

Refinamento do Modelo Digital de Elevação da *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM e sua qualidade cartográfica

Msc. Juliana Mio de Souza ¹
Profa. Dra. Ruth Emília Nogueira Loch ²

UFSC - Depto. de Engenharia Civil
88040 - 900 Florianópolis SC

¹ julianamio@yahoo.com.br

² ruth@ecv.ufsc.br

Resumo: Neste artigo é apresentada parte de uma pesquisa de mestrado que se dedicou a avaliar a qualidade cartográfica dos dados da SRTM. Uma das vertentes desta pesquisa, a qual é abordada neste artigo, foi o de verificar se haveria melhora quanto à qualidade geométrica do Modelo Digital de Elevação da SRTM (MDE/SRTM - 90 metros) refinado, isto é, reamostrado para 30 metros de resolução espacial (já que o mesmo foi originalmente concebido com tal resolução espacial). Assim, o MDE/SRTM foi reamostrado usando a Interpolação Bilinear e a Krigagem. Com base no Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC, foi verificado que tanto o MDE/SRTM original quanto os modelos interpolados atenderam à escala 1:250.000, Classe A. Portanto, não houve melhoria na qualidade geométrica dos dados interpolados, considerando a escala 1:250.000.

Palavras chaves: Modelo Digital de Elevação da SRTM, Interpolação Bilinear e Krigagem, Qualidade Cartográfica.

Abstract: In this paper part of research is presented of that it was dedicated to evaluate the cartographic quality of the data of the SRTM. One of the sources of this research, which is boarded in this paper, was to verify if it would have improvement how much to the geometric quality of the Digital Elevation Model of the SRTM (DEM/SRTM - 90 meters) resampled for 30 meters of space resolution (since the same originally it was conceived with such space resolution). Was used the Bilinear Interpolation and the Kriging. Based on the Cartographic Exactness Standard, was verified that as much the original DEM/SRTM how much the interpolated models the required quality of 1:250.000 scale, class A. Therefore, did not have improvement in the geometric quality of the data, considering the 1:250.000 scale.

Keywords: Digital Elevation Model of SRTM, Bilinear Interpolation and Kriging, Cartography Quality

1 Introdução

O Brasil é um país carente de consciência cartográfica, ou seja, não se conhece e/ou não se reconhece a importância dos produtos cartográficos. Pode-se atribuir a este fato e à falta de recursos financeiros, o país não possui um mapeamento em escala adequada, que forneça condições de trabalho para seus planejadores. O que se tem é um mapeamento sistemático incompleto na escala 1: 25.000 ou menor, e a maioria destes mapas encontram-se com cerca de 40 anos de desatualização. É importante ressaltar que são estes mesmos mapas desatualizados e em escalas inadequadas, a base cartográfica usada para muitos trabalhos no país.

Com o avanço da tecnologia, a cada momento surgem novas fontes de dados para geração de produtos cartográficos, como é o caso do Modelo Digital de Elevação da *Shuttle Radar Topography Mission - SRTM*, bem como *softwares* voltados para geração da cartografia digital planialtimétrica.

Tais fatos têm levado os usuários de cartografia a produzirem seus mapas básicos e temáticos, muitas vezes sem o conhecimento cartográfico necessário e a formação técnica especializada para a produção destes mapas, acarretando numa grande preocupação quanto à confiabilidade dos dados por eles veiculados.

Este artigo é parte da dissertação desenvolvida no Programa de Pós-Graduação do Departamento da Engenharia Civil, na Área de Concentração Cadastro Técnico Multifinalitário, onde o título foi "Análise da Qualidade Cartográfica dos dados da *Shuttle Radar Topography Mission - SRTM*".

Como o MDE da SRTM foi originalmente obtido com uma resolução espacial de 30 metros, e para disponibilização mundial foi reamostrado para uma resolução espacial de 90 metros, nesta parte da pesquisa buscou-se investigar, de forma comparativa com o dado original da SRTM, o resultado obtido com o refinamento do MDE da SRTM, isto é, interpolação dos dados da SRTM de 90 metros para 30 metros de resolução espacial. Para tanto, utilizou-se o método de interpolação da Geoestatística, a Krigagem e a Interpolação Bilinear, sendo esta a interpolação recomendada pela literatura para reamostragem de Modelos Digitais de Elevação.

