

# AVALIAÇÃO DA PRECISÃO VERTICAL DOS MODELOS SRTM PARA A AMAZÔNIA

*Evaluation of vertical precision SRTM's models to Amazônia*

**Paulo Roberto Alves dos Santos**<sup>1,2</sup>  
**Clovis Gaboardi**<sup>2</sup>  
**Leonardo Castro de Oliveira**<sup>2</sup>

<sup>1</sup> **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)**

Av. República do Chile, 500, 15<sup>o</sup> andar – 20031-170 – Centro – Rio de Janeiro – RJ, Brasil  
pauloroberto@ibge.gov.br

<sup>2</sup> **Instituto Militar de Engenharia – IME**

Praça Gal. Tiburcio, 80, 6<sup>o</sup> andar - 22290-270 – Urca – Rio de Janeiro – RJ, Brasil  
{gaboardi, leonardo}@ime.br

## RESUMO

Esse trabalho descreve um experimento de avaliação da precisão vertical dos MDE interferométricos do radar de abertura sintética em banda C do SRTM comparando com MDE da carta topográfica 1:100.000 e pontos de campo GPS. A área de estudo é delimitada pelos paralelos 2° 30' e 3° 00' S e meridianos 59° 30' e 60° 00' W, no estado do Amazonas, próximo a cidade de Manaus. Os resultados demonstraram que na área de estudo o MDE SRTM apresentou uma avaliação satisfatória da precisão vertical. Neste caso, o MDE SRTM foi melhor do que o MDE obtido a partir das informações da carta topográfica.

**Palavras chaves:** missão SRTM, interferometria, modelo digital de elevação, Região Amazônica.

## ABSTRACT

This paper describes an experiment for evaluation of the vertical precision of the SRTM's DEM of the C band of interferometric SAR which was compared with the Topography Chart's DEM 1:100 000 and the GPS field points. The study area is delimited by the parallels 2° 30' and 3° 00' S and meridians 59° 30' and 60° 00' W, in the Amazonas State, near Manaus City. The results demonstrated that in the study area the SRTM Mission's DEM showed satisfactory evaluation of the vertical precision. In this case, SRTM's DEM were better than DEM produced by topographic chart information.

**Keywords:** SRTM mission, interferometry, digital elevation model, Amazonian Region.

## 1. INTRODUÇÃO

O Sensoriamento Remoto tem evoluído no sentido de tornar-se uma importante fonte de informações da superfície terrestre para estudos de características topográficas, tais como a elevação do terreno (TOUTIN *et al.*, 2000). No Brasil, a Região Amazônica apresenta como característica a cobertura quase que permanente de nuvens, chuvas constantes, presença de fumaça e dificuldade de acesso, o que acarreta uma deficiência de mapeamento topográfico e

de informações de recursos naturais. O uso de Sensores Remotos é uma opção para obtenção de informações, embora com limitações no espectro ótico em função de condições atmosféricas desfavoráveis, que dificultam o mapeamento sistemático da região (PARADELLA *et al.*, 2001).

A interferometria de radar é um método alternativo ao método estereoscópico tradicional de extração de informações altimétricas, utilizando as propriedades de coerência do Radar de Abertura Sintética (SAR) e aproveitando as vantagens dos

sistemas de radar e do processamento digital de imagens (TOUTIN & GRAY, 2000). Por ser um sensor ativo, o radar não necessita de luz solar para o imageamento e, principalmente por atuar na região de microondas do espectro eletromagnético, não sofre a influência do ambiente. Em função destas características a interferometria SAR possibilita a elaboração de Modelos Digitais de Elevação (MDE), tão importantes para a cartografia, geomorfologia, geologia dentre outras, mesmo nas condições adversas encontradas na Região Amazônica.

