

## **Avaliação planialtimétrica de um par estereoscópico Cartosat1 – Estudo de caso em São Sebastião, SP**

Rafael Silva de Barros<sup>1</sup>  
Carla Bernadete Madureira Cruz<sup>1</sup>  
Rafael Balbi Reis<sup>1</sup>  
Gregor de Carvalho Mendel<sup>1</sup>  
Rocky Helíprio Lopes Santos<sup>1</sup>  
Lis Maria Leoni Rabaco<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ  
Departamento de Geografia  
Rua Athos da Silveira Ramos, 274 – Bl. I – Sala 012, CCMN, Cidade Universitária –  
CEP 21941-590 – RJ, Brasil  
{rafael.barros, cmad}@ufrj.br  
{rheliprio, rafabreis}@gmail.com  
gcmendel@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Centro de Pesquisas e Desenvolvimento (CENPES)  
Av. Horácio de Macedo 950 - Cidade Universitária  
CEP 21941-915 - Ilha do Fundão - Rio de Janeiro – RJ  
lismaria@petrobras.com.br

**Abstract.** It's noticed a significant increase in the development of orbital and airborne sensors that enable the extraction of three-dimensional data. So, it's important the increment of studies about the quality of altimetric values derived from these sensors to verify if the improvements implemented in the acquisition of data may influence the results. In this context, as part of a larger project that aims to evaluate the accuracy of various sensors, this work aims to analysis the planialtimetric accuracy of DEM generated from Cartosat stereo pair. The project was developed for an area of São Sebastião city, located in the basin of the North Coast of São Paulo. The area's relief is very steep, with a predominance of dense forest vegetation, typical of the Atlantic Forest. All points have been established in the field, with the use of GPS of one frequency (L1) through static relative positioning. In this work it's considered the Brazilian standard specifications for classification of cartographic bases (PEC). Results may be considered very good and showed that Cartosat orthoimage presents accuracy equivalent to class B of 1:10.000 scale. DEM presents altimetric accuracy equivalent to class A of 1:25.000 scale. Results are true for this specific area/study case.

**Palavras-chave:** remote sensing, digital elevation model, planialtimetric accuracy, Cartosat1, sensoriamento remoto, modelo digital de elevação, exatidão planialtimétrica.

### **1. Introdução**

Diferentes tipos de estudos demandam dados relacionados à topografia da área de investigação. Até o final da década de 1990, essa necessidade era atendida, basicamente, por produtos oriundos da cartografia de base. Desde aquele período, porém, o sensoriamento remoto orbital passou a disponibilizar dados mais apropriados para obtenção da altimetria através de pares estereoscópicos adquiridos na mesma passagem do satélite. Em 1999 os satélites Ikonos2 e Terra (este último com o conjunto de sensores ASTER) começaram a adquirir dados em alta e média resolução espacial, respectivamente, possibilitando a geração de MDEs (Modelos Digitais de Elevação) com boa exatidão, sendo possível atender a diferentes escalas de análise. A disponibilização gratuita, na Internet, de MDEs com cobertura global, tais como o MDE da missão SRTM e o GDEM (ASTER) facilitaram e disseminaram o uso de tais produtos. Ambos, no entanto, são indicados para escalas intermediárias (em torno de 1:100.000).

Correia (2008) avaliou o ME oriundo do par estéreo Ikonos2, encontrando resultados compatíveis com as escalas cadastrais. Santos (2005), Barros (2006) e Barros & Cruz (2007) avaliaram o MDE da missão SRTM, observando exatidões apropriadas para a escala 1:100.000. Barros (2006) encontrou o mesmo resultado para o MDE oriundo de um par estéreo do ASTER.

Satélites cujos pares estéreos apresentem resoluções espaciais entre 2,5 e 5 metros (tais como o ALOS/PRISM, SPOT 5/HRS e Cartosat1) podem preencher uma importante lacuna no fornecimento de valores de altimetria. Barros *et al.* (2009) mostraram que o MDE oriundo do Triplet ALOS/PRISM apresenta exatidão planialtimétrica compatível com a escala 1:25.000.