Tal investigação foi realizada com base na classificação de produtos cartográficos segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC, usando como base cartográfica de referência o Mapeamento Cadastral Digital do Município de São José, SC, na escala 1:2.000.

2 Fundamentação Teórica

2.1 Dados SRTM

Os dados SRTM consistem em um Modelo Digital de Elevação, disponibilizados em níveis de cinza, de cobertura global, com resolução espacial de 90 metros.

Segundo o *Jet Propulsion Laboratory* da NASA - JPL (2002) os dados da *Shuttle Radar Topography Mission - SRTM* são resultantes de missão conjunta da *National Aeronautics and Space Administration - NASA* e *National Imagery and Mapping Agency - NIMA*, do *Department of Defense* dos Estados Unidos - DoD, com a participação das agências *Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt - DLR*, da Alemanha, e *Agenzia Spaziale Italiana - ASI*.

A missão usou o mesmo instrumento utilizado em 1994 no programa *Spaceborne Imaging Radar – C/X – Band Synthetic Aperture Radar (SIR-C/X-SAR)*, a bordo do ônibus espacial *Endeavour*. Porém o dispositivo foi projetado para coletar medidas tridimensionais da superfície terrestre através de interferometria de uma passagem. Para tanto a nave foi munida de um mastro de 60 metros, em cuja extremidade foram instaladas antenas para bandas C (comprimento de onda de 5,6 cm) e X (comprimento de onda de 3,0 cm), além de melhorados os dispositivos de controle de navegação.

Segundo *United States Geological Survey - USGS* (2005), os dados da SRTM com 30 metros de resolução espacial apresentam acurácia planimétrica de 20 metros (para erro circular com 90% de confiança) e acurácia altimétrica de 16 metros (para erro linear com 90% de confiança).

O modelo digital de elevação da SRTM com 90 metros de resolução espacial encontra-se disponibilizado gratuitamente na Internet através do site www2.jpl.nasa.gov/srtm.

2.2 Modelo Digital de Elevação

Para Andrade (1998) modelar um terreno significa reproduzir sua forma. Quando esta reprodução é realizada por meios digitais, diz-se que se fez um modelo digital do terreno – em inglês: *Digital Terrain Model – DTM*. No entanto, há autores que defendem o uso da expressão Modelo Digital de Elevação – em inglês: *Digital Elevation Model – DEM*, quando a referência diz respeito a altimetria apenas, deixando o DTM para designar um modelo mais completo do terreno, envolvendo, portanto, outras feições. Neste trabalho é adotado o termo Modelo Digital de Elevação -MDE

por se tratar de uma análise realizada em dados altimétricos.

Para Andrade (1998) é no processo de interpolação (procedimento pelo qual se estimam valores de uma variável em área interior aos pontos de amostragem disponíveis, Andriotti (2003)) de altitudes que fica definida a forma de representação da superfície que se pretende modelar. A exatidão que pode ser ativada num processo de interpolação em MDE depende da distribuição, densidade e exatidão dos pontos de referência, bem como na escolha do método. Pontos de referência são os pontos cujas coordenadas são conhecidas e que formarão a base do MDE para interpolação de altitudes.

O processo de geração de uma grade regular retangular a partir de outra grade também regular retangular, objetivando uma melhora na resolução espacial da grade, é chamado de "refinamento da grade". Felgueiras (2001) indica o uso do interpolador bilinear ou bicúbico para esta operação de adensamento da grade. O bicúbico que utiliza 16 pontos vizinhos deve ser usado quando se deseja suavizar a superfície, pois a superfície resultante é suave nos pontos da grade e também ao longo dos segmentos que formam os retângulos, e o interpolador bilinear, que utiliza 4 pontos vizinhos deve ser usado quando a aparência suave da superfície não for necessária.

2.3 Geoestatística

Os procedimentos de análise espacial de dados fazem parte da Estatística Espacial, sendo que, nos últimos tempos, um método de análise dentro da Estatística Espacial, denominada "Geoestatística" ganhou ênfase neste tipo de estudo.

As técnicas geoestatísticas, segundo Andriotti (2003), podem ser usadas para descrever e modelizar padrões espaciais (variografia), para prever valores em locais não amostrados (krigagem), para obter a incerteza associada a um valor estimado em locais não amostrados (variância de krigagem) e para otimizar malhas de amostragem. Neste último, é importante salientar que o erro cometido ao fazer uma avaliação com malhas de amostragem diminui com o detalhamento da malha, mas esse crescimento não é linear.

