

Avaliação do Padrão de Exatidão Cartográfica das imagens do satélite CBERS-4

Paloma Leal Frazão
Samara Pinheiro Ferreira
Giovanni Araújo Boggione
Nilton Ricetti Xavier de Nazareno

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - IFG
Rua 75, nº 46 – Centro – 74055-110 – Goiânia - GO, Brasil
palomalfrazão@gmail.com; samarapinho2008@hotmail.com; giovanni.boggi-
one@ifg.edu.br; nazagyn@gmail.com

Abstract: The CBERS Program, a partnership between Brazil and China, launched its latest satellite, CBERS-4, on December 7, 2014, being then a new satellite that needs assessments on their performance and on applications for its images. In this study, the images of the MUX sensors, PAN 5 meters and PAN 10 meters belonging to CBERS-4, were evaluated according to PEC – Cartographic Accuracy Standard for testing the class which they fit and, then, the users can define their requirements for the product generated. The study area is located in the state of Goiás, the capital Goiânia. The images passed through a digital processing to be performed radiometric corrections (correct possible degradations caused by defective sensors calibration, data transmission errors and radiometric influences) and mosaics. For validation, we collected 30 control points, enough points for the sample's behavior tends to the normal distribution, using digital orthophoto of Goiânia, considered Class A, for scale 1:5000, as a reference. With the verification, it can be seen that the images of the three sensors are shown as Class B for certain ranges. In the verification, the calculation of the scales, it took into consideration the study that says that the value of EIFOV is approximately 1.5 times the value of the Nominal Space Resolution of the images.

Palavras-chave: image processing, orthophoto, MUX, PAN, processamento de imagens, ortofoto, MUX, PAN.

1. Introdução

Os avanços tecnológicos observados nos dias de hoje permitem que a cartografia seja uma área também em constante evolução. Atualmente existe um grande interesse na utilização de produtos cartográficos nas mais variadas áreas de conhecimento, tais como ciências e tecnologias, saúde, segurança, planejamento, turismo e outros. Devido às constantes exigências do mercado, quanto à rapidez de obtenção, periodicidade das atualizações e eficiência dos produtos cartográficos, é que se tem utilizado os dados do sensoriamento remoto para a obtenção destes produtos cartográficos. (SANTOS E VIEIRA, 2009).

Mas lidar com o erro existente nesses produtos é algo que faz parte do processo, no momento de aquisição de informações, tendo em consideração que o erro não pode ser eliminado, apenas distribuído. O erro, neste contexto, pode ser definido como alguma discrepância entre as situações descritas na imagem (mapa) e a realidade (VIEIRA et al., 2002). Diante deste contexto, fica aberta a questão: como verificar a exatidão posicional dos produtos de sensoriamento remoto atualmente disponíveis no mercado? (SANTOS E VIEIRA, 2009). Mesmo com toda tecnologia que temos atualmente, ainda precisamos lidar com erros de observação, sejam eles devido ao posicionamento no momento de aquisição de informações ou por conversão dos dados, dentre outros. A questão é como garantir que uma imagem é confiável para utilização em produções cartográficas? Qual a certeza que podemos ter sobre aquele dado de sensoriamento remoto em relação a sua representação do objeto real?

Em 1984, foi aprovado um novo decreto (nº 89.817, de 20 de junho de 1984) que dispõe sobre as normas técnicas da cartografia nacional e veio regulamentar o chamado PEC – Padrão de Exatidão Cartográfica, que estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Brasileira através de procedimentos e padrões a serem obedecidos na elaboração e apresentação de documentos cartográficos no território brasileiro. Toda carta deve ser avaliada

