

Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão.  
**Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE**  
Diretoria de Geociências  
Coordenação de Cartografia

# **Avaliação Planialtimétrica de Dados ALOS/PRISM Estudo de Caso: Itaguaí - RJ**

**Relatório**

**2009**

2ª edição

Rio de Janeiro  
2011

1ª edição - 2009

2ª edição - 2011

# Apresentação

A Coordenação de Cartografia planeja utilizar as imagens ALOS/PRISM para a geração de uma base de referência formada por imagens com qualidade geométrica compatível com a exatidão esperada para os produtos do sistema cartográfico nacional. Soma-se a este objetivo o fato de o IBGE ter se tornado distribuidor das imagens do satélite ALOS para usuários não comerciais no Brasil. Tornou-se necessário, desta forma, uma avaliação criteriosa – ainda que pontual – acerca da planialtimetria dos produtos derivados das imagens deste satélite. Neste relatório são apresentados os resultados das avaliações de imagens ALOS/PRISM concluídas até o momento, a saber: avaliação planimétrica de uma cena com nível de processamento 1B2G; avaliação planimétrica de uma cena Nadir com nível de processamento 1B2R ortorretificada pelo IBGE com pontos de apoio determinados em campo e Modelo Digital de Elevação (MDE) da missão SRTM; avaliação planialtimétrica do MDE gerado a partir de pares estereoscópicos do ALOS/PRISM 1B2R.

*Luiz Paulo Souto Fortes*  
Diretor de Geociências



# Sumário

<b>1 Introdução</b>	7
1.1 Justificativa	7
1.2 Objetivos	7
<b>2 Sensor PRISM</b>	8
<b>3 Níveis de Processamento</b>	9
<b>4 Especificações de Exatidão da JAXA</b>	9
<b>5 Descrição da Área de Estudo</b>	11
<b>6 Levantamento de Campo</b>	11
<b>7 Avaliação Planimétrica da Cena com Nível de Processamento 1B2G – Estudo de Caso: Itaguaí, RJ</b>	13
7.1 Descrição da Imagem	13
7.2 Metodologia	14
7.3 Resultados	15
7.4 Conclusões	17
<b>8 Avaliação Planimétrica da Cena com Nível de Processamento 1B2R, Ortorretificada pelo IBGE – Estudo de Caso: Itaguaí, RJ</b>	
8.1 Descrição da Imagem	17
8.2 Metodologia	18
8.2.1 Ortorretificação da Cena	18
8.2.2 Avaliação Planimétrica	19
8.3 Resultados	19
8.4 Conclusões	20
<b>9 Avaliação Planialtimétrica do MDE ALOS/PRISM, Nível de Processamento 1B2R – Estudo de Caso: Itaguaí, RJ</b>	
9.1 Descrição da Imagem	22
9.2 Metodologia	22
9.2.1 Modelagem Geométrica	22
9.2.2 Geração do MDE	23
9.2.3 Geração da Ortoimagem	24
9.3 Resultados	24
9.4 Conclusões	27
<b>10 Considerações Finais</b>	27
<b>11 Referências</b>	29

## LISTA DE FIGURAS

1: Sensor PRISM e os sistemas ópticos para visadas Nadir, <i>Backward</i> (para trás) e <i>Forward</i> (para frente)	8
2: Sensor PRISM – Modo de observação <i>Triplet</i>	9
3: Imagem PRISM <i>Triplet</i> da região de Itaguaí, RJ	11
4: Exemplo de ponto materializado em arquivo gráfico	12
5: Imagem PRISM Nadir com os 47 pontos determinados em campo	13
6: Deslocamentos observados nos 47 pontos de verificação sobre MDE SRTM	16
7: Distribuição dos erros (deslocamentos) planimétricos na imagem 1B2R ortorretificada com MDE SRTM	21
8: Distribuição espacial dos deslocamentos nos 40 pontos usados na avaliação da imagem Nadir ortorretificada com o MDE3	26

## LISTA DE QUADROS

1 Identificação das cenas PRISM <i>Triplet</i> .	14
2 Informações sobre a cena PRISM de Itaguaí/RJ	18

## LISTA DE TABELAS

1 Resultados da calibração do produto PRISM nível 1B2 de março de 2007	10
2 Resultados da calibração do produto PRISM nível 1B2 de setembro de 2007	10
3 Critérios de classificação das cartas topográficas segundo sua exatidão planimétrica, com valores para as 2 escalas consideradas	14
4 Deslocamento planimétrico	15
5 Testes realizados em função do MDE utilizado e do número de GCPs	19
6 Classificação da cena 1B2R ortorretificada, segundo quantidade de pontos de controle e MDE utilizados	20
7 Critérios de classificação das cartas topográficas segundo o PEC, com valores para as 2 escalas consideradas	24
8 Parâmetros utilizados nos 6 MDEs de teste gerados	24
9 Estatística das diferenças de altitudes encontradas nos 88 pontos de campo (valores em metros)	25
10 Deslocamentos observados na cena 1B2R ortorretificada usando o MDE3 e a modelagem utilizada na geração do mesmo MDE	26

## LISTA DE GRÁFICO

1 Estatísticas das diferenças encontradas nos 88 pontos de campo (valores em metros)	25
--	----

## 1. INTRODUÇÃO

O satélite japonês ALOS foi lançado em 24 de janeiro de 2006 pela JAXA (Agência Espacial Japonesa), visando à aquisição de imagens de todo o planeta para o monitoramento de desastres ambientais, levantamento de recursos naturais e suporte à cartografia (IBGE, 2008). Depois de 9 meses de calibração, o satélite passou a ser considerado operacional em 20 de outubro de 2006, adquirindo imagens com período de revisita (ciclo) de 46 dias.

O ALOS possui 3 sensores a bordo: PRISM (*Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping*), AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near-Infrared Radiometer – Type 2*) e PALSAR (*Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar*). PRISM e AVNIR-2 são sensores ópticos e o PALSAR é um radar. As características do PRISM estão apresentadas no item 2, a seguir. O AVNIR-2 apresenta resolução espacial de 10 metros, em 4 bandas espectrais equivalentes ao Azul, Verde, Vermelho e Infravermelho Próximo. A faixa coberta (*swath*) é de 70 km, com resolução radiométrica de 8 bits. Para imageamento de desastres naturais, o sensor pode variar a visada lateralmente até 44°, para a direita ou para a esquerda. O PALSAR é um sensor SAR (Synthetic Aperture Radar), operando na banda L, com resolução espacial variando de 10 a 100 metros. Pode operar em diferentes modos de polarização: no modo *fine*, podem ser adquiridas imagens na polarização HH (FBS) ou nas polarizações HH e HV (FBD). No modo polarimétrico podem ser adquiridas imagens nas polarizações HH, HV, VH e VV. Outro modo de operação é o ScanSAR. Dependendo do modo de operação pode cobrir faixa desde 20 até 350 quilômetros de largura.

A JAXA optou por estabelecer nós de distribuição das imagens para as diversas partes do mundo. A ASF (Alaska Satellite Facility), que é o nó responsável pela distribuição das imagens nas Américas, fez uma parceria com o IBGE para que este faça a distribuição das imagens para usuários não comerciais a preços bastante atraentes: custo final em reais equivalente a US\$ 125,00 (valor de referência até os dias atuais – maio de 2009).

### 1.1 Justificativa

Em função do custo muito inferior às imagens existentes com as mesmas características e da excelente qualidade de posicionamento prometida, o interesse pelas imagens do ALOS, especificamente do sensor PRISM, tem sido intenso por uma grande parcela da comunidade do sensoriamento remoto, incluindo o próprio IBGE. As imagens PRISM apresentam grande potencial de uso para mapeamento topográfico, tanto devido a sua alta resolução espacial (2,5 metros) quanto a sua capacidade estereoscópica, que torna possível a geração de Modelos Digitais de Elevação (MDEs).

Neste sentido, tornou-se necessário o desenvolvimento de um estudo visando verificar se as imagens atendem ao que foi planejado e divulgado pela JAXA, bem como verificar até que escalas os insumos podem ser utilizados ao se considerar sua exatidão planialtimétrica. Foi necessário, ainda, propor uma metodologia para tratamento geométrico de tais imagens.

### 1.2. Objetivos

O presente relatório visa apresentar os resultados obtidos na avaliação das imagens ALOS/PRISM, considerando tanto a planimetria quanto a altimetria de MDEs derivados da cena *Triplet*.

Foram realizadas as seguintes avaliações para a cena ALOS/PRISM de Itaguaí, RJ:

- i) Avaliação Planimétrica da cena com Nível de Processamento 1B2G.
- ii) Avaliação Planimétrica da cena com Nível de Processamento 1B2R.
- iii) Avaliação Planialtimétrica do MDE gerado pelo IBGE a partir das visadas *Backward*, *Nadir* e *Forward*, da cena com Nível de Processamento 1B2R.

## 2. SENSOR PRISM

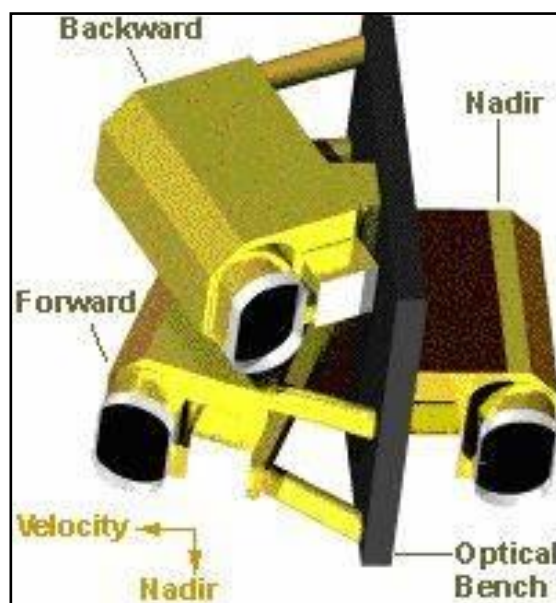
As imagens adquiridas pelo sensor PRISM são pancromáticas (comprimentos de ondas entre 0,52 e 0,77 microns), apresentando resolução espacial de 2,5 metros e resolução radiométrica de 8 bits. O PRISM é composto por 3 sistemas ópticos independentes, um com visada Nadir e dois com visadas inclinadas para frente (*Forward*) e para trás (*Backward*), como pode ser visto na figura 1, tornando possível o imageamento estereoscópico na mesma órbita, ao longo da trajetória do satélite.

