

Avaliação do padrão de exatidão cartográfica de imagem do sensor *Worldview*

Diogo Luiz Ferreira
Felipe Gomes Marambaia
Eduardo José da Silva Junior

4ª Divisão de Levantamento – DSG/DCT
Av Marechal Bittencourt, 97 - 69029-160 - Manaus - AM, Brasil
diogolufe@gmail.com, felipemarambaia1@gmail.com, eduardo.silva@eb.mil.br

Abstract. The Brazilian Army through a cooperation agreement with the *National Geospatial-Intelligence Agency* began to receive images from *Worldview* sensor. But to be able to use this new materials in the cartographic production it is necessary to evaluate the geometric quality of this new images and this paper aims to do so. The first step of the methodological approach is to choose the correct image, in this paper we choose the image near of Amazon Stadium because it is easier to measure the GPS points. After that a set is chosen of point extracted from the image, then go to the field and perform the measurement of the GPS points, the processing of the observed data and by last classify the product by the Cartographic Standard of Accuracy (CAS). The methodology that defines a statistical analysis of the planimetric accuracy is composed by the trend and the accuracy analysis. The trend analysis was accomplished using the Student's-t test with the objective to discover the presence of systematic error in both Cartesian directions. The accuracy analysis was performed using the chi-square statistical test, where sample variances were compared to the standard values pre-established by the Brazilian Cartographic Accuracy Standards law. After applying the methodology, it was observed that the *Worldview* was evaluated according to the CAS, in class B to cartographic document, for the scale of 1:5.000 and in class A, for the scale of 1:10.000.

Palavras-chave: remote sensing, ortoimagens, planimetric accuracy, sensoriamento remoto, ortoimagens, acurácia planimétrica.

1. Introdução

O Exército Brasileiro firmou um acordo de parceria com a *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA) e passou a ter acesso às imagens do sensor *Worldview* produzidas pela empresa *Digital Globe*, esse acordo está alinhado com a ação estratégia 7.2.1 do Plano Estratégico do Exército (EME, 2014).

Para utilizar essas imagens como insumos no processo de produção cartográfica, no âmbito da Diretoria de Serviço Geográfico (DSG), faz-se necessário avaliar a qualidade da acurácia posicional (MAROTTA; VIEIRA, 2005) conforme a Especificação técnica para a Aquisição de Dados Geospaciais Vetoriais (ET-ADGV) (DSG, 2009).

Este trabalho objetiva avaliar a acurácia planimétrica de ortoimagem proveniente do sensor *Worldview*, cuja especificação técnica consta na Tabela 1, para garantir a qualidade dos produtos gerados a partir destes insumos.

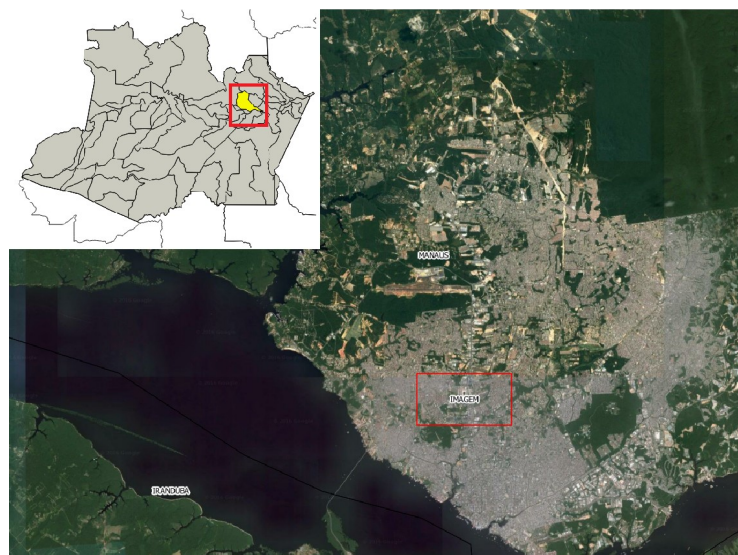
Tabela 1. Especificações técnicas da ortoimagem.