de acordo com o PEC justamente para sabermos qual o grau de confiança pode se encontrar nas informações contidas em determinado produto cartográfico. Cada produto, segundo a sua exatidão, pode ser classificado como sendo classe: A, B e C, considerando qual erro mínimo se pode obter. Com o uso constante de imagens de satélites para elaboração de documentos cartográficos e com tantas tecnologias disponíveis nos dias de hoje essas mesmas imagens precisam ser avaliadas. Essa norma serve então como um apoio para a avaliação dos produtos gerados por essas novas tecnologias, onde ao final, o usuário terá uma visão da confiabilidade das suas informações e poderá definir suas exigências quanto ao produto gerado. Apesar de pouco realizada no Brasil, avaliar o padrão de exatidão cartográfico de um documento deveria ser considerado como parte integrante do trabalho de engenharia cartográfica (Nazareno et al., 2007).

Nesse sentido foram analisadas as imagens de um satélite novo, o último lançado na missão Brasil-China, a fim de classificá-las e diagnosticar se são produtos adequados para a confecção de produtos cartográficos, usando como área de estudo o município de Goiânia-GO.

Esse satélite faz parte de um projeto criado em 06 de julho de 1988, quando o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e a CAST (Academia Chinesa de Tecnologia Espacial) iniciaram um programa de cooperação para desenvolver satélites de sensoriamento remoto - um esforço conjunto para capacitação na área de Observação da Terra. Essa programa é conhecido como CBERS (China-Brasil Earth Resources Satellite; em português, Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres). O programa contemplou, em sua primeira etapa, os satélites CBERS-1 e CBERS-2 e devido ao sucesso o acordo foi expandido incluindo mais três satélites CBERS-2B, CBERS-3 e CBERS-4. As imagens do CBERS são usadas no controle do desmatamento e queimadas, monitoramento de recursos hídricos, áreas agrícolas, crescimento urbano, ocupação do solo, educação e em inúmeras outras aplicações. O satélite escolhido foi o CBERS-4, lançado em dezembro de 2014 com um novo e sofisticado conjunto composto por quatro câmeras: Imageador de Amplo Campo de Visada (WFI), Imageador de Média Resolução (MUX), Imageador Infravermelho (IRS) e Imageador de Alta-Resolução (PAN).

Para o trabalho foi escolhida a câmara brasileira MUX e a Chinesa PAN. Para validação das coordenadas foi utilizada a Ortofoto digital de Goiânia do ano de 2006, tendo em vista que a mesma já foi testada usando os padrões do PEC e foi classificada com padrão de exatidão classe A para a escala 1:5.000.

A intenção do estudo realizado foi verificar a qualidade dos produtos gerados atualmente, considerando as normas técnicas da cartografia nacional quanto à exatidão, sendo o objeto de estudo três imagens dos sensores do satélite CBERS-4. Assim sendo, após aplicada a metodologia necessária para aferição da exatidão cartográfica das imagens obtidas das câmeras selecionadas, verificou-se que: as imagens da câmera MUX possuem exatidão cartográfica classe B para a escala 1: 60.000, a câmera PAN5 classe B para a escala 1:20.000 e PAN 10 classe B para a escala 1:30.000.

2. Metodologia de Trabalho

O fluxograma metodológico do trabalho está apresentado na Figura 1:

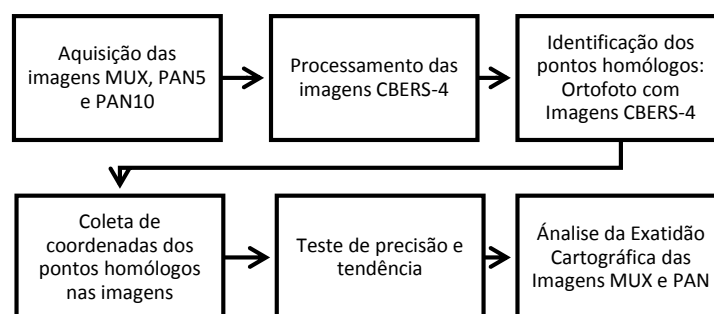


Figura 1 - Fluxograma metodológico do trabalho.

