

Escala máxima de uso do produto Ikonos-Geo: Estudo de caso para Araçoiaba da Serra

Gustavo Cruz da Silveira¹
Alex Sandro Akihiro Sasaki²
Carlos Eduardo Neves³
Prof. Dr. Erivaldo Antonio da Silva⁴
Prof. Msc. Mauro Issamu Ishikawa⁵

UNESP – Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências e Tecnologia
Rua Roberto Simonsen, 305. CEP 19060-900, Presidente Prudente – SP

¹cruzdasilveira@pop.com.br, ²sassakialex@yahoo.com.br, ³kadukas@hotmail.com,
⁴erivaldo@prudente.unesp.br, ⁵mauro@prudente.unesp.br.

Abstract: The progresses happened in the several Cartography areas aid in the development of new methodologies for the elaboration of cartographic products of better quality. In the area of remote sensing the largest revolution of the last times gave him with the release, for the North American company Space Imaging, of the satellite IKONOS that produces images that arrive to 1 meter of space resolution. The cartographic community takes a certain time to adapt its procedures to those progresses, therefore, the studies facts being used of those images tends to clarify its potential and they demonstrate which the advantages of its application in relation to the previous products.

Palavras-chave: high resolution images, quality analysis, imagens de alta resolução, análise da qualidade.

1 Introdução

Apontado como um dos mais importantes avanços científicos da atualidade, a técnica que utiliza imagens de satélites para o levantamento de informações de uso cartográfico deu um grande salto com o lançamento do satélite IKONOS em setembro de 1999. (Xavier, 2003).

O satélite IKONOS possui sensores capazes de gerar imagens com 1m de resolução espacial no modo pancromático e 4 m no modo multiespectral. O satélite está colocado em órbita de aproximação polar síncrono-solar a 680 km de altitude, permitindo passagens na mesma região a cada três dias. Também permite ser programado para fazer cobertura mono ou estereoscópica de áreas de interesse, com até 11 km x 11 km (Ishikawa, 2001).

O crescimento urbano ocorre com grande dinamismo e cada vez mais se faz necessário encontrar metodologias que auxiliem no mapeamento (principalmente na atualização de bases cartográficas) e no planejamento urbano com maior rapidez e menor custo. A elaboração de produtos cartográficos nas escalas 1:100.000 a 1:25.000 utilizando sensores de alta resolução já é uma realidade, porém para escalas maiores ainda são verificadas as suas reais possibilidades (Bias, 2003).

1.1 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo analisar a escala máxima de uso de uma imagem de alta resolução, produto IKONOS tipo GEO, em projetos cartográficos aplicados em áreas urbanas.

2 Controle de Qualidade

O controle de qualidade em cartografia é o processo que torna possível a verificação do nível de confiabilidade do produto. É lógico que cada aplicação tem sua tolerância e na medida que a tolerância aumenta essa preocupação pode se tornar desprezível, mas mesmo assim é importante conhecer a qualidade do produto utilizado (Galo e Camargo, 1994).

2.1 Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC)

O Decreto 89.817 de 20 de junho de 1984 – *Instruções reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional*, representa a norma que regulamenta as atividades cartográficas no Brasil. A seguir será apresentado um resumo do Capítulo II (artigos 8º e 9º), que estabelece a forma de classificação de um documento cartográfico segundo sua qualidade geométrica.

2.1.1.1 Classificação de uma carta quanto à exatidão

As cartas devem obedecer ao PEC, segundo o seguinte critério: Noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfico – Planimétrico – estabelecido.

O Padrão de Exatidão Cartográfica é um indicador estatístico por dispersão, relativo a 90% (noventa por cento) de probabilidade, que define a exatidão dos trabalhos cartográficos. O Erro Padrão isolado num trabalho cartográfico não ultrapassará 60,8% do Padrão de Exatidão Cartográfica.

