

Comparação Entre Dados SRTM e de Mapeamento Sistemático: Região Centro-Oeste do Estado de São Paulo

Thiago de Castilho Bertani¹
Daniel Luís Andrade e Silva^{1,2}
Bruno Rodrigues do Prado¹
Ericson Hayakawa¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil

² Diretoria de Serviço Geográfico - DSG
QGEEx - Bloco "F" - SMU - 70630-901 - Brasília - DF, Brasil

thiago.bertani@cptec.inpe.br
andrade@dsr.inpe.br
prado@dsr.inpe.br
ericson@dsr.inpe.br

Abstract: The Digital Elevation Models (DEM) derived from the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) is an interesting new source of topographic data available for South America. The quality of these topographic data is based on the data source, its resolution and characteristics of the terrain. This study evaluates the response of SRTM data related to the existent topographic data over different landscape and geomorphologic conditions. Statistical measures of accuracy and precision, developed through distinct data sets over the study area, were used to evaluate the data quality and discuss the errors founded. The results demonstrate that while some regions show high precision and accuracy, a relationship between irregular terrain and data quality could not be found in the studied area.

Keywords: SAR Interferometry; DEM; Accuracy; Precision

Resumo: Os Modelos Digitais de Elevação (MDE) obtidos a partir dos dados do projeto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) para a América do Sul são uma interessante fonte de dados topográficos. Os erros relativos a esses dados topográficos estão vinculados ao processamento feito pela fonte, resolução espacial e características da superfície. Neste estudo é realizada uma comparação entre os dados estimados por interferometria (SRTM) e dados do mapeamento sistemático na escala 1:50.000 de uma área do centro-oeste do estado de São Paulo sob condições de relevo distintas. Medidas estatísticas de exatidão e precisão dos diferentes conjuntos de dados foram utilizadas para avaliar sua qualidade. Os resultados indicam alta precisão e exatidão para alguns conjuntos de dados, mas os resultados não mostram uma relação clara entre a magnitude dos erros e as características do relevo da região estudada.

Palavras-Chave: Interferometria SAR; MDE; Precisão; Exatidão

1. Introdução

A utilização de bases topográficas digitais obtidas por sensores orbitais representa uma alternativa de grande interesse para suprir a carência de mapeamentos, sobretudo na

África, Oceania e América do Sul. Nesse contexto, destacam-se os dados disponibilizados pelo projeto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), sob resolução de 90 metros (a rigor, 3'' ou 0,000833°) para a América do Sul (VALERIANO, 2004).

Os níveis de precisão e exatidão relativos a um conjunto de dados ou banco de dados geográficos referem-se à qualidade desses dados. Os erros englobam tanto imprecisão quanto inexatidão e referem-se tanto a tipos de informação quanto a níveis de medição (FOOTE; HEUBNER, 1995). Para os mesmos autores, os erros posicionais são de grande interesse em um SIG (Sistema de informações Geográficas) já que podem afetar diferentes características da informação armazenada em um conjunto ou banco de dados geográficos.

Para Foote e Heubner (1995), é de grande interesse a distinção entre os conceitos de exatidão e precisão. A exatidão é o grau de equivalência entre a informação em um mapa ou em um conjunto de dados digital e valores reais ou aceitos como corretos. Exatidão é uma questão pertinente à qualidade dos dados e do número de erros em um conjunto de dados ou mapa. Em se tratando de um conjunto de dados em um SIG, é possível considerar exatidão vertical e horizontal em relação à posição geográfica, assim como a exatidão ou acurácia dos atributos, acurácia lógica e acurácia conceitual. Antenucci et al. (1991) define a exatidão posicional como uma medida de discrepância das feições de um mapa e a real posição dos atributos. Esses erros estariam, portanto, vinculados à escala original dos dados.

Segundo Ratzé et al. (2007), alguns dos problemas principais na modelagem dos ecossistemas são os efeitos da escala e exatidão dos MDE aliados a potenciais incompatibilidades entre as escalas nas quais outros modelos físicos operam, de dados disponíveis e do uso final ou saída desses modelos. Para Valeriano (2004), áreas cobertas com mapeamentos sistemáticos são também beneficiadas à medida que a preparação do material cartográfico para o processamento em um SIG demanda mão-de-obra e tempo expressivos nos custos de um projeto de pesquisa. Portanto, a comparação de dados obtidos por sensores remotos com outros tipos de aerolevantamento tem como finalidade identificar características sobre a qualidade dos dados ou viabilidade de utilização para fins diferenciados.