| ESPECIFICAÇÃO | PARÂMETRO |
|-------------------------|-------------------------------|
| Período da Cena | JAN 16 |
| Resolução Espacial | 0,5 m |
| Resolução Espectral | Multispectral (400nm - 040nm) |
| Formato | Tiff |
| <i>Datum</i> Horizontal | WGS84 |
| Projeção | Lat/Long |
| Tamanho da Cena | 4,57 km x 2,45 km |

A ortoimagem avaliada encontra-se no Banco de Dados Geográfico do Exército Brasileiro (BDGEx) e foi disponibilizada como insumo para trabalhos referentes aos Jogos Olímpicos Rio 2016, sem informações quanto aos parâmetros de ortorretificação.

A fim de alcançar este objetivo fez-se uma análise estatística com um conjunto de pontos medidos no campo com receptor GNSS e um conjunto de pontos fotointerpretados em gabinete.

A área de estudo foi o entorno da Arena da Amazônia, localizada na cidade de Manaus-AM, conforme Figura 1.



2. Metodologia de Trabalho

É apresentado na Tabela 2 um resumo dos aspectos metodológicos utilizados nessa pesquisa com as etapas a seguir.

Tabela 2. Resumo dos aspectos metodológicos.

| Caracterização da Pesquisa | Organização da Pesquisa |
|---|--|
| Abordagem metodológica: Quantitativa | Objeto empírico: Imagens do sensor <i>Worldview</i> |
| Tipo de Pesquisa: Pesquisa Aplicada | Quantidade de Observações: trinta e sete |
| Técnica de Investigação: Estudo de caso | Unidade de Análise: cena ao redor da Arena da Amazônia |

2.1 Distribuição de amostras

Utilizou-se o *software* QGIS 2.14.4, para criar uma grade de 1 km x 1 km, a fim de garantir uma densidade de pontos de controle o mais uniforme possível. Desta forma, não houve quadrícula sem pontos de controle.

2.2 Aquisição dos pontos na ortoimagem

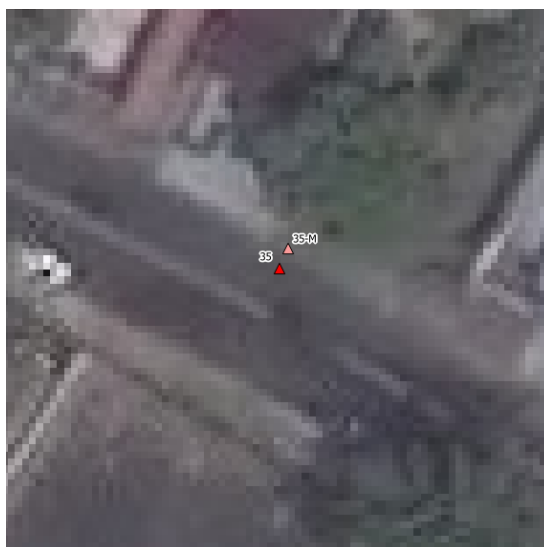
Foram selecionados visualmente trinta e sete pontos na ortoimagem em objetos e locais que facilitam a medição em campo. Como exemplo, podemos citar fim de muro/calçada, cruzamento entre duas vias e nas proximidades de monumentos. Utilizou-se o *software* *Google Street View*, conforme Figura 2, para escolher pontos que não possuíssem obstruções próximas com intuito de evitar problemas de multicaminhamento.



Figura 2. Ponto planejado usando o *software Google Street View*.