2.1.1.2 Classes de cartas

As cartas, segundo sua exatidão, são classificadas nas classes A, B e C. A **Tabela 1** ilustra os valores do PEC e do Erro Padrão (EP) planimétrico segundo essas normas:

Tabela 1 – Valores do PEC e EP segundo Decreto nº 89.817/84

Classe	PEC	EP
A	0,5 mm	0,3 mm
B	0,8 mm	0,5 mm
C	1,0 mm	0,6 mm

3 METODOLOGIA

3.1 Área de Estudo

Está localizada no município de Araçoiaba da Serra – SP (**Figura 1**), distante 115 km da cidade de São Paulo, com uma altitude média de 625 m e uma população aproximada de 23.000 habitantes.

A imagem IKONOS disponibilizada para estudo é do tipo *Geo*, pancromática com 1 m de resolução espacial, foi obtida em 24 de março de 2000, abrangendo uma área de aproximadamente 64 km².

Considerando que o objetivo do trabalho é o uso de imagem de alta resolução como base planimétrica para aplicações em áreas urbanas, foi definida como área de estudo aquela contendo o perímetro urbano e os arredores da cidade de Araçoiaba da Serra, abrangendo uma área de aproximadamente 22 km². Salienta-se que esta área é relativamente plana, possuindo uma variação em torno de 80 metros.

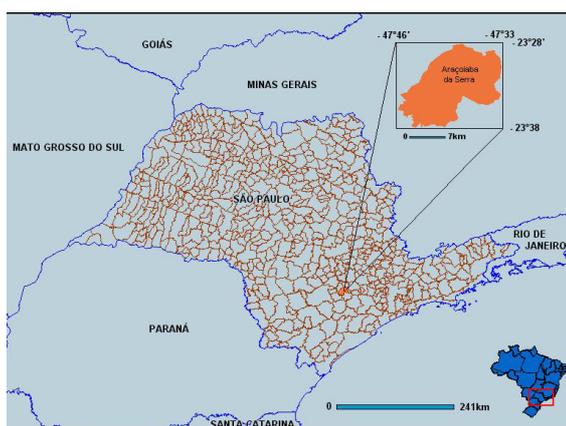


Figura 1 – Localização do município de Araçoiaba da Serra no Estado de São Paulo.
Fonte: IBGE (Adaptação)

3.2 Materiais Utilizados

Utilizou-se uma imagem IKONOS tipo Geo pancromática, um receptor de dupla frequência e dois receptores de simples frequência, 4000 SST e 4600 LS da Trimble, respectivamente, *software* GPSurvey 2.35, *software* de Processamento Digital de Imagens IRAS/C e o MicroStation SE.

3.3 Desenvolvimento

3.3.1 Levantamento GPS

A metodologia de controle de qualidade descrita por Merchant (1982) afirma que a exatidão de um mapa deve ser verificada a partir da comparação das coordenadas do terreno com as do mapa, de pelo menos 20 pontos bem definidos e distribuídos. Entretanto, segundo Bussab (1986) apud Nogueira Júnior (2003), o teorema do Limite Central afirma que a média amostral aproxima-se de uma normal quando o número de amostras tende para infinito. A rapidez dessa convergência depende da distribuição da população da qual a amostra é retirada. Como regra prática, aceita-se que para amostras com mais de trinta elementos a aproximação já pode ser considerada muito boa. A normalidade dos dados é requerida para que uma análise estatística possa ser efetuada com confiabilidade.

Portanto, optou-se por coletar o máximo de pontos possíveis em função do tempo disponível, para que se garantisse a obtenção de pelo menos 30 pontos, e assim, ter a possibilidade de se excluir algum ponto que não esteja bem identificável, que tenha alguma obstrução interrompendo o sinal de rastreamento do satélite (edificação, árvore).

