Utilização de imagem de alta resolução espacial no levantamento de vértices de limites naturais inacessíveis na Amazônia Legal

Anderson de Freitas Barros [1]
Marcelo Ferri [1]

[1] Instituto de Terras de Mato Grosso – INTERMAT
Diretoria de Assuntos Fundiários
Gerência de Topografia e Análise Técnica
78.050-970 – Cuiabá – MT, Brasil
rioand@gmail.com, marceloferriagro@gmail.com

Abstract. The technical norm of rural properties georeferencing allows the using remote sensing product in the determination of coordinates at inaccessible local. The use of this product in works done in the Legal Amazon region means an economy of resource and time. However, the product need precision better or equal to 7,50 meters, to represent in scale to 1:25.000 or better, with (CAS), class A, as established in the Decree 89.817. Thus, the objective of this article is to evaluate the Cartographic Standard of Accuracy in SPOT-5 orbital images, of the image server of Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral do Estado de Mato Grosso. These images are used in the acquisition of coordinates of property in places of difficult access or with impediment for topography. Many professionals use them without the information detailed about effective quality control and about proceedings of radiometric and geometric corrections. It is hoped that this article will help the interested professional in using remote sensing products to surveying for indirect method, as established in the 1st edition of the technical norm for rural properties georeferencing in acts of land regularization applied to Legal Amazon.

Keywords: SPOT image, position accuracy, technical norm for rural properties georeferencing (Low 10.267), imagem SPOT, exatidão posicional, norma técnica de georreferenciamento de imóveis rurais (Lei 10.267).

1. Introdução

Após a publicação da Lei 10.267, em 18 de agosto de 2001, que trata do georreferenciamento de imóveis rurais, iniciou a padronização dos procedimentos de medição que influencia o INCRA (agente cadastral), os cartórios de registro de imóveis (agente registral), os profissionais de medição e os proprietários de terras.

Thum et al afirmam que com a aprovação dessa lei, surgem novas perspectivas de trabalho e atuação para os profissionais sérios e tecnicamente qualificados envolvidos com as atividades de medição.

Para Carneiro (2001), o georreferenciamento de imóveis rurais é um instrumento jurídico que estabelece o intercâmbio das informações entre o INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) e os serviços notariais e registrais.

Em vigor, existem duas normas técnicas que cumprem as exigências da Lei 10.267: a Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais em Ações de Regularização Fundiária Aplicada à Amazônia Legal, que está na 1ª Edição; e a Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais, que está na 2ª Edição corrigida.

As duas normas permitem a utilização de produtos de sensoriamento remoto na determinação de coordenadas em limites considerados inacessíveis. A utilização desses produtos em trabalhos realizados na Amazônia Legal significa uma grande economia de recurso e tempo.

Com relação à norma técnica aplicada à Amazônia Legal, de acordo com INCRA (2009), o produto de levantamento por sensoriamento remoto deve ter precisão melhor ou igual a 7,50 m, para permitir a representação em escala 1:25.000 ou maior, com Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) classe A, de acordo com o que estabelece o Decreto 89.817, de 20 de junho de 1984.

Portanto, o objetivo desse trabalho é avaliar a qualidade da exatidão posicional de imagens orbitais, aplicando o Padrão de Exatidão Cartográfica planimétrico, das imagens SPOT-5 do servidor de imagens da Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral do Estado de Mato Grosso.

As imagens SPOT-5 oferecem informações com alta resolução espacial para determinar vértices com precisão. Ao serem sobrepostas à base levantada, apresentam maior nível de detalhe e confiabilidade, sobretudo em relação à rede de drenagem da região, além de oferecerem as coordenadas dos vértices levantados nos rios.

Esse trabalho se justifica pelo fato de que muitos profissionais de medição, em Mato Grosso, utilizam as imagens SPOT-5 do servidor de imagens da Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral do Estado de Mato Grosso, sem o conhecimento da avaliação da exatidão posicional. Também, não se conhece informações detalhadas sobre o controle efetivo de qualidade e sobre os procedimentos de correção radiométrica e geométrica realizados nas imagens.

Por fim, espera-se que esse trabalho oriente os profissionais interessados em utilizar produtos de sensoriamento remoto no Levantamento por Método Indireto, aplicado à 1ª Edição da Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais em Ações de Regularização Fundiária Aplicada à Amazônia Legal.

1.1. Sensoriamento remoto e a energia eletromagnética

Lillisand e Kiefer (1987) definem sensoriamento remoto como ciência e arte de se obter informações de um objeto, área ou fenômeno pela análise de dados adquiridos por um sistema de sensor que não está em contato com o objeto, área ou fenômeno.

