



Em busca de uma Metodologia para Atualização Cadastral Urbana com Tecnologias Alternativas: um Estudo de Caso

Arivaldo Leão de Amorim
alamorim@ufba.br

Fabiano Mikalauskas de Souza Nogueira
bino7@terra.com.br

Natalie Johanna Groetelaars
natgroet@yahoo.com.br

Universidade Federal da Bahia, Brasil
Faculdade de Arquitetura
LCAD - Laboratório de Computação
Gráfica Aplicada à Arquitetura e ao Desenho

This paper presents an experiment using digital photogrammetry for the restitution of urban forms, using precise and low cost techniques, an alternative solution for the cartographic actualization of cities. The technique uses digital cameras (non-metric), with resolution compatible with the precision and scale required for the products. This process simplifies the acquisition of the photos, that can be taken by different places: in the ground, in the top of high buildings or by small airplanes or ultralights, in opposition of the traditional image acquisition method, done by costly aerial photogrammetric flights, realized by specialized companies.

I. Introdução

As grandes metrópoles brasileiras têm apresentado um crescimento exacerbado das suas periferias nos últimos 30 anos, ainda que nos dias atuais essa taxa esteja decrescendo. Nessas periferias, a ocupação do solo urbano e os serviços de infra-estrutura são implantados de forma precária e muitas vezes não são formalizados adequadamente em documentos técnicos e cadastros. São poucas as cidades brasileiras que possuem plantas cadastrais atualizadas das suas malhas urbanas, sendo a necessidade de atualização cartográfica, uma constante. Agravam-se a estes problemas o alto custo para a realização de vôos aerofotogramétricos para a geração de plantas de restituição das periferias dessas cidades, cujas prefeituras não conseguem arrecadar o suficiente para fazer frente aos passivos mais imediatos, como educação, saúde, transporte e lazer das suas populações.

No Nordeste brasileiro este quadro é ainda mais grave. Na Bahia, após um grande esforço, além da capital apenas as 40 maiores cidades do estado foram recentemente mapeadas. Assim, mais de 370 municípios não dispõem de qualquer cartografia sistemática, e, quando muito, possuem levantamentos topográficos semi-cadastrais, efetuados pelas concessionárias de energia e de saneamento, para as suas necessidades específicas.

A demanda para a realização de Planos Diretores de Desenvolvimento Urbano impõe pela Constituição Federal de 1988, que estabeleceu a obrigatoriedade desse instrumento para cidades com mais de 20.000 habitantes, expõe ainda mais esta fragilidade, na medida em que muitos desses planos foram feitos utilizando-se plantas precárias e desatualizadas, que não refletem a dinâmica da ocupação territorial dos municípios. Diante destes fatos, torna-se mais que evidente, a necessidade de serem desenvolvidos esforços no sentido de garantir a atualização e a cobertura cartográfica dessas cidades.

Este artigo apresenta uma experiência que vem sendo desenvolvida no LCAD na busca de possíveis soluções para a atualização cadastral, baseadas no emprego de técnicas e processos precisos, de baixa complexidade operacional, e, sobretudo, de baixo custo. A metodologia ora em fase de desenvolvimento é fundamentada em três aspectos principais: (1) na utilização de câmeras fotográficas digitais (não métricas) de alta resolução, que permitam a definição do tamanho do pixel compatível com a escala e com a precisão da planta a ser produzida, (2)

no emprego de *software* para fotogrametria arquitetônica que utiliza os princípios da projeção perspectiva e não nos princípios da estereoscopia, como são os programas normalmente empregados na restituição aerofotogramétrica, e (3) na flexibilidade para a tomada fotográfica propiciada pela tecnologia da ferramenta de restituição fotogramétrica que dispensa o vôo fotogramétrico para as "coberturas convencionais". A pesquisa trata, portanto, da busca de uma alternativa tecnológica, tecnicamente adequada e de baixo custo para o problema aqui apresentado.