Neste contexto, a missão SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) colocou em órbita em fevereiro de 2000 a nave espacial *Endeavour*. Esta nave levou em seu compartimento de carga um equipamento SAR interferométrico, operando nas bandas C e X. Uma haste mecânica presa à nave, levou em sua extremidade duas antenas receptoras do SAR, bandas C e X (Fig. 1). Ao longo de 11 dias, utilizando a técnica de interferometria de uma passagem, foi imageada 80% da superfície terrestre, compreendendo os paralelos 60° N e 56° S, fornecendo modelos tridimensionais com amplitude da grade de 30 metros (SRTM 1) e 90 metros (SRTM 3) (CHIEN, 2000). Essa Missão foi um projeto realizado em conjunto pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e NIMA (*National Imaging and Mapping Agency*), dos EUA, com participação das agências espaciais DLR (*Deutsche Zentrum für Luft-und Raumfahrt*), da Alemanha, e ASI (*Agenzia Spaziale Italiana*), da Itália.

Os modelos em banda C com 90 m (SRTM-3) estão disponibilizados para o continente Sul Americano, trazendo a expectativa de aplicabilidade para estudos que trarão um maior conhecimento e controle da Região Amazônica.

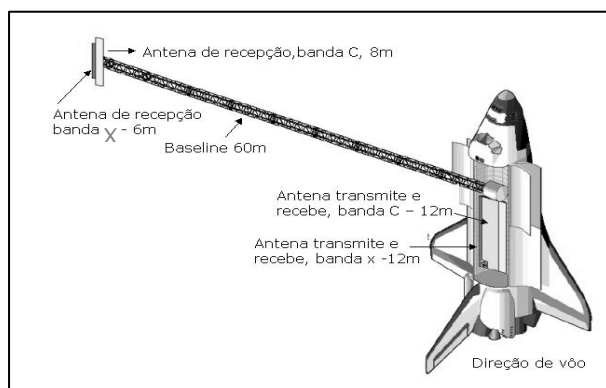


Fig. 1 - Missão SRTM- Detalhes do Radar Interferométrico.

Fonte: Adaptado de RABUS *et al.* (2003)

## 2. OBJETIVO

Avaliar a qualidade vertical dos Modelos Digitais de Elevação obtidos a partir do Radar Interferométrico em banda C da Missão Shuttle de Radar Topográfico (SRTM) e seu uso na escala de 1:100.000,

visando contribuir para o desenvolvimento do mapeamento plano altimétrico e estudos na Região Amazônica.

## 3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área escolhida para desenvolvimento deste estudo é parte da Região Amazônica, no Estado do Amazonas, próxima à cidade de Manaus e está delimitada pelos paralelos 2° 30' e 3° 00' S e meridianos 59° 30' e 60° 00' WGr. A escolha desta área é justificada pelas seguintes condições:

- disponibilidade de base cartográfica na escala de 1:100.000;
- disponibilidade de levantamento de campo com GPS;
- disponibilidade de Modelo SRTM (90 m);
- ausência de mapeamento plano altimétrico para grande parte da Região Amazônica.

## 4. FASES DO TRABALHO

As fases de desenvolvimento do trabalho são descritas à seguir:

### 4.1. Edição e preparação da base cartográfica

A carta topográfica Efigênio de Salles (SA.21-Y-A-IV), na escala de 1:100.000, sistema de coordenadas UTM, *Datum* Horizontal SAD-69 e *Datum* Vertical Imbituba-SC, editada pela Diretoria do Serviço Geográfico do Exército (DSG) em 1981 foi convertida para meio digital por “*escanerização*” e vetorização realizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A partir destes arquivos vetoriais fez-se edições visando identificar e eliminar as inconsistências dos arquivos utilizando-se o módulo “*Base Mapper*” do aplicativo *MGE*.

