

Avaliação planimétrica de imagens orbitais a partir do PEC e inferências estatísticas

Alexandre José Almeida Teixeira^{1,2}
Rafael Silva de Barros¹
Carla Bernadete Madureira Cruz¹
Rômulo Rangel¹

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ
Av. Athos da Silveira Ramos, 274 – Departamento de Geografia
CEP: 21941-916 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil
{rbarros, carlamad, romagnolli17@gmail.com}@gmail.com

² Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
Avenida Brasil 15671 Rio de Janeiro - RJ, Brasil
alexandre.teixeira@ibge.gov.br

Abstract. This paper deeply analyzes the knowledge on key issues in the definition of the most appropriate sensors to reach the expected positional accuracy for a given cartographic scale. The purpose this article is to describe a methodology for positional accuracy assessment of images LANDSAT-8, AVNIR-2 and RapidEye using statistical inference proposed by Vieira & Genro (2013). The statistical methods proposed complement conventional analyzes of planimetric accuracy of cartographic documents, such as orthoimages derived from remote sensing. Such statistical methods are intended to identify the existence of tendencies that significantly interfere with standard values specified for the cartographic scales. The positional accuracy assessment requires the appropriate selection of samples to estimate the statistical parameters. For the evaluation of the images a total of 26 test points located in the watershed of the São João river, state of Rio de Janeiro. Position of the test points were compared with its homologues on each image and the differences or errors were analyzed according to Brazilian Accuracy Standards for Cartography (PEC) and according to statistical inference in order to evaluate tendencies and accuracy of the products, like Vieira & Genro (2013). Accuracy varied between the specifications for scales 1:25.000 (class B for images RapidEye) and 1:100.000 (class B for images AVNIR-2).

Palavras-chave: positional accuracy, planimetry, cartography, exatidão posicional, planimetria, cartografia

1. Introdução

É comum o uso indevido de imagens orbitais pela falta de conhecimento específico e falta de informações técnicas que atendam a grande parte dos usuários. Esse cenário se agrava pelo aumento no número e diversidade de aplicações que demandam os produtos de sensoriamento remoto. Cruz & Barros (2012) ressaltam a necessidade da criação de uma cultura de avaliação da qualidade e validação dos produtos gerados, pois assim chega-se mais perto de conhecer o que é real. Por isso, é importante a busca por métodos estatísticos mais detalhados que visam levantar a existência de tendências, que podem interferir significativamente no padrão de enquadramento especificado.

O desenvolvimento desse estudo é um passo inicial para auxiliar na escolha das melhores imagens para serem utilizadas no processo de restituição e interpretação de feições cartográficas. Ou seja, busca-se detalhar mais o conhecimento sobre as questões que são determinantes para se definir que sensores são adequados para se atingir à exatidão geométrica e temática esperada para uma dada escala cartográfica.

Esse trabalho objetiva realizar procedimentos de avaliação planimétrica a partir de imagens de três sensores orbitais usados para a construção de bases cartográficas utilizando duas abordagens estatísticas.

Os objetivos específicos são:

- Avaliar a exatidão planimétrica de imagens Landsat-8, ALOS-2\AVNIR e RapidEye com relação ao Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC).

- Analisar cenário de tendência das amostras e estimar padrão de acurácia posicional segundo a metodologia de Viera & Genro (2013)

A área de estudo (figura 1) corresponde à bacia hidrográfica do rio São João, localizada na região leste do Estado do Rio de Janeiro. A bacia posiciona-se em sua totalidade na Região das Baixadas Litorâneas do Estado do Rio de Janeiro, sendo que a sua parte norte faz divisa com alguns municípios da Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro e à oeste com os municípios da Região Metropolitana.