Cada um dos três sistemas ópticos é composto por conjuntos de CCDs, sendo 6 para a visada Nadir e 4 CCDs para cada uma das visadas para frente e para trás (EORC/JAXA, 2006).

O sensor PRISM pode operar em 2 modos: Nadir e *Triplet*. No modo Nadir apenas a visada nadir é utilizada, com os 6 CCDs que a compõem, imageando uma faixa de 70km. No modo *Triplet* as 3 visadas são utilizadas, cada uma com 4 CCDs, imageando estereoscopicamente uma faixa de 35km (Figura 2). Neste modo as visadas *Forward* e *Backward* têm inclinações de 23,8° para frente e para trás, respectivamente, formando pares estereoscópicos com uma relação base/altura (B/H) igual 1,0. Além da inclinação da visada, o sensor pode ser inclinado lateralmente em +/-1,5°.

O satélite ALOS apresenta um avançado Sistema de Controle da Órbita e Atitude da plataforma (AOC) que o torna especialmente interessante para a cartografia pois, segundo a JAXA, com as informações geradas pelo sistema AOC torna-se possível gerar imagens com alta qualidade geométrica sem a necessidade de uso de pontos de controle medidos no terreno (ver item 4).

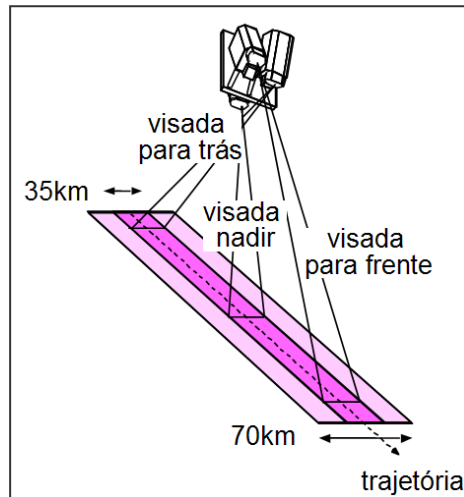
A JAXA elaborou uma estratégia para aquisição de dados utilizando os 3 sensores ALOS para todos os continentes, nos 3 primeiros anos de operação do satélite. De acordo com esta estratégia, o Brasil tem sido imageado completamente pelo sensor PRISM, uma vez a cada ano, nos meses de março a junho, podendo ocorrer a inclusão de passagens não previstas, como a que ocorreu próximo ao inverno de 2008. A JAXA definiu que o sensor PRISM deve usar o modo de observação *Triplet* para esta cobertura anual. Para garantir continuidade entre as faixas é necessário imagear em 2 ciclos, sendo o primeiro com inclinação lateral do sensor, de -1,2° e o segundo de +1,2°.



**Figura 1 - Sensor PRISM e os sistemas ópticos para visadas Nadir, *Backward* (para trás) e *Forward* (para frente).**

Fonte: EORC/JAXA, 2007.





**Figura 2 - Sensor PRISM – Modo de observação Triplet.**

Fonte: Traduzido de EORC/JAXA, 2007.

### 3. NÍVEIS DE PROCESSAMENTO

As imagens PRISM podem ser adquiridas através do IBGE/ASF em 4 diferentes níveis de processamento: 1A, 1B1, 1B2R e 1B2G.

As imagens PRISM no nível 1A não são calibradas. Consistem do dado de sinal não comprimido e reconstruído, com coeficientes de calibração radiométrica e geométrica anexados, mas não aplicados. O usuário recebe um arquivo de imagem para cada um dos CCDs que compõem cada visada.

As imagens nível 1B1 são corrigidas radiometricamente, adicionando-se os coeficientes de calibração absoluta. Possuem os coeficientes de calibração geométrica anexados, mas não aplicados. O usuário recebe um arquivo de imagem para cada um dos CCDs que compõem cada visada.

As imagens 1B2 são calibradas radiométrica e geometricamente e os CCDs de cada visada são mosaicados. O usuário recebe um arquivo de imagem para cada visada. No nível 1B2R a imagem apresenta seus pixels alinhados em relação à trajetória do satélite e possui coordenadas na projeção UTM. É necessário que o usuário aplique uma rotação para tornar a imagem orientada para o Norte. Já o nível 1B2G esta rotação já vem aplicada, ou seja, a imagem está georreferenciada e, conseqüentemente, seus pixels alinhados com a grade da projeção UTM (IBGE, 2009). Toda a correção geométrica aplicada no nível 1B2 é efetuada utilizando os dados obtidos pelos instrumentos do sistema AOC, o que significa que o usuário não necessita fornecer pontos de controle medidos no terreno para obter uma imagem georreferenciada. Entretanto a qualidade geométrica desta imagem georreferenciada está vinculada à qualidade do sistema AOC e ao processamento do sinal que o transforma em imagem, além de desconsiderar o efeito do relevo.

### 4. ESPECIFICAÇÕES DE EXATIDÃO DA JAXA

O Sistema de Controle da Órbita e Atitude do ALOS (AOCS) é composto por: *Star Tracker* Triplo, GPS dupla frequência (L1 e L2), RRA (dispositivo para *laser ranging*), Torqueador Magnético e computador de 64 bits.

A posição do satélite é obtida pelos receptores GPS e sua atitude é obtida pelos *Star Trackers* e Giroscópios (KRAMER, 2006). Adicionalmente existe um sensor de deslocamento

angular (ADS – *Angular Displacement Sensor*), montado diretamente sobre o sensor PRISM, para medir a oscilação de alta-frequência (KAMIYA,2007).

Os dados obtidos por estes equipamentos tornam possível produzir uma imagem com alta qualidade geométrica. A Tabela 1 mostra a exatidão geométrica esperada para as imagens processadas pela versão 4.01 (versão das imagens avaliadas cujos resultados são apresentados neste relatório) do software de processamento de imagens ALOS utilizado pela JAXA para gerar imagens PRISM nível 1B2.

**Tabela 1 – Resultados da calibração do produto PRISM nível 1B2 de março de 2007**

		Direção do pixel (across track)	Direção da linha (along track)	Distância
Exatidão Absoluta	Visada Nadir (RMS)	8 m	9 m	12 m
Exatidão Relativa	Desvio padrão dentro de uma cena ( $1\sigma$ )	4 m	3 m	5 m

Fonte: JAXA, 2007a.

Esta avaliação utilizou 331 pontos de controle medidos no terreno, cobrindo 6 cenas PRISM (JAXA, 2007a).

Posteriormente a JAXA apresentou um segundo relatório de calibração dos sensores (Tabela 2), com resultados ainda melhores. Este resultado é válido para produtos gerados com a versão 5.01 do seu software de processamento de imagens ALOS.

**Tabela 2 – Resultados da calibração do produto PRISM nível 1B2 de setembro de 2007**

		Direção do pixel (across track)	Direção da linha (along track)	Distância
Exatidão Absoluta	Visada Nadir (RMS)	6,5 m	7,3 m	9,8 m
Exatidão Relativa	Desvio padrão dentro de uma cena ( $1\sigma$ )	1,9 m	2,3 m	3 m

Fonte: JAXA, 2007b.

Para esta avaliação foram utilizados pela JAXA 1.390 pontos de controle sobre 64 cenas (JAXA, 2007b).

Deve-se ressaltar que estes valores foram obtidos pela JAXA descontando o efeito de deslocamento do relevo, que é dependente do ângulo de visada e a da elevação do ponto (ACRES, 2007).

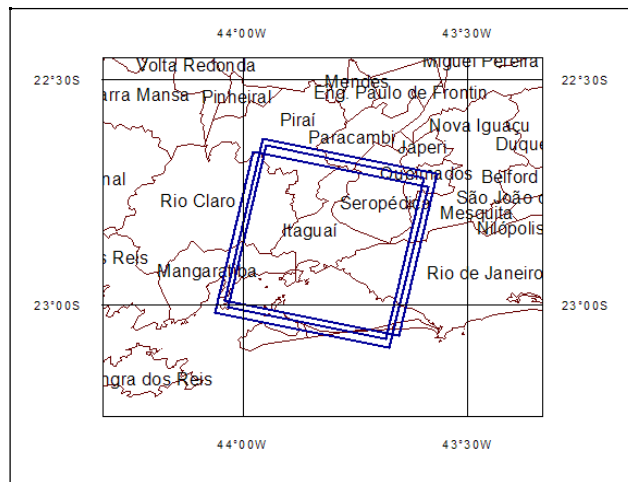
Sendo o sensor PRISM do tipo *push-broom*, a geometria do imageamento é caracterizada pela projeção aproximadamente paralela à direção da *trajetória (along-track)* e projeção perspectiva na direção transversal à trajetória (*across-track*) (KOCAMAN; GRUEN, 2007).

Considerando a estratégia de imageamento da JAXA, descrita no item 2, a imagem PRISM *Triplet* tem inclinação de  $1,2^\circ$  na direção transversal a trajetória. Como a abertura angular de varredura é de cerca de  $2,9^\circ$ , nos extremos da faixa de 35Km, pode-se encontrar uma inclinação de até  $2,65^\circ$ . Quanto maior a ondulação do terreno e maior a inclinação do sensor, maior será a deformação devido ao relevo nesta imagem. Tal deformação pode ser corrigida através do processo de ortorretificação.

## 5. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área utilizada para esta avaliação está localizada no estado do Rio de Janeiro, cobrindo o município de Itaguaí e parte dos municípios do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio Claro, Mangaratiba, Paracambi, Nova Iguaçu, Piraí e Queimados (Figura 3).

Parte de região escolhida apresenta relevo montanhoso, com variação aproximada de 0 a 1.300 metros, tornando possível, desta forma, avaliar a qualidade geométrica do sensor PRISM tanto em áreas planas como em áreas montanhosas onde o deslocamento devido ao relevo é mais acentuado, conforme descrito no item 4.



**Figura 3 - Imagem PRISM *Triplet* da região de Itaguaí, RJ.**

## 6. LEVANTAMENTO DE CAMPO

A atividade de Levantamento de Campo foi realizada em dois períodos de 15 dias (maio e junho de 2008), com 2 equipes trabalhando em cada período. O levantamento visou a determinação de pontos de controle, para correção geométrica e geração de MDE, e de verificação, para avaliação das imagens ALOS/PRISM – e MDEs derivados – adquiridas pelo IBGE.

