

## Avaliação do modelo digital de elevação do SRTM na ortorretificação de imagens Landsat 7 – Área de aplicação: Angra dos Reis – RJ

Rafael Silva de Barros<sup>1,2,3</sup>  
Carla Bernadete Madureira Cruz<sup>2</sup>  
Rafael Balbi Reis<sup>2</sup>  
Nilton de Assis Costa Júnior<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Fundação IBGE - Coordenação de Cartografia (CCAR)  
Av. Brasil, 15671 – CEP 21241-051 – Rio de Janeiro  
rsbarros@ibge.gov.br

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ – Depto. de Geografia  
Av. Brigadeiro Trompowski, s/n – Bl. I – s/ 012 – CEP 21941-590 – Rio de Janeiro  
cmad@ufrj.br; macrbr@yahoo.com

<sup>3</sup>Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ / FFP – Depto. de Geografia  
Rua Dr. Francisco Portela, 794 – CEP 24435-000 – São Gonçalo  
nilton\_junior@yahoo.com

**Abstract** Satellite Images originally present deformations in geometry that must be corrected so as to present accuracy. The methods which offer more precision need to use digital elevation models on the correction process, especially at areas where the relief is bumpy. Although remote sensing products present an accented growth on last decades, especially on the last 6 years with the disponibilization of many new satellites / sensors, it's really desirable to improve the geometric quality from the images. This work aims to demonstrate that orthorectification of images – in this case band 3 of the Landsat 7 satellite – may be realized by using DEM generated through SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) data, without losing geometric quality, if compared with the use of the DEM generated through contour lines of the official maps at 1:50.000 scale.

**Palavras-chave:** remote sensing, SRTM, image orthorectification, sensoriamento remoto, ortorretificação de imagens.

### 1. Apresentação

Imagens de satélite originalmente apresentam deformações em sua geometria que precisam ser corrigidas para que tenham confiabilidade. Tais imperfeições se originam na instabilidade da plataforma (espacial) onde se encontram os sensores, no movimento de rotação e na própria forma da Terra, além das características dos sensores. Genericamente, este processamento relativo à correção geométrica é chamado de georreferenciamento, embora possa ser realizado de diferentes formas, gerando resultados com características distintas.

Schowengerdt (1997) apresenta uma denominação que reúne quatro tipos de correções geométricas, que geram produtos com maior qualidade à medida que exigem mais e melhores dados de entrada:

- **Registro:** assim como descrito em Crosta (1992), esta operação referencia uma imagem à outra, já corrigida, da mesma área.
- **Retificação:** é o referenciamento de uma imagem com um mapa. Este autor denomina este procedimento também de georreferenciamento – termo que não é tão comum na literatura, apesar de seu uso cotidiano.
- **Geocodificação:** é um caso especial de retificação que inclui um escalonamento para um pixel padrão, permitindo que a imagem se ajuste perfeitamente com outras imagens de diferentes sensores e mapas.

- **Ortorretificação:** correção da imagem, pixel-a-pixel, com relação à distorção topográfica. Com esta correção toda a imagem parece ser adquirida com visão de topo, isto é, a imagem fica em uma projeção ortográfica.

O referenciamento de pontos da imagem com pontos de controle que podem ter sido adquiridos de cartas, GPS ou de outra imagem corrigida previamente é uma etapa presente em quaisquer das correções baseadas em pontos de controle. A qualidade da correção dependerá, dentre outros fatores, da precisão com que estes pontos foram adquiridos, de sua distribuição sobre a imagem e da perfeita marcação dos mesmos na imagem.

A ortorretificação é dependente de um modelo para o sensor / satélite utilizado (pré-existente no software a ser adotado) e de um Modelo Digital de Elevação (DEM), sendo que este último garantirá a correção da imagem com relação à superfície topográfica. É necessário ainda que os pontos de controle sejam adquiridos com precisão, normalmente através de GPS ou DGPS (GPS Diferencial). Este último sendo o método que atinge a maior precisão no posicionamento, mesmo em áreas com relevo movimentado, que apresentam grandes deformações nas correções convencionais.

A obtenção do DEM, que em geral esteve associada à digitalização das curvas de nível e pontos cotados (oriundos, normalmente das bases cartográficas oficiais), a identificação de suas cotas, para posterior modelagem digital, pode agora, para a ortorretificação de imagens de sensores de média resolução (e algumas outras aplicações, em função da avaliação da escala), se dar a partir dos arquivos oriundos dos dados do SRTM, disponíveis na Internet gratuitamente, para toda a América Latina e grande parte do mundo.