3.3.1.3 Coleta de dados em campo

Segundo Merchant (1982), os pontos de controle a serem utilizados, devem ser determinados por procedimentos nos quais os erros na determinação de suas coordenadas não sejam superiores a 1/3 do erro padrão esperado na classe da carta. Desse modo, calculou-se a tolerância mínima para os pontos, tomando como parâmetro uma carta de classe A (erro padrão planimétrico de 0,3 mm na escala da carta). Como no Brasil, o produto mais avançado baseado na imagem IKONOS é o Precision e que pode ser utilizado numa escala máxima de 1:5.000, concluiu-se que os pontos deveriam ser determinados com precisão superior a 0,5 m. Sendo assim, o posicionamento relativo atende a tolerância exigida em relação ao erro padrão requerido no levantamento do ponto base e dos pontos de controle utilizando o sistema GPS. O método estático pode ser empregado visto que as distâncias entre os pontos de controle e base são maiores do que 10 quilômetros.

Dessa forma, foram levantados 40 pontos, como pode ser visto na **Figura 2**. A nomenclatura adotada refere-se primeiramente ao quadrante a que o ponto pertence, por isso a existência desse prefixo.

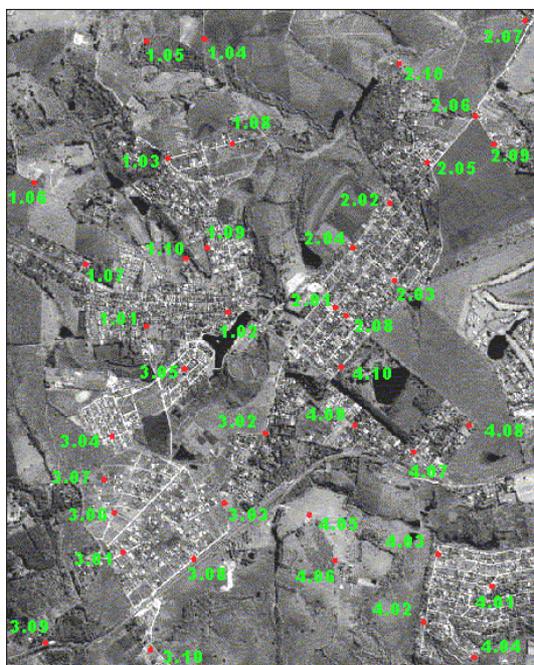


Figura 2 – Distribuição dos Pontos de Controle

3.3.1 Processamento dos Dados

Os dados foram processados utilizando o software GPSurvey.

Para o ponto base foi utilizado o receptor de dupla frequência e, de modo a aumentar a confiabilidade dos resultados, este foi processado em relação às estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC). Foram escolhidas as estações UEPP, VIÇOSA e CURITIBA, por questões de proximidade.

O ajustamento da rede foi realizado no programa TRIMNET *Plus* e o resultado do processamento foi aceito no teste χ^2 (Qui-quadrado) do *software*. Esse programa calcula com um nível de significância de 95% para a rede ajustada, sendo considerado aceito se o fator de referência (variância a posteriori) estiver próximo a 1 (o fator obtido foi de 1,07).

Com as coordenadas conhecidas do ponto base, realizou-se o processamento dos pontos de controle. Os pontos de controle são utilizados como ferramenta para verificar a exatidão de um produto cartográfico. Através deles pode-se fazer uma comparação entre as coordenadas homólogas no terreno e no mapa. Portanto, o ponto base foi fixado, tendo suas coordenadas definidas como origem e determinou-se as linhas de base para cada um dos pontos.

3.3.2 Georreferenciamento da imagem

Com os dados processados foi analisada a precisão de cada ponto e escolhidos seis pontos para efetuar-se o georreferenciamento. Estes pontos devem ter precisão alta (pequeno desvio padrão) e devem estar bem distribuídos. Para o georreferenciamento da imagem foram utilizados os softwares Microstation e IRAS/C.

