

ORTORRETIFICAÇÃO DE IMAGEM QUICKBIRD COM DIFERENTES MODELOS DIGITAIS DE TERRENO: ANÁLISE DA QUALIDADE GEOMÉTRICA

*Orthorectification of QuickBird Image with Different Digital Terrain Models: an
Analysis of Geometric Quality*

**Marcelo Solfa Pinto
Amilton Amorim**

Universidade Estadual Paulista - UNESP
Faculdade de Ciências e Tecnologia - Departamento de Cartografia
Presidente Prudente – SP
marcelosolfa@gmail.com
amorim@fct.unesp.br

RESUMO

Atualmente, devido à grande inovação tecnológica, existem vários satélites equipados com diferentes sensores que capturam e registram imagens da superfície da Terra, com alta resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal, que incentivam a comunidade cartográfica para a realização de trabalhos voltados à elaboração e atualização de documentos cartográficos. Para a utilização dessas imagens no mapeamento é necessário que seja feita uma série de correções, sendo uma delas a correção das deformações causadas pelo desvio devido ao relevo. Neste trabalho pretende-se avaliar a qualidade geométrica de uma imagem QuickBird ortorretificada a partir de diferentes Modelos Digitais de Terreno, classificando-a de acordo com o PEC e analisando sua potencialidade para uso em mapeamento e atualização cartográfica em ambiente urbano.

Palavras chave: Ortorretificação, Imagem QuickBird.

ABSTRACT

Currently, due to the technological innovation, there are several different satellites equipped with sensors that capture and record the Earth's surface, by forming high-resolution spatial, spectral, radiometric and temporal, which encourage the cartographic community to carry out work aimed at creation and updating of cartographic databases. To use this images in the mapping is required to do a series of corrections, one of the correction due the deformations caused by relief. This paper aims to assess the geometric quality of a QuickBird orthorectified image with different a Digital Terrain Model, classifying it according to the PEC and analyzing its potential for use in mapping and cartographic update on the urban environment

Keywords: Orthorectification, QuickBird Image.

1. INTRODUÇÃO

A ortorretificação de imagens possibilita que as mesmas possuam escala igual em todos os pontos, o que permite dizer que possuem a mesma propriedade geométrica que uma carta, isto é, passam a ter uma projeção ortogonal e não central. Para isso é necessário que sejam feitas todas as correções para a produção da ortoimagem..

Para que seja realizada a ortorretificação de uma imagem orientada é necessário que se possua um Modelo Digital do Terreno (MDT), sendo que este pode ser obtido por diversas formas: curvas de nível de mapeamento existente, técnicas fotogramétricas, interpolação de pontos e outros.

Neste trabalho, objetiva-se a análise da qualidade geométrica de uma imagem QuickBird a

partir de diferentes MDTs. Sendo o produto final classificado de acordo com os padrões de qualidade vigente Brasil.

2. SATÉLITE QUICK BIRD

No ano de 2000 a empresa DigitalGlobe obteve a licença da NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) para operar um sistema de alta resolução espacial. Em outubro de 2001 o satélite *QuickBird* foi lançado em órbita, a partir de uma base americana na Califórnia, por meio do veículo lançador Boeing DELTA II.

A Tabela 1 traz algumas informações sobre o referido satélite.

Tabela 1 - Dados do satélite *QuickBird*.

Altitude da órbita	450 km
Inclinação da órbita - Linha do Equador	97.2°
Sentido da órbita	Descendente 10:30 am.
Duração da órbita	93.5 min.
Tipo de órbita	Sol-síncrona
Tempo de revisita	1 – 3.5 dias (dependendo da latitude).
Largura nominal da faixa imageada	16.5 km (nadir) 20.8 km (off-nadir)
Agilidade da astronave ao longo e através do percurso (along and cross track)	Tempo necessário para re-apontar e estabilizar para aquisição de dados Manobra de 10° em 20 segundos Manobra de 50° em 45 segundos
Precisão de apontamento	<5mili-radianos absolutos por eixo
Instrução de apontamento	<15micro-radianos por eixo
Estabilidade de apontamento	<10micro -radianos por segundo
Capacidade de armazenamento de dados	~128 Gbits (~57cenas)
Massa do satélite	10187kg
Capacidade do satélite	563 W
Tempo de vida útil previsto	> 5anos

FONTE: Adaptada de *Digital Globe e Ball Aerospace e Technologies*.