O presente estudo tem como finalidade a verificação da qualidade dos dados fornecidos pelo projeto SRTM, ou dados SRTM, estimados por interferometria em função de dados do mapeamento sistemático na escala 1:50.000 sob diferentes condições de relevo e altitude em uma região localizada no centro-oeste do estado de São Paulo. Dentro da área de estudo, foram selecionadas quatro áreas localizadas em regiões geomorfológicas distintas

no desvão deprimido. Têm seu aperfeiçoamento ligado a fases ativas de pediplanação (aplainamentos neogênicos) com fases de degradação lenta (climáticos e tectônicos). Essas superfícies interplanálticas ou intermontanas são interrompidas pela região (ii), cuestras basálticas, onde há um grande acréscimo na altitude.

O termo *cuesta* é muito usado na descrição dos processos de circundesnudação, no entanto sua definição abrange também outras porções do modelado. Segundo Penteadó (1983), podemos descrever um relevo de *cuesta* como uma forma de relevo dissimétrica constituída de um lado por um perfil côncavo em declive íngreme e do outro por um planalto suavemente inclinado. Desenvolve-se por erosão diferencial e é resultado de uma superimposição da drenagem em estruturas homoclinais (baixa inclinação). As *cuestas* paulistas na borda do Planalto Ocidental são mantidas por basalto oriundo de derrames ocorridos por toda a Bacia do Paraná durante o Mesozóico. As camadas de basalto se intercalam com níveis de arenito triássicos e arenito silicificado e é por essa razão que são também denominadas *cuestas* arenito-basálticas. Detalhes sobre os elementos topográficos que constituem um relevo de *cuestas* podem ser encontrados em Penteadó (1983).

O Planalto Ocidental, ou região (iii), é composto por antigos plainos que foram reduzidos, rebaixados, retrabalhados com conseqüente perda de depósitos correlativos e acréscimo de crostas. Conhecida como fase erosiva Pós-Bauru, nessas superfícies de cimeira são comuns as coberturas lateríticas e formações suprabasalto, como as formações do Grupo Bauru, que possuem origem sedimentar (AB'SABER, 1969).

3. Procedimentos Metodológicos

3.1 Dados e Transformações

Foram utilizados os dados do SRTM para o estado de São Paulo disponíveis em http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/SRTM_BR.php e que consistem em um arquivo do tipo *raster* no formato GEOTIFF. Maiores detalhes sobre o pré-processamento desses dados pela fonte, como o preenchimento de falhas existentes nos dados e modificação do datum, podem ser encontrados em Weber et al. (2004).

Adicionalmente, foram utilizadas as cartas topográficas do mapeamento sistemático na escala 1:50.000 do ano 1969. A relação das cartas utilizadas e a articulação espacial podem ser vistas na figura 2.

Cartas Topográficas (IBGE - 1:50.000)		Articulação Espacial		
Folha	Articulação			
São Manuel	SF-22-Z-B-V-2	SF-22-Z-B-V-2	SF-22-Z-B-VI-1	SF-22-Z-B-VI-2
Pratânia	SF-22-Z-B-V-4			
Itatinga	SF-22-D-II-2			
Barra Bonita	SF-22-Z-B-VI-1			
Botucatu	SF-22-B-IV-3			
Bofete	SF-22-Z-D-III-1			
Santa Maria da Serra	SF-22-Z-B-VI-2	SF-22-Z-B-V-4	SF-22-Z-B-VI-3	SF-22-Z-B-VI-4
Anhembi	SF-22-Z-B-VI-4			
Conchas	SF-22-Z-D-III-2	SF-22-Z-D-II-2	SF-22-Z-D-III-1	SF-22-Z-D-III-2

Figura 2. Cartas topográficas utilizadas (esquerda) e sua articulação espacial (direita).

