

Avaliação da Exatidão Cartográfica da Ortoimagem Quickbird e da Ortofoto Digital do Município de Goiânia

Nilton Ricetti Xavier de Nazareno ¹

Nilson Clementino Ferreira ^{1,2}

Fabio Campos Macedo ¹

¹ Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás
Rua 75, nº 46 - Centro - 74055-110 - Goiânia - GO, Brasil
nclferreira@gmail.com; nazagyn@gmail.com; fcm@cefetgo.br

² Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento - LAPIG
UFG – Campus II Samambaia - 74001-970 - Goiânia - GO, Brasil

Abstract. Currently the county management has great social, economic, environmental and institution challenges to being aimed, so that the municipalities reach social and economic development, without however promoting the environmental degradation, basic assumption to sustainability. To such objectives are reached, it makes necessary the cartographic document use with compatible precision and accuracy with the cartographic laws. This work is resulted of the assessment of the cartographic accuracy of digital orthophoto of the Goiânia city, produced in 2006 and of an orthorectified image based on Quickbird satellite image acquired in 2002. Using itself of methodology usually applied for analysis of cartographic accuracy, sixty four ground verification points in all city area, using themselves GPS receivers had been measured, and when evaluated the positioning of the ground verification points with digital orthophoto and with orthorectified image, were verified that the cartographic documents have accuracy according the laws of the national cartography. Our conclusions show that this work is very viable and necessary to be applied in any cartographic products due the low time consuming in work field using GPS receivers. Cartographic documents with quality assessed are the support for the planning and territorial management.

Palavras-chave: cartography, cartographic accuracy, Goiânia, cartografia, exatidão cartográfica, Goiânia.

1. Introdução

Com o desenvolvimento do país, vem crescendo a demanda por mapeamento para aplicações nos mais diversos empreendimentos de áreas que envolvem projetos ou planejamentos. Contudo, um dos problemas do mapeamento está na definição do quanto se pode errar num produto cartográfico, ou seja, qual o erro que o usuário pode admitir em um produto desta categoria sem que isso traga riscos operacionais ou de cálculo significativos para a finalidade do projeto (Nero, 2005).

Atualmente, o Brasil é constituído por pouco mais de 5.500 municípios onde residiam até o ano de 2000, de acordo como o levantamento censitário, cerca de 169.799.170 habitantes, sendo que 45,6% desta população é economicamente ativa, com 16,87% da população economicamente ativa residente em áreas rurais e o restante 83,13% residente em áreas urbanas (IBGE, 2000).

Por ser um país em desenvolvimento, os municípios brasileiros atualmente enfrentam os mais diversos problemas e desafios sociais, econômicos, ambientais e institucionais.

No Brasil, a aparência desordenada do crescimento irregular, e o desconexo de seus espaços vazios e ocupados que sugerem formas disparatadas de ocupação do solo (Kowarick, 1993).

Muitos municípios brasileiros apresentam padrão descontínuo de expansão da mancha urbana, isto é, padrão periférico de crescimento, que causam baixa densidade de ocupação do solo urbano, aumento das distâncias, ineficiência dos transportes, elevação dos custos sociais e privados da urbanização e comprometimento irreversível da eficiência da administração pública (Bolaffi, 1982)

O município de Goiânia entre os anos de 1975 e 2002 teve sua área urbana praticamente duplicada, sendo que os setores norte e oeste da área urbana foram as que apresentaram maiores expansões. Em particular, a região sul do município foi a que apresentou menor expansão, pois já atingiu o limite do município de Aparecida de Goiânia (Silva et al., 2005)

Para a resolução dos problemas que atualmente ocorrem no município de Goiânia e os que ainda poderão surgir, foi necessário o estabelecimento da gestão municipal apoiada em grandes quantidades de informações geograficamente referenciadas, com precisão e acurácia compatíveis com as normas da cartografia nacional e, portanto capazes de atender as demandas dos vários processos de gestão do município.