Para se fazer a análise de acordo com o PEC das imagens do satélite CBERS 4, foi escolhida como região de estudo o município de Goiânia, capital do estado de Goiás, com área total de 739,492 km², coordenadas geográficas 16°40'00" Sul e 49°15'00" Oeste. No caso do satélite, se utilizou as órbitas/pontos: 159/118 e 159/119, abrangendo assim toda a região da capital; todas as imagens do ano de 2015 para a câmera MUX e 2016 para a PAN (5m e 10m).

Antes da coleta dos pontos de controle, foram feitas correções dessas imagens utilizando técnicas de PDI – Processamento Digital de Imagem. Primeiramente, foi feita a junção das bandas dos sensores MUX e PAN 10m, para obter-se a imagem multiespectral dos sensores citados. Depois de realizada a compilação das bandas, foi feita correção radiométrica, através do método DOS, das imagens obtidas em ambas as câmeras, que visam a correção de possíveis degradações provocadas por desajustes na calibração dos detectores, erros de transmissão de dados e influências radiométricas. Para finalizar o processamento das imagens, foram feitos os mosaicos com as cenas do município.

Depois de feitas as correções necessárias nas três imagens (MUX, PAN5m e PAN10m), a ortofoto passou por um processo de degradação com o intuito de reamostrar o tamanho do pixel da imagem. O método de reamostragem escolhido foi o de Agregação de Pixel, que é uma decimação na reamostragem. Assim a ortofoto passou a ter tamanho de pixel de 20 metros para análise da imagem MUX, 5 metros para a PAN5m e 10 metros para a PAN10m e todas as imagens foram transformadas para o Datum SAD 69, e então foram coletados pontos de controle homólogos nos dois grupos de imagens (Ortofoto e Imagens CBERS 4), a fim de identificar as coordenadas de cada uma.

Para se fazer uma análise de tendência e precisão, num documento cartográfico, é necessário que sejam selecionados pontos notáveis no documento em número suficiente e com distribuição homogênea em todos os quadrantes da área a ser testada. A teoria (MERCHANT, 1982) indica que 20 pontos é um número suficiente para que o comportamento da amostra tenda para a distribuição normal. Para o trabalho foram coletados 30 pontos na ortofoto e os mesmos pontos nas imagens dos sensores MUX e PAN (5 e 10 metros). Abaixo, na figura 02 temos um exemplo do que como foi feita a coleta dos pontos.