A diferença entre krigagem e outros métodos de interpolação de acordo com Isaaks e Srivastava (1989), é a maneira como os pesos são atribuídos às diferentes amostras.

Resumidamente, os passos num estudo empregando técnicas geoestatísticas incluem: análise exploratória dos dados, análise estrutural (cálculo e modelagem do variograma) e realização de inferências (Krigagem ou Simulação).

2.4 Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC

O Decreto-Lei nº 89.817/84 estabelece normas que regulamentam e classificam os documentos cartográficos quanto à sua qualidade geométrica. Vale destacar que, segundo Francisco (2001) e Nero (2005), independentemente de o produto ser analógico ou digital, sua validação pelo Padrão de Exatidão Cartográfica é a mesma.

O PEC – Padrão de Exatidão Cartográfica nada mais é que um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos. Essa probabilidade corresponde a 1.6449 vezes o Erro-Padrão: $PEC = 1,6449 * EP$.

O Erro - Padrão isolado num trabalho cartográfico, não ultrapassará 60,8 % (1σ) do Padrão de Exatidão Cartográfico. Vale destacar que esse decreto considera equivalentes os termos Erro-Padrão, Desvio-Padrão e Erro Médio Quadrático. O artigo 9º do mesmo decreto estabelece que as cartas, segundo sua exatidão, são classificadas nas Classes A, B e C, segundo os critérios seguintes e sintetizados na Tabela 1:

Tabela 1 - Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC

Classe	Planimetria		Altimetria	
	PEC	EP	PEC	EP
A	0,5 mm	0,3 mm	1/2 da eqüidistância	1/3 da eqüidistância
B	0,8 mm	0,5 mm	3/5 da eqüidistância	2/5 da eqüidistância
C	1,0 mm	0,6 mm	3/4 da eqüidistância	1/2 da eqüidistância

Fonte: decreto-lei nº 89.817/84

3 Desenvolvimento

3.1 Área de estudo

Para a realização desta pesquisa foi utilizado como base de referência cartográfica o mapeamento cadastral do município de São José – SC. A localização do Município de São José pode ser visto na Figura 1.



Figura 1 – Localização do Município de São José - SC

3.2 Materiais utilizados

Para realização da pesquisa foram utilizados os seguintes materiais: a) Base Cartográfica Digital do Município de São José – SC em escala 1: 2.000 do ano de 1995 e atualizada em 2001, generalizada para 1: 20.000. Este produto foi cedido pelo Grupo de Trabalho em Cadastro Técnico e Gestão Territorial (GT-CADASTRO/UFSC), sob autorização por parte da Prefeitura de São José; b) Modelo Digital de Elevação da *Shuttle Radar Topography Mission*, obtido gratuitamente através da Internet, pelo site <http://seamless.usgs.gov>; c) Planilhas Excel da Microsoft; d) O software ArcMap/ArcInfo 9.0, disponibilizados para realização da pesquisa no Núcleo de Geoprocessamento – Epagri/Ciram;

3.3 Método empregado

3.3.1 Base cartográfica de referência

Para a realização de controle de qualidade de produtos cartográficos são usualmente utilizados pontos coletados em campo com alta precisão (precisão relativa com a escala), usando, para tanto, diferentes equipamentos. Atualmente, é muito comum o uso de receptores GPS para realizar tal levantamento. No entanto, segundo Merchant (1982), o erro admissível para os pontos de controle usados na verificação da qualidade geométrica de um produto cartográfico é de 1/3 do Erro-Padrão da escala esperada. Assim, o uso de uma base cartográfica na escala 1: 2.000 para obtenção dos pontos de controle são aceitáveis para a análise da qualidade geométrica dos dados desta pesquisa.

Assim, os dados usados como referência neste trabalho, são referentes à Base Cartográfica na escala 1: 2.000 generalizada para 1: 20.000 do município de São José – SC, com coordenadas UTM da zona 22 Sul e Sistema de Referência SAD69. Desta base cartográfica foram extraídos os pontos de referência para verificação da qualidade altimétrica dos MDEs da SRTM.