Em geral, os trabalhos desenvolvidos têm apresentado resultados favoráveis, o que poderia contribuir para uma maior disseminação no uso destes MDEs, visto que o acesso aos dados está simplificado e sua exatidão, conhecida.

Existe uma variedade de terminologias para designar modelos digitais que representam a superfície terrestre, sua topografia ou ainda, outras variáveis cuja representação no espaço necessite de uma forma de expressão contínua (como é o caso da temperatura, poluição, dentre outras). Neste caso, é importante se fazer a diferenciação entre os termos que normalmente são adotados na bibliografia. De forma simplificada, assume-se que os MDS ou MDE representam a superfície do terreno acrescida de quaisquer objetos existentes sobre ela e que influenciem no valor da reflectância do pixel. Ou seja, se existirem árvores e construções, a superfície representada refere-se ao topo das mesmas. Os MDT, por outro lado, representam a superfície real do terreno. No presente trabalho o termo a ser utilizado será o MDE.

A área de interesse da investigação é alvo de pesquisa de um projeto maior, de responsabilidade do Laboratório de Sensoriamento Remoto ESPAÇO, do Departamento de Geografia da UFRJ, com o apoio do CENPES/Petrobras, que estuda o uso de diversos sensores, aéreos e orbitais, na geração de representações tridimensionais. Sua escolha se dá pelo fato de fazer parte da área de influência do OSBAT (Oleoduto São Sebastião-Cubatão, SP).

## 1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho é avaliar a exatidão planialtimétrica de um par estereoscópico Cartosat adquirido em 23 de maio de 2009 sobre São Sebastião, SP. A área apresenta um relevo montanhoso (desnível de 1.340 metros), com a Serra do Mar chegando até o oceano. Foram usados pontos de controle determinados em campo com GPS de 1 frequência tanto para a modelagem como para a avaliação. A avaliação foi feita segundo os critérios do PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica). A figura 1 apresenta a ortomagem gerada e a distribuição dos pontos utilizados.

## 1.2 Cartosat 1

O satélite indiano CARTOSAT 1 (IRS P5) foi lançado em 5 de maio de 2005, fornecendo imagens com 2,5 metros de resolução espacial no pancromático, com uma cobertura (*swath*) de 27,5 km e quantificação de 10 bits. A banda pancromática adquire dados na faixa dos 0,5 a 0,85 micrômetros. Sua órbita de 618 km de altitude é Sol-síncrona, com 97,8° de inclinação em relação ao equador terrestre. A aquisição do par estereoscópico se dá através de duas câmeras: uma inclinada para frente (*Forward*), com 25° de inclinação e outra para trás (*Afterward*), com 5° de inclinação, garantindo a aquisição na mesma órbita (*along-track*). Esta geometria garante uma relação B/H de 0,62.

Com estas características, o MDE gerado a partir dos dados Cartosat 1 pode ser de grande utilidade em estudos que demandem mais exatidão e detalhamento do que os que estão disponíveis gratuitamente.