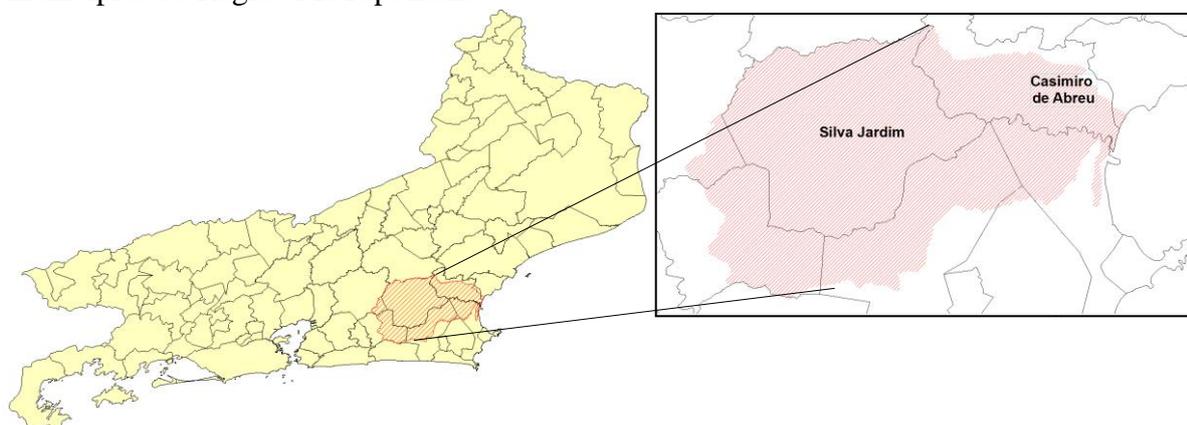


Figura 1: Mapa de localização da área

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Levantamento de campo

Para se estabelecer um controle de qualidade posicional sobre as imagens a serem avaliadas, foi realizado um levantamento de campo para serem determinadas coordenadas dos pontos através do uso de rastreadores de Sistema de Navegação Global por Satélite (GNSS) de uma frequência (L1). Adotou-se o método relativo estático, cujo objetivo consiste em rastrear dados transmitidos pelos satélites com um receptor em um marco geodésico (estação de referência ou base) e outro nos pontos a serem determinados (*rover*), simultaneamente.

