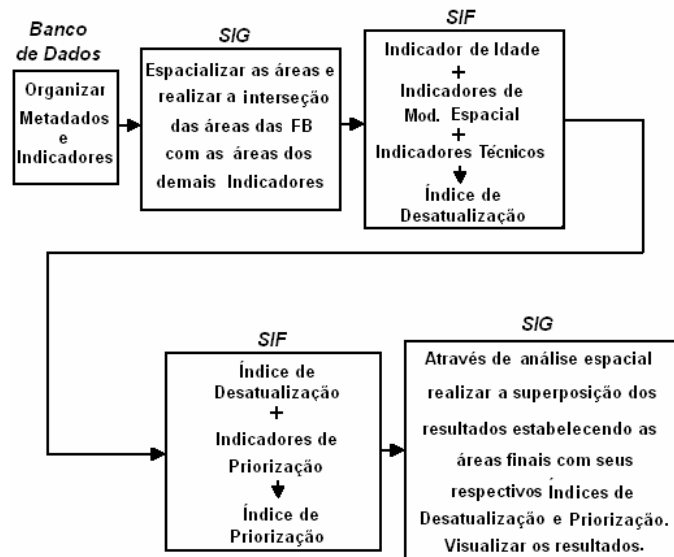


Figura 4: Esquema com a metodologia adotada para seleção e priorização das áreas para realização de LH

Inicialmente todas as áreas previamente levantadas e seus metadados devem ser identificados. É fundamental também que se estabeleça os limites geográficos onde se aplicam as outras informações que serão utilizadas para gerar indicadores, tais como os padrões mínimos de levantamentos e dados sobre a dinâmica de sedimentação da área (taxa de sedimentação).

A seguir é necessário se realizar, em um SIG (Sistema de Informações Geográficas), a intersecção das áreas dos levantamentos, onde se aplicam os metadados, com as áreas das demais informações. É importante que essa combinação seja feita individualmente, levantamento por levantamento, já que existem superposições entre as áreas dos levantamentos. Assim, evitamos erros de misturar metadados de diferentes levantamentos. Desta forma, cada nova área resultante da intersecção, corresponderá a um registro específico no banco de dados com todas as informações necessárias para estabelecer o grau de desatualização e priorização.

Depois desta etapa é necessário utilizar um SIF para selecionar as áreas que necessitam ser re-levantadas. Isso pode ser feito através da combinação do indicador de idade, com os indicadores técnicos e os indicadores de modificação espacial. O número de indicadores e conjuntos (recomenda-se até cinco conjuntos por indicador) deve ser pequeno para evitar um número muito grande de regras. Se o número de indicadores passar de quatro sugere-se que o SIF seja dividido em dois para simplificar o estabelecimento e a revisão das regras lógicas.

Acompanhando a realidade dos metadados e informações normalmente disponíveis, recomenda-se o emprego, como indicador de modificação espacial, da taxa de assoreamento; como indicadores técnicos, a razão entre a cobertura de fundo e espaçamento de linhas desejáveis e os realizados e; como indicador de idade, a data de início dos trabalhos de campo. Deve-se considerar, ao se confeccionar a classificação dos levantamentos, a idade dos outros parâmetros de modificação espacial, bem como a evolução técnica, como a melhora da qualidade das

informações através da evolução, ao longo dos anos, dos equipamentos de posicionamento e medição de profundidade.

Todos os conjuntos e regras usados nos SIF devem ser estabelecidos, com a devida cautela, por especialistas em reuniões específicas. Durante este processo deve-se ter sempre em mente que a construção dos conjuntos irão influenciar as regras e vice-versa.

Não se pode esquecer também da importância de fixar os diversos parâmetros do SIF. Deve-se escolher as funções que representarão as união e interseção que serão utilizadas para representar o “ou” e “e” nas inferências nebulosas. Devem-se escolher também quais serão os processos de agregação e defuzzificação. Recomenda-se que as pessoas envolvidas neste processo estudem cuidadosamente as vantagens e desvantagens de cada método antes de definir as características que serão utilizados.

Depois de alcançarmos um valor no SIF de desatualização, que expresse a necessidade de atualização das informações das áreas, esse índice devera ser utilizado conjuntamente com os indicadores de priorização em um novo SIF para que se possa estabelecer uma prioridade entre as áreas estudadas. Sugere-se que esses indicadores de priorização não alcancem um número elevado e se priorize o uso dos indicadores de relevância à navegação e economia, que devem ser estabelecidos de acordo com a informação disponível e a realidade das áreas de estudo.