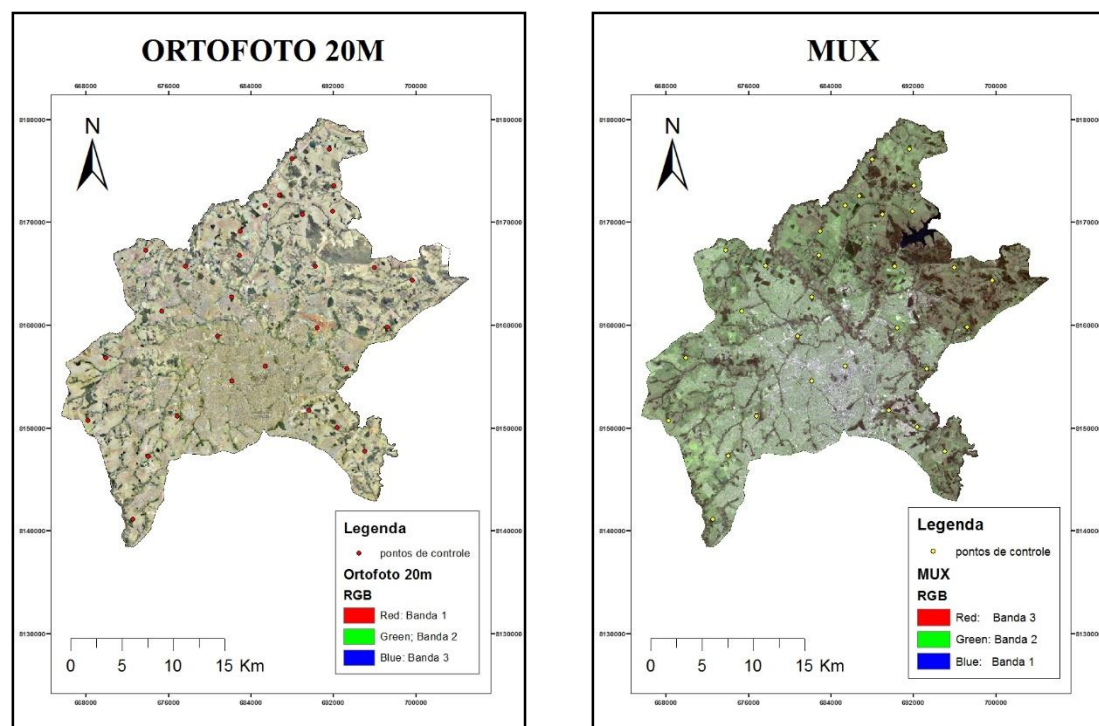


Figura 2-Carta ortofoto degradada para 20 metros e MUX com os pontos de controle.

Na figura 3, temos um exemplo de ponto homólogo coletado na ortofoto de referência e na imagem CBERS-4:



Figura 3-Ponto coletado na ortofoto e na imagem CBERS 4.

Após a obtenção dessas coordenadas foi possível calcular as diferenças entre essas coordenadas de referência com as coordenadas das imagens, obtendo-se o valor das discrepâncias na coordenada E (abscissa) e na N (ordenadas), através da Equação 1:

$$\begin{aligned}\Delta E &= E_{\text{ortofoto}} - E_{\text{imagem}} \\ \Delta N &= N_{\text{ortofoto}} - N_{\text{imagem}}\end{aligned}\quad (1)$$

Onde: ΔE ; ΔN Discrepâncias nas coordenadas UTM (E,N).

E_{ortofoto} ; N_{ortofoto} Coordenadas UTM (E, N) na ortofoto
 E_{imagem} ; N_{imagem} Coordenadas UTM (E, N) na imagem.

Em seguida calculou-se a média (Equação 2) e o desvio padrão (Equação 3) das discrepâncias:

$$\overline{\Delta E} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta E_i}{n} \qquad \overline{\Delta N} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta N_i}{n} \quad (1)$$

$$\hat{\sigma}_{\Delta E} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\overline{\Delta E} - \Delta E_i)^2}{n-1}} \qquad \hat{\sigma}_{\Delta N} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\overline{\Delta N} - \Delta N_i)^2}{n-1}} \quad (3)$$

Onde: $\overline{\Delta E}$, $\overline{\Delta N}$ média das discrepâncias nas coordenadas UTM (E,N)
 $\hat{\sigma}_{\Delta E}$, $\hat{\sigma}_{\Delta N}$, desvio-padrão amostral das discrepâncias das coordenadas UTM(E, N)

Com esses valores calculados foram efetuados então os testes de precisão e de tendência. No teste de tendência, verifica-se a existência de tendência entre as coordenadas de referência e as coordenadas das imagens a serem avaliadas, que é dado pelas seguintes hipóteses:

Ho: $\overline{\Delta x} = 0$ e $\overline{\Delta y} = 0$ => média das discrepâncias é nula

H1: $\overline{\Delta x} \neq 0$ e $\overline{\Delta y} \neq 0$ => média das discrepâncias não é nula

Calcula-se então t student amostrais para as coordenadas E e N utilizando a Equação 4 e se compara com o t student teórico.

$$\hat{t}_{\Delta x} = \frac{\bar{\Delta x}}{\hat{\sigma}_{\Delta x}} \sqrt{N} \quad \hat{t}_{\Delta y} = \frac{\bar{\Delta y}}{\hat{\sigma}_{\Delta y}} \sqrt{N} \quad (4)$$