3.3.1.2 Definição dos pontos de referência altimétrica

Para a seleção dos pontos de referência altimétrica, alguns critérios foram estabelecidos como: concentrar os pontos nos locais de maior altitude, evitar pontos de mudança abrupta de altitude e distribuí-los de forma o mais homogênea possível sobre a área de estudo, considerando para tanto, os pontos cotados referentes à base cartográfica de São José.

Assim, foram selecionados 31 pontos de referência para verificação da qualidade altimétrica dos MDEs da SRTM (coordenadas E,N,H), seguindo a recomendação de Merchant (1982), onde sugere no mínimo 20 pontos para a realização dos testes estatísticos de qualidade geométrica de um produto cartográfico. A Figura 2 ilustra a localização dos pontos cotados selecionados para referência na realização dos testes de qualidade altimétrica dos MDE's da SRTM.

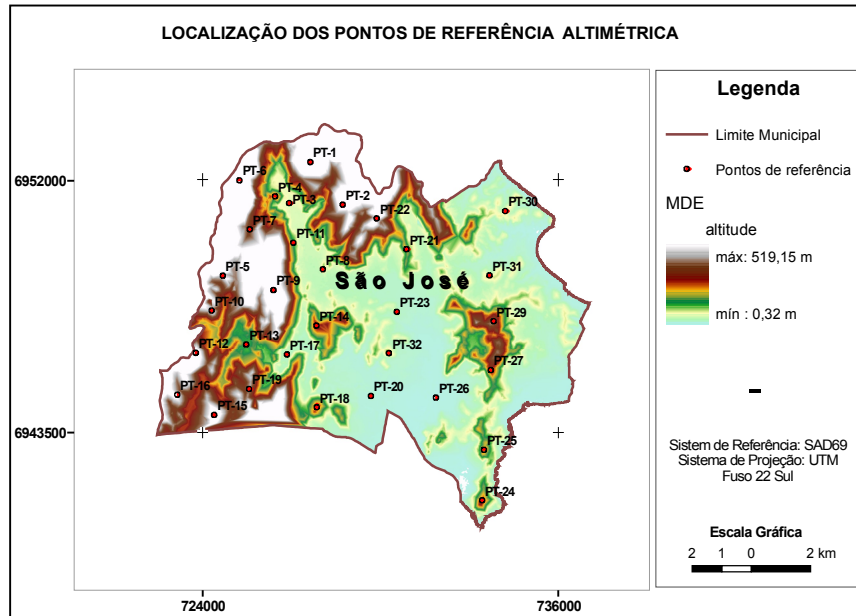


Figura 2 - Localização dos pontos de referência altimétrica

3.3.2 Preparação dos dados SRTM

O Modelo Digital de Elevação da SRTM, com resolução espacial de 90 metros, foi obtido gratuitamente através do site <http://seamless.usgs.gov>, no formato ESRI GRID, pois é este o formato padrão de imagens no ArcGIS 9.0.

De posse do MDE da SRTM referente ao Município de São José, realizou-se uma transformação de sistemas de referência usando os parâmetros oficiais brasileiros de conversão entre os dois sistemas, uma vez que o MDE original, gerado no ano de 2000, encontrava-se referenciado ao WGS84, sendo necessário convertê-lo para SAD 69 UTM Zona 22 Sul, pois a base cartográfica de referência encontra-se neste sistema. Para tanto, foram utilizadas ferramentas de conversão de sistemas de referência do ArcGIS 9.0.

3.3.2.1 Interpolação dos modelos usando interpolação bilinear

Para verificar se havia alguma alteração nos resultados finais em relação à qualidade geométrica dos dados da SRTM, e por ser este originalmente gerado pela NASA a partir de uma grade de 30 metros de resolução espacial, realizou-se uma interpolação bilinear no modelo digital de elevação original, de 90 metros para 30 metros de resolução espacial. Este produto recebeu o nome de "mde_30bil". O método de interpolação bilinear foi escolhido devido ao fato de ser este o método indicado na literatura, para adensamento de grade de modelos digitais de elevação quando não se deseja suavizar o modelo. Para tanto, utilizou-se a ferramenta *Resample* do ArcGIS 9.0.

