



Diferentes métodos de interpolação e a gestão de recursos hídricos

Rodrigo Trindade Schlosser ¹, Ester Loitzenbauer ², Carlos André Bulhões Mendes ³

¹ Graduando em Engenharia Ambiental, Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos / IPH / Universidade Federal de Rio Grande do Sul (UFRGS) / (rodrigo.schlosser@ufrgs.br)

² Doutoranda, Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos / IPH / Universidade Federal de Rio Grande do Sul (UFRGS) / (ester_loi@yahoo.com.br)

³ Professor Adjunto, Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos / IPH / Universidade Federal de Rio Grande do Sul (UFRGS) / (mendes@iph.ufrgs.br)

Resumo

No Brasil, a faixa marítima da zona costeira é definida pelas 12 milhas náuticas da linha de base, referentes ao mar territorial, estabelecidas de acordo com a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar. Propõem-se uma nova ótica de gerenciamento de recursos, que é utilizar um índice físico para obter uma gestão mais coerente, respeitando as características específicas de cada ambiente costeiro. Assim, o presente trabalho é o início de um projeto que irá apresentar a batimetria do oceano como o índice físico escolhido, este tão importante para diversas áreas de estudo. Para isso, utilizará um software de Sistemas de Informação Geográficos (SIG) para mostrar diferentes métodos de interpolação possíveis para a formação das curvas batimétricas. Serão ilustrados três métodos de interpolação: Inverso da distância ao quadrado (*Inverse Distance Weighted – IDW*), o método Vizinhos Naturais (*Natural Neighbors*) e o método Comando Raster (*Topo to Raster*). Assim, conclui-se que é de suma importância a utilização de SIG para agilizar o processamento de dados e representação em forma de mapas para distintos trabalhos, tanto na zona costeira quanto para outros trabalhos em geral.

Palavras-chave: Batimetria. Sistemas de Informações Geográficas. Métodos de interpolação.

Área Temática: Recursos Hídricos

Abstract

In Brazil, the band's maritime coastal zone is defined by 12 nautical miles from the baseline, related to the territorial sea established, in accordance with the United Nations Convention on the Law of the Sea. Therefore, a new perspective of the resources management is propose, utilizing a physical index in order of betters results, and always respecting the specific characteristics of each coastal environment. For that reason, this work is the beginning of a studying that will present the bathymetry of the ocean as the physical index chosen. This research will use a software Geographic Information System (GIS) to display different interpolation methods for the formation of bathymetric curves. Will be illustrated, as a result, three interpolation methods: *Inverse Distance Weighted (IDW)*, the method *Natural Neighbor* and the method *Topo to Raster*. Consequently, is conclude that it is extremely important to use GIS to make more efficient data processing and the representation in the form of maps for different jobs, such as in the coastal zone as to other works in general.

Key words: Bathymetry. Geographic Information Systems. Interpolation Methods.

Theme Area: Hydric Resources



1 Introdução

A legislação brasileira (Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro II) define a zona costeira como o espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos ambientais, abrangendo uma faixa marítima e outra terrestre. A faixa marítima compreende as 12 milhas náuticas a partir da linha de base, referentes ao mar territorial, estabelecidas de acordo com a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar. Nesta área, há uma graduação de ambientes: Solo (continente) → Bacia Hidrográfica → Estuário → Mar (oceano), todos interligados (Loitzenbauer e Mendes, 2011).

De acordo com o censo de 2010, 24% da população brasileira vive na zona costeira, o que significa aproximadamente 45 milhões de pessoas. Grandes centros industriais, atividade portuária, processamento mineral e de celulose, estaleiros e fazendas de camarão; assim como alguns setores industriais, como químico e petroquímico também se concentram nessa região (Jablonski & Filet, 2008). Por isso, a zona costeira brasileira merece uma atenção especial, tanto pelo fato de concentrar esta faixa da população, quanto pela diversidade de ecossistemas nesse espaço geográfico.