Obter os parâmetros de transformação é um procedimento necessário para representar a realidade física e a escolha do melhor modelo matemático é fundamental para que os resíduos entre as coordenadas de imagem e as obtidas por levantamento sejam mínimos. Por isso, dentre as transformações planas, optou-se pela AFIM, e não pela ISOGONAL pois, segundo Ishikawa (2001), considerando que a transformação isogonal possui quatro parâmetros e à medida em que se diminui a quantidade de parâmetros, pode-se deixar de modelar efeitos que introduzem pequenas distorções geométricas, e considerando-se que a imagem é formada por um conjunto de elementos de área (pixels) que foram definidos por filtragens e amostragens em duas direções ortogonais e que passaram por um processo de reamostragem quando da aplicação da correção geométrica, é de se esperar que a utilização de dois fatores de escala, um ao longo das varreduras e outro na direção do traço da órbita, possa melhorar o registro entre as coordenadas da imagem e as coordenadas GPS. Após várias tentativas, o melhor resultado obtido foi onde utilizou-se os pontos 1.05, 2.06, 2.08, 3.02, 3.09 e 4.04.

O erro médio quadrático obtido nesse georreferenciamento foi de 3,0327 m, valor esse considerado razoável tendo em vista o fato de o imageamento ter sido feito no ano de 2000, e algumas feições podem ter tido variações significativas, porém, não perceptíveis.

3.3.3 Extração dos pontos na imagem

Após a etapa de georreferenciamento, a imagem foi aberta no *software* IRAS/C. Os pontos foram identificados e tiveram suas coordenadas extraídas manualmente, utilizando o *mouse*.

3.3.4 Discrepâncias

A **Tabela 2** apresenta os valores das discrepâncias calculadas entre os pontos coletados com GPS e os extraídos da imagem IKONOS georreferenciada.

Tabela 2 – Valores das discrepâncias calculadas (GPS X Imagem)

Ponto	ΔE	ΔN	Ponto	ΔE	ΔN
1.01	-2,0597	16,0949	3.03	0,1466	3,2117
1.02	1,1496	15,5248	3.04	1,0818	17,3638
1.03	-3,2460	0,1642	3.05	0,6929	18,1274
1.04	-3,3224	9,8755	3.06	-2,7200	-4,6470
1.06	-24,0460	10,2800	3.07	-1,1317	5,2738
1.07	-2,3131	6,9064	3.08	0,6052	-8,8725
1.08	-2,0709	12,5854	3.10	0,0801	-23,6100
1.09	-1,3233	16,4110	4.01	-0,1211	-15,3355
1.10	0,2332	8,3691	4.02	-1,0629	-8,6587
2.01	1,0703	0,4421	4.03	-0,8302	-1,9410
2.02	-1,6048	0,5592	4.05	-0,5844	2,5858
2.03	-0,6862	2,0859	4.06	0,0907	-4,7795
2.04	-1,9730	3,2870	4.07	-1,2588	-16,5102
2.05	-1,9059	-10,0601	4.08	0,0923	-20,8514
2.07	-3,7859	-12,9869	4.09	-0,1730	-2,6074
2.09	-1,5587	-10,6612	4.10	1,0792	0,0379
2.10	-0,1829	10,4610	Média	-1,0045	-0,2975
3.01	-2,7610	-12,7962	Desvio Padrão	1,4620	11,3120

Segundo Ishikawa(2001), durante a gravação de uma cena, o satélite pode sofrer alterações dinâmicas de altitude e velocidade, bem como arraste durante a varredura e variação do tempo útil da varredura. Isto ocasiona a conseqüente variação do comprimento do pixel, e pode ter como conseqüência a variação da posição do ponto. Tal fato poderia explicar, de certo modo, os valores das discrepâncias observadas na direção N, que são maiores do que os verificados na direção E. Pode-se notar também que os vetores tendem para uma mesma direção de acordo com o aparelho utilizado, como pode ser vistos na **Figura 3**.