Após a aquisição da cena, recebida em formato CEOS, foi utilizado o programa MapReady v.1.0.3, desenvolvido pela ASF e disponibilizado gratuitamente pela internet, para a conversão para a extensão Geotiff.

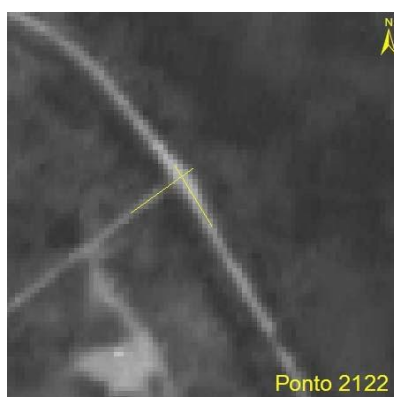
A partir desta imagem no formato Geotiff, foram identificados aproximadamente 140 pontos, distribuídos por toda a área da imagem, para sua determinação em campo. Este número total de pontos considera uma quantidade adicional à necessária em virtude de normalmente serem encontrados impedimentos para determinação das coordenadas de alguns pontos em campo. Priorizou-se pontos localizados em cruzamentos perpendiculares entre estradas ou caminhos, considerando-se as condições de acessibilidade. Buscou-se, ainda, medir o máximo possível de pontos em áreas com maiores valores de altitudes – identificadas a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE) da missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Deve ser destacado que nas áreas de maior altitude os poucos cruzamentos acessíveis existentes não se apresentavam claramente identificáveis, devido à densa cobertura vegetal. Em algumas situações em áreas urbanas percebeu-se uma dificuldade na escolha de pontos por conta da alta reflectância de alguns alvos, prejudicando a perfeita identificação das interseções.

Considerando os resultados alcançados no relatório de calibração das imagens ALOS divulgado pela JAXA para a visada Nadir (12m RMS), definiu-se como adequada a adoção do método de posicionamento relativo estático com uso de receptores de dupla frequência, com coordenadas obtidas por irradiação a partir de uma estação base. Para isso foi utilizado o ponto SAT93819, integrante da rede planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro, localizado na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, contido na cena objeto do estudo.

As determinações GPS consideraram:

- Taxa de rastreamento: 5s
- Tempo médio de rastreamento em cada estação remota: 30 min
- PDOP máximo: 4
- Mínimo de satélites: 5
- Máscara de elevação: 10°
- Datum planimétrico: WGS-84
- Distância máxima das estações remotas à estação base: 40 km
- As medições foram realizadas com Receptores NOVATEL DL 4 PLUS.

Visando facilitar a navegação, foram utilizados receptores MAGELLAN EXPLORIST 400, e folhas topográficas da região. A materialização do ponto é feita a partir da interseção dos eixos que definem um cruzamento. Para facilitar a identificação do ponto em gabinete, ainda em campo utilizou-se como recurso o traçado dos eixos das vias na imagem, com auxílio de notebook, como forma de materializar em um arquivo gráfico, o local medido (Figura 4). Este procedimento se mostrou bastante eficiente porque minimizou as chances de erro na identificação e posicionamento do ponto.



**Figura 4 - Exemplo de ponto materializado em arquivo gráfico.**

Cada ponto de controle foi fotografado de tal maneira que sua localização em campo ficasse claramente visível e facilitasse, posteriormente, sua identificação na imagem para validação. Nas cadernetas de campo foi elaborado um croqui detalhado de cada ponto com a sua orientação, posição das tomadas das fotografias, detalhes importantes do seu entorno (tipo de vegetação, marcas de antropismo etc.). Nas cadernetas também foram registrados os valores de PDOP de cada ponto, datas juliana e gregoriana etc.

Em alguns casos foram encontradas algumas dificuldades na medição dos pontos:

- Na área rural a principal dificuldade ocorreu porque muitos dos cruzamentos selecionados, por falta de melhores opções, se tratavam de “caminho de boi” em área de pasto que em alguns casos não foram localizados e em outros já havia ocorrido significativas modificações. Além disto, muitos dos locais escolhidos estavam inacessíveis devido à existência de porteiros com cadeados.

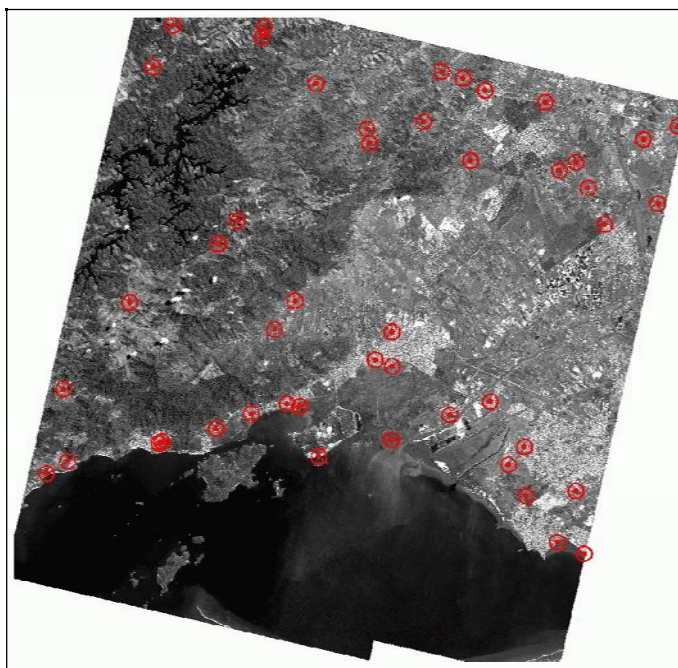
- Na área urbana, a dificuldade maior foi o problemático acesso às áreas de risco em algumas comunidades.
- Surgiram, ainda, outras dificuldades para medir pontos localizados no Distrito Industrial, devido à alteração da paisagem no local, e por conta da demora em obter autorizações para acesso às áreas, demandando em alguns casos, uma manhã inteira de espera.

Para processamento dos dados foi utilizado o software EZSurv Post Processor 2.22, da Viasat GEO Technologies. O processamento foi realizado diariamente, admitindo-se apenas solução fixa, com RMS centimétrico.

## 7. AVALIAÇÃO PLANIMÉTRICA DA CENA COM NÍVEL DE PROCESSAMENTO 1B2G – ESTUDO DE CASO: ITAGUAI, RJ

### 7.1. Descrição da imagem

Embora a imagem tenha sido adquirida no modo *Triplet*, no presente estudo foi avaliada apenas a qualidade geométrica da visada Nadir, por ser esta visada a que sofre menor deformação geométrica dentre as 3 visadas disponíveis. A Figura 5, a seguir, apresenta a cena Nadir, nível 1B2G, utilizada nesta avaliação com os pontos de verificação plotados. A porção do centro para o leste da imagem faz parte da Baixada de Sepetiba, um conjunto de terras baixas que drenam para a Baía de Sepetiba (RJ). O Quadro 1 apresenta informações referentes à cena avaliada.



**Figura 5 - Imagem PRISM Nadir com os 47 pontos determinados em campo.**

**Quadro 1 – Identificação das cenas PRISM Triplet**

Identificador	ALPSMN059584060
Data de aquisição	08/03/2007
Modo de aquisição	Triplet
Largura da Faixa (nominal)	35 km
Nível de processamento	1B2G
Subnó responsável pelo processamento	ASF/AADN
Versão do processador	4.01
Latitude do centro (imagem nadir)	-22,862°
Longitude do centro (imagem nadir)	-43,817°
Inclinação transversal à trajetória	-1,2°

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Cartografia.

Nota: Dados gerados pela JAXA e processados pela ASF.

## 7.2. Metodologia

A partir das coordenadas dos pontos determinados em campo, passou-se à fase de identificação de seus homólogos na imagem. Para isso foi criado um arquivo gráfico destes pontos, que foram reposicionados na imagem a partir dos croquis, fotos e dos eixos das vias traçados. Após este reposicionamento, exportou-se um arquivo com as coordenadas dos pontos para comparação com as coordenadas oriundas do processamento dos dados de campo. A partir das diferenças entre as coordenadas foi calculada a resultante da diferença e, em seguida, sua análise para avaliação da exatidão planimétrica da imagem, bem como sua classificação quanto ao Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC (Tabela 3). O cálculo das distâncias (deslocamentos) entre os pontos foi feito através da raiz quadrada da soma dos quadrados das diferenças entre os pontos (Eq. I).

**Tabela 3 - Critérios de classificação das cartas topográficas segundo sua exatidão planimétrica, com valores para as 2 escalas consideradas**

CLASSES	Tol. (mm)	EMQ (mm)	1:25.000		1:50.000	
			Tol. (m)	EMQ (m)	Tol. (m)	EMQ (m)
A	0,5	0,3	12,5	7,5	25,0	15,0
B	0,8	0,5	20,0	12,5	40,0	25,0
C	1,0	0,6	25,0	15,0	50,0	30,0

Fonte: Brasil, 1984.

$$d = ((x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2)^{1/2}, \quad (\text{Eq. I})$$

Onde:

- $x_i$  = coordenada E do ponto na imagem
- $x_c$  = coordenada E do ponto no terreno, determinado no campo
- $y_i$  = coordenada N do ponto na imagem
- $y_c$  = coordenada N do ponto no terreno, determinado no campo

Como a área apresenta porções baixas e outras elevadas, procurou-se classificar os pontos, dividindo-os de acordo com a altitude na qual estavam localizados, fazendo-se uma nova avaliação dos dois grupos de dados.

### 7.3. Resultados

Foram determinados em campo 121 (cento e vinte e um) pontos identificáveis nas visadas Nadir, *Backward* e *Forward*, dos 3 níveis de processamento. Destes 121, utilizou-se 47 pontos identificados na imagem PRISM 1B2G para a avaliação da exatidão planimétrica da imagem que, como descrito anteriormente, apresenta apenas correção de sistema, não tendo sido ortorretificada. Desta forma, são esperados deslocamentos planimétricos causados pelo efeito da inclinação da visada do sensor sobre o relevo da área imageada.

Os 74 pontos não utilizados nesta avaliação foram coletados para uso nas correções geométrica e avaliações dos demais níveis de processamento do sensor PRISM.

A média dos deslocamentos foi de 11,5 metros, com erro médio quadrático de 4,9 metros. Os deslocamentos mínimo e máximo foram 7,6 e 27,5 metros, respectivamente. A tabela 4 apresenta os números de pontos e seus percentuais em intervalos de deslocamentos entre as coordenadas determinadas em campo e sua posição na imagem.