2.3 Criação dos arquivos *shapefile* dos pontos fotoidentificados e dos pontos levantados

Criaram-se dois arquivos no formato *shapefile* com geometria tipo ponto e atributo “ID” para identificação dos pontos. Um desses arquivos é referente às imagens de referência (pontos de controle) – fotoidentificados, e o outro, referente ao levantamento dos pontos em campo (pontos de verificação), conforme Figura 3.



2.4 Planejamento para levantamento em campo

Utilizou-se como base a Estação Planimétrica SAT-91162, localizada na 4ª Divisão de Levantamento, em Manaus, e verificou-se que a distância dos pontos a serem levantados em relação ao marco base não ultrapassam sete quilômetros, conforme Figura 4.



Figura 4. Comprimento da linha base máxima.

2.5 Coleta dos pontos em campo

Foram coletados trinta e sete pontos, com rastreo de vinte minutos para cada, distribuídos conforme Figura 5.

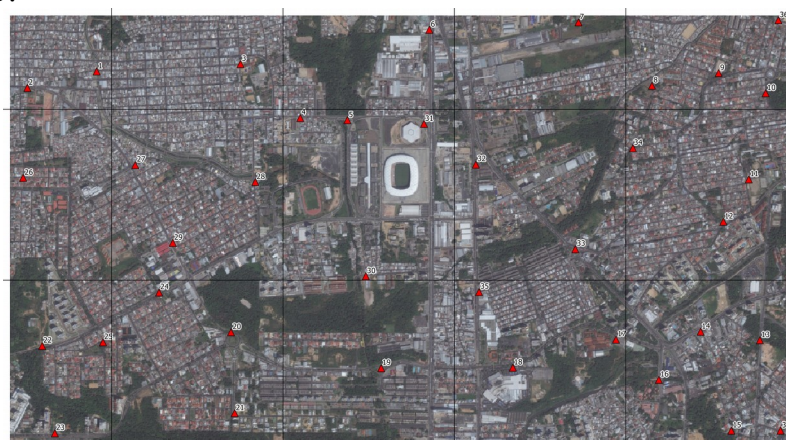


Figura 5. Distribuição de pontos de controle.

2.6 Processamento

Com a descarga e o posterior processamento, obtiveram-se os valores do erro quadrático médio (EQM) e do *Position Dilution of Precision* (PDOP) máximo.

O PDOP máximo tem que ser menor que seis, caso contrário, obter-se-á a razão sinal por ruído mínimo (Monico, 2000). O erro quadrático médio tem que ser menor que 0,5 m, de acordo com a Portaria nº 954, de 13 de novembro de 2002, do Instituto Nacional da Colonização e Reforma Agrária (INCRA).

Compararam-se as coordenadas dos pontos fotoidentificados com as dos pontos de controle obtidas pelo levantamento. Em seguida, calcularam-se as diferenças entre essas coordenadas, obtendo-se o valor das discrepâncias nas coordenadas E (abscissa) e N (ordenada). Feito isso, calcularam-se a média e o desvio padrão das discrepâncias para cada uma das coordenadas.

2.7 Análises posicionais quanto ao Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD)

Conforme Decreto-Lei nº 89.817, de 1984, e a 2ª Edição da Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV 2.0), 90% dos erros dos pontos coletados por método de alta precisão tem que ter erro inferior aos erros da Tabela 3.

Tabela 3. Padrão de exatidão cartográfica da planimetria dos produtos cartográficos digitais (ET-ADGV 2.0).

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

2.8 Verificação quanto à precisão e tendência

Para avaliação quanto à precisão, foi utilizado o teste do Qui-Quadrado, no qual é feita a comparação entre o desvio padrão obtido (s) e o esperado (σ) (Equação 1):

$$\begin{cases} H_0: S_\varepsilon^2 \leq \sigma_\varepsilon^2 \\ H_1: S_\varepsilon^2 > \sigma_\varepsilon^2 \end{cases} \quad (1)$$

em que σ é o desvio padrão esperado que é calculado por (Equação 2):

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

Verifica-se o intervalo de confiança (Equação 3):

$$\chi_{\varepsilon}^2 = \chi_{(n-1; \alpha)}^2 \quad (3)$$

em que $\chi_{\varepsilon}^2 = (n-1) \frac{S_{\varepsilon}^2}{\sigma_{\varepsilon}^2}$ e $\chi_{(n-1; \alpha)}^2$ é o teste Qui-Quadrado com n-1 graus de liberdade e nível de significância α .