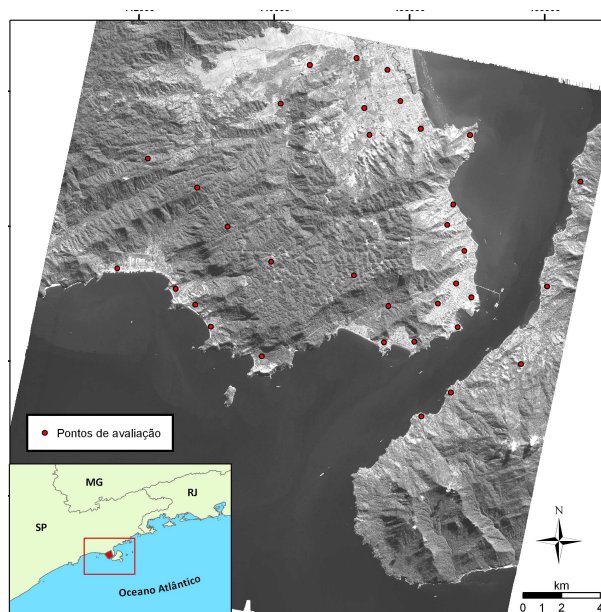


Figura 1: Localização da área de estudo com ortoimagem e pontos de controle

O par estéreo (*Path / Raw*: 1814 / 0498) foi comprado junto a Engesat no modo de processamento Orthokit, que inclui, além do par de cenas e metadados, os RPCs usados na modelagem necessária tanto para a Ortorretificação quanto para a geração do MDE.

## 2. Metodologia

### 2.1 Levantamento de Campo e Geração do MDE e da Ortoimagem

Foram levantados em campo 39 pontos de controle, utilizando GPS de 1 frequência (Ashtech Promark 3), por posicionamento relativo estático. A partir do ponto SAT 91606, conectada a RN 3020E foram implantadas 2 bases locais (rastreamento de 1 hora, taxa de 1 segundo) a fim de se garantir que nenhum ponto apresente uma distância à base maior do que 20 km. Cada um dos pontos dos pontos de controle foi ocupado por um tempo mínimo de 30 minutos, com taxa de 1 segundo, garantindo-se o registro de, pelo menos, 1.500 épocas. Foram levantados pelo menos 1 ponto no local mais alto que se teve acesso e 1 no local mais baixo (nível do mar, neste caso), a fim de garantir o melhor ajuste na fase de modelagem. A altitude ortométrica de cada ponto foi obtida através do acréscimo da ondulação geoidal, oriunda do software Mapgeo2004, aos valores de altura elipsoidal. Este mesmo recurso foi utilizado na fase de geração do MDE/Ortoimagem.

Utilizando o software OrthoEngine 10.2, do PCI Geomatica, foi feita a correção geométrica do par estéreo, fazendo uso de 7 Pontos de Controle (GCPs) e 8 Pontos de ligação (Tie Points) entre o par. Estes últimos tiveram a altitude extraída do MDE SRTM. A modelagem indicou RMS abaixo de 2,5 metros.

Para geração do MDE foram gerados 2 pares epipolares: o primeiro com a imagem *backward* na esquerda e a *forward* na direita e o segundo par com a *forward* na esquerda e a *backward* na direita. Estes pares foram reamostrados para 5 metros. Na geração do MDE, os pares epipolares foram reamostrados novamente para 10 metros e foi gerado um *Score Channel* que indica, para cada par epipolar e para cada pixel do MDE o percentual de correlação. Através da opção de escolha do maior percentual observado no *Score Channel*, o sistema escolhe de qual par será obtida a altitude para o MDE.

Foram gerados diversos MDEs, utilizando as opções e/ou parâmetros de controle existentes no PCI Orthoengine até se chegar a versão final, considerada a melhor e que foi utilizada na análise.

Depois de gerar o MDE foi gerada a ortoimagem a partir da cena com visada *Forward* (a mais crítica para a geometria), com 2,5 metros de resolução, usando o próprio MDE obtido anteriormente.

## 2.2 Avaliação planimétrica

Dos 32 pontos restantes do levantamento de campo (os 7 usados na correção geométrica não foram usados na avaliação), apenas 30 foram utilizados na análise da planimetria, pois os 2 restantes não foram bem identificados na ortoimagem e optou-se por utilizá-los apenas na avaliação da altimetria. A figura 2 exemplifica como foi o processo de identificação na ortoimagem: foram traçados, sobre a ortoimagem, eixos auxiliares para facilitar a identificação dos eixos das duas vias. No cruzamento foi plotada a posição do ponto levantado em campo. Em seguida foram plotados os pontos com as coordenadas obtidas em campo, calculando-se a distância euclidiana entre os dois, estabelecendo-se, desta forma, os chamados deslocamentos a serem avaliados (diferenças entre pontos de campo e seus homólogos na ortoimagem).

