

OTIMIZAÇÃO DA RESTITUIÇÃO FOTOGRAMÉTRICA DIGITAL URBANA: RELAÇÃO ESCALA DA FOTOGRAFIA E A RESOLUÇÃO GEOMÉTRICA DA IMAGEM

*Otimizing the urban photogrammetric digital restitution: the relation between scale ph
photograph and the geometric image resolution.*

¹ROBERTO ELIZEU PREOSCK

²EDSON APARECIDO MITISHITA

²ALZIR FELIPPE BUFFARA ANTUNES

¹Aeroimagem Aerofotogrametria S.A.

²Universidade Federal do Paraná

preosck@aeroimagem.com; mitishita@ufpr.br; Felipe@ufpr.br

RESUMO

Atualmente, pode se afirmar que grande parte dos mapeamentos fotogramétricos realizados no país ainda é realizada com imagens digitais provenientes de câmaras aerofotogramétricas analógicas e da digitalização dos negativos com o emprego de *scanners* fotogramétricos. Isto é devido aos elevados custos de uma câmara digital aerofotogramétrica, da impossibilidade da utilização de câmara digital aerofotogramétrica nos recobrimentos em todas as escalas, das dificuldades operacionais existentes com a utilização de câmaras digitais não fotogramétricas e sem dúvida, do processo de aproveitamento de tecnologias já existentes nas empresas de mapeamento aerofotogramétrico. Apesar da grande mudança no processo produtivo analógico-digital, pouca coisa foi modificada ou proposta com relação à resolução geométrica da imagem versus escala de mapeamento. Os mesmos conceitos e conhecimentos adquiridos com a fase analógica continuam sendo utilizados no dias atuais sem nenhuma alteração significativa para a era digital. Variáveis existentes no processo de obtenção de imagens digitais, em função da escala do recobrimento aéreo e resolução da digitalização, podem ser combinadas a fim de garantir melhor desempenho do processo de mapeamento fotogramétrico digital, com vista à maximização da relação Benefício/Custo. Como base nesta condição, apresenta-se neste trabalho uma nova proposta metodológica para a realização de mapeamento aerofotogramétrico urbano na escala de 1:2.000

que tem por objetivo à maximização de desempenho no que se refere à facilidade operacional, menor tempo no processo produtivo, exatidão posicional necessária e menor custo no processo produtivo.

Palavras Chave: Resolução Espacial; Dimensão do Pixel; Fotogrametria Digital.

ABSTRACT

Nowadays, we can say that a considerable amount of photogrammetric mappings carried out in the country are still based on digital images proceeding from analogical aerophotogrammetric cameras and the transformation for the digital form using the photogrammetric scanners. The reasons for this situation are the high costs of a metric digital camera, the impossibility of taking photos in all scales, the existing operational difficulties using non-photogrammetric digital cameras and of course, the advantages of maintaining the existing technologies in the photogrammetric mapping companies. Although important changes have happened added to the analogical-digital productive process, very little has been modified or proposed regarding the geometric resolution of the image versus mapping scale. The same concepts and knowledge acquired during the analogical phase are still being used. Existing variables in the process of generation of digital images from conventional aerophotos can be combined in order to guarantee a better use of them when considering the possibility of increasing the benefit/cost relation. As a result, a new methodology of producing photogrammetric mappings is presented in this article. The new procedure is based on the performance increasing due to the new operational flowchart, the less time in the productive process, the necessary positional accuracy and the less cost in generating urban mapping scale 1:2.000.

Key Words: Spatial Resolution; Pixel Size; Digital Photogrammetry.

1. INTRODUÇÃO

A Fotogrametria vem tendo avanços consideráveis no âmbito digital, principalmente nos últimos 10 anos. As Estações Fotogramétricas Digitais (EFD) substituíram os aparelhos fotogramétricos analíticos e semi-analógicos no mercado nacional e internacional. Os *scanners* fotogramétricos de alta resolução permitem a digitalização de filmes aéreos com grande precisão geométrica e excelente qualidade radiométrica e, mais recentemente, a câmara aérea digital tornou-se substituta das câmaras aéreas analógicas.