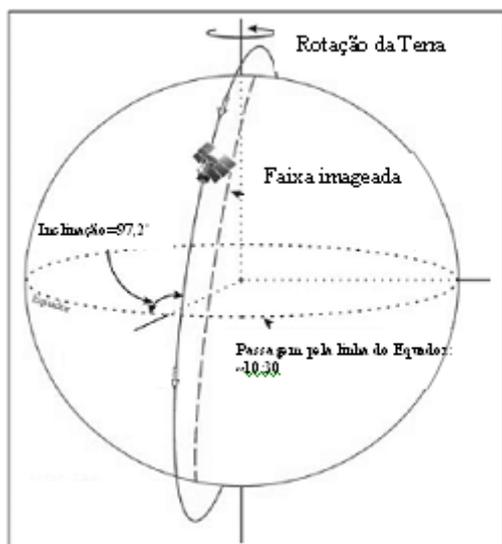


Fig. 1 - Órbita do satélite QuickBird.
Fonte: Adaptado de Pinheiro (2003)

3. IMAGEM QUICK BIRD

São imagens obtidas a partir de sensores orbitais e são consideradas como boa alternativa para mapeamento de áreas urbanas. Suas imagens consistem de bandas multiespectrais, de menor resolução espacial e bandas pancromáticas de maior resolução espacial. A resolução da imagem pancromática é de 0,61 m e no modo multiespectral é de 2,4 m, considerando a inclinação menor que 3°.

As imagens QuickBird são comercializadas com três diferentes formas de correção: Básica (Basic), Padrão (Standart) e Ortoretilhada (Orthorectified).

3.1 Imagem Básica

A Imagem Básica ou *Basic Imagery* possui menos processamento. Este tipo de imagem possui correções radiométricas e de sensor, mas não há correção geométrica. As correções aplicadas a essas imagens são:

- Respostas radiométricas relativas entre os receptores;
- Preenchimento de valores nos possíveis detectores que falharam;
- Conversão para radiometria absoluta;
- Correções da geometria interna do sensor, distorções ópticas e distorções do “scanner”.

3.2 Imagem Padrão

Segundo PINHEIRO (2003), este tipo de imagem possui as correções radiométricas, do sensor e

geométricas, além de serem referidas para uma Projeção Cartográfica.

Estas imagens possuem resolução espacial de 0,61 m no nadir e 0,72 m *off-nadir* (25°) no modo pancromático, no modo multiespectral a resolução varia de 2,44 m no nadir e 2,88 m no *off-nadir* (DIGITAL GLOBE, 2009). As correções radiométricas e de sensor são as mesmas aplicadas nas Imagens Básicas.

As Imagens Padrão possuem exatidão acima de 14m EMQ (68% de certeza) e de 23m, com 90% de certeza, excluídas as distorções do relevo. A posição do terreno é medida com o uso de atitudes do satélite e efemérides, sendo necessário o uso de pontos de controle para refino geométrico da imagem. (DIGITAL GLOBE, 2009)

3.3 Imagem Ortoretilhada

A Imagem Ortoretilhada é muito utilizada para mapeamentos e SIG, para a verificação de mudanças de uso do solo e outras aplicações que necessitem de uma melhor qualidade geométrica dos dados. Esse tipo de imagem possui os mesmos tipos de correções radiométricas e de sensor já citados, sendo diferenciada por sua ortoretilhada.

Segundo MIYASHITA (2008), para a ortoretilhada da imagem é necessário a utilização de um Modelo Digital do Terreno (MDT) e/ou pontos de controle para remover o deslocamento da imagem devido à inclinação e efeito do relevo.

4. MODELO RACIONAL POLYNOMIAL COEFFICIENTS (RPC)

Após o lançamento do satélite IKONOS II em 1999, o modelo *rational polynomial coefficient* (RPC) foi universalmente aceito como uma alternativa de modelo para orientação de sensor para satélites de imageamento de alta resolução (SIAT). A motivação para a adoção do modelo RPC inclui fatores como o amplo uso no mapeamento no setor defensivo e o fato de eliminar a necessidade de informações complexas do modelo da câmara e dados relacionados a efemérides do satélite (FRASER; DIAL; GRODECK, 2006).

O termo modelo RPC é um caso específico do *Rotational Function Model* (RFM) desenvolvido na forma direta de funções de polinômiais de terceira ordem e usualmente resolvidos através do método independente do terreno (*terrain-independent solution*) (HU; TAO; CROITORU, 2004 apud MIYASHITA, 2008).

Segundo FRASER DIAL; GRODECK, 2006, o modelo RPC permite a transformação de coordenadas do espaço imagem para o espaço objeto, sendo este último em um sistema de coordenadas geodésicas.

