



Revista Brasileira de Cartografia (2015) N^o 67/2: 465-477
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE GEOMÉTRICA DA IMAGEM GEOEYE PARA A ATUALIZAÇÃO DE DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS

*Geometric Quality Assessment of GeoEye Images for Update
of Cartographic Documents*

Guilherme Gomes Pessoa & Amilton Amorim

Universidade Estadual Paulista - UNESP
Faculdade de Ciências e Tecnologia – Departamento de Cartografia
Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas
Rua Roberto Simonsen, 305. CEP 19060-900 - Presidente Prudente/SP, Brasil.
guilhermegessoa@hotmail.com, amorim@fct.unesp.br

Recebido em 02 de Abril, 2015/ Aceito em 28 de Abril, 2015
Received on April 02, 2015/ Accepted on April 28, 2015

RESUMO

O uso de imagens orbitais vem crescendo bastante nos últimos anos devido às inovações tecnológicas na área do Sensoriamento Remoto, fornecendo novas ferramentas à comunidade cartográfica para a execução de trabalhos voltados à elaboração e atualização de documentos cartográficos. Dessa forma, existem vários satélites equipados com diferentes sensores que capturam e registram imagens da superfície da Terra, com alta resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal. Devido ao fato dessas imagens possuírem alguns erros, advindos tanto da construção dos sensores como de interferências causadas pela atmosfera na propagação do espectro, é necessário aplicar algumas correções para poder realizar medidas sobre as mesmas, dentre as correções está a correção devido ao erro causado pelo relevo. O principal objetivo deste trabalho é realizar um estudo sobre a precisão geométrica que a imagem Geoeeye pode atingir, em função do modelo digital utilizado para realizar a ortorretificação, por fim estudar a viabilidade de sua utilização como ferramenta de atualização cartográfica. Para a realização do experimento foram utilizadas imagens Geoeeye ortorretificadas a partir de dois Modelos Digitais de Terreno, SRTM e um modelo gerado a partir de um aerolevantamento antigo, classificando-a de acordo com o PEC e analisando sua potencialidade para uso em mapeamento e atualização cadastral e de demais documentos cartográficos em áreas de expansão urbana. Os resultados obtidos para a qualidade geométrica atingida se mostram promissores no que diz respeito ao emprego dessa técnica para a atualização de documentos cartográficos.

Palavras chaves: Atualização Cartográfica, Ortorretificação de Imagens Orbitais, Qualidade Geométrica, Cadastro.

ABSTRACT

The use of satellite images is increasing nowadays due to technological innovations in the field of remote sensing, these innovations provide new tools to the cartographic community to conduct studies related to the preparation and updating of maps. Are several different satellites equipped with sensors that capture and record images of Earth's surface with high resolutions, spatial, spectral, radiometric and temporal. These images has some errors from both the construction of the sensors to the interference caused by the atmosphere in the spread spectrum is necessary to apply some corrections to finally be able to perform measurements on them, among the fixes is the correction due to the error caused by the relief. The main purpose of this work is perform a research on the geometric precision that Geoeeye images can reach

depending on the Digital Terrain Models used to perform the orthorectification, finally study the feasibility for use as cartographic update tool. For the experiment were used Geoeye images orthorectified from two Digital Terrain Models, SRTM and a model generated by a photographic aerial survey, classifying it according to the PEC and analyzing its potential for use in Cadastre and others documents updating in the region of urban expanding. The results achieved for the geometric quality show promise with regard to the use of this technique for updating cartographic documents.

Keywords: Cartographic Updating, Orbital Images Orthorectification, Geometric Quality, Cadastre.

1. INTRODUÇÃO

As imagens orbitais têm sido utilizadas, tanto para a produção como para a atualização de documentos cartográficos em várias escalas, inclusive em escalas grandes.

Esta técnica vem se difundindo cada vez mais, principalmente após o surgimento das imagens de alta resolução espacial, que possibilitam a execução de mapeamentos detalhados de áreas urbanas, onde não apenas os aspectos semânticos das imagens, mas também os aspectos geométricos são de suma importância.

Atualmente, com as demandas geradas pelas atividades de planejamento e gestão territorial e pelo fácil acesso aos produtos como imagens disponibilizadas pelo Google Earth, por exemplo, acabam fomentando o uso de imagens orbitais por usuários despreparados, podendo ocorrer em sérios erros.

Um exemplo de erro comum entre os usuários despreparados é a utilização de imagem bruta, sem no mínimo a correção dos efeitos devido ao relevo ou mesmo o uso de uma imagem ortorretificada a partir de um modelo de elevação sem qualidade. Segundo Pinto e Amorim (2011), teoricamente, as imagens ortorretificadas possuem a mesma escala em todos os pontos, o que permite dizer que possuem a mesma propriedade geométrica que uma carta.

De acordo com Castejon *et al.* (2013), a qualidade de uma imagem está diretamente relacionada com o processo de aquisição e com a influência de fatores que podem inserir distorções geométricas nos produtos gerados.

No Brasil, em termos de padronização para a avaliação da qualidade geométrica de produtos cartográficos, desde 1984 são oficialmente adotados os parâmetros estabelecidos pelo Decreto nº 89817, de 20 de junho de 1984, que estabelece o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) como referência. Com a mudança

para o paradigma digital, notam-se esforços de revisão deste padrão de referência, cuja denominação passaria a ser Padrão de Acurácia e Precisão para Produtos Cartográficos Digitais (PAPPCD). Em 2006, a Comissão Nacional de Cartografia apresentou a Especificação Técnica para a Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV), iniciativa que objetivava padronizar as classes de mapeamento da produção cartográfica de referência no Brasil (CONCAR, 2007).

Esses fatos são os principais motivadores desta proposta, que visa estudar a viabilidade da utilização da imagem Geoeye para facilitar a atualização de documentos cartográficos urbanos já existentes, considerando os novos parâmetros estabelecidos pela INDE.