As EFD apresentam recursos de ampliação da imagem até a visualização do pixel, permitindo um maior detalhamento na visualização das feições a serem restituídas, quando comparadas aos equipamentos analógicos e analíticos. Muitas vezes, tem-se a falsa impressão de maior precisão devido a ampliação dos detalhes, porém, a precisão da fotografia depende basicamente de sua escala original, da resolução do filme aéreo utilizado e da resolução geométrica utilizada na digitalização da mesma.

Nos dias atuais, a definição da resolução geométrica da imagem tem sido estabelecida em função dos conhecimentos adquiridos na Fotogrametria convencional e adaptados para a digital. Poucos trabalhos foram feitos para autenticar tais modificações e adequações. Testes práticos (empíricos) têm sido um grande aliado nestas definições. Estudos mais criteriosos precisam ser desenvolvidos para corroborar os parâmetros - resolução geométrica e escala da fotografia - hoje em uso ou apontar para novos valores e procedimentos a serem adotados e que permitam obter um melhor desempenho na obtenção do produto fotogramétrico final.

Conforme JACOBSEN (2001, p.1), fotografias aéreas convencionais, em qualquer escala e obtidas com as câmaras fotogramétricas em uso, têm um poder de resolução aproximado de 40 lp/mm ou 25 $\mu\text{m/lp}$. Logo, a digitalização do filme com dimensão do pixel menor que a calculada em função destes parâmetros seria desnecessário.

HEIPKE (1999), utilizou resoluções geométricas de 20 μm a 30 μm nos testes realizados para a OEEPE (European Organisation for Experimental Photogrammetric Research) e ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing), com o objetivo de avaliar o desempenho da extração automática de pontos fotogramétricos de ligação no processo de aerotriangulação.

PATIKOVA (2004), recomenda para os trabalhos de Fotogrametria Digital, o emprego da resolução espacial em torno de 21 μm (1200dpi). MIHAJLOVIC *et al.* (2004), empregou uma resolução de 20 μm na digitalização das fotografias para a geração de ortofotos na Sérvia. COLOMER (1993), mostra os aspectos operacionais e funcionais para a atualização cartográfica na escala 1:5.000 a partir de fotografias preto e branco em escala 1:22.000, baseados na digitalização de filmes aéreos para uso em EFD, o qual indicou o uso da resolução geométrica de 7,5 μm para compilação de áreas urbanizadas e 15 μm para as rurais.

Conforme SCHENK(2002, p.238) e COLOMER(1993, p.187), a acurácia dos produtos fotogramétricos digitais depende fundamentalmente da resolução do sistema de lentes das câmaras aéreas digitais, dos scanners e dos algoritmos utilizados.

Considerando o mapeamento urbano planialtimétrico na escala 1:2.000, o mais usual no Brasil, apresenta-se neste trabalho os resultados de pesquisa desenvolvida, que teve como objetivo a obtenção da melhor resolução geométrica da imagem a ser utilizada no processo fotogramétrico, em função da escala da fotografia aérea e da resolução empregada no processo de digitalização, tendo em consideração a acurácia posicional dos produtos gerados.

A base para a realização da pesquisa consistiu de restituições fotogramétricas digitais em uma área teste, empregando diversas escalas de fotografias e resoluções geométricas de imagens. Testes de precisão e exatidão foram conduzidos para a validação dos resultados.

Foram planejadas e executadas quatro coberturas aerofotogramétricas nas escalas de 1:8.000 (a usual), 1:10.000, 1:12.000 e 1:15.000. O filme aéreo, após o processamento fotográfico, foi digitalizado num *scanner* fotogramétrico, com o uso de diferentes resoluções geométricas.

Quatro coberturas aerofotogramétricas específicas para a realização desta pesquisa foram realizadas em quatro diferentes escalas, pela empresa Aeroimagem Aerofotogrametria S.A., onde foi empregada a câmara aérea WILD RC10 (parâmetro AWAR é de 44 lp/mm), distância focal 151,875 mm e o filme fotográfico KODAK Aerocolor III 2444 (100-125 lp/mm). A tabela 1 mostra as características da cobertura aérea realizadas. A região escolhida para o trabalho foi a cidade de Araucária, Paraná, pertencente à região metropolitana de Curitiba.

Tabela 1 – Relação das Escalas de Vôo Realizadas para o Projeto.