3.3.2.2 Interpolação dos modelos usando krigagem

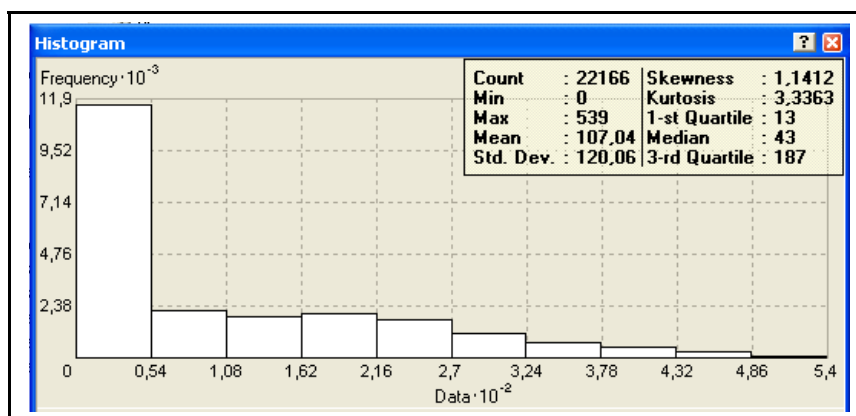


Figura 3 - Histograma na análise exploratória dos dados

Como a geoestatística está sendo muito utilizada para estimação de superfícies, optou-se por aplicá-la ao modelo da SRTM para também verificar o resultado final e comparar os métodos de interpolação utilizados neste trabalho, segundo a qualidade geométrica.

Para tanto, fez-se necessário a realização de uma análise exploratória (Figura 3), onde verificou-se o comportamento dos dados como número de amostras, mínimo e máximo valores, média, desvio-padrão e mediana, entre outros.

Para a geração de uma nova superfície com 30 metros de resolução espacial foi utilizado a Krigagem Ordinária, onde são atribuídos pesos diferentes à estimação devido à distância entre os pares.

Foram testados os diversos modelos teóricos de ajuste de semivariograma oferecidos pelo aplicativo *Geostatistical Analyst* do ArcGis 9.0 e o modelo que mais se ajustou foi o Modelo Esférico.

A Figura 4 ilustra o semivariograma ajustado ao Modelo Esférico e a Tabela 2 mostra os parâmetros da função de ajuste.

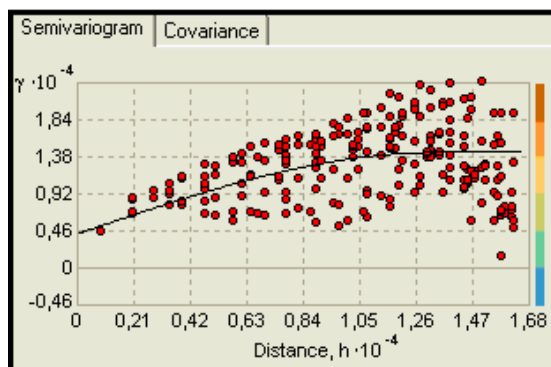


Figura 4 - Modelo Esférico

Tabela 2 - Parâmetros da função de ajuste

Nugget (efeito pepita) -	4249
Lag (alcance) - a	1380,7
Sill (contribuição) - C₁	10115
Patamar - C (C₀ + C₁)	14364
C₀/ C₀ + C₁	0,2958

Guimarães (2004) apresenta uma forma de classificar o dado quanto ao grau de dependência espacial, em função do efeito pepita e patamar. Desta forma, segundo o autor quando $C_0 / C_0 + C_1$ estiver entre 25% e 75% significa: variável com moderada dependência espacial. Desta forma, com o valor de 0,2958, a variável apresentou moderada dependência espacial, com o efeito pepita representando, então, aproximadamente 30% do patamar.

Verificou-se também que o fenômeno em estudo é considerado isotrópico, ou seja, apresenta a mesma característica, sugerindo o mesmo padrão de continuidade espacial nas diferentes direções. Testou-se a anisotropia nas direções: 0°, 45°, 90° e 135°, consideradas as principais direções a serem verificadas. Assim, foi gerado o produto "mde_30krig".

3.3.3 Análise da qualidade altimétrica dos dados da SRTM

A análise da qualidade altimétrica dos modelos da SRTM foi realizada com base no Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC.