Pela análise da tabela 4 e pelo erro médio quadrático calculado (4,9m), verifica-se, segundo o PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica), que a imagem apresenta exatidão planimétrica compatível com a classe A da escala 1:50.000.

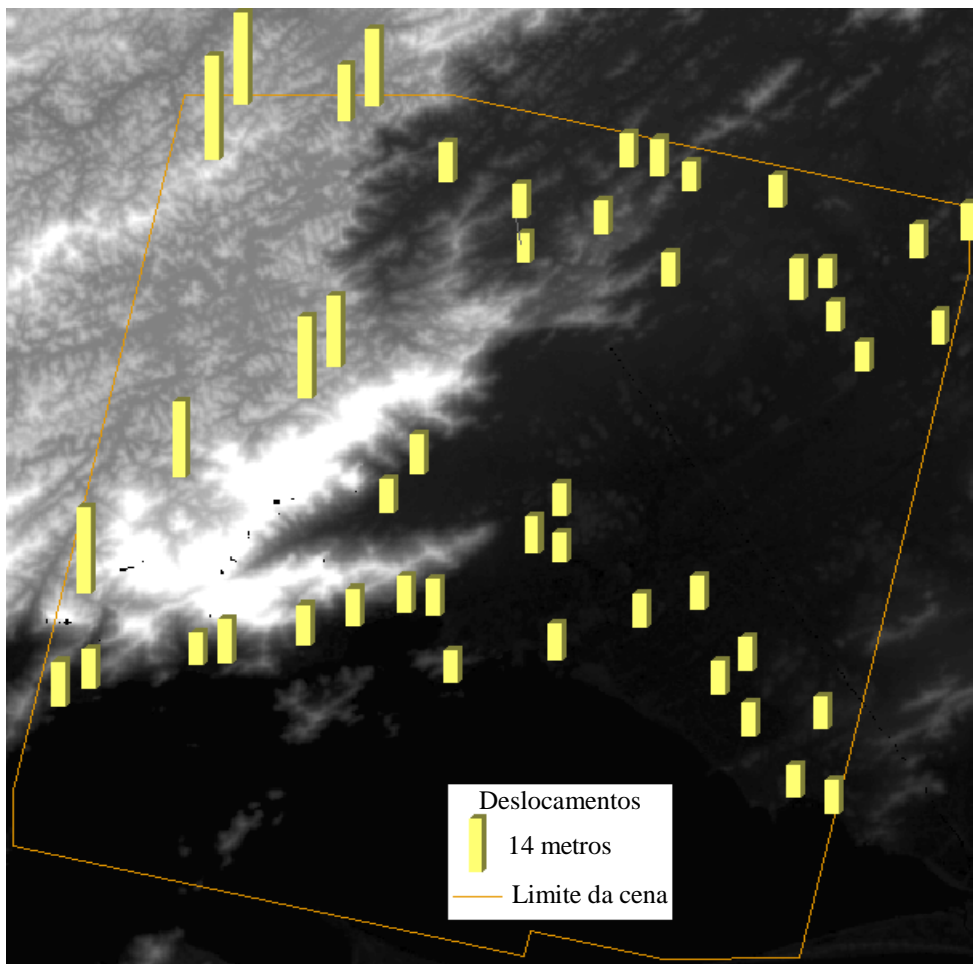
**Tabela 4 – Deslocamento planimétrico**

Deslocamento	Números de Pontos	Percentual
0 a 10 m	28	59,6
0 a 12,5 m	39	83,0
0 a 25 m	45	95,7
0 a 28 m	47	100,0

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Cartografia.

Do total de pontos considerados, 37 estão localizados em terrenos baixos, com altitudes variando de 0 a 69 metros. Os 10 pontos restantes estão localizados em altitudes que variam de 102 a 558 metros. A Figura 6 mostra, através de gráficos de barras, o valor do deslocamento em cada um dos pontos plotados sobre o MDE SRTM da área de estudo. Nesta figura percebe-se que os maiores deslocamentos ocorrem nas áreas de relevo mais acidentado (tons de cinza mais claros), como era de se esperar.





**Figura 6 - Deslocamentos observados nos 47 pontos de verificação sobre MDE SRTM.**

Ao se separar os pontos em dois conjuntos, 37 pontos relativos a áreas com baixa altitude e os 10 localizados nas áreas mais altas, os resultados mostram claramente o efeito do relevo:

- áreas baixas (0 a 69 metros);
- todos os 37 pontos apresentam deslocamentos menores ou iguais a 12 metros;
- áreas mais altas (102 a 558 metros);
- 2 pontos com deslocamentos abaixo de 12 metros (altitudes de 102 e 194 metros);
- 6 pontos com deslocamentos entre 12 e 25 metros (altitudes entre 398 e 464 metros); e
- 2 pontos com deslocamentos entre 25 e 28 metros (altitudes entre 468 e 558 metros).

Ou seja, ao focar apenas a área baixa, a imagem utilizada nesta avaliação pode ser enquadrada – segundo o PEC – na classe A da escala 1:25.000, tanto ao se considerar o percentual de pontos com deslocamento de até 12,5 metros (100%) quanto ao se considerar o erro médio quadrático (1,1 metro).

Visando avaliar a influência do relevo na exatidão planimétrica da imagem, foi feito um cálculo do deslocamento máximo esperado para a área de estudo. Considerando os valores de inclinação da visada apresentados no item 4, se a máxima elevação observada na área (1.300 metros) estivesse localizada num dos extremos da imagem, deveria ser verificado um



deslocamento de 60 metros. Elevações de 500 metros provocam deslocamentos de 23 metros, se estiverem localizadas nos extremos da imagem.

#### **7.4. Conclusões**

A avaliação desta imagem ALOS/PRISM possibilitou identificar coerência e estabilidade nos resultados, visto que os valores de deslocamentos observados entre pontos na imagem e seus homólogos no terreno, medidos em campo através de posicionamento relativo estático, variaram muito pouco quando uma mesma condição de terreno era observada. Em áreas planas e baixas a exatidão planimétrica da imagem nível 1B2G é muito próxima ao apresentado no relatório de calibração da JAXA, enquadrando-se na classe A da escala 1:25.000, de acordo com o PEC. Nas áreas elevadas, com relevo movimentado, a exatidão da imagem 1B2G diminui, enquadrando-se na escala 1:50.000, classe A, ainda de acordo com o PEC.

Os resultados foram muito promissores, incentivando a continuidade do projeto de avaliação das imagens PRISM em outras áreas e com outros níveis de processamento (principalmente o 1B2R), bem como dos MDEs extraídos a partir das três visadas deste sensor.

Vale acrescentar que a imagem utilizada neste trabalho foi processada pela ASF utilizando a versão 4.01 do processador. De acordo com informações da JAXA, imagens processadas com versões mais recentes que a aqui utilizada irão apresentar qualidade geométrica superior, o que serve como motivação para a continuidade das avaliações do uso destas imagens para geração de produtos cartográficos.

Deve ser destacado, ainda, que os resultados são muito atraentes – ainda que relativos a um estudo de caso apenas – para usuários que não necessitam ortorretificar as imagens, pois podem comprar produtos no nível 1B2G a um custo muito baixo e com uma exatidão muito boa se comparado com a ampla maioria dos produtos disponíveis no mercado. É importante enfatizar, também, que estas imagens podem ser usadas como referência para registro de outras, sempre que a exatidão observada seja apropriada para a aplicação, em especial nas áreas planas e baixas.

### **8. AVALIAÇÃO PLANIMÉTRICA DA CENA COM NÍVEL DE PROCESSAMENTO 1B2R, ORTORRETIFICADA PELO IBGE – ESTUDO DE CASO: ITAGUAÍ, RJ**

#### **8.1. Descrição da imagem**

Embora a imagem tenha sido adquirida no modo Triplet, por ser este o modo de aquisição padrão estipulado pela JAXA, foi utilizada nesta avaliação apenas a visada nadir, por ser esta visada a que sofre menor deformação geométrica dentre as 3 visadas disponíveis, sendo por este motivo, a mais indicada ao processo de ortorretificação.

Foi utilizada nesta avaliação uma imagem PRISM com nível de processamento 1B2R no formato CEOS. Imagens nível 1B2R são calibradas radiométrica e geometricamente e os CCDs de cada visada já vem mosaicados. A imagem apresenta seus pixels alinhados em relação à trajetória do satélite e possui informações de coordenadas, na projeção UTM, armazenadas nos arquivos auxiliares da imagem. O Quadro 2 apresenta informações referentes à cena avaliada.

**Quadro 2 – Informações sobre a cena PRISM de Itaguaí/RJ**

Identificador	ALPSMN059584060
Data de aquisição	08/03/2007
Modo de aquisição	Triplet
Largura da Faixa (nominal)	35 km
Nível de processamento	1B2R
Subnó responsável pelo processamento	ASF/AADN
Versão do processador	4.01
Latitude do centro (imagem nadir)	-22,862°
Longitude do centro (imagem nadir)	-43,817°
Inclinação transversal à trajetória	-1,2°

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Cartografia.

Nota: Dados gerados pela JAXA e processados pela ASF.

## **8.2. Metodologia**

### **8.2.1. Ortorretificação da cena**

O processo de ortorretificação exige que o usuário forneça um modelo digital de elevação da área para que as deformações devido ao relevo sejam corrigidas. Sobre esta área de estudo, o IBGE dispõe de MDE gerado por processo fotogramétrico (referido neste relatório como MDEfoto). Este MDE foi gerado a partir de pares estereoscópicos de fotografias adquiridas na escala 1:30.000, através do software LPS (Leica) com grade de 20 metros e LE90 de 5m. Entretanto considerando que poucas áreas do território nacional dispõem de MDE com esta qualidade geométrica, optou-se por testar também o processo de ortorretificação utilizando o MDE SRTM, que apresenta grade de 90m e LE90 de 16 metros, por estar este disponível para qualquer região do país.

Nos testes executados foram utilizados os dois MDEs a fim de avaliar o impacto da diferença de qualidade geométrica destes dois MDEs sobre a imagem ortorretificada resultante.

O software utilizado para ortorretificar a imagem nesta avaliação foi o PCI Geomatica OrthoEngine, por ser este o software que a Gerência de Sensoriamento Remoto vem utilizando nos últimos anos, para a ortorretificação de imagens SPOT.