Escala da fotografia	Número de faixas	Direção de vôo	Número de fotos	Altura de vôo (m)
8.000	1	N-S	7	1215
10.000	1	N-S	6	1518
12.000	1	N-S	6	1822
15.000	1	N-S	8	2278
20.000	1	N-S	6	3037

Para cada uma das coberturas aerofotogramétricas, foram executadas todas as etapas de um projeto de aerofotogrametria, tendo como objetivo comum a geração de uma carta planialtimétrica na escala 1:2.000. Tais etapas compreenderam a digitalização do negativo, apoio terrestre, aerotriangulação e restituição. Posteriormente foi procedida a avaliação dos resultados, tendo como base um conjunto amostral de no mínimo 20 pontos (De acordo com metodologia proposta por NSSDA, CSS-ASPRS, MANUAL OF PHOTOGRAMMETRY), os quais tiveram suas coordenadas determinadas em campo e comparadas com as extraídas das cartas compiladas.

2. RESOLUÇÃO GEOMÉTRICA DA IMAGEM

A resolução geométrica da imagem fotográfica não deve ser definida levando-se em consideração apenas a resolução do filme aéreo, mas sim de todo o conjunto envolvido no instante da tomada da fotografia. Conforme LIGHT (1996, p.285), a definição da resolução geométrica da imagem no filme aéreo é o somatório da resolução do conjunto formado pela câmara aérea e filme fotográfico, conhecido como AWAR (*area weighted average resolution*), ou seja, a resolução da média ponderada de área. O valor do parâmetro AWAR é dado em pares de linhas por milímetro (lp/mm). O parâmetro AWAR depende basicamente de cinco elementos:

- Sistema de lentes;

- Filme original;
- Arrastamento da imagem no filme, o qual pode ocorrer, devido à relação entre a velocidade da aeronave e o tempo de exposição da tomada da fotografia;
- Movimento angular (AM, *angular motion*) e
- Movimento no deslocamento da aeronave (FM, *forward motion*).

Segundo LIGHT(1996, p.286), os elementos acima são controláveis. São erros sistemáticos que podem ser evitados ou corrigidos. Dois outros elementos não controláveis influenciam na resolução geométrica final da imagem: a atmosfera e o contraste natural das feições (insolação, sombras, etc). Estes fatores, se não observados no planejamento e execução da cobertura aérea tendem a reduzir a resolução do sistema para menos que 40 lp/mm.

3. DEFINIÇÃO DA DIMENSÃO DO PIXEL

Neste trabalho, a dimensão do pixel foi definida de modo que todos os elementos existentes na imagem do negativo fossem capturados pelo processo de digitalização. A dimensão do pixel a ser utilizada no processo de digitalização foi determinada segundo LIGHT (1996), onde são propostos o emprego do parâmetro AWAR e a consideração de que um par de linhas por milímetro equivale a dois pixels na imagem digital a ser gerada na digitalização. Para simplificação, denominaremos o termo AWAR de RES (resolução da imagem no filme). Assim a dimensão do pixel, segundo o autor, poderá ser determinada através da seguinte condição:

$$\frac{RES}{2\sqrt{2}} \leq Pixel \leq \frac{RES}{2} \quad (1)$$

onde, RES é a resolução (AWAR) da imagem no filme em micra.

O valor AWAR do sistema de lentes da câmara aérea WILD RC10 utilizada neste trabalho é de 44 lp/mm, logo, o parâmetro RES tem o seguinte valor:

$$RES = \frac{1mm}{AWAR} \times \frac{1000 \mu m}{mm} = 22,7 \mu m$$

Aplicando o valor acima na equação 1, chega-se aos valores mínimo e máximo para a dimensão do pixel:

$$\frac{RES}{2\sqrt{2}} \leq Pixel \leq \frac{RES}{2}$$

$$\frac{22,7}{2\sqrt{2}} \leq Pixel \leq \frac{22,7}{2}$$

$$8,0\mu m \leq Pixel \leq 11,3\mu m$$

Sendo o pixel médio igual a 9,6 μm ou 10 μm .

Com a resolução geométrica de 10 μm garante-se que todos os elementos ou feições contidos no negativo do filme aéreo sejam capturados pelo processo de digitalização da fotografia.

O scanner fotogramétrico WEHRLI RM-5 utilizado no processo de digitalização, possui resolução geométrica mínima de 8 μm , ou seja, 20% abaixo do valor do pixel médio calculado. Pôde-se definir o novo intervalo para a definição da resolução geométrica, o qual ficou entre 10 μm e 16 μm .

