

AVALIAÇÃO PLANIMÉTRICA DE IMAGENS ALOS/A VNIR-2

**ESTUDO DE CASO:
UBERLÂNDIA-MG
RELATÓRIO 2009/2010**

PRESIDENTE DA REPÚBLICA
Luís Inácio Lula da Silva

Ministro do Planejamento, Orçamento e Gestão
Paulo Bernardo Silva

**INSTITUTO BRASILEIRO
DE GEOGRAFIA E
ESTATÍSTICA - IBGE**

Presidente
Eduardo Pereira Nunes

Diretor-Executivo
Sérgio da Costa Côrtes

ÓRGÃOS ESPECÍFICOS SINGULARES

Diretoria de Pesquisas
Wasmália Socorro Barata Bivar

Diretoria de Geociências
Luiz Paulo Souto Fortes

Diretoria de Informática
Luiz Fernando Pinto Mariano

Centro de Documentação e Disseminação de Informações
David Wu Tai

Escola Nacional de Ciências Estatísticas
Sérgio da Costa Côrtes (interino)

UNIDADE RESPONSÁVEL

Diretoria de Geociências

Coordenação de Cartografia
João Bosco de Azevedo

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

AVALIAÇÃO PLANIMÉTRICA DE IMAGENS ALOS/AVNIR-2

Estudo de caso: Uberlândia-MG

RELATÓRIO 2009/2010

Rio de Janeiro
2010

Sumário

APRESENTAÇÃO.....	3
1. INTRODUÇÃO.....	4
1.1. JUSTIFICATIVA.....	4
1.2. OBJETIVOS.....	5
2. SENSOR AVNIR-2.....	5
3. NÍVEIS DE PROCESSAMENTO	7
4. ESPECIFICAÇÕES DE EXATIDÃO DA JAXA.....	8
5. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	9
6. DESCRIÇÃO DAS ORTOFOTOS E PONTOS DE CONTROLE	10
7. AVALIAÇÃO PLANIMÉTRICA DA CENA COM NÍVEL DE PROCESSAMENTO 1B2G – ESTUDO DE CASO: Uberlândia-MG.....	11
7.1. DESCRIÇÃO DA IMAGEM	11
7.2. METODOLOGIA.....	11
7.3. RESULTADOS.....	13
8. AVALIAÇÃO PLANIMÉTRICA DA CENA COM NÍVEL DE PROCESSAMENTO 1B2R, ORTORRETIFICADA PELO IBGE – ESTUDO DE CASO: Uberlândia-MG.....	14
8.1. DESCRIÇÃO DA IMAGEM	14
8.2. METODOLOGIA DE ORTORRETIFICAÇÃO	15
8.3. MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO UTILIZADO	16
8.4. AVALIAÇÃO PLANIMÉTRICA	16
8.5. ORTORRETIFICAÇÃO DA CENA USANDO PONTOS DE CONTROLE DAS ORTOFOTOS	16
8.5.1 RESULTADOS.....	18
8.6. ORTORRETIFICAÇÃO DA CENA USANDO PONTOS DE CAMPO.....	20
8.6.1 RESULTADOS.....	23
8.7. RESUMO DOS RESULTADOS	23
9. CONCLUSÕES.....	24
10. REFERÊNCIAS	27

APRESENTAÇÃO

A Coordenação de Cartografia da Diretoria de Geociências está utilizando as imagens do sensor AVNIR-2 do satélite ALOS 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. Este fato, aliado ao papel desempenhado pelo IBGE de distribuidor das imagens deste satélite para usuários não comerciais no Brasil, evidenciou a necessidade de uma avaliação criteriosa – ainda que pontual – acerca da qualidade planimétrica dos produtos derivados das imagens AVNIR-2. Neste relatório são apresentados os resultados das avaliações concluídas até o momento, a saber: avaliação planimétrica de uma cena com nível de processamento 1B2G e avaliação planimétrica de uma cena com nível de processamento 1B2R ortorretificada pelo IBGE com pontos de apoio determinados em campo e Modelo Digital de Elevação (MDE) da missão SRTM.

Luiz Paulo Souto Fortes

Diretor de Geociências

INTRODUÇÃO

O satélite japonês ALOS foi lançado em 24 de janeiro de 2006 pela JAXA (Agência Espacial Japonesa), visando a 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 imageador.

O sensor PRISM gera imagens pancromáticas com 2,5 metros de resolução espacial e faixa coberta (*swath*) de 35 ou 70 km, dependendo do modo de operação, com resolução radiométrica de 8 bits. Este sensor possui capacidade estereoscópica.

O PALSAR é um sensor SAR (*Synthetic Aperture Radar*), operando na banda L. Dependendo do modo de operação utilizado, a resolução espacial das imagens varia entre 10 e 100 metros e a faixa de cobertura entre 20 e 350 quilômetros de largura. O PALSAR pode operar em diferentes modos de polarização: apenas HH, com duas polarizações (HH e HV) ou ainda com as quatro polarizações simultaneamente, HH, HV, VH e VV. As imagens de RADAR são especialmente úteis em regiões que estão constantemente cobertas por nuvens, uma vez que este tipo de sensor é capaz de imagear a superfície independentemente da presença de nuvens.

As características do sensor AVNIR-2 estão detalhadas no item 2 deste relatório.

A JAXA optou por estabelecer nós de distribuição das imagens em todos os continentes. A ASF (*Alaska Satellite Facility*), que é o nó responsável pela distribuição das imagens nas Américas, fez uma parceria com a Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), para que esta faça a distribuição das imagens para usuários não comerciais.

1.1. JUSTIFICATIVA

Em função do preço inferior ao de imagens existentes com as mesmas características e da qualidade esperada, o interesse pelas imagens ALOS tem sido intenso por uma grande parcela da comunidade usuária de sensoriamento remoto, incluindo o próprio IBGE.

As imagens AVNIR-2 apresentam grande potencial de uso para mapeamento topográfico e para mapeamento temático devido à sua capacidade multispectral e à resolução espacial de 10 metros.

Neste sentido, tornou-se necessário o desenvolvimento de um estudo visando avaliar a qualidade geométrica destas imagens, a fim de verificar até que escalas os insumos podem ser utilizados ao se considerar sua exatidão planimétrica e definir uma metodologia para a correção geométrica destas imagens.

1.2. OBJETIVOS

O presente relatório visa apresentar os resultados obtidos na avaliação planimétrica das imagens ALOS/AVNIR-2 e definir metodologia para ortorretificação destas imagens no nível de processamento 1B2R.

Foram realizadas as seguintes avaliações:

- Avaliação planimétrica de uma cena com nível de processamento 1B2G.
- Avaliação planimétrica de uma cena com nível de processamento 1B2R ortorretificada pelo IBGE usando pontos de controle coletados de ortofotos e MDE SRTM.
- Avaliação planimétrica de uma cena com nível de processamento 1B2R ortorretificada pelo IBGE usando pontos de controle medidos em campo, originalmente coletados para a ortorretificação de fotografias aéreas, e MDE SRTM.

Esta última avaliação foi motivada por representar uma solução alternativa, já que muitos pontos de controle coletados a partir de sensores (aerotransportado ou orbital) diferentes do usado no planejamento podem não atender às especificidades de correção geométrica das imagens, em virtude das diferentes formas de identificação do ponto na imagem.