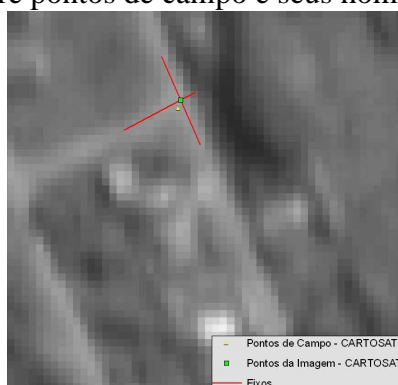


Figura 2: Eixos auxiliares para avaliação planimétrica da ortoimagem

A avaliação da planimetria foi feita computando-se o percentual de pontos que se encontram dentro da tolerância estabelecida pelo PEC, bem como o desvio padrão. Partiu-se da premissa que a ortoimagem atingiria valores entre a escala 1:10.000 e 1:25.000. Assim, as tabelas 1 e 2 apresentam os limites estabelecidos pelo PEC para avaliação da exatidão planimétrica, nestas escalas

Tabela 1: Limites de tolerâncias planimétricas indicados pelo PEC – escala 1:25.000

	Tol. (mm)	EMQ (mm)	1:25.000	
			Tol. (m)	EMQ (m)
Classe A	0,5	0,3	12,5	7,5
Classe B	0,8	0,5	20,0	12,5
Classe C	1,0	0,6	25,0	15,0

Tabela 2: Limites de tolerâncias planimétricas indicados pelo PEC – escala 1:10.000

	Tol. (mm)	EMQ (mm)	1:10.000	
			Tol. (m)	EMQ (m)
Classe A	0,5	0,3	5,0	3,0
Classe B	0,8	0,5	8,0	5,0
Classe C	1,0	0,6	10,0	6,0

OBS: O Erro Médio Quadrático (EMQ) deve ser entendido como Erro ou Desvio Padrão.

## 2.3 Avaliação altimétrica

A avaliação do MDE foi feita utilizando-se o conjunto de 32 pontos levantados em campo através de GPS (excluídos os 7 que foram usados na geração do MDE). A figura 1 apresentou a distribuição destes pontos. A extração dos valores altimétricos a partir do MDE foi feita diretamente através da função *Extract Values to Points*, do ArcGIS 9.3. Calculou-se a diferença entre as cotas obtidas através pela leitura do MDE e o valor obtido em campo. As diferenças encontradas, em valores negativos ou positivos, foram comparadas com as tolerâncias estabelecidas para a escala 1:25.000.

De acordo com os limites estabelecidos pelo PEC para avaliação da exatidão altimétrica, considerou-se as tolerâncias apresentadas na tabela 3:

Tabela 3: Limites de tolerâncias altimétricas estabelecidos pelo PEC (escala 1:5.000)

	Tol.	EMQ	1:25.000 Equidistância: 10m	
			Tol.(m)	EMQ (m)
Classe A	1/2 Eq.	1/3 Eq.	5	3,3
Classe B	3/5 Eq.	2/5 Eq.	6	4,0
Classe C	3/4 Eq.	1/2 Eq.	7,5	5

*OBS: O Erro Médio Quadrático (EMQ) deve ser entendido como Erro ou Desvio Padrão.*

A avaliação final dos resultados considerou o percentual exigido para aceitação, segundo o PEC: 90% dos pontos testados devem apresentar resíduos até ao limite estabelecido pela tolerância definida para cada escala, assim como o desvio-padrão do total de pontos analisados deve se limitar ao indicado, garantindo assim que os pontos que ultrapassem a tolerância definida não estejam muito afastados da mesma.