O Sol é a principal fonte de energia eletromagnética disponível. Ele produz um espectro contínuo de energia, que chega à Terra, desde os raios gama até as ondas de rádio.

Segundo Jensen (2009), a radiação eletromagnética pode sofrer alterações na velocidade de radiação, no comprimento de onda, na intensidade e na distribuição espectral ao alcançar a atmosfera. Essas alterações sofridas pela radiação eletromagnética na atmosfera são resultados das interações de refração, espalhamento, absorção e refletância.

Ao alcançar um objeto na superfície terrestre, a radiação eletromagnética interage de acordo com as características do sinal e do objeto. Nesse contexto, Novo (1989) afirma que quando as ondas eletromagnéticas interceptam um objeto ocorre um processo de transferência de energia da radiação para o objeto, porém o resultado da interação depende das propriedades elétricas e magnéticas do material.

Como resultado da interação entre a radiação eletromagnética e o objeto na superfície terrestre, uma parte da energia incidente é refletida, outra é absorvida, e outra porção é transmitida. No entanto, Jensen (2009) afirma que as grandezas refletância, transmitância e absortância não fornecem a quantidade exata de energia que atinge uma área específica no terreno proveniente de uma direção específica.

De acordo dom Jensen (2009), o fluxo radiante refletido ou emitido da superfície terrestre entra novamente na atmosfera, onde acontecem as interações com gases, vapor d'água e partículas em suspensão. Dessa forma, novamente, o espalhamento, a absorção, a reflexão e a refração influenciam o fluxo radiante antes que a energia seja registrada pelo sistema de sensoriamento remoto.

Novo (1989) afirma que em sensoriamento remoto o que é medido é o fluxo radiante que deixa a superfície terrestre em direção ao sensor, e consequentemente, a grandeza medida frequentemente é a radiância (L_λ) do alvo.

Para Jensen (2009), a radiância é a medida radiométrica mais precisa em sensoriamento remoto e a define como a intensidade radiante (ϕ_λ) por unidade de área- fonte (A) projetada numa direção específica ($\cos\theta$) e num ângulo sólido (Ω).

1.2. Sensoriamento remoto aplicado ao georreferenciamento de imóveis rurais

Carneiro (2001) afirma que o Georreferenciamento de Imóveis rurais é um instrumento jurídico criado pela Lei 10.267, de 28 de agosto de 2001, que estabelece o intercâmbio das informações entre o INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) e os serviços notariais e registrais.

Com a aprovação dessa lei surgem novas perspectivas de trabalho e atuação para os profissionais envolvidos com as atividades de Posicionamento por GNSS (Global Navigation Satellite System).

Os métodos de levantamento e as especificações aplicáveis às classes dos vértices estão definidos entre os itens 7.3 a 7.5 e os 7.6 a 7.10, respectivamente, da 1ª Edição da Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais em Ações de Regularização Fundiária Aplicada à Amazônia Legal.

De acordo com INCRA (2009), produtos de sensoriamento remoto podem ser utilizados no Levantamento por Método Indireto, ou seja, aqueles quando as coordenadas dos vértices definidores dos limites da ocupação territorial rural são obtidas de forma não presencial.

Deve-se ressaltar que esse método se aplica à determinação de coordenadas em limites considerados inacessíveis. Portanto, segundo INCRA (2009), é necessário que haja o impedimento para levantamentos topográficos em função da existência de obstáculos físicos ao percurso, por qualquer meio, de equipe de topografia para a demarcação dos limites do imóvel rural.

Os vértices produzidos pelo Levantamento por Método Indireto são vértices tipo V, classe C6, cujas coordenadas são determinadas sem a ocupação física, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação de vértices quanto à finalidade, tipo e precisão.

CLASSE	FINALIDADE	TIPO	PRECISÃO (m)
C1	Apoio básico / Apoio imediato / Limite	M	≤ 0,10
C2	Apoio imediato / Limite	M	≤ 0,20
C3	Desenvolvimento / Limite	M, P	≤ 0,40
C4	Limite	M, P, V, O	≤ 0,50
C5	Limite por acidente geográfico natural	P, V, O	≤ 2,00
C6	Limite levantado por método indireto	V	≤ 7,50

Fonte: INCRA (2009).

Nesse caso, de acordo com INCRA (2009), o produto de levantamento por sensoriamento remoto deve ter precisão melhor ou igual a 7,50 m, para permitir a representação em escala 1:25.000 ou maior, com Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) classe A, de acordo com o que estabelece o Decreto 89.817, de 20 de junho de 1984.