Uma última atenção deve ser dada à estimativa da precisão da correção geométrica, que normalmente é feita através da estatística RMS (resíduo médio quadrático). Adquirindo-se pontos de controle com qualidade e posicionando-os com precisão sobre a imagem é possível a indicação de um RMS baixo, muitas vezes menor do que um pixel. Porém ao se testar a correção utilizando-se pontos que não foram usados no processo, percebe-se que os deslocamentos são normalmente maiores do que os apresentados no RMS, principalmente nas porções da imagem com relevo acidentado.

## 2. Objetivo

O presente trabalho visa demonstrar que a ortorretificação de imagens Landsat 7 – pode ser realizada utilizando DEMs gerados pelo SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), sem que haja perda significativa da qualidade geométrica, se comparado com o uso do DEM gerado a partir de curvas de nível oriundas do mapeamento oficial, na escala 1:50.000.

## 3. SR na Representação do Relevo

O uso da aerofotogrametria há muito tempo é a forma consagrada para extração da altimetria. Com a disponibilização de pares estereoscópicos da série SPOT (SPOT 1, em 1986), passou-se a contar com a possibilidade de se obter a altimetria através de seus DEMs. Segundo Toutin & Cheng (2002), os satélites da série SPOT são os mais populares para a obtenção de pares estereoscópicos e geração de DEM. Até o SPOT 4, porém, o fato de só poderem adquirir os pares em órbitas diferentes, além de tornar mais difícil sua aquisição, em geral criava DEMs de menor qualidade. Com o lançamento do SPOT 5 (2002) as características de aquisição do par estereoscópico se modificaram em virtude deste novo sistema possuir 2 sensores que adquirem as cenas com os ângulos de incidência de 20° na mesma órbita, sendo um direcionado à frente e outro para trás, o que garante a aquisição de cenas (com resolução espacial de 10 m) sob as mesmas condições atmosféricas e de iluminação, separadas por um intervalo da ordem de 90 segundos (ENGESAT, 2004a).

O satélite Terra (1999) carrega dentre diversos sensores o ASTER oferece a possibilidade de se gerar pares estereoscópicos adquiridos na mesma órbita (*along track*), através de dois sensores idênticos, que adquirem a cena na posição Nadir e Off-Nadir, (Engesat, 2004b). Com esta característica, observa-se a vantagem das cenas serem adquiridas ao longo da mesma órbita com intervalo de tempo curto, mantendo-se as condições atmosféricas e de iluminação semelhantes, permitindo assim um incremento na qualidade dos DEMs gerados.

O satélite Ikonos II (1999), de alta resolução espacial (1 a 4 metros), possibilita também a aquisição de pares estereoscópicos em uma mesma órbita.

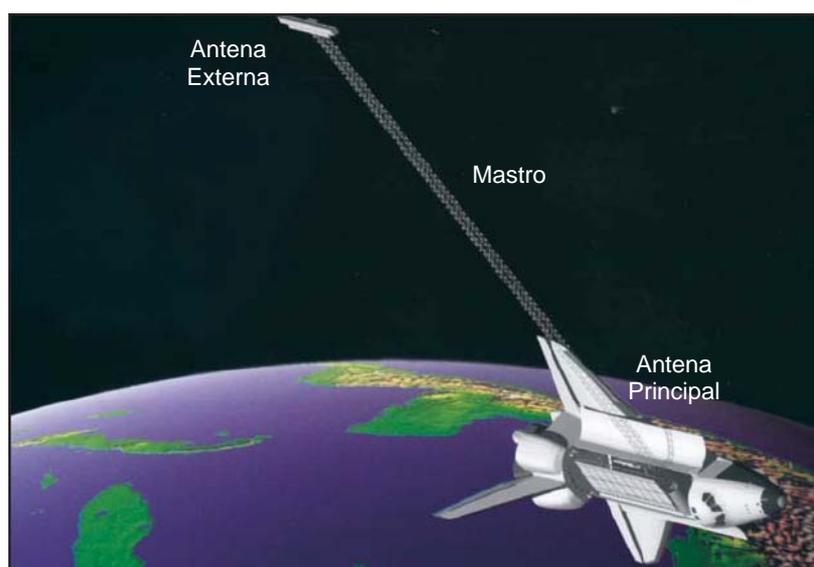
O Radarsat 1 tem sido usado para a geração de DEMs para diversas aplicações, como por exemplo em Toutin (1998).