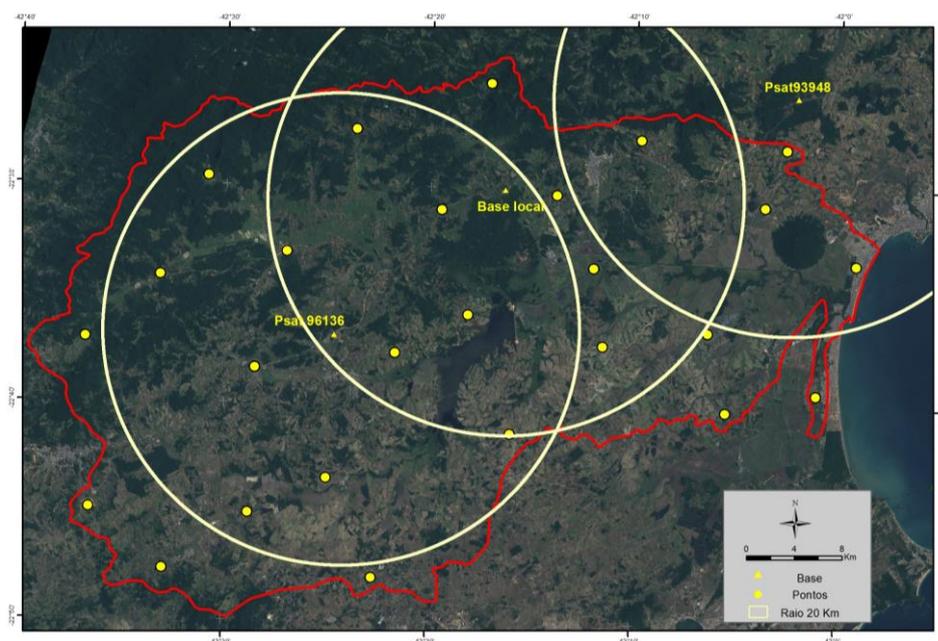


Figura 1: Distribuição dos pontos para avaliação das imagens

Como a área de estudo é extensa, foi necessário, nesse levantamento de campo, utilizar duas estações geodésicas do IBGE (pontos SAT 96136 e 93948) como implantação da base. A primeira localizada em uma escola no município de Silva Jardim, na parte oeste da bacia do rio São João, e a segunda localizada na Reserva Biológica da União, no município de Rio das Ostras, no extremo leste da bacia. Porém, como alguns pontos a serem determinados na parte central da bacia estavam distantes dos dois pontos, foi necessário implantar uma base local na Reserva Biológica de Poço das Antas, no município de Silva Jardim. A figura 1 ilustra a localização das estações geodésicas do IBGE, a base local e a distribuição dos pontos.

Foram obtidos 26 pontos, para os quais a taxa de aquisição foi de 1 segundo. O tempo de rastreamento foi de 30 minutos para os pontos localizados até 20 quilômetros e de 40 minutos para os pontos localizados entre 20 e 30 quilômetros de distância para a base utilizada. Dessa forma, foi possível realizar uma distribuição homogênea sobre a área de estudo a partir dos pontos coletados.

2.2 Seleção das imagens

2.2.1 LANDSAT -8

O LANDSAT-8 é composto por dois sensores: *Operational Land Imager* (OLI) e o *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), sendo o OLI usado para fins de observação da paisagem, enquanto o sensor TIRS é utilizado para medir a temperatura da superfície da terra em duas bandas térmicas (bandas 10 e 11), cujo comprimento de onda nos sensores TM e ETM+ estava coberto em uma única banda. Nos dois sensores a resolução radiométrica é de 12 bits. A resolução espacial no sensor OLI é de 30 metros, com exceção da banda 8, pancromática, com 15 metros. Segundo a USGS (2013) espera-se que as imagens do LANDSAT-8 apresentem erro com até 12 m (CE 90) para os dados do sensor OLI. Para um sensor de média resolução espacial, o valor do erro geométrico esperado atinge ótima expectativa para o atendimento envolvendo médias escalas. Para a realização desse estudo, foi utilizada a cena 216/076, imagem da banda pancromática, cuja aquisição ocorreu em 08 de abril de 2014.

2.2.2 ALOS-2 / AVNIR

O satélite ALOS (*Advanced Land Observation Satellite*) deixou de operar em 2011, mas as suas imagens continuam a ser usadas para fins de mapeamento. Era composto por três sensores: *Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping* (PRISM), *Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2* (AVNIR-2) e *Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar* (PALSAR). O AVNIR-2 apresenta resolução espacial de 10 metros, em 4 bandas espectrais equivalentes ao Azul, Verde, Vermelho e Infravermelho Próximo. Avaliação do IBGE (2011) mostra que 90% dos pontos de avaliação possuem erro planimétrico com até 21,7 metros, com desvio padrão de até 3 metros de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica. Para esse estudo foram usadas quatro cenas de forma a cobrir toda a área de estudo: ALAV2A219894050 (11/03/2010), ALAV2A188824060 (06/30/2010), ALAV2A229084050 (19/10/2010) e alav2a193054060 (07/07/2010). Todas foram adquiridas no modo 1B2R, sendo ortoretificadas a partir da coleta de coordenadas de ortoimagens do projeto RJ25, disponibilizadas pelo IBGE e usando os dados do modelo digital de elevação SRTM (versão 4) como referência altimétrica para a correção.

2.2.3 RapidEye

O sistema RapidEye constitui uma constelação de cinco satélites idênticos: TACHYS, MATI, CHOMA, CHOROS, TROCHIA, sendo que cada um carrega o sensor denominado

REIS (*RapidEye Earth Imaging System*). Essa variedade de satélites possibilita a coleta de uma área de abrangência significativa, no qual cada imagem possui 78 Km de largura, e em um curto período de tempo.