Foi feito, também, o cálculo do LE90 (Erro Linear a 90%), a fim de que este valor pudesse ser tomado como referência.

## 3. Resultados e Discussões

### 3.1 Avaliação planimétrica

Considerando-se os deslocamentos calculados para os 30 pontos usados na avaliação, assim como o Desvio Padrão (2,651 m), a ortoimagem atende ao especificado para a classe A da escala 1:25.000, já que a tolerância é de 12,5 metros para o deslocamento e de 7,5 metros para o desvio padrão. A tabela 4 apresenta os percentuais obtidos em cada classe.

Tabela 4: Classificação dos resultados segundo o PEC para a escala 1:25.000

Classes	Tolerância (m)	Número de pontos	Percentual Observado
A	12,5	29	96,67%
B	20,0	30	100,00
C	25,0	30	100,00

De acordo com os valores encontrados, a ortoimagem Cartosat atende até a classe B da escala 1:10.000, cujo limite para o desvio padrão é de 5 metros, como pode ser observado na tabela 5. Foi calculado, ainda, o Erro Circular a 90% dos pontos (CE90) de 5,564 metros.

Tabela 5: Classificação dos resultados segundo o PEC para a escala 1:10.000

Classes	Tolerância (m)	Número de pontos	Percentual Observado
A	5,0	24	80,00
B	8,0	28	93,33
C	10,0	29	96,67

De acordo com os valores de deslocamento observados nos pontos de checagem, calculou-se a média de 3,488 metros e desvio padrão de 2,651 metros para os 30 pontos utilizados nesta avaliação. Não parece haver tendências significativas nos deslocamentos, visto que as médias das diferenças em x e y (E e N) foram de 0,111m e 0,658m, respectivamente. São valores bastante baixos ao se considerar o tamanho do pixel (2,5 metros).

A figura 3 mostra a distribuição dos erros (deslocamentos) em cada ponto de checagem. Nela percebe-se uma distribuição sem maiores tendências, ainda que o maior deslocamento tenha ocorrido numa área de maior elevação. No restante da área, inclusive em outros pontos com elevações maiores, percebe-se uma homogeneidade, indicando que a ortorretificação foi capaz de corrigir o efeito de deslocamento pelo relevo.

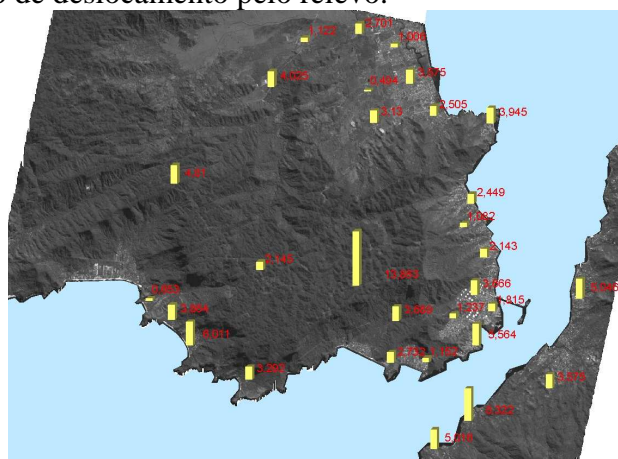


Figura 3: Mapeamento dos erros (deslocamentos) planimétricos.

### 3.2 Avaliação altimétrica

Considerando-se as tolerâncias estabelecidas, 94,12% dos pontos atendem ao PEC na classe A da escala 1:25.000 (5 m de tolerância). O Desvio Padrão calculado também permite classificar o produto como compatível com a escala 1:25.000, pois fica dentro da tolerância de 3,3 metros. Como foi feito na avaliação da planimetria, optou-se por calcular o Erro Linear a 90% (LE90) a fim de se apontar a exatidão prevista para o produto. O LE90 encontrado para o MDE foi de 3,749 metros.