Se $|\hat{t}| \leq t_{\frac{\alpha}{2}, GL} \Rightarrow H_0$ válida – não existe tendência na direção considerada

Onde: $t_{1-\frac{\alpha}{2}, GL}$ t student teórico
 α nível de significância
 $1 - \alpha$ grau de confiança
 $GL = n - 1$ graus de liberdade

No teste de precisão, compara-se o desvio padrão das discrepâncias com o erro padrão (EP) esperado para a classe. Considerando uma determinada escala para diferentes fins, a imagem pode atingir classe A, B ou C.

Tabela 1 - Classificação das cartas de acordo com o PEC:

Classe	PEC Planimétrico	Erro Padrão
A	0,5 mm x Escala	0,3 mm
B	0,8 mm x Escala	0,5 mm
C	1,0 mm x Escala	0,6 mm

A análise da precisão considera a classe que o documento pode alcançar. As hipóteses básica (H_0) e alternativa (H_1) a serem testadas são as seguintes:

$H_0: \hat{\sigma}_{\Delta E}^2 = \sigma^2$ e $\hat{\sigma}_{\Delta N}^2 = \sigma^2 \Rightarrow$ a variância da componente testada é igual a variância esperada para a classe
 $H_1: \hat{\sigma}_{\Delta x}^2 > \sigma^2$ e $\hat{\sigma}_{\Delta y}^2 > \sigma^2 \Rightarrow$ a variância da componente testada é maior a variância esperada para a classe

Em função de se testar na direção das abcissas e ordenadas no teste planimétrico, o desvio padrão da classe é calculado pela Equação 5:

$$\sigma = \frac{EP}{\sqrt{2}} \quad (5)$$

Para verificar se a hipótese básica H_0 ou a alternativa H_1 é verdadeira, calcula-se um qui-quadrado amostral utilizando a Equação 6 e se compara com um teórico:

$$\hat{\chi}_{\Delta x}^2 = \frac{\hat{\sigma}_{\Delta x}^2}{\sigma^2} (n - 1) \quad e \quad \hat{\chi}_{\Delta y}^2 = \frac{\hat{\sigma}_{\Delta y}^2}{\sigma^2} (n - 1) \quad (6)$$

Se $\hat{\chi}_{\Delta E}^2 \leq \chi_{1-\alpha; GL}^2$ e $\hat{\chi}_{\Delta N}^2 \leq \chi_{1-\alpha; GL}^2$ forem simultaneamente verdadeiras, então, pode-se afirmar que a ortofoto atendeu a expectativa de precisão requerida.

3. Resultados e Discussão

Com a finalidade de avaliar as imagens do satélite CBERS-4, de acordo com o Decreto N° 89.817, de 20 de junho de 1984, foram coletadas as coordenadas e realizados os cálculos para verificar a exatidão dos produtos cartográficos, obedecendo aos critérios do Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC indicados abaixo:

Art 8° (...)

1. Noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica - Planimétrico - estabelecido.

(...)

§ 1° - Padrão de Exatidão Cartográfica é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos.

§ 2° - A probabilidade de 90% corresponde a 1,6449 vezes o Erro-Padrão - PEC = 1,6449 EP.

Encontrados os valor das discrepâncias na coordenada E (abscissa) e na N (ordenadas), calculou-se a média e o desvio padrão das discrepâncias para cada uma das três imagens, conforme mostra a Tabela 2:

Tabela 2 - Média e desvio-padrão dos deslocamentos das imagens

MUX	$\overline{\Delta E} =$	-1,3320m	$\overline{\Delta N} =$	-0,4887m
	$\hat{\sigma}_{\Delta E} =$	13,3152m	$\hat{\sigma}_{\Delta N} =$	15,0054m
PAN 5	$\overline{\Delta E} =$	-1,007m	$\overline{\Delta N} =$	0,2013m
	$\hat{\sigma}_{\Delta E} =$	4,2741m	$\hat{\sigma}_{\Delta N} =$	5,7029m
PAN 10	$\overline{\Delta E} =$	-1,752m	$\overline{\Delta N} =$	-0,7063m
	$\hat{\sigma}_{\Delta E} =$	7,4032m	$\hat{\sigma}_{\Delta N} =$	6,8021m

Em seguida, foram calculados os valores do desvio-padrão esperado e os qui-quadrados amostrais das coordenadas para cada classe. Estes valores estão representados na tabela 3.