Neste sentido, pretende-se avaliar a qualidade de uma imagem ortorretificada, obtida com os critérios de qualidade da empresa fornecedora, da forma como é geralmente entregue a qualquer usuário. Além disso, de posse da imagem bruta que deu origem à referida imagem ortorretificada, será produzida uma nova imagem ortorretificada com outros critérios de correções, possibilitando as comparações necessárias.

Acredita-se que este trabalho fornecerá subsídios para a tomada de decisões no que diz respeito à escolha de imagens e métodos, objetivando a produção e atualização de documentos cartográficos, principalmente em escalas grandes.

A área escolhida para o desenvolvimento deste trabalho encontra-se na região oeste do Estado de São Paulo, mais precisamente no município de Presidente Prudente, cuja extensão territorial abrange uma área de 563 km² e uma população de 207.610 habitantes.

O município compõe-se atualmente de 5 distritos: Presidente Prudente (sede), Eneida, Montalvão, Ameliópolis e Floresta do Sul. Limita-se ao norte com os municípios de Flora

Rica, Florida Paulista e Martinópolis; ao sul com Pirapozinho e Regente Feijó; ao leste com Caiabú e a oeste com Alfredo Marcondes, Álvares Machado e Santo Expedito.

A referida área foi escolhida por situar-se próxima ao local do desenvolvimento do projeto o que, além de contar com conhecimento empírico das partes envolvidas, ainda viabiliza as coletas de dados em campo que serão necessárias, adicionando-se a isso, o fato de que as imagens orbitais adquiridas referem-se a esta região, nas quais foram feitos os recortes da imagem para a execução dos experimentos.

2. SATÉLITE GEOEYE

A missão GeoEye representa a evolução dos satélites OrbView, originalmente responsabilidade da Empresa Orbimage (Orbiting Image Corporation). Em 2006, o controle dos satélites OrbView passou a ser feito pela Empresa GeoEye, com sede localizada na Virgínia (Estados Unidos). O satélite GeoEye-1 foi lançado em setembro de 2008 e alcança 41 cm de resolução espacial no pancromático e 1,6 metros no multiespectral, com fornecimento de imagens direcionado aos serviços Google Earth e Google Maps.

A bordo do satélite GeoEye-1, os intervalos espectrais dos sensores pancromático e multiespectral sofreram alterações quando comparados aos seus antecessores lançados a bordo dos satélites OrbView 3 e OrbView 4 e a resolução espacial oferecida passou a ser de 41 centímetros no modo pancromático e 1,65 metros no modo multiespectral, com visadas laterais e obtenção de imagens com estereoscopia (EMBRAPA, 2015).

Apenas imagens projetadas em uma superfície com constante altura são distribuídos como imagens Geo. Na verdade, o GeoEye-1 Geo é o Formato de imagens comerciais do GeoEye que apresenta o menor nível de correções, tanto radiométrica quanto geométrica. Imagens Geo são fornecidas com o modelo da câmera do sensor em formato de RPC's e arquivo de metadados. Este produto permite que os usuários qualificados possam tornar os produtos ortorretificadas utilizando software comercial padrão (AGUILAR, *et al.* 2013).

3. MODELO DIGITAL DE TERRENO

De acordo com Andrade (1998), o Modelo Digital do Terreno (MDT) – em inglês: *Digital Terrain Model* (DTM), consiste na reprodução da forma que o relevo do terreno está apresentado na realidade. Doyle (1978) o definiu como arranjos ordenados de números, que reproduzem a distribuição espacial das características do terreno. Na maioria das vezes, essa distribuição é representada por um sistema de coordenadas retangulares ou pela latitude e longitude. A característica do terreno, geralmente referenciada, é o relevo estimado pela sua cota ou altitude.

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 apud PINTO e AMORIM, 2011)

Na Cartografia o MDT é uma ferramenta frequentemente utilizada para a geração de produtos como: ortofotocartas, ortoimagens, mapas topográficos, geração de curvas de nível e outros. As principais fontes de dados para a geração dos MDT's são derivadas de curvas de nível digitalizadas, métodos fotogramétricos, levantamentos topográficos e geodésicos, e ainda por meio de varredura a laser e radar, fontes essas que fornecem a elevação dos pontos no terreno para a geração do modelo (COSTA, 2006).

4. MODELO RACIONAL POLYNOMIAL COEFFICIENTS (RPC)

Existem modelos de correção geométrica específicos para o sensor chamados de coeficientes polinomiais racionais (RPC – *Rational Polynomial Coefficients*) que de acordo com Cheng e Toutin (2001) apud Oliveira, Medeiros e Galo (2012), tais modelos refletem a realidade física da geometria da visada e corrigem as distorções inerentes à plataforma, ao sensor e à Terra. Assim, pressupõe-se que sejam conhecidos os parâmetros físicos, relacionados ao sensor e à plataforma do satélite nos instantes de aquisição das imagens que, nem sempre, são disponibilizados aos usuários. Ao invés disso, os provedores fornecem os coeficientes de

polinômios racionais determinados a partir dos dados orbitais (TOMMASELLI e MEDEIROS, 2010).

Os RPC's são coeficientes utilizados no modelo matemático baseado em funções racionais (*Rational Functions Model* – RFM), que associa coordenadas X, Y, Z de pontos no espaço objeto às coordenadas (linha e coluna) de cada pixel na imagem, ou vice-versa, a exemplo dos modelos físicos do sensor, mas na forma de funções racionais expressas por razões de polinômios (HU *et al.*, 2004).

De acordo com Büyüksalih, Oruc e Jacobsen (2008) 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 comparada com o modelo rigoroso, sendo que os RPC's, baseados apenas na orientação direta do sensor, devem ser melhorados por um *shift*, através do uso de pontos de controle.

