

Avaliação geométrica de ortoimagem TerraSAR-X para mapeamento florestal na Amazônia Brasileira

Rogério Ribeiro Marinho¹
Flávio Fortes Camargo²

¹ Universidade Federal do Amazonas - UFAM
Av. General Rodrigo Octávio, 6200, Coroado I - 69077-000 - Manaus - AM, Brasil
rogeo@ufam.edu.br

² Instituto de Geociências da Universidade de Brasília – IG/UnB
Caixa Postal 04465 – 70919-970 - Brasília - DF, Brasil
flavio.fortes.camargo@gmail.com

Abstract. This article evaluates the planimetric accuracy of a TerraSAR-X orthoimage, which was generated by EADS Astrium Company by means of TerraSAR-X ScanSAR data, mode (SC) and X-HV polarization. The analyzed orthoimage was delivered in the level Enhanced Ellipsoid Corrected (EEC). The area of this experiment is located in the Jari River Valley, State of Amapá, Brazilian North Region. An accurate cartographic base was used for collecting Independent Check Points (ICPs), which were used in the validation process applied to the TerraSAR-X orthoimage. The planimetric validation was executed by means of descriptive statistics and hypotheses tests. The authors used Students's t test (tendency test) and Qui-square test (precision test). The first one verified the existence of any tendency in the TerraSAR-X orthoimage. On its turn, the second one compared the obtained errors to a known standard error. The Qui-square test reference was the standard deviation established by the Brazilian Cartographic Accuracy Standard (PEC in portuguese). Therefore, the TerraSAR-X orthoimage were classified in accordance with the current National Cartography Technical Norms. The obtained results showed that the accuracy of the TerraSAR-X orthoimage met all the planimetric requirements for 1:50.000 map Class C, as requested by the Brazilian Standard for Cartographic Accuracy.

Palavras-chave: remote sensing, TerraSAR-X, planimetric accuracy, sensoriamento remoto, TerraSAR-X, exatidão planimétrica.

1. Introdução

Atualmente a comunidade usuária de imagens de sensoriamento remoto dispõem de diversas opções de sensores e plataformas que oferecem dados em diferentes níveis de processamento. Os principais parâmetros que devem ser considerados durante a manipulação de dados de sensoriamento remoto estão relacionados a correções geométricas e radiométricas empregadas pelos distribuidores. Por exemplo, imagens do satélite Landsat 8 são distribuídas pelo USGS com nível de processamento Level 1T, que corresponde a imagens com correção do terreno, na projeção UTM, datum WGS 84 e com 12 metros de CE90 (UGSG, 2014).

Diversos distribuidores disponibilizam imagens com correção geométrica o que permite o pronto uso em sistemas de informações geográficas. A ortorretificação de imagens é um processo de correção geométrica rigorosa, no qual as distorções ocasionadas pelo relevo são reduzidas utilizando modelos ou funções matemáticas que consideram informações da plataforma (posição, velocidade, altitude), do sensor (geometria de imageamento) e a configuração do terreno (TOUTIN, 2004).

Imagens ortorretificadas possuem maior qualidade geométrica em relação a imagens geocodificadas, o que permite realizar medições cartográficas com maior precisão. Medidas de áreas são fundamentais em programas de monitoramento florestal, uma vez que as estimativas são utilizadas para projetar produção e perdas.

Diversos são os projetos florestais existentes na Amazônia, visando a conservação e manejo de vegetação nativa e de florestas plantadas. Porém, é comum em partes da região elevada cobertura de nuvens ao longo do ano, o que prejudica o uso de sensores ópticos. Esta situação pode ser superada com uso de imagens oriundas de radares de abertura sintética

(SAR). No entanto, imagens SAR possuem distorções inerentes ao processo de imageamento, o que requer cuidados na correção geométrica. Desta forma, este trabalho tem como objetivo avaliar a exatidão planimétrica de ortoimagem TerraSAR-X adquirida no modo de imageamento ScanSAR sobre áreas com florestas plantadas e nativas na região do Vale do Jari, estado do Amapá.

2. Área de Estudo

A área de estudo está localizada na região do Vale do Jari, no município de Laranjal do Jari, sul do Estado do Amapá, próximo da margem esquerda do Rio Jari, limite com o Estado do Pará. Esta área corresponde a região do Projeto REDD+ JARI/AMAPÁ, um projeto de conservação ambiental em execução pela empresa Biofílica Investimentos Ambientais S.A., Jari Florestal e Jari Celulose S.A. A Figura 1 apresenta a localização da área do estudo e articulação da imagem TerraSAR-X.

Nesta região situam-se áreas de florestas de Eucalipto para produção de celulose e vegetação natural do tipo Floresta Ombrófila Densa, com presença de formações de terras baixa e de dossel emergente. O relevo da área em estudo é constituído por terrenos baixos e platôs dissecados, com desníveis topográficos de até 100 metros.