3.3.3.1 Extração da coordenada altimétrica nos modelos

Admitindo-se como corretas as coordenadas planimétricas dos modelos digitais de elevação analisados, o arquivo de pontos de referência altimétrica foi utilizado para sobrepor cada um dos MDEs original e interpolados, lembrando que todos os produtos encontram-se no mesmo sistema de referência e projeção. Com ferramentas do ArcGis 9.0, a coordenada altimétrica foi extraída automaticamente dos modelos. Assim, o teste realizado concentrou-se em identificar o comportamento da altitude nos modelos, considerando os 31 pontos amostrais com coordenadas E e N pré-estabelecidas.

Com as coordenadas de referência altimétrica obtidas a partir dos pontos cotados e com as coordenadas altimétricas

de verificação extraídas automaticamente dos modelos original e interpolados obteve-se os dados necessários para a realização do teste estatístico com base no PEC.

4 Resultados

Abaixo pode ser visto o Modelo Digital de Elevação da SRTM original (Figura 5) e os interpolados para 30 metros de resolução espacial usando a interpolação bilinear (Figura 6) e krigagem (Figura 7).

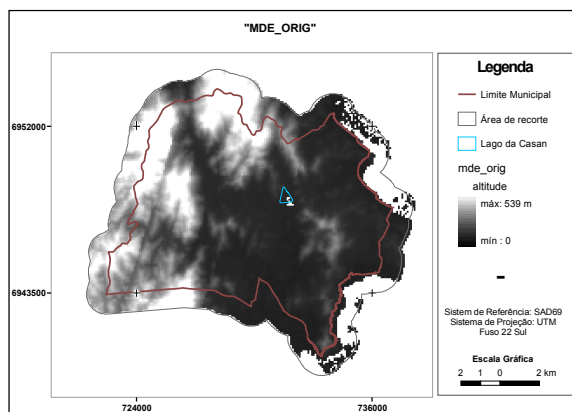


Figura 5 – MDE original da SRTM

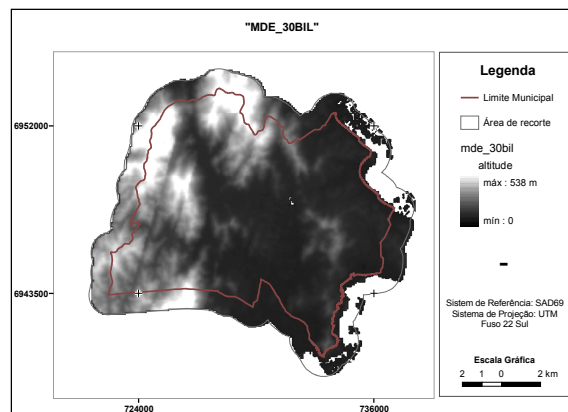


Figura 6 – Resultado da Interpolação bilinear

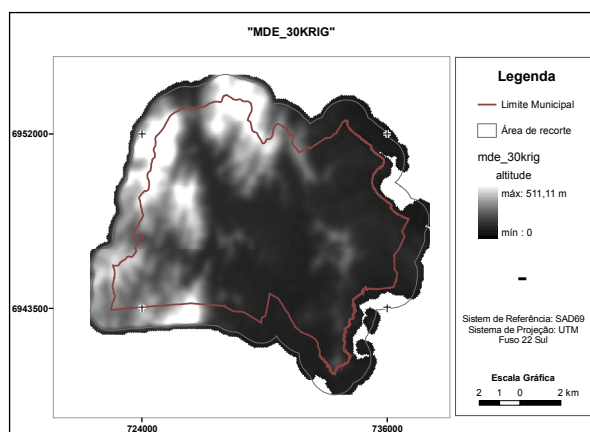


Figura 7 – Resultado da Krigagem

Pela Figura 6 percebe-se que após a interpolação bilinear houve uma suavização do modelo, o que já era esperado devido ao fato de reamostrar um dado que tinha como tamanho de pixel 90 metros e passou a ter 30 metros. Porém, este efeito não é tão perceptível visualmente, mas pode ser observado através do valor máximo de altitude que passou de 539 metros para 538 metros. Já na interpolação para 30 metros de resolução espacial usando o interpolador da geoestatística, a krigagem (Figura 7), ocorreu uma suavização acentuada no modelo, fato que pode ser constatado visualmente e através do valor máximo de altitude, que no modelo original (Figura 5) apresentava altitude máxima de 539 metros e no “mde_30krig” este valor passou a ser de 511,11 metros.