### 4.2. Pontos de campo GPS

No levantamento dos pontos de campo da área de estudo, foram utilizados dois receptores GPS Geodésicos de dupla frequência, modelo *Legacy* da *Javad* com 16 Mb de memória, e dois receptores GPS Geodésicos e Cadastrais de uma frequência, modelo *Reliance* da *Ashtech* com 4,5 Mb de memória. Na determinação dos pontos utilizou-se como base o vértice da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) localizado na 4ª Divisão de Levantamento da Diretoria do Serviço Geográfico do Exército (DSG), situada em Manaus, no Estado do Amazonas. Para determinação das coordenadas dos pontos no modo cinemático, utilizou-se os receptores Geodésicos e Cadastrais *Reliance* da *Ashtech* com precisão melhor que submétrica e o aplicativo *Reliance Processor*. As altitudes dos pontos eram elipsoidais, estavam no sistema UTM –

SAD-69 e foram transformadas para sistema de coordenadas geográficas (Latitude/ Longitude) – WGS-84, utilizando-se o *Geographic Calculator*. Posteriormente transformou-se os pontos para altitudes ortométricas, a partir da determinação do desnível geoidal de cada ponto. Este desnível foi calculado no programa INTPT.F (NIMA, 2004). Finalmente, o arquivo de pontos foi transformado para o formato *shapefile* no ArcView.

#### 4.3. Modelo digital de elevação da missão SRTM

Os modelos SRTM disponibilizados para a América do Sul via internet (USGS, 2003) são organizados no formato de P por P e identificados pelas coordenadas latitude e longitude do canto inferior esquerdo (sudoeste). Exemplificando: S03W60 representa 03° de latitude Sul e 60° de longitude Oeste. Esta coordenada identifica o ponto da grade no canto inferior esquerdo que, no caso de dados para a América do Sul (SRTM-3), estão distanciados de aproximadamente 90 metros em extensão. Cada arquivo contém 1201 linhas e 1201 colunas e as linhas e colunas das extremidades dos modelos sobrepõem-se e são idênticas às linhas e colunas das extremidades dos modelos adjacentes. As elevações são representadas em metros sem casas decimais e referenciadas para o *Datum Vertical WGS-84 EGM96*, conforme documentação encontrada em (NIMA, 2004). O modelo S03W60, que recobre a área de estudo, foi transferido da rede no formato Height files (hgt), aberto no aplicativo Global Mapper (GLOBALMAPPER, 2004) e analisado visando detectar inconsistências no modelo. Este, após análise, apresentou uma variação de altitude negativa de até -29 metros e algumas áreas sem informação de altitude. Conforme BARROS *et al.* (2004) para correção destas inconsistências, pode-se utilizar o aplicativo *Blackart*, disponibilizado gratuitamente também via internet (TERRAINMAP, 2004), para transformar os valores negativos para zero e o aplicativo *SRTMfill*, também disponibilizado gratuitamente (3DNATURE, 2004), para interpolar as áreas sem informação de altitude. Após as correções das inconsistências do modelo utilizou-se o Global Mapper para exportá-lo no formato XYZ. No ambiente ArcView este arquivo foi importado como feição de pontos e, posteriormente, convertido para o formato Gride, com os mesmos parâmetros do arquivo original do SRTM.

#### 4.4. Comparação dos pontos GPS (pontos de controle) com os modelos digitais de elevação da carta e SRTM

A comparação entre os MDE's da carta e o SRTM com os pontos de controle (pontos GPS) foi feita no ambiente ArcView, utilizando-se a ferramenta "*Surface Tools*". Gerou-se uma tabela com as altitudes dos pontos de controle e as altitudes dos pontos homólogos nos modelos da carta e SRTM. A partir desta