Com os dados do SRTM, foi obtido dentro do software ARC/INFO um MDE no formato ESRI GRID (ESRI, 2006). A projeção dos dados para o fuso 22 do Sistema UTM (*Universal Transverse of Mercator*) de coordenadas para o Hemisfério Sul causou uma distorção no espaçamento entre *pixels* dos dados originais de 90 x 90 metros para 91.14 x 84.16 metros. Uma terceira operação foi efetuada, a qual consistiu no redimensionamento desse arquivo para os limites (*extent*) da área de estudo. Essa operação resultou em um arquivo no formato ESRI GRID com espaçamento entre *pixels* de 84,16 x 84,16 metros.

A partir das cartas topográficas, digitalizaram-se as curvas de nível com espaçamento de 20 metros entre si utilizando o software AutoCAD Map (versão 2004). Posteriormente, obteve-se um arquivo digital composto por isolinhas altimétricas digitalizadas, o qual foi importado pelo ARC/INFO como uma feição de linhas.

Valeriano (2004) destaca que o procedimento de interpolação consiste na reamostragem dessa informação de modo a comprometer ou alterar sua exatidão. Portanto, para efeito de comparação, não se deve interpolar isolinhas de altitude. Foi então obtida uma malha de pontos exclusivamente incidentes sobre as isolinhas dentro do ARC / INFO. Adicionalmente, foram extraídos para essa malha de pontos os valores altimétricos do modelo SRTM e foram atribuídos valores altimétricos para cada ponto utilizando a técnica *bilinear*, que corresponde a atribuição, para cada um desses pontos, do valor da média ponderada dos quatro *pixels* adjacentes de acordo com um raio de procura que considera a localização do ponto em função dos centróides desses *pixels*.

3.2 Comparação dos Dados

No presente estudo, foram aceitos como valores reais ou observados os dados relativos às cartas topográficas do IBGE. A partir desses dados, é elaborada uma comparação com os dados estimados por interferometria (SRTM) em quatro áreas distintas previamente selecionadas dentro da área de estudo, as quais se situam em diferentes regiões geomorfológicas, resultando em diferentes conjuntos de valores. O modo de seleção e a localização dessas áreas são descritos no tópico seguinte.

A partir desses conjuntos de dados, utilizaram-se os valores da Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático, ou RMSE em inglês, e a diferença entre a média global dos valores estimados e observados (Viés) para avaliar sua exatidão. Para verificar a precisão, utilizou-se o valor do Coeficiente de Correlação de Pearson elevado ao quadrado (R^2) que avalia a dispersão absoluta entre os conjuntos de dados. Através dos valores do Viés, procurou-se avaliar se os valores estimados apresentam erros positivos (superestimados) ou negativos (subestimados) em torno dos valores reais, ou seja, sua exatidão. Os valores da RMSE, devido a sua função quadrática, promovem a maximização desses erros de forma a evidenciar sua amplitude através de valores absolutos.

O Coeficiente de Correlação de Pearson é um método que trata de especificar a proporção da variabilidade entre variáveis linearmente descritas uma pela outra. Sendo assim, é um método bom para se avaliar a precisão, porém, é insensível à escala de grandeza de conjuntos de dados. Dessa maneira, as medidas de precisão e exatidão são complementares e buscam discutir os erros dentro desses conjuntos de dados.

4. Resultados

4.1 Áreas amostrais

Foram selecionadas quatro áreas amostrais representativas das macro unidades geomorfológicas da região de estudo a fim de verificar a concordância entre os dados (SRTM) e os dados observados nas cartas topográficas do IBGE, como mostra a figura 3. A seleção dessas áreas foi feita baseando-se nos dados SRTM, no mapa de regiões geomorfológicas do estado de São Paulo (IPT, 1981) e uma imagem óptica do sensor Landsat 5/TM, gerada em abril de 2000 (Órbita/ponto - 220/076). O critério utilizado na seleção gráfica considerou o padrão das formas de relevo dentro de cada zona de amostragem e procurou identificar elementos representativos utilizando os princípios da homogeneidade das formas de relevo,

seu posicionamento altimétrico relativo e características genéticas semelhantes. Ilustrações tridimensionais das zonas de amostragem obtidas a partir dos dados SRTM e da imagem do Landsat elaboradas no ARC / INFO podem ser vistas na figura 4.