Por razões preliminares devido à condição numérica do processo de estimação envolvido na geração dos RPCs, a expressão compreende a razão de

dois polinômios de terceira ordem que relacionam as coordenadas linha e coluna (l, c), normalizadas, com coordenadas elipsoidais também normalizadas, como descrevem as equações a seguir (FRASER; DIAL; GRODECK, 2006).

$$l = l_n l_s + l_0 \quad (1)$$

$$c = c_n c_s + c_0 \quad (2)$$

$$X_n = \frac{\varphi - \varphi_0}{\varphi_s} \quad (3)$$

$$Y_n = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_s} \quad (4)$$

$$Z_n = \frac{h - h_0}{h_s} \quad (5)$$

$$l_n = \frac{p_1(X_n, Y_n, Z_n)}{p_2(X_n, Y_n, Z_n)} \quad (6)$$

$$c_n = \frac{p_3(X_n, Y_n, Z_n)}{p_4(X_n, Y_n, Z_n)} \quad (7)$$

onde:

(l, c): coordenadas linha e coluna dos pixels no espaço imagem;

(l_s, c_s) e (l_0, c_0): termos de escala e offset;

(φ, λ, h): latitude, longitude e altura elipsoidal;

($\varphi_s, \lambda_s, h_s$) e ($\varphi_0, \lambda_0, h_0$): correspondem aos termos de escala e offset;

(X_n, Y_n, Z_n): coordenadas normalizadas no espaço objeto;

(l_n, c_n): coordenadas linha e coluna normalizadas dos pixels no espaço imagem.

Para modelos de terceira ordem, são considerados 20 termos nos polinômios, assim, os polinômios reescritos em função dos seus coeficientes são apresentados nas expressões 8, 9, 10 e 11:

$$p_1(X_n, Y_n, Z_n) = a_1 + a_2 Y_n + a_3 X_n + a_4 Z_n + a_5 Y_n X_n + a_6 Y_n Z_n + a_7 X_n Z_n + a_8 Y_n^2 + a_9 X_n^2 + a_{10} Z_n^2 + a_{11} X_n Y_n Z_n + a_{12} Y_n^3 + a_{13} Y_n X_n^2 + a_{14} Y_n Z_n^2 + a_{15} Y_n^2 X_n + a_{16} X_n^3 + a_{17} X_n Z_n^2 + a_{18} Y_n^2 Z_n + a_{19} X_n^2 + a_{20} Z_n^3 \quad (8)$$

$$p_2(X_n, Y_n, Z_n) = b_1 + b_2 Y_n + b_3 X_n + b_4 Z_n + b_5 Y_n X_n + b_6 Y_n Z_n + b_7 X_n Z_n + b_8 Y_n^2 + b_9 X_n^2 + b_{10} Z_n^2 + b_{11} X_n Y_n Z_n + b_{12} Y_n^3 + b_{13} Y_n X_n^2 + b_{14} Y_n Z_n^2 + b_{15} Y_n^2 X_n + b_{16} X_n^3 + b_{17} X_n Z_n^2 + b_{18} Y_n^2 Z_n + b_{19} X_n^2 + b_{20} Z_n^3 \quad (9)$$

$$p_3(X_n, Y_n, Z_n) = c_1 + c_2 Y_n + c_3 X_n + c_4 Z_n + c_5 Y_n X_n + c_6 Y_n Z_n + c_7 X_n Z_n + c_8 Y_n^2 + c_9 X_n^2 + c_{10} Z_n^2 + c_{11} X_n Y_n Z_n + c_{12} Y_n^3 + c_{13} Y_n X_n^2 + c_{14} Y_n Z_n^2 + c_{15} Y_n^2 X_n + c_{16} X_n^3 + c_{17} X_n Z_n^2 + c_{18} Y_n^2 Z_n + c_{19} X_n^2 + c_{20} Z_n^3 \quad (10)$$

$$p_4(X_n, Y_n, Z_n) = d_1 + d_2 Y_n + d_3 X_n + d_4 Z_n + d_5 Y_n X_n + d_6 Y_n Z_n + d_7 X_n Z_n + d_8 Y_n^2 + d_9 X_n^2 + d_{10} Z_n^2 + d_{11} X_n Y_n Z_n + d_{12} Y_n^3 + d_{13} Y_n X_n^2 + d_{14} Y_n Z_n^2 + d_{15} Y_n^2 X_n + d_{16} X_n^3 + d_{17} X_n Z_n^2 + d_{18} Y_n^2 Z_n + d_{19} X_n^2 + d_{20} Z_n^3 \quad (11)$$

sendo p_1 e p_2 utilizados na determinação de l_n e p_3 e p_4 na determinação de c_n e $(a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij})$ os coeficientes polinomiais.

Reescrevendo as equações dos polinômios na forma matricial têm-se:

$$u = [1 \ Y_n \ X_n \ Z_n \ \dots Z_n^3]^T \quad (12)$$

$$a = [a_1 \ a_2 \ \dots a_{20}]^T \quad (13)$$

$$b = [b_1 \ b_2 \ \dots b_{20}]^T \quad (14)$$

$$c = [c_1 \ c_2 \ \dots c_{20}]^T \quad (15)$$

$$d = [d_1 \ d_2 \ \dots d_{20}]^T \quad (16)$$

Assim, pode-se reescrever l_n e c_n da seguinte forma:

$$l_n = \frac{a^T u}{b^T u} \quad (17)$$

$$c_n = \frac{c^T u}{d^T u} \quad (18)$$

De acordo com BÜYÜKSALIH, ORUC E JACOBSEN (2004) *apud* MIYASHITA (2008), este modelo, baseado em 80 coeficientes representa apenas uma aproximação, porém, devido ao grande número de coeficientes empregados, a acurácia é relativamente pequena, quando comparado com o modelo rigoroso, sendo que os RPCs baseados apenas na orientação direta do sensor devem ser melhorados por um *shift*, através do uso de pontos de controle.