Outra questão importante é entender qual a área de atuação da influência continental que estas várias formas de ocupação e uso do solo irão exercer no oceano, ou seja, até onde o homem influencia com seus lançamentos de poluentes. Tudo isso faz com que o planejamento territorial a partir de uma gestão costeira bem estruturada e com embasamento teórico seja necessário e de extrema importância para, assim, mantermos o ambiente bem equilibrado, sem comprometer nossos recursos.

Segundo Garrison (2010), “batimetria é a exploração e o estudo do relevo do assoalho oceânico.” Este levantamento pode ser expresso por gráficos batimétricos, os quais possuem curvas batimétricas que unem pontos de mesma profundidade com equidistâncias verticais, à semelhança das curvas topográficas.

No Brasil, o Centro de Hidrografia da Marinha (CHM) é o órgão responsável pelo planejamento e pela validação dos dados resultantes dos Levantamentos Hidrográficos (LH) destinados à construção das cartas náuticas. Os métodos validamente utilizados pelo CHM para realizar os levantamentos hidrográficos são:

- Sondagem Batimétrica: método tradicional onde um navio ou embarcação sonda uma área seguindo linhas contínuas, uniformemente espaçadas, cujas sondagens indicam as profundidades de uma área e que representa o relevo submarino de uma faixa. As profundidades representadas numa carta náutica são reduzidas ao nível de redução da maré para eliminar as variações das marés e garantir segurança ao navegante.
- Sistema Multifeixe: com o surgimento do ecobatímetro multifeixe (equipamento utilizado para medir a profundidade por ondas de radar), obtém as profundidades sobre uma faixa e não somente ao longo da linha de sondagem como no método tradicional, obtendo uma grande quantidade de profundidades, cobrindo o leito submarino e garantindo que todos os perigos sejam encontrados e delimitados. Assim, a qualidade das informações representadas na carta náutica é melhorada.
- Varredura sonar: realizada por meio de um equipamento rebocado (peixe), em conjunto com o ecobatímetro multifeixe, instalado no casco ou na borda de uma embarcação, contribui sobremaneira para a segurança da navegação em nossas águas, por permitir a realização de Levantamentos Hidrográficos de Ordem Especial, onde é garantida a cobertura total do fundo (100 %).

As curvas batimétricas obtidas a partir destes levantamentos hidrográficos são de extrema importância para diversas áreas de estudo, como a engenharia náutica (proteção das



3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 25 a 27 de Abril de 2012

embarcações nos portos, prevenção de acidentes das embarcações, etc), a oceanografia (propagação de ondas, circulação costeira e oceânica, dinâmica estuarina, etc) e na área ambiental (estudo de assoreamento em rios e reservatórios, dispersão e controle de poluentes, etc).

Um dos métodos utilizados para se obter uma estimativa das curvas batimétricas de uma região pode ser a utilização de ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para estimar o comportamento de regiões aquáticas. São ferramentas computacionais para georreferenciamento e, segundo Loch (2006), “são ferramentas que incorporam princípios de banco de dados, algoritmos gráficos, funções que permitem interpolações e zoneamento e também análise de redes.” Desta forma o SIG pode ser utilizado por qualquer estudo que envolva a questão de localização, pois utiliza dados espaciais. Assim, a relação de dados espaciais com documentos cartográficos, neste caso, cartas náuticas, permite velocidade e acurácia para a tomada de decisão.

O SIG vem sendo utilizado com frequência nos estudos terrestres. São utilizados para representar graficamente elementos da superfície, tais como drenagem, sistema viário, relevo, vegetação, limite político, entre outros. Além disso, SIG também fornece ferramentas para análise de dados espaciais que se aplicam a teorias estatísticas e técnicas para modelagem de dados espacialmente referenciados, como medição de temperatura, concentração de poluentes, dentre outros.