No ano de 2002, a prefeitura municipal de Goiânia adquiriu uma imagem adquirida pelo satélite Quickbird, que foi ortoretificada, de toda a área do município. No segundo semestre de 2006, a prefeitura municipal de Goiânia contratou a produção de uma ortofoto digital na escala 1:5.000, de toda a área geográfica do município, mais uma área de 1000 metros na borda do limite municipal, sendo que um dos requisitos destes trabalhos, é que a ortofoto e a imagem ortoretificada produzida possuam padrão de exatidão classe A, segunda as normas da cartografia nacional.

Sobre os documentos cartográficos adquiridos pela prefeitura municipal de Goiânia, aplicou-se metodologia consagrada para aferição da exatidão cartográfica. Verificou-se ao final do processo ambos os produtos possuem exatidão cartográfica classe A para a escala 1:5000.

2. Metodologia

As etapas para elaboração do trabalho são ilustradas na Figura 1. Inicialmente, foram coletadas informações a respeito dos pontos utilizados no apoio suplementar da ortofoto digital. Estas mesmas informações não foram obtidas para a ortoimagem, uma vez que esta era mais antiga e não foram solicitadas tais informações da empresa que elaborou a ortoimagem.

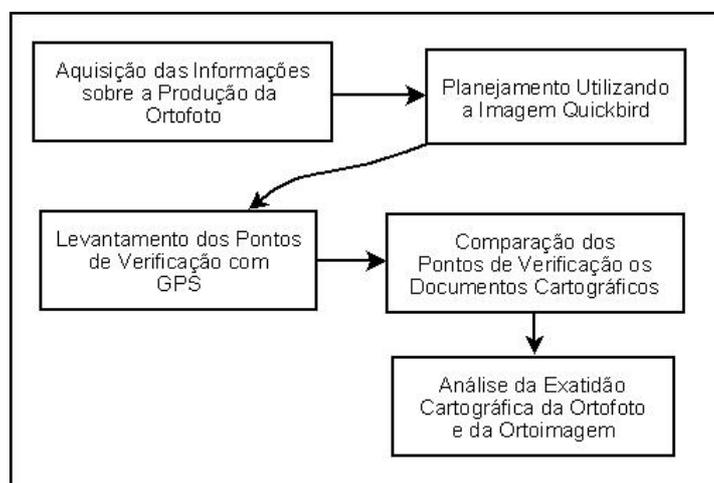


Figura 1: Etapas de trabalho para avaliação da exatidão cartográfica da ortofoto de 2006 e da ortoimagem de 2002.

Para a elaboração da ortofoto, foram utilizados receptores de sinais GPS para posicionamentos geodésicos estabelecendo a rede de apoio básico e a de apoio fotogramétrico. Na etapa seguinte, procedeu a aerotriangulação, tendo como referência o apoio fotogramétrico, a fim de densificar o conjunto de pontos para a geração da ortofoto. A expectativa é que nas proximidades dos pontos do apoio fotogramétrico, a ortofoto digital tenha acurácia e atenda o PEC classe A para a escala 1:5.000. No entanto, como a ortoretificação também depende de outros fatores como a qualidade geométrica e precisional

do modelo digital de terreno, pode ocorrer que em pontos distantes do apoio fotogramétrico o PEC não seja atendido. Assim, no planejamento para implantação dos pontos de verificação, partiu-se da distribuição dos pontos de apoio fotogramétrico, com o objetivo de implantá-los em locais o mais distante possível destes.

A partir da localização geográfica dos pontos do apoio fotogramétrico, sobre uma imagem Quickbird, adquirida no ano de 2002, foram posicionados previamente os pontos de verificação. O posicionamento de cada um deles foi realizado atentando-se para a localização dos pontos do apoio fotogramétrico, de modo a manter o critério de o mais distante possível. Em seguida, utilizando-se da imagem Quickbird, os pontos de verificação foram definitivamente posicionados em locais notáveis, que puderam ser também identificados na ortofoto digital na escala 1:5000 e na ortoimagem. A Figura 2 apresenta a localização dos pontos do apoio fotogramétrico e dos pontos de verificação.

