



## **UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS FOTOGRAMÉTRICOS PARA O LEVANTAMENTO TRIDIMENSIONAL DAS EDIFICAÇÕES EM ESTUDOS DE CLIMA URBANO**

**Karyna de Andrade Carvalho Rosseti (1); Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira (2); José de Souza Nogueira (3); Peter Zeilhofer (4); Luciane Cleonice Durante (5)**

(1) Mestre, Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo/FAET/UFMT, Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Linha de Pesquisa Análise Microclimática de Sistemas Urbanos, karyna.rosseti@gmail.com

(2) Doutora, Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo/FAET/UFMT, Professora do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Linha de Pesquisa Análise Microclimática de Sistemas Urbanos, mcjanp@gmail.com

(3) Doutor, Professor do Departamento de Física/IF/UFMT, Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, nogueira@ufmt.br

(4) Doutor, Professor do Departamento de Geografia/ ICHS /UFMT, Professor do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, zeilhoferpeter@gmail.com

(5) Doutora, Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo/FAET/UFMT, luciane.durante@hotmail.com

Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Departamento de Física, Programa de pós-graduação em Física Ambiental, Cuiabá-MT, 78060-900, Tel.:(65)36158739

### **RESUMO**

O objetivo deste trabalho foi verificar a aplicabilidade da Estação Fotogramétrica Digital Livre E-Foto como ferramenta de levantamento tridimensional de uma área urbana de forma a diminuir o tempo e os custos dos levantamentos realizados *in loco* para fins de estudos de clima urbano, tendo como área de estudo a cidade de Cuiabá, MT. Para isso os procedimentos metodológicos iniciaram-se com um estudo aprofundado sobre a Fotogrametria, em seguida foram obtidas as fotografias aéreas da área de estudo. As fotos foram calibradas na estação E-Foto e foram delimitados os contornos das edificações. Gerou-se o Modelo Digital de Superfície (MDS) a partir do qual coletaram-se as informações tridimensionais das edificações e do terreno. Comparando os dados obtidos através da aerofotogrametria com observações realizadas no local pôde-se verificar que variações da média de altura das edificações oscilaram em torno de 1,0m. Desta forma a Estação E-Foto revelou-se uma ferramenta prática e precisa para a obtenção de informações espaciais da configuração tridimensional do espaço urbano, possibilitando levantamentos urbanos mais representativos.

Palavras-chave: Clima Urbano, Fotogrametria, E-Foto.

### **ABSTRACT**

The aim of this study was to verify the applicability of the free digital photogrammetric station E-Foto as a dimensional survey tool for urban areas in order to decrease the time and cost of on-site surveys for the purpose of urban climate studies, with study area in city of Cuiabá, MT. The methodological procedure began with a detailed study of the Photogrammetry, then were obtained aerial photographs of the study area. The images were calibrated in E-Foto station and were delimited the contours of buildings. The Digital Surface Model (DSM) was generated from which the information from three-dimensional buildings and terrain was collected. Comparing the data obtained from aerial photogrammetry with observations made on site can be seen that variations in the average height of buildings ranged around 1m. Thus the E-Foto station proved to be a practical and accurate tool for obtaining spatial information of three-dimensional configuration of urban space, allowing urban surveys more representative of reality.

Keywords: Urban Climate, Photogrammetry, E-Foto.

## 1. INTRODUÇÃO

A urbanização altera as propriedades térmicas do solo, provoca mudanças no balanço de energia na superfície, na circulação do ar atmosférico, gera uma grande quantidade de calor residual das ações humanas, e leva a uma série de mudanças no ecossistema urbano (HUANG et al., 2009).

Os danos sobre o ambiente natural e construído, causados pelo uso especulativo dos espaços urbanos, foram tomando sua forma mais grave, e, do ponto de vista climático, têm sido prejudiciais para as cidades e seus moradores. Os efeitos adversos da UHI inclui a deterioração do ambiente de vida, aumento do consumo de energia (KONOPACKI; AKBARI, 2002) a elevação no ozônio troposférico (ROSENFELD et al., 1998) e até mesmo um aumento nas taxas de mortalidade (CHANGNON et al., 1996).