Segundo TAO E HU (2001), o RFM é capaz de proporcionar um ajustamento altamente acurado, não apresentando nenhuma relação funcional entre os parâmetros do modelo do sensor físico e dos utilizados pelo RFM. Assim, pode-se gerar ortoimagens, realizar reconstrução 3D e a geração de MDT.

5. ORTOIMAGEM

Segundo MIKHAIL (2001), ortoimagem é uma imagem, na qual as feições de diferentes objetos imageados são apresentadas em posições corrigidas do efeito de deslocamento devido ao relevo e à inclinação da câmara. Este produto é considerado geometricamente equivalente às cartas e mapas, sendo

adequado para medição de áreas, distâncias e ângulos. Enquanto nas cartas e mapas são utilizadas símbolos e linhas, as ortoimagens valem-se da própria imagem do objeto mapeado.

Segundo ANDRADE (1998), para confeccionar uma ortoimagem a partir de uma imagem digital, um novo arranjo dos pixels deve ser realizada para atender tal transformação. Este novo arranjo pode ser efetuado por dois métodos, denominados como direto e indireto.

Segundo Croitoru et al. (2004) a ortorretificação de imagens utilizando RFM é similar ao processo realizado utilizando modelos físicos do sensor, ou seja, utiliza-se o modelo RFM ao invés da equação de colinearidade.

Como as coordenadas resultantes das ortorretificação não se ajustam à malha regular da ortoimagem, um processo de interpolação deve ser utilizados e os algoritmos mais adotados para resolver este problema são: o vizinho mais próximo, interpolação bilinear, splines cúbicas e o polinômio de Lagrange.

Utilizando o método indireto, é efetuada uma busca do valor de tom de cinza na imagem de entrada correspondente a cada ponto da ortoimagem no referencial do espaço objeto. Para isso é gerada uma matriz no referencial objeto inicial com um *Ground Sample Distance*, que se trata do tamanho do pixel da ortofoto no terreno.

O princípio de obtenção de uma ortoimagem digital segundo WIESEL (1991) pode ser observado na Figura 3:

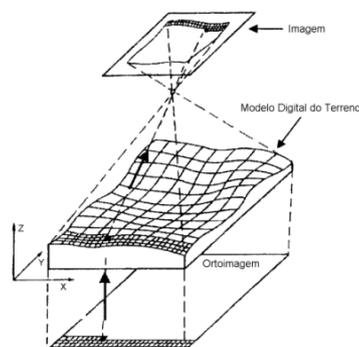


Fig. 2 – Processo de geração de ortoimagem
Fonte: WIESEL 1991

6. MODELO DIGITAL DO TERRENO

De acordo com ANDRADE (1998), o Modelo Digital do Terreno (MDT) – em inglês: *Digital Terrain Model* (DTM), é a reprodução da forma do terreno, realizada por meios digitais e com produto final em meio digital.

Para a geração do MDT, é necessário obter informações altimétricas do terreno que representem o contexto geomorfológico do mesmo. Usualmente, são

utilizadas curvas de nível e pontos altimétricos como fonte de informação altimétrica. (GONÇALVES *et al.*, 2003).

No ramo da Cartografia o MDT é uma ferramenta freqüentemente utilizada para geração de ortofotos e ortoimagens, mapas topográficos, geração de curvas de nível e outros. As principais fontes de dados para geração dos MDTs são derivados de curvas de nível digitalizadas, métodos fotogramétricos, levantamentos topográficos e geodésicos, e ainda por meio de varredura a laser e radar, fontes estas que fornecem a elevação dos pontos no terreno para a geração do modelo (COSTA, 2006).

7. PRODUÇÃO DAS ORTOIMAGENS

Para a produção das ortoimagens foram utilizados os softwares:

- MicroStation V8: visualização e edição do MDT;
- ArcGis 3.2: edição dos atributos das curvas de nível;
- Leica Photogrammetry Suite (LPS): estação fotogramétrica utilizada para o processamento e produção das ortoimagens.

Na edição do MDT extraído de mapeamento já existente, algumas curvas de nível que estavam desconectadas foram conectadas, formando uma única linha e atributos do valor de altitude foram inseridos ou corrigidos, pois no arquivo original havia problemas na edição das características das curvas.

No caso do MDT extraído de par estereoscópico, não houve necessidade de edição, já que houve uma seleção dos pontos utilizados para a geração do mesmo.

A imagem original possui resolução de 0,60 m. Sendo esta também a resolução da imagem ortorretificada. Para a orientação da imagem foram utilizados os coeficientes do RPC fornecidos juntamente com a imagem.