5. ORTOIMAGEM

Segundo Mikhail (2001), ortorectificação trata-se de um produto em que as feições imageadas apresentam-se em posições corrigidas do efeito de deslocamento devido ao relevo e a inclinação da câmera. Pode ser considerada geometricamente equivalente às cartas e mapas, sendo adequada para a realização de medições sobre as mesmas.

A ortorectificação apresenta grande vantagem semântica quando comparada à cartas e mapas, isto pois, as imagens retratam o objeto como ele de fato se apresenta no mundo real, tornando assim muito mais fácil o reconhecimento cognitivo.

Segundo Andrade (1998), para confeccionar uma ortorectificação a partir de uma imagem digital, deve-se aplicar transformações para as posições iniciais dos pixels, gerando assim um novo arranjo. Este novo arranjo pode ser efetuado por dois métodos, denominados como direto e indireto.

Como as coordenadas resultantes das ortorectificações não se ajustam à malha regular da ortorectificação, é necessária a aplicação de processos de interpolação para determinar o valor radiométrico que cada posição do novo arranjo deve assumir, 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 ortorectificação no referencial do espaço objeto. Para isso é gerada uma matriz no referencial do objeto inicial com um *Ground Sample Distance*, que se trata do tamanho do pixel da ortofoto no terreno.

Segundo WIESEL (1991) o princípio de obtenção de uma ortorectificação pode ser representado pela Figura 1:

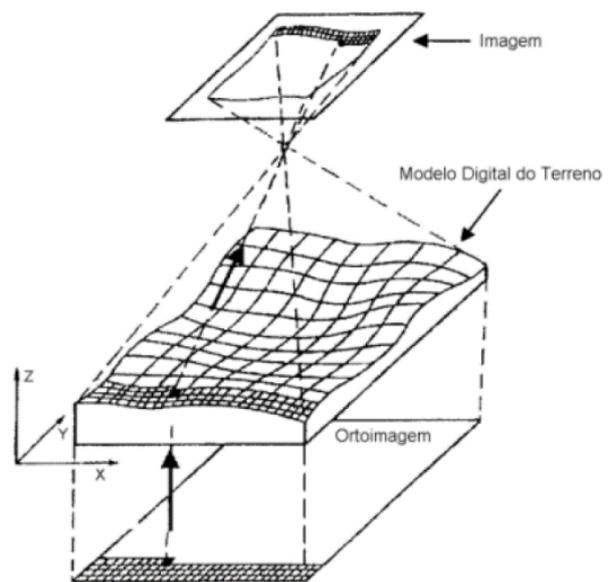


Figura 1 - Processo de geração de ortorectificação
Fonte: Wiesel (1991).

Segundo Aguilar *et al.* (2013) os usuários podem produzir suas próprias imagens ortorectificadas, utilizando softwares específicos e dados auxiliares, tais como modelos de elevação digital (DEM), pontos de apoio distribuídos na área de interesse e os RPC's.

6. MÉTODO DE POSICIONAMENTO GNSS

Para Seeber (1993) os métodos de posicionamento com receptores GNSS consistem na determinação da localização de objetos na superfície da Terra ou próximos a ela e podem ser efetuadas das seguintes formas: pontual ou posicionamento absoluto e posicionamento relativo.

No posicionamento absoluto, as coordenadas do objeto são determinadas diretamente em relação ao geocentro, ou seja, centro de massa

da Terra. No posicionamento relativo, as coordenadas são determinadas em relação a um ponto materializado de coordenadas conhecidas ou a partir de correções obtidas de um receptor base (ponto de referência), posicionado em um lugar com coordenadas conhecidas.

De acordo com Kavanagh (2003), conforme as condições e objetivos do levantamento a ser realizado, o objeto pode ser levantado pelos métodos cinemáticos ou estáticos. Devido ao avanço tecnológico, acrescentou-se uma série de classificações entre elas: semicinemático, estático rápido, cinemático puro ou contínuo, pseudocinemático, cinemático rápido, pseudoestático, *stop and go*, etc.

A escolha do método depende exclusivamente de dois fatores principais, distância do ponto cujas coordenadas devem ser obtidas até o ponto base, no caso do método relativo, e a precisão que as coordenadas devem atingir. Baseado nesses dois fatores define-se o tempo de coleta necessário e assim restringe-se o método de levantamento a ser executado.

6.1 Posicionamento Relativo Estático

Segundo Fortes (1997), no posicionamento relativo, o usuário deve dispor de no mínimo dois receptores, ou utilizar apenas um, e dispor de dados obtidos de uma ou mais estações de referência dos Sistemas de Controle Ativo (SCA), como por exemplo, da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC).

Em um SCA, os receptores rastreiam continuamente os satélites visíveis, sendo que os dados podem ser obtidos através de um meio de comunicação, mais usualmente a Internet. Além da RBMC, podemos contar com outras SCA, como a Rede de Estações Ativas da Santiago e Cintra – RCNet, a Rede INCRA de Bases Comunitárias do GPS, além da RIBAC, que juntamente com a RBMC, pertencem ao IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

Neste método de posicionamento, instala-se um ou mais receptores em pontos de coordenadas conhecidas, que são as bases do levantamento, e outro receptor, sendo este móvel, percorre os pontos a terem suas coordenadas determinadas, sendo esse tipo de posicionamento em tempo real (RTK-*Real Time Kinematic*), ou pós-processado.

7. CONTROLE DE QUALIDADE

Quando se trata da elaboração de produtos cartográficos, torna-se necessário efetuar um controle de qualidade com procedimentos adequados de revisão e validação da identificação de erros e inconsistências, devendo-se analisar qual a finalidade dos dados espaciais avaliados e a qualidade que se deseja (GUPTILL e MORRISON, 1997).

Segundo Galo e Camargo (1994) a precisão está ligada com a dispersão das observações em torno do valor médio, enquanto que a acurácia (ou exatidão) está relacionada com a proximidade do valor real, ou seja, sem a influência de erros sistemáticos.