Também no ambiente marinho, pesquisas direcionadas a disciplina vem apresentando resultados em diversas regiões do planeta. Recentemente, Boyes et. al. (2007) elaborou uma proposta de zoneamento de múltiplo uso no mar da Irlanda com o apoio do SIG baseado na legislação local e com o objetivo de proteção ambiental. Assim, mostrou-se que a cartografia e o SIG puderam demonstrar que são capazes de agilizar o processamento de dados e representação em forma de mapas para distintos trabalhos na zona marinha, tanto no zoneamento quanto na escolha de locais para produção de organismos aquáticos (Boscatto, et al, 2007).

Uma importante ferramenta que pode ser utilizada no ambiente de SIG é a interpolação espacial. Este procedimento é utilizado para se estimar valores de propriedades de locais não amostrados, baseando-se em valores de dados observados em locais conhecidos (Burrough, 1986). Através do SIG, tem-se a possibilidade de realizar interpolações por diferentes métodos. Porém, existem poucas referências a estudos comparativos entre metodologias de interpolação espacial. Mello et al. (2003) e Aguilar et al. (2001), colocam que autores já fizeram abordagens gerais dos métodos de interpolação em diversas áreas de pesquisa como ciência do solo, ecologia, meteorologia, hidrologia, engenharia florestal, e, no entanto, não foi estabelecido qual ou quais métodos apresentaram maior precisão (Mazzini e Schettini, 2009).

Portanto, o objetivo deste trabalho é avaliar comparativamente diferentes métodos de interpolação de uma ferramenta de SIG e mostrar seus resultados através da interpolação dos dados de batimetria disponíveis da Marinha do Brasil. Foi utilizado o software *ArcGis* versão 9.3 e seus diferentes métodos de interpolação e nomenclaturas: Inverso da distância ponderada, do Vizinho natural, e *Topo to Raster*. O presente trabalho não visa discutir os algoritmos matemáticos dos métodos, mas sim sua ideia, função e aplicação prática. Este é o início de um estudo para, futuramente, provar a possibilidade de utilizar um índice físico, no caso a batimetria da plataforma continental, como proposta de um novo modelo de gestão das áreas costeiras do Brasil e responder a questão: “A batimetria como condicionante dos processos físicos atuantes pode complementar a definição da faixa marinha da zona costeira”.