1.3. Análise estatística dos dados e avaliação do PEC

Brasil (1984) afirma que a análise da exatidão de cartas está regulamentada pelo Decreto 89.817, que estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional.

As cartas quanto à exatidão planimétrica devem obedecer ao PEC, de modo que 90% dos pontos bem definidos na carta, quando testados no terreno, não devem apresentar erro superior ao PEC estabelecido. Brasil (1984), afirma que o PEC é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade que indica a exatidão de trabalhos cartográficos; e que o EP (Erro Padrão) isolado num trabalho cartográfico, não pode ultrapassar 60,8% do Padrão de Exatidão Cartográfica.

Tabela 2. Classificação de cartas quanto aos valores do PEC e do EP.

CLASSES	PLANIMÉTRICA	
	PEC	EP
A	0,5 mm, na escala da carta	0,3 mm, na escala da carta
B	0,8 mm, na escala da carta	0,5 mm, na escala da carta
C	1,0 mm, na escala da carta	0,6 mm, na escala da carta

Fonte: Brasil (1984).

1.3.1. Método do desvio padrão da amostra

Segundo SEAMG (2006), esse método calcula os resíduos da resultante das coordenadas planimétricas, obtida através das coordenadas de campo (Ec, Nc) e de carta (Ei, Ni), conforme a Equação 1.

$$\Delta R = \sqrt{(Ec - Ei)^2 + (Nc - Ni)^2} \tag{1}$$

A partir dos resíduos, é determinado o EP, também chamado de Desvio Padrão Amostral (S). Em seguida, é definido o valor do PEC calculado, conforme a Equação 2.

$$PEC_{calculado} = 1{,}6449 \times S \tag{2}$$

Para SEAMG (2006), a análise dos resultados é realizada na comparação entre o PEC calculado e os PEC estabelecidos para as classes A, B e C, no Decreto 89.817, conforme a Equação 3.

$$PEC_{calculado} < PEC_{definido} \tag{3}$$

1.3.2. Método da porcentagem da amostra

Esse método exige que 90% dos pontos de controle não apresentem resíduos superiores aos valores determinados pelo Decreto 89.817, conforme a Equação 4.

$$90\%\left(\Delta R < PEC_{definido}\right) \tag{4}$$

2. Metodologia de trabalho

Um estudo preliminar detalhado foi realizado para o desenvolvimento dos trabalhos de campo, com auxílio de carta-imagem de satélites e mapas, contendo as coordenadas aproximadas dos vértices definidores do perímetro do imóvel.

O imóvel possui todo o perímetro localizado nos limites naturais dos rios Nhandu e Teles Pires e na linha divisória do Pará, com acesso, por estrada ou por navegação fluvial.

Nesse trabalho, foram utilizados 3 pares de receptores GPS (Topcon Hiper L1/L2 de 40 canais); programas computacionais (Topcon Tools, ArcGIS, Editor de Texto e Planilha Eletrônica); e imagens orbitais SPOT-5 com resolução espacial de 2,50 metros, adquiridas no período de junho de 2007 a novembro de 2008.

No levantamento do perímetro do imóvel, foram utilizadas 4 bases de apoio, ou seja, 4 vértices de apoio básico, classe C1, processados e ajustados na Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC); 23 vértices de limite tipo M, classe C4; 330 vértices de limite tipo P, classe C4; e 1.073 vértices de limite tipo V, classe C6.

Os vértices classe C1 e C4 foram obtidos pelo Posicionamento por GNSS, utilizando os métodos de Levantamento Relativo Estático e Relativo Estático Rápido, respectivamente; e os vértices classe C6 foram obtidos pelo Levantamento por Método Indireto, utilizando imagens SPOT-5 a partir do servidor de imagens da Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral do Estado de Mato Grosso.

Todo o levantamento dos vértices foi realizado no sistema de referência SIRGAS-2000. No ArcGIS, as imagens SPOT-5, inicialmente no sistema de referência WGS-84, foram transformadas para o SIRGAS-2000. IMPORTANT: As imagens foram utilizadas sem novos procedimentos de correção radiométrica ou geométrica.

2.1. Área de estudo

A área de estudo tem perímetro de 341.926 metros, área de 361.955,9156 hectares, limite naturais com os rios Nhandu e Teles Pires e com a linha divisória do Pará. Localiza-se nos municípios Novo Mundo e Alta Floresta, ambos em Mato Grosso.