Segundo a PCI, para modelar a geometria do sensor PRISM são necessários no mínimo 6 pontos de controle medidos no terreno (GCPs) para cada cena. Entretanto a PCI recomenda usar o dobro deste número para atingir um resultado mais consistente. Desta forma foram realizados 6 testes variando o número de pontos de controle e o MDE utilizado conforme mostra a Tabela 5.

Quanto ao nível de processamento, a PCI recomenda a utilização do nível 1B1, pois neste nível de processamento, a cena recebida é composta de 4 imagens separadas, cada uma delas adquirida por um CCD do sensor PRISM. Desta forma o sistema modela cada CCD de forma independente, tornando a modelagem da geometria do sensor mais consistente. Entretanto nesta situação é necessário utilizar um mínimo de 6 GCPs para cada CCD e executar a ortorretificação 4 vezes. A fim de otimizar o processo de produção, a Gerência de Sensoriamento Remoto optou por avaliar o nível 1B2R onde a imagem já é processada com os

4 CCDs mosaicados tornando possível ortorretificar os 4 CCDs de uma vez só e utilizando menos pontos de controle.

**Tabela 5 – Testes realizados em função do MDE utilizado e do número de GCPs**

Teste	MDE	Pontos de Controle	Resíduo do ajustamento (em pixel)
1	SRTM	6	0,47
2	Fotogrametria	6	0,25
3	SRTM	7	0,57
4	Fotogrametria	7	0,69
5	Fotogrametria	9	0,64
6	Fotogrametria	12	0,71

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Cartografia.

Para cada um dos testes foram seguidas as seguintes etapas no PCI Geomatica OrthoEngine versão 10.1:

1. Configuração do projeto - foi utilizado o modelo matemático de Toutin para modelagem de sensores orbitais de alta resolução. O sistema de projeção e sistema geodésico utilizados foram UTM e WGS-84.
2. Importação da imagem – O OrthoEngine é capaz de ler as imagens e também as informações orbitais e metadados armazenados nos arquivos auxiliares do formato CEOS.
3. Coleta dos pontos de controle – os pontos determinados em campo foram fotografados e cadastrados em banco de dados com seus respectivos croquis de localização e descritivos. Estas informações foram consultadas no momento da identificação visual de cada ponto sobre a imagem, a fim de permitir a identificação inequívoca do mesmo.
4. Análise de resíduos do ajustamento – Após a coleta do conjunto de pontos de controle é realizada uma análise dos resíduos com o propósito de encontrar possíveis erros na identificação dos pontos e corrigi-los, se necessário. Os resíduos dos testes realizados podem ser verificados na tabela 5.
5. Ortorretificação – foi utilizado o algoritmo de reamostragem bilinear.

### **8.2.2. Avaliação Planimétrica**

A avaliação consistiu na identificação e medição das distâncias entre os pontos determinados em campo e seus homólogos em todas as imagens ortorretificadas (com os diferentes números de GCPs e MDEs). O cálculo das distâncias (deslocamentos) entre os pontos foi feito através da Equação I (Item 7.2.).

Para a identificação dos pontos de verificação foi utilizado o software ArcGIS v.9.2, com o auxílio das fotografias, croquis e descritivos dos pontos. Também foi utilizada a estratégia de traçar sobre as imagens parte dos eixos das vias para facilitar a localização dos pontos medidos em cruzamentos de estradas e vias.

### **8.3. Resultados**

Para a avaliação da exatidão de cada ortoimagem gerada foram utilizados um mínimo de 40 pontos de verificação, cujas coordenadas foram determinadas no terreno, por GPS, por posicionamento relativo estático, garantindo-se exatidão centimétrica. Os pontos de

verificação escolhidos são bem identificáveis na imagem e apresentam-se homoganeamente distribuídos pela área de cobertura da ortoimagem. Deu-se especial atenção para que os pontos coletados em áreas mais elevadas figurassem entre os 40 pontos selecionados. Os pontos utilizados como pontos de controle, não fizeram parte do conjunto de pontos de verificação.

A Tabela 6 mostra os erros planimétricos das ortoimagens dos 6 testes e a escala do mapeamento sistemático ao qual estes erros se encaixam considerando o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) classe A, para o estudo de caso em questão.

**Tabela 6 – Classificação da cena 1B2R ortorretificada, segundo quantidade de pontos de controle e MDE utilizados**

Teste	MDE	Pontos Controle	Pontos Avaliação	Erro Planimétrico (metros)			PEC Classe A
				Máximo	Médio	EMQ	
1	SRTM	6	40	25,2	12,0	6,6	1:50.000
2	Fotogrametria	6	40	25,3	11,2	7,0	1:50.000
3	SRTM	7	40	9,6	4,0	2,1	1:25.000
4	Fotogrametria	7	40	10,6	4,0	2,2	1:25.000
5	Fotogrametria	9	40	8,5	3,8	2,1	1:25.000
6	Fotogrametria	12	40	9,2	3,8	2,2	1:25.000

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Cartografia.

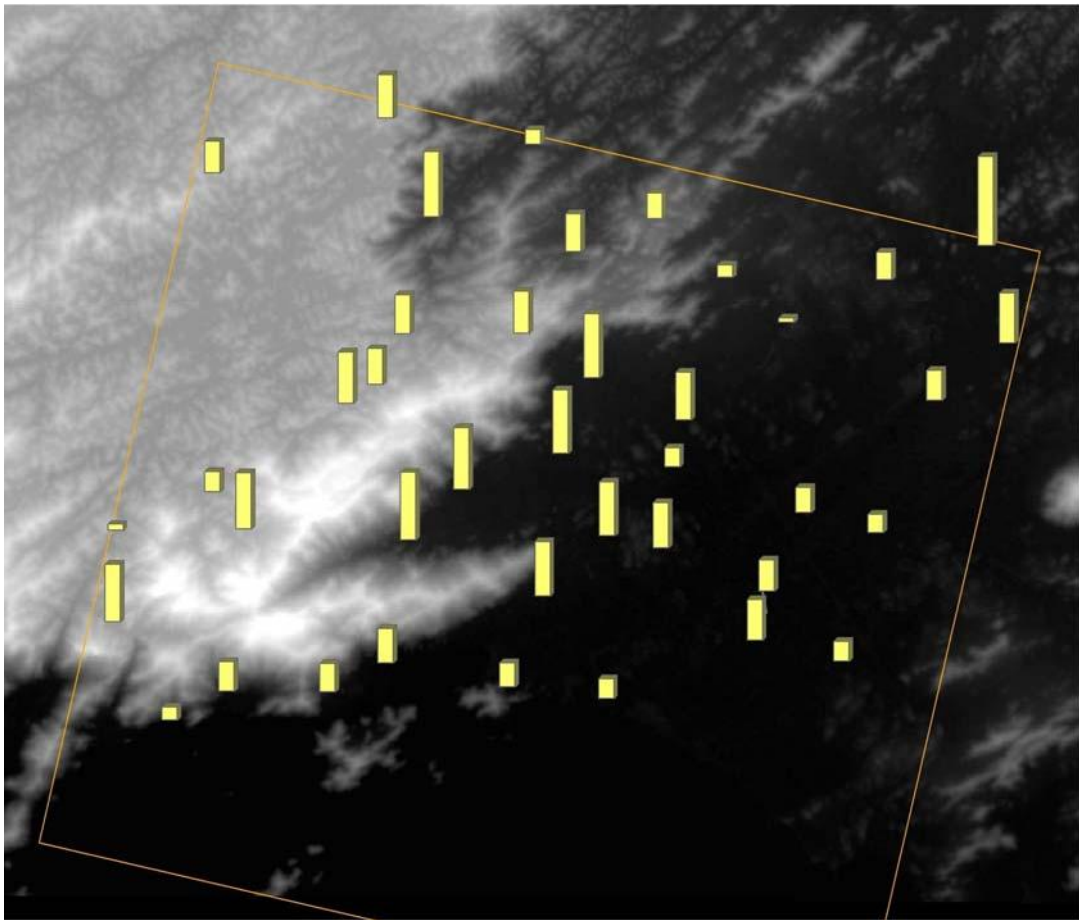
A Figura 7 apresenta a distribuição dos erros (deslocamentos) planimétricos encontrados nesta cena 1B2R de Itaguaí ortorretificada com MDE SRTM. Nesta figura é possível observar, ao contrário da equivalente para o nível 1B2G, que não há um predomínio dos deslocamentos maiores nas porções mais elevadas e com relevo movimentado. O erro, agora, apresenta uma distribuição mais aleatória.

#### 8.4. Conclusões

A avaliação desta imagem ALOS/PRISM possibilitou identificar coerência e estabilidade nos resultados, visto que os valores de deslocamentos observados entre pontos na imagem e seus homólogos no terreno, medidos em campo através de posicionamento relativo estático, variaram muito pouco.

A cena 1B2R, ortorretificada com 7 pontos de controle foi enquadrada na classe A da escala 1:25.000, tanto ao se utilizar um MDE gerado por fotogrametria quanto ao se usar o MDE SRTM (90 metros de pixel). Os resultados obtidos – nesta área de estudo – sugerem a possibilidade de aplicação do MDE SRTM na ortorretificação de cenas PRISM 1B2R. Confirmando-se esta possibilidade, amplia-se a facilidade de ortorretificação destas imagens, o que garante sua qualidade geométrica independentemente do relevo da área imageada.

Embora a PCI especifique 6 pontos como o número mínimo de GCPs para modelar o sensor PRISM, a ortoimagem gerada com 6 pontos apresenta deslocamentos superiores aos deslocamentos medidos na imagem nível 1B2G que não sofreu nenhum processo de ortorretificação. O resultado não apresentou melhora significativa quando se variou a configuração da distribuição dos 6 pontos sobre a imagem, sugerindo que o sistema não consegue modelar adequadamente as deformações da imagem nível 1B2R com apenas 6 pontos. A exatidão planimétrica atingida foi compatível com a classe A da escala 1:50.000, que foi a mesma atingida pela imagem nível 1B2G que não sofreu qualquer ortorretificação.



**Figura 7 - Distribuição dos erros (deslocamentos) planimétricos na imagem 1B2R ortorretificada com MDE SRTM.**

Ao adicionar-se 1 ponto de controle em cada um dos 2 conjuntos de 6 pontos (testes 3 e 4), verificou-se uma melhora significativa da modelagem do sensor, conferindo à imagem corrigida exatidão planimétrica compatível com a classe A da escala 1:25.000. O resultado não apresentou diferença significativa quando variou-se a configuração da distribuição dos 7 pontos sobre a imagem, sugerindo que o sistema consegue modelar adequadamente as deformações da imagem nível 1B2R com apenas 7 pontos.