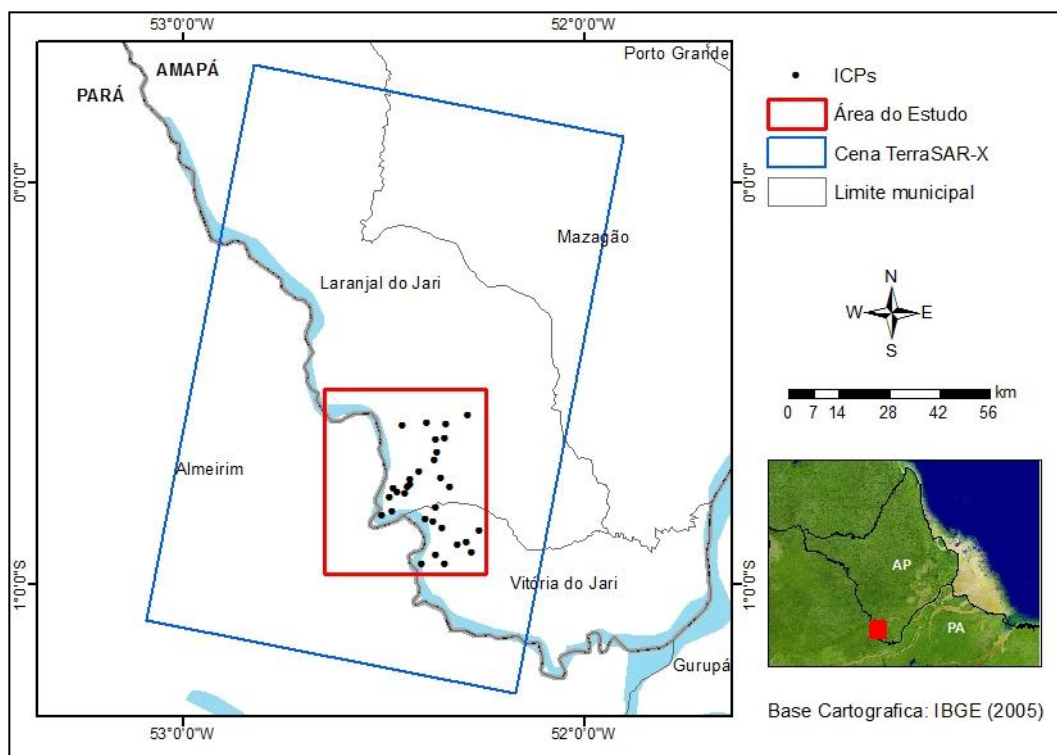


Figura 1. Localização da área de estudo e articulação da imagem TerraSAR-X.

3. Material e Metodologia de Trabalho

3.1 Imagem de Satélite

A imagem TerraSAR-X foi adquirida no modo de imageamento ScanSAR, com faixa de imageamento de 100 km e resolução espacial em azimute de 16 metros. Esta cena foi fornecida com nível de processamento EER (*Enhanced Ellipsoid Corrected*) que corresponde a uma ortoimagem SAR processada em *multi-look*, na projeção UTM e Datum horizontal WGS-84. Neste nível de processamento, as distorções do terreno são corrigidas utilizando um modelo digital de elevação de resolução moderada fornecido em base global (ROTH et al.,

2004). Outras características da ortoimagem TerraSAR-X utilizada neste trabalho são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Dados gerais da imagem TerraSAR-X.

Data	26-10-2013
Hora	09h15min
Modo de aquisição	ScanSAR
Nível de processamento	EER
Frequência GHz (Banda)	9,6 (X)
Comprimento de onda (cm)	3,1
Polarização	HV
Órbita	Descendente
Incidência média	41.93
Espaçamento Pixel (m)	8,25

3.2 Avaliação Posicional

A acurácia posicional da ortoimagem TerraSAR-X foi avaliada a partir do cálculo do Erro Médio Quadrático (*Root Mean Square Error* - RMSE) e do Erro Circular (*Circular Map Accuracy Standard* - CMAS) com 90% de probabilidade (NSDI, 1998). O RMSE foi calculado a partir da comparação das coordenadas de pontos independentes de validação (*Independent Check Points* - ICPs) extraídos da base cartográfica de escala 1:50.000 com as coordenadas destes mesmos pontos observados na ortoimagem, usando a seguinte expressão:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x_{ref})^2 + (y_i - y_{ref})^2}{N}} \quad (1)$$

onde X_i e Y_i são as coordenadas de pontos notáveis identificados na ortoimagem, X_{ref} e Y_{ref} são as coordenadas dos ICPs correspondentes medidos na base planimétrica, e N é o número de ICPs considerados.