2. SENSOR AVNIR-2

O AVNIR-2 apresenta resolução espacial de 10 metros, em 4 bandas espectrais equivalentes ao Azul, Verde, Vermelho e Infravermelho Próximo. O Quadro 1 detalha as características do sensor.

Conforme mostra a Figura 1, o sensor AVNIR-2 é capaz de operar em visada nadir ou visada inclinada transversal à direção de órbita, com ângulo de inclinação que pode variar

até +/- 44 graus, o que permite reduzir o tempo de revisita em áreas específicas. Tal flexibilidade é especialmente interessante para imageamento emergencial de desastres naturais e monitoramento ambiental.

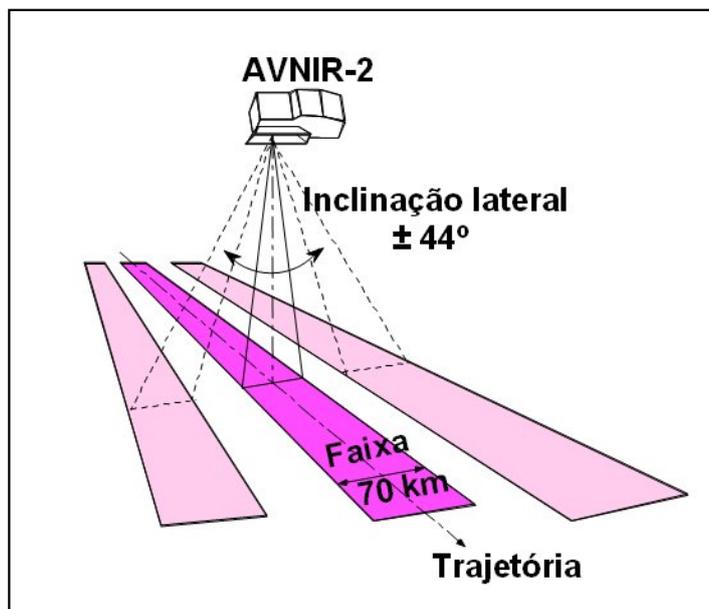


Figura 1 – Sensor AVNIR-2

Fonte: Traduzido de EORC/JAXA, 2007

Quadro 1 – Características do sensor AVNIR-2 (Traduzido de EORC/JAXA, 2007)

Bandas espectrais/comprimento de onda (microns)	1: 0,42-0,50 μm 2: 0,52-0,60 μm 3: 0,61-0,69 μm 4: 0,76-0,89 μm
Resolução espacial	10 m (nadir)
Largura da faixa	70 km (nadir)
Nº de detectores	7.000 / banda
Limite de inclinação lateral da visada	+/- 44° (direita/esquerda)
Resolução radiométrica por banda	8 bits
Altitude (1)	691,65 km
Distância focal (1)	0,8 m
Tamanho do pixel no sensor (1)	11,6 μm

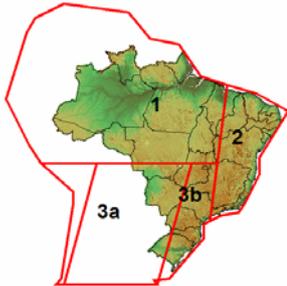
Fonte: EORC/JAXA, 2008

(1) Fonte: JACOBSEN, 2008

A JAXA elaborou uma estratégia para aquisição de dados utilizando os 3 sensores ALOS para todos os continentes, durante os 3 primeiros anos de operação do satélite. O Quadro 2 mostra os ciclos planejados pela JAXA para gerar imagens AVNIR-2, com visada nadir, sobre o Brasil.

Quadro 2 – Plano de observação da JAXA para imageamento AVNIR-2 do Brasil, v06/2010

Ciclo (24 dias)	Data de início	Área coberta
9	20-Jan-07	Todo o Brasil
10	7-Mar-07	Todo o Brasil
17	23-Jan-08	Todo o Brasil
18	9-Mar-08	Todo o Brasil
23	25-Out-08	Região 1
25	25-Jan-09	Todo o Brasil
26	12-Mar-09	Todo o Brasil
27	27-Abr-09	Todo o Brasil
28	12-Jun-09	Regiões 1 e 2
29	28-Jul-09	Regiões 1 e 2
30	12-Set-09	Todo o Brasil
31	28-Out-09	Todo o Brasil
32	13-Dez-09	Regiões 1 e 2
33	28-Jan-10	Todo o Brasil
34	15-Mar-10	Todo o Brasil
35	30-Abr-10	Todo o Brasil
36	15-Jun-10	Todo o Brasil
37	31-Jul-10	Todo o Brasil
38	15-Set-10	Todo o Brasil



The map shows the outline of Brazil with a red border. It is divided into four regions: Region 1 (top center), Region 2 (top right), Region 3a (bottom left), and Region 3b (bottom right).

Fonte: Adaptado de EORC/JAXA, 2009.

Nota: Nas aquisições em ciclos consecutivos, se a primeira aquisição for realizada com sucesso, normalmente ela não será incluída no segundo ciclo.

3. NÍVEIS DE PROCESSAMENTO

As imagens AVNIR-2 podem ser adquiridas através do IBGE/ASF em 4 diferentes níveis de processamento: 1A, 1B1, 1B2R e 1B2G.

As imagens AVNIR-2 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.

As imagens nível 1B1 são corrigidas radiometricamente, adicionando-se os coeficientes de calibração absoluta. Possuem os coeficientes de calibração geométrica anexados, mas não aplicados.

As imagens nível 1B2 são calibradas radiométrica e geometricamente. 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 no 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). A correção geométrica aplicada no nível 1B2 é efetuada utilizando os dados obtidos pelos instrumentos do Sistema de Controle da Órbita e Atitude da plataforma ALOS (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 deslocamento devido ao relevo.

4. ESPECIFICAÇÕES DE EXATIDÃO DA JAXA

O satélite ALOS apresenta um avançado Sistema de Controle da Órbita e Atitude da plataforma (AOC), que é composto por: *Star Tracker* Triplo, GPS dupla-fase (L1 e L2), RRA (dispositivo para *laser ranging*), Torqueador Magnético e computador 64 bits.

A posição do satélite é obtida pelos receptores GPS e sua atitude pelos *Star Trackers* e Giroscópios (KRAMER, 2006).

Os dados obtidos por estes equipamentos tornam possível corrigir geometricamente as imagens adquiridas pelos sensores ALOS.

As imagens avaliadas, cujos resultados são apresentados neste relatório, foram processadas com as versões 4.01 e 5.02 do software de processamento de imagens ALOS utilizado pela JAXA para gerar imagens AVNIR-2 nível 1B2. A Tabela 1 mostra a exatidão geométrica esperada para estas imagens.

Tabela 1 – Resultados da calibração do produto AVNIR-2 nível 1B2 de 29 de março de 2007 e de 28 de setembro de 2007

		Direção do pixel (<i>across track</i>)	Direção da linha (<i>along track</i>)	Distância
Exatidão Absoluta	Visada Nadir (RMS)	106 m	19 m	108 m
Exatidão Relativa	Desvio padrão dentro de uma cena (1σ)	4 m	4 m	6 m

Fonte: JAXA, 2007.

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).

5. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A região coberta pela cena AVNIR-2 utilizada nesta avaliação corresponde a aproximadamente 70 km x 70 km e abrange as cidades de Uberlândia, Indianópolis e Araguari em Minas Gerais, sendo cortada pelo rio Araguari de oeste para este (Figura 2). As altitudes da área variam aproximadamente entre 600 e 1000 metros.

O que norteou a escolha desta região foi o fato de o IBGE ter executado recentemente o projeto intitulado SPMGGO-50, que consistiu no mapeamento topográfico de uma extensa área que cobre parte dos estados de São Paulo, Minas Gerais e Goiás. Para este projeto foram gerados pontos de apoio de campo e ortofotos com qualidade geométrica compatível com a escala de 1:25.000. As cenas AVNIR-2 selecionadas para esta avaliação estão completamente contidas na área deste projeto, tornando possível o uso destes pontos de campo, bem como das ortofotos, tanto como referência para a ortorretificação da imagem, como para a verificação dos resultados, evitando-se desta forma o trabalho de campo.

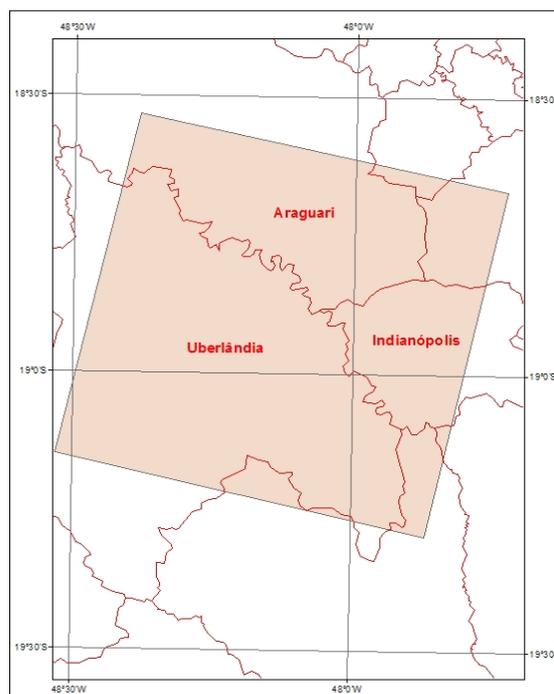


Figura 2 - Enquadramento da cena AVNIR-2 na região de estudo.

6. DESCRIÇÃO DAS ORTOFOTOS E PONTOS DE CONTROLE

O projeto de mapeamento SPMGGO-50, executado em 2008, produziu ortofotos com resolução espacial de 1 metro que foram geradas a partir de pares estereoscópicos de fotografias aéreas na escala de 1:35.000, tomadas em julho de 2002, e de pontos de campo medidos pelo método relativo estático com coordenadas obtidas por triangulação, a partir de uma estação base local, o que garante uma qualidade geométrica de 0,5 metro nas coordenadas dos pontos. As ortofotos apresentam exatidão planimétrica melhor que 8 metros.

Tanto as ortofotos como os pontos de controle estão referenciados ao sistema geodésico SAD69. A área coberta pela cena AVNIR-2 avaliada é coberta por 40 ortofotos e 58 pontos de controle do projeto SPMGGO-50, conforme mostra a Figura 3, os quais foram transformados para o sistema WGS84, que é o utilizado na cena AVNIR-2.

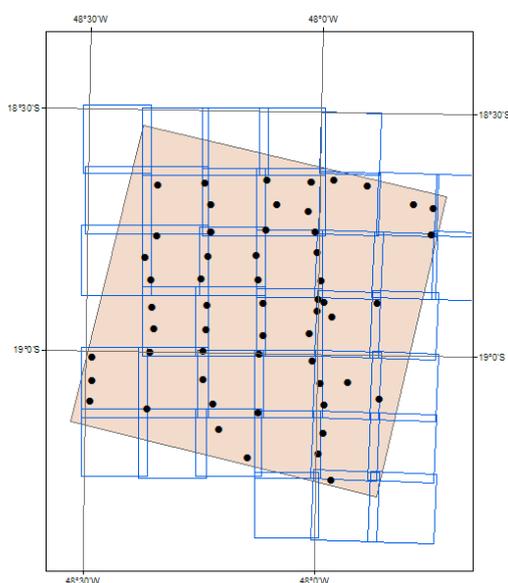


Figura 3 – Ortofotos (polígonos azuis) e pontos de controle (pontos pretos) na cena em teste (polígono rosa)

7. AVALIAÇÃO PLANIMÉTRICA DA CENA COM NÍVEL DE PROCESSAMENTO 1B2G – ESTUDO DE CASO: UBERLÂNDIA-MG

7.1. DESCRIÇÃO DA IMAGEM

Para esta avaliação foi utilizada a cena AVNIR-2 (descrita no Quadro 3), com nível de correção 1B2G. Neste nível de correção, as imagens são calibradas radiométrica e geometricamente, estão georreferenciadas com base apenas nas informações orbitais e seus pixels estão alinhados com a grade da projeção UTM.

Quadro 3 - Informação sobre a cena AVNIR-2 nível 1B2G

Identificador	ALAV2A070963980
Data de aquisição	25/05/2007
Largura da Faixa (nominal)	70 km
Nível de processamento	1B2G
Sub-nó responsável pelo processamento	ASF
Versão do processador	4.01
Latitude do centro	-18,918
Longitude do centro	-48,113
Inclinação transversal à trajetória	0°

Fonte: Metadados da imagem fornecidos pela ASF.

7.2. METODOLOGIA

Para avaliação da qualidade geométrica da cena AVNIR-2 nível 1B2G foram selecionados 72 pontos que estavam bem identificáveis tanto nas ortofotos do projeto SPMGGO-50 (ver item 6) quanto na cena AVNIR-2 1B2G. Estes pontos apresentam-se homoganeamente distribuídos na área coberta pela cena AVNIR-2, conforme mostra a Figura 4.

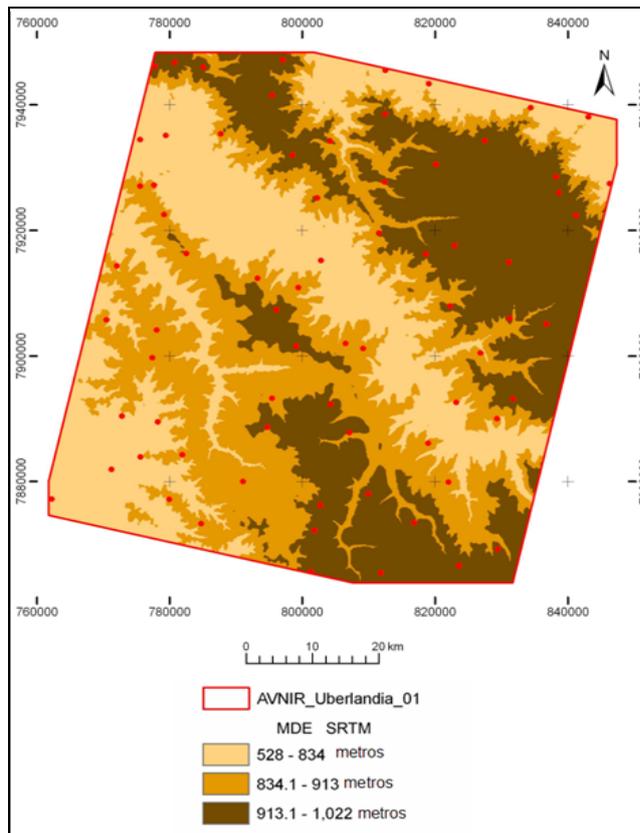


Figura 4 – 72 pontos identificados nas ortofotos e na cena AVNIR-2 sobrepostos ao MDE SRTM

Utilizando-se o *software* ArcGIS v.9.2, cada ponto escolhido foi nomeado e suas coordenadas foram registradas em dois arquivos de pontos, um para a imagem AVNIR-2 1B2G e outro para as ortofotos. O cálculo da distância (deslocamento) entre um mesmo ponto medido na imagem e seu homólogo na ortofoto foi feito através da raiz quadrada da soma dos quadrados das diferenças entre as coordenadas dos pontos (Eq. 1).