No fim da metodologia é necessário que se utilize ferramentas de análise espacial disponíveis no SIG para se retirar a sobreposição da informação existente e mostrar a real necessidade de atualização e prioridade da área. Sabe-se que uma resposta com grau de desatualização menor em uma área indica a existência de um levantamento mais atualizado em comparação com outro da mesma área com um grau de desatualização maior. Desta forma caso uma área esteja pouco desatualizada não será necessário novo levantamento. Baseada em tais informações deve-se estabelecer uma priorização, na plotagem das áreas, colocando aquelas com menor índice de desatualização acima daquelas com maior índice.

Desta forma, com este resultado, finalmente poderão ser realizadas as análises pelo Serviço Hidrográfico cujo resultado servirá como suporte para a decisão sobre onde serão realizados os futuros LH. Ressalta-se que tanto a informação do grau de desatualização, quanto o de priorização, devem ser obtidos para o pleno atendimento de todas as necessidades apontadas pela OHI.

6- ESTUDO DE CASO

No intuito de apresentar um exemplo de utilização da metodologia, foram escolhidas para estudo de caso as áreas marítimas das Baías de Paranaguá, Guanabara e Todos os Santos, compreendendo um total de 2.484 Km². Como SIG foi utilizado o CARIS GIS 4.4, para construir os SIF o MATLAB 7.0 e para o banco de dados o Microsoft Access.

Nas áreas de estudo existiram entre 1950 e 2005 cerca de 180 LH que foram utilizados para elaboração de cartas náuticas. Apesar de alguns deles terem sido feitos exatamente na mesma área, por vezes foi difícil determinar exatamente qual nos forneceria dados mais atualizados antes de uma análise por um critério mais detalhado. Além disso, em um mesmo LH encontrou-se por vezes FB (folhas de bordo) feitas com equipamentos e espaçamento de linhas diferentes aumentando o número de áreas analisadas. Esses LH forneceram no final cerca de 510 FB passíveis de análise.

Depois desta fase, foram feitas reuniões com especialistas de modo a fixar as áreas onde se aplicariam os padrões mínimos de levantamento. Escolheu-se ainda a taxa de assoreamento para representar o indicador de modificação espacial, e o movimento de navios e uma classificação de relevância para a navegação, representada pela ZOC (zone of confidence) desejável na carta, para serem os indicadores de priorização.

Após a intersecção das áreas das FB individualmente com cada uma das áreas das demais informações (padrões, taxa de assoreamento, ZOC desejável e movimentação portuária) em um GIS alcançou-se o número de 1510 registros.

A seguir foram fixados os parâmetros do SIF, incluindo os conjuntos e regras. Devido ao número de variáveis para determinar o grau de desatualização, utilizaram-se dois SIF para chegar ao seu valor. O primeiro combinou os equipamentos utilizados na sondagem (3 conjuntos), com a cobertura de fundo desejável (3 conjuntos) e a razão entre o espaçamento de linhas utilizado (4 conjuntos) e o desejável para obter-se um índice de quantidade de informação(5 conjuntos). Esse índice foi combinado em seguida com a idade do levantamento (4 conjuntos) e a taxa de assoreamento (3 conjuntos) de modo a chegar-se ao grau de desatualização (4 conjuntos). No total os FIS de desatualização utilizaram 65 regras. Caso estivessemos utilizando uma classificação temática convencional o número de regras teria que ser aumentado para 514 para que obtivéssemos um resultado equivalente.

O grau de desatualização foi então combinado com a ZOC desejável (4 conjuntos) e a movimentação portuária (3 conjuntos) através de 22 regras para que se obtivesse o grau de priorização das áreas (4 conjuntos).

Em todos os SIF como função de interseção, representando o “e” nas proposições lógicas, escolheu-se aquela inicialmente sugerida por Zadeh (mínimo). Para representar a função de agregação das proposições lógicas também se utilizou aquela inicialmente sugerida por Zadeh para a união (máximo). Para realizar a “defuzzificação” foi utilizado o método do centróide.

Os resultados obtidos por esta metodologia aplicada à área de estudos podem ser vistos nas Tabelas 1 e 2. Nas figuras 5 e 6 temos o exemplo dos resultados em mapas obtidos para a Baía de Paranaguá. Ressalta-se que mapas semelhantes também foram plotados para as demais áreas de estudo.