O CMAS é uma medida dos erros combinados em latitude e longitude da planimetria da ortoimagem analisada. Trata-se de um raio circular (metros) que engloba 90% dos erros de planimetria no produto analisado, em relação às posições reais no terreno. O cálculo do valor de CMAS foi realizado por meio da seguinte equação (NSDI, 1998):

$$CMAS = 2,146 * RMSE \quad (2)$$

na qual, o valor da constante 2,146 corresponde ao valor tabulado para 90% de probabilidade dos erros de planimetria. A distribuição dos pontos de validação (ICPs) sobre a área de estudo é apresentado na Figura 1. Os ICPs foram obtidos por meio da identificação de feições notáveis (cruzamentos de estradas, pontes sobre rios e interseção de cursos d' água) da base cartográfica de escala 1:50.000 cedida pela Jari Florestal.

3.2 Exatidão cartográfica

Para avaliação da exatidão cartográfica foi utilizada as definições do Padrão de Exatidão Cartográfico (PEC) que regulamenta a classificação dos produtos cartográficos quanto sua exatidão (BRASIL, 1984). Segundo o PEC, os produtos cartográficos podem ser classificados nas Classes A, B ou C através da comparação entre o desvio padrão e o Erro Padrão (EP) apontado pelo PEC. Os valores do erro padrão exigido pelo PEC para uma determinada escala e classe são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Resumo dos padrões de exatidão do PEC.

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

A avaliação da exatidão foi realizada através da análise da precisão e tendência das feições topográficas identificadas sobre a ortoimagem TerraSAR-X. A análise de precisão e de tendência consistem em testes estatísticos no qual são analisadas as discrepâncias entre as coordenadas retiradas na ortoimagem e as coordenadas de pontos homólogos obtidas na base cartográfica de referência.

Para a análise da precisão cartográfica foi utilizado o teste de precisão indicado por Galo e Camargo (1994), no qual consiste do seguinte teste de hipótese:

$$S_{\Delta X}^2 = \sigma_X^2, \text{ contra} \\ S_{\Delta X}^2 > \sigma_X^2$$

onde o termo $S_{\Delta X}^2$ corresponde ao desvio-padrão esperado para a coordenada analisada. Já o termo σ_X é o valor da variância permitido:

$$\sigma_X = \frac{EP}{\sqrt{2}}$$

De posse da variância, no teste de precisão é usada a estatística Qui-quadrado, dado por:

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

e verificado o intervalo de confiança através de:

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

É rejeitada a hipótese nula (H_0) se a expressão anterior não for obedecida, ou seja, as coordenadas das feições topográficas da ortoimagem não atendem à precisão cartográfica estabelecida pelo PEC.

O teste de tendência foi realizado conforme metodologia proposta por Galo e Camargo (1994), avaliando a discrepâncias entre a localização dos 30 ICPs, considerados como verdadeiros e o valor observado na ortoimagem, calculada para cada coordenada por:

$$\Delta X_i = X_i - X_i^f \quad (3)$$

A média e o desvio-padrão das discrepâncias amostrais foram calculadas através das equações:

$$\Delta \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta X_i$$

e

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

Foram avaliadas as seguintes hipóteses para verificar a tendência:

$$H_0: \Delta \bar{X} = 0, \text{ contra}$$

$$H_0: \Delta \bar{X} \neq 0$$

Neste teste foi calculado a estatística amostral "t" e verificado se o valor estava no intervalo de aceitação ou rejeição da hipótese nula. O valor "t" amostral foi calculado através de:

$$t_x = \frac{\Delta \bar{X}}{S_{\Delta X}} \sqrt{n}$$

e verificado o intervalo de confiança através de:

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

Caso a estatística amostral "t" fique fora do intervalo de confiança, rejeita-se a hipótese nula, ou seja, as coordenadas da área avaliada na ortoimagem TerraSAR-X não podem ser consideradas livre de tendência significativa em alguma direção.

4. Resultados e Discussões

Os resultados da avaliação posicional mostram valores de RMSE com elevadas discrepâncias nas componentes E, N e total, conforme tabela 3. A magnitude dos desvios nas componentes E e N são apresentados na Figura 2.

Tabela 3. Resumo das estatísticas da avaliação posicional da ortoimagem TerraSAR-X.