Geralmente as fornecedoras disponibilizam o produto nível 3A, que corresponde ao produto ortorretificado usando-se o modelo digital de elevação SRTM. Segundo a RapidEye AG (2012), esse produto pode alcançar uma exatidão de 6m, com 12,7 m (CE90).

Outro produto corresponde ao nível 1B, corresponde à imagem corrigida do ponto de vista radiométrico e geométrico, a partir dos dados de efemérides e atitude dos satélites, sem uso de pontos de controle. Nesse caso, a resolução espacial da imagem é de 6,5m, enquanto no nível 3A, o tamanho do pixel é reamostrado para 5 metros, sendo que nos dois níveis a resolução radiométrica é de 12 bits.

Para esse estudo foram utilizadas oito imagens que cobrem a área da bacia, cujas datas variam entre setembro à dezembro de 2012.

2.3. Estimativa da exatidão posicional a partir do PEC

Segundo Vieira *et al.* (2004), a exatidão posicional determina o quão perto a posição dos objetos discretos mostrados em um mapa, imagem retificada ou em um banco de dados espacial está de acordo com a situação real no terreno.

Um método padrão para avaliação da exatidão de posicionamento de produtos cartográficos é baseado na comparação de desvios entre os pontos de controle homólogos, localizados em mapeamentos de referência, imagens corrigidas geometricamente e levantamentos de GNSS. Os desvios desses pontos são usados em modelos estatísticos que permitem mensurar a estimativa da incerteza, possibilitar o cálculo de erros e analisar tendências, sendo nesse caso identificar a presença de erros sistemáticos (MERCHAND,1982).

Estudo de Monico *et al.* (2009) esclarece os conceitos envolvidos no processo de controle da qualidade posicional, especificamente esclarecendo os termos de acurácia e precisão. Enfatizando que o primeiro se refere aos efeitos sistemáticos e aleatórios dos erros nas medições, enquanto a precisão apenas incorpora os efeitos aleatórios.

A tabela 1 mostra os valores de exatidão (entendida como sinônimo de acurácia) da planimetria dos produtos cartográficos, segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC). Esse valor está baseado na acurácia posicional absoluta como referência na avaliação da exatidão de um produto cartográfico, sendo o erro padrão (EP) uma de suas componentes. A classificação referente ao PEC-PCD (produtos cartográficos digitais) se refere à revisão do PEC para atender às especificidades dos produtos cartográficos no ambiente digital. Basicamente, a diferença entre elas está no fato da classe A do PEC corresponder à classe B da norma revisada, e assim sucessivamente para as demais classes. Dessa forma, foi criada uma nova classe, denominada de A, cujos valores de erro médio (PEC) e erro padrão representam a metade dos valores anteriores.

Tabela 1: Exatidão planimétrica do produto cartográfico (CONCAR, 2009)

PEC	PEC-PCD	1:10.000		1:25.000		1:50.000		1:100.000		1:250.000	
		PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
	A	2,8	1,7	7	4,25	14	8,51	28	17,02	70	42,55
A	B	5,0	3,0	12,5	7,5	25	15	50	30	125	75
B	C	8,0	5,0	20	12,5	40	25	80	50	200	125
C	D	10,0	6,0	25	15	50	30	100	60	250	150

2.4 Análise de Tendência

O método aplicado aqui, proposto por Vieira & Genro (2013), indica uma forma de estimar a acurácia independente da existência de tendência relevante, baseando-se em estudos de Merchand (1982), Galo & Camargo (1994), Congalton & Green (2009) e Vieira & Genro (2011) que discutem sobre processos de avaliação da acurácia posicional.