A inclusão de outros pontos ao modelo, aumentando a quantidade para 9 ou 12 pontos não trouxe melhorias significativas para a correção da imagem.

Quanto ao MDE utilizado para a ortorretificação, verificou-se que o resultado do teste 4, utilizando o MDE gerado por processo fotogramétrico, não apresentou melhora significativa da qualidade geométrica da ortoimagem resultante, quando comparado à imagem ortorretificada pelo MDE SRTM, gerada no teste 3 com os mesmos pontos de controle. Sugere-se, assim, que a diferença de qualidade geométrica do MDE não trouxe melhora significativa para a ortoimagem gerada com 7 pontos de controle.

Os resultados obtidos neste estudo de caso nos permitem indicar o uso de 7 pontos de controle para a ortorretificação das imagens PRISM nível 1B2R. Entretanto sabe-se que pequenos erros de identificação de um ponto na imagem, podem prejudicar o ajustamento como um todo e que quanto menor o número de pontos mais difícil é a identificação do ponto que apresenta problemas. Desta forma, mesmo que sejam utilizados apenas 7 pontos sugere-se utilizar pelo menos 1 ponto adicional para verificar se o modelo foi calculado

adequadamente. Recomenda-se, sempre, utilizar pontos de checagem para validar as ortoimagens, ainda que amostralmente.

Uma vez que os testes foram realizados com apenas 1 cena, as conclusões aqui apresentadas se referem especificamente a este estudo de caso. Entretanto, considerando a utilização de outras imagens PRISM com as mesmas características da cena utilizada neste experimento (mesmos nível de processamento e inclinação da visada) e sobre regiões com movimentação do relevo semelhante ao de Itaguaí ou mais plano, é possível utilizar estas conclusões para definir uma metodologia para produção de ortoimagens PRISM que sejam úteis como insumo com exatidão planimétrica compatível com a escala 1:25.000.

Para se ter uma maior garantia acerca da exatidão planimétrica das imagens PRISM, é necessário continuar a avaliação em diferentes partes do país, cobrindo áreas com diferentes características topográficas e de uso da terra e cobertura vegetal.

Vale ressaltar que, neste trabalho, a cena ortoretificada foi avaliada como compatível com a escala 1:25.000 apenas do ponto de vista geométrico. Deve-se realizar um estudo sobre a interpretabilidade desta imagem, visando a definição da escala que ela pode atender, baseado no nível de detalhamento das feições que podem ser extraídas.

## **9. AVALIAÇÃO PLANIALTIMÉTRICA DO MDE ALOS/PRISM, NÍVEL DE PROCESSAMENTO 1B2R – ESTUDO DE CASO: ITAGUAÍ, RJ**

### **9.1. Descrição da imagem**

Foi utilizada a imagem adquirida no modo Triplet, por ser este o modo de aquisição padrão estipulado pela JAXA e porque, nesta avaliação, foram consideradas as 3 visadas (Nadir, *Backward* e *Forward*) para geração de MDE, além da ortoimagem Nadir, que foi utilizada para avaliar a planimetria do MDE.

Foi utilizada nesta avaliação uma imagem PRISM com nível de processamento 1B2R no formato CEOS. Imagens nível 1B2R são calibradas radiométrica e geometricamente e os CCDs de cada visada já vem mosaicados. A imagem apresenta seus pixels alinhados em relação à trajetória do satélite e possui informações de coordenadas, na projeção UTM, armazenadas nos arquivos auxiliares da imagem. O Quadro 2, apresentado anteriormente, contém informações referentes à cena avaliada.

### **9.2. Metodologia**

#### **9.2.1. Modelagem geométrica**

O processo de geração do MDE pressupõe a identificação de pontos de controle (GCPs) na imagem, assim como de pontos de ligação (Tie Points – TPs) entre cenas que componham o par estereoscópico. Apoiando-se na avaliação do item 8, o qual indicou um mínimo de 7 GCPs para modelar a geometria da cena 1B2R, utilizou-se este mesmo número de pontos, adicionando-se 11 TPs para ligação entre os pares. Deve-se citar que foram feitos testes acerca da necessidade dos TPs, chegando-se a conclusão, para este *Triplet*, pelo menos, que seu uso aumenta muito a qualidade do MDE gerado, reduzindo as áreas de falha.

No caso de geração de MDEs procura-se – inclusive para reduzir o número de pontos de controle necessários – utilizar pontos que possam ser identificáveis em todas as visadas que se deseje utilizar. Estes pontos são chamados de pontos estéreos. É altamente recomendável que dentre estes pontos estejam aqueles localizados nos pontos mais altos e também nos mais baixos da área de interesse. Isto nem sempre é possível (principalmente nas áreas mais elevadas por questões de acesso e por não se dispor de elementos identificáveis na imagem), mas deve ser meta durante o planejamento e levantamento de campo.

Como a imagem PRISM adquirida no modo *Triplet* é composta por imagens de 3 visadas (Nadir, *Backward* e *Forward*), torna-se possível considerar até 3 pares estéreos por cena: Nadir x *Backward*, Nadir x *Forward* e *Backward* x *Forward*. Desta forma, devem ser identificados GCPs e TPs em todas as visadas que serão utilizadas.

### 9.2.2. Geração do MDE

Após a identificação dos pontos e, tendo-se obtido os resíduos de ajustamento compatíveis com a resolução da imagem (até 2,5m nesta avaliação), segue-se à fase de geração dos pares epipolares.

Os MDEs são gerados a partir da medição das diferenças de paralaxes existentes entre os pares de imagens. As imagens originais são modeladas e transformadas para a geometria epipolar, a fim de minimizar a paralaxe no eixo y e facilitar a correlação automática das imagens que formam cada par. Como o PRISM possibilita a geração de até 3 pares estéreos por cena *Triplet*, foram gerados 3 pares epipolares.

Ainda para facilitar a correlação automática das imagens, o tamanho de pixel da imagem original foi reamostrado para 5m, pela média, durante o processo de geração das imagens epipolares.

Para a geração do MDE propriamente dito, é necessário selecionar uma série de parâmetros disponíveis no PCI Orthoengine. Foram feitos testes diversos, variando-se muitos destes parâmetros e fazendo-se opções entre uso de 1, 2 ou dos 3 pares epipolares.

Os melhores resultados foram obtidos ao se utilizar 2 e 3 pares epipolares: Nadir x *Backward* e Nadir x *Forward* ou estes dois e acrescidos do *Backward* x *Forward*. Ao se optar por usar mais de 1 par, deve ser indicada uma estratégia para aproveitamento deles na geração do MDE. O PCI oferece as opções: uso do valor de altitude do último MDE adicionado; cálculo da média entre as altitudes obtidas dos diferentes pares; ou uso da elevação oriunda do par estéreo que apresentar a maior correlação entre as imagens. Esta última opção foi a utilizada.

Além da geração das imagens epipolares e da seleção de quais pares serão utilizados na geração do MDE, foram feitos diversos testes variando os parâmetros que são utilizados para definir as características dos MDEs. Assim, foram feitos testes para a geração de MDEs com reamostragem para 10 e 20 metros do espaçamento da grade; com e sem uso de preenchimento de vazios (interpolação de áreas onde não se atingiu a correlação mínima de 50%) e filtragem.

Em todos os casos estabeleceu-se as altitudes mínima e máxima na área de 0 e 1300 metros, respectivamente.

A opção nível de detalhamento determina que nível da pirâmide multi-resolução será usada pelo algoritmo de correlação. Considerando que as imagens epipolares já foram reamostradas para 5 metros a fim de facilitar a correlação, e que o tempo de processamento gasto para geração do MDE com nível de detalhe alto não é significativa, os MDEs dos testes foram todos gerados usando nível de detalhamento alto.

Em todos os casos sempre foi gerado um canal de *score* que permite uma avaliação da distribuição espacial da correlação em cada pixel do MDE.

### 9.2.3. Geração da Ortoimagem

O melhor MDE gerado foi utilizado para ortorretificar a visada Nadir da cena 1B2R, utilizando a mesma modelagem geométrica – mesmos GCPs e TPs.

Utilizando esta ortοimagem, foi feita a avaliação da exatidão planimétrica do MDE. A metodologia usada foi a mesma da utilizada nos itens 7 e 8 deste relatório: determinou-se a distância (deslocamento) entre 40 pontos determinados em campo e seus homólogos na ortοimagem. Após os cálculos dos deslocamentos (Eq. I), o resultado foi analisado à luz do PEC (Tabela 7).

**Tabela 7 - Critérios de classificação das cartas topográficas segundo o PEC, com valores para as 2 escalas consideradas**

CLASSE	Tol.	EMQ	1:25.000		1:50.000		
			Equidistância: 10m		Equidistância: 20m		
			Tol.(m)	EMQ(m)	Tol.(m)	EMQ(m)	
A	Planimetria	0,5mm	0,3mm	12,5	7,5	25,0	15,0
	Altimetria	1/2 Eq.	1/3 Eq.	5,0	3,3	10,0	6,7
B	Planimetria	0,8mm	0,5mm	20,0	12,5	40,0	25,0
	Altimetria	3/5 Eq.	2/5 Eq.	6,0	4,0	12,0	8,0
C	Planimetria	1mm	0,6mm	25,0	15,0	50,0	30,0
	Altimetria	3/4 Eq.	1/2 Eq.	7,5	5,0	15,0	10,0

Fonte: Adaptado de Brasil, 1984.

### 9.3. Resultados

Foram gerados 6 MDEs variando os parâmetros descritos no item 9.2.2, conforme mostra a Tabela 8. Para avaliar a qualidade dos MDEs gerados, comparou-se as elevações de 88 pontos medidos em campo, conforme descrito no item 6, com as respectivas elevações medidas sobre os MDEs gerados. Foram calculados para cada MDE a média e o desvio padrão das diferenças entre as altitudes medidas em campo e as calculadas no MDE, como mostra a Tabela 9 e o Gráfico 1.