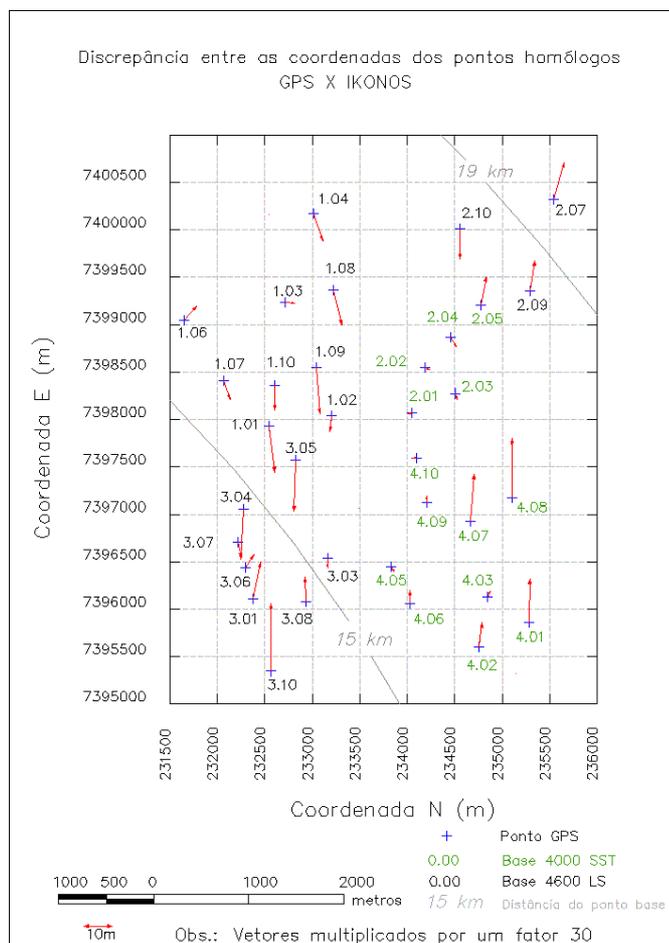


Figura 3 – Vetores das discrepâncias

3.3.5 Análise da qualidade posicional da imagem IKONOS/GEO

A análise estatística da exatidão cartográfica planimétrica descrita por Merchant (1982) é composta pela análise de tendências para verificar a existência de erros sistemáticos e a análise de precisão. Tais procedimentos são baseados na realização de testes de hipótese sobre a média e o desvio padrão amostral das discrepâncias, obtidas através da diferença entre as coordenadas dos pontos (terreno e imagem).

3.3.6.1 Análise de tendência

Segundo a metodologia descrita por Merchant (1982), a análise estatística das discrepâncias obtidas é a base para a análise de tendência, para tanto, sugere-se a utilização da estimativa intervalar t de Student, sendo esta válida para amostras menores do que 30, consideradas pequenas. No caso desse trabalho a amostra é constituída de 34 pontos, ou seja maior do que o estabelecido. Contudo, de acordo com os estudos comparativos descritos por Nogueira Junior (2003), o uso da a distribuição normal é mais recomendado.

Porém, tendo em vista que para ambas as distribuições a formulação para a obtenção do valor da estatística amostral (t e z) são similares, foi feita a análise utilizando-se as duas distribuições. Seguindo normas do decreto 89.817/84, foi adotado o intervalo de confiança de 90% de certeza para a média populacional a partir da média amostral e do desvio padrão amostral. Portanto, determinou-se a estatística amostral (t e z), e verificou-se se o valor amostral está no intervalo de aceitação ou rejeição da hipótese nula ($|t| < t_{(33;0,05)}$ e $|t| < z_{(0,05)}$).

Os parâmetros utilizados nas análises podem ser vistos na **Tabela 3**:

Tabela 3 – Parâmetros da análise de tendência

N	34 pontos
$\overline{\Delta X_E}$	-1,0045 m
$\overline{\Delta X_N}$	-0,2975 m
S_E	1,462 m
S_N	11,312 m
$t_{(33;0,05)}$	1,6924
$z_{(0,05)}$	1,64

Verificando-se a hipótese nula, obteve-se os seguintes valores para cada classe, como pode ser visto na **Tabela 4**:

Tabela 4 – Resultados da análise de tendência

	Classe A	Classe B	Classe C
EP	6	7,5	6
σ_x	4,2426	5,3033	4,2426
t_E	-1,3805	-1,1044	-1,3805
t_N	-0,4089	-0,3271	-0,4089
Escala Máxima	1:20.000	1:15.000	1:10.000

Esse resultado indica que as discrepâncias entre as coordenadas coletadas e as extraídas na imagem IKONOS não são significativas para essas escalas, aceitando-se assim a hipótese nula com um nível de confiança de 90%.