tabela e tomando-se como referência os pontos GPS (Estático e Cinemático), foram feitas comparações levando-se em consideração as Normas Técnicas da Cartografia Nacional definidas no Decreto 89.817 de 20 de Julho de 1984 (CONCAR, 2004) para o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) altimétrico. No capítulo II, artigos 8° e 9°, deste decreto são definidas as seguintes características por categoria: categoria A - 90% dos pontos testados devem estar abaixo da metade da equidistância entre as curvas de nível (Tolerância vertical), sendo de um terço da equidistância o EMQ correspondente, para categoria B - 90% dos pontos testados devem estar abaixo de três quintos da equidistância entre as curvas de nível (Tolerância vertical), sendo de dois quintos da equidistância o EMQ correspondente e a categoria C - 90% dos pontos testados devem estar abaixo de três quartos da equidistância entre as curvas de nível (Tolerância vertical), sendo metade da equidistância o EMQ correspondente. Esses valores calculados para a escala de 1:100.000 são apresentados na tabela 1.

TABELA 1 – VALORES DO PEC (TOLERÂNCIA VERTICAL E ERRO MÉDIO QUADRÁTICO) PARA AS CLASSES A, B E C, NA ESCALA DE 1:100.000.

Categoria	PEC ALTIMÉTRICO	
	Tolerância	EMQ
A	25,0 m	16,6 m
B	30,0 m	20,0 m
C	36,6 m	25,0 m

#### 4.5. Comparação do MDE SRTM com o MDE carta

A comparação do MDE SRTM com o MDE da Carta (*Triangulated Irregular Network-TIN*) foi feita dentro do ambiente ArcView utilizando-se a extensão "*Spatial Analyst*", a partir da qual gerou-se uma imagem resultante da subtração entre os modelos SRTM e Carta, chamada imagem diferença. Esta imagem foi reclassificada em quatro classes: de 0 a 25 m, 25 – 50 m, 50 – 75 m e 75 – 90 m, com a finalidade de identificar as áreas onde ocorreram as maiores e menores discrepâncias entre o MDE SRTM e o MDE obtido a partir da carta. Os intervalos destas classes foram definidos levando-se em consideração a metade da equidistância da carta (25 m) para aplicação do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC).

### 5. RESULTADOS ENCONTRADOS

Os resultados alcançados são apresentados sistematicamente à seguir:

#### 5.1. Comparação dos pontos GPS com os modelos carta (TIN) e SRTM

A comparação dos pontos GPS com os

Modelos Carta (TIN) e SRTM foi feita considerando-se os pontos de controle obtidos de modo estático e cinemático e levando-se em consideração o Padrão de Exatidão Cartográfico (PEC) altimétrico. Analisando o gráfico da tolerância vertical dos modelos (Fig. 2), verifica-se que para o conjunto de pontos de controle estático (26 pontos) o MDE Carta (TIN) apresentou 26,92 % dos pontos com altitudes acima da tolerância, enquanto o MDE do SRTM para o conjunto de pontos de controle estático não apresentou nenhum ponto com altitude acima da tolerância. Em relação ao conjunto de pontos de controle cinemático (418 pontos) o MDE Carta (TIN) apresentou 36,62 % de pontos acima da tolerância e o MDE SRTM apresentou 2,39 % de pontos acima da tolerância. Quando considerou-se o total de pontos de controle (444 pontos), o MDE Carta (TIN) apresentou 30,41 % de pontos acima da tolerância, enquanto o MDE SRTM apresentou 2,25 % dos pontos acima da tolerância. Se for considerada a tolerância vertical de 25 metros para a escala de 1:100.000 pode-se considerar que o Modelo SRTM em relação aos pontos GPS, apresenta mais de 90 % dos pontos com precisão de documento cartográfico categoria A. Já o Modelo Carta (TIN) em relação aos pontos GPS não apresentou a mesma qualidade, portanto, não pode ser considerado como categoria A. Nesta análise o MDE SRTM apresentou uma diferença de qualidade acentuada em relação ao MDE gerado a partir das informações da carta topográfica.