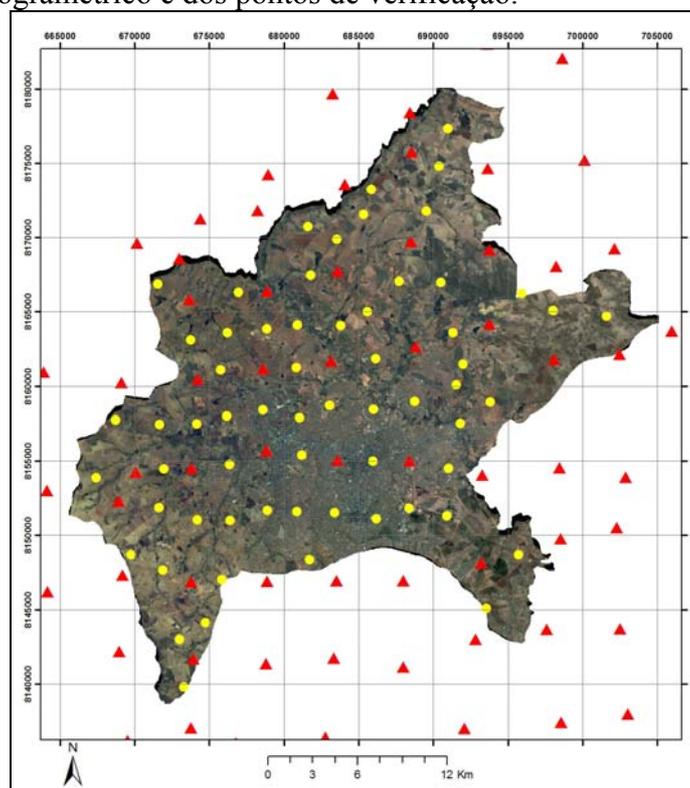


Figura 2: Localização dos pontos do apoio fotogramétrico (triângulos vermelhos) e dos pontos de verificação da exatidão cartográfica (circunferências amarelas), sobre a imagem Quickbird.

Após o posicionamento definitivo de cada ponto de verificação sobre locais notáveis (cruzamentos de ruas, esquinas, cantos de construções, vértices de cercas, etc.), foram obtidas as coordenadas UTM de cada um deles.

Posteriormente, foram produzidos croquis em folhas de formato A4, para cada um dos pontos de verificação, contendo, uma visão detalhada da localização do ponto sobre a imagem QuickBird, uma visão geral da localização do ponto e a localização do ponto no município de Goiânia (Figura 3). Foram utilizados também outros dados cartográficos provenientes do MUBDG e também de mapeamento do Estado de Goiás, disponível no site do SIEG (www.sieg.go.gov.br). Esses dados foram utilizados com o intuito de descrever melhor a localização de cada um dos pontos de verificação.

Uma questão importante que deve ser esclarecida está relacionada ao número mínimo de pontos necessários para a validação de documentos cartográficos. Merchant (1982) *apud*

Galo(1994) recomenda algo em torno de 20 pontos distribuídos de forma homogênea em todos os quadrantes do documento. Esse número procura equilibrar uma análise segura *versus* um custo viável no levantamento de dados de campo. Na presente verificação foram definidos inicialmente 62 pontos uma vez que a relação entre a escala das fotografias (1:30.000) e da ortofoto (1:5.000) está no limite. Para execução do levantamento de campo desses pontos foi utilizado o método de posicionamento por rastreamento de satélites do sistema GPS (Global Positioning System).

Existem vários procedimentos de levantamento utilizando esta metodologia. Pesquisando na literatura e nas normas técnicas estabelecidas pelo INCRA e o IBGE definiu-se pela utilização do método definido como “posicionamento relativo estático rápido”, por atender a questão da acurácia necessária com um tempo de rastreo relativamente curto.