Para Gemael (1994) o termo precisão está vinculado apenas a efeitos aleatórios (à dispersão das observações), enquanto que a acurácia vincula-se a ambos, efeitos aleatórios e sistemáticos.

A fim de analisar a influência dos fatores estudados e suas interações cruzadas durante a fase de ajuste, em relação à precisão do sensor de orientação, uma análise de variância pode ser utilizada. Sendo que pode ser utilizada a raiz quadrada média do erro planimétrico (RMSE2D) calculada sobre os pontos (AGUILAR *et al.*, 2013).

Para a realização dos experimentos foram utilizados os procedimentos sugeridos por vários autores, entre eles, Galo e Camargo (1994); Gemael (1994); Amorim, Camargo e Miyashita (2010); Pinto e Amorim (2011).

7.1 Análise de Tendência Utilizando o Teste Estatístico *t-student*

Esta análise baseia-se nas discrepâncias (ΔX_i) das coordenadas E e N obtidas como referências (X_i) e as coordenadas E e N medidas ortofoto (X_c).

$$\Delta X_i = X_i - X_i^c \quad (1)$$

A partir dessa diferença é possível calcular a média amostral e a variância amostral, dados por:

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

Obtidas as médias, calcula-se então a variância das discrepâncias amostrais (),

$$S_{\Delta X}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta X_i - \overline{\Delta X})^2 \quad (3)$$

Para se analisar a tendência, duas hipóteses devem ser analisadas:

$$\begin{aligned} H_0: \overline{\Delta X} &= 0 \\ H_0: \overline{\Delta X} &\neq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Analisadas as hipóteses, deve-se realizar o teste estatístico amostral *t-student* para cada coordenada (E e N), calculando da seguinte forma:

$$t_x = \frac{\overline{\Delta X}}{S_{\Delta X}} \sqrt{n} \quad (5)$$

Calculado o valor t_x , este deve ser comparado com valor *t student* tabelado, da seguinte forma:

$$|t_x| < t_{(n-1, \alpha/2)} \quad (6)$$

Onde:

- n é o tamanho da amostra analisada;
- α é o nível de significância e;
- (n-1) equivale aos graus de liberdade.

Sendo assim, elaborado o teste de tendência, se a estatística amostral estiver fora do intervalo de confiança, rejeita-se a hipótese nula, sendo que a ortofoto não pode ser considerada como livre de tendências significativas na coordenada avaliada, para um determinado nível de confiança. Caso note a existência de tendências, deve-se tentar identificá-las e seu efeito pode ser minimizado.

7.2. Análise de Precisão Utilizando o Teste Estatístico Qui-quadrado

Para analisar a precisão, compara-se o desvio padrão ou erro padrão das discrepâncias das coordenadas E e N com o especificado para cada classe a que se deseja testar. Sendo assim, o teste de hipótese o qual deve ser analisado é o seguinte:

$$\begin{aligned} H_0: S_{\Delta X}^2 &= \sigma_x^2 \\ H_1: S_{\Delta X}^2 &\neq \sigma_x^2 \end{aligned} \quad (7)$$

Para o cálculo do Erro Padrão das coordenadas planimétricas (E e N), ou seja, Erro Padrão Planimétrico utiliza-se a seguinte equação:

$$\sigma_E = \sigma_N = \frac{EP_{plan}}{\sqrt{2}} \quad (8)$$

Para verificação do valor calculado, o teste estatístico utilizado foi o Qui-quadrado (). Para tal, deve-se calcular o valor () para cada uma das coordenadas E e N, utilizando a seguinte equação:

$$\chi_X^2 = (n - 1) \frac{S_{\Delta X}^2}{\sigma_X^2} \quad (9)$$

sendo:

- n o tamanho da amostra;
- (n - 1) o valor dos graus de liberdade.

Para a análise, os valores calculados devem atender à seguinte equação:

$$\chi_X^2 \leq \chi_{n-1, \alpha}^2 \quad (10)$$

sendo:

- n é o tamanho na amostra;
- (n-1) é o valor dos graus de liberdade.

8. DESENVOLVIMENTO

A partir do procedimento teórico-metodológico utilizado, considerando os pressupostos metodológicos, foram definidas as etapas da pesquisa que dariam subsídios às análises necessárias para atingir os objetivos deste trabalho.

Além da determinação das coordenadas dos pontos de apoio (necessários para o georreferenciamento da imagem) e verificação (necessários para o controle de qualidade), foi também necessárias a geração e edição dos Modelos Digitais de Terreno, etapa esta fundamental para se analisar a possibilidade de utilização das imagens comercializadas (ortorretificadas) aplicadas no mapeamento direto de imóveis em áreas de expansão urbana, que possam dar origem ao Cadastro Imobiliário dessa área.

8.1 Determinação das coordenadas dos pontos de apoio e verificação

A partir da precisão final esperada, na ordem de 0.5 metro, foram definidos os critérios para a configuração do Receptor GNSS, no qual foram definidos o tempo de coleta de 10 minutos, visto que as estações bases PPTE e PRU2 estavam a 6km do ponto mais distante, a máscara de elevação de 15° e o intervalo de gravação de 15 segundos (de acordo com o intervalo de gravação dos dados das bases).

Quanto ao número de pontos, foram definidos 23 pontos de verificação bem distribuídos espacialmente por toda a área de estudo. A Figura 2 ilustra a distribuição dos pontos sobre a área de estudo.



Fig. 2 - Pontos de verificação.

Os dados foram coletados utilizando receptores GNSS de dupla frequência, em seguida foram descarregados e processados utilizando os softwares PCCDU e *Trimble Business Center* (TBC). Como base foram considerados os pontos PPTE, pertencente à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) e o ponto PRU2, disponibilizado pelo Grupo de Estudos de Geodésia Espacial (GEGE) da FCT/Unesp de Presidente Prudente – SP.