Os DEMs gerados pelo SRTM cada vez mais atraem usuários em função de sua disponibilização sem custos na Internet, já tendo sido alvo de vários estudos como em Heipke *et al.* (2002). O mesmo será mais detalhado no próximo item.

#### 4. SRTM

O SRTM não é o nome de um satélite, mas de uma missão espacial liderada pela NASA com parceria das agências espaciais da Alemanha (DLR) e Itália (ASI), realizada durante 11 dias do mês de fevereiro de 2000 visando gerar um modelo digital de elevação quase-global. Corresponde a um radar (SAR) a bordo do ônibus espacial Endeavour, que adquiriu dados sobre mais de 80% da superfície terrestre, nas bandas C e X e fazendo uso da técnica de interferometria. Nesta técnica a altitude é obtida através da medição da diferença de fase entre duas imagens radar sobre um mesmo local na Terra (CCRS, 2004). Podem ser utilizadas imagens adquiridas em datas diferentes ou em uma mesma órbita, caso haja duas antenas de recepção separadas a bordo da plataforma. O sistema SRTM contava com 2 antenas de recepção, separadas por um mastro de 60 metros (**figura 1**), o que possibilitou a aquisição dos dados em uma mesma órbita, garantindo a melhor qualidade dos mesmos. Os dados, adquiridos com resolução de 1 arco segundo, ou aproximadamente 30 metros, no equador, estão sendo processados, gerando-se os DEMs da área coberta. Os DEMs relativos à banda C estão sendo distribuídos pela NASA, já se encontrando disponíveis gratuitamente para as Américas do Sul e do Norte, com resolução espacial de aproximadamente 90 x 90 metros. Há a possibilidade de se adquirir dados com resolução de 30 x 30 metros dependendo de acordos analisados individualmente pela NASA. Os dados relativos à banda X estão sendo processados e distribuídos pelo DLR – Centro Aeroespacial Alemão (JPL, 2004). Ao se iniciar a missão, esperava-se atingir precisões da ordem de 16 metros na altimetria (Duren *et al.*, 1998).

Os dados disponibilizados do SRTM podem ter uma grande aplicabilidade, pois os DEMs de toda a América do Sul já se encontram disponíveis. Um ponto a seu favor – além da gratuidade para a resolução de 90 x 90 metros – é o uso da interferometria para o cálculo da altitude, que possui uma maior acurácia se comparada com a técnica da estereoscopia (CCRS, 2004). Alguns trabalhos indicam que podem ser atingidas precisões melhores do que as estimadas antes do início da missão, como por exemplo, em Heipke *et al.* (2002), que estimam em até 6 metros o erro vertical. Para atingir tais metas, os dados devem ser processados a fim de se eliminar imperfeições do sistema, tais como valores espúrios próximos ao litoral e alguns vazios no continente, referentes a áreas de sombra ao sinal. Rao (2004) em experimentos de campo encontrou erros menores que 5 metros na vertical e de 2 a 3 pixels na horizontal, o que chama a atenção para a necessidade de validação também para deslocamentos do dado.



**Figura 1:** Esquema da aquisição de dados do SRTM – detalhe para o mastro que permitiu a interferometria na mesma órbita

Fonte: <http://erg.usgs.gov/isb/pubs/factsheets/fs07103.html>

Os DEMs gerados estão sendo disponibilizados via ftp no seguinte endereço: [ftp://edcsgs9.cr.usgs.gov/pub/data/srtm/South\\_America/](ftp://edcsgs9.cr.usgs.gov/pub/data/srtm/South_America/), em arquivos com extensão HGT compactados, cobrindo áreas de 1° por 1° no terreno, sendo as mesmas referenciadas por seu canto inferior esquerdo em coordenadas geográficas (ex: S23W043.hgt.zip). Cada arquivo tem aproximadamente uma linha e uma coluna de sobreposição com os arquivos correspondentes a áreas de sua vizinhança. O sistema de projeção utilizado é chamado cotidianamente de geográfico e o *datum* considerado, o WGS84, sendo as altitudes dadas em metro.