Os fundamentos estatísticos aplicados são baseados no Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), considerando 90% de probabilidade para diferentes classes, e como inferência estatística a distribuição *t-Student*, enfatizando-se que os valores de acurácia dependem, preponderantemente, do método de amostragem. Ressalta-se ainda, de acordo com Vieira & Genro (2013), que este método é válido para amostras maiores que 20 pontos.

A estimativa do padrão de acurácia posicional é realizada, desta forma, através da distribuição *t-Student*, em um intervalo de confiança a 90% (0,1), com valor central correspondente ao erro médio quadrático dos erros (RMSE) obtidos nas amostras. Para a planimetria, pode-se aplicar tanto para a resultante (conforme o estabelecido na legislação) quanto para as componentes X e Y (no caso, coordenadas E e N), de modo a permitir o diagnóstico de diferentes problemas. O quadro 1 mostra a aplicação das fórmulas.

Quadro 1: Aplicação de fórmulas para a análise de tendência.

ESTIMATIVA DE ERRO MÉDIO QUADRÁTICO DA POPULAÇÃO DE ERROS	
$RMSE_{\Delta X} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \Delta X_i^2}{N}}$ $RMSE_{\Delta P} = \sqrt{RMSE_{\Delta E}^2 + RMSE_{\Delta N}^2}$	
Estimativa do desvio-padrão da população de erros	$S_{RMSE_{\Delta X}} = \sqrt{\left[\frac{\sum_{i=1}^N (\Delta X _i - RMSE_{\Delta X})^2}{N - 1} \right]}$ $S_{RMSE_{\Delta P}}^2 = \left(\frac{RMSE_{\Delta N}}{\sqrt{RMSE_{\Delta N}^2 + RMSE_{\Delta E}^2}} \right)^2 \cdot S_{RMSE_{\Delta N}}^2 + \left(\frac{RMSE_{\Delta E}}{\sqrt{RMSE_{\Delta N}^2 + RMSE_{\Delta E}^2}} \right)^2 \cdot S_{RMSE_{\Delta E}}^2$
Intervalos de confiança da acurácia estimada da população de erros	$t_{90\%,N-1} \text{ (bicaudal)}$ $RMSE_{\Delta X} \pm t_{90\%,N-1} (S_{RMSE_{\Delta X}})$
Acurácia estimada da população a partir do erro máximo provável	$t_{90\%,N-1}^{\theta} \text{ (acumulada)}$ $RMSE_{\Delta X} + t_{90\%,N-1}^{\theta} (S_{RMSE_{\Delta X}})$
ANÁLISE DE TENDÊNCIA	
Estimativa do desvio-padrão da população de resíduos	$S_{\Delta X} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\Delta X_i - \Delta \bar{X})^2}{N - 1}}$
Estimativa da média da população de resíduos	$\Delta \bar{X} = \frac{(\sum_{i=1}^N \Delta X)}{N}$
Estatística t	$t_{90\%,N-1} \text{ (bicaudal)}$ $t_{amostral} = (\Delta \bar{X} / S) \sqrt{N}$

3. Resultados e Discussão

3.1 Avaliação planimétrica segundo o PEC

A tabela 2 mostra os valores dos erros médios (PEC) encontrados a partir da comparação entre as coordenadas observadas nas imagens e suas homólogas levantadas em campo. Os valores de CE 90 estão destacadas em amarelo.

Considerando o intervalo de confiança à 90%, o valor de exatidão encontrado para a imagem LANDSAT-8 é de 15,54 metros (CE90), com valor de erro padrão de 3,19. Tais valores, segundo o PEC atenderiam ao especificado para a **escala 1:25.000, classe B**.

Em relação ao AVNIR, o valor do PEC encontrado foi de 16,06 (CE90) e erro padrão de 3,66, ou seja, assim como o LANDSAT atenderia à **escala 1:25.000, classe B**.