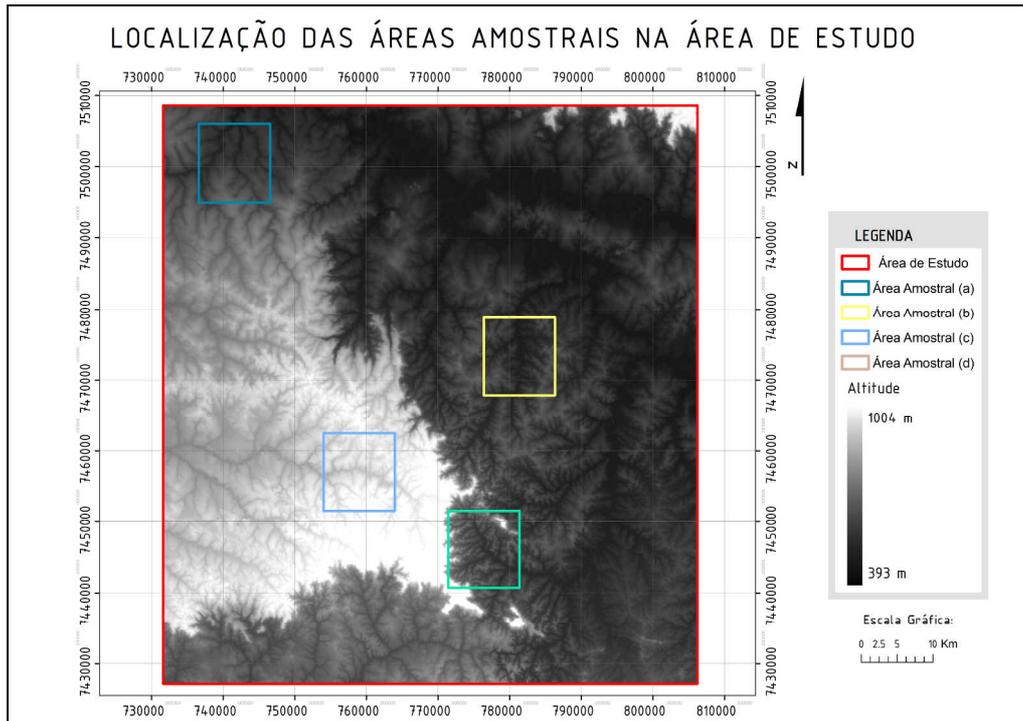


Figura 3. Área de estudo e localização das áreas de amostragem (a, b, c e d).