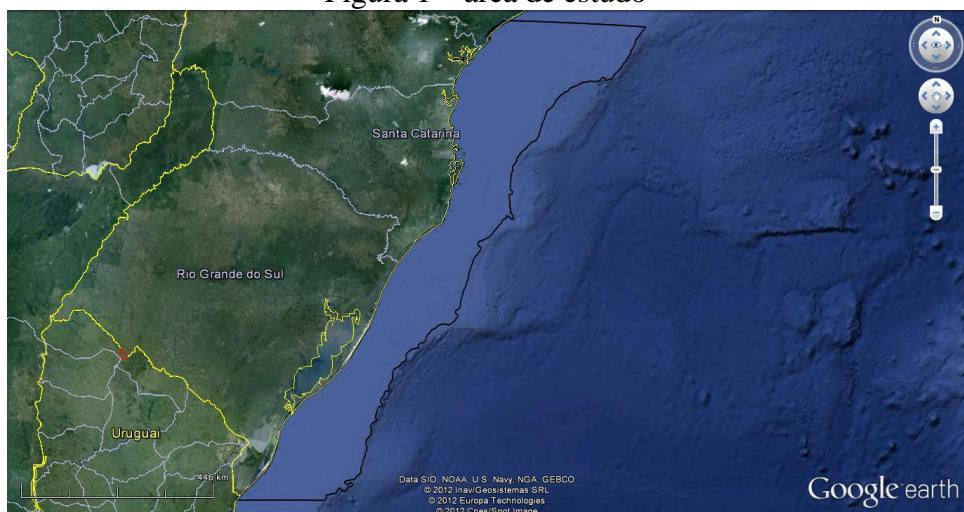


2 Metodologia

A área escolhida para o estudo foi a extensão marítima que se estende do Chuí (latitude 33°41'28"S e longitude 53°27'24" O), ponto mais ao sul do litoral brasileiro, até o sul do estado de São Paulo, próximo a cidade de Iguapé (latitude 24°42'29" S e longitude 47°33'19" O). Esta área é caracterizada por um ambiente climático subtropical úmido, dominado pela massa tropical atlântica (mTa), que mantém o vento predominante ao longo da costa vindo do quadrante nordeste mas sofre grande influência da massa polar atlântica (mPa) no inverno, provocando ventos do quadrante sul e sudeste e deixando em algumas situações as temperaturas próximo de zero grau no litoral do Rio Grande do Sul.. Apresenta o segundo maior índice pluviométrico anual (em torno de 2.500 mm), estando atrás apenas do clima equatorial úmido. Tem as estações do ano bem definidas e chuvas bem distribuídas no ano.

O litoral Sul do Brasil é bastante irregular. Do norte do Paraná até Laguna, em Santa Catarina, litoral é compartilhado em pequenas baías e enseadas, dentre as quais se destaca a de Paranaguá. Alguns pontos elevados e ilhas completam a paisagem como a capital de Florianópolis. De Laguna até o extremo sul do Rio Grande do Sul, a planície costeira se alarga e litoral torna-se retilíneo, apresentando no Rio Grande do Sul, extensas restingas que se cercam de algumas das maiores lagoas do Brasil (Climatempo, 2012).

Figura 1 – área de estudo



Com o objetivo de analisar os métodos de interpolação para os dados de batimetria existentes na área de estudo, o primeiro passo foi obter o mapa batimétrico. Para tanto, este foi elaborado através dos dados pré-existentes retirados a partir da vetorização de cartas náuticas que sobrepõem esta área (tabela 1), onde possuíam os pontos com as profundidades de cada local, do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). Algumas destas cartas náuticas obtidas ainda não estavam georreferenciadas de acordo com o sistema de referência utilizado (WGS_1984) que corresponde à localização, por isso, foram georreferenciadas para o correto estudo.

Quadro 1 – Cartas Náuticas utilizadas

Número da Carta	Nome	Escalas
1703	PORTO DE CANANÉIA	1:27000
1803	BAÍA DE GUARATUBA	1:25000
1820	PROXIMIDADES DA BARRA DE PARANAGUÁ	1:100000
1902	PROXIMIDADES DA ILHA DE SANTA CATARINA	1:100928
1910	DA ILHA DE CORAL AO CABO DE SANTA MARTA GRANDE	1:100000



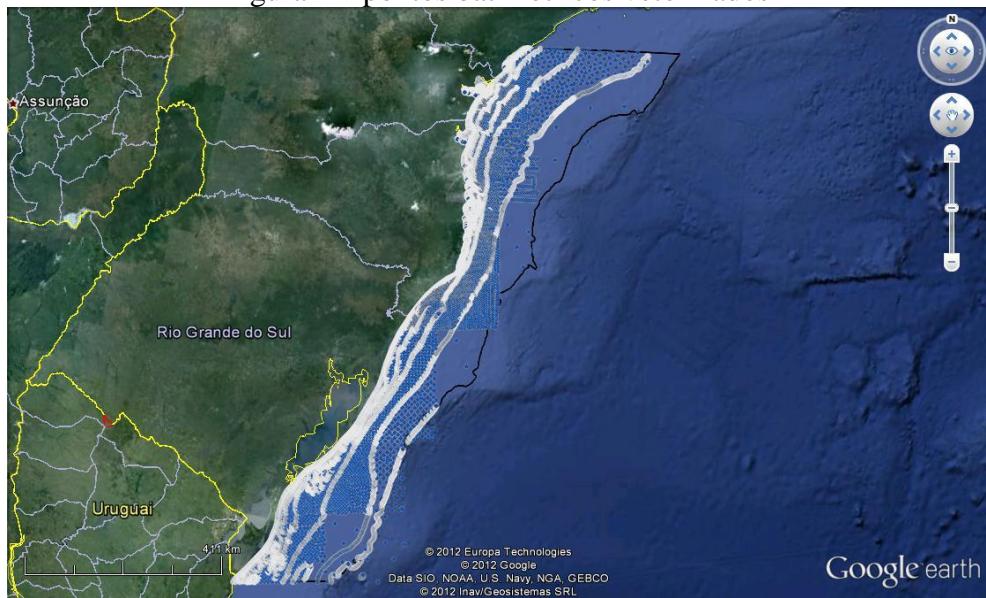
3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 25 a 27 de Abril de 2012