Tabela 3 - Resultados do desvio-padrão esperado e os qui-quadrados amostrais das coordenadas para cada classe de padrão de exatidão cartográfica

Classe	PEC	EP	$\sigma = \frac{EP}{\sqrt{2}}$	$\hat{\chi}^2_{\Delta E}$	$\hat{\chi}^2_{\Delta N}$
MUX					
A	30m	18m	12,728m	31,74	40,31
B	48m	30m	21,213m	11,43	14,51
C	60m	36m	25,456m	7,93	10,08
PAN 5m					
A	10m	6m	3,182m	52,32	93,15
B	16m	10m	5,303m	18,84	33,53
C	20m	12m	6,364m	13,08	23,29
PAN 10m					
A	15m	9m	6,364m	39,24	33,13
B	24m	15m	10,607m	14,13	11,93
C	30m	18m	12,728m	9,81	8,28

Para a análise de tendência no trabalho o valor teórico da distribuição t student obtido na tabela foi de $t_{0,90;29} = 1,70$.

Para a análise da precisão o valor teórico obtido na tabela foi $X_{0,9;29}^2 = 39,09$.

Para calcular a escala ideal para ser usada na verificação da qualidade das imagens utilizou-se a Equação 7:

$$E = \frac{1}{(2 * EIFOV * 1.000)} \quad (7)$$

“De forma empírica, observa-se que geralmente o valor de EIFOV é aproximadamente 1,5 vezes o valor da Resolução Espacial Nominal” (BOGGIONE, 2014, p. 39) Chegou-se então as seguintes escalas:

Tabela 4 - Escala calculada para verificação a partir do EIFOV.

Sensor	Cálculo	Escala Calculada
MUX	2*30*1.000	1:60.000
PAN 5	2*7,5*1.000	1:15.000
PAN 10	2*15*1.000	1:30.000

Com esses resultados, pode-se dizer que a imagem do sensor MUX não possui tendência tanto na direção da coordenada E como na coordenada N, uma vez que ambos os valores calculados ($\hat{t}_{\Delta E} = 0,55$ e $\hat{t}_{\Delta N} = 0,18$) foram menores que o valor teórico da distribuição t student.

Em relação ao teste de precisão para classificação junto ao PEC considerando a escala calculada e que o qui-quadrado teórico é de 39,09; foi observado que a imagem MUX não alcança Classe A de exatidão, pois o seu valor amostral em N foi maior que o teórico. Sendo assim, a imagem pode ser considerada como Classe B, tendo em vista que os valores dos qui-quadrados amostrais encontrados são menores do que o qui-quadrado teórico, atendendo então ao intervalo de confiança exigido para a Classe B em ambas as direções analisadas.

Para as imagens do sensor PAN 5m, a análise de tendência também resultou em valores amostrais ($\hat{t}_{\Delta E} = 1,31$; $\hat{t}_{\Delta N} = 0,19$) menores que o teórico, sendo assim, não apresentou tendência em nenhuma das direções.

Quanto a precisão das imagens para classificação de acordo com o PEC foi constatado que as imagens PAN 5 metros também são consideradas Classe B, já que os qui-quadrados amostrais nesse intervalo de confiança são menores que o teórico.

O último teste foi feito com a imagem PAN 10 metros onde pode-se constatar que não há tendência em nenhuma das direções, já que os valores amostrais ($\hat{t}_{\Delta E} = 1,30$; $\hat{t}_{\Delta N} = 0,57$) também são menores que o teórico .