Na execução, foram utilizados três receptores da marca Ashtech modelo Promark 2, sendo que um destes ficou em um marco do sistema da Rede Geodésica Brasileira (SGB) identificado como SAT 92693, situado no interior do Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás – CEFET-GO e os outros dois para rastreamento nos pontos de verificação.

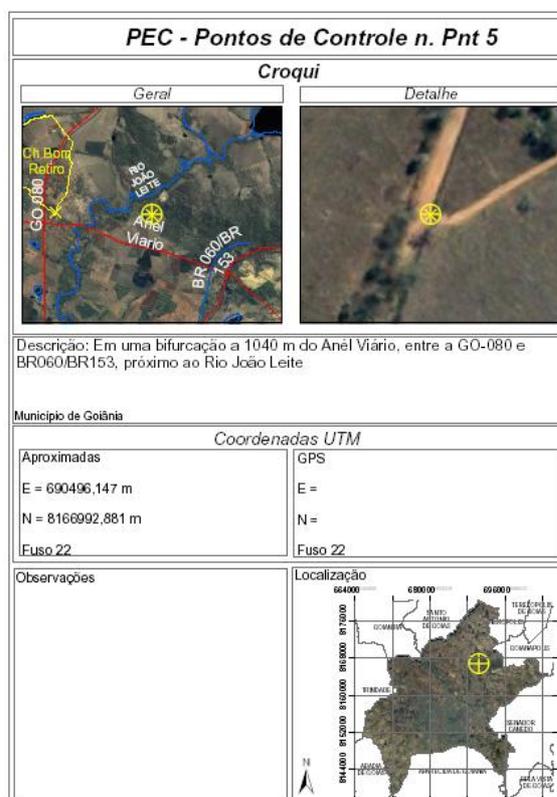


Figura 3: Croqui de um ponto de verificação da exatidão cartográfica.

Considerando que a resolução espacial da ortofoto e da ortoimagem é de 60 cm, que a distância máxima entre a base e os pontos de verificação não ultrapassam a 20 km, na maioria das situações, e baseado ainda, nas normas de levantamento GPS, adotou-se, durante o rastreamento, o tempo ideal de permanência em cada ponto oscilando entre 15 a 20 minutos, o PDOP menor do que 6 e no mínimo 5 satélites à serem rastreados. Este procedimento é necessário, pois do conjunto de dados só se consegue obter a precisão, representada pelo desvio padrão da observação. Como acurácia é definida como o quanto a observação se aproxima do valor “considerado verdadeiro” e não se tem como saber, a priori, se o valor medido é o correto, então a adoção de padrões de levantamento garante a eliminação dos erros sistemáticos e neste caso a acurácia e a precisão se confundem.

Com relação à ocupação do ponto, esta levou em consideração a indicação do croqui previamente elaborado, bem com aspectos locais que possibilitariam uma melhor identificação na ortofoto.

Após cada etapa de levantamento os dados foram descarregados e processados no programa de processamento GPS, Ashtech Solutions 2.60. Neste momento foi verificado a acurácia dos pontos.

Devido as características espaciais dos documentos cartográficos em avaliação, estabeleceu-se o limite máximo de 30 cm para aceitação do ponto. Em alguns casos houve a necessidade da reocupação ou a escolha de outro, próximo ao local original.

Obtidas as coordenadas dos pontos de verificação, com a acurácia necessária ao trabalho de validação, o próximo passo foi extrair da ortofoto e também da ortoimagem as coordenadas dos pontos homólogos. Este procedimento foi executado no programa ArcGis 9.0 com auxílio dos croquis atualizados com informações obtidas em campo e fotografias mostrando a localização correta do rastreador. Após a obtenção das coordenadas da ortofoto e da ortoimagem, estas foram comparadas com as coordenadas dos pontos de verificação obtidas pelo levantamento GPS. Em seguida foram calculadas as diferenças entre essas coordenadas, obtendo-se o valor das discrepâncias na coordenada E (abscissa) e na N (ordenada). Assim, dando seqüência ao trabalho de validação, calculou-se a média e o desvio padrão das discrepâncias para cada uma das coordenadas. Com estes valores calculados foi efetuado o teste de precisão e o de tendência.