A tabela 6, a seguir, mostra como a exatidão da altimetria do MDE pode ser classificada segundo o PEC, tomando-se como referência a escala 1:25.000.

Tabela 6: Classificação dos resultados segundo o PEC para a escala 1:25.000

Classes	Tolerância (m)	Número de pontos	Percentual Observado
A	5	32	94,12%
B	6	32	94,12%
C	7,5	33	97,06%

Da mesma forma, não foi observada uma tendência significativa nos valores, já que a média calculada foi de -0,427 metros. Ainda sobre a média, se fossem considerados apenas os módulos das diferenças verticais, encontrar-se-ia a média de 2,079 metros. A maior diferença encontrada foi de 10,073 metros.

A figura 4 apresenta a distribuição dos erros dos pontos utilizados para avaliação da altimetria do MDE Cartosat. Nesta figura é possível observar que, apesar do maior erro estar localizado numa parte de relevo mais movimentado, em geral, sua distribuição apresenta uma certa homogeneidade.



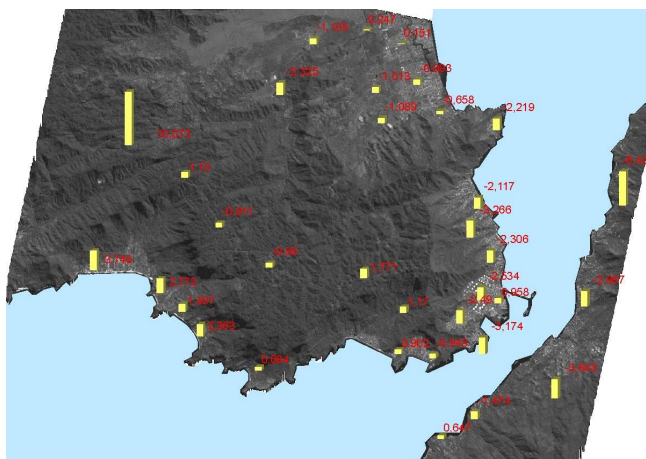


Figura 5: Distribuição espacial dos erros altimétricos do MDE Cartosat

Como qualquer MDE gerado a partir de correlação entre pares estereoscópicos, tem-se áreas de falhas nas quais o sistema não encontra uma boa correlação. Em geral estas lacunas ocorrem em áreas de nuvens e de suas sombras; em locais onde há obstrução em uma (ou nas duas) das cenas do par; em áreas muito homogêneas. Após a verificação de que estas áreas ocorreram onde era previsível, o MDE foi novamente gerado, usando-se a opção de preencher os vazios e filtrar os resultados. A figura 6 mostra onde as áreas de falha estão localizadas. Na parte sudeste da área (Ilha Bela) a maior quantidade de áreas de falha se dá, também, porque há poucos pontos de controle.

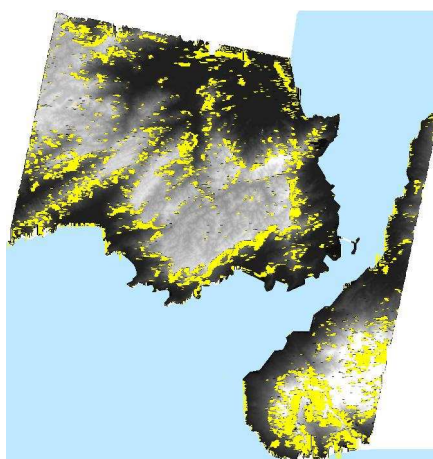


Figura 6: Áreas de falha (em amarelo) sobre o MDE Cartosat

#### 4. Conclusões

Os resultados encontrados para o MDE Cartosat ficaram dentro do esperado para um sensor com suas características. A Coordenação de Cartografia do IBGE apresentou os resultados encontrados na avaliação do MDE gerado a partir do Triplet de imagens do sensor PRISM, presente no satélite ALOS, que possui resolução espacial igual a do Cartosat, mas que conta com instrumentos de controle de órbita e atitude superiores, além de contar com 3 visadas diferentes (Backward, Afterward e Nadir). A avaliação do IBGE foi feita numa área cujo terreno apresenta tanto planícies quanto montanhas e o resultado encontrado foi o enquadramento do MDE PRISM na classe A da escala 1:25.000 (IBGE, 2009).