Utilizando-se a resolução de 10 μm , obtida da re-amostragem da imagem original digitalizada com a resolução de 8 μm , o arquivo digital ficou com 1,59 Gb. Arquivos digitais com este tamanho são de difícil gerenciamento pelos computadores atuais, mesmo com o uso de placas gráficas especiais para acelerar o processo de visualização das imagens no monitor de vídeo (o sistema tem que manipular em tempo real duas imagens de 1,59 Gb cada uma). Utilizando-se a resolução de 16 μm o arquivo da imagem ficou com 620 Mb, dimensão que permite o fácil manuseio e gerenciamento no processamento fotogramétrico.

Embora a resolução de 16 μm seja inferior ao valor médio calculado de 10 μm , uma análise visual realizada nas imagens mostrou que esta resolução geométrica manteve a qualidade visual da imagem muito próxima a da gerada com resolução de 8 μm . São valores que estão dentro ou no limiar da resolução do conjunto do sistema de lentes e filme fotográfico. Assim, foram adotadas nesta pesquisa as resoluções geométricas de 16 μm e 24 μm (usual).

Na tabela 2, são apresentadas as escalas fotográficas e resoluções geométricas envolvidas no processo, formando sete conjuntos distintos.

Tabela 2 – Escalas Fotográficas e Resolução Geométrica das Imagens.

Conjunto	Escala da foto	Resolução geométrica (μm)	Dimensão do pixel (m)
1	1:8.000	24	0,192
2	1:10.000	16	0,160
3		24	0,240
4	1:12.000	16	0,192
5		24	0,288
6	1:15.000	16	0,240
7		24	0,360

4. ACURÁCIA POSICIONAL DA CARTA

A forma de validação da qualidade geométrica dos produtos fotogramétricos obtidos, foi com base na avaliação da acurácia posicional de uma carta na escala de 1:2.000. Foram consideradas duas metodologias diferentes:

- Classificação das cartas obedecendo ao Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC e
- Avaliação das cartas segundo o National Standard for Spatial Data Accuracy – NSSDA.

O Decreto Lei nº 89.817 de 20 de junho de 1984, estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. O capítulo II trata da classificação das cartas quanto à exatidão, a qual deve obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC, segundo os seguintes critérios:

- Noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica – Planimétrico – estabelecido e
- Noventa por cento dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação das curvas de nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica – Altimétrico – estabelecido.

Segundo o Decreto, o Padrão de Exatidão Cartográfica é definido como um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos. A probabilidade de 90% corresponde a 1,6449 vezes o Erro Padrão. O Erro Padrão isolado num trabalho cartográfico, não ultrapassará 60,8% do Padrão de Exatidão Cartográfica.

O Decreto define que as cartas, segundo a sua exatidão serão classificadas nas Classes A, B e C, conforme a tabela 3, onde os valores planimétricos são determinados em função da escala da carta e os altimétricos em relação à equidistância entre as curvas de nível. A tabela 3 mostra a classificação das cartas e respectivos valores para o erro padrão e PEC.

O órgão americano Federal Geographic Data Committee – FGDC, desenvolveu o National Standard for Spatial Data Accuracy – NSSDA, o qual implementa a metodologia estatística para estimar a acurácia posicional de cartas topográficas, através da comparação das coordenadas entre os pontos identificados na carta e os levantados em campo ou de maior acurácia.

Tabela 3 – Classificação das Cartas Quanto à Exatidão.

CLASSE DA CARTA	PEC		Erro Padrão (EP)	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
A	0,5 mm	½ equidistância	0,3mm	1/3 equidistância
B	0,8 mm	3/5 equidistância	0,5mm	2/5 equidistância
C	1,0 mm	3/4 equidistância	0,6mm	½ equidistância

FONTE – Adaptada do Decreto N° 89.817 de 20 de junho de 1984.

Segundo o NSSDA (1998, p.4), para avaliar a acurácia posicional do produto final é utilizado o erro médio quadrático – EMQ - das discrepâncias entre as coordenadas da carta e as de campo dos pontos que formam a amostra.