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

sendo:

d: distância entre os pontos na ortoimagem e na ortofoto;

x_i , y_i : coordenadas na ortoimagem

x_f , y_f : coordenadas na ortofoto

7.3. RESULTADOS

As discrepâncias observadas nos 72 pontos estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Estatísticas dos erros da imagem AVNIR-2 1B2G

	Erro Planimétrico (metros)		
	E	N	Planimétrico
máximo	20,1	3,5	86,1
mínimo	-85,8	-33,3	17,6
médio	-30,6	-12,8	39,6
CE90	-	-	62,9
EMQ	26,5	8,9	17,5
EMQ JAXA	106,0	19,0	108,0

Embora o EMQ planimétrico divulgado pela JAXA seja de 108 metros, o valor final encontrado nesta avaliação foi 17,5 metros, um pouco menor que um quinto do valor da JAXA, e o valor do CE90 (erro circular em 90% dos pontos) calculado foi 62,9 metros. Desta forma, a imagem AVNIR 1B2G da área de estudo de Uberlândia, sem uso de pontos de controle, apresentou-se compatível com o PEC Classe A da escala 1:250.000 do mapeamento sistemático brasileiro, quando comparada às ortofotos do projeto SPMGGO-50.

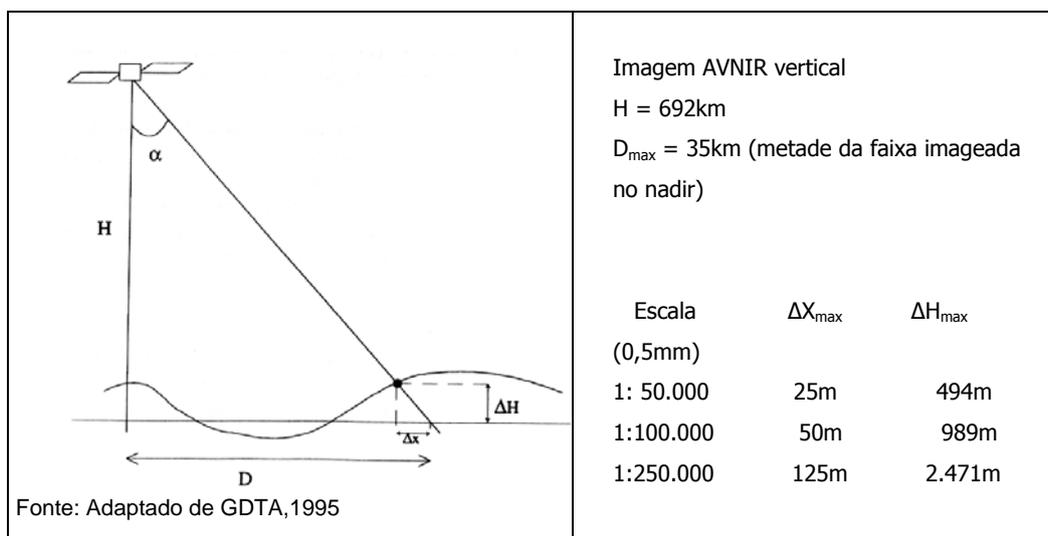
É importante considerar que, pelo fato destas cenas não serem ortorretificadas, as mesmas contêm as deformações provenientes do efeito de deslocamento do relevo, que é dependente do ângulo de visada e da elevação do ponto (ACRES, 2007).

A geometria do imageamento do sensor AVNIR-2 é do tipo *push-broom*, que se caracteriza por apresentar projeção aproximadamente paralela na direção da trajetória (*along-track*) e projeção perspectiva na direção transversal à trajetória (*across-track*). Considerando a estratégia de imageamento da JAXA, descrita no item 2, as imagens AVNIR-2 são adquiridas em visada nadir. Assim sendo, as distorções devido ao relevo (Quadro 4) podem ser calculadas de forma aproximada pela Equação 2.

$$\Delta X = (D \times \Delta H) / H \quad (\text{Eq. 2})$$

Sendo: H – altitude do sensor (692 km para o ALOS)
 D – metade da faixa imageada no Nadir (35 km para o AVNIR-2)
 ΔH – altitude do ponto no terreno
 ΔX – deslocamento do ponto devido ao relevo

Quadro 4 – Cálculo da deformação devido ao relevo



Avaliando-se a área de estudo Uberlândia, a variação máxima de altitudes encontrada é de cerca de 500 metros. Através dos cálculos do Quadro 4, verifica-se que a deformação máxima provocada por esta diferença de relevo dentro da imagem apresenta um valor de 25 metros.

8. AVALIAÇÃO PLANIMÉTRICA DA CENA COM NÍVEL DE PROCESSAMENTO 1B2R, ORTORRETIFICADA PELO IBGE – ESTUDO DE CASO: UBERLÂNDIA-MG

8.1. DESCRIÇÃO DA IMAGEM

Foi utilizada nesta avaliação uma cena AVNIR-2 com nível de processamento 1B2R no formato CEOS. Imagens nível 1B2R são calibradas radiométrica e geometricamente. 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 5 apresenta informações referentes à cena avaliada.

Quadro 5 - Informação sobre a cena AVNIR-2 nível 1B2R

Identificador	ALAV2A138063980
Data de aquisição	27/08/2008
Largura da Faixa (nominal)	70 km
Nível de processamento	1B2R
Sub-nó responsável pelo processamento	ASF
Versão do processador	5.02
Latitude do centro	-18,915
Longitude do centro	-48,131
Inclinação transversal à trajetória	0°

Fonte: Metadados da imagem fornecidos pela ASF

8.2. METODOLOGIA DE ORTORRETIFICAÇÃO

O *software* utilizado para ortorretificar a imagem nesta avaliação foi o PCI Geomatica OrthoEngine v. 10.1, por ser este o *software* que a Coordenação de Cartografia do IBGE vem utilizando nos últimos anos para a ortorretificação de imagens SPOT.

Foi utilizado o modelo matemático rigoroso para sensores orbitais, desenvolvido por Toutin (TOUTIN, 2004 e TOUTIN, 1989), que está disponível no *software* PCI OrthoEngine.

Segundo a PCI, só é possível modelar, com o modelo rigoroso, a geometria do sensor AVNIR-2 usando um mínimo de 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 vários testes variando-se o número de pontos de controle.