A fim de evitar esses danos e criar melhores condições bioclimáticas, estudos sobre o clima urbano, ilha de calor urbana (UHI) e poluição do ar urbano são estimulados não só pela necessidade de adquirir conhecimento de numerosos efeitos secundários da urbanização excessiva, mas também por necessidades muito práticas de planejamento urbano (HUANG et al., 2008).

A maioria dos modelos climáticos globais, que são utilizados para a pesquisa sobre mudanças climáticas não se aplicam a superfícies urbanas (BEST, 2006). Isto é provavelmente porque as áreas urbanas representam uma pequena fração da superfície terrestre global (1-4%) e, assim, a sua influência em grandes médias temporais e espaciais é pequena (TRENBERTH et al., 2007). No entanto, três bilhões de pessoas (48% da população mundial) vivem em áreas urbanas, estando diretamente expostas a problemas de aquecimento urbano e como o número de pessoas que vivem em áreas urbanas deve crescer a cinco bilhões até 2030 (WORLD URBANIZATION PROSPECTUS, 2003) mais pessoas estarão vulneráveis a estes problemas.

De particular relevância para estudos climáticos no ambiente urbano é o papel do fluxo líquido de armazenamento de calor, o que pode representar mais da metade da radiação durante o dia em locais altamente urbanizados (CHING, 1985; OKE et al., 1999). Ele inclui as alterações volumétricas de calor latente e sensível pelo ar, edifícios, vegetação e solo na escala espacial de interesse que estende-se desde a altura da parte superior da sub-camada de rugosidade (RSL), acima dos edifícios, até a profundidade do fluxo de calor vertical no substrato (OKE, 1988; GRIMMOND et al., 1991).

Embora uma compreensão geral das interações entre a atmosfera e áreas urbanizadas com base em estudos experimentais realizados com cuidado seja emergente (ROTACH, 1995; GRIMMOND; OKE, 1999) a complexidade e diversidade das cidades ao redor do mundo, revela a limitação destes estudos observacionais, ou a um local particular ou a um único processo físico. Os modelos climáticos representam um método para avaliar as consequências das alterações globais do clima urbano e dimensionar os efeitos das modificações no uso do solo sobre a dinâmica climática das cidades (JIN et al., 2005).

O Sensoriamento Remoto é a aquisição de informação sobre fenômenos ou objetos, através de sensores que não estão diretamente em contato com o objeto ou alvo (LILLESAND; KIEFER, 2007). A extração precisa de informações tridimensionais dos espaços urbanos a partir de imagens de sensoriamento remoto permite a abertura de um leque de aplicações (SMITH, 2003).

Por não haver a necessidade de contato com os objetos a serem analisados, o Sensoriamento Remoto apresenta uma grande vantagem em relação aos métodos de levantamento de dados de construções urbanas. A análise de regiões remotas ou de difícil acesso é viabilizada por esta tecnologia. Outro fato relevante diz respeito à redução de custos, uma vez que o deslocamento de pessoal para o levantamento desses dados é reduzido ou até mesmo eliminado (SILVEIRA, 2011).

A obtenção de um modelo de representação tridimensional de um cenário geográfico, como por exemplo, um Modelo Digital de Superfícies (MDS), atualmente se faz através de técnicas manuais ou semi-automáticas de feições, a partir de imagens sensoriadas remotamente (BRITO; COELHO FILHO, 2007). Esta ciência e tecnologia de se obter informação confiável, através de imagens adquiridas por sensores remotos é denominada Fotogrametria. Ciência, uma vez que os processos de captação da energia eletromagnética, do qual os raios luminosos são formados, são estudados, bem como a análise dos resultados obtidos com os mesmos. Tecnologia, porque a utiliza para tornar os resultados mais rápidos e eficazes para o usuário.