O nível de confiança para a avaliação da acurácia é de 95%, significando que 95% dos pontos que compõem a amostra deverão ter um erro em sua posição no terreno igual ou menor que o valor da acurácia obtida. Este valor reflete todas as incertezas ou erros introduzidos na fase do apoio terrestre, aerotriangulação, compilação da carta e pela própria extração das coordenadas no produto final a ser testado. Para atender o nível de probabilidade de 95% deverão ser utilizados no mínimo 20 pontos, bem distribuídos na área a ser testada.

O COMMITTEE FOR SPECIFICATIONS AND STANDARDS (1985, p.195), pertencente à American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, elaborou um estudo sobre a acurácia posicional das cartas de traço para escalas grandes ou maiores que 1:20.000. Afirma que o teste deverá ser realizado sobre o produto final, ou seja, o mesmo entregue ao usuário final (produto acabado).

Para atender a acurácia planimétrica de uma carta em uma determinada escala, o estudo prevê que os erros horizontais não deverão exceder as tolerâncias pré-definidas para aquele trabalho. Para uma carta escala na escala 1:2.000 por exemplo, o erro padrão para 1σ foi estabelecido como sendo igual a 0,50 m.

Os pontos pertencentes à amostra deverão ser bem definidos e distribuídos de forma homogênea em toda a extensão da carta ou produto final. Para garantir com segurança que estes pontos possuam uma acurácia posicional três vezes melhor que as extraídas da carta e, que o resultado seja representativo para toda a extensão da carta, os seguintes procedimentos deverão ser observados:

- a determinação em campo dos pontos de verificação deve ser conduzida com o mesmo grau de rigidez ou precisão utilizadas para o levantamento de pontos de apoio empregados na aerotriangulação e

- deverão ser determinados no mínimo 20 pontos de verificação bem definidos e distribuídos na carta ou área do projeto a ser analisada.

Testes estatísticos deverão ser realizados sobre a média da amostra para avaliar a presença de tendências e sobre o desvio padrão para avaliar a conformidade da precisão, após a eliminação de possível tendência, ou seja, testes de hipóteses deverão ser realizados sobre a média e desvio padrão da amostra,

separadamente para as coordenadas horizontais X e Y e para as altitudes Z. Os dois testes devem ser baseados em um nível de confiança com $(1-\alpha)$ igual a 95%. Este valor está também indicado no MANUAL OF PHOTOGRAMMETRY(2005, p.991).

Os testes para avaliação de erros de tendência deverão ser feitos pela distribuição t-Student e os de precisão pela distribuição qui-quadrado.

Para esta pesquisa, foram definidos no total 27 pontos de verificação, os quais tiveram suas coordenadas planialtimétricas determinadas em campo, independentemente da determinação do apoio utilizado para a orientação dos modelos restituídos. Empregando-se as cartas na escala 1:2.000, as quais foram obtidas a partir dos sete conjuntos de dados, foram extraídas as coordenadas dos mesmos pontos. A tabela 4 mostra os valores estatísticos de cada conjunto, os quais serviram de base para a validação dos resultados.

Tabela 4 – Resultados Estatísticos.

Escala	Resolução Geométrica	Valores Estatísticos (m)								
		Eixo E			Eixo N			Altimetria		
		(μm)	Média	D. Padrão	EMQ	Média	D. Padrão	EMQ	Média	D. Padrão
8.000	24	-0,054	0,177	0,170	-0,063	0,173	0,169	0,082	0,261	0,256
	16	-0,045	0,138	0,102	0,052	0,141	0,138	-0,059	0,172	0,168
10.000	24	-0,005	0,240	0,234	0,010	0,134	0,131	-0,177	0,186	0,182
	16	0,004	0,168	0,164	0,080	0,200	0,195	-0,124	0,212	0,208
12.000	24	0,045	0,314	0,306	0,056	0,285	0,278	-0,057	0,226	0,222
	16	-0,067	0,220	0,215	0,172	0,236	0,230	-0,032	0,369	0,362
15.000	24	0,272	0,178	0,174	0,288	0,160	0,174	-0,240	0,320	0,314

5. AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DAS CARTAS

5.1 Avaliação segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC

A tabela 5 apresenta os sete conjuntos estudados e os respectivos resultados quanto à avaliação posicional segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC, carta classe “A” para um mapeamento urbano na escala 1:2.000. Por exemplo, o conjunto 8-24 refere-se a fotografias aéreas na escala média de 1:8000 com dimensão do pixel de 24 μm .