1911	DO CABO DE SANTA MARTA GRANDE A ARARANGUÁ	1:100211
2100	DE MOSTARDAS AO RIO GRANDE	1:269516
B1700	ILHA DE SAO SEBASTIÃO A BOM ABRIGO	1:288723
B1800	ILHA DE BOM ABRIGO A ILHA DO ARVOREDO	1:284530
B1900	ILHA DO ARVOREDO A TORRES	1:279329
B2000	TORRES A MOSTRARDAS	1:274023
B2200	RIO GRANDE A CHUÍ	1:266812

Com a determinação das cartas que cobriam a área em estudo e, quando necessário, seu posterior georreferenciamento, pôde-se realizar a marcação dos pontos batimétricos mostrados em todas as cartas e todo o contorno da costa sul-brasileira. Isso foi realizado pelo Software ArcGis 9.3, onde foi feito a demarcação de cada ponto com sua profundidade (eixo Z) através do comando de edição do Software. Os pontos cotados foram vetorizados para um arquivo *shapefile*, onde suas profundidades variaram de 1 metro a 200 metros e a extensão da demarcação foram aproximadamente 12 milhas náuticas a partir da linha de base. Com todos os pontos demarcados, estava pronto para realizar as diferentes interpolações.

Figura 2 – pontos batimétricos vetorizados



Posteriormente, foi realizada uma série de testes de interpolação, onde se procurou encontrar o melhor método de representação da área submersa do projeto, comparando-os. Segundo Watson (1992), “o resultado do processo de interpolação espacial pode ser representado através de isolinhas, que são linhas de mesmo valor numérico. Estes contornos ou isolinhas são usados para definir uma característica comum ao longo de uma linha”. Tecnicamente, os contornos juntam locais de mesmos valores. No caso de uma linha de contorno, que representa a altura, é uma linha que traça pontos de mesma elevação, ou seja, o valor do eixo Z, que geralmente representa o nível médio do mar (ESRI, 2004).

Existem duas categorias de técnicas de interpolação: determinísticas e geoestatísticas. A determinística cria superfícies baseados em pontos medidos ou fórmulas matemáticas. Já as geoestatísticas são baseadas em estatísticas e são usados para a modelagem mais avançada da previsão de superfície mais avançadas.

A extensão “Spatial Analyst” do software escolhido fornece um conjunto de ferramentas para análise e modelagem de dados espaciais. Este conjunto de pontos de



amostragem pode ser utilizado para visualizar a continuidade e variabilidade dos dados observados através de uma superfície por meio de ferramentas de interpolação. Estas mudanças podem ser extrapoladas ao longo do espaço geográfico, e a morfologia e características destas mudanças podem ser descritas. A capacidade de criar superfícies a partir de dados da amostra faz desta uma útil e poderosa ferramenta. Esta possui basicamente seis métodos de interpolação na versão 9.3, onde cada método utiliza uma abordagem diferente para a determinação dos valores de célula de saída e o mais adequado dependerá da distribuição de pontos de amostra e do fenômeno em estudo. Dentre os métodos existentes, três foram os que obtiveram mais êxito na forma de representação, ou seja, os outros métodos não reproduziram a realidade do comportamento batimétrico dos oceanos: *Inverso da distância ao quadrado* (*Inverse Distance Weighted – IDW*), o método *Vizinhos Naturais* (*Natural Neighbors*) e o método *Comando Raster* (*Topo to Raster*). Isso foi observado através de imagens de satélite com a semelhança do comportamento na banda 1.