2. Pressupostos Teóricos e Aspectos Tecnológicos

O pressuposto por trás desta pesquisa e que se pretende demonstrar com a realização de uma série de sucessivos experimentos de complexidade crescente, é que, se for possível construir um modelo geométrico tridimensional, de um trecho urbano, com a precisão dimensional compatível com as necessidades estabelecidas, a vista superior ou a vista em planta deste modelo será equivalente a uma planta cadastral de restituição aerofotogramétrica. A partir deste pressuposto teórico fica a responsabilidade de se demonstrar a viabilidade técnica e operacional do processo, através da formulação de uma metodologia para se produzir e validar tais modelos.

Na restituição aqui apresentada, a tomada fotográfica é simplificada em relação à aerofotogrametria tradicional, onde são necessárias aeronaves adaptadas e câmaras métricas especiais, um criterioso planejamento de vôo, levantamentos realizados por empresas especializadas e de custos elevados. A tecnologia empregada nos experimentos permite que as fotos sejam tomadas do alto de edifícios próximos, de ultraleves, de helicópteros, balões, de aeronaves de pequeno porte, ou até mesmo que parte das fotos sejam tomadas do próprio solo, a partir de câmaras digitais comuns. Todas essas possibilidades são válidas desde que o conjunto de pontos de interesse sejam adequadamente cobertos, ou seja, cada um desses pontos deverá aparecer no mínimo em três fotos, tomadas de diferentes ângulos. Estes aspectos ficam condicionados à configuração geométrica do sítio urbano e dos recursos técnicos e financeiros disponíveis.

No planejamento do vôo aerofotogramétrico "convencional" as fotos são sempre tomadas verticalmente, ou seja, com o eixo da câmara ortogonal à superfície do terreno, e a escala para as fotos aéreas é previamente estabelecida

em função da precisão requerida para o levantamento cadastral. De um modo geral, ou em tese, todas as fotos têm uma mesma escala e a mesma precisão, salvo as "deformações" introduzidas pela ondulação do relevo e as variações decorrentes de instabilidade da aeronave durante o vôo. Uma outra característica é que todas as fotos de um mesmo vôo aerofotogramétricos são tomadas com uma mesma distância focal.

No estudo em questão, as fotos devem ser tomadas obliquamente em relação à superfície do terreno para se permitir o cruzamento das projetantes dos pontos homólogos nas várias fotografias, propiciando a cobertura adequada. Algumas fotos podem ser verticais para complementar o levantamento e facilitar a produção de ortofotos da superfície horizontal do terreno. A altura do vôo e a distância focal de cada foto são secundárias e, passa a ser crucial o tamanho máximo do pixel na superfície do alvo (ou solo). Logo, a escala das fotos é variável, ou seja cada foto pode ter uma escala diferente da outra. Trabalha-se então com o conceito de erro máximo, correspondente à foto de menor escala. Desta forma o erro médio será sempre menor que este valor máximo estipulado. O tamanho máximo do pixel que permite avaliar o erro máximo na construção do modelo geométrico é facilmente obtido através da distância da estação ao centro da foto, ou seja, conhecida a escala da foto.

O experimento aqui descrito foi realizado no PhotoModeler Pro 4.0, software para Fotogrametria Digital, empregado para a produção de ortofotos de edificações e para a construção de modelos geométricos tridimensionais fotorealísticos com mapeamento de textura. Esta ferramenta utiliza a técnica de restituição fotogramétrica a partir de várias fotografias tomadas a partir de uma câmara digital comum.

A restituição a partir de várias fotos usa os mesmos princípios da geometria projetiva empregados na construção da perspectiva, onde é possível restituir a posição do ponto no espaço a partir da interseção das projetantes que passam pelos pontos homólogos correspondentes, nas várias fotos onde eles aparecem. Uma vez restituídas as posições no espaço do conjunto de pontos de interesse, é construído, a partir desses pontos, um modelo geométrico tridimensional, que representa, com rigor necessário, a área que se pretende mapear. A planta cadastral desejada será a projeção horizontal deste modelo ou a ortofoto produzida a partir do mesmo.

Em função destas características aqui apresentadas e do custo do aparato tecnológico: computador, software e câmara digital é que, acredita-se ser possível a obtenção de plantas cadastrais de baixo custo.