As estações fotogramétricas Digitais comerciais exigem uma série de equipamentos e softwares específicos, demandando equipes especializadas para sua utilização. No entanto verifica-se a possibilidade de, mesmo sem o aparato completo, serem executadas várias operações, embora de maneira não-otimizada (SILVEIRA, 2011).

O Projeto E-Foto, desenvolvido pelo Laboratório de Fotogrametria da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, desenvolve uma estação fotogramétrica digital para fins

educacionais, de forma livre, possibilitando o acesso a tal informação por quaisquer pessoas que o queiram (BRITO; COELHO FILHO, 2007).

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi verificar a aplicabilidade da estação E-Foto como ferramenta de levantamento tridimensional de uma área urbana de forma a diminuir o tempo e os custos dos levantamentos realizados *in loco* para fins de estudos micro-climáticos, tendo como área de estudo a cidade de Cuiabá, MT.

## 3. MÉTODO

### 3.1. Revisão de Literatura

Considerando o desconhecimento inicial da autora sobre Fotogrametria e o déficit de cursos práticos para a aplicação desta tecnologia, foi necessária, como procedimento inicial para o estudo, a realização de uma revisão de literatura na área de Sensoriamento Remoto e, no caso mais específico, da Aerofotogrametria, que utiliza fotografias aéreas como objeto de estudo.

### 3.2. Obtenção das fotografias aéreas da área de estudo

As Fotografias foram fornecidas pela empresa de Engenharia e Aerolevanteamento Engefoto, de Curitiba, que realizou o levantamento aéreo da área de estudo em 2005.

A Fotogrametria baseia-se na obtenção de dados tridimensionais a partir da sobreposição de fotos bidimensionais considerando diferentes ângulos de obtenção da foto em relação ao objeto fotografado (BRITO; COELHO FILHO, 2007). Assim foram obtidas duas fotografias, retiradas em sequência, de forma que a região estudada é observada nas duas fotos.



Figura 1- Par de Fotografias aéreas de Cuiabá fornecidas pela Engefoto.

### 3.3. Processamento na Estação Fotogramétrica Digital E-Foto

Antes de serem utilizadas para levantamento tridimensional do objeto fotografado as fotografias devem passar por processos de calibração para que forneçam informações coerentes com a realidade fotografada (BRITO; COELHO FILHO, 2007).

A estação E-Foto fornece no seu processamento os procedimentos de calibração das fotos, sendo os principais deles a orientação interior e a orientação exterior.

#### 3.3.1. Orientação interior

É uma aplicação inicial da correlação através da localização das marcas fiduciais em uma imagem digital. No caso de uma imagem digitalizada, a medição das marcas fiduciais permite correlacionar a posição em pixels (coluna e linha) na imagem com a posição em milímetros do sistema cartesiano da câmera. (BRITO; COELHO FILHO, 2007).



Para a correta orientação interior das fotografias é necessário que se possua o certificado de calibração da câmera e a descrição detalhada do voo, fornecidos pela empresa que realizou o levantamento.



Figura 2 - Identificação da Marca Fiducial presente na Fotografia Aérea Digital.

### 3.3.2. Orientação exterior

É o processo pelo qual, através de pontos de controle ou de apoio medidos no terreno e identificáveis nas imagens, pode-se calcular a orientação das imagens em relação ao sistema de coordenadas do terreno. (BRITO; COELHO FILHO, 2007)



Figura 3 - Fotografia aérea com identificação dos pontos de controle obtidos *in loco* através o GPS de precisão.

Para tal é necessária a realização de levantamentos *in loco* das coordenadas de Altitude, Latitude e Longitude obtidas através de GPS de precisão em cada um dos pontos de controle. Os pontos devem ser definidos a partir dos pares de fotos utilizadas no estudo e devem englobar uma maior região das fotos.

Tabela 1 - Dados obtidos através do levantamento da área de estudo com GPS de precisão.