Tabela 1: Desatualização das Informações Batimétricas Existentes

Desatualização das Informações Batimétricas Existentes								
	Todos os Santos		Paranaguá		Guanabara		Total das Áreas Estudadas	
Área Marítima Total (m²)	1310243716		491864548		681937510		2484045774	
Desatualização	Área (m²)	%	Área (m²)	%	Área (m²)	%	Área (m²)	%
Muito Desatualizado	64870166	4,951%	106798549	21,713%	155031674	22,734%	326700389	13,152%
Razoavelmente Desatualizado	1050998894	80,214%	243950060	49,597%	344310249	50,490%	1639259203	65,992%
Pouco Desatualizado	165483781	12,630%	46259861	9,405%	154076961	22,594%	365820603	14,727%
Quase Atualizado	28890874	2,205%	94856078	19,285%	28518627	4,182%	152265579	6,130%

Tabela 2: Prioridade para Realização de Novos LH

Prioridade para Realização de Novos LH								
	Todos os Santos		Paranaguá		Guanabara		Total das Áreas Estudadas	
Área Marítima Total (m²)	1310243716		491864548		681937510		2484045774	
Prioridade	Área (m²)	%	Área (m²)	%	Área (m²)	%	Área (m²)	%
Muito Alta	6577423	0,502%	442678	0,090%	15193568	2,228%	22213669	0,894%
Alta	61502840	4,694%	107723255	21,901%	150155820	22,019%	319381915	12,857%
Média	253021164	19,311%	254657951	51,774%	317537382	46,564%	825216497	33,221%
Baixa	989142289	75,493%	129040664	26,235%	199050740	29,189%	1317233692	53,028%

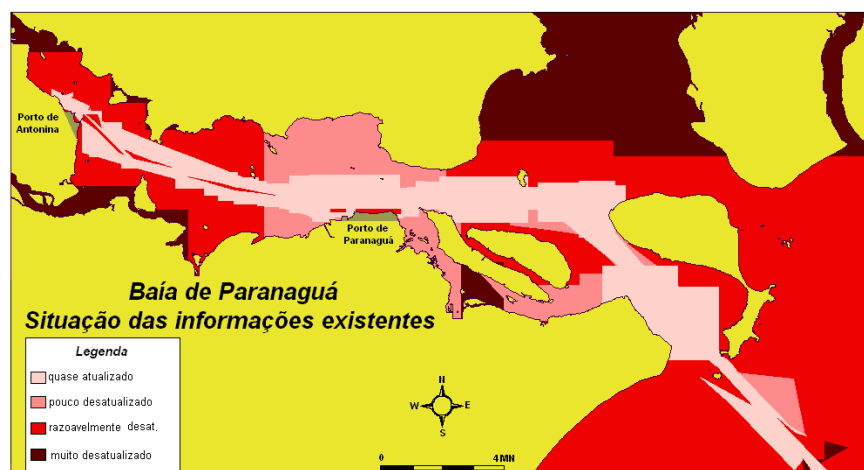


Figura 5: Situação das informações existentes na Baía de Paranaguá (Índice de Desatualização)

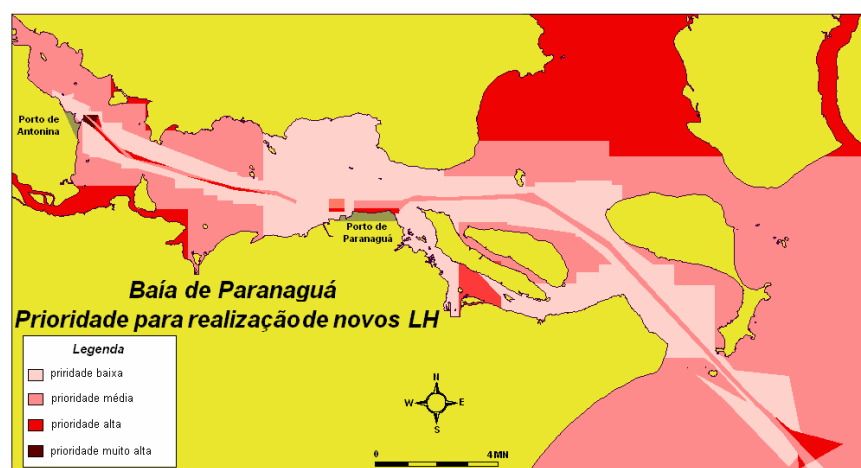


Figura 6: Prioridade para realização de novos LH na Baía de Paranaguá (Índice de Priorização)

7- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A determinação de indicadores de grau de desatualização da informação dos LH, e o método de sua combinação, deve ser fruto do estudo constante realizado pelos Serviços Hidrográficos que necessitam levar em consideração os critérios mínimos propostos pelo OHI, e, as áreas envolvidas nos levantamentos.