Já o RapidEye apresentou o valor de exatidão igual a 7,53 e erro padrão de 2,7, possibilitando especificá-lo na **escala 1:10.000, classe B**.

Tabela 2: Valores de erro das imagens avaliadas, segundo o PEC

Ponto	PEC LANDSAT-8	PEC AVNIR	PEC RapidEye
3	15,54	16,06	5,31
5	5,36	11,91	15,02
6	8,30	6,39	7,09
12	17,88	5,48	3,65
15	7,76	12,38	1,09
16	15,65	9,84	6,36
23	5,56	19,38	2,13
24	7,32	17,62	3,11
26	13,23	10,18	2,52
30	8,04	15,09	3,55
34	5,33	8,05	4,04
37	8,86	9,70	7,53
38	10,93	9,70	4,41
41	5,94	12,95	2,70
43	10,02	8,57	7,59
45	11,13	6,96	4,82
46	9,73	13,42	6,32
47	10,80	11,69	5,39
49	9,00	5,67	2,77
51	10,86	14,14	2,58
52	10,58	8,64	5,17
53	9,62	14,39	4,40
54	8,44	11,10	7,14
56	12,00	8,52	4,04
58	8,23	15,28	4,89
62	12,24	10,39	4,41

3.2 Avaliação Planimétrica utilizando Inferências Estatísticas seguindo metodologia de Vieira & Genro (2013)

A tabela 3 apresenta as inferências estatísticas relativas aos cálculos efetuados para a geração dos RMSE das componentes e da resultante planimétrica para os 26 pontos amostrais coletados em campo.

Tabela 3: Inferências estatísticas das imagens avaliadas

ESTIMATIVA DE ERRO MÉDIO QUADRÁTICO DA POPULAÇÃO DE ERROS			
	rmse ΔN	rmse ΔE	rmse ΔP
LANDSAT-8	8,73	5,69	10,42
AVNIR	7,73	8,97	11,85
RapidEye	3,44	4,41	5,59
Estimativa do desvio-padrão da população de erros			
	S rmse ΔN	S rmse ΔE	S rmse ΔP
LANDSAT-8	3,51	3,71	3,57
AVNIR	4,43	5,18	4,88
RapidEye	1,50	3,31	2,77
Intervalos de confiança da acurácia estimada da população de erros			
	T-student tabulado	Precisão planimétrica	
LANDSAT-8	1,71	10,42 \pm 6,08	
AVNIR	1,71	11,85 \pm 8,32	
RapidEye	1,71	5,79 \pm 4,72	
Acurácia estimada da população a partir do erro máximo provável			
	T-student acumulada	Precisão planimétrica	
LANDSAT-8	1,31	48,85	
AVNIR	1,31	75,95	
RapidEye	1,31	20,36	
ANÁLISE DE TENDÊNCIA			
Estimativa do desvio-padrão da população de resíduos			
	$S_{\Delta N}$	$S_{\Delta E}$	$S_{\Delta P}$
LANDSAT-8	4,38	5,68	3,19
AVNIR	6,82	8,25	3,66
RapidEye	3,44	3,85	2,70
Estimativa da média da população de resíduos			
	$\Delta \bar{N}$	$\Delta \bar{E}$	$\Delta \bar{P}$
LANDSAT-8	7,60	-1,17	9,94
AVNIR	-3,88	-3,88	11,29
RapidEye	0,66	-2,29	4,92
Estatística t			
	N	E	
LANDSAT-8	9,50	-1,12	
AVNIR	-3,12	-2,57	
RapidEye	1,05	-3,25	

Pelos valores observados na tabela 3, a imagem LANDSAT-8 avaliada atende, em termos de exatidão geométrica, ao especificado para a escala 1:50.000, classe C. Já a imagem AVNIR atenderia a escala 1:100.000 classe B, enquanto a RapidEye atenderia ao mapeamento 1:25.000 classe C, porém bem próximo do limite da classe B, tendo em vista que o limite entre essas duas classes é de 20 metros.