Apesar de todos os pontos positivos apresentados, os dados SRTM apresentam alguns problemas, tais como: valores espúrios (positivos e negativos) nas proximidades do mar e áreas onde não são encontrados valores. Estas últimas áreas recebem o valor -32768, indicando que não há dado disponível.

São diversas as possibilidades de correção desses problemas, desde substituição de tais áreas por dados oriundos de outros produtos – o GTOPO30 aparece como proposta para substituição em diversos textos – até mesmo o uso de programas que procuram diminuir tais incorreções através de edição de dados. Alguns destes programas são gratuitos e podem ser encontrados na Internet. Esta última opção foi a escolhida neste trabalho.

## 5. Metodologia

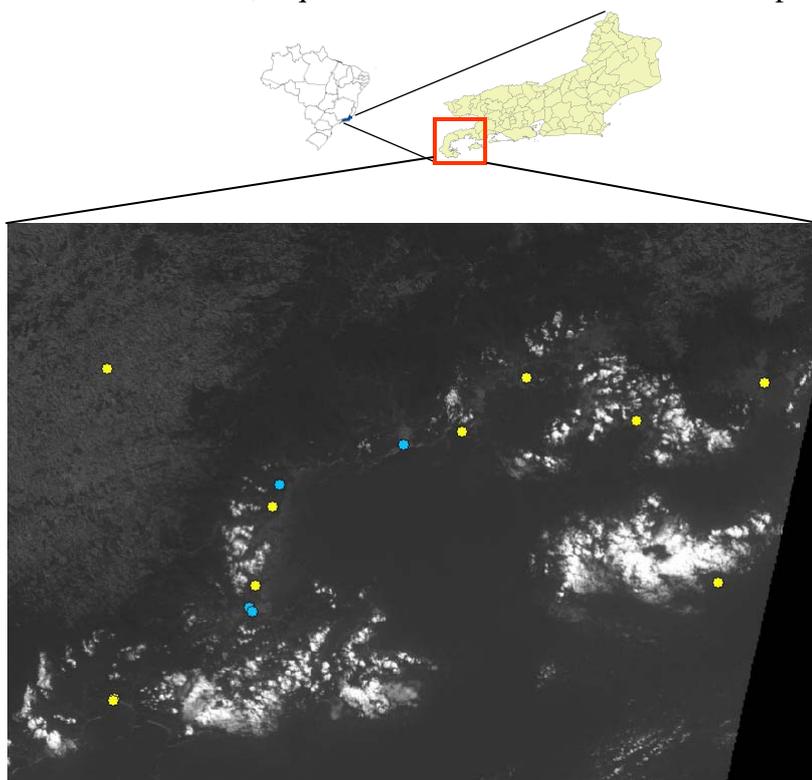
No desenvolvimento deste trabalho, retificou-se uma das bandas (vermelho) de uma cena Landsat 7 foi ortoretificada de duas maneiras distintas, usando-se pontos de controle obtidos através de DGPS, GPS isolado e a partir de cartas topográficas na escala 1:50.000 e com a utilização de dois DEMs com origens diferentes: um gerado a partir de curvas de nível e outro oriundo do SRTM, comparando-se as imagens finais para verificação de possíveis diferenças.

A partir da base cartográfica oficial digital na escala 1:50.000, foi gerado um DEM para a área de interesse, utilizando-se ferramentas disponíveis para tal no OrthoEngine, do PCI Geomatica (versão 9.0).

Para cobrir toda a área da imagem, foram adquiridos dois arquivos DEM do SRTM (S23W044 e S24W044). Como foram encontrados valores negativos (até -134) nas imediações do mar, foi utilizado o programa gratuito Blackart para conversão destes valores

para zero, eliminando-se os valores negativos. Em ambos os arquivos havia áreas sem dados, sendo necessário que se estimassem valores a partir de interpolação para minimizar os efeitos negativos na ortorretificação da imagem. Para isso foi utilizado o programa SRTMFill, também gratuito. Como foram usados 2 DEMs, foi preciso fazer um mosaico dos mesmos antes de reprojotá-los para o sistema UTM a fim de usá-los na correção da imagem. Esta operação foi feita no Orthoengine, usando-se a função de mosaico automático. Para serem inseridos no PCI os DEMs foram antes abertos no 3DEM que lê dados HGT e converte para Geotiff, mantendo os valores da elevação. Após o mosaico, o DEM foi reprojettato no Focus (do PCI Geomatics) para o sistema UTM, mantendo-se o *datum* WGS84.