Podemos afirmar que os metadados dos LH constituem fonte fundamental dos indicadores de desatualização de área.

O estabelecimento dos critérios deve vislumbrar indicadores que determinem a relevância das áreas marítimas considerando o aspecto, político, econômico e militar, classificando em ordens segundo a especificação dos levantamentos necessários na área.

A utilização de um SIG e da Lógica Nebulosa, num método de combinação dos indicadores, permitiu uma melhor abordagem dos aspectos espaciais, e temporais, facilitando desta forma a análise da informação.

Dentre as três áreas estudadas, a Baía da Guanabara é a que apresenta maior área classificada como muito desatualizada e ao mesmo tempo com prioridade muito alta. Assim sendo é a área prioritária, dentre as estudadas, para a realização de novos LH.

Assumindo que os parâmetros dos SIF de desatualização estejam corretos, a alta porcentagem de áreas que necessitam serem atualizadas pode ter duas principais razões. A primeira seria o período relativamente curto desde a última alteração nos padrões especificados na publicação S-44 da OHI. A segunda seria uma possível degradação da capacidade de coleta de informações, demandando, portanto, um maior investimento das autoridades em campanhas de LH. Para que se possa efetivamente identificar qual é a verdadeira causa para se obter tais valores um acompanhamento mais detalhado dessas porcentagens deveria ser feito ao longo dos anos.

Por último podemos afirmar que a metodologia utilizada permitiu o estabelecimento de uma priorização efetiva das áreas a serem levantadas. Tal fato pode ser verificado na Tabela 2 pela diminuição progressiva da porcentagem das áreas em relação ao todo, conforme a classificação do índice de priorização aumenta.

8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COX, Earl. **The Fuzzy Systems Handbook: a Practitioner's Guide to Building, Using, and Maintaining Fuzzy Systems**. Academic Press Limited, 1994, 623p.
- EFRAIM, Turban; ARONSON, Jay E.; LIANG, Ting-Peng. **Decision Support Systems and Intelligent Systems**. 7 ed. Upper Saddle River, EUA: Peason Prentice Hall, 2005, 936 p.
- KOSKO, B. **Neural Networks and Fuzzy Systems**. Prentice-Hall Upper Saddle River, EUA , 1992, 449p.
- LAZZAROTTO, D.R. et al. **Um estudo sobre o uso de indicadores analíticos para projeto de bases cartográficas orientadas ao usuário**. In: Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba, 2002, vol.1, 12p.
- MARANHÃO, Marcelo Rodrigues de Albuquerque. **Modelo de seleção de áreas para atualização do Mapeamento Sistemático baseado em Lógica Nebulosa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de computação - Área de concentração Geomática). Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 2005, 54p.
- OHI. **Standards for Hydrographic Surveys - IHO Special Publication No. 44**. Organização Hidrográfica Internacional. Mônaco, 1998.
- OHI. **Transfer Standard for Digital Hydrographic Data - IHO Special Publication No. 57**. Organização Hidrográfica Internacional. Mônaco, 2000.
- OHI. **Status of Hydrographic Surveying and Nautical Charting Worldwide- IHO Special Publication No. 55**. Organização Hidrográfica Internacional. Mônaco, 2004.
- OHI. **Manual on Hydrography**. Organização Hidrográfica Internacional. Mônaco, 2005.
- OLIVEIRA JR, Hime Aguiar e. **Lógica Difusa : Aspectos Práticos e Aplicações**. Rio de Janeiro : Ed. Interciência, 1999, 192p.
- SANDRIS,.; CORREA, C. **Lógica Nebulosa**. Anais da V Escola de Redes Neurais. São José dos Campos, 1999, pp 073-090.
- TANSCHKEIT, R. **Fundamentos de Lógica Fuzzy e Controle Fuzzy**. Apostila de aula do Departamento de Engenharia Eletrônica da PUC-RJ. 1999. Rio de Janeiro.
- TURBAN, Efrain et al. **Decision Support Systems and Intelligent Systems**. Peason Prentice Hall. Upper Saddle River, EUA, 2005, 936p.
- ZADEH, L.A. **Fuzzy Sets**. Information and Control No.8, 1965, pp 338-353.