Para a avaliação quanto à tendência (teste *t*-Student) em que se verifica como hipótese nula (H_0), a diferença das médias entre grupos é zero, e como $\begin{cases} H_0: \mu_1 = \mu_2 \\ H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \end{cases}$, diferente de zero. Calcula-se o valor *t* amostral e é verificado se o valor encontra-se no intervalo de aceitação ou rejeição da hipótese nula.

O valor *t* amostral é expresso por (Equação 4):

$$t_{\varepsilon} = \frac{\bar{\varepsilon}}{s_{\varepsilon}} \sqrt{n} \quad (4)$$

e o intervalo de confiança por (Equação 5):

$$|t_{\varepsilon}| < t_{(n-1; \frac{\alpha}{2})} \quad (5)$$

em que $\bar{\varepsilon} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i$ é o teste *t*-Student com n-1 graus de liberdade e nível de significância α e (Equação 6):

$$\sigma = \frac{EP}{\sqrt{2}} \quad s_{\varepsilon}^2 = \frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2 \quad (6)$$

Caso o valor *t* amostral estiver fora do intervalo de confiança rejeita-se a hipótese nula.

3 Resultados e Discussão

3.1 Quanto à coleta de pontos

Dos trinta e sete pontos planejados para levantamento em campo, os pontos 4, 10, 12, 14, 15, 17, 24, 29 e 35 foram descartados devido a não serem coletados conforme a fotoidentificação, obtendo-se a Tabela 4.

Tabela 4. Coordenadas E e N medidas e seus respectivos RMS e PDOP.

| Ponto | E_medidos | N_medidos | EQM | PDOP |
|-------|------------|-------------|-------|-------|
| 1 | 828586,429 | 9659351,196 | 0,000 | 2,081 |
| 2 | 828182,700 | 9659257,144 | 0,001 | 3,318 |
| 3 | 829193,758 | 9659486,826 | 0,003 | 2,709 |
| 5 | 830047,313 | 9659064,056 | 0,001 | 2,429 |
| 6 | 830527,201 | 9659588,041 | 0,001 | 1,918 |
| 7 | 831395,736 | 9659627,745 | 0,001 | 2,294 |
| 8 | 831826,608 | 9659260,879 | 0,001 | 2,349 |
| 9 | 832214,722 | 9659330,797 | 0,001 | 2,370 |
| 11 | 832386,222 | 9658713,717 | 0,002 | 2,807 |
| 13 | 832451,182 | 9657783,321 | 0,001 | 2,318 |

| Ponto | E_medidos | N_medidos | EQM | PDOP |
|-------|------------|-------------|-------|-------|
| 16 | 831859,148 | 9657552,734 | 0,003 | 2,513 |
| 18 | 830872,129 | 9657647,307 | 0,001 | 2,194 |
| 19 | 830237,118 | 9657629,384 | 0,003 | 3,032 |
| 20 | 829366,099 | 9657838,418 | 0,005 | 3,283 |
| 21 | 829381,274 | 9657367,757 | 0,001 | 4,130 |
| 22 | 828260,785 | 9657762,495 | 0,002 | 2,480 |
| 23 | 828335,155 | 9657255,307 | 0,002 | 2,460 |
| 25 | 828617,492 | 9657782,465 | 0,002 | 2,232 |
| 26 | 828103,045 | 9658663,795 | 0,002 | 5,847 |
| 27 | 829008,392 | 9658774,134 | 0,002 | 2,104 |
| 28 | 829504,592 | 9658726,945 | 0,003 | 2,635 |
| 30 | 830147,001 | 9658159,273 | 0,002 | 2,519 |
| 31 | 830491,970 | 9659039,785 | 0,002 | 9,136 |
| 32 | 830796,905 | 9658807,909 | 0,001 | 2,677 |
| 33 | 831376,968 | 9658315,388 | 0,001 | 3,239 |
| 34 | 831708,386 | 9658898,538 | 0,002 | 5,573 |
| 36 | 832564,758 | 9659638,024 | 0,003 | 3,133 |
| 37 | 832578,109 | 9657255,859 | 0,002 | 2,459 |