No caso da precisão, esta foi verificada comparando-se o desvio padrão das discrepâncias com o erro padrão (*EP*) esperado para a classe. Considerando a especificação da prefeitura, os documentos cartográficos devem atingir classe A na escala 1:5.000. A Tabela 1 apresenta os valores do Padrão de Exatidão Cartográfica (*PEC*) e Erro Padrão (*EP*) para as classes A, B e C na escala 1:5.000.

Tabela 1: Padrão de exatidão cartográfico (*PEC*) e erro padrão (*EP*) para a escala 1:5000

Classe	<i>PEC</i>	<i>EP</i> (na escala da carta)	<i>EP</i> (no terreno)
A	0,5 mm	0,3 mm	1,5 m
B	0,8 mm	0,5 mm	2,5 m
C	1,0 mm	0,6 mm	3,0 m

O teste de hipótese que deve ser comprovado é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Teste de hipótese para verificação de precisão de documento cartográfico

$H_0:$	$\hat{\sigma}_{\Delta E} = \sigma$ e $\hat{\sigma}_{\Delta N} = \sigma$	versus	$H_1:$	$\hat{\sigma}_{\Delta E} > \sigma$ e $\hat{\sigma}_{\Delta N} > \sigma$
--------	---	--------	--------	---

onde : σ é o desvio padrão esperado que é calculado por (Equação 1):

$$\sigma = \frac{EP}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

Para se testar a hipótese H_0 contra a H_1 calcula-se um qui-quadrado amostral e compara-se com o valor teórico obtido da distribuição de probabilidade de qui-quadrado (χ^2). Este valor teórico é obtido em tabelas próprias onde se utiliza como argumento os graus de liberdade ($\nu = n-1$) e o nível de confiança ($1-\alpha$).

Os valores dos qui-quadrado amostrais são obtidos com as seguintes Equações 2 e 3.

$$\hat{\chi}_E^2 = \frac{\hat{\sigma}_{\Delta E}^2}{\sigma^2}(n-1) \quad (2)$$

$$\hat{\chi}_N^2 = \frac{\hat{\sigma}_{\Delta N}^2}{\sigma^2}(n-1) \quad (3)$$

se $\hat{\chi}_E^2 \leq \chi_{1-\alpha}^2$ e $\hat{\chi}_N^2 \leq \chi_{1-\alpha}^2$ forem simultaneamente verdadeiras então pode-se afirmar que o documento cartográfico atendeu a expectativa de precisão requerida.

No teste de tendência (Tabela 3), o que é verificado é se a média das discrepâncias pode ser considerada estatisticamente como igual a zero, ou seja, se compara a hipótese

Tabela 3: Teste de hipótese para verificação de tendência do documento cartográfico

$H_0:$	$\overline{\Delta E} = 0$ e $\overline{\Delta N} = 0$	versus	$H_1:$	$\overline{\Delta E} \neq 0$ e $\overline{\Delta N} \neq 0$
--------	---	--------	--------	---

Utiliza-se a distribuição de probabilidade *t* Student e compara-se, um \hat{t} calculado contra um teórico extraído da tabela com $\nu = n-1$ graus de liberdade e $(1 - \alpha/2)$ nível de confiança.

O valor de \hat{t} é obtido pelas Equações 4 e 5.

$$\hat{t}_{\Delta E} = \frac{\overline{\Delta E}}{\hat{\sigma}_{\Delta E}} \sqrt{n} \quad (4)$$

$$\hat{t}_{\Delta N} = \frac{\overline{\Delta N}}{\hat{\sigma}_{\Delta N}} \sqrt{n} \quad (5)$$

se $|t_{\Delta E}| < t_{1-\alpha/2}^{\nu=n-1}$ ou $|t_{\Delta N}| < t_{1-\alpha/2}^{\nu=n-1}$ forem simultaneamente verdadeiras a hipótese H_0 é válida e o documento cartográfico está livre de tendência significativas.