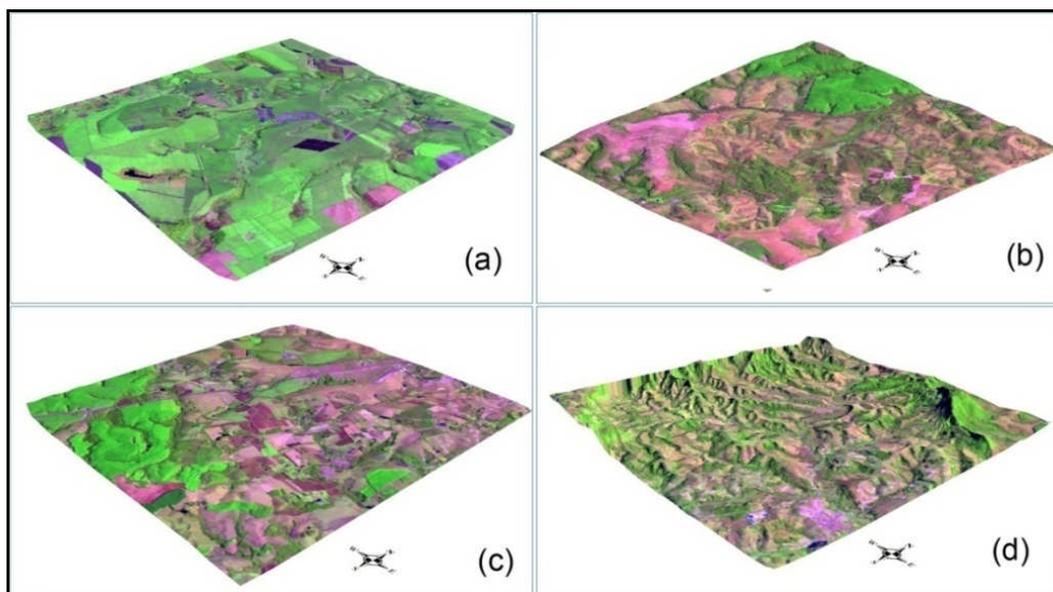


Figura 4. Ilustrações em 3D do relevo obtidas da integração SRTM e imagem LandSat 2000 (com exagero vertical de 2 vezes) das áreas amostrais localizadas no Planalto Ocidental Paulista(a), Depressão Periférica Paulista (b), Reverso da Cuesta (c).e Frente da Cuesta (d).

4.1.1 Amostra (a)

Esta área está inserida, ou Planalto Ocidental Paulista (iii), o qual é tido como uma ampla plataforma estrutural e é representado por relevos de Colinas Amplas e Colinas Médias, os quais estão sujeitos ao controle estrutural das camadas sub-horizontais dos arenitos do Grupo Bauru e das rochas efusivas básicas da formação Serra Geral (IPT, 1981). A área de amostra (a) caracteriza-se por formas levemente onduladas com longas encostas e baixas declividades, resultando em um relevo colinoso com topos aplanados. No trecho selecionado, o subnívelamento do relevo mostra um caimento para norte, em direção à calha do Rio Tietê, com altitudes médias em torno de 553,16 metros (Fig. 7-IV). Nesta área, de forma geral, observou-se baixa intensidade de dissecação das formas de relevo e vales pouco entalhados, com aumento do entalhamento em direção a calha do Tietê.

4.1.2 Amostra (b)

A área de amostragem (b) correspondente a um trecho da Depressão Periférica Paulista (iii) que declina suavemente, a partir do sopé da escarpa, por alguns quilômetros em direção a represa de Barra Bonita e é recortada em largos interflúvios de direção norte-sul. Nessa zona de amostragem, as altitudes médias são de 535,7 metros (fig. 7-IV). Mesmo apresentando áreas mais dissecadas nas proximidades da calha do rio Tietê, com interflúvios estreitos e sinuosos, compreende a amostra com características mais homogêneas dentro da área de estudo.

4.1.3 Amostras (c) e (d)

As áreas de amostragem (c) e (d) estão inseridas na Província Geomorfológica das Cuestas Basálticas (IPT, 1981) e correspondem ao Reverso imediato e à Frente da escarpa arenito-basáltica, respectivamente. Segundo Coutard et al. (1978), a Frente da Cuesta é caracterizada por vertentes em sulcos sendo que o Reverso da cuesta apresenta vales menos encaixados, topos arredondados e maior convexidade das formas do modelado, ao invés de formas côncavas presentes na Frente da Cuesta. Observaram-se na área (c) canais fluviais com estreitas dimensões na largura, muito provavelmente devido à presença de bancos de materiais de origem sedimentar inconsolidados, seguidos também pela menor sinuosidade. As

áreas (c) e (d) apresentam altitudes médias em torno de 854 e 619 metros, respectivamente, como mostra a figura 5-IV.