COORDENADAS UTM						
Name	Northing (m)	Easting (m)	Latitude	Longitude	Altitude Elipsoidal (m)	Altitude Ortométrica (m)
Base0035	8273843,586	600971,742	15°36'40,4435"S	56°03'29,1628"W	177,090	174,54
P1-0265	8271484,810	600636,095	15°37'57,2515"S	56°03'40,0839"W	156,437	153,89
P2-0266	8272380,838	600637,308	15°37'28,0927"S	56°03'40,1760"W	156,036	153,49
P3-0267	8273153,914	600475,560	15°37'02,9582"S	56°03'45,7220"W	163,137	160,59
P4-0268	8273095,191	599840,797	15°37'04,9599"S	56°04'07,0287"W	159,117	156,57
P5-0269	8273110,518	598196,557	15°37'04,6934"S	56°05'02,2446"W	168,252	165,70
P6-0270	8271629,867	598429,373	15°37'52,8447"S	56°04'54,2119"W	156,200	153,65
P70271	8271612,276	599255,309	15°37'53,3006"S	56°04'26,4726"W	158,487	155,94
P6	8273070,054	598984,318	15°37'05,89939S	56°04'35,78557W	157,517	154,97
P8	8272213,536	599135,626	15°37'33,75112S	56°04'30,57959W	163,934	161,38

### 3.3.3. Extração das Feições (Estereoploter)

Considerando que a extração manual de feições é geralmente mais acurada e confiável que a automática, uma vez que métodos automáticos em geral não emulam com perfeição a habilidade do intérprete humano (BRITO; COELHO FILHO, 2007), a representação do contorno de objetos (feições) naturais e artificiais presentes no modelo estereoscópico foi realizada através do processo manual oferecido pelo E-Foto.

Para a correta delimitação dos polígonos é necessária a utilização do par de óculos (anaglifo) permitindo a visualização da região estudada em 3d facilitando o posicionamento dos pontos na altura correta em que se encontram no espaço real.

Foram realizados somente os contornos das edificações, apesar de a estação permitir que fossem definidos também os contornos os indivíduos arbóreos e delimitação das ruas. Esta escolha se deve ao fato de a verificação *in loco* das alturas das edificações ser mais precisa que dos indivíduos arbóreos e declividade das vias, sendo mais adequadas para o objetivo do trabalho.

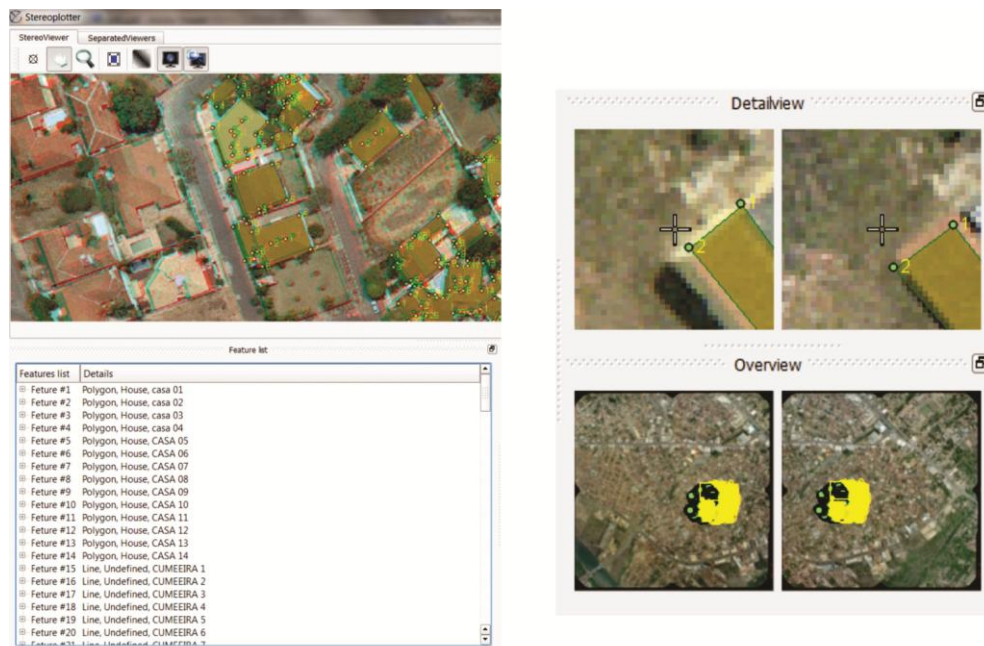


Figura 4 - Módulo Estereoploter da estação E-Foto aplicado a área de estudo.