3. Operacionalização

Do ponto de vista metodológico o trabalho está ancorado em quatro aspectos principais, a saber:

- Construção da maquete;
- Tomada fotográfica;
- Processamento dos dados e produtos obtidos, e
- Análise e interpretação dos resultados.

3.1. Construção da maquete

Tendo em vista a dificuldade de se realizar os vôos para as tomadas fotográficas de partes da cidade de Salvador, em função do elevado custo com a locação de um helicóptero, incompatível com o atual estágio da pesquisa, optou-se por se realizar este investimento num momento em que os estudos estivessem mais avançados. Assim, decidiu-se pela simulação de um vôo, através da construção de uma maquete de um trecho de uma cidade hipotética, da qual poderiam ser tiradas uma série de fotografias para a realização dos primeiros estudos.

Assim, projetou-se uma maquete de uma configuração urbana bem convencional: terreno plano e horizontal, malha viária, quadras e lotes retangulares e edificações poliédricas, com formas e alturas variadas. Uma preocupação foi com a precisão dimensional na construção desse modelo essencial para se avaliar a precisão dos resultados.

A maquete foi construída na escala de 1: 500, sobre uma base de OSB - Oriented Strand Board - medindo 77 x 127 cm, e com 10 mm de espessura, sobre esta base foi colada uma prancha onde estavam desenhados a malha viária, as quadras, lotes, passeios e a projeção das edificações nos lotes. Também foram incluídos neste desenho elementos de controle como alvos e uma malha de coordenadas UTM. As edificações foram feitas em blocos de MDF - Medium Density Fiberboard - para garantir a estabilidade dimensional e geométrica das mesmas. Depois de construídos os blocos, estes foram medidos novamente com um paquímetro, para que fosse feito o as built do projeto, permitindo assim avaliar corretamente a precisão. Finalmente, os blocos foram pintados com 4 cores vivas, para facilitar a identificação e melhorar o contraste, depois foram colados nas suas respectivas posições.

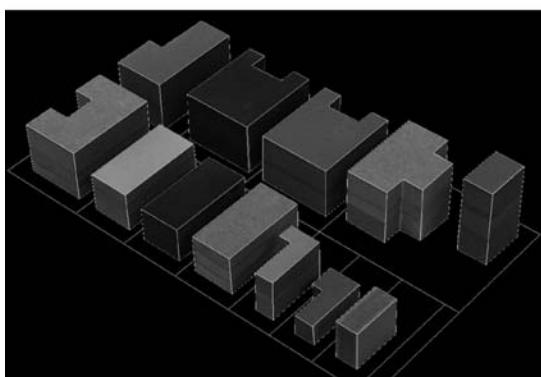
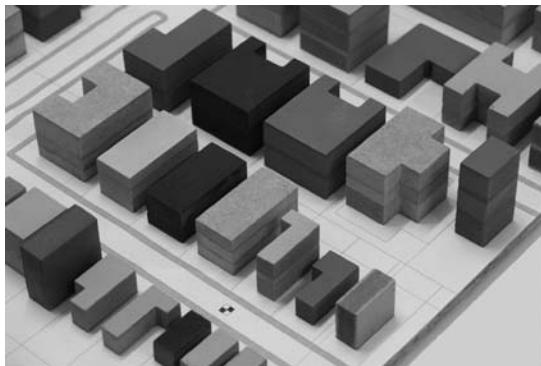


Figura 1: Foto da maquete e modelo da quadra gerado no PhotoModeler.

3.2. Tomada fotográfica

A câmara digital empregada foi uma Sony CyberShot F828. A distância focal real do sistema ótico varia de 7,1 a 51,0 mm, equivalentes a 28 a 200 mm, numa câmara de 35 mm. A resolução máxima de 8 Megapixels (3.264 x 2.448) com um CCD - Charge-Coupled Device - de 8,8 x 6,6 mm.

Para este experimento foi escolhido apenas um trecho (quadra) da maquete para os testes e a tomada fotográfica foi feita segundo as regras da fotogrametria terrestre para câmeras não-métricas e atentando para condições apropriadas de iluminação e foco, utilizando a resolução máxima e a distância focal fixada em 25,5 mm.