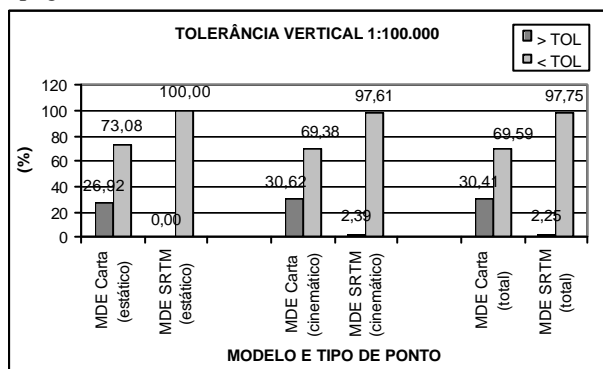


Fig. 2 – Porcentagem de pontos por modelo e por tipo em relação a tolerância vertical.

O mesmo comportamento é notado ao se fazer a análise usando o EMQ. Analisando-se o gráfico do Erro Médio Quadrático (EMQ) (Fig. 3) dos modelos, verifica-se que para o conjunto de pontos de controle estático (26 pontos), o MDE Carta (TIN) apresentou um EMQ de 21,489 m, enquanto no MDE SRTM foi 7,642 m. Para o conjunto de pontos de controle cinemático (418 pontos) o MDE Carta (TIN) apresentou um EMQ igual a 22,617 m e o MDE SRTM 11,245 m. Na comparação, utilizando-se todo conjunto de pontos, o EMQ do MDE Carta foi 22,553 m e o do MDE SRTM foi 11,066 metros. Considerando-se o Erro médio Quadrático altimétrico para a categoria A (16,6 m), pode-se considerar que o modelo SRTM em relação ao conjunto de pontos de

controle GPS atende aos requisitos de precisão altimétrica de documentos cartográficos categoria A, enquanto que o modelo da carta não atende aos requisitos de precisão desta categoria.