2.2. Levantamento de vértices de limites naturais inacessíveis

Os vértices dos limites naturais inacessíveis foram obtidos por Levantamento por Método Indireto, utilizando imagens SPOT-5. As imagens foram sobrepostas à base levantada constituída por vértices de limites tipos M e P, classes C4. Esses vértices serviram como marcos testemunhos, utilizados para compor o alinhamento nos limites naturais. Foram adquiridos 1.073 vértices de limite tipo V, classe C6, ao longo dos rios Nhandu e Teles Pires.

2.3. Análise da qualidade do resultado do levantamento por método indireto

Os 23 vértices de limite tipo M, classe C4, foram utilizados como pontos de controles para a análise da qualidade do levantamento. Esses vértices foram materializados em locais bem definidos (cruzamento de estrada, encontro da estrada com rio, pontes, ilha fluvial, etc.), de modo a serem identificados na imagem, posteriormente.

O Decreto 89.817 não define uma metodologia específica para avaliar a qualidade posicional de produtos cartográficos. Portanto, foram escolhidos os métodos do desvio padrão da amostra e o da porcentagem da amostra. Esses métodos se baseiam na análise dos resíduos das coordenadas dos pontos de controle, definidos no produto cartográfico, e de seus homólogos coletados em campo ou em algum produto que seja mais preciso.

3. Resultados e Discussão

Na Tabela 3, são apresentadas as coordenadas de campo dos 23 vértices tipo M, classe C4, obtidos pelo Posicionamento por GNSS; as coordenadas de imagem dos vértices homólogos, tipo V, classe C6, obtidos pelo Levantamento por Método Indireto utilizando a

imagem SPOT-5; e os resíduos. Todas as coordenadas estão no sistema de referência SIRGAS-2000.

Tabela 3. Coordenadas de campo, coordenadas de imagem e resíduos.

ID	COORDENADAS DE CAMPO		COORDENADAS DE IMAGEM		RESÍDUOS
	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	ΔR (m)
1	622010,037	8957562,941	622008,012	8957566,553	4,141
2	702007,029	8950139,991	702002,205	8950141,826	5,161
3	703222,669	8950000,994	703225,499	8949999,208	3,346
4	701014,527	8949169,025	701009,325	8949169,857	5,268
5	700975,221	8948870,403	700976,459	8948875,399	5,147
6	701145,287	8935556,790	701140,988	8935557,824	4,422
7	695877,220	8926943,273	695882,469	8926942,353	5,329
8	692371,569	8921600,513	692367,661	8921602,390	4,335
9	686241,943	8915015,476	686237,105	8915015,468	4,838
10	685995,943	8914196,217	685999,246	8914201,257	6,026
11	680445,080	8910723,753	680441,154	8910719,514	5,778
12	679059,201	8906661,144	679061,728	8906655,214	6,446
13	677248,959	8901504,665	677247,998	8901498,455	6,284
14	677003,838	8901176,272	677003,183	8901181,309	5,079
15	664458,462	8892580,794	664458,820	8892585,083	4,304
16	659081,442	8892380,761	659080,728	8892386,066	5,352
17	641121,313	8914127,908	641117,330	8914124,859	5,016
18	636464,166	8919929,291	636463,449	8919924,841	4,507
19	628763,274	8924150,380	628761,841	8924146,770	3,884
20	627793,473	8924586,716	627792,097	8924582,506	4,429
21	625832,414	8924948,674	625831,925	8924944,433	4,269
22	617448,368	8934739,114	617446,226	8934734,895	4,731
23	603707,180	8933744,769	603704,982	8933740,655	4,664

De acordo com INCRA (2009), é recomendado que os produtos advindos de Levantamento por Método Indireto sejam representáveis em escala cartográfica 1:10.000 (escala cadastral), com PEC classe A.

Tabela 4. Resultado da análise do levantamento.

PLANIMÉTRICO (Decreto 89.817)		MÉTODO		
		DESVIO PADRÃO DA AMOSTRA		PORCENTAGEM DA AMOSTRA
$PEC_{estabelecido}$	Valor (m)	$PEC_{calculado}$	Valor (m)	% de pontos não superiores ao $PEC_{estabelecido}$
Classe A	5,00	1,6449 x S	1,2560	52,17
Classe B	8,00			100
Classe C	10,00			100

Na Tabela 4, são apresentados os valores planimétricos de PEC estabelecidos no Decreto 89.817, em cada classe, na escala cartográfica 1:10.000; o valor do PEC calculado pelo Método de Desvio Padrão da Amostra; e a quantidade de pontos, em cada classe, em porcentagem, que não apresentam erro superior ao PEC estabelecido no Decreto 89.819, analisada pelo Método da Porcentagem da Amostra.