3.3. Processamento dos dados e produtos obtidos

O processamento do PhotoModeler é baseado na criação do modelo geométrico a partir da identificação dos pontos homólogos nas diversas fotografias. Para a criação desse modelo é necessário informar os parâmetros da câmara utilizada. A seguir, importam-se as fotografias e traçam-se as características de interesse sobre as imagens com as ferramentas de desenho. A etapa seguinte consiste na identificação dos pontos homólogos, que permitirá orientar

externamente as fotografias para obtenção do modelo. Este processo é realizado pelo usuário de forma interativa, o que requer tempo, quando o objeto é complexo e quando se usa muitas fotos. Depois dessa orientação e do traçado dos elementos, pode-se obter uma série de produtos a partir do modelo, listados a seguir:

- o modelo geométrico tridimensional fotorealístico (Figura 1);
- a ortofoto, produzida a partir da projeção horizontal do modelo fotorealístico 3D;
- as coordenadas (x, y e z) de pontos do modelo 3D para comparação com as coordenadas do as built da maquete e permitir a avaliação da precisão obtida na restituição digital;

4. Análise dos Resultados

A análise dos resultados está fundamentada na determinação do tamanho máximo do pixel e na comparação das coordenadas obtidas no modelo 3D do PhotoModeler e no as built da maquete.

A determinação do tamanho do *pixel* pode ser determinada a partir de uma operação geométrica de semelhança de triângulos, que faz a relação entre os parâmetros da câmera e os dados do objeto existente. Conforme Schiewe apud Silva & Dalmolin (1998), a resolução da imagem deve ser menor ou igual a 0,2 mm multiplicado pelo fator de escala do levantamento. Para a distância de 90 cm, o

tamanho do *pixel* é de 0,79 mm, correspondente a 39,9 cm na escala 1: 500, ou seja, esse tamanho é incompatível para a escala da maquete. No entanto, deve-se ressaltar que esta é a pior situação, uma vez que as demais fotos foram tomadas mais próximas do objeto. Este tamanho de pixel seria adequado para a escala 1:2.000, normalmente adotada nos levantamentos cadastrais urbanos.

Para Docci (1987), a precisão de um levantamento pode ser determinada a partir da menor dimensão que pode ser traçada e distinguida pelo olho humano, valor que varia entre 0,2 a 0,3mm, e que define os limites de precisão gráfica. A influência dos erros de grafismo acontece de forma diferenciada nos desenhos a pequenas e grandes escalas. Um erro de 0,3 mm efetuado sobre um desenho na escala 1:500, corresponde a um erro de 15 cm na medida real, muito diferente de um desenho na escala de 1/10 que implicaria em um erro de 3 mm.

Para a avaliação da precisão obtida na restituição digital da maquete, foram comparados as coordenadas x, y e z de 15 pontos do modelo produzido no PhotoModeler e as correspondentes no modelo 3D do as built da maquete (Figura 2), modelado no AutoCAD a partir do cadastro feito manualmente com o auxílio de um paquímetro (precisão de 0,05 mm).

Verificou-se que a precisão dos pontos no modelo não foi homogênea, ou seja, havia uma variação