Após o processamento e ajustamento dos dados levantados em campo, obtiveram-se as coordenadas dos pontos, bem como seus respectivos desvios padrão.

Um controle importante consiste na verificação do desvio padrão calculado para cada coordenada, uma vez que os mesmos devem

atender à precisão do produto final que se espera atingir. Para isso, deve se considerar que a cada etapa subsequente a precisão é degradada em 1/3, logo partindo da precisão do produto final cada etapa anterior deve ter uma precisão 1/3 melhor do que a posterior a ela. (MERCHANT, 1982 apud GALO e CAMARGO, 1994)

Este trabalho foi constituído de três etapas, coleta de dados em campo, Orto-retificação e a coleta das coordenadas dos pontos sobre as ortomagens, e como este trabalho visa atingir uma precisão de 0.5 m nas coordenadas dos pontos lidos, e que a etapa de coleta dos pontos é uma etapa anterior a ela, logo a coleta dos pontos deve apresentar um desvio inferior à 0.06 m.

Como se pode notar na Tabela 1, todos os desvios planimétricos, ou seja, nas direções norte e leste, estão bem abaixo da precisão limite. Sendo assim, foi possível seguir com o andamento do trabalho e realizar as fases posteriores.

Tabela 1: Desvios Padrão dos pontos coletados

ID	DP leste (Metro)	DP norte (Metro)	DP elevação (Metro)
p1	0.013	0.010	0.045
P3	0.018	0.008	0.062
P5	0.008	0.026	0.050
P6	0.010	0.019	0.053
P7	0.003	0.029	0.039
P8	0.007	0.022	0.037
P9	0.023	0.010	0.041
P10	0.009	0.013	0.029
P11	0.018	0.009	0.026
P12	0.016	0.015	0.039
P13	0.003	0.033	0.048
P14	0.019	0.013	0.043
P16	0.024	0.003	0.034
P17	0.026	0.006	0.032
P19	0.007	0.014	0.045
P20	0.001	0.011	0.035
P21	0.012	0.017	0.040
P22	0.016	0.012	0.047
P23	0.010	0.023	0.044
P24	0.023	0.015	0.036
P25	0.014	0.019	0.037
P26	0.008	0.017	0.033
P27	0.009	0.011	0.029

8.2 Geração e Edição dos MDT's

A partir das curvas de nível, provenientes do mapeamento em escala 1:10.000 do município de Presidente Prudente – SP, foram extraídas apenas as curvas de nível que representam o relevo da área de estudo.

No *software* AutoCAD as curvas foram editadas a fim de eliminar erros como, curvas que se cruzam, linhas desconectadas, curvas sem cota ou com a cota errada e também linhas que apresentavam quebras bruscas.

Em seguida, a partir das curvas de nível editadas e fazendo uso do *software* LAsTols gerou-se uma nuvem de pontos no formato “.las” que foi acoplada ao modelo SRTM que cobria a área de interesse. Essa manipulação foi necessária, uma vez que o modelo que seria usado não apresentava sobreposição suficiente à imagem do satélite.

A partir do modelo SRTM, adquirido pelo site da EMBRAPA em formato “.img” (formato de imagem, na qual a altitude se encontra representada por tons de cinza) foi gerada uma nuvem de pontos para que fosse possível a junção do MDT como o SRTM. As duas nuvens de pontos foram editadas de tal forma que, onde houvesse sobreposição, deveriam prevalecer as cotas dos pontos da nuvem gerada a partir das curvas de nível, sendo que o SRTM foi utilizado apenas para aumentar a sobreposição entre o MDT final e a imagem.

Depois de editados os valores de altitude das curvas de nível, utilizou-se o módulo *Create Surface* do pacote ERDAS IMAGINE 9.0 para gerar a superfície originada a partir da junção entre as curvas de nível e o SRTM, sendo o resultado apresentado na Figura 3.

Durante a geração da superfície, parâmetros como área de interesse foram configurados para que a superfície extrapolasse o tamanho da imagem e o tamanho da célula foi configurado como 2 metros para que, cada pixel de dois metros, possuísse uma tonalidade de cinza que por fim representaria uma cota no momento da geração da ortoimagem.

8.3. Georreferenciamento das ortoimagens

A partir das duas ortoimagens geradas e de 3 pontos de apoio foi realizado o Georreferenciamento das mesmas a fim de

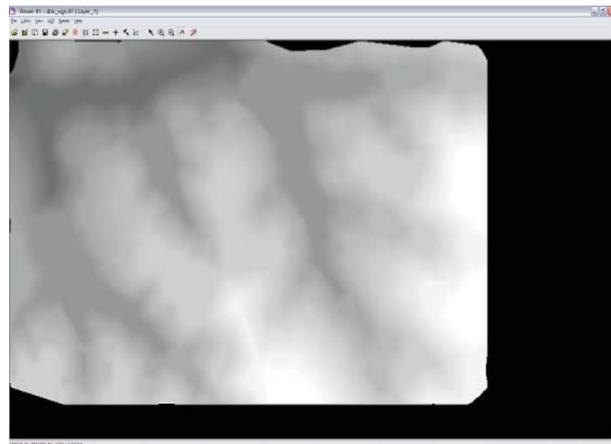


Fig. 3 - MDT produzido a partir das curvas de nível.

corrigir possíveis erros ainda existentes nas imagens, objetivando assim que o resultado seja o mais próximo da realidade possível.

Utilizando o *software* ArcMap foi realizado Georreferenciamento das imagens a partir de um polinômio de grau zero, ou seja, uma transformação linear, que foi escolhida porque as imagens já estavam ortorretificadas e não era interessante que houvesse alteração na geometria das mesmas.

9. RESULTADOS E DISCUSÕES

A partir das coordenadas dos pontos determinadas em campo e com base nas coordenadas dos pontos homólogos, obtidas através da imagem, foi feita uma comparação entre as discrepâncias encontradas entre as duas ortoimagens para avaliar a precisão planimétrica das mesmas, e a partir dessas discrepâncias foram gerados gráficos para facilitar a visualização.