Tabela 5 – Avaliação das Cartas Segundo o PEC.

#	Conjunto	Planimetria	Altimetria
1	8-24	Aprovado	Aprovado
2	10-16	Aprovado	Aprovado
3	12-16	Reprovado	Reprovado
4	15-16	Reprovado	Reprovado
5	10-24	Aprovado	Reprovado
6	12-24	Aprovado	Aprovado
7	15-24	Reprovado	Reprovado

5.2 Avliação das cartas segundo o NSSDA

A tabela 6 apresenta os resultados obtidos de acordo com a avaliação da acurácia posicional do mesmo mapeamento urbano na escala 1:2.000, conforme o NSSD.

Tabela 6 – Avaliação dos Conjuntos Segundo a Acurácia Posicional.

#	Conjunto	Planimetria	Altimetria
1	8-24	Aprovado	Aprovado
2	10-16	Aprovado	Aprovado
3	12-16	Aprovado	Aprovado
4	15-16	Reprovado	Reprovado
5	10-24	Aprovado	Reprovado
6	12-24	Aprovado	Aprovado
7	15-24	Reprovado	Reprovado

A tabela 7 mostra o resumo dos valores das discrepâncias dos pontos de verificação para os diferentes conjuntos de amostras obtidas.

Verifica-se que as acurácias horizontal e vertical, obtidas no conjunto 2 (10-16) são melhores que as acurácias obtidas no conjunto padrão 1 (8-24), mostrando a viabilidade de uso desta configuração de escala e dimensão de pixel, para o mapeamento urbano na escala 1:2.000. Verifica-se neste experimento que a acurácia planimétrica foi 19,3% melhor que a do experimento padrão 1 e a acurácia altimétrica 34,3% melhor.

No experimento 3 (12-16) verifica-se que acurácia altimétrica foi equivalente ao experimento 2 (18,5% melhor que a do experimento padrão 1), entretanto a acurácia planimétrica foi 6% pior que a obtida no experimento padrão 1.

Tabela 7 – Discrepâncias entre os Conjuntos Fotogramétricos Segundo o NSSDA.

#	Conjunto	Horizontal (m)		Vertical (m)	
		Acurácia	EMQ	Acurácia	EMQ
1	8-24	0,414	0,120	0,501	0,256
2	10-16	0,334	0,102	0,329	0,168
3	12-16	0,439	0,144	0,408	0,208
4	15-16	0,544	0,187	0,709	0,362
5	10-24	0,447	0,116	0,357	0,182
6	12-24	0,715	0,271	0,435	0,222
7	15-24	0,404	0,162	0,615	0,314

O conjunto 4 (15-16) chegou a uma acurácia planimétrica 31,4% pior que o conjunto 1 e na altimetria o conjunto 4 foi reprovado conforme análise do PEC.

O conjunto 5 (10-24) obteve uma acurácia planimétrica 7,9% pior que a do conjunto 1, mas a acurácia altimétrica foi 28,7% melhor.

O conjunto 6 (12-24) apresentou uma acurácia planimétrica 72,7% pior que o conjunto 1 e acurácia altimétrica 13,1% melhor que a obtida no conjunto 1.

O conjunto 7 (15-24) de mesma escala que o conjunto 4, mas com resolução de 24 μm obteve uma acurácia horizontal 2,4% pior que o conjunto 1 e na altimetria o conjunto foi reprovado.

Concluindo, verifica-se que as acurácias obtidas pelos conjuntos de menor resolução geométrica ou 16 μm são melhores, quando comparadas dentro da mesma escala fotográfica, comprovando que a utilização de maior resolução aumenta a acurácia posicional dos produtos fotogramétricos.

Na análise planimétrica, os conjuntos formados pelas escalas fotográficas 1:12.000 e 1:15.000 atenderam a classificação quanto ao PEC, porém os valores dos desvios padrões das discrepâncias foram em média 44% superiores ao da escala 1:10.000 e os conjuntos 4 e 7 foram reprovados pela análise vertical segundo o PEC.

A tabela 8 compara as avaliações obtidas pelos dois processos – PEC e NSSDA- de validação da acurácia posicional para o mapeamento urbano na escala 1:2.000.