Erro mínimo E (m)	-27,55
Erro mínimo N (m)	-53,58
Erro máximo E (m)	49,59
Erro máximo N (m)	65,49
Desvio padrão E	18,73
Desvio padrão N	21,34
RMSE total (m)	28,05
CMAS total (m)	60,19

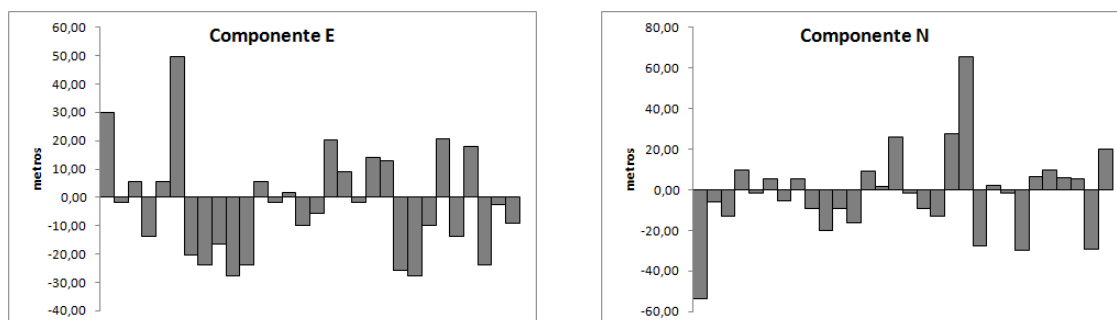


Figura 2. Discrepâncias (metros) para as componentes E e N.

Devido às características da área de estudo, área de floresta densa e existência de pouca infraestrutura de vias de acesso, não foi possível obter uma boa distribuição dos ICPs sobre toda a área analisada. No entanto, a realização do teste de tendência permitiu verificar que mesmo com essa distribuição dos pontos de avaliação, a área analisada não possui erros sistemáticos de deslocamento nas componentes E e N. Na tabela 4 são apresentados os resultados obtidos para o teste de tendência.

Tabela 4. Resultado da análise de deslocamento sistemático (tendência) na ortoimagem TerraSAR-X.

Componente	$t_{amostral}$	$t_{(30-1,5\%)}$	$t_{amostral} < t_{(30-1,5\%)}$
E	-0,6582	1,6991	Verdadeiro
N	-0,3956	1,6991	Verdadeiro

A análise da exatidão cartográfica indicou que esta ortoimagem TerraSAR-X possui qualidade geométrica para gerar no máximo produtos cartográficos PEC Classe C da escala 1:50.000 (Tabela 5).

Tabela 5. Resultado das estatísticas de avaliação do Padrão de Exatidão Cartográfica.

Componente	$\chi_{amostral}$	$\chi_{(30-1,10\%)}$	$\chi_{amostral} < \chi_{(30-1,10\%)}$	Escala
E	90,42	39,09	Falso	1:50.000 Classe A
N	117,40	39,09	Falso	1:50.000 Classe A
E	32,55	39,09	Verdadeiro	1:50.000 Classe B
N	42,26	39,09	Falso	1:50.000 Classe B
E	22,60	39,09	Verdadeiro	1:50.000 Classe C
N	29,35	39,09	Verdadeiro	1:50.000 Classe C

5. Conclusões

Os resultados de RMSE total, cerca de 30 metros, pode ser usado como um indicativo do tamanho de pixel da ortoimagem TerraSAR-X para fins de classificação digital da cobertura florestal da área do estudo.

Apesar da distribuição dos pontos, a área analisada não apresentou tendência de deslocamento. No entanto, a exatidão planimétrica da ortoimagem TerraSAR-X indicou a possibilidade de gerar produtos cartográficos em escalas menores do que 1:50.000, classe C. Este fato pode estar relacionado à qualidade dos dados utilizados como referência, à resolução espacial do modo ScanSAR (16 m), e às distorções do imageamento SAR (*layover* e *foreshortening*), além do fato que a área do estudo corresponde a uma pequena parte da cena.

Considerando o custo de coleta de dados GPS em campo, o produto TerraSAR-X no modo de imageamento ScanSAR (nível de processamento EER) é uma opção de baixo custo, e uma boa alternativa a sensores ópticos de média resolução para o monitoramento de projetos florestais na Amazônia, principalmente em região com elevada cobertura de nuvens.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Biofílica Investimentos Ambientais pelo apoio na execução do estudo e à Jari Florestal pela cessão dos dados planimétricos da área de estudo.

Referências Bibliográficas

Brasil. Decreto n. 89.817, de 20 de junho de 1984. Dispõe sobre as instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 22 de junho de 1984.

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

National Spatial Data Infrastructure (NSDI). 1998. Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy. Disponível em: <http://www.fgdc.gov/standards/projects/FGDC-standards-projects/accuracy/part3/index_html>. Acesso em 08. nov.2014

Roth, A.; Huber, M.; Kosmann, D. Geocoding of TerraSAR-X Data. In: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Congress (ISPRS), 20., 2004, Istambul. **Anais...** On-line. ISBN 1682-1750. Disponível em: <<http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm3/papers/386.pdf>>. Acesso em 08. out. 2009

Toutin, T. Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 10, p. 1893 – 1924, 2004

United States Geological Survey (USGS). Disponível em <<https://lta.cr.usgs.gov/L8>> Acesso em: em 06. nov. 2014