4. Resultados e Discussão

Durante o trabalho de campo, foram rastreados 64 pontos de um total de 62 pontos planejados. A acurácia média ficou na casa do centímetro havendo apenas dois pontos que ficaram com a acurácia de aproximadamente 20 centímetros, o que representou 1/3 do valor da resolução espacial da ortofoto digital.

Através da comparação os 64 pontos levantados em campo, com suas respectivas posições na ortofoto digital, foram possíveis quantificar os deslocamentos de cada ponto na direção E (ΔE) e N (ΔN), além do deslocamento total resultante. Para atender ao padrão de exatidão cartográfico classe A para a escala 1:5.000, um certo conjunto dos pontos levantados não deveriam ter deslocamentos maiores que 2,5 metros quando comparados com suas posições homólogas na ortofoto digital e na ortoimagem. Para a ortofoto digital, no caso da direção E, 95,31% dos pontos apresentaram deslocamentos menores que 2,5 metros, no caso da direção N, 98,43% dos pontos apresentaram deslocamentos menores que 2,5 metros e finalmente, no caso do deslocamento total resultante, 92,18% dos pontos apresentaram deslocamentos menores que 2,5 metros.

Para a ortoimagem, no caso da direção E, 93,73% dos pontos apresentaram deslocamentos menores que 2,5 metros, no caso da direção N, 85,94% dos pontos

apresentaram deslocamentos menores que 2.5 metros e finalmente, no caso do deslocamento total resultante, 71,88% dos pontos apresentaram deslocamentos menores que 2.5 metros.

Assim, dando seqüência ao trabalho de validação, calculou-se a média e o desvio padrão das discrepâncias para cada uma das coordenadas dos dois produtos, conforme mostra a tabela 4.

Tabela 4: Valores médios e desvios-padrão dos deslocamentos da ortofoto e da ortoimagem

Ortoimagem Quickbird	$\overline{\Delta E} =$	-0,171 m	$\overline{\Delta N} =$	0,811 m
	$\hat{\sigma}_{\Delta E} =$	1,418 m	$\hat{\sigma}_{\Delta N} =$	1,612 m
Ortofoto Digital	$\overline{\Delta E} =$	0,733 m	$\overline{\Delta N} =$	-0,548 m
	$\hat{\sigma}_{\Delta E} =$	1,012 m	$\hat{\sigma}_{\Delta N} =$	1,130 m

Em seguida, foram calculados os valores do desvio-padrão esperado e os qui-quadrados amostrais das coordenadas para cada classe. Estes valores estão resumidos na tabela 5.

Tabela 5: Valores do desvio-padrão esperado e os qui-quadrados amostrais das coordenadas para cada classe de padrão de exatidão cartográfica

Classe	σ	$\hat{\chi}_E^2$	$\hat{\chi}_N^2$
Ortoimagem Quickbird			
A	1,061 m	112,592	145,463
B	1,768 m	40,533	52,367
C	2,121 m	28,148	36,366
Ortofoto Digital			
A	1,061 m	60,117	67,134
B	1,768 m	36,070	40,280
C	2,121 m	30,058	33,567

O valor teórico obtido na tabela é $\chi_{0,9}^{2, \nu=63} = 77,74$.

No caso da ortoimagem Quickbird, constata-se que os qui-quadrados amostrais são maiores que o teórico na classe A, portanto a imagem Quickbird não pode ser considerada com nível de confiança de 90% como classe A. No entanto pelos valores dos qui-quadrados amostrais ele pode ser classificada como B. Não se pode afirmar, que a classificação da ortoimagem Quickbird como classe B e não como classe A, se deve exclusivamente a qualidade do sensor orbital, pois outros fatores tais como apoio suplementar insuficiente, ou ainda dados de relevo inadequados podem interferir significativamente na qualidade geométrica da ortoimagem.

No caso da ortofoto digital, constata-se que os qui-quadrados amostrais são menores que o valor teórico e, portanto a ortofoto pode ser considerada com nível de confiança de 90% como classe A.