Os conjuntos 1 e 2 foram aprovados pelos dois processos, indicando a viabilidade prática da substituição da fotografia com escala média de 1:8.000 e com resolução do pixel de 24 μm pela escala 1:10.000 com resolução do pixel de 16 μm para mapeamento fotogramétrico na escala de 1:2.000, atendendo as acurácias posicionais planimétrica e altimétrica, para a carta classe “A” do PEC.

Tabela 8 – Comparação entre as Avaliações Segundo o PEC e o NSSDA.

#	Conjunto	Planimetria		Altimetria	
		PEC	NSSDA	PEC	NSSDA
1	8-24	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
2	10-16	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
3	12-16	Reprovado	Aprovado	Reprovado	Aprovado
4	15-16	Reprovado	Reprovado	Reprovado	Reprovado
5	10-24	Aprovado	Aprovado	Reprovado	Reprovado
6	12-24	Aprovado	Aprovado	Aprovado	Aprovado
7	15-24	Reprovado	Reprovado	Reprovado	Reprovado

No conjunto 6 (escala média da fotografia no valor de 1:12.000 com resolução de 24 μm), o mapeamento planialtimétrico também foi aprovado pelos dois processos. Entretanto, as acurácias planimétrica e altimétrica neste experimento foram altas e, somadas aos seus respectivos valores do EMQ, podem alcançar valores acima dos limites estabelecidos pelo PEC (1,0 m e 0,50 m respectivamente). Portanto, não se recomenda a utilização desta formação para o mapeamento urbano na escala 1:2.000, para cartas classe “A”.

O conjunto 5 formado por fotografias escala 1:10.000 e resolução de 24 μm foi aprovado pelos dois processos apenas na planimetria. Na altimetria foi reprovado pelas duas metodologias de avaliação da acurácia, inviabilizando a sua utilização para a geração de cartas na escala 1:2.000 classe “A”.

Os demais conjuntos foram reprovados pelas duas metodologias pois não atenderam plenamente os valores limites impostos pelos testes de acurácia posicional.

Conforme as constatações anteriores obtidas pelas circunstâncias deste trabalho, verificou-se que a substituição da escala da fotografia 1:8.000 pela 1:10.000 atendeu as acurácias posicionais horizontal e vertical para a geração de cartas classe “A” – PEC. Para tanto, faz-se necessária a utilização de imagens digitais com resolução geométrica 16 μm no lugar de 24 μm .

As feições cartográficas, comumente representadas num mapeamento urbano na escala de 1:2.000 foram restituídas em todos os conjuntos testados, entretanto algumas entidades, tais como postes e divisas de propriedades não puderam ser perfeitamente identificadas nas escalas menores (1:12.000 e 1:15.000) não atendo as exigências estabelecidas pelo PEC – Classe “A”.

6. CONCLUSÃO

Na execução da Cobertura Aerofotogramétrica, as condições meteorológicas devem ser as melhores possíveis, para produzir fotografias com imagens nítidas e com um contraste que não prejudique a qualidade visual.

O contraste e densidade do filme fotográfico devem ser o suficiente, para a melhor definição das feições do terreno que farão parte do mapeamento.

As imagens digitais devem apresentar um contraste que permita a boa visualização dos detalhes a serem restituídos;

A resolução geométrica de 32 μm não apresentou boa nitidez para a identificação das feições envolvidas no mapeamento escala 1:2.000. A resolução geométrica de 8 μm em relação à resolução de 16 μm não apresentou ganho considerável na identificação das feições cartográficas representadas na escala 1:2.000.

A distribuição dos pontos do apoio suplementar no bloco de fotografias deverá ser elaborada conforme os critérios normais para um trabalho de fotogrametria classe “A”. O espaçamento entre os pontos de apoio suplementar seja de no máximo 3 bases, tanto na periferia do bloco quanto no interior do mesmo.

A substituição da escala da fotografia 1:8.000 pela 1:10.000 atendeu as acurácias posicionais horizontal e vertical para a geração de cartas classe “A” – PEC. Para tanto, faz-se necessária a utilização de imagens digitais com resolução geométrica 16 μm no lugar de 24 μm .

O uso de fotografias aéreas escala 1:12.000 com resolução geométrica de 16 μm , atendeu com restrições os limites de acurácia posicional planimétrica impostos pelos testes. Foi reprovado pelos testes de acurácia posicional altimétrica.