### 3.3.4. Geração do Modelo Digital de Superfície (MDS)

O MDS gera um arquivo de texto com as coordenadas de cada ponto na imagem permitindo a leitura de cada objeto rotulado na imagem e a visualização em diversos programas de visualização de modelos de terreno.

O arquivo de MDS é gerado a partir do processo de interpolação dentro do módulo DEM-Extraction da estação E-Foto, utilizando como linhas de quebra o arquivo gerado no módulo Estereoploter com a delimitação dos contornos das edificações.

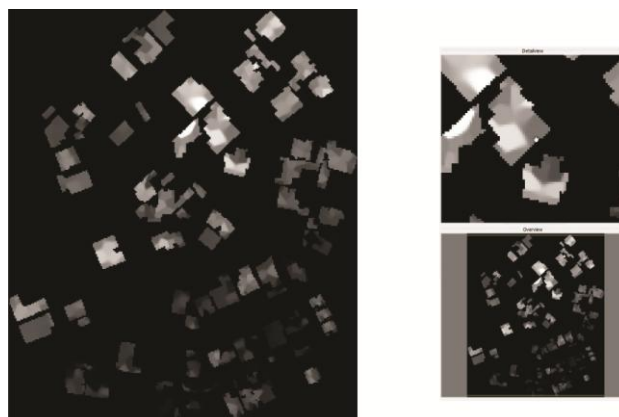


Figura 5 - Visualização do MDS dos contornos das edificações gerado pelo módulo DEM-Extraction da estação E-Foto.



Para a identificação da altura dos pontos equivalentes ao terreno não edificado foram definidas feições do tipo linhas acompanhando o alinhamento de todas as ruas que se encontram na área de estudo. Outro arquivo de MDS foi gerado a partir do processo de interpolação dentro do módulo DEM-Extraction da estação E-Foto, utilizando como linhas de quebra o arquivo gerado no módulo Estereoploter com a delimitação dos contornos das edificações

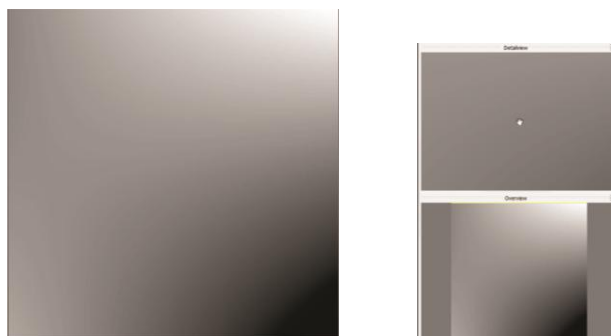


Figura 6 - Visualização do MDS do terreno gerado pelo módulo DEM-Extraction da estação E-Foto

### 3.4. Levantamento *in loco*

Para a verificação da validade do levantamento aerofotogramétrico executado através da estação E-Foto foram realizadas observações *in loco* da área de estudo. Devido a impossibilidade de se adentrar nos terrenos para a obtenção da altura exata das edificações foram atribuídas a cada uma delas uma identificação quanto a quantidade de pavimentos.

## 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Os resultados observados serão apresentados a seguir na figura 7. Na implantação localizada a esquerda observa-se os números de pavimentos referentes a cada edificação, informação obtida através de verificação *in loco*. Na implantação localizada a direita estão os valores médios de altura das edificações obtidos a partir do MDS gerado pela estação E-Foto.