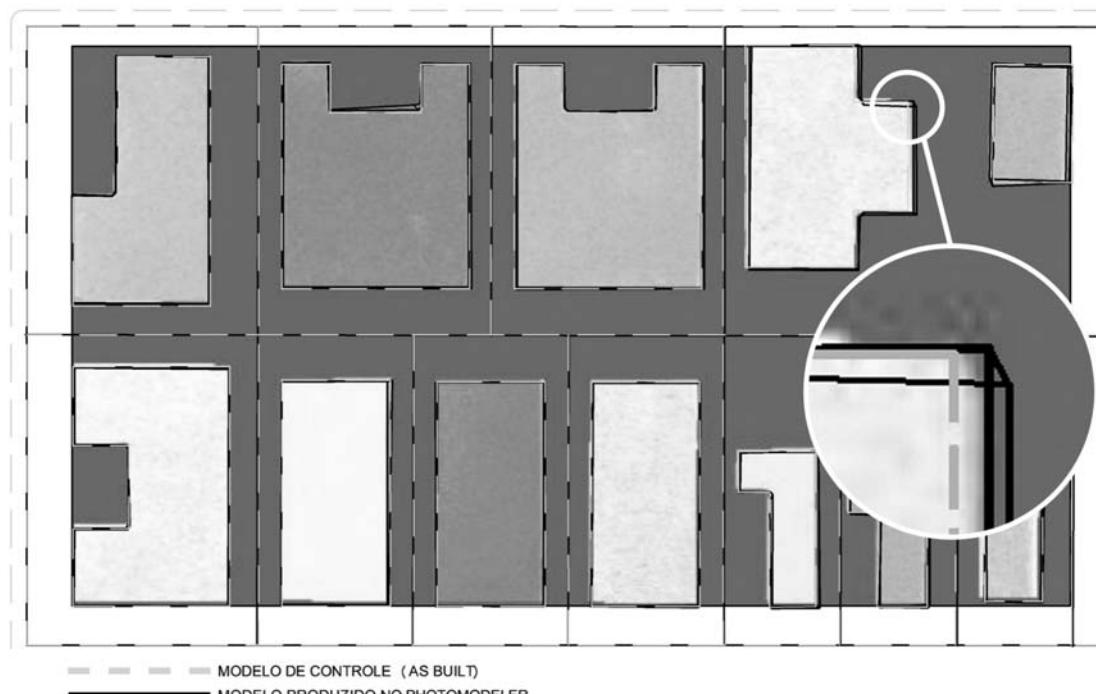


Figura 2: Sobreposição da ortofoto gerada no PhotoModeler e as built da maquete.

de erro nos 15 pontos analisados. As médias das diferenças das coordenadas x, y e z, foram de 0,24; 0,21 e 0,09 mm. Esses valores multiplicados pela escala do modelo (1: 500), resultam em 11,8; 10,6 e 4,3 cm respectivamente, o que permite simular a precisão das coordenadas em um levantamento urbano na escala real. Esses valores estão na faixa aceitável de erro determinada por Docci para a escala 1: 500, compreendidos entre 10 e 15cm.

O ponto mais preciso apresentou as seguintes diferenças em x, y e z: 0,08; 0,01 e 0,05 mm, implicando um erro de 4; 0,5 e 2,5 cm na escala 1: 500 e o ponto menos preciso 1,75; 0,54 e 0,75 mm, equivalente a 87,5; 27 e 37,5 cm na escala da maquete, que estaria fora dos limites aceitáveis de precisão para a escala utilizada.

5. Conclusões

Como mencionado anteriormente, este artigo apresentou o primeiro de uma série de experimentos a serem realizados gradativamente e com complexidade crescente, e que visam demonstrar a viabilidade de levantamento ou atualização cadastral urbana a partir de tecnologias alternativas, precisas e de baixo custo.

Ao final desta pesquisa, com o aprofundamento nos estudos nas áreas de conhecimento e nas tecnologias envolvidas, pretende-se a realização de um teste em uma situação urbana real, utilizando-se para isto fotografias tomadas de um vôo com ultraleve ou com helicóptero. Este último experimento permitiria a validação da metodologia e a identificação das suas limitações, ou ainda, as condições para sua utilização.

Concluindo, entende-se que os resultados até aqui obtidos são os previsto e satisfatórios, o que encoraja a continuidade dos estudos e a realização dos novos experimentos.

Referências

DOCCI, Mario. MAESTRI, Diego. Il Rilevamento Architetônico. Storia metodi e disegno. 2. ed. Bari: Laterza & Figli, 1987. 330p.

GROETELAARS, Natalie Johanna. Um estudo da Fotogrametria Digital na documentação de formas arquitetônicas e urbanas. Salvador, 2004, 257f.: il. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia.

SILVA, Daniel Carneiro da; DALMOLIN, Quintino. Avaliação da Resolução de Imagens Digitais para Cadastro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 1998, Florianópolis. Anais eletrônicos... Florianópolis: UFSC, 1998.

Keywords:

cartographic actualization; digital photogrammetry; photogrammetric restitution; orthophotos; three-dimensional geometric models.