Com os dados disponíveis iniciou-se a ortorretificação da cena 218\_076, banda 3, nível de processamento 1G (este é o nível de processamento recomendado para ortorretificação de imagens Landsat (PCI, 2003)), de 7/08/1999. Foi criado um projeto no Orthoengine, definindo-se sistema de projeção UTM, fuso 23, *datum* WGS84. Foram inseridos 22 pontos disponíveis, conforme a **figura 2**. Foram utilizados 10 pontos de controle (GCPs) e 4 de checagem (CPs). O RMS obtido foi de 23,94 metros, com resíduo máximo de 48,3 m para os GCPs. Em seguida foi realizada a ortorretificação. Ressalta-se que, apesar de ter usado toda a imagem original, os pontos de controle e os DEMs cobrem somente a região de interesse: os arredores de Angra dos Reis e Parati, o que leva a ortorretificar somente esta porção da cena.



**Figura 2:** Localização da área de estudo e distribuição dos pontos de controle e de checagem (GCP e CP). Em amarelo os GCPs utilizados na Ortorretificação.

A primeira correção utilizou o DEM gerado pelo SRTM. Para isso, o mesmo foi importado (formato original Geotiff) para o Orthoengine, definindo-se sua resolução e abrangência. Em seguida a cena original foi novamente ortorretificada fazendo-se uso do DEM gerado pelas curvas de nível do mapeamento oficial.

Como o RMS não é um bom indicador da real acurácia da imagem final, para avaliação dos resultados alcançados os pontos de checagem foram plotados sobre cada um dos produtos

finais, medindo-se seus afastamentos em relação aos locais ocupados em campo. Os resultados estão apresentados no item a seguir.

## 6. Caracterização da área

A área de aplicação está localizada nas imediações de Angra dos Reis, no estado do Rio de Janeiro. Uma das características principais da área é a grande variação do relevo, o que a qualifica como excelente candidata aos objetivos do trabalho, uma vez que tal característica apresenta uma complexidade maior para ortorretificação.

A área de estudo (**figura 2**) compreende a parte da bacia hidrográfica da Baía de Ilha Grande, compondo parcialmente a Macrorregião Ambiental 3 (Bacia da Baía da Ilha Grande). Estão incluídos nesta área municípios fluminenses e paulistas. Pode ser caracterizada por relevo acidentado e com forte influência do oceano Atlântico. Sua latitude em torno de 23° S, sua proximidade da costa e as características meteorológicas de grande escala do continente sul-americano conferem à região um clima litorâneo ameno, com ventos de baixa intensidade e recebendo eventualmente a influência das massas de ar polar, porém com impactos de intensidade moderada sobre a temperatura no inverno e sobre as precipitações no verão e estações intermediárias.

## 7. Resultados

O trabalho ainda se encontra em desenvolvimento, porém os primeiros resultados confirmam a impressão inicial de que os DEMs gerados pelo SRTM, mesmo disponibilizados com resolução degradada, apresentam-se consistentes o bastante para diversas aplicações – especialmente onde ainda não se disponha de dados em escala maior – dentre elas a ortorretificação de imagens Landsat.

A **tabela 1** a seguir apresenta os GCPs utilizados. Observa-se que em geral os resíduos são baixos, tendo-se apenas 2 pontos atingido erro superior a 40m. O RMS geral foi de 23,94 metros. Analisando-se conjuntamente a **figura 2** vê-se, ainda, que os pontos apresentam uma boa distribuição por toda a imagem. Ressalta-se também que o cálculo do RMS é feito após a fase de identificação dos pontos de controle na imagem, porém antes da ortorretificação propriamente dita – momento em que o DEM é utilizado. Desta forma os resíduos apresentados são válidos tanto para ortorretificação da imagem usando o DEM do SRTM quanto o gerado a partir das curvas de nível.

Tabela 1: Pontos de Controle (GCP), altitudes ortométricas e resíduos.