As Figuras 4 e 5 apresentam os MDTs obtidos por curvas de nível e extraídas de um par estereoscópico respectivamente.

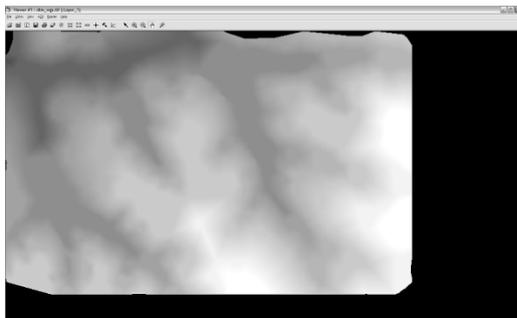


Fig. 3 – MDT obtido de curvas de nível.

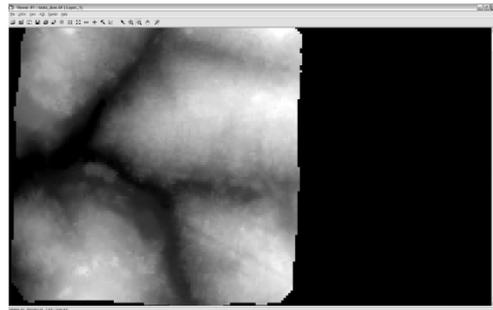


Fig. 4 – MDT extraído de par estereoscópico.

Após a produção dos modelos de terreno, foram geradas ortoimagens no LPS, usando os RPCs para a orientação da imagem e alguns pontos de apoio. As Figuras 5 e 6 apresentam as ortoimagens produzidas com MDT extraído de par estereoscópico e obtido a partir de curvas de nível respectivamente:



Fig. 5 - Ortoimagem produzida a partir de MDT extraído de par estereoscópico



Fig. 6 - Ortoimagem produzida a partir de MDT de restituição.

8. ANÁLISE DA QUALIDADE GEOMÉTRICA DAS ORTOIMAGENS

A avaliação da qualidade geométrica dos produtos cartográficos é de suma importância, uma vez que, a partir dessa avaliação é possível classificar o

produto de acordo com o PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica).

Para a classificação dos produtos cartográficos, são feitas avaliações quanto à precisão dos dados e se os mesmos apresentam erros sistemáticos.

Nesta avaliação, são utilizados testes estatísticos a partir de amostras extraídas do produto cartográfico, devendo-se ressaltar que, no caso do estudo realizado, os pontos utilizados pertenciam a uma área específica da ortoimagem, sendo a qualidade da mesma determinada para uma área restrita. No caso de avaliação de um produto cartográfico deve se retirar amostras de todo o produto e de um modo aleatório.

Para a realização da análise da qualidade, algumas atividades devem ser desenvolvidas:

- Determinação das coordenadas dos pontos no produto cartográfico;
- Determinação das coordenadas dos mesmos pontos para que sirvam de referência, para isso pode se utilizar levantamentos de campo ou mapeamentos mais precisos.
- Aplicar o teste estatístico referente à detecção de tendência;
- Aplicar o teste estatístico referente à análise da precisão;
- Classificar o produto de acordo com o PEC.

Depois de extraídas as coordenadas dos pontos no produto cartográfico a ser analisado e das coordenadas dos mesmos pontos em fontes mais precisas, iniciou-se a aplicação de testes estatísticos para a análise de tendência e precisão.

A formulação matemática aqui apresentada para a análise estará de acordo com a apresentada em NOGUEIRA JR. (2003).

8.1 Método para a análise de tendência

Segundo NOGUEIRA JR. (2003), a análise de tendência é baseada na análise estatística das discrepâncias entre o valor considerado verdadeiro e o valor observado.

No método apresentado, utiliza-se X para representar a componente, mas o método é aplicado em ambas as componentes horizontais, X e Y.

Sendo assim, tem-se que:

$$\Delta X_i = X_i - X_i^r \quad (19)$$

onde:

X_i é o valor de referência;

X_i^r é o valor observado.

A partir dessa diferença é possível calcular o erro médio amostral e a variância amostral, que são dados por:

$$\Delta \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta X_i \quad (20)$$

$$S_{\Delta X}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta X_i - \Delta \bar{X})^2 \quad (21)$$

Assim, são formuladas duas hipóteses para a análise da tendência dos dados:

$$H_0 : \Delta \bar{X} = 0, \text{ contra} \quad (22)$$

$$H_1 : \Delta \bar{X} \neq 0 \quad (23)$$

Formuladas as hipóteses, deve-se calcular o valor da estatística “t” de Student a partir da seguinte expressão:

$$t_x = \frac{\Delta \bar{X}}{S_{\Delta X}} \sqrt{n} \quad (24)$$

Para a análise da qualidade, deve-se determinar também um nível de significância α , que se trata do rigor com que a análise está sendo realizada.