3 Resultados

O método *Inverso da distância ao quadrado* (*IDW*) considera que as coisas que estão mais próximas são mais parecidas do que as que estão mais distante. Para prever um valor para algum local não medido o *IDW* usa os valores amostrados a sua volta, que terão maior peso do que os valores mais distantes, ou seja, cada ponto possui influência no novo ponto, que diminui na medida em que a distância aumenta (Jacob e Young, 2006). Portanto, é um bom interpolador de cotas batimétricas, pois o fundo do oceano varia gradativamente, com cotas semelhantes aos pontos ao redor.

Figura 3 – Interpolação pelo método *IDW*

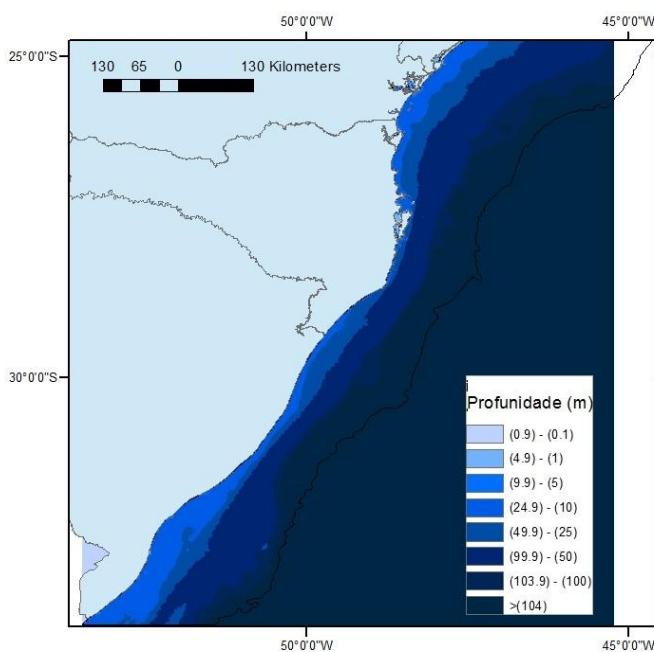
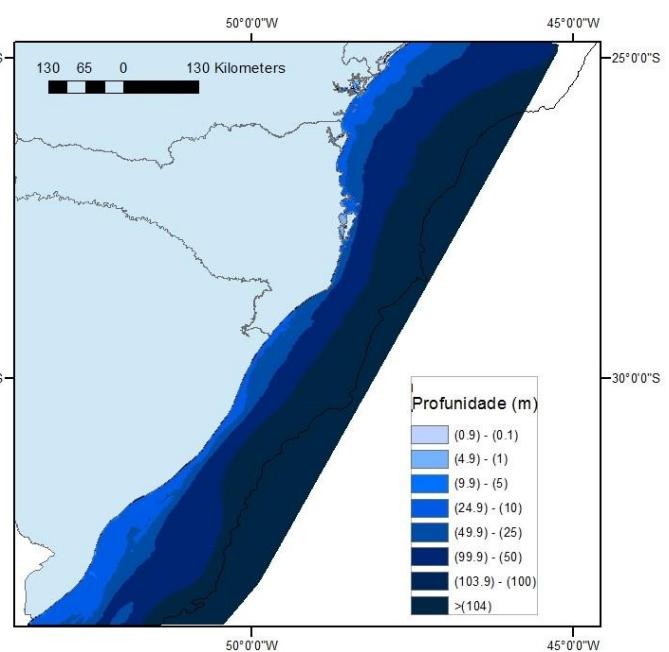