Os testes foram divididos em duas etapas: na primeira, fez-se a ortorretificação utilizando-se pontos de controle extraídos das ortofotos; na segunda, foram aproveitados os pontos medidos em campo do projeto SPMGGO-50 como pontos de controle.

A metodologia de avaliação das ortoimagens geradas foi baseada na comparação destas ortoimagens com as ortofotos do projeto SPMGGO-50, conforme descrito no item 8.4.

8.3. MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO UTILIZADO

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. Este MDE foi gerado a partir de pares estereoscópicos de fotografias adquiridas na escala 1:35.000, através do *software* SOCET-SET, aplicativo ATE, com grade de 40 metros e LE90¹ de 5m. Entretanto, considerando que poucas áreas do território nacional dispõem de MDE com esta qualidade geométrica, optou-se por fazer a ortorretificação utilizando o MDE SRTM – versão 4, que apresenta grade de 90m e LE90 de 16 metros, uma vez que este se encontra disponível para qualquer região do país. O MDE SRTM v.4 foi obtido através da página da internet <http://srtm.csi.cgiar.org>.

8.4. AVALIAÇÃO PLANIMÉTRICA

Para avaliação planimétrica, os cálculos foram feitos medindo-se a distância entre a posição de um mesmo ponto identificado na ortoimagem e na ortofoto. Para isso, selecionaram-se 34 pontos bem distribuídos sobre a ortoimagem, com o cuidado de que estes pontos fossem igualmente bem identificados na ortofoto. Procurou-se distribuir estes 34 pontos nas áreas de maior e menor altitude. Os pontos utilizados como pontos de controle para a geração das ortoimagens não estão incluídos nestes 34 pontos de verificação.

Cada ponto foi nomeado e suas coordenadas, na ortoimagem e na ortofoto, foram armazenadas em um arquivo gráfico, utilizando-se o *software* ArcGIS v.9.2. Desta forma, geraram-se tabelas com coordenadas obtidas da ortoimagem e da ortofoto para os 34 pontos. Este procedimento foi repetido para cada ortoimagem resultante da ortorretificação com 6, 7 e 9 pontos de controle e uma única vez para as ortofotos. O cálculo da distância (deslocamento) entre um ponto na ortoimagem e seu homólogo na ortofoto foi feito através da raiz quadrada da soma dos quadrados das diferenças entre as coordenadas dos pontos (Eq. 1), conforme descrito no item 7.2.

8.5. ORTORRETIFICAÇÃO DA CENA USANDO PONTOS DE CONTROLE DAS ORTOFOTOS

Para avaliar a qualidade da ortorretificação da cena AVNIR-2 nível 1B2R, usando MDE SRTM, foram executados três testes variando o número de pontos de controle.

¹ Erro Linear em 90% dos pontos

Etapas seguidas no PCI Geomatica OrthoEngine versão 10.1 para ortorretificação da cena:

- a. Configuração do projeto no OrthoEngine pelo modelo de *Toutin* para modelagem de sensores orbitais de alta resolução. O sistema de projeção e o sistema geodésico utilizados foram UTM e WGS-84, respectivamente.
- b. Importação da cena, com suas 4 bandas, e transformação para o formato PIX. O OrthoEngine é capaz de ler as imagens e também as informações orbitais e metadados armazenados nos arquivos auxiliares do formato CEOS.
- c. Coleta dos pontos de controle usando-se a opção "*geocoded image*". Foram escolhidos 6 pontos bem distribuídos e bem identificáveis na cena AVNIR-2, cujos homólogos nas fotografias aéreas eram também bem identificáveis.
- d. Após a coleta do conjunto de pontos de controle foi realizada uma análise dos resíduos (Tabela 3).
- e. Após estes procedimentos foi executada a ortorretificação propriamente dita. Neste processo utilizou-se o algoritmo de reamostragem bilinear e o modelo digital de elevação da SRTM versão 4.

Outros dois testes foram executados acrescentando-se novos pontos aos 6 iniciais. Foram geradas, então, ortoimagens com 6, 7 e 9 pontos (Figura 5), adotando-se os mesmos procedimentos descritos anteriormente.

Tabela 3 – Testes realizados em função do número de pontos de controle usados

Pontos de controle	Resíduo total (metros)
6	1,44
7	2,46
9	3,43

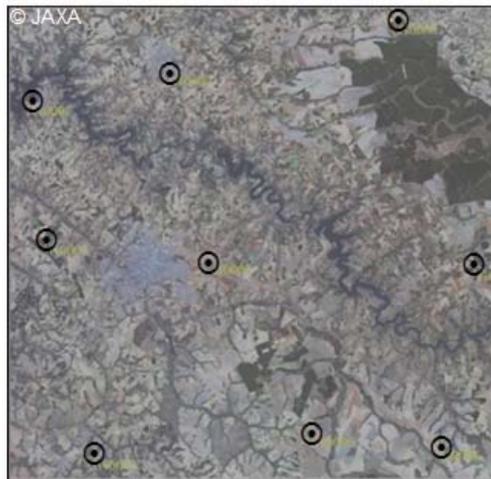


Figura 5 - Distribuição dos 9 pontos usados na ortorretificação

8.5.1 . RESULTADOS

A Tabela 4 mostra os erros planimétricos das ortoimagens dos três testes realizados.

Tabela 4 - Deslocamentos das ortoimagens nos três testes realizados com pontos coletados das ortofotos

Teste	Pontos de Controle	Pontos de Avaliação	Erro Planimétrico (metros)			CE90
			Máximo	Médio	EMQ	
Teste 1	6	34	25,4	13,8	6,1	21,6
Teste 2	7	34	13,3	5,5	2,9	9,2
Teste 3	9	34	15,2	5	3	8,6

A Figura 6 apresenta a distribuição dos erros (deslocamentos) planimétricos encontrados nas cenas ortorretificadas com 6, 7 e 9 pontos de controle. Nesta figura é possível observar que os deslocamentos maiores não estão associados a regiões onde as altitudes são mais elevadas. Os deslocamentos apresentam uma distribuição aleatória. A ortoimagem com 6 pontos de controle (teste 1) apresenta deslocamentos muito superiores, independentemente da altitude ou localização geográfica. As ortoimagens com 7 e 9 pontos de controle (testes 2 e 3) apresentam, ambas, deslocamentos menores do que a ortoimagem gerada com 6 pontos (teste 1) e não apresentam diferenças sistemáticas entre si.