GCP	Altitude (m)	RMS (m)
Campos_Cunha2	920	<b>5,047</b>
Ilha_Grande_1	0	9,914
Parati	10	<b>41,241</b>
4A	4,3	<b>6,664</b>
4B	3,3	15,541
8B	10	12,762
10B	2,2	7,131
PC6	3,6	12,453
PC7	4,5	18,598
PC9	4,3	<b>48,284</b>

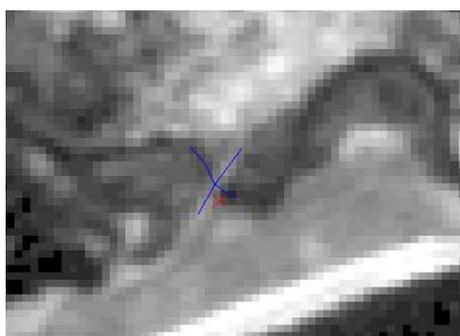
A **tabela 2** apresenta os CPs utilizados para validação da ortorretificação. Nela verificamos os afastamentos encontrados nos pontos de checagem com relação à posição

ocupada no campo ou obtida da carta topográfica. Percebe-se que na imagem em que foi utilizado o DEM proveniente do SRTM obteve-se deslocamentos superiores, conforme o esperado, dado a menor resolução da fonte. No entanto, numa comparação direta com a imagem em que foi utilizado o DEM gerado a partir das curvas de nível, as diferenças não são muito grandes: a maior delas foi de 20 metros, no CP 3a, com média de 7,5 metros de diferença entre os dois produtos finais.

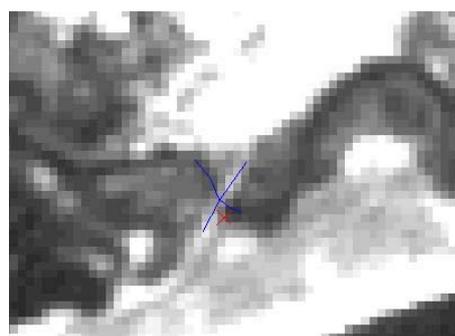
Tabela 2: Pontos de Checagem, altitudes ortométricas e deslocamentos dos CPs

CP	Altitude (m)	Curvas (m)	SRTM (m)	Diferença (m)
1a	3,6	69	73	-4
3a	7	26	46	-20
3b	10	64	70	-6
Parati_B	10	54	54	0
Médias		53,3	60,8	-7.5

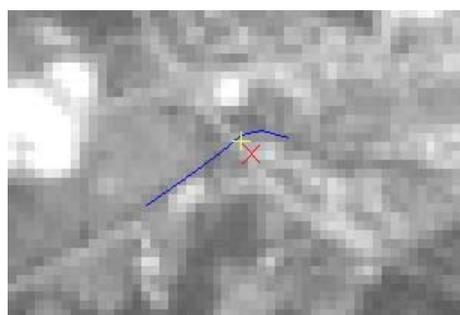
As figuras 3a, 3b, 4a, 4b apresentam a localização do ponto ocupado em campo e a sua localização sobre as imagens ortorretificadas utilizando-se o DEM do SRTM e o DEM originado das curvas de nível, em dois níveis de zoom diferentes. As primeiras figuras referem-se ao ponto 1a, enquanto as últimas figuras apresentam o ponto 3b. Pelas figuras percebe-se que a diferença entre os dois produtos gerados é muito pequena.



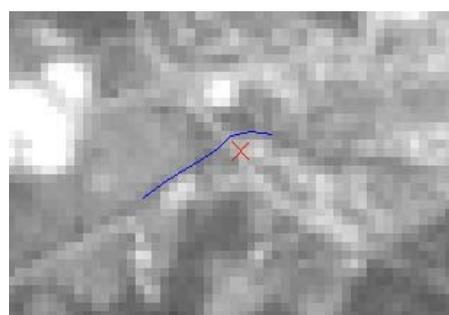
**Figura 3a:** Localização do ponto 1a na imagem ortorretificada com o DEM gerado pelas curvas



**Figura 3b:** Localização do ponto 1a na imagem ortorretificada com o DEM do SRTM



**Figura 4a:** Localização do ponto 3b na imagem ortorretificada com o DEM gerado pelas curvas



**Figura 4b:** Localização do ponto 3b na imagem ortorretificada com o DEM do SRTM

Comparando-se as altitudes obtidas no DEM do SRTM com os valores das curvas de nível da base cartográfica, observou-se que há um deslocamento horizontal e algumas inconsistências nas elevações. Conclui-se desta forma que o mesmo não poderia ser utilizado em substituição à altimetria extraída de cartas topográficas na escala 1:50.000 em quaisquer aplicações. Para a ortorretificação de imagens para trabalho nas escalas de 1:100.000 e 1:50.000, contudo, o mesmo mostra-se apropriado. A forma deste DEM, contudo resguarda boa semelhança com a forma do relevo indicado pela visualização das curvas de nível.