No teste de precisão foi observado que a imagem PAN 10 metros também não alcança Classe A de exatidão, pois o seu valor amostral em E foi maior que o teórico de 39,09. Sendo assim, a imagem pode ser considerada como Classe B, pois os valores dos qui-quadrados amostrais encontrados são menores do que o qui-quadrado teórico, atendendo então ao intervalo de confiança exigido para a Classe B em ambas as direções.

4. Conclusões

Com este trabalho, pode-se concluir que a metodologia utilizada é útil para verificar a qualidade do produto cartográfico que temos em mãos, de acordo com o Decreto nº 89.817 de 1984, que dispõe sobre o Padrão de Exatidão Cartográfica. Com a tecnologia avançando cada vez mais, a utilização de imagens de satélite tem se tornado cada dia mais corriqueira, sendo uma ferramenta que só tende a crescer e se tornar mais abrangente em diversas áreas de estudo. E pode-se também afirmar através deste, que a avaliação é relativamente barata, observando que nem sempre é necessário fazer trabalho de campo (como no caso deste trabalho), considerando a importância de se verificar a exatidão cartográfica.

As imagens dos sensores do satélite CBERS-4; MUX, PAN 5 metros e PAN 10 metros, da região do município de Goiânia, foram todas consideradas Classe B de acordo com sua precisão, considerando as escalas 1:60.000 para MUX, 1:20.000 para PAN 5 metros e 1:30.000 para Pan 10 metros, analisando a planimetria das mesmas, com 90% de confiança.

Não foram observadas tendências em nenhuma das imagens dos três sensores após o processamento digital das imagens.

As imagens utilizadas no trabalho foram obtidas em junho de 2015(MUX) e abril/maio de 2016(PAN) e por ser um satélite relativamente novo e em órbita, as imagens são sempre atualizadas, com produtos mais atuais, sendo necessário efetuar sempre novas avaliações.

Vale lembrar que se as escalas usadas forem menores, de acordo com sua utilização, a classe do produto pode melhorar. Os produtos atendem bem quanto à representação, mas precisa-se observar as limitações de acordo com suas precisões, determinando para qual fim serão usados. Cada imagem tem sua aplicação possível de acordo com sua resolução espacial, tendo que levar sempre isso em consideração.

Referências Bibliográficas

BRASIL, **Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984 – Normas Técnicas da Cartografia Nacional**, Diário Oficial da União, Brasília, Brasil, 1984.

CAMARGO, P.O . **Ajustamento de Observações**. Notas de aulas do Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica, FCT/Unesp, Campus de Presidente Prudente, 2000.

BOGGIONE, G. A. **Avaliação da Resolução Espacial de Sensores Ópticos Orbitais**. 2014. 159 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – INPE, São José dos Campos. 2014.

BOGGIONE G. A. et al. **Definição da escala em imagens de sensoriamento remoto: uma abordagem alternativa**. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 1739-1746, Natal, Brasil, 2009.

CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento remoto e processamento de imagens digitais**. Curitiba: Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas/UFPR, 2010.

NAZARENO, N. R. X.; FERREIRA, N. C.; MACEDO, F. C. **Avaliação da exatidão cartográfica da ortofoto digital do município de Goiânia-GO**. In: II Simpósio Brasileiro de Geomática, p. 889-896, Presidente Prudente, Brasil, 2007.

SANTOS, A. P.; VIEIRA, C. A. O. V. **Avaliação do Padrão de Exatidão Cartográfico em imagens orbitais IKONOS e CBERS-2B, na bacia do Ribeirão São Bartolomeu em Viçosa-MG**. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 1021-1030, Natal, Brasil, 2009.

SANTOS, S. D. R. et al. **Considerações sobre a utilização do PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica) nos dias atuais**. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, p. 001-005, Recife, Brasil, 2010.