3.3.6.2 Análise da precisão

Essa análise é feita através da comparação entre o desvio padrão das discrepâncias com o erro padrão (EP) esperado para a classe que está sendo analisada. Para tanto, utilizou-se da estimativa dada pela distribuição Qui-quadrado (χ^2), num intervalo de confiança de 90%

Os resultados obtidos com a análise da precisão ($\chi^2 < \chi^2_{(33;10\%)}$), podem ser verificados na **Tabela 5**:

Tabela 5 – Resultados da análise de precisão

	<i>Classe A</i>	<i>Classe B</i>	<i>Classe C</i>
EP	15	15	15
σ_x	10,607	10,607	10,607
χ^2_E	0,6269	0,6269	0,6269
χ^2_N	37,5324	37,5324	37,5324
$\chi^2_{(33;10\%)}$	43,745	43,745	43,745
Escala Máxima	1:50.000	1:30.000	1:25.000

Essa comparação demonstra que o produto IKONOS/Geo, nessa área (município de Araçoiaba da Serra), atende aos requisitos de precisão para ambas as direções. Assim, essa imagem atende aos requisitos geométricos de um mapeamento numa escala de no máximo de 1:50.000 para a classe A, de 1:30.000 para a classe B e 1:25.000 para a classe C, para um nível de confiança de 90%.

4 Conclusões

No presente trabalho, foi feita uma verificação da potencialidade de uso de uma imagem IKONOS, produto GEO, tendo como objetivo sua utilização em projetos cartográficos aplicados em áreas urbanas. Os objetivos foram alcançados, porém, algumas dificuldades foram encontradas impossibilitando, assim, um resultado melhor.

Durante o período de levantamentos foram utilizados dois tipos de receptores (simples e dupla frequência). O aparelho de dupla frequência tratava-se de um receptor Trimble 4000 SST que por motivos de vida útil, teve apenas dois dias de funcionamento efetivo. Sendo assim, a solução encontrada foi utilizar um dos receptores 4600 LS (simples frequência) como receptor base e utilizar o outro para coletar os pontos em campo, já que se possuía dados coletados com o receptor de dupla frequência para a determinação das coordenadas da base. As linhas de base obtiveram uma média de aproximadamente 17 km devido ao fato de que o ponto base estava localizado em uma chácara fora do perímetro urbano da cidade e também da área de estudo. Isso poderia afetar de sobremaneira os resultados, porém, verificou-se que o levantamento atendeu aos requisitos do trabalho.

Ao analisar o gráfico das discrepâncias, percebeu-se que houve tendência em sentidos opostos na componente N se levarmos em consideração qual aparelho foi utilizado como base. Desta forma se o levantamento tivesse sido realizado com apenas um aparelho como base, poderia ter apresentado tendência para algum dos sentidos em especial na coordenada N, onde as discrepâncias foram maiores.

Com relação ao georreferenciamento, podemos concluir que alguns fatores que influenciaram no valor do erro médio quadrático. A imagem tinha 4 anos em relação à data de coleta de dados em campo. Nesse período a cidade se desenvolveu e com isso detalhes observados em campo não existiam na imagem ou mesmo o contrário (feições existentes na imagem já não existiam in loco). Principalmente vias não pavimentadas obtiveram suas larguras alteradas, por não possuírem passeios definidos (guias de concreto ou

paralelepípedo), sendo estas as principais feições utilizadas como alvo na coletadas em campo (cruzamento de vias). A escolha dos melhores pontos para o georreferenciamento (melhor precisão, distribuição e menor erro padrão) teve importância para que as discrepâncias das coordenadas coletadas em campo com GPS e as extraídas da imagem fossem as menores possíveis.