Observa-se que a amostra de pontos de controle contém valores de RMS menores que 0,5 m. Já para os valores de PDOP, o ponto 31 teve valor acima de 6. Porém, na fase de pós-processamento, o ponto 31 foi ajustado.

3.2 Quanto à acurácia posicional e tendências

Comparando-se os vinte e oito pontos coletados em campo com suas respectivas posições na ortoimagem, quantificaram-se os deslocamentos de cada ponto nas direções E (ΔE) e N (ΔN), conforme Tabela 5.

Tabela 5. Deslocamentos dos pontos da ortoimagem.

| Ponto | E_controle | N_controle | E_medidos | N_medidos | ΔE (m) | ΔN (m) |
|-------|------------|-------------|------------|-------------|----------------|----------------|
| 1 | 828585,900 | 9659353,255 | 828586,429 | 9659351,196 | 0,529 | -2,059 |
| 2 | 828183,833 | 9659255,668 | 828182,700 | 9659257,144 | -1,133 | 1,476 |
| 3 | 829193,201 | 9659488,322 | 829193,758 | 9659486,826 | 0,557 | -1,496 |
| 5 | 830047,677 | 9659064,975 | 830047,313 | 9659064,056 | -0,364 | -0,918 |
| 6 | 830527,348 | 9659589,505 | 830527,201 | 9659588,041 | -0,147 | -1,464 |
| 7 | 831396,125 | 9659630,373 | 831395,736 | 9659627,745 | -0,389 | -2,628 |
| 8 | 831826,291 | 9659262,698 | 831826,608 | 9659260,879 | 0,317 | -1,819 |
| 9 | 832215,884 | 9659331,790 | 832214,722 | 9659330,797 | -1,162 | -0,993 |
| 11 | 832386,271 | 9658716,633 | 832386,222 | 9658713,717 | -0,049 | -2,916 |
| 13 | 832450,733 | 9657784,950 | 832451,182 | 9657783,321 | 0,449 | -1,629 |
| 16 | 831858,365 | 9657554,512 | 831859,148 | 9657552,734 | 0,783 | -1,778 |
| 18 | 830871,308 | 9657649,402 | 830872,129 | 9657647,307 | 0,821 | -2,095 |
| 19 | 830238,716 | 9657629,982 | 830237,118 | 9657629,384 | -1,598 | -0,598 |
| 20 | 829365,739 | 9657840,606 | 829366,099 | 9657838,418 | 0,360 | -2,188 |
| 21 | 829383,285 | 9657368,857 | 829381,274 | 9657367,757 | -2,011 | -1,100 |
| 22 | 828261,023 | 9657764,516 | 828260,785 | 9657762,495 | -0,238 | -2,021 |