De acordo com os resultados, a avaliação pelo Método do Desvio Padrão da Amostra classificou a imagem SPOT-5 como PEC classe A, diferentemente da avaliação pelo Método da Porcentagem da Amostra que classificou como PEC classe B.

A causa da diferença na classificação é justificada, pois o Método da Porcentagem da Amostra avalia cada resíduo isoladamente em relação ao valor do PEC estabelecido no

Decreto 89.817. Enquanto que o Método do Desvio Padrão da Amostra avalia o PEC considerando os pontos de controle como uma amostra e não como pontos isolados.

4. Conclusões

Os resultados obtidos confirmam que a abordagem utilizada nesse trabalho pode ser utilizada na avaliação da exatidão posicional das imagens SPOT-5, obtidas no servidor de imagens da Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral do Estado de Mato Grosso.

Os dois métodos utilizados na avaliação do PEC apresentaram resultados diferentes. O Método da Porcentagem da Amostra avaliou a imagem na classe B e o Método do Desvio Padrão da Amostra avaliou a imagem na classe A.

Isso é explicado, pois o Método da Porcentagem da Amostra avalia cada resíduo isoladamente em relação ao valor do PEC estabelecido, diferentemente do Método do Desvio Padrão da Amostra que avalia o PEC considerando os pontos de controle como uma amostra.

Para a avaliação da exatidão posicional, são aplicados vários métodos com várias interpretações do Decreto 89.817. Como o legislador não estabeleceu uma metodologia de avaliação da exatidão posicional, um mesmo produto pode obter várias classificações de acordo com o método utilizado pelo usuário.

As recomendações do INCRA são de que os produtos advindos de Levantamento por Método Indireto sejam representáveis em escala cartográfica 1:10.000 (escala cadastral), com PEC classe A, sendo a escala de representação mínima desse levantamento igual a 1:25.000, com PEC mínimo classe A. Nesse caso, o INCRA também não estabeleceu uma metodologia de avaliação da exatidão posicional e sugere seguir as orientações do Decreto 89.817.

O legislador deveria estabelecer uma metodologia para avaliar a exatidão posicional de produtos cartográficos, padronizando definitivamente a avaliação e evitando classificações distintas para um mesmo produto.

Outros métodos podem ser utilizados na avaliação da exatidão, como por exemplo, o Método de Testes de Hipóteses que realiza testes de tendência e de precisão, proposto por Merchant (1982).

Sendo assim, espera-se que esse trabalho sirva como orientação aos profissionais interessados em utilizar produtos de sensoriamento remoto no Levantamento por Método Indireto, aplicado à 1ª Edição da Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais em Ações de Regularização Fundiária Aplicada à Amazônia Legal.

Referências Bibliográficas

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1987. 721 p.

JENSEN, R. J. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução: José Carlos Neves Epiphanio (Coord) et al. São José dos Campos: Parênteses, 2009. 598 p.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher Editora, 1989. 308 p.

CARNEIRO, A. F. T. **Cadastro imobiliário e registro de imóveis**. Porto Alegre: Editora Sérgio Antônio Fabris, 2003. 1. ed. 272p.

INCRA, Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Norma técnica para georreferenciamento de imóveis rurais em ações de regularização fundiária aplicada à Amazônia Legal**. Brasília, 2009. 1. ed. 80 f.

BRASIL, Decreto 89.817, de 20 de junho de 1984. **Dispõe sobre as normas técnicas da cartografia nacional**. Diário Oficial da União. Brasília, 1984.

SEAMG, Sociedade dos Engenheiros Agrimensores de Minas Gerais. **Roteiro para se determinar a classificação de cartas planimétricas quanto ao padrão de exatidão cartográfico**. Belo Horizonte, 2006.

MERCHANT, D. C. Spatial accuracy standards for large scale line maps. **Technical Papers of American Congress on Surveying and Mapping**. v. 1, p. 222-231, 1982.

THUM, A. B.; VERONEZ, M. R.; SOUZA, G. C.; REINHARDT, A. O. New law of the agricultural property georeferencing in Brazil: a profile of the professionals in Rio Grande do Sul State. In: XXIII FIG Congress, Munich. **Anais**... Paper TS33, p. 8-13, 2006. Disponível em < http://www.fig.net/pub/fig2006> . Acessado em 10 fev. 2012.