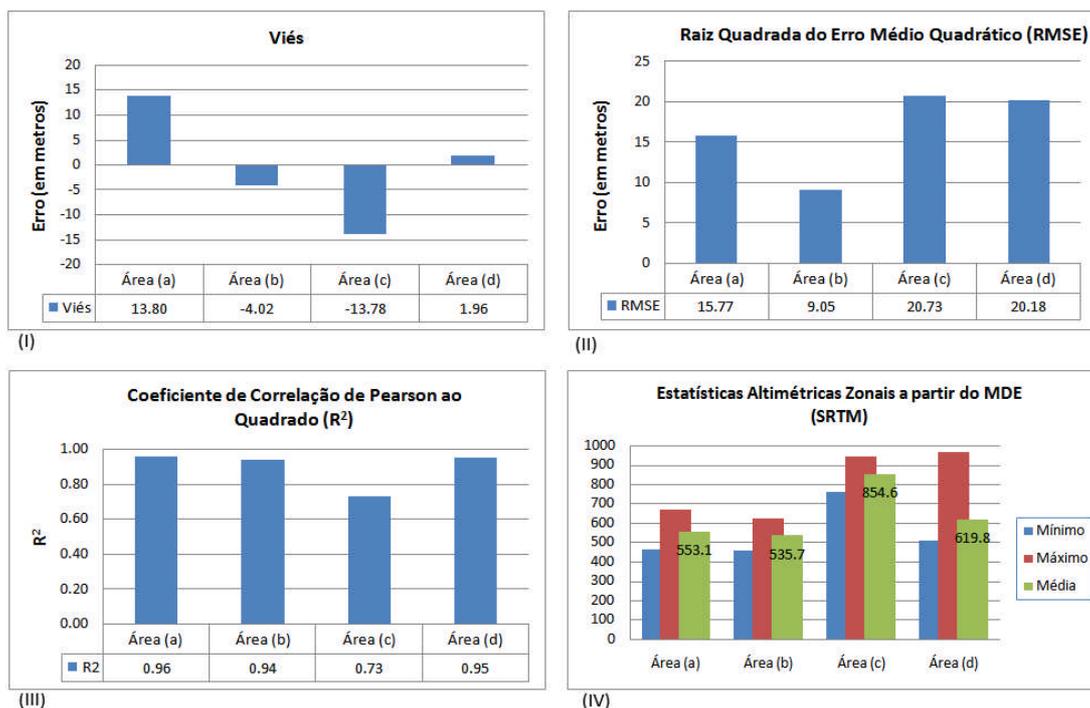


Figura 5. Valores de Viés (I), Raiz-Quadrada do Erro Médio Quadrático (II), Coeficiente de Correlação de Pearson elevado ao quadrado (III) dos conjuntos de dados estimados e observados para cada amostra (a, b, c e d) e valores máximos, mínimos e médios de altitude (SRTM) (IV) para essas mesmas áreas amostrais.

4.2. Avaliação da Exatidão e Precisão

A figura 5-I mostra o erro total a partir do Viés para as áreas amostrais. Os valores obtidos mostram, em metros, a concordância entre os valores médios de cada conjunto de dados. Nota-se que os conjuntos de valores observados foram subestimados nas áreas (b) e (c) e superestimados nas áreas (a) e (d) pelos valores dos dados SRTM. Particularmente, o valor mais alto corresponde à (a). Nesse caso, o valor do Viés mostra uma superestimativa da ordem de 13,8 metros. No entanto, as características do relevo nesta área amostral mostram uma pequena variação altimétrica e um baixo grau de dissecação. Para (c), que corresponde a uma área de amostragem com relevo predominantemente composto por formas suaves, obteve-se igualmente um valor alto. Nesse caso, os valores foram subestimados em 13,7 metros. Nas áreas (b) e (d), os valores foram de -4 metros e 1,9 metros, respectivamente. Curiosamente, a área amostral que apresentou o menor valor para o Viés é a (d), onde o relevo é bastante dissecado com formas predominantemente côncavas e grande variação altimétrica.

Os valores da RMSE são mostrados na figura 5-II. Os erros alcançaram amplitudes de mais de 20 metros no caso das zonas (c) e (d). Notam-se, pela observação da figura 5-IV, que essas duas zonas são as que possuem as maiores médias altimétricas. A zona (d), particularmente, apresenta um alto grau de dissecação do relevo. Para a zona (b), com relevo bastante homogêneo e a mais baixa média altimétrica entre as zonas, foi obtido um valor aproximadamente 50% menor em relação às zonas (c) e (d). Na zona (a), que apresenta baixo índice de dissecação e pouca variação nas altitudes, obteve-se um valor aproximadamente 25% menor que para as zonas (c) e (d).

Os respectivos valores de R^2 para as áreas de amostragem são mostrados na figura 5-III. Pode-se dizer que, de forma geral, a dispersão entre os dados foi baixa. A maior dispersão entre os conjuntos de dados é observada na zona (c), para a qual o valor de R^2 é de 0,73. Nas áreas (a), (b) e (c), o valor de R^2 manteve-se acima de 0,90 indicando uma boa precisão para essas localidades.