Com os resultados desta análise, considera-se que o MDE Cartosat apresenta exatidões planimétrica compatível com a escala 1:10.000, classe B, e altimétrica compatível com a escala 1:25.000, classe A.

Confirmou-se que o aumento da declividade dificulta a exatidão na determinação da altitude do MDE Cartosat. Da mesma forma, a cobertura vegetal densa influencia negativamente nesta exatidão.

Ainda que neste trabalho o MDE Cartosat esteja tendo a indicação de que sua exatidão planimétrica é apropriada para a escala 1:10.000 (classe B) e altimétrica compatível com a escala 1:25.000 (classe A), deve-se ressaltar – como foi feito em IBGE (2009) – que é provável que as ortomagens oriundas deste sensor não permitam a extração de todas as feições planimétricas presentes, tipicamente, em cartas topográficas oficiais nesta escala. A resolução espacial da imagem original (2,5 metros) pode inviabilizar a identificação dos elementos menores. O esforço de avaliação neste projeto foi concentrado na avaliação da geometria, tanto em termos planimétricos quanto altimétricos e não no conteúdo / semântica das informações planimétricas. Enquanto não se tem uma avaliação voltada para a extração de informações/feições a partir dos dados Cartosat 1, estima-se que seu uso permita a obtenção de feições compatíveis com a escala 1:50.000.

Vale repetir, ainda, que a área levantada possui características de um relevo bastante movimentado, sendo necessário que novas áreas, com características diferenciadas, sejam avaliadas a fim de se ter uma indicação de uso mais abrangente.

### Referências Bibliográficas

BARROS, R. S. Avaliação de Modelos Digitais de Elevação Obtidos a partir de Sensores Orbitais. 2008. 172p. Tese de Doutorado. IGEO/UFRJ. Rio de Janeiro. 2006.

BARROS, R. S. & CRUZ, C. B. M. Avaliação da Altimetria do Modelo Digital de Elevação do SRTM. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR) 13..2007, Florianópolis. Anais...São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 1243-1250. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2007/01.31.19.10/doc/capa.htm>>. Acesso em: 20 nov. 2010.

BARROS, R. S.; COELHO, A. L.; OLIVEIRA, L. F.; MELO, M. F.; CORREIA, J. D. Avaliação Geométrica de Imagens ALOS/PRISM Níveis 1B2G e 1B2R Ortoretificada – estudo de caso: Itaguaí, RJ. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR) 14..2009, Natal. Anais...São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 1243-1250. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.19.47/doc/1731-1738.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2010.

CORREIA, J. D. (2008). Mapeamento de feições deposicionais quaternárias por imagens orbitais de alta resolução espacial – Médio Vale do Paraíba do Sul. Tese Doutorado, IGEO/UFRJ.

IBGE (2009). Avaliação Planialtimétrica de Dados ALOS/PRISM, Estudo de Caso: Itaguaí-RJ. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/alos/relatorios.php>. Acesso em: 19/02/2010.

SANTOS, P. R. A. (2005). Avaliação da Precisão Vertical dos Modelos SRTM em Diferentes Escalas: Um Estudo de Caso na Amazônia. Dissertação de Mestrado. IME. Rio de Janeiro.

TOUTIN, T. 2004b. Comparison of Stereo-Extracted DTM from Different High-Resolution Sensors: SPOT-5, EROS-A, IKONOS-II, and QuickBird. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 42(10):2121-2129.