Figura 4 – Interpolação pelo método *Natural Neighbour*

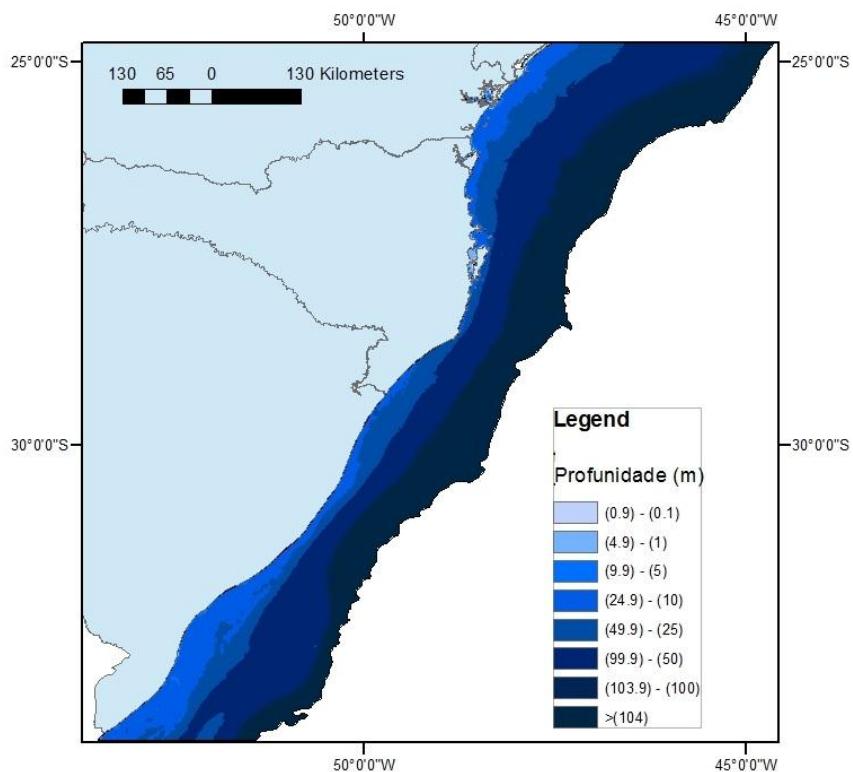


O método *Vizinhos Naturais* é diferente das demais técnicas pois esta não extrapola valores, resolvendo a interpolação somente para o interior do domínio dos dados. Esta técnica utiliza polígonos Thiessen para avaliação de pesos para os pontos. Este método faz a interpolação através da média ponderada dos pontos vizinhos, onde os pesos são proporcionais às áreas proporcionais (Mazzini e Schettini, 2009).



O *Comando Raster (Topo to Raster)* impõe restrições que garantam um modelo digital hidrologicamente correto. Ele utiliza uma técnica de interpolação iterativo de diferença finita que otimiza a eficiência computacional de interpolação local sem perder a continuidade da superfície de interpolação global (ESRI, 2004). Esta permite que arquivos, como curvas de níveis, cursos de rios e delimitações de bacias, possam ser utilizados durante a interpolação, diminuindo os possíveis erros que venha a serem acometidos pelo método. Essa técnica de interpolação foi desenhada com o objetivo específico de converter dados vetoriais em modelos hidrológicos de elevação de terreno exatos (Nogueira e Amaral, 2009).

Figura 5 – Interpolação pelo método *Topo to Raster*



4 Conclusão

Este é um trabalho inicial que pretende trazer uma condicionante física, no caso a batimetria, para complementar a definição da faixa marinha da zona costeira, junto à legislação Nacional. Atualmente, está sendo testada por ferramentas de SIG para auxiliar no estudo proposto, tendo resultados satisfatórios, visto que tais ferramentas possuem métodos de interpolação bastante precisos, tanto para este tipo de estudo, quanto para diversos outros.