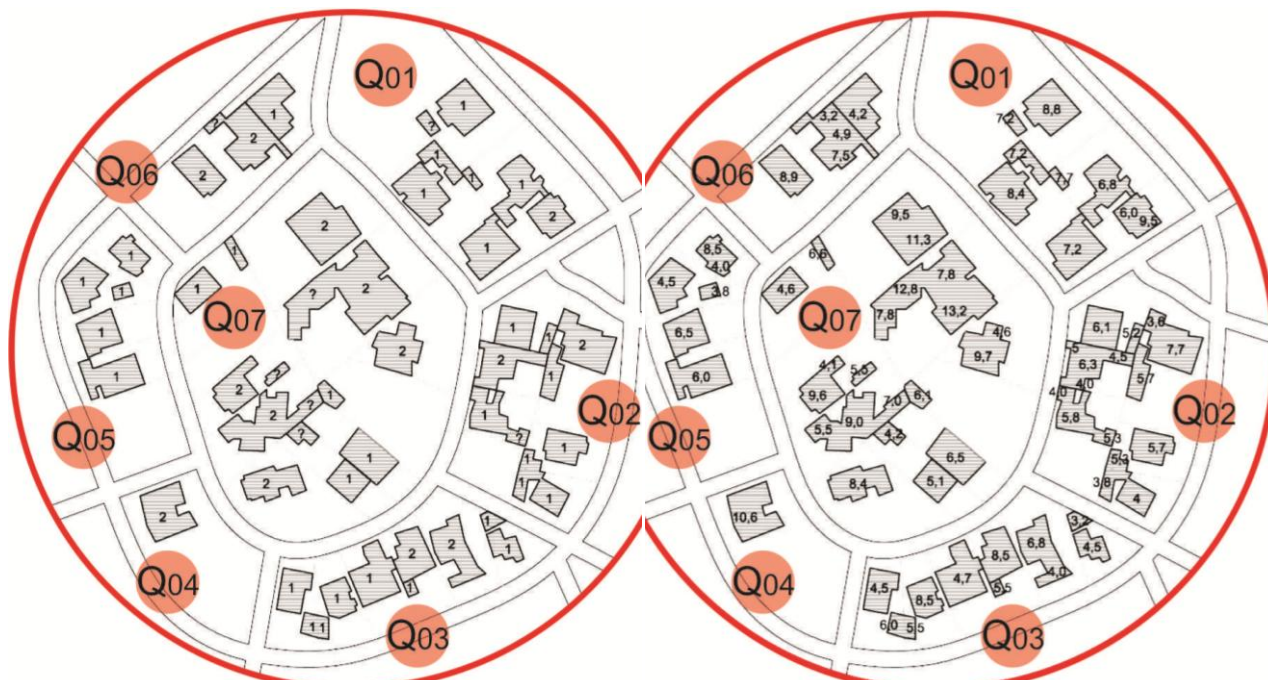


Figura 7 - Informações coletadas *in loco*(esquerda) e medidas no MDS(direita)

Para a verificação da validade dos resultados obtidos através do método Aerofotogramétrico de levantamento tridimensional do espaço urbano adotou-se para as edificações de 1 pavimento a altura média do telhado de 4,5m enquanto que para as edificações de 2 pavimentos a altura média foi de 7,5m. Esta definição teve como parâmetros a largura média dos lotes de 15m, a inclinação do telhado cerâmico de 35%, e o pé direito médio das edificações de 3m.

Desta forma, considerando as médias das diferenças de alturas observadas *in loco* e medidas a partir do MDS, observou-se para cada quadra diferenças médias em torno de 1m, conforme pode ser observado na Figura 8. Somente nas quadras 1 e 4 observam-se diferenças maiores, próximas de 3,0m. Na quadra 01 esta irregularidade se dá devido o fato de as edificações terem mais de 10m de fachada, sendo em média 15m para as casas desta quadra, isto resulta na obtenção de maiores alturas de cumeeira e consequentemente valores acima do determinado para edificações de 1 pavimento. Na quadra 04 existe somente 1 casa, o que reduz o valor estatístico desta diferença.