Na análise estatística, com relação à verificação de tendência, com os resultados obtidos (ausência de tendências em ambos eixos de coordenadas E e N nos testes *t* de Student e Normal), pode-se constatar que, como os pontos coletados estavam dentro do perímetro urbano, área relativamente plana, não sofreram grandes distorções posicionais. Também pelo fato da imagem ter sido obtida pelo tipo de visada *nadir* (visada onde o ângulo de inclinação do espelho do satélite é igual a zero). Quanto à análise de precisão, concluiu-se que a escala máxima foi de 1:50.000 para a classe A, 1:30.000 para a classe B e 1:25.000 para a classe C.

Observa-se que o Decreto nº 89.817/84 não indica com clareza qual método estatístico deve ser utilizado na avaliação da qualidade posicional de produtos cartográficos, bem como o critério de determinação do tamanho da amostra e sua distribuição.

Desta forma conclui-se que as imagens IKONOS do tipo GEO são razoáveis ferramentas no uso de produtos cartográficos em áreas urbanas, não sendo a opção mais recomendada. Com a resolução espacial de 1 metro, a imagem IKONOS/GEO pode ser muito útil na identificação das alterações ocorridas no espaço urbano, como sua ocupação e expansão, mas não substitui a ida a campo para o processo de atualização de uma base cadastral.

Quanto à potencialidade da imagem, a *Space Imaging*, orienta a seus usuários que o produto do tipo Geo, atende aos requisitos geométricos de um mapeamento na escala máxima de 1:100.000. Mas alguns estudos demonstram que em alguns casos, esse valor pode variar, e esse trabalho vem reforçar a idéia de que é possível obter resultados melhores de acordo com os procedimentos utilizados.

Referências

- BIAS, E. S. Análise de Precisão e do Custo das Imagens de Alta Resolução Ikonos Orto Kit para Geração de Mapas Cartográficos. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 21., 2003, Belo Horizonte. **Anais ...** Belo Horizonte: SBC, 2003. CD-ROM.
- BUSSAB, W. O. **Estatística Básica**. 3. ed. São Paulo: Atual, 1986. 321p. (Métodos Quantitativos).
- FILHO, C. R. S. Sensoriamento remoto orbital - Uma breve viagem no tempo e no espaço. **Revista InfoGeo**, Curitiba, ano 4, n. 31, mar./abr. 2003.
- GALO, M.; CAMARGO, P. O. O uso do GPS no controle de qualidade de cartas. In: COBRAC, 1., 1994, Florianópolis. **Anais ...** Florianópolis: UFSC, 1994, tomo II. p. 41-48.
- ISHIKAWA, M. I. **Estudo da viabilidade da imagem IKONOS, produto Geo, para aplicações cartográficas urbanas**. 2001, 82p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2001.
- MERCHANT, D. C. Spatial Accuracy Standards for Large Scale Line Maps In: American Congress on Surveying and Mapping, 1982, Denver, CO. **Proceedings ...** Denver, CO: ACS, 1982. v.1, p. 222-231.
- NOGUEIRA JUNIOR, J. B. **Controle de qualidade de produtos cartográficos: uma proposta metodológica**. 2003. 159p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2003.
- SILVA, A. M. Imagens de Alta Resolução: Uma realidade cada vez maior. **Revista InfoGeo**. Curitiba, ano 4, n.29, p. 48-49, jan./fev. 2003.
- TOUTIN, T.; CHENG, P. Desmistificando o IKONOS. **Revista InfoGeo**. Curitiba, ano 3, n.15, p.48-54, set./out. 2000.
- XAVIER, M. Uma nova era. **Revista InfoGeo**. Curitiba, ano 4, n.29, p.24-27, jan./fev. 2003.