## 8. Considerações Finais

Considerando os resultados obtidos pode-se afirmar que o uso do DEM gerado pelo SRTM (banda C) não influenciou significativamente a ortorretificação da imagem considerada. As diferenças verificadas entre as duas imagens ortorretificadas (com DEM do SRTM e com o DEM das curvas de nível) apresentaram-se pequenas: sempre menores ou iguais a 20 metros, com média de 7,5 metros entre os 4 pontos avaliados.

Ressalta-se, contudo, que o uso dos dados do SRTM não devem ser feito indiscriminadamente, pois apresentam imperfeições que não os qualificam para trabalhos que exijam maior rigor na altimetria. Sendo assim, os mesmos não permitem que se substitua o uso das curvas de nível presentes nas cartas topográficas. Lembra-se ainda que nas comparações sempre foram utilizadas curvas extraídas das cartas topográficas na escala 1:50.000.

Uma das vantagens do uso do SRTM refere-se ao tempo necessário para geração do DEM. Tal tarefa normalmente consome um grande intervalo de tempo visto que em poucos casos dispõe-se de uma base digital, já em 3D. Além disso, não se pode desconsiderar o fato de determinado usuário não dispor nem da base analógica.

Em função do crescimento do uso dos produtos do sensoriamento remoto aliado à busca por maiores precisões, a ortorretificação de imagens pode se tornar um procedimento mais comumente utilizado. Neste sentido o uso do DEM do SRTM pode ajudar a disseminar tal procedimento uma vez que suprime a dificuldade representada pela geração do DEM, pelo menos com relação a sensores de média resolução. Por enquanto a ortorretificação de imagens ainda se encontra limitada em virtude da existência de poucos (e caros) softwares que executam tal procedimento. À medida que esta operação se tornar disponível em um maior número de sistemas (quem sabe os softwares livres / *free* não solucionem esta questão, pelo menos para os sensores mais utilizados) tal limitação também será reduzida.

## 9. Referências Bibliográficas

- CCRS (2004). Canada Centre for Remote Sensing. Site: [www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs](http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs). Acesso: 05/01/2004.
- DUREN, R.; WWONG, E.; BRECKENRIDGE, B; SHAFFER, S; DUNCAN, C.; TUBBS, E.; SALOMON, P. (1998). Metrology, attitude and orbit determination for spaceborne interferometric synthetic aperture radar. AeroSense Conference on Aquisition, Tracking and Pointing. XII.
- ENGESAT (2004a). Ficha Técnica Resumida - SPOT 5. Site: <http://www.engesat.com.br/satelites/spot5.html>. Acesso: 12/02/2004.
- ENGESAT (2004b). Ficha Técnica Resumida - Aster. Site: <http://www.engesat.com.br/satelites/spot5.html>. Acesso: 12/02/2004.
- HEIPKE, C.; KOCH, A.; LOHNANN, P. (2002). Analysis of SRTM DTM – Metodology and Practical Results. ISPRS Commission – IV Symposium. Ottawa.
- JPL (2004). Jet Propulsion Laboratory – Shuttle Radar Topography Mission. Site: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/dataprod.htm>. Acesso: 12/02/2004.
- RAO, K. S. (2004). Validation of Digital Elevation Model Derived from Shuttle Radar Topography Mission using GPS Field measurements. Site: [www.gisdevelopment.net/tecnology/gps/ma03033abs.htm](http://www.gisdevelopment.net/tecnology/gps/ma03033abs.htm). Acesso:28/02/2004.
- SCHOWENGERDT, R. A. (1997). Remote Sensing, Models and Methods for Image Processing. Second Edition. Academic Press.
- TOUTIN, T. (1998). Stereo Radarsat for Mapping Applications. 2<sup>nd</sup> Int. ADRO Symposium. Montreal, Canada.
- TOUTIN, T.; CHENG, P. (2002). Comparison of Automated Digital Elevation Model Extraction Results Using Along-Track ASTER and Across-Track SPOT Stereo Images. SPIE Journal, Optical Engineering, 41 (9), p. 2102-2106.