No teste de tendência para a ortoimagem Quickbird, foram calculados os \hat{t} amostrais e obteve-se, $\hat{t}_{\Delta E} = 0,97$ e $\hat{t}_{\Delta N} = 4,03$.

O valor teórico obtido na tabela foi $t_{0,95}^{\nu=63} = 1,670$.

Constata-se pelo teste que a ortoimagem QuickBird tem um deslocamento na coordenada N uma vez que o valor de $\hat{t}_{\Delta N}$ é maior que o teórico.

No teste de tendência para a ortofoto digital, foram calculados os \hat{t} amostrais e obteve-se, $\hat{t}_{\Delta E} = 5,79$ e $\hat{t}_{\Delta N} = -3,88$.

O valor teórico obtido na tabela foi $t_{0,95}^{\nu=63} = 1,670$.

Constata-se pelo teste que a ortofoto digital não está livre de tendências. O fato da ortofoto digital não ter passado no teste de tendência apenas indica que poderia ser efetuada uma pequena translação em E e N, todavia como a mesma atendeu ao PEC, não se recomenda esse procedimento.

5. Conclusões

A atividade de avaliação do padrão de exatidão cartográfico, ainda é pouco realizada no Brasil, porém deve ser considerado como parte integrante (que completa) o trabalho de Engenharia Cartográfica, uma vez que uma obra de engenharia é caracterizada não somente pela materialização do produto final, mas também pelo conhecimento científico de suas exatidões e/ou qualidades.

Este trabalho realizado no município de Goiânia, que ocupa uma área geográfica de 740,53 km² contou com uma equipe de somente três profissionais (dois Engenheiros Cartógrafos e um Engenheiro Agrimensor – autores deste trabalho) e foi elaborado em apenas sete dias. Esta rapidez se deve ao conhecimento especializado dos profissionais envolvidos, ao planejamento cuidadoso do trabalho de campo e a adoção de tecnologia apropriada tanto para o levantamento de campo quanto para o trabalho de análise final. Desta forma, fica provado que não existem argumentos para a não execução de tal atividade.

O município de Goiânia, conta nos dias atuais com a principal ferramenta para vencer os obstáculos do desenvolvimento social, econômico, ambiental e institucional, ou seja, dados geograficamente referenciados, com níveis de qualidade conhecidas de seu território. Desta forma, será possível realizar correções e ajustes do Mapa Urbano Básico Digital de Goiânia, bem como adotar definitivamente documentos cartográficos com qualidade conhecida, em seu processo de gestão territorial. Os autores consideram que a publicação e divulgação deste trabalho junto aos diversos municípios do Brasil são de fundamental importância não somente para o futuro da cartografia nacional, mas também para que sejam adotados neste país procedimentos de gestão territorial cartograficamente orientadas com exatidão e confiança.

Referências Bibliográficas

Bolaffi, G.. **Habitação e Urbanismo: o problema e o falso problema**. In: MARICATO, E. (org.). **A Produção Capitalista da Casa (e da Cidade) no Brasil** Industrial – Ed. Alfa-Omega, São Paulo, 1982. p. 37 – 70.

Galo, M.; Camargo, P. de O.; **O uso do GPS no controle de qualidade de cartas**. In.: COBRAC - 1994, 1o Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Tomo II, p. 41-48, Florianópolis – SC.

IBGE. **Dados do censo populacional do Brasil**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso: 9 abril 2007.

Kowarick, L. e Campanário, M. **São Paulo: do milagre à crise**. Lua Nova, 1993. n. 28/29, pp.239-264.

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.

Nero, M. A. **Propostas para o Controle de Qualidade de Bases Cartográficas com Ênfase na Componente Posicional**. São Paulo, 2005. 186p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da USP, São Paulo. 2005.

Silva A, W. V.; Ferreira, N. C. ; Boggione, G. de A. **Análise de vetores de crescimento para a quantificação das transformações urbanas no município de Goiânia**. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - Anais 2005. p. 681-688.