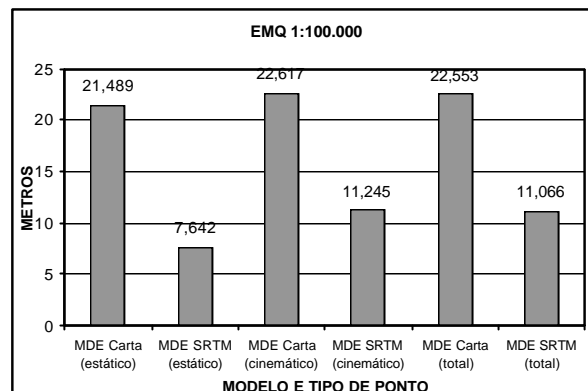


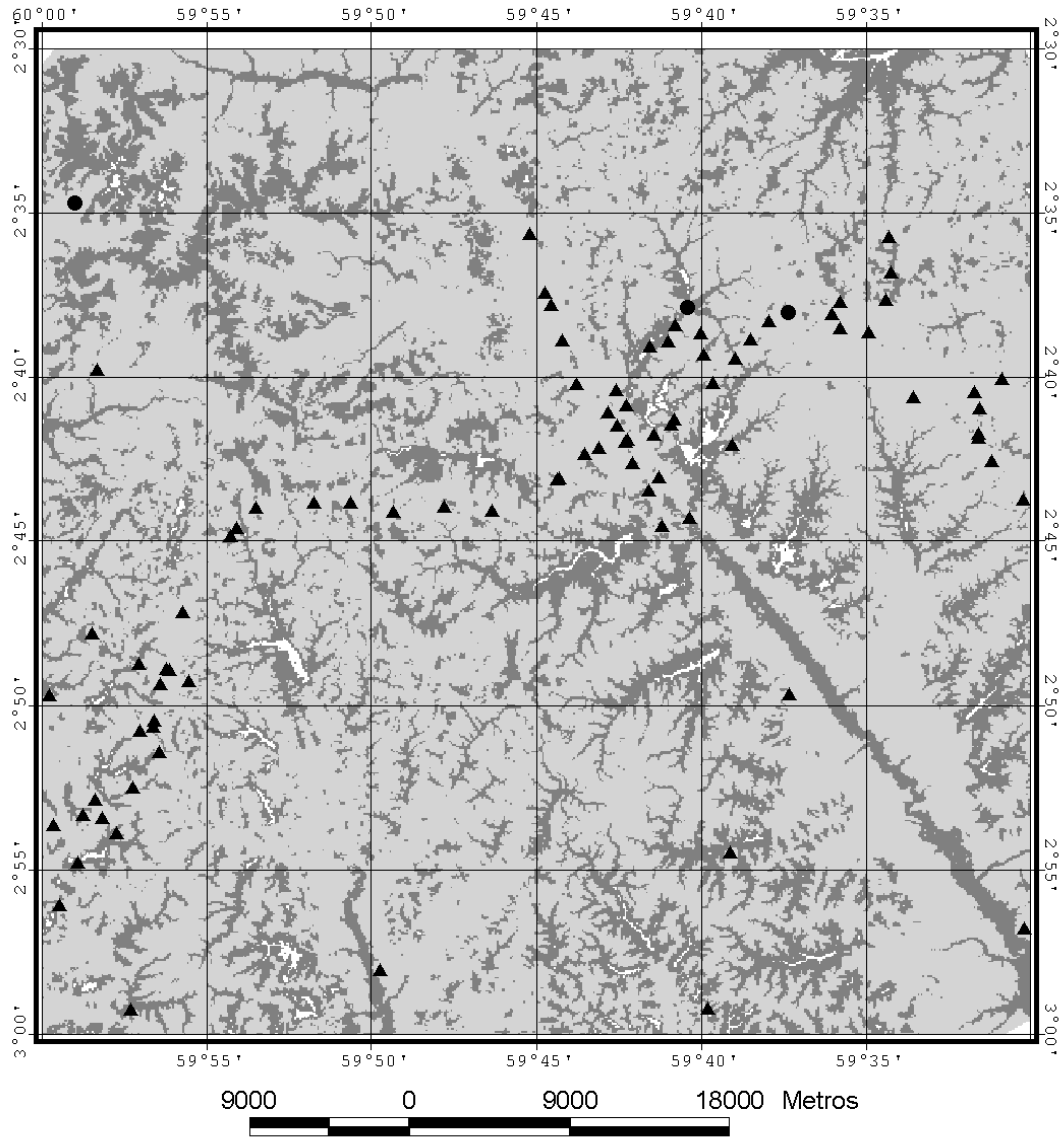
Fig. 3 – Porcentagem de pontos por modelo e por tipo em relação ao EMQ.

## 5.2. Comparação dos MDE's carta e SRTM

Analisando a imagem diferença (Fig. 4), percebe-se o domínio e a distribuição de forma homogênea da classe que representa a faixa de variação de 0 a 25 m. A faixa de 25 a 50 m ficou concentrada, na sua grande maioria, próxima as calhas dos rios. A classe de valores entre 50 e 75 m também ficou concentrada próxima as calhas dos rios. Face ao exposto, fica nítido que as maiores diferenças entre as altitudes dos dois modelos da área de estudo concentram-se nas regiões próximas aos rios. Vale ressaltar também que a classe de diferenças de 0 a 25 m é a de maior expressão, ocupando 76,237 % da área total, seguido das classes de 25 a 50 m, que ocupa 23,011 %, 50 a 75 m que ocupa 0,752 % e de 75 a 90 m que ocupa 0,001 % (Fig. 5).