Abaixo, na Tabela 3, segue os resultados obtidos quanto à qualidade altimétrica dos modelos segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica.

Tabela 3 – Resultados da qualidade altimétrica segundo o PEC

Produto	Padrão de Exatidão Cartográfica			
	Erro-Padrão(m)	PEC(m)	Escala	Classe
“mde_orig”	27,69	45,54	1:250.000	A
“mde_30bil”	27,53	45,29	1:250.000	A
“mde_krig”	29,50	48,52	1:250.000	A

É importante salientar que para as análises quanto à qualidade altimétrica, foi definida a eqüidistância de 100 metros entre as curvas para a escala 1: 250.000.

Como pode ser visto na tabela 3, os modelos interpolados para uma grade de 30 metros de resolução espacial, de acordo com o PEC, obtiveram a mesma classificação em relação ao produto original “mde_orig”, ou seja, os três diferentes modelos digitais de elevação atendem aos requisitos geométricos para elaboração de produtos cartográficos na escala 1:250.000, Classe A.

5 Conclusão

Diante dos resultados obtidos quanto à qualidade altimétrica dos modelos digitais de elevação interpolados para 30 metros de resolução espacial é possível chegar a seguinte conclusão: a reamostragem dos pixels do MDE da SRTM de 90 para 30 metros de resolução espacial não acrescentou qualidade geométrica ao dado, independentemente do interpolador utilizado, obtendo-se os mesmos resultados que o MDE original, isto é, escala 1:250.000, Classe A. O que ocorreu foi uma pequena variação de valores de Erro-Padrão nos diferentes modelos, mas não o suficiente para alterar a classificação do produto cartográfico segundo o PEC.

Portanto, aplicando técnicas de refinamento de modelo, ou seja, adensamento da grade, que neste caso foi 90 para 30 metros, não resultou em melhora da qualidade geométrica do Modelo Digital de Elevação da SRTM.

Para a escala 1:250.000, a utilização de um ou outro interpolador (Bilinear ou krigagem) não interferiu na questão geométrica. No entanto, o uso da interpolação bilinear resultou em um produto mais fiel em relação ao original, o que não ocorreu com o MDE interpolado usando a krigagem, pois resultou em uma acentuada suavização da superfície, que pôde ser constatada tanto visualmente quanto na diferença de valores de altitudes máximas antes e depois da interpolação (539 metros para 511 metros de altitude máxima).

É importante destacar que o uso de um ou outro interpolador (Bilinear ou krigagem) não interferiu na questão geométrica ao se tratar da escala 1:250.000, mas que segundo Souza (2005), isto não se verificou em escalas maiores, sendo recomendado o uso da Interpolação Bilinear para a interpolação de Modelos Digitais de Elevação.

6 Referências Bibliográficas

ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**. Curitiba – PR. SBEE, 1998

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. São Leopoldo – RS. Editora Unisinos, 2003

BRASIL. Decreto-Lei nº 89.817 de 20 de junho de 1984. **Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Brasília, Diário Oficial da União, 1984.

FELGUEIRAS, C. A. **Introdução a geoinformação, Capítulo 7 - Modelagem numérica de terreno**. (2001) Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/4mnt.pdf> Acesso em Março de 2005.

GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística básica e aplicada**. 2004. Disponível em <www.famat.ufu.br/ednaldo/ednaldo>. Acesso em Março de 2005.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. Oxford University Press, 1989.

JPL - Jet Propulsion Laboratory - **NASA/JPL SRTM**. 2002. Disponível em <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>>. Acesso em Janeiro de 2005.

MERCHANT, D. C. **Spatial accuracy standards for large scale line maps**. In: American Congress on Surveying and Mapping, v.1, 1982. Technical Papers of the American Congress on Surveying and Mapping, 1982.

NERO, M. A. **Proposta para o controle de qualidade de bases cartográficas com ênfase na componente posicional**. (2005) Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

SOUZA, J.M. **Análise da qualidade cartográfica dos dados da Shuttle Radar Topography Mission – SRTM**. (2005). Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

USGS. United States geological Survey. **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)**. 2005. <<http://edc.usgs.gov/products/elevation/srtm>>. Acesso em Janeiro de 2005.