O valor de n na expressão (24) é o tamanho da amostra utilizada para a análise da qualidade dos dados. Estudos realizados por NOGUEIRA JR. (2003) apresentam que uma amostra de 23 pontos é suficiente para a análise dos dados.

Calculado o valor da estatística “t”, verifica-se se o valor está dentro do intervalo de aceitação. Caso esteja dentro do intervalo, a primeira hipótese é aceita, ou seja, a componente X não apresenta tendência, caso o valor não esteja dentro do intervalo, rejeita a primeira hipótese (nula) e aceita-se a segunda, e a componente apresenta tendência.

O intervalo de aceitação é dado por:

$$|t_x| < t_{(n-1, \alpha/2)} \quad (25)$$

8.2 Método para análise da precisão

Segundo NOGUEIRA JR. (2003), a análise de precisão é realizada por meio da comparação entre o desvio padrão e o Erro Padrão (EP) especificado pelo PEC.

Para a análise da precisão, duas hipóteses são formuladas:

$$H_0 : S_{\Delta X}^w = \sigma_X^2 \quad (26)$$

$$H_1 : S_{\Delta X}^2 \neq \sigma_X^2 \quad (27)$$

No teste da precisão, utiliza-se a estatística Qui-Quadrado, que é calculado por:

$$\chi^2_X = (n - 1) \frac{S_{\Delta X}^2}{\sigma_X^2} \quad (28)$$

Onde:

$$\sigma_X = \frac{EP}{\sqrt{2}} \quad (29)$$

O Erro Padrão determinado pelo PEC é apresentado na Tabela 2:

Tabela 2 – Resumo dos padrões de exatidão

Classe	PEC	Erro Padrão
A	0,5mm X Escala da Carta	0,3mm X Escada da Carta
B	0,8mm X Escala da Carta	0,5mm X Escada da Carta
C	1,0mm X Escala da Carta	0,6mm X Escada da Carta

Como ocorre na análise de tendência, se o valor calculado estiver dentro do intervalo de confiança, aceita-se a primeira hipótese, caso contrário, rejeita-se a primeira e a segunda hipótese é aceita.

9. RESULTADOS

Com as ortoimagens produzidas, extraíram-se as coordenadas dos pontos de interesse, ou seja, os pontos que coincidem com os levantados a partir do levantamento topográfico, para que seja realizada a análise da qualidade geométrica das ortoimagens.

Foram extraídos 37 pontos de cada imagem, sendo que alguns não foram utilizados pois possuíam problemas na observação dos mesmos nas imagens, devido a problemas de vegetação que obstruíam a visão dos pontos.

Extraídas as coordenadas dos pontos das imagens, deu-se início ao procedimento de análise da qualidade geométrica das mesmas.

9.1 Ortoimagem gerada a partir do MDT do mapeamento

Na imagem ortorretificada com MDT obtido por curvas de nível do mapeamento foram obtidos os seguintes valores:

Tabela 3 – Análise estatística

	E (m)	N (m)
Erro médio	-0,0302	0,4321
Var. amostral	1,8971	1,1452
Desv. Amostral	1,3773	1,0701

A partir desses valores, calculou-se o valor de “t” para as componentes E e N, sendo o teste feito com graus de liberdade igual a 27, pois existem 28 pontos com coordenadas topográficas e extraídas da ortoimagem, e nível de significância $\alpha=10\%$, os valores de “t” para as componentes são:

$$|t_E| = 0,0873$$

$$|t_N| = 2,0667$$

O valor tabelado de “t” para os valores acima citados de graus de liberdade e significância é igual a 1,699. Assim, a primeira hipótese é aceita para a componente E, ou seja, não apresenta tendência, já a componente N apresentou resultado tendencioso, já que o valor obtido na estatística t é maior que o valor tabelado para os valores de grau de liberdade e grau de significância.

Após a análise de tendência, realizou-se a análise da precisão do produto, buscando nesta análise, um valor de escala em que a ortoimagem possa ser classificada como Classe A em relação aos parâmetros do PEC. Assim, calculou-se os valores da estatística Qui-Quadrado para as componentes E e N, sendo o resultado apresentado a seguir:

$$\chi_E = 33,9621$$

$$\chi_N = 20,5009$$

Para que se determine a escala em que o produto seja classificado como Classe A, fizeram-se testes entre o intervalo de 1/2000 e 1/10000 sendo que os valores apresentados são referentes à escala 1/6000, o valor tabelado de Qui-Quadrado para situação de graus de liberdade igual a 27 e nível de significância $\alpha=10\%$ é de 36,7412.