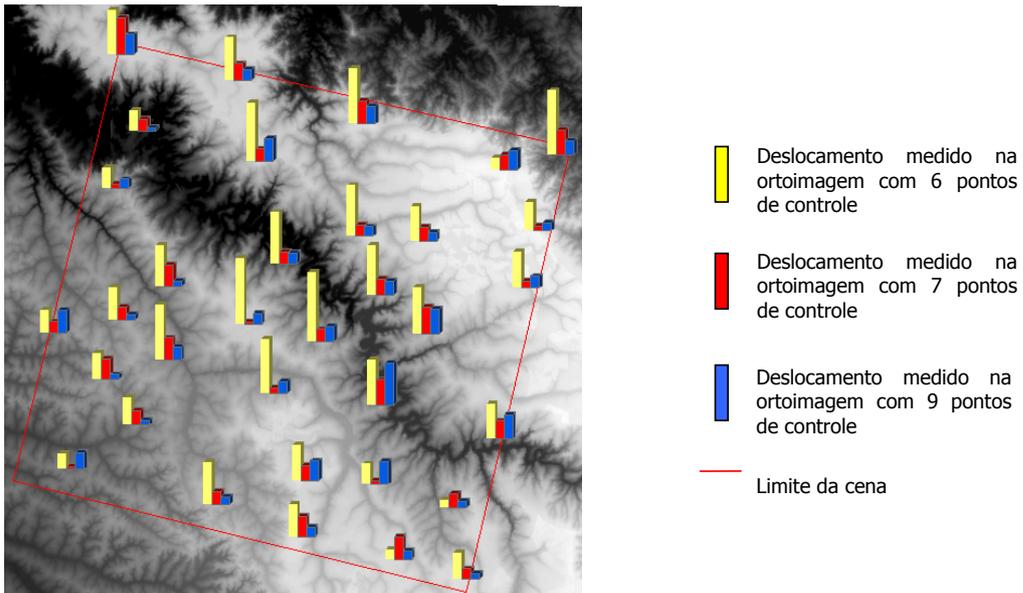
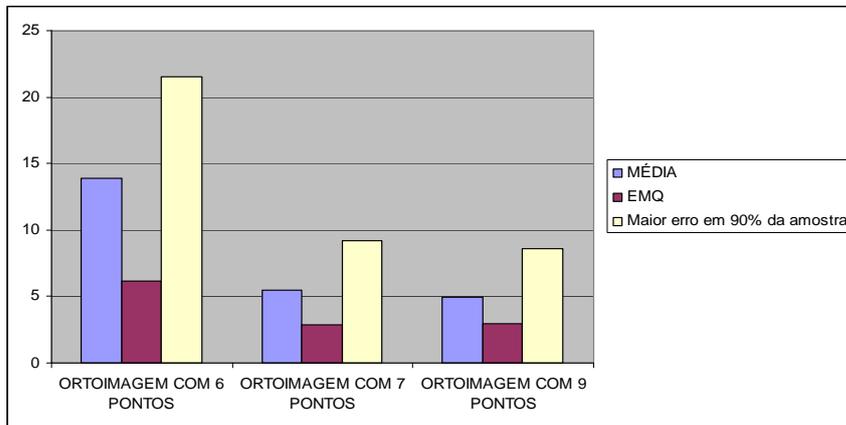


Figura 6 - Distribuição dos erros (deslocamentos) planimétricos encontrados nas cenas ortorretificadas com 6, 7 e 9 pontos de controle

Os cálculos estatísticos mostram que as ortoimagens com 7 e 9 pontos de controle apresentam valores muito próximos, como pode ser visto na Tabela 4 e no Gráfico 1, enquanto o teste 1, com 6 pontos, mostra valores bem maiores.

Gráfico 1 - Estatística dos erros (deslocamentos) planimétricos encontrados nas cenas ortorretificadas com 6, 7 e 9 pontos de controle (valores em metros)



8.6. ORTORRETIFICAÇÃO DA CENA USANDO PONTOS DE CAMPO

Uma das condições para a escolha da área do projeto foi a existência de material que servisse de apoio à ortorretificação da imagem, sem necessidade de haver trabalho de campo para levantamento de pontos de controle. Do material disponível, cobrindo a área referente à cena AVNIR-2, existem 58 pontos medidos em campo. Estes pontos foram medidos seguindo os critérios utilizados na fotogrametria para apoio à geração das ortofotos, o que garante uma qualidade geométrica das coordenadas dos pontos de 0,5 metro, que é superior à qualidade dos pontos de controle coletados diretamente das ortofotos, conforme utilizado nos testes descritos no item 8.5.

As etapas seguidas para a ortorretificação foram as mesmas descritas no item 8.5. A única diferença é que os pontos de controle utilizados foram os medidos em campo e não pontos identificados nas ortofotos.

Durante o processo de identificação dos pontos na cena, tomou-se o cuidado de observar os descritivos, fotos e croquis oriundos do levantamento de campo, de forma a facilitar o posicionamento mais fiel possível na cena AVNIR-2. Alguns dos pontos, identificáveis nas fotografias aéreas, não são necessariamente visíveis em uma imagem orbital de 10 metros de resolução espacial. Por isso, do conjunto de 58 pontos levantados em campo, apenas 13 mostraram-se úteis para este trabalho. Vale lembrar que estes pontos de controle foram planejados para serem usados na correção de fotografias aéreas, por isso, seu posicionamento em campo privilegia canto de cercas e vértices de triângulos em cruzamentos de vias. Para imagens orbitais, a melhor situação de posicionamento é nos cruzamentos dos eixos das vias. Desta forma, foi necessário cuidado especial para manter o posicionamento o mais fiel possível, seguindo a descrição, as fotos de campo e ainda a sua localização nas ortofotos. Após examinar cada um dos 58 pontos de campo disponíveis, comparando a ortofoto com a cena AVNIR-2, apenas 10 deles foram perfeitamente identificados na cena.

Primeiramente foram geradas três ortoimagens considerando-se três configurações diferentes de pontos de controle: utilizando para cada uma delas 6, 7 e 9 pontos escolhidos entre os 10 pontos de campo bem identificados (Figura 7), considerando a melhor distribuição possível sobre a cena em cada caso.

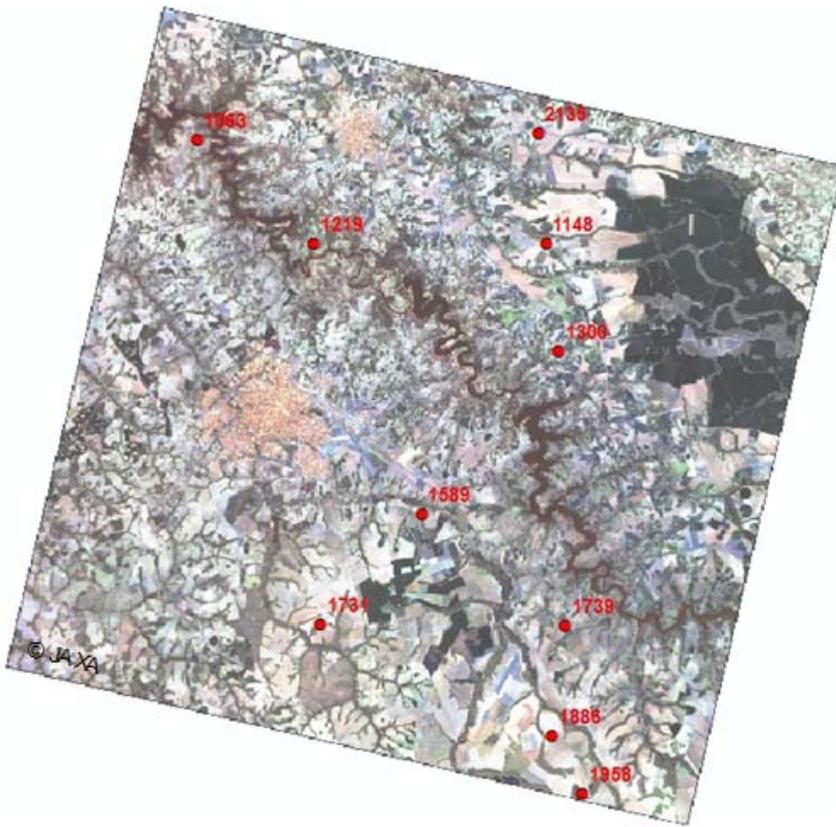


Figura 7 – Localização dos 10 pontos de controle do projeto SPMGGO-50 bem identificados na imagem AVNIR-2

A Tabela 5 mostra quais pontos foram utilizados em cada ortoimagem e os resíduos do ajustamento de acordo com o número de pontos de controle utilizados.