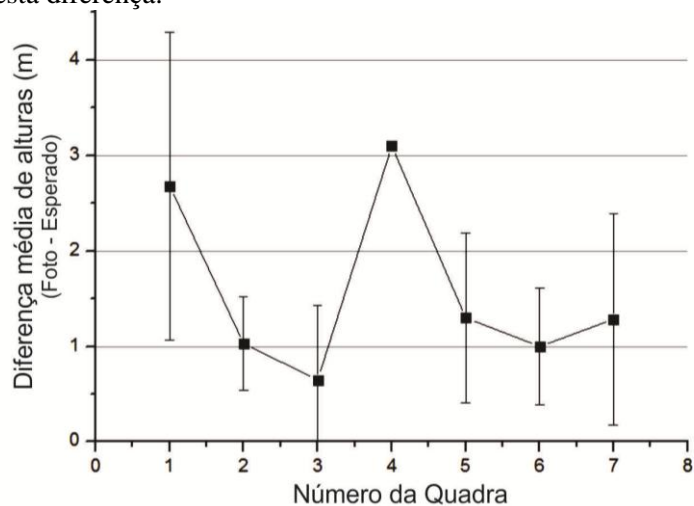


Figura 8 - Gráfico das médias das diferenças de altura observadas e medidas na foto organizadas por Quadras

De uma forma geral, apesar de se assemelhar aos valores estimados pela técnica de levantamento *in loco* baseada na altura média das edificações, os dados obtidos através do MDS são mais precisos e específicos, permitindo observar características das coberturas como a posição da cumeeira na configuração do telhado e a altura de elementos arquitetônicos internos ao terreno, que não podem ser visualizados pela fachada (Figura 9).

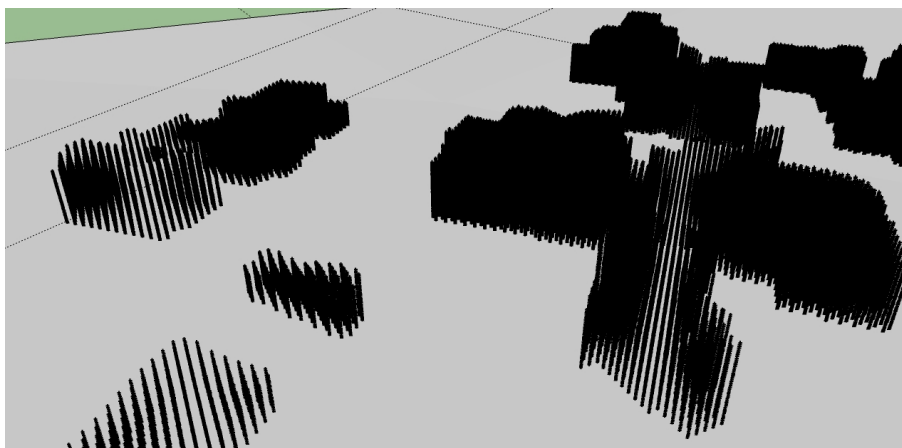


Figura 9 - Visualização do MDS gerado pela estação E-Foto

## 5. CONCLUSÕES

A estação Fotogramétrica digital livre E-Foto revelou-se uma ferramenta prática e precisa para a obtenção de informações espaciais da configuração tridimensional do espaço urbano, possibilitando levantamentos urbanos mais representativos da realidade. Tal ferramenta usada em conjunto com os modelos microclimáticos resultará em simulações cada vez mais coerentes reduzindo os erros resultantes das aproximações.