9.2 Ortoimagem gerada a partir do MDT extraído de par estereoscópico

Na imagem ortorretificada com MDT obtido por par estereoscópico obteve-se os seguintes valores:

Tabela 5 – Análise estatística

	E (m)	N (m)
Erro médio	-0,096	-0,1314
Var. amostral	1,5254	1,0108
Desv. Amostral	1,2350	1,0053

A partir desses valores, calculou-se o valor de “t” para as componentes E e N, sendo o teste feito com graus de liberdade igual a 29, pois existem 30 pontos com coordenadas topográficas e extraídas da ortoimagem, e nível de significância $\alpha=10\%$, os valores de “t” para as componentes são:

$$|t_E| = 0,3447$$

$$|t_N| = 0,7122$$

O valor tabelado de “t” para os valores acima citados de graus de liberdade e significância é igual a 1,699. Assim, a primeira hipótese é aceita para ambas as componentes, sendo o valor calculado de *t* menor que o valor tabelado.

Após a análise de tendência, realizou-se a análise da precisão do produto, buscando nesta análise, um valor de escala em que a ortoimagem possa ser classificada como Classe A em relação aos parâmetros do PEC. Assim, calculou-se os valores da estatística Qui-Quadrado para as componentes E e N, sendo o resultado apresentado a seguir:

$$\chi_E = 27,3068$$

$$\chi_N = 18,0949$$

Para que se determine a escala, na qual o produto seja classificado como Classe A, repetiu-se o procedimento realizado no caso anterior, ou seja, realizou-se testes com valores de escala entre 1/2000 e 1/10000, e os valores apresentados quanto a estatística Qui-Quadrado são referentes à escala 1/6000, ou seja, a ortoimagem pode ser considerada Classe A para escala de 1/6000, sendo os valores calculados para 1/5000 são maiores que o valor tabelado de Qui-Quadrado para situação de graus de liberdade igual a 29 e nível de significância $\alpha=10\%$ é de 39,087.

Quanto à análise estatística dos dados, pode-se notar o valor absoluto de erro médio maior na componente E da ortoimagem produzida a partir do MDT extraído do par estereoscópico, $|erro_medio_E| = 0,096$; tratando-se da componente N, o valor absoluto de erro médio é encontrado na ortoimagem produzida a partir do MDT de mapeamento, $|erro_medio_N| = 0,4321$.

Em relação aos valores de variância amostral, observa-se que os valores mais elevados, em ambas as componentes, também são encontrados na ortoimagem produzida a partir do MDT de mapeamento, sendo os valores calculados iguais a:

$$Var_amostral_E = 1,8971$$

$$Var_amostral_N = 1,1452$$

Os valores de erro médio e variância amostral nos permitem verificar se os dados obtidos na ortoimagem produzida a partir do MDT de mapeamento possuem uma confiabilidade menor que os dados extraídos da ortoimagem produzida a partir do MDT extraído de um par estereoscópico. Os valores estatísticos obtidos permitem, em um primeiro momento, deduzir que a escala em que a ortoimagem de MDT de mapeamento será classificada como Classe

A pode ser menor que a ortoimagem de MDT extraído do par estereoscópico.

A análise da tendência dos dados, baseada do teste estatístico *t-Student*, nos permite detectar a existência de tendência na componente N da ortoimagem obtida a partir de MDT de mapeamento.

O teste de tendência nos apresenta outro fator que contribui para a menor confiabilidade dos dados obtidos com a ortoimagem obtida a partir do MDT do mapeamento.

O teste estatístico que avalia a precisão das ortoimagens, sendo este baseado na estatística Qui-Quadrado, que permite a classificação da ortoimagem de acordo com o PEC. Depois de calculados os valores para ambas as imagens em diferentes escalas, pode-se chegar aos resultados de escala onde cada imagem pôde ser classificada como Classe A. A ortoimagem obtida a partir do MDT do mapeamento foi classificada como Classe A para a escala 1:6000, e a ortoimagem obtida de MDT extraído de par estereoscópico também foi classificada como Classe A para a escala 1:6000.

10. CONCLUSÃO

O objetivo do trabalho foi avaliar a potencialidade do uso de ortoimagens *QuickBird* na atualização de mapas cadastrais de áreas urbanas, tendo como parâmetros de teste, a avaliação da qualidade geométrica da ortoimagem quando gerada a partir de diferentes MDTs.

Os resultados quanto à classificação das ortoimagens mostram que apesar da diferença entre as quantidades estatísticas calculadas, ambas foram classificadas como Classe A para o mesmo valor de escala, ou seja, 1:6000. O que revela a equivalência na utilização de diferentes MDTs na geração das ortoimagens. Comparando os resultados das imagens, pode-se dizer que a ortoimagem produzida a partir do MDT extraído do par estereoscópico apresenta maior confiabilidade, pois não possui dados tendenciosos.

Conclui-se também, que se pode utilizar as ortoimagens aqui produzidas para a atualização de cartas em escala 1:6000 ou menores, o que atende à algumas necessidades de representação de detalhes em um mapeamento cadastral.

