XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

# MÉTODO INDIRETO PARA OBTENÇÃO DE ALTURAS DE EDIFICAÇÕES A PARTIR DE IMAGENS DE SATÉLITE

**Jeanne Moro (1); Eduardo Krüger (2); Silvana Camboim (3); Clarisse Farian de Lemos (4)**
(1) Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, arquiteta , Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, 5000 – Ecoville, CEP 81280- 340, Curitiba/PR, jeannemoro@gmail.com
(2) Dr., Professor do Departamento de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, 5000 – Ecoville, CEP 81280-340, Curitiba/PR, ekruger@utfpr.br
(3) Drª., Professora do Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná – UFPR, Centro Politécnico – Jardim das Américas, Caixa Postal 19001 – CEP 81531-990 – Curitiba/PR, silvanacamboim@gmail.com
(