5. Conclusões

Os valores ou medidas de exatidão mostram erros notadamente maiores para algumas das áreas amostrais. Os valores do Viés mantiveram-se bastante altos para as zonas (a) e (c) em relação às demais, caracterizando-as como inexatas. Observou-se ainda que onde a média altimétrica é maior, como em (c), houve uma subestimativa e onde a média altimétrica é menor, no caso (a), houve a superestimativa. Não há, no entanto, uma relação clara entre as médias de altitude e esses valores já que (b) apresenta média altimétrica igualmente baixa e os valores foram ligeiramente subestimados. Do mesmo modo, em (d), onde as formas de relevo são bastante dissecadas e associadas a uma grande variação altimétrica, houve uma superestimativa, mas o valor de erro foi ainda menor que nas demais áreas.

Nos valores da RMSE, observou-se uma amplitude de erro bastante grande para (c) e (d), porém, as formas de relevo nestas áreas são bastante distintas e somente as altitudes médias são maiores em relação às demais. Em relação ao valor de R^2 , de um modo geral, não houve muita variação o que indica uma boa precisão. Constatou-se adicionalmente que a área (c) apresentou uma dispersão aproximadamente 20% maior que as demais zonas de amostragem, o que muito provavelmente está relacionado aos maiores valores de altitude

nessa área. Do mesmo modo, a exatidão posicional para (c) foi igualmente mais baixa em relação às demais áreas caracterizando-a como imprecisa e inexata.

Conclui-se, portanto, que houve um significativo grau de diferenciação em relação à precisão e exatidão entre as zonas de amostragem. Apesar de não terem sido considerados os erros inerentes as escalas originais e decorrentes do processo de digitalização das bases cartográficas e projeção dos dados SRTM, obtiveram-se resultados que indicam uma alta precisão e exatidão, embora para determinadas áreas os níveis de precisão e exatidão foram relativamente baixos. Pesquisas futuras devem procurar revelar tais problemas através de estudos sistemáticos, o que poderia melhorar a qualidade dos resultados obtidos nesse trabalho.

6. Bibliografia

Ab'Saber, A. N. (1969) A depressão periférica paulista: um setor das áreas de circundesnudação pós-cretácica na Bacia do Paraná. *Geomorfologia São Paulo*. 15: 1-15.

Antenucci, J. C. ; Brown, K. ; Crosswell, P. L. ; Kevany, M. J. ; Archer, H. (1991) *Geographic Information Systems: a guide to the technology*. Van Nostrand Reinhold, New York: p.102. In: Foote; Huebner (1995).

Coutard, J. P. ; Ferreira, R. D. D. ; Pellerin, J. ; Queiroz Neto, J. P. (1978) Carta Geomorfológica de São Pedro, SP: Memorial Explicativo. *Sedimentologia e Pedologia*, 12: 1-33.

Environmental Systems Research Institute (ESRI) (2006). *ArcGIS Desktop Help* 9.2. Disponível em: <<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2>>. Acesso em: 03 jun. 2008.

Foote, K. E. ; Huebner, D. J. (1995) *Error, Accuracy and Precision*. The Geographer's Craft Project. Department of Geography. University of Colorado at Boulder.. Disponível em: <http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/error/error_f.htm>. Acesso em: 01 jun. 2008.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT) (1981) Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. Escala 1:1.000.000. São Paulo.

Penteado, M. M. (1983) Fundamentos de Geomorfologia. Rio de Janeiro. IBGE. 185p.

Ratzé, C.; Gillet, F.; Muller, J. P.; Stoffel, K. (2007) Simulation modelling of ecological hierarchies in constructive dynamical systems. *Ecological Complexity*. 4: 13-25.

Valeriano, M. M. (2004) Modelo digital de elevação com Dados SRTM disponíveis para a América do Sul. São José dos Campos: INPE. 72p. (INPE-10550-RPQ/756).

Weber, E. ; Hasenack, H. ; Ferreira, C. J. S. (2004) Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação. Porto Alegre, UFRGS Centro de Ecologia. Disponível em: <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>. Acesso em 01 jun.2008.