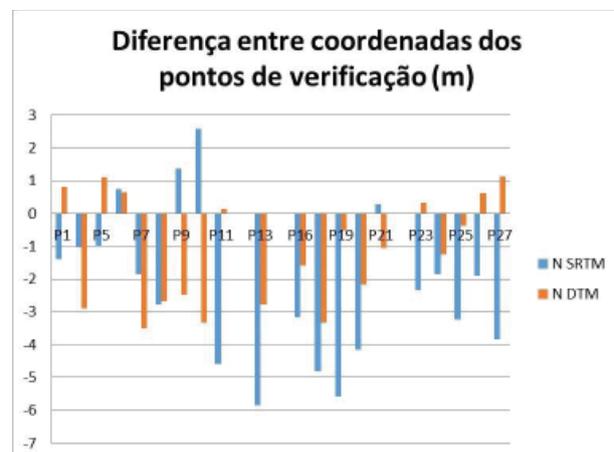


Fig. 4 - Gráfico das discrepâncias para o eixo de coordenadas Norte.

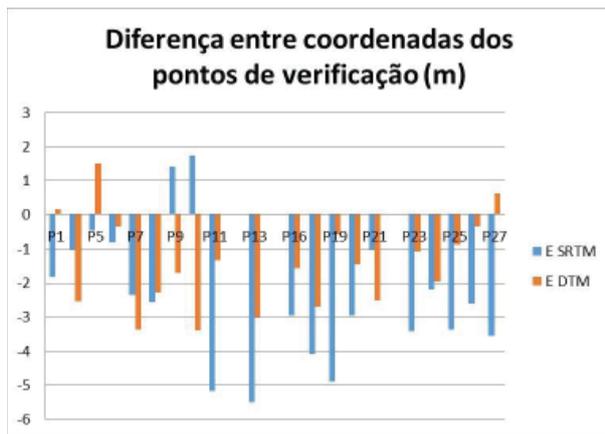


Fig. 5 - Gráfico das discrepâncias para o eixo de coordenadas Leste.

Como se podem notar nos gráficos acima, é nítido que as discrepâncias de maior magnitude foram encontradas na Ortoimagem gerada a partir do SRTM. O fato de alguns pontos apresentarem resultados contrários não descaracteriza a análise, sendo que uma das fontes desse problema pode ter ocorrido na manipulação do MDT.

A partir das ortoimagens geradas e utilizando 3 pontos como apoio, P17, P19 e P25, foram feitos os Georreferenciamentos das duas ortoimagens no software ArcMap. Este procedimento visa corrigir possíveis incoerências entre as coordenadas do terreno e as coordenadas das ortomagens. O resultado e a influência deste procedimento sobre as discrepâncias das coordenadas nas ortoimagens para as coordenadas de terreno podem ser vistas nas Figuras 6 e 7.

A partir dos gráficos apresentados nas Figuras 4 e 5, quando comparados aos gráficos apresentados nas Figuras 6 e 7, nota-se que na maioria dos pontos a discrepância diminuiu, isso ocorre pois o processo de Georreferenciamento utilizando uma transformação linear corrige erros de posicionamento por meio de translação e de rotação da imagem.

9.1. Análises Estatísticas 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).

Nesta avaliação, foram testados dados de amostras extraídas do produto cartográfico, devendo-se ressaltar que, no caso do estudo

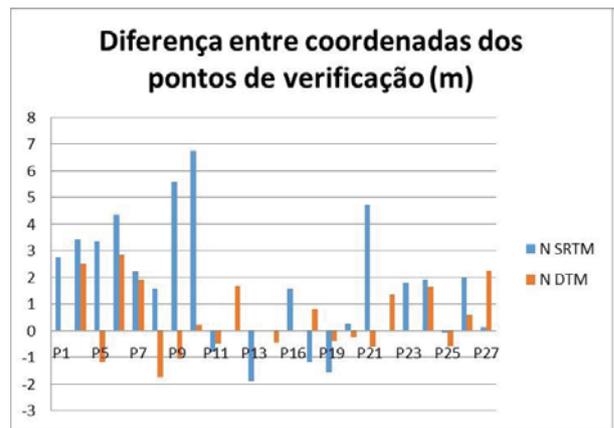


Fig. 6 - Gráfico das discrepâncias para o eixo de coordenadas Norte (imagem georreferenciada).

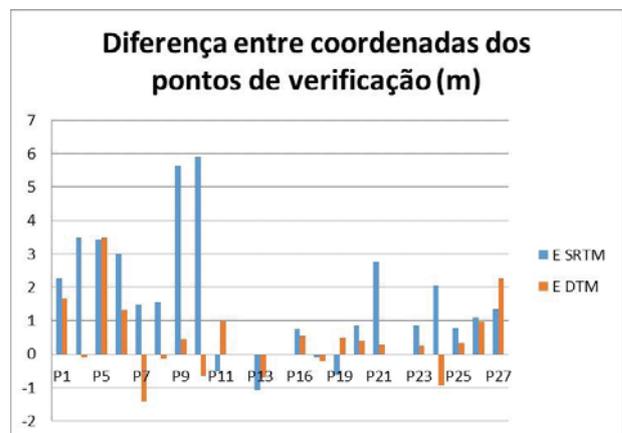


Fig. 7 - Gráfico das discrepâncias para o eixo de coordenadas Leste (imagem georreferenciada).

realizado, os pontos utilizados pertenciam a uma área específica da ortoimagem, sendo a qualidade da mesma determinada para uma área restrita. Em se tratando de avaliação de um produto cartográfico deve se retirar amostras de todo o produto e de um modo aleatório, sendo que existem diversas técnicas para a escolha desses pontos.