Tabela 5 - Resíduos do ajustamento de acordo com o número de pontos de controle

Número de pontos de controle	Pontos usados	EMQ total (metros)
6	1886, 1958, 1731, 1300, 1063, 2135	0,23
7	1886, 1958, 1731, 1300, 1063, 2135, 1589	3,34
9	1886, 1958, 1731, 1300, 1063, 2135, 1589, 1219, 1739	8,16

Analisando a Figura 7, pode-se perceber que os 10 pontos identificados não apresentam boa distribuição sobre a cena. A grande maioria encontra-se numa disposição quase alinhada e grandes porções da imagem ficaram sem pontos.

A fim de avaliar o efeito desta má distribuição dos pontos sobre a qualidade da ortomagem gerada, foram escolhidos mais 3 dos 58 pontos medidos em campo, que estivessem em localização geográfica que favorecesse a distribuição equilibrada de pontos sobre a cena (Figura 8), embora não fosse possível identificá-los na imagem com a mesma segurança da identificação dos 10 pontos anteriores. Utilizando as ortofotos e as informações de campo, foi feita a melhor localização possível na cena AVNIR-2. Uma quarta ortomagem foi gerada utilizando estes 3 pontos adicionais e mais 4 dos 10 pontos bem identificados, somando um total de 7 pontos de controle. A ortomagem gerada com esta configuração foi denominada "teste 7" para diferenciá-la da ortomagem gerada com os 7 pontos bem identificados, porém mal distribuídos, que foi denominada como "teste 5".

A Figura 8 mostra a distribuição dos pontos de controle usados na ortorretificação da cena do teste 7, identificando, ainda, os 3 pontos adicionais.

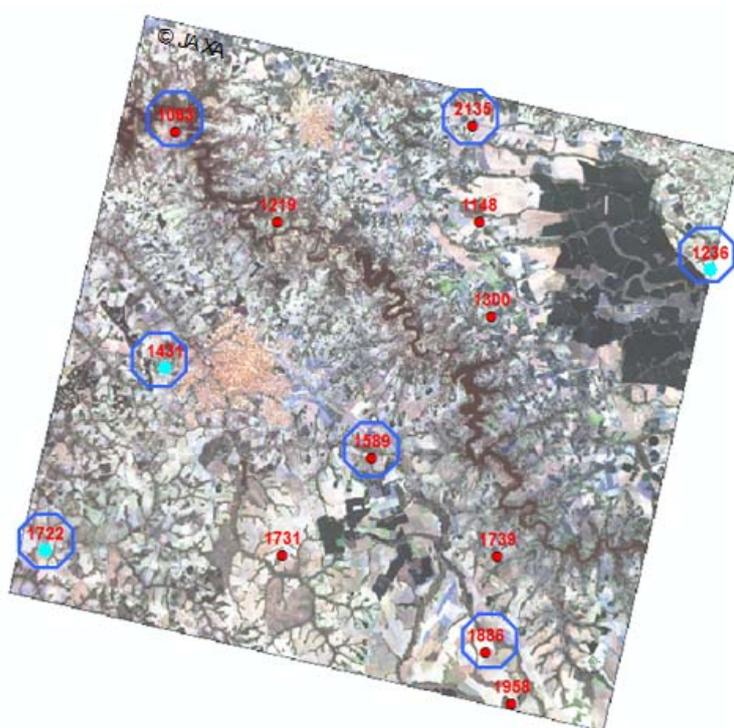


Figura 8 – Cena AVNIR-2 mostrando em ciano os 3 pontos de campo com maior dificuldade na identificação e, circulos em azul, os 7 pontos usados no teste 7

8.6.1. RESULTADOS

A idéia inicial foi avaliar a ortoimagem comparando seus deslocamentos em relação aos pontos do projeto SPMGGO-50 medidos em campo que não tivessem sido utilizados para apoiar a ortoimagem. Entretanto, como só foi possível identificar 10 pontos satisfatoriamente, e 3 deles foram usados na ortorretificação, sobrariam apenas 6 pontos para a avaliação, o que não é suficiente para uma avaliação confiável. Desta forma, optou-se por avaliar as ortomagens comparando-as com as ortofotos, como foi descrito no item 8.4, medindo os deslocamentos dos mesmos 34 pontos de verificação utilizados nas avaliações anteriores.

A Tabela 6 mostra os resultados para as ortomagens geradas com 6 pontos, com 7 pontos (testes 5 e 7) e com 9 pontos.

Tabela 6 – Deslocamentos das ortomagens geradas nos quatro testes realizados com pontos coletados em campo

Teste	Pontos de Controle	Pontos de Avaliação	Erro Planimétrico (metros)			CE90
			Máximo	Médio	EMQ	
Teste 4	6	34	57,7	17,8	14,4	38,7
Teste 5	7	34	50,3	14,8	10,7	28,8
Teste 6	9	34	152,9	30,2	34,4	90,2
Teste 7	7	34	21,9	8,8	5,2	15,8

8.7. RESUMO DOS RESULTADOS

Para facilitar a interpretação dos resultados, a Tabela 7 mostra uma síntese com os erros ordenados pelo CE90.

Tabela 7 - Resumo dos deslocamentos ordenados por erro médio e CE90

Teste	Pontos de Controle	Origem dos pontos	Distribuição dos pontos na cena	Erros Planimétricos (metros)			CE90
				Máximo	Médio	EMQ	
Teste 3	9	ortofotos	boa	15,2	5,0	3,0	8,6
Teste 2	7	ortofotos	boa	13,3	5,5	2,9	9,2
Teste 7	7	campo	boa	21,9	8,8	5,2	15,8
Teste 1	6	ortofotos	boa	25,4	13,8	6,1	21,6
Teste 5	7	campo	ruim	50,3	14,8	10,7	28,8
Teste 4	6	campo	ruim	57,7	17,8	14,4	38,7
Teste 6	9	campo	ruim	152,9	30,2	34,4	90,2