No entanto as fotografias aéreas no padrão comercial não são objetos acessíveis. Sendo necessário estabelecer parcerias com empresas de Aerolevantamento para viabilizar a aplicação desta metodologia. Alguns estudos sobre métodos alternativos de obtenção de fotografias aéreas estão sendo desenvolvidos de forma a diminuir os custos dos levantamentos e permitir que sejam realizados com maior frequência, garantindo informações atualizadas da ocupação urbana.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEST, M. J. Progress towards better weather forecasts for city dwellers: from short range to climate change. **Theoretical and Applied Climatology**, v.84, p 47–55, 2006.
- BRITO, J. L. N. S.; COELHO FILHO, L. C. T. **Fotogrametria Digital**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ed.UERJ, 2007. 196p.
- CHANGNON, S. A.; KUNKEL, K. E.; REINKE, B. C. Impacts and responses to the 1995 heat wave: A call to action. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.77, p1497–1505, 1996.
- CHING, J. K. S. Urban-scale variations of turbulence parameters and fluxes. **Bound.-Layer Meteor.**, v.33, p335–361, 1985.
- GRIMMOND, C. S. B.; CLEUGH, H. A.; OKE, T. R. An objective heat storage model and its comparison with other schemes. **Atmos. Environ.**, v.25B, p311–326, 1991.
- GRIMMOND, C. S. B.; OKE, T. R. a: Aerodynamic properties of urban areas derived from analysis of surface form. **J. Appl. Meteor.**, 38, 1262–1292, 1999.
- HUANG, L.; LI, J.; ZHAO, D.; ZHU, J. A fieldwork study on the diurnal changes of urban microclimate in four types of ground cover and urban heat island of Nanjing, China. **Building and environment**, v.43, n.1, p.7-17, 2008.
- HUANG, S.; TANIGUCHI, M.; YAMANO, M. & WANG, C. Detecting urbanization effects on surface and subsurface thermal environment – a case study of Osaka. **Science of the Total Environment**, v.407, p3142-3152, 2009.
- JIN, M.; DICKINSON, R. E.; ZHANG, D. The footprint of urban climate change through MODIS. **J Climate**, v.18, n.10, p1551–1565, 2005.
- KONOPACKI, S.; AKBARI, H. **Energy savings for heat island reduction strategies in Chicago and Houston** (including updates for Baton Rouge, Sacramento, and Salt Lake City). Draft Final Report, LBNL-49638, University of California, Berkeley, 2002.
- LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 6.ed. Estados Unidos: John Wiley & Sons Inc., 804p., 2007.
- OKE, T. R. The urban energy balance. **Progress Phys. Geogr.**, v.12, p471–508, 1988.
- OKE, T. R.; SPRONKEN-SMITH, R.; JÁUREGUI, E.; GRIMMOND, C. S. B. The energy balance of central Mexico City during the dry season. **Atmos. Environ.**, v.33, p3919–3930, 1999.
- ROSENFELD, A. H.; AKBARI, H.; ROMM, J. J. Cool communities: Strategies for heat island mitigation and smog reduction. **Energy and Buildings**, 28: 51–62, 1998.
- ROTACH, M. W. Profiles of turbulence statistics in and above an urban street canyon. **Atmos. Environ.**, 29, 1473–1486, 1995.
- SILVEIRA, M., T. **Deteção e extração 3D de edificações em áreas de assentamentos informais** (2011), 136 f. Tese (doutorado)– Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica, 2011.
- SMITH, S. L. Urban remote sensing: The use of LiDAR in the creation of physical urban models. In LONGLEY, P. A.; BATTY, M. (Eds.), **Advanced spatial analysis: The CASA book of GIS** (pp. 171–192). ESRI: Redlands, California, 2003.
- TRENBERTH, K. E.; JONES, P. D.; AMBENJE, P.; BOJARIU, R.; EASTERLING, D.; KLEIN TANK, A.; PARKER, D.; RAHIMZADEH, F.; RENWICK, J. A.; RUSTICUCCI, M.; SODEN, B.; ZHAI, P. Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (eds). Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA; p235–336, 2007.
- WORLD URBANIZATION PROSPECTUS, Department of Economic and Social Affairs United Nations. Retrieved 07 August 2012. <http://www.un.org/esa/population/publications/wup2003/2003WUPHighlights.pdf>.

## AGRADECIMENTOS

A equipe do projeto E-Foto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, principalmente ao Prof. Dr. Jorge Luis N. S. Brito, coordenador do projeto.