Em termos de tendência, nota-se que existe uma tendência forte para Norte na imagem LANDSAT e uma tendência moderada para leste na imagem Rapideye e para sul na imagem AVNIR.

4. Conclusões

Nota-se que os resultados obtidos mostram variações significativas quando se realiza as análises estatísticas baseadas no PEC e as inferências sugeridas pela metodologia de Vieira & Genro (2013). Ressalta-se que os resultados da avaliação das imagens apresentaram

valores dentro do esperado, com exceção da avaliação do AVNIR a partir das inferências estatísticas propostas por Vieira & Genro (2013), no qual se esperava uma classificação dentro da escala 1:100.000, classe A.

A avaliação da exatidão planimétrica em imagens de sensoriamento remoto é de fundamental importância para o controle da qualidade de bases cartográficas derivadas de seu processamento, tendo em vista que imagens com problemas de georreferenciamento ocasionam produtos de qualidade inadequada. De certa forma, todos os produtos obtidos através de classificação e interpretação tendem a apresentar erros superiores ou, no mínimo iguais ao insumo utilizado, no caso uma imagem orbital.

5. Referências bibliográficas

Congalton, R. G.; Green, K., Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. Positional Accuracy. 2. ed. Boca Raton, Florida, Estados Unidos. cap. 3, p.19-53. 2009.

Cruz, C. M.; Barros, R. S., Contribution of New Sensors to Cartography. *In: Cartography – A Tool for Spatial Analysis*. Edited by Bateira, C. 20 páginas. Publicado por *InTech*, em 17/08/2012. [Earth and Planetary Sciences](http://www.intechopen.com/books/cartography-a-tool-for-spatial-analysis/contribution-of-new-sensors-to-cartography). Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/cartography-a-tool-for-spatial-analysis/contribution-of-new-sensors-to-cartography>>

Galo, M. & Camargo, P. De O. Utilização do GPS no controle de qualidade de cartas. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário - COBRAC, 1, v. II, 1994, Florianópolis/SC. Anais... Florianópolis/SC: UFSC, 1994. Artigos, p. 41-48. 1994

IBGE. Avaliação Planimétrica de Imagens Alos/Avnir-2. Estudo de caso: Uberlândia-MG. Relatório 2009/2010. Coordenação de Cartografia. Diretoria de Geociências. 2011.

National Aeronautics and Space Administration (NASA). **Landsat Data Continuity Mission: Continuously Observing Your World**. 2013. Disponível em: <http://ldcm.gsfc.nasa.gov/mission_details.html>. Acessado em 19 de julho de 2013.

Merchant, D. C.; Spatial Accuracy Standards for Large Scale Line Maps. Technical Papers of the American Congress on Surveying and Mapping (1), 222-231. 1982.

Monico, J. F. G.; Dal Poz, A. P.; Galo, M.; Santos, M. C.; Castro, L. de O. de. Acurácia e Precisão: Revendo os conceitos de forma acurada. Boletim de Ciências Geodésicas. Curitiba. v. 15 no. 3, p. 469-483. 2009

Rapideye AG. Satellite Imagery. Product Specifications. Version 6.0. November. 2012,

Vieira, C.A., Mather, P.M. e Aplin, P. Assessing the positional and thematic accuracy of remotely sensed data In: Proceedings XXth Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS): Geo-imagery Bridging Continents, Istanbul, Turkey, pp. 979-984.2004

Vieira, H. B. G; Genro, R. S. Inferência estatística para validação de documentos cartográficos obtidos com sensores remotos orbitais ou aerotransportados, em áreas de operação da Petrobras. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15. 2011

Vieira, H. B. G.; Genro, R. S. Estimativa da acurácia posicional de documentos cartográficos na Petrobras a partir do erro máximo provável inferido do erro médio quadrático e da respectiva variância propagada. Foz do Iguaçu: Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 2013.