9. CONCLUSÕES

- A imagem AVNIR-2 não ortorretificada, processada no nível 1B2G pela JAXA, apresentou deslocamentos de 62,9m para 90% dos pontos medidos (CE90) e desvio padrão (EMQ) de 17,5m quando comparada às ortofotos do projeto SPMGGO-50. Ainda assim, do ponto de vista geométrico, ela poderia ser utilizada na escala 1:250.000 (PEC Classe A) do mapeamento sistemático brasileiro, sem que seja necessário qualquer tipo de processamento. Entretanto, esta conclusão é válida apenas para esta única cena avaliada neste experimento.
- Vale ressaltar que o nível de correção das cenas 1B2G não inclui a correção da distorção devido ao relevo, ou seja, esta cena não foi ortorretificada. Nos casos onde o relevo apresenta maiores desníveis altimétricos, deve-se calcular a deformação devido ao relevo e avaliar a necessidade do uso da cena 1B2R ortorretificada.
- Nas avaliações das imagens AVNIR-2 com nível de processamento 1B2R ortorretificadas com pontos de controle de campo, constatou-se que as maiores discrepâncias estão associadas à distribuição ruim dos pontos. Mesmo o fato de usar pontos medidos em campo, que têm mais exatidão do que os pontos extraídos das ortofotos, não compensou a má distribuição destes pontos.
- A ortoimagem gerada usando-se 7 pontos coletados em campo, com boa distribuição sobre a cena, apresentou erros maiores que as ortoimagens geradas com os pontos coletados das ortofotos, contrariando o que era de se esperar. Uma possível explicação para este comportamento é o fato de que 3 destes 7 pontos não foram identificados com segurança na imagem, ou seja, podem ter

erros maiores que os demais, modelando mal a geometria da imagem. Outra possível justificativa é que tanto os pontos de controle para a ortorretificação da AVNIR-2 quanto os pontos usados para a avaliação da ortoimagem foram provenientes da mesma fonte nos testes 1, 2 e 3: as ortofotos.

- Quando se acrescentam 2 pontos ao conjunto de 7 pontos medidos a partir das ortofotos (teste 2), a aderência às ortofotos usadas para avaliação aumenta muito pouco. Por outro lado, quando usamos apenas 6 pontos, também medidos das ortofotos, a ortoimagem gerada apresenta erros maiores. Estas observações reforçam a conclusão obtida na avaliação do sensor PRISM (IBGE, 2009) de que 7 seria a quantidade mínima recomendada de pontos para uma modelagem confiável.
- Baseando-se nas conclusões anteriores, deve-se considerar como principal o teste 2 (7 pontos de controle coletados das ortofotos), onde tanto os pontos de controle quanto os pontos de avaliação foram coletados a partir de ortofotos que têm qualidade compatível com a escala de 1:25.000. Neste caso pode-se considerar que os erros externos da ortoimagem AVNIR-2 contêm, além dos deslocamentos medidos em relação às ortofotos, o próprio erro destas últimas, que é 12,5m (CE90), segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica². Como uma estimativa, pode-se, então, considerar que o CE90 dos erros da ortoimagem do teste 2 seria de aproximadamente $12,5m + 9,2m = 21,7$ metros. Este valor de CE90 é inferior ao limite para a escala de 1:50.000, sugerindo uma compatibilidade, do ponto de vista geométrico, das imagens AVNIR-2 com a escala 1:50.000. Para confirmar o uso das mesmas para esta escala, seria recomendada a realização de levantamento de pontos de controle em campo específico para este teste. Por considerar que o uso das imagens AVNIR-2 não parece o mais adequado para o mapeamento básico de referência na escala 1:50.000, já que a resolução espacial de 10 metros não favorece a interpretação de alguns elementos mapeáveis nesta escala, optou-se por não estender estes estudos. Com os testes realizados podemos concluir que a imagem AVNIR-2 deste estudo de caso, ortorretificada pela metodologia aqui descrita, é compatível com a escala de 1:50.000 apenas do ponto de vista geométrico. Deve-se realizar um estudo sobre a interpretabilidade desta imagem, visando a definição da

² Segundo testes realizados, a exatidão das ortofotos do projeto SPMGGG-50 é melhor que 8m.

escala que ela pode atender, baseado no nível de detalhamento das feições que podem ser extraídas.

- A tentativa de aproveitamento dos pontos coletados em campo anteriormente (no contexto do projeto SPMGGO-50) para a correção das imagens não foi bem sucedida. Verificou-se que é bastante difícil identificar inequivocamente nas imagens AVNIR-2 os pontos de controle que foram determinados em campo para apoio das fotografias aéreas. No apoio fotogramétrico, os pontos são preferencialmente posicionados em cantos de cruzamentos, canto de cercas e outros elementos que são difíceis de identificar nas imagens AVNIR-2, que têm 10 metros de resolução espacial. Apenas 17% dos pontos foram bem identificados na imagem.
- Uma vez que os testes foram realizados com apenas 2 cenas AVNIR-2 sobre uma mesma região geográfica, as conclusões aqui apresentadas referem-se especificamente a estes estudos de caso. Entretanto, considerando a utilização de outras imagens AVNIR-2, com as mesmas características das cenas utilizadas neste experimento (mesmo nível de processamento e visada nadir) e sobre regiões com características de relevo semelhante ao da região de Uberlândia ou mais plano, é possível utilizar estas conclusões para definir uma metodologia para produção de ortomagens AVNIR-2 que sejam úteis como insumos que apresentam exatidão planimétrica compatível com a escala 1:50.000 (PEC classe A).
- Para se ter uma maior garantia acerca da exatidão planimétrica das imagens AVNIR-2, é necessário continuar a avaliação em diferentes partes do país, cobrindo áreas com diferentes características topográficas e executar testes das cartas geradas a partir destes insumos.

10. REFERÊNCIAS

ACRES. ALOS geometric and radiometric specifications. 2007. Disponível em: <http://www.ga.gov.au/acres/prod_ser/ALOS_geo.jsp>. Acesso em: 21 jul. 2008.

EORC/JAXA. ALOS Systematic Observation Strategy, 2009. Disponível em: <<http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/obs/overview.htm>> Acesso em: agosto 2009.

EORC/JAXA. ALOS user handbook. 2007. Disponível em: <http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/doc/alos_userhb_en.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2008.

GDTA. Spacemaps, image mapping methods, examples of implementation: versão 1.0. Toulouse, 1995a.

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 mai. 2009.

IBGE. Avaliação Planialtimétrica de Dados ALOS/PRISM Estudo de Caso: Itaguaí-RJ. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/alos/RelatoriodeAvaliacaoAlos.pdf>>. Acesso em: setembro 2009.

JACOBSEN, K.; BALTSAVIAS, E.; HOLLAND, D. Information extraction from high resolution optical satellite sensors. *XXIst ISPRS Congress, Beijing, China, Tutorial-10, July 3rd, 2008*.

Disponível em: <www.ipi.uni-hannover.de/fileadmin/institut/pdf/Tutorial10_7.pdf>. Acesso em: 1 set. 2010.

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>. 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>. Acesso em: 25 mai. 2009.

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>. Acesso em: 20 set. 2006.

TOUTIN, T. Geometric Processing Of Remote Sensing Images: Models, Algorithms And Methods. *International Journal of Remote Sensing*, Volume 25, pages 1893–1924. 2004.

TOUTIN, T. e CARBONNEAU Y. La Multi-Stereoscopie Pour Les Corrections D'Images SPOT-HRV. *Canadian Journal of Remote Sensing*. Vol. 15, No. 2. Setembro 1989.

EQUIPE TÉCNICA

Diretoria de Geociências

Luiz Paulo Souto Fortes

Coordenação de Cartografia

João Bosco de Azevedo

Técnicos Responsáveis

Marcelo Rodrigues de Albuquerque Maranhão

Rafael Silva de Barros

Mariléa Ferreria Melo

José Duarte Correia

Aline Lopes Coelho

Leila Freitas de Oliveira

Christiane da Silva Rufino

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

Robson Waldhelm

Centro de Documentação e Disseminação de Informações

Coordenação de Produção

Marise Maria Ferreira