| Ponto | E_controle | N_controle | E_medidos | N_medidos | ΔE (m) | ΔN (m) |
|-------|------------|-------------|------------|-------------|----------------|----------------|
| 23 | 828335,280 | 9657256,805 | 828335,155 | 9657255,307 | -0,125 | -1,498 |
| 25 | 828616,548 | 9657784,383 | 828617,492 | 9657782,465 | 0,944 | -1,918 |
| 26 | 828102,845 | 9658665,952 | 828103,045 | 9658663,795 | 0,200 | -2,157 |
| 27 | 829008,579 | 9658775,524 | 829008,392 | 9658774,134 | -0,187 | -1,390 |
| 28 | 829503,482 | 9658728,278 | 829504,592 | 9658726,945 | 1,109 | -1,333 |
| 30 | 830145,777 | 9658160,770 | 830147,001 | 9658159,273 | 1,224 | -1,497 |
| 31 | 830491,146 | 9659041,443 | 830491,970 | 9659039,785 | 0,824 | -1,658 |
| 32 | 830797,040 | 9658809,442 | 830796,905 | 9658807,909 | -0,135 | -1,533 |
| 33 | 831376,876 | 9658317,161 | 831376,968 | 9658315,388 | 0,092 | -1,773 |
| 34 | 831707,076 | 9658899,668 | 831708,386 | 9658898,538 | 1,309 | -1,130 |
| 36 | 832563,402 | 9659639,024 | 832564,758 | 9659638,024 | 1,356 | -1,000 |
| 37 | 832576,606 | 9657256,301 | 832578,109 | 9657255,859 | 1,503 | -0,442 |

Adotou-se o nível de confiança de 0,9, pois 90% dos pontos têm que estar dentro do PEC-PCD. Avaliaram-se o erro máximo e o resultado do teste do Qui-Quadrado, conforme Tabelas 6 e 7, respectivamente, para as escalas 1:2.000, 1:5.000 e 1:10.000, classificando quanto ao PEC-PCD.

Tabela 6. Porcentagem do erro máximo.

| | ESCALA | CLASSE | PEC | PORCENTAGEM | | >90 %? |
|-------------------|----------|--------|------|-------------|------------|-----------|
| | | | | ΔE | ΔN | |
| ERRO MÁXIMO (90%) | 1:2.000 | A | 0,56 | 53,57143 | 3,57143 | NÃO |
| | | B | 1 | 67,85714 | 14,28571 | NÃO |
| | | C | 1,6 | 96,42857 | 53,57143 | NÃO |
| | | D | 2 | 96,42857 | 78,57143 | NÃO |
| | 1:5.000 | A | 1,4 | 89,28571 | 32,14286 | NÃO |
| | | B | 2,5 | 100,00000 | 92,85714 | SIM |
| | | C | 4 | 100,00000 | 100,00000 | SIM |
| | | D | 5 | 100,00000 | 100,00000 | SIM |
| | 1:10.000 | A | 2,8 | 100,00000 | 96,42857 | SIM |
| | | B | 5 | 100,00000 | 100,00000 | SIM |
| | | C | 8 | 100,00000 | 100,00000 | SIM |
| | | D | 10 | 100,00000 | 100,00000 | SIM |

Tabela 7. Comparação do Teste do Qui-Quadrado com o desvio padrão obtido.

| | ESCALA | CLASSE | σ (EP/ $\sqrt{2}$) | χ_E^2 | χ_N^2 | $\leq \chi_{(27;0,1)}^2$? |
|--------------|----------|--------|----------------------------|------------|------------|----------------------------|
| | | | | | | |
| QUI-QUADRADO | 1:2.000 | A | 0,24042 | 368,48576 | 303,67683 | NÃO |
| | | B | 0,42426 | 118,32487 | 97,51400 | NÃO |
| | | C | 0,70711 | 42,59695 | 35,10504 | NÃO |
| | | D | 0,84853 | 29,58122 | 24,37850 | SIM |
| | 1:5.000 | A | 0,60104 | 58,95772 | 48,58829 | NÃO |
| | | B | 1,06066 | 18,93198 | 15,60224 | SIM |
| | | C | 1,76777 | 6,81551 | 5,61681 | SIM |
| | | D | 2,12132 | 4,73299 | 3,90056 | SIM |
| | 1:10.000 | A | 1,20208 | 14,73943 | 12,14707 | SIM |

| ESCALA | CLASSE | σ (EP/ $\sqrt{2}$) | χ_E^2 | χ_N^2 | $\leq \chi_{(27;0,1)}^2$? |
|--------|--------|----------------------------|------------|------------|----------------------------|
| | B | 2,12132 | 4,73299 | 3,90056 | SIM |
| | C | 3,53553 | 1,70388 | 1,40420 | SIM |
| | D | 4,24264 | 1,18325 | 0,97514 | SIM |