Quando se compara a imagem diferença com os pontos cotados da carta (62) e as RN's (24) (Fig. 6) encontra-se 96,512 % dos pontos abaixo da tolerância vertical (25 m), enquanto 3,488 % encontram-se na faixa de 25 a 50 m, levando-se a concluir que nas partes do MDE Carta (TIN) que tinha pontos cotados ou RN's o modelo apresentou qualidade compatível com documento cartográfico categoria A. Esta constatação é um indício de que onde existem informações altimétricas o MDE gerado pela carta possui boa qualidade, o que não acontece no restante do MDE Carta (TIN), pois por se tratar de uma área de baixa amplitude altimétrica dispõe de pouca informação hipsométrica (curvas de nível e pontos cotados). Isto fomenta a idéia de se desenvolver novos estudos que caracterizem a qualidade dos modelos SRTM, visando sua utilização como opção à construção dos modelos elaborados a partir de cartas topográficas na escala de 1:100.000, para áreas com estas características de relevo, como é o caso de grande parte da Região Amazônica.

## Classificação de Pontos Cotados em Relação a Imagem Diferença



Diferença SRTM - CARTA (m)		Classificação de Pontos
■ 0 - 25	■ 25 - 50	● 0 - 25m
■ 50 - 75	■ 75 - 90	▲ 25 - 50m

Fig. 4 – Diferença entre MDE's SRTM e Carta com os pontos da carta

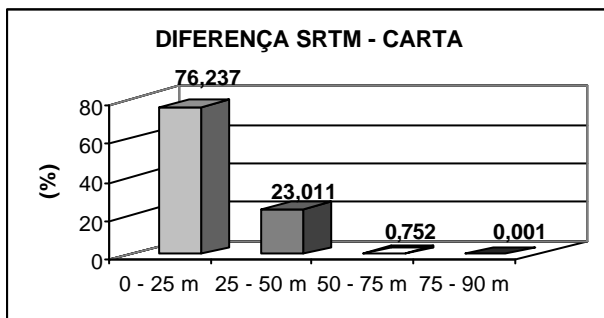


Fig. 5 – Diferença entre os MDE's SRTM e Carta agrupados em 4 classes.

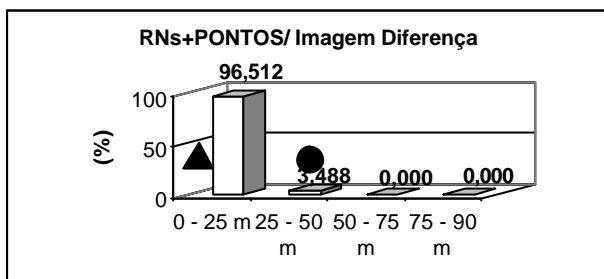


Fig. 6 – Comparação dos pontos da carta com a imagem diferença.

## 6. CONCLUSÕES

Vale ressaltar que o estudo realizado buscou a representatividade de uma carta na escala de 1:100.000 do mapeamento topográfico sistemático e da legislação vigente para classificação de documentos cartográficos, e portanto, não deve ser generalizado para outras áreas sem que haja novos estudos.

Considerando-se os resultados obtidos neste estudo pode-se dizer que:

- O MDE SRTM apresentou melhores resultados altimétricos quando comparado ao MDE gerado a partir da carta, utilizando-se como referência os pontos de controle GPS. Os resultados foram melhores, tanto em relação a tolerância vertical, quanto ao Erro Médio Quadrático (EMQ) altimétrico para a escala de 1:100.000. O MDE SRTM na comparação com o conjunto de pontos de controle estático, apresentou um índice de acerto de 100 % em relação a tolerância vertical. No conjunto de pontos de controle cinemático, apresentou um índice de acerto de 97,61 % e no total de pontos (estático e cinemático) o índice foi de 97,75 %. Em relação ao Erro Médio Quadrático (EMQ), o MDE SRTM para o conjunto de pontos de controle estático, apresentou um EMQ de 7,642 m. Para o conjunto de pontos cinemático, o EMQ foi 11,245 m e para o total de pontos (estático e cinemático) foi 11,066 m. Quando compara-se os resultados alcançados pelo MDE SRTM com a tolerância vertical (25 m) e o EMQ (16,6 m) os valores apontam padrão classe A para a escala de 1:100.000. Sendo assim as informações altimétricas do MDE SRTM para a área de estudo preenchem todos os

pré-requisitos para documentos cartográficos classe A na escala 1:100.000.