**Tabela 8 – Parâmetros utilizados nos 6 MDEs de teste gerados**

CONFIGURAÇÃO	MDE1	MDE2	MDE3	MDE4	MDE5	MDE6
Pares estéreo utilizados	Back/Nadir Nadir/For Back/For	Back/Nadir Nadir/For Back/For	Back/Nadir Nadir/For	Back/Nadir Nadir/For	Back/Nadir Nadir/For Back/For	Back/Nadir Nadir/For Back/For
Espaçamento da grade (tamanho do pixel)	10 m	10 m	10 m	20 m	20 m	20 m
Preenchimento de vazios e filtragem	não	sim	sim	sim	não	sim

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Cartografia.

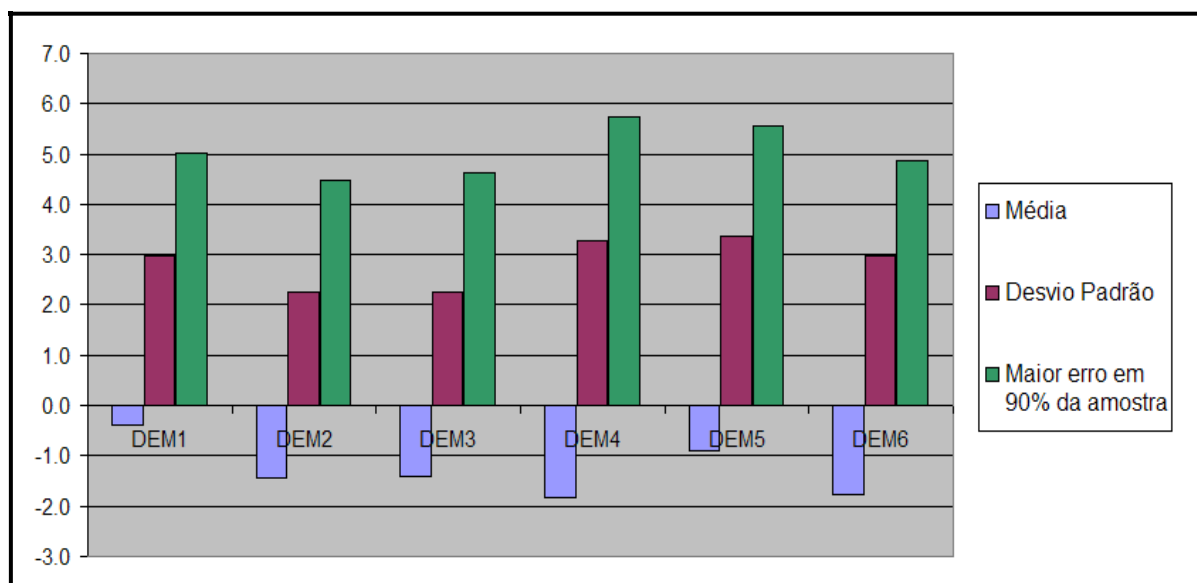


**Tabela 9 – Estatística das diferenças de altitudes encontradas nos 88 pontos de campo (valores em metros)**

	MDE1	MDE2	MDE3	MDE4	MDE5	MDE6
Média	-0,4	-1,4	-1,4	-1,8	-0,9	-1,8
Desvio Padrão	3,0	2,3	2,3	3,3	3,4	3,0
Máximo	7,3	3,6	3,6	14,6	5,3	14,6
Mínimo	-8,6	-7,2	-7,2	-12,1	-10,9	-9,1
Maior erro em 90% da amostra	5,0	4,5	4,6	5,7	5,6	4,9

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Cartografia.

**Gráfico 1 - Estatísticas das diferenças encontradas nos 88 pontos de campo (valores em metros)**



Avaliando-se os resultados, verificou-se que as menores diferenças encontradas foram nos MDEs 2 e 3 que são os que têm tamanho de pixel de 10 metros e que sofreram preenchimentos de vazios e filtragem. Neste caso, a utilização das 3 visadas – ao invés de apenas duas – não trouxe maiores vantagens. No MDE2 (3 visadas) verificou-se 93,2% dos pontos (82 dos 88 pontos) com diferenças de altitudes inferiores a 5 metros. No MDE3 (2 visadas) este percentual foi de 92% (81 dos 88 pontos). Comparando os MDEs 4 e 6, que têm tamanho de pixel de 20 metros, notou-se uma pequena melhora ao utilizar as 3 visadas.

Ao comparar visualmente os MDEs gerados sem o preenchimento de vazios e a filtragem com aqueles que sofreram estes processamentos, fica claro a melhoria nestes últimos. Tal melhoria se justifica pois através da filtragem são eliminados valores espúrios e através da interpolação são preenchidas as elevações naquelas áreas onde a correlação apresentou valores inferiores a 50%. Na avaliação numérica (comparando os resultados dos MDE1 com MDE2 e MDE4 com MDE5) esta melhoria é menos perceptível uma vez que nenhum dos 88 pontos estava localizado sobre valores espúrios ou áreas de falhas. Ainda assim, pode-se perceber melhoria em todos os valores de desvio padrão, embora as médias piores.

Comparando-se os resultados apresentados na tabela 9 e baseado apenas nesta amostra de 88 pontos, verificou-se que os MDEs 1, 2, 3 e 6 se enquadram na especificação do PEC exigida para a escala 1:25.000, classe A. Apenas os MDEs 4 e 5, que foram gerados com 2 visadas e pixel de 20 metros, se enquadram na classe B para a escala 1:25.000.

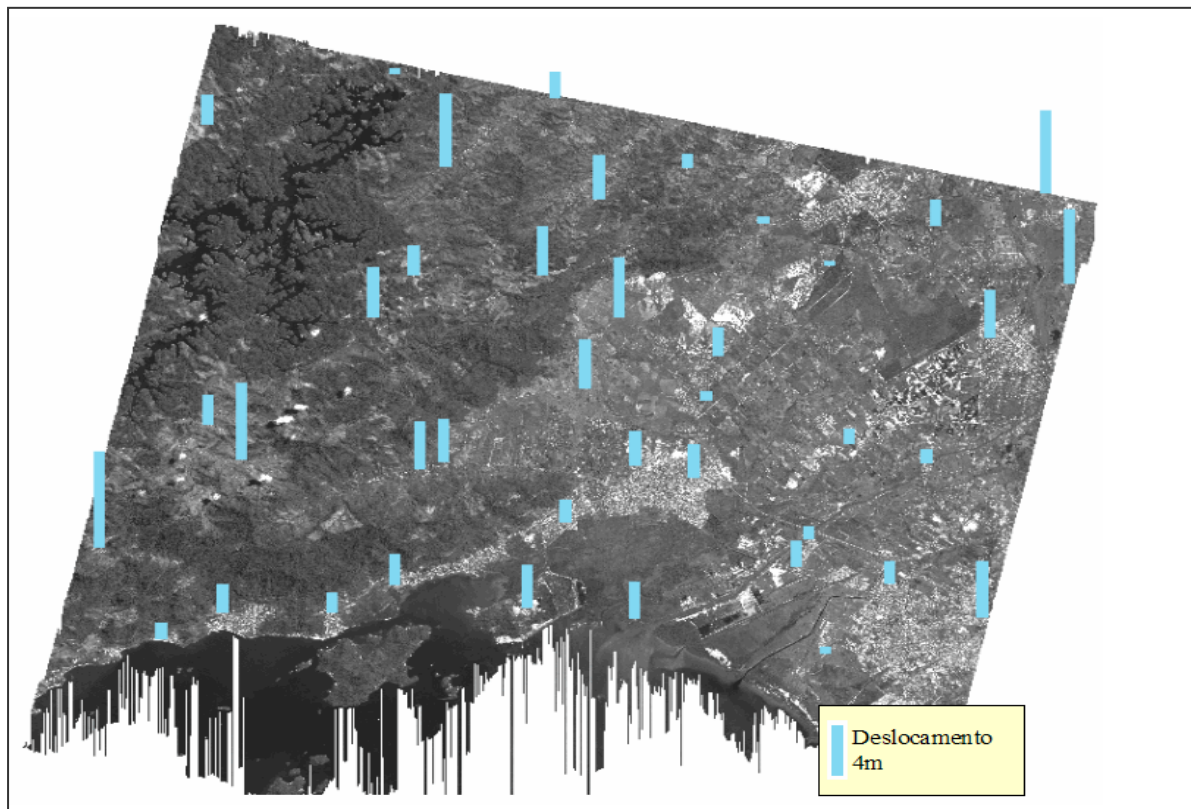
Para avaliar a exatidão planimétrica do MDE, foi utilizada a imagem Nadir da cena PRISM *Triplet* 1B2R ortorretificada com o MDE3. Foram comparadas as coordenadas E e N de 40 pontos medidos em campo com suas respectivas coordenadas na imagem ortorretificada. Os valores da média dos deslocamentos, desvio padrão e maior erro em 90% da amostra são os apresentados na Tabela 10.

**Tabela 10 – Deslocamentos observados na cena 1B2R ortorretificada usando o MDE3 e a modelagem utilizada na geração do mesmo MDE**

	Deslocamentos (m)
Média	3,0
Desvio Padrão	1,9
Mínimo	0,4
Máximo	7,9
Maior erro em 90% da amostra	6,0

Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Cartografia.

Comparando-se os valores encontrados com a especificação do PEC (Tabela 7), verificou-se que a ortoimagem se enquadra na especificação exigida para a escala 1:25.000, classe A. De fato, 100% dos 88 pontos apresentaram deslocamentos inferiores a 12,5 metros: o maior valor observado foi de 7,9 metros. A Figura 8 mostra a distribuição espacial dos erros (deslocamentos), comprovando-se que o relevo deixa de influenciar nos deslocamentos verificados na imagem ortorretificada.



**Figura 8 - Distribuição espacial dos deslocamentos nos 40 pontos usados na avaliação da imagem Nadir ortorretificada com o MDE3.**

## 9.4. Conclusões

Nos testes realizados, na cena analisada, verificou-se que nas regiões de relevo movimentado a grande diferença entre as cenas *Backward* e *Forward* prejudica muito o sucesso da correlação automática, tornando impossível o cálculo das elevações em muitas destas regiões. Tal problema é contornado quando se utiliza os pares *Backward/Nadir* e *Nadir/Forward*.

O uso de apenas 7 pontos de controle para a modelagem geométrica dos pares estereoscópicos PRISM não foi suficiente para garantir boa correlação. Ao adicionar ao modelo 11 pontos de ligação (TPs), as grandes áreas de falha na correlação encontradas no primeiro MDE diminuíram consideravelmente, demonstrando a necessidade de uso de TPs para garantir uma melhor correlação entre as imagens.