Junto a isso, foram verificados três métodos de interpolação que satisfizeram este estudo prévio: o método *Inverso da distância ao quadrado*, o método *Vizinhos Naturais* e o método *Topo to Raster*, com resultados bastante semelhantes e satisfatórios. No entanto, a ferramenta *Topo to Raster* se destacou dentre as demais, pois apresentou resultados com mais informações para elaboração de superfícies batimétricas, principalmente no quesito de delinear a costa precisamente. Recomenda-se ainda, que as variáveis do método de interpolação sejam estudadas de forma mais aprofundada visando a obtenção de melhores resultados. Assim, o mais importante, no atual momento, é o início da utilização de ferramentas de SIG e a correta escolha dos métodos de interpolação, pois assim, é possível encontrar resultados mais precisos para obtermos respostas mais satisfatórias, e assim, obter uma melhor solução para a definição da faixa marinha da zona costeira.



3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 25 a 27 de Abril de 2012

Referências

- AGUILAR, M.A.; AGUILAR, F.J.; CARVAJAL, F. & AGUERA, F. 2001. **Evaluación de diferentes técnicas de interpolación espacial para la generación de modelos digitales de elevación del terreno agrícola.** Mapping Interactivo. n° 74, 72-92.
- BOYES,S.J; ELLIOT, M; THOMSON, S.M.; ATKINS, S. e GILLILAND, P., 2007. **A proposed multiple-use zoning scheme for Irish Sea. An interpretation of current legislation through the use of GIS-based zoning approaches and effectiveness for the protection of nature conservation interests.** Marine Policy, Vol.31 pp.287-298.
- BURROUGH, P.A. 1986. **Principals of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment.** Oxford, Clarendon Press, 194p.
- Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). **Cartas Náuticas.** Disponível em: <<https://www.mar.mil.br/dhn/dhn/index.html>>
- CLIMATEMPO. 2012. **Clima do Brasil.** Disponível em: <<http://www.climadeviagem.com.br/litoralsul.html>>
- COLIN CHILDS. **Interpolating Surfaces in ArcGIS Spatial Analyst.** Publicado por: ESRI Education Services, 2004.
- GARRISON, T. **Fundamentos de oceanografia.** Cengage Learning, São Paulo, 426p., 2010
- JABLONSKI, S.; FILET, M. (2008) – **Coastal management in Brazil – A political riddle.** Ocean & Coastal Management,
- JAKOB, A. A. E.; YOUNG A. F., 2006. **O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas.** Anais do XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais, ABEP, Caxambu –MG – Brasil.
- LOCH ,R.E.N. **Cartografia: representação, comunicação e visualização de dados espaciais.** Florianópolis: Ed. UFSC, 2006 313p.:il.
- LOITZENBAUER, Ester; MENDES, Carlos André Bulhões. **A dinâmica da salinidade como uma ferramenta para a gestão integrada de recursos hídricos na zona costeira: uma aplicação à realidade brasileira.** In Journal of Integrated Coastal Zone Management, 2011. Disponível em: http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-248_Loitzenbauer.pdf
- MAZZINI, P. L. F., SCHETTINI, C. A. F. 2009. **Evaluation of spatial interpolation methodologies applied to quasisynoptic coastal hidrographic data.** Braz. J. Aquat. Sci. Technol. 13(1):53-64. ISSN 1808-7035.
- MELLO, C.R.; LIMA, J.M.; SILVA, A.M.; MELLO, J.M. & OLIVEIRA, M.S. 2003 **Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas.** Rev. Bras. Ciênc. Solo. Viçosa. v. 27, n. 5, 925-933.
- NOGUEIRA, J. D. de L.; AMARAL, R. F. do. **Comparação entre os métodos de interpolação (Krigagem e Topo to Raster) na elaboração da batimetria na área da folha Touros – RN.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2007/biblioteca/>>. Acesso em: 18 de outubro de 2010.
- WATSON, D. F. 1992. **Contoring: A Guide To The Analysis And Display Of Spatial Data.** Volume 10 of Computer Methods in the Geosciences. Pergamon Press, Oxford, 321 pp.