- Neste estudo, fica evidente o grande potencial do Radar Interferométrico em banda C, através do MDE SRTM, para informações altimétricas da Região Amazônica, embora seja relevante ressaltar a importância do tratamento das inconsistências do modelo antes de utilizá-lo, evitando-se assim erros que poderiam influir no resultado final do trabalho.

- Na análise da Imagem diferença percebe-se que as classes de 25 a 50 m e de 50 a 75 m estão concentradas nas proximidades dos rios, levando-se a concluir que as maiores diferenças entre as altitudes dos dois modelos da área de estudo ocorrem nas regiões de mais baixas altitudes.

- A principal conclusão deste estudo foi a pertinência da idéia de utilização dos modelos SRTM para áreas com características de baixa variação de altitude, tornando-se portanto interessante a continuidade da pesquisa em outras áreas, juntamente com um maior tratamento estatístico aplicado a análise dos resultados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, R.S; CRUZ, C.B.M.; REIS, R. B.; ROCHA, E.M.F.; BARBOSA, L.G. **Avaliação do modelo digital de elevação do SRTM na ortorretificação de imagens SPOT4 estudo de caso: Angra dos Reis-RJ**, Recife, 2004.

CHIEN, P. Endeavour maps the world in three dimensions. **Geoworld** n. 37, p. 32 – 38. Abril 2000.

CONCAR **Decreto 89 817 de 20 de Julho de 1984**. Disponível em: <http://www.concar.ibge.gov.br/fcca32.htm>. Acesso: 10 novembro 2004.

GLOBAL MAPPER **Software para leitura de modelos SRTM**. Disponível em: <http://www.globalmapper.com/download.html>. Acesso: 19 setembro 2003.

NIMA **Informações sobre WGS84, EGM96**. Disponível em: <http://www.nima.mil/gandG/wgsegm>. Acesso: 6 Novembro 2004.

PARADELLA, W.R.; CECARELLI, I.C.F.; OLIVEIRA, C.G.; LUIZ, S.; MORAIS, M.C.; COTTINI, C.P. A geração de modelos digitais de elevação pela estereoscopia de radar: conhecimento atual e resultados com imagens radarsat-1 na Amazônia. In: X SBSR, Foz do Iguaçu, 2001. **Anais**, 2001.

RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, A.; BAMLER, R. The shuttle radar topography-a new class of digital elevation models acquired by space borne radar- ISPRS. **Journal**

of **Photogrammetry and Remote Sensing**, v.57, 241-262, 2003.

**TERRAINMAP Software para tratamento de modelos SRTM.** Disponível em: <http://www.terrainmap.com>  
Acesso: 11 Novembro 2004.

TOUTIN, T & GRAY, L. **State-of-the-art of elevation extraction from satellite SAR data.** Canada Centre for Remote Sensing (CCRS), 2000.

TOUTIN, T.; Mattar, K.; Brisco, B.; Gray, L.; Manore, M. Producción de MDA a partir de Radarsat: Panorama y Exemplos. **Revista Cartografica, Instituto Panamericano de Geografia y Historia**, 135-174, 2000.

USGS **Obtenção dos modelos SRTM.** Disponível em: [ftp://edcscgs9.cr.usgs.gov/pub/data/srtm/South\\_America/](ftp://edcscgs9.cr.usgs.gov/pub/data/srtm/South_America/)  
Acesso: 5 Setembro 2003.

**3DNATURE Software para tratamento de modelos SRTM.** Disponível em: <http://www.3Dnature.com/SRTMFILL.html>. Acesso: 8 Abril 2004.