Para as análises estatísticas foram utilizadas apenas as imagens georreferenciadas, uma vez que, com base na análise das discrepâncias foram elas as que mostraram valores de discrepância com menor magnitude. Dessa forma, foram descartadas as ortoimagens sem pontos de apoio.

Um conjunto de procedimentos deve ser feito a fim de realizar essas análises:

- Determinação das coordenadas dos pontos no produto cartográfico;
- Determinação das coordenadas dos mesmos pontos para que sirvam de referência, para isso podem se utilizar levantamentos de campo, ou extrair as coordenadas de um

produto de escala maior do que a do produto a ser avaliado;

- 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.

9.2. Análise de Tendência

A partir das discrepâncias, foram calculados o erro médio quadrático e a variância, tanto para a ortoimagem georreferenciada gerada a partir do SRTM quanto para a ortoimagem georreferenciada gerada a partir do MDT. Com base nos valores de variância para cada eixo de cada ortoimagem foram calculados os valores de *t-student* de acordo com o que está apresentado no item 4.12.1 resultando nos valores apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Análise *t-student*

	SRTM		MDT	
	E	N	E	N
RMSE	1,944231	2,429952	1,116077	1,325313
Var	3,436397	5,367882	1,132389	1,897192
<i>t-student</i>	3,583318	3,020179	1,662514	1,694308

Para validar a hipótese e concluir quanto a existência ou não de tendências na amostra selecionada, os valores calculados foram comparados com o valor tabelado para um grau de liberdade de 19 e um nível de confiança de 90%.

O valor tabelado para os parâmetros citados é de 1,73, e ao comparar com os valores calculados é possível concluir que existem tendências na amostra proveniente do SRTM, mas a amostra proveniente do MDT não apresenta tendências.

9.3. Análise de Precisão

Após a análise de tendência, realizou-se a análise da precisão do produto, buscando nesta análise, descobrir em qual Classe cada uma das ortomagens pode ser classificada.

O PEC consiste no decreto lei 89.817 de 1984 que define os parâmetros para a classificação de produtos cartográficos, mas com o advento da tecnologia e de novas técnicas cartográficas o PEC foi atualizado para o PEC-PCD cujos valores estão apresentados na Figura 8.

PEC	PEC-PCD	1:1.000		1:2.000		1:5.000		1:10.000	
		PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
-	A	0,28	0,17	0,56	0,34	1,40	0,85	2,80	1,70
A	B	0,50	0,30	1,00	0,60	2,50	1,50	5,00	3,00
B	C	0,80	0,50	1,60	1,00	4,00	2,50	8,00	5,00
C	D	1,00	0,60	2,00	1,20	5,00	3,00	10,00	6,00

Fig. 8 - Quadro do PEC-PCD. Fonte: INDE (2012).

Tabela 3: Valores Calculados de Qui-Quadrado

		Escala 1:10000			
		A	B	C	D
	E	27,16	15,39	9,23	7,70
	N	42,42	24,04	14,42	12,02
DTM	E	8,95	5,07	3,04	2,56
	N	15,00	8,50	5,10	4,25
		Escala 1:5000			
		A	B	C	D
	E	54,32	30,78	18,47	15,39
	N	84,84	48,08	28,85	24,04
DTM	E	17,90	10,14	6,09	5,07
	N	29,99	16,99	10,20	8,50
		Escala 1:2000			
		A	B	C	D
	E	135,79	69,95	57,71	46,17
	N	212,11	109,27	90,145	72,115
DTM	E	44,745	23,05	19,015	15,215
	N	74,965	38,62	31,86	25,49

O valor do qui-quadrado tabelado para um nível de confiança de 90% e para 19 graus de liberdade é de 27,204 e ao compara-lo com os valores apresentados na Tabela 3, as ortomagens foram classificadas para três escalas, 1:2.000, 1:5.000 e 1:10.000, nas quatro classes, A, B, C e D e, nas quais as imagens podem ser classificadas, os valores estão apresentados em verde na mesma tabela.

Ainda na mesma tabela é possível notar que a ortoimagem georreferenciada, produzida a partir do MDT, pode ser classificada como classe B para a escala 1:5.000. Deve-se considerar que as curvas de nível que deram origem ao referido MDT foram extraídas de um mapeamento em escala 1:10.000.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como principal finalidade avaliar a potencialidade do uso de ortoimagens Geoeye para a geração de produtos cartográficos visando o conhecimento e cadastramento, ainda que superficial, de imóveis caracterizados por polígonos irregulares nas áreas de expansão urbana.

Quanto a análise das discrepâncias, pode-se notar que os valores encontrados para as ortoimagens sem pontos de apoio foram maiores do que para as ortoimagens que possuem pontos de apoio, isso ocorre devido ao fato da presença desses pontos diminuir a magnitude de possíveis erros presentes nos RPC's, já que a qualidade dos mesmos depende e muito das equações aplicadas e do relevo da área imageada.

Como se pode notar nas Figuras 4, 5, 6 e 7 há uma considerável redução dos valores de discrepâncias com a utilização de pontos de apoio. Ao se comparar a Figura 4 com a Figura 5 e a Figura 6 com a Figura 7, pode-se notar, de forma não tão evidente quanto nos testes estatísticos, que a utilização de um modelo com melhor precisão altimétrica influencia na precisão planimétrica dos pontos.

Quanto a análise estatística dos dados, pode-se notar o valor absoluto de erro médio maior na componente N da ortoimagem georreferenciada produzida a partir do SRTM, cujo valor é 2,429952 e está apresentado na Tabela 2. No entanto, o valor do erro médio quadrático para o eixo E da mesma ortoimagem é de 1,944231, também maior que os valores encontrados para a ortoimagem georreferenciada produzida a partir do MDT.

Em relação aos valores de variância amostral, os valores mais elevados, em ambas as componentes, também são encontrados na ortoimagem georreferenciada produzida a partir do SRTM, sendo os valores calculados iguais a 3,436397 e 5,367882 que correspondem respectivamente às variâncias nas componentes E e N.