O processamento que o software oferece para preenchimento de vazios soluciona os problemas da falta de informação em pequenas áreas onde ocorreu falha na correlação entre as imagens que formam o par. Ao utilizar a opção de gerar o canal de *score*, é possível conhecer a dimensão e a localização destas áreas onde a correlação falhou. De posse desta informação é preciso verificar se, nestas áreas, a solução de cálculo da elevação pela interpolação das elevações dos pixels vizinhos foi satisfatória ou não.

Nos testes realizados, os MDEs gerados sem a opção de filtragem e preenchimentos de vazios apresentavam alguns valores espúrios que foram eliminados com a filtragem, conferindo ao MDE uma aparência mais suavizada.

Os testes executados para esta cena PRISM *Triplet*, que cobre a região de Itaguaí, demonstram que é possível extrair destas imagens MDEs cuja exatidão é compatível com as especificações do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC). Ao utilizar-se espaçamento de 10 metros para a grade (tamanho do pixel) do MDE, verificou-se que o mesmo atendeu ao PEC classe A para a escala 1:25.000. Nos testes onde foi utilizado o espaçamento de 20m, o produto foi classificado como PEC Classe B na escala 1:25.000.

## 10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Deve-se ressaltar que todas as conclusões apresentadas neste relatório foram baseadas no estudo de caso de uma única cena PRISM *Triplet*, adquirida sobre a região de Itaguaí, nos modos de processamento 1B2R e 1B2G.

A metodologia de produção de ortoimagens e MDEs, definida para estas avaliações, pode ser utilizada em um fluxo de produção no IBGE, entretanto é necessário inserir, nas rotinas de produção, uma etapa de verificação dos produtos gerados, que deve ser feita com a utilização de pontos de verificação medidos em campo, amostralmente, até que as conclusões aqui apresentadas possam ser confirmadas e consolidadas, comprovando que o comportamento encontrado nestes testes se repete em outras cenas e em outras regiões.

O fornecedor do software utilizado (Geomatica OrthoEngine) recomenda o uso de imagens PRISM no nível de processamento 1B1 para a extração de MDEs. Entretanto estas imagens são compostas por 4 CCDs, o que dificulta sua manipulação, exigindo a modelagem de um volume muito maior de pares estereoscópicos por cena e um volume bem maior de pontos de controle para correção dos mesmos. O IBGE já adquiriu uma quantidade considerável de cenas PRISM *Triplet* nível 1B2R, para atender a demandas do Censo 2010. Desta forma, pensando-se na possibilidade de aproveitamento deste acervo, optou-se por avaliar primeiramente o potencial de uso do nível 1B2R para ortorretificação e extração de MDEs. Com base nos experimentos realizados, este nível de processamento demonstrou ser adequado para as necessidades de exatidão planialtimétrica do mapeamento nas escalas cartográficas nas quais o IBGE trabalha.

O uso do nível de processamento 1B2R se mostrou mais apropriado do que o nível 1B2G pelos seguintes motivos:

O software *MapReady* (disponibilizado gratuitamente pela ASF) é capaz de aplicar uma correção geométrica a imagem 1B2R tornando-a semelhante à imagem 1B2G.

- Não é possível ortorretificar nem extrair MDEs usando as imagens 1B2G.
- As imagens 1B2R se mostraram adequadas para a extração de MDEs e para a geração de imagens ortorretificadas, utilizando-se os softwares que o IBGE dispõe atualmente.

Com base nos testes realizados, as seguintes recomendações devem ser seguidas:

- Para a modelagem geométrica das imagens deve-se utilizar um mínimo de 7 pontos de controle bem distribuídos sobre cada cena. Este conjunto de 7 pontos deve conter pelo menos 1 ponto cuja elevação seja o mais próximo possível da elevação máxima da região e 1 ponto cuja elevação seja o mais próximo possível da elevação mínima da região.
- Para geração de ortoimagens PRISM é possível utilizar um MDE cuja qualidade geométrica seja igual, ou melhor, que o MDE SRTM. Caso seja utilizado o MDE SRTM versão 2, ele deve ser previamente editado, a fim de remover as áreas de falha por interpolação, utilizando o software SRTMfill ou similar. Soluções opcionais, que não foram testadas nesta avaliação, são o uso da versão 4 do MDE SRTM, que já apresenta as áreas de falha interpoladas, e o MDE TOPODATA gerado pelo INPE a partir dos dados do SRTM.
- Deve-se dar especial atenção ao relevo da região de interesse no momento da escolha do nível de processamento das imagens a serem usadas, tanto para uso sem correção geométrica pelo usuário quanto para ortorretificação e extração de MDEs. Imagens 1B2G devem ser usadas apenas em áreas com pouca movimentação de relevo, demandando, ainda, a utilização de pontos de verificação para validação da exatidão planimétrica, mesmo que de forma amostral. Para a extração de MDEs, os testes realizados mostraram que, em áreas de relevo movimentado, é necessário utilizar pares estereoscópicos formados pelas visadas inclinadas (*Backward* e *Forward*) juntamente com a visada Nadir, pois a correlação entre as imagens *Backward* e *Forward* é muito baixa, em diversas áreas, devido às grandes variações de paralaxe provocadas pelas altitudes maiores. Para regiões de relevo pouco movimentado, não há perdas significativas na correlação quando se usa o par estereoscópico *Backward* e *Forward* que é, teoricamente, o melhor do ponto de vista geométrico, pois fornece a melhor relação base/altura.
- Teoricamente é possível reduzir o número de pontos de controle necessários para a ortorretificação e extração de MDEs, utilizando o processamento em blocos de imagens. Esta possibilidade deve ser testada em avaliações futuras.

Desde o lançamento do ALOS, a JAXA vem trabalhando na calibração geométrica dos sensores e na conseqüente implementação dos processadores dos dados por eles adquiridos.

Com as melhorias desses processadores existe uma expectativa de ganho na qualidade geométrica dos produtos corrigidos e MDEs gerados futuramente.

Existe a possibilidade de correção geométrica sem uso de GCPs, mas para isso seria necessário adquirir os coeficientes de correção (RPCs) que são comercializados pela RESTEC - Japão.

## 11 Referências

ACRES. *ALOS geometric and radiometric specifications*. 2007. Disponível em: <[http://www.ga.gov.au/acres/prod\\_ser/ALOS\\_geo.jsp](http://www.ga.gov.au/acres/prod_ser/ALOS_geo.jsp)>. Acesso em: 21 jul. 2008.

BRASIL. Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. Normas Técnicas da Cartografia Nacional. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 22 jun. 1984. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1980-1989/D89817.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm). Acesso em: 25 maio 2009.

EORC/JAXA. *ALOS PRISM level 1 product format descriptions*. 2006. Disponível em: <<http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/doc/format.htm>>. Acesso em: 21 jul. 2008. rev. J.

EORC/JAXA. *ALOS user handbook*. 2007. Disponível em: <[http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/doc/alos\\_userhb\\_en.pdf](http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/doc/alos_userhb_en.pdf)>. Acesso em: 21 jul. 2008.

IBGE. *Imagens do satélite ALOS*. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/alos/default.php>>. Acesso em: 22 jul. 2008.

IBGE. *Imagens do satélite ALOS: opções de processamento*. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/alos/especificacoes.php>>. Acesso em: 25 maio 2009.

JAXA. *Calibration result of JAXA standard products*. 2007a. Disponível em: [http://www.eorc.jaxa.jp/hatoyama/satellite/data\\_tekyo\\_setsumei/alos\\_hyouka\\_e\\_20070329.html](http://www.eorc.jaxa.jp/hatoyama/satellite/data_tekyo_setsumei/alos_hyouka_e_20070329.html)> Acesso em: 21 jul. 2008.

JAXA. *Calibration result of JAXA standard products*. 2007b. Disponível em: <[http://www.eorc.jaxa.jp/en/hatoyama/satellite/data\\_tekyo\\_setsumei/alos\\_hyouka\\_e.html](http://www.eorc.jaxa.jp/en/hatoyama/satellite/data_tekyo_setsumei/alos_hyouka_e.html)> Acesso em: 25 maio 2009.

KAMIYA I. Geometric characteristics of the early products of ALOS PRISM. *Bulletin of the Geographical Survey Institute*, vol.54, p.75–82. 2007.

KOCAMAN S.; GRUEN A. Rigorous sensor modeling of ALOS/PRISM imagery. In: CONFERENCE ON OPTICAL 3D MEASUREMENT TECHNIQUES, 8., 2007, Zurich, Switzerland. *Anais...* Zurich, Switzerland: Institute of Geodesy and Photogrammetry, 2007. Disponível em: <[http://www.photogrammetry.ethz.ch/general/persons/sultan\\_pub/Kocaman\\_Gruen\\_Opt3D\\_07.pdf](http://www.photogrammetry.ethz.ch/general/persons/sultan_pub/Kocaman_Gruen_Opt3D_07.pdf)> Acesso em: 21 jul. 2008.

KRAMER, H. J. *Observation of the Earth and Its environment: survey of missions and sensors e o portal directory ALOS*. 2006. Disponível em: <[http://directory.eoportal.org/pres\\_ALOSAdvancedLandObservingSatelliteDaichi.html](http://directory.eoportal.org/pres_ALOSAdvancedLandObservingSatelliteDaichi.html)> Acesso em: 20 set. 2006.

# Equipe Técnica

## **Diretoria de Geociências**

### **Coordenação de Cartografia**

João Bosco de Azevedo

### **Técnicos Responsáveis**

Rafael Silva de Barros

Aline Lopes Coelho

Marilea Ferreria Melo

José Duarte Correia

Leila Freitas de Oliveira

### **Técnicos Colaboradores**

Eduardo Porto Abrahão

Dalvan Francisco de Souza

Jose Carlos Correa

Sheila de Azevedo Andriotti

Aldo Neve Sampaio

Carlos José dos Santos

Sidnei José Soares

Paulo Vitor de Oliveira

Rafaela Santos Pereira

## **Gerência de Documentação e Informação – GDI**

Amauri Silva

Mônica Malaquias de Campos

### **Programa Editorial**

Ceni Maria de Paula de Souza

Jerônimo Pedro Nogueira do Couto

Rubens de Oliveira Theophilo

### **Copidesque e Revisão**

Iaracy Prazeres Gomes

Rosane Tavares Trindade

## **Centro de Documentação e Disseminação de Informações**

### **Coordenação de Produção**

Marise Maria Ferreira