Os resultados obtidos revelam a potencialidade do uso do modelo racional polinomial (RPC) na orientação de imagens orbitais que, quando utilizadas com pontos de apoio e MDTs de qualidade, podem proporcionar resultados que atendam as necessidades de mapeamento cadastral ou de atualizações de cartas.

Comparando os resultados obtidos neste trabalho com os obtidos em ARAUJO *et al.* (2007) e em MIYASHITA (2008), pode-se notar a equivalência entre os mesmos, já que em no primeiro caso, obteve-se classificação da imagem para escala de 1:5000, porém, os pontos utilizados para a análise da ortoimagem produzida eram bem identificáveis e de

fácil pontaria. No segundo caso, a imagem foi classificada em 1:3300, e os pontos utilizados eram em área de expansão urbana e alguns pontos em área rural, o que facilita ainda mais a pontaria e não há grande deslocamento de feições, como prédios, como ocorre em área urbana, lembrando que no trabalho aqui desenvolvido os pontos utilizados eram limites de lotes.

Pode-se dizer que as imagens QuickBird, juntamente com os RPCs, apresentam grande potencialidade de aplicações urbanas quando utilizadas juntamente com pontos de apoio de um MDT de qualidade. A utilização do MDT extraído de um par estereoscópico ou do mapeamento apresentam resultados equivalentes, o que pode reduzir os custos quando da obtenção de modelos de terreno, pois pode-se utilizar produtos gerados em mapeamentos anteriores para a realização de um processo de atualização.

REFERENCIAS

- ANDRADE, J. B. (1998) **Fotogrametria**. Curitiba – PR. SBEE. 258Pp.
- ARAUJO, E. H. G.; KUX, H. J. H.; ALBUQUERQUE, P. C. G. **Ortorretificação de imagens Quickbird orstandard - levantamento planialtimétrico de pontos de apoio e métodos de correção geométrica**. São José dos Campos: INPE, 2007. 57 p. (INPE-14926-RPQ/262). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtem17@80/2007/11.30.17.21>>. Acesso em: 11 nov. 2009.
- BÜYÜKSALIH, G.; ORUK, M.; JACOBSEN, K. Precise georeferencing of rectified high resolution space images. In: **INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING (ISPRS) CONGRESS, XX**, Istambul, 2004.
- DIGITAL GLOBE. *Quick Bird imagery products – products guide*. <http://www.digitalglobe.com>. Acessado em 5/10/2009.
- COSTA, E. R. **Geração automática de modelos digitais de terreno a partir de imagens de câmera digitais**. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente. Presidente Prudente, 2006.
- CROITORU, A.; TAO, V.; HU, Y.; XU, J.; WANG, F.; LENSON, P. T. The Rational Function Model: a unified 2D and 3D spatial data generation scheme. **ASPRS Annual Conference Proceedings**. mai. 2004
- FRASER, C. S.; DIAL, G. GRODECKI, J. Sensor orientation via RPCs. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. p. 182 – 194, 2006.
- GALO, M. **Notas de aula de Fotogrametria III**. Presidente Prudente: UNESP, 2009.
- GONÇALVES, M. L. A. M.; CARVALHO, C. A. P.; VIEIRA, A. J. B. Geração de Modelo Digital de Terreno a partir de mapas digitais 3D: estudo de caso visando garantir o contexto geomorfológico com redução de dados amostrais. **Boletim de Ciências Geodésicas** v. 1. Curitiba, 2003.
- MIYASHITA, P. M. **Avaliação de uma metodologia de baixo custo para o cadastro de propriedades em áreas de expansão e vazios urbanos**. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente. Presidente Prudente - SP, 2008.
- MIKHAIL, E. M.; BETHEL, J. S.; McGLONE, J.C. (2001). **Introduction to Modern Photogrammetry**. Editora John Wiley & Sons, Inc.
- NERO, M. A. **Proposta para o controle de qualidade de bases cartográficas com ênfase na componente posicional**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo, 2005
- NOGUEIRA JUNIOR, J. B. N. **Controle de qualidade de produtos cartográficos: uma proposta metodológica**. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente. Presidente Prudente – SP, 2003.
- PINHEIRO, E. S. (2003) **Avaliação de imagens QUICK BIRD na análise geográfica de um setor da Mata Atlântica do Rio Grande do Sul**. Dissertação de mestrado. São José dos Campos. INPE.
- TAO, V.; HU, Y. A. A comprehensive study of rotational function model for Photogrammetric processing. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.67, n. 12, p. 1347 – 1357, 2001.
- TAO, V.; HU, Y. A. 3D Reconstruction methods based on the Rational Function Model. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 68, n. 7, p 705 – 714, 2002.
- WIESEL, J. La Confeccion de Ortofotos Digitales. In: BAHAR, H. P. (Editor). **Processamiento Digital de Imágenes: Aplicaciones en Fotogrametria y Teledetección**. Eschborn: AS-Druck GmdH, p.85 – 105, 1991.