A escala fotográfica 1:15.000 não atendeu os limites de acurácia do mapeamento urbano escala 1:2.000.

A substituição da escala 1:10.000 pela 1:8.000 pode gerar uma economia de 28,6% nas fases: Cobertura Aerofotogramétrica, Digitalização do filme e Aerotriangulação.

De forma geral, com a utilização da resolução geométrica da imagem no valor de 16 μm foi possível a utilização de fotografias aéreas com uma escala menor que a usual (em torno de 25%), para atingir a mesma acurácia posicional da carta topográfica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COLOMER, L.C. *First Experiences Using Digital Photogrammetric Stereo Workstations at the ICC*. 1993, Photogrammetrische Woche 1993, <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo93/Colomer.pdf>. Acesso em 23/09/2005.
- DECRETO LEI 89.817. *Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional*. 20 de junho de 1984, Publicação da Marinha do Brasil, Hidrografia e Navegação, 1ed, 1995, 51 páginas.
- FEDERAL GEOGRAPHIC COMMITTEE. *National Standard for Spatial Data Accuracy*. 1998, Geospatial Positioning Accuracy Standards, <http://www.fgdc.gov/standards/geospatial/chapter3.pdf>, Part 3, 25 páginas.

- HEIPKE, C. *State-of-theArt of Digital Photogrammetric Workstations for Topographic Applications*. 1995, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 61, N° 01, pp.49-56.
- HEIPKE, C. *Automatic Aerial Triangulation: Results of the OEEPE-IPRS Test and Current Developments*. 1999, Photogrammetric Week, D. Fritsch & R. Spiller, Eds.. pp.177-191.
- JACOBSEN, K. *Pc-Based Digital Photogrammetry*, Workshop on data Analysis and Image Processing Techniques, 2001, Damasco. 11 páginas
- JACOBSEN, K. *Photogrammetry and Geoinformation Trends for Large Scale Mapping*, 2005, Map Middle East. Dubai. 9 páginas, <http://ipi216.ipi.uni-hannover.de/index1.htm>, Acesso em 15/10/2005.
- KNUDSEN, T., OLSEN, B. P. *Automated Change Detection for Updates of Digital Map Databases*. 2003, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 69, N° 11, pp.1289-1296.
- LEBERL, F. W. *Practical Concerns in Softcopy Photogrammetry Processing Systems*, Digital Photogrammetry – An Addendum to the Manual of Photogrammetry, 1996, ASPRS, USA, pp. 230-238.
- LIGHT, D. L. *The National Aerial Photography Program as a Geographic Information System Resource*. 2003, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 59, N° 01, pp.61-65.
- LIGHT, D. L. *Film Cameras or Digital Sensors? The Challenge Ahead for Aerial Imaging*. 1996, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 62, N° 03, pp.285-291.
- MANUAL OF PHOTOGRAMMETRY, 1980, 4ed., *American Society of Photogrammetry*, USA, 1056 páginas.
- MANUAL OF PHOTOGRAMMETRY, 2005, 5ed., *American Society of Photogrammetry*, USA, 1100 páginas.
- MAYR, W. *Aspects of Automatic Aerotriangulation*. 1995, Photogrammetric Week, D. Fritsch & R. Spiller, Eds.. pp.225-234.
- MIHAJLOVIC, D., MITROVIC M., VOJINOVIC M., SOSKIC M. *Status of Orthophoto Production and Applications in Serbia*. 2004, XXth ISPRS Congress, 12-23 July 2004 Istanbul, Turkey, C. IV, pp. 4
- PATIKOVA, A. *Digital Photogrammetry in the Practice of Open Mining*. 2004, XXth ISPRS Congress, 12-23 July 2004 Istanbul, Turkey, C. IV, pp. 4
- SCHENK, T. *Fotogrametria Digital, Vol. I*, 2002, Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelona, Espanha, 479 páginas.
- WOLF, P. R. *Elements of Photogrammetry*, 1983, McGraw-Hill, Inc, USA, 410 páginas.
- THE COMMITTEE FOR SPECIFICATIONS AND STANDARDS. *Accuracy Specification for Large-Scale Line Maps*, 1985. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 51, N° 02, pp.195-199.

(Recebido em março/08. Aceito em junho/08).