Os valores de erro médio e variância amostral nos permitem verificar que os dados obtidos na ortoimagem, produzida a partir do SRTM, possuem uma confiabilidade menor que os dados extraídos da ortoimagem produzida a partir do MDT.

A partir da análise dos dados, baseada no teste estatístico *t-Student*, foram detectadas tendências em ambas as componentes da ortoimagem obtida a partir do SRTM. Por outro lado, observa-se que na ortoimagem obtida a partir do MDT não há tendência, mostrando que a utilização de um modelo de terreno mais preciso pode melhorar o resultado final da ortoimagem.

O último teste estatístico, que avalia a precisão das ortoimagens, sendo este baseado na estatística Qui-Quadrado, permite a classificação da ortoimagem de acordo com o PEC-PCD.

Baseado nos valores calculados na Tabela 3 pode-se notar que a ortoimagem obtida a partir do MDT foi classificada como Classe B para a escala 1:5.000, e a ortoimagem obtida de SRTM pode ser classificada como Classe B na escala 1:10.000.

O teste qui-quadrado foi o mais eficaz para verificar a influência do modelo de terreno na precisão planimétrica da ortoimagem.

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 MDT's de boa qualidade, podem proporcionar resultados que atendam às necessidades de mapeamentos cadastrais (escalas grandes) ou de atualizações de outros documentos cartográficos (em escalas menores).

Finalmente, pode-se concluir que foi possível se obter melhor qualidade geométrica com a utilização do MDT (mesmo tendo sido gerado a partir de curvas de nível extraídas de mapeamento em escala 1:10.000), ao invés de se utilizar o modelo do SRTM que é o utilizado pelas empresas, para produzir imagens ortorretificadas.

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, além dos resultados obtidos por Amorim, Camargo e Miyashita (2010) e Pinto e Amorim (2011), nota-se que é possível a execução de mapeamentos que possam dar origem ao cadastro de imóveis em áreas de expansão urbanas, uma vez que esses raramente são mapeados nos projetos de recadastramentos porque necessitam de processos diferentes, mais complexos e onerosos, quando comparados aos métodos geralmente utilizados para o cadastramento dos imóveis que sofreram processo de parcelamento urbano.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós Graduação em Geografia da FCT/UNESP, pelo fornecimento da imagem Geoeye.

À Fapesp pela concessão da bolsa de estudos de iniciação científica.

Ao Departamento de Cartografia da FCT/UNESP pela concessão dos equipamentos e softwares utilizados neste trabalhos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, A.; CAMARGO, P. O.; MIYASHITA, P. M. **Avaliação do Potencial das Imagens Quickbird Ortoretificadas Para o Mapeamento das Propriedades Localizadas na Área de Expansão e Vazios Urbanos.** Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba, 2010. p. 456-474.

ANDRADE, J. B. **Fotogrametria.** Curitiba – PR. SBEE. 1998. 258p.

BRASIL. **Decreto No 6.666, De 27 De Novembro De 2008.** Institui, no Âmbito do Poder Executivo Federal, a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais – INDE. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 28 de Novembro Seção 1, p. 57. 2008.

CASTEJON, E. F.; FONSECA, L. M. G.; ARCANJO, J. S. **Melhoria da geometria e posicionamento de imagens orbitais de média resolução – um experimento com dados CBERS-CCD.** Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Foz do Iguaçu 2013. p. 8048-8055.

CONCAR. **Especificações Técnicas Para Estrutura de Dados Geoespaciais Digitais Vetoriais Versão 2.0.** Sistema Cartográfico Nacional. Norma Cartográfica Brasileira. Brasília, DF. 2007. 246p.

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. 142p.

EMBRAPA. **Informações Satélites Operantes**

– **Geoeye.** Disponível em: <http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/sensores_operantes.html>. Acesso em: 10/01/2015.

FORTES, L. P. S. **Operacionalização da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC).** 1997. Dissertação (Mestrado em Ciências em Sistemas e Computação) – Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro. 152p.

GALO, M.; CAMARGO, P. O. **Utilização do GPS no controle da qualidade de carta.** In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis, 1994. p. 41-48.

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas.** Ed. UFPR, Curitiba, 1994. 260p.

GUPTILL, S. C. & MORRISON, J. L. **Elements of Spatial Data Quality.** International Cartographic Association – ICA. Pergamon, 1995. p. 81-108.

KAVANAGH, B. F. **Surveying: principles and applications.** Ed. Prentice Hall, 2003. 160p.

MIKHAIL, E. M.; BETHEL, J. S.; McGLONE, J.C. **Introduction to Modern Photogrammetry.** Editora John Wiley & Sons, Inc, 2001. 180p.

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. 131p.

OLIVEIRA, L. F.; MEDEIROS, N. G.; GALO, M. **Análise de modelos digitais de superfície extraídos de imagens PRISM/ALOS: Abordagem RPC.** *Revista Brasileira de Cartografia*, Nº 65/4: 617-632.

PINTO, M. S.; AMORIM, A. **Ortoretificação de Imagem Quickbird com Diferentes Modelos Digitais de Terreno: Análise da Qualidade Geométrica.** *Revista Brasileira de Cartografia*, Nº 63. 2011. p.65-74

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: foundations, methods and applications.** Berlin; New York.

Editora de Gruyter. 180p. 1993.

TOMMASELLI, A. M. G.; MEDEIROS, M. G. Determination of indirect orientation of orbital images using control straight lines. In: **the Photogrammetric Records**. 2010. p.1-10

WIESEL, J. **La Confeccion de Ortofotos**

Digitales. In: BAHAR, H. P. (Editor). **Processamiento Digital de Imagenes: Aplicaciones em Fotogrametria y Teledetección**. Eschborn: AS-Druck GmdH, p.85 – 105, 1991.