Confrontando-se as Tabelas 6 e 7, no tocante aos valores de Qui-Quadrado e erros máximos, tem-se a Tabela 8.

Tabela 8. Classificação da ortoimagem quanto ao PEC-PCD.

| Escala | Erro Máximo (90%) | Qui-Quadrado (erro padrão) | PEC-PCD |
|----------|-------------------|----------------------------|---------|
| 1:2.000 | - | D | - |
| 1:5.000 | B | B | B |
| 1:10.000 | A | A | A |

Analisando a tabela 8 percebe-se que a ortoimagem classifica-se como PEC A na escala 1:10.000, PEC B na escala 1:5.000 e não possui classificação PEC na escala 1:2000.

No teste de tendência *t-Student*, é verificado se a média das discrepâncias pode ser considerada estatisticamente como igual a zero, ou seja, conforme hipótese. Os valores *t* amostrais obtidos foram $\hat{t}_{\Delta N} = 1,0298$ e $\chi_{(n-1;0)}^2 = -9,7399$, sendo o valor teórico obtido é $t_{(27;0,05)} = 2,052$. Assim, constata-se que existe um deslocamento na coordenada N, uma vez que o valor de $|\hat{t}_{\Delta N}|$ é maior que o teórico.

4. Conclusão

A partir da metodologia explanada nesse artigo foi possível avaliar e classificar as imagens do sensor Worldview através do PEC-PCD.

Analisando a tendência (teste *t-Student*), verificou-se que na coordenada N é significativa. O fato de não ter atendido ao teste de tendência, apenas indica que haveria uma translação na coordenada N, todavia como a mesma atendeu ao PEC-PCD (pelo teste quanto à precisão para a escala 1:10.000), sugere-se uma complementação de pontos de controle que indicaria que a acurácia melhoraria significativamente.

A ortoimagem não é recomendada para adquirir feições planimétricas na escala 1:2.000. Com uma complementação de pontos de controle devidamente ajustados, poderia-se atingir classe A para a escala 1:5.000. A maior escala a ser utilizada para produtos cartográficos digitais é a de 1:10.000, já que obedece ao PEC-PCD classe A, e conseqüentemente, obedece a classe A também para as escalas menores que 1:10.000 (1:25.000, 1:50.000, 1:100.00 etc).

Sugere-se que utilizem-se os pontos medidos para georreferenciar a ortoimagem. Assim poderia se obter melhores resultados dos testes de precisão e tendência podendo até alcançar classificações melhores de PEC-PCD.

Referências Bibliográficas

BRASIL. Portaria nº 954, de 13 de novembro de 2002. Diário Oficial – Nº 222 – Seção 1, segunda-feira, 18 de novembro de 2002. Disponível em <<http://www.incra.gov.br>>, Acesso em: 15 de setembro de 2016.

DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO (DSG). Especificação técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV). Brasília, 2009. 237 p.

MONICO, J. F. G. Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, Fundamentos e Aplicações. 1ª ed. São Paulo: Unesp, 2000.

ESTADO MAIOR DO EXÉRCITO (EME). Plano Estratégico do Exército 2016-2019 (PEEx). Brasília, 2014.

MAROTTA, G. S.; VIEIRA, C. A. O. Aplicação do Padrão de Exatidão Cartográfica em imagens orbitais Áster para fins de atualização de mapeamentos. In: XXII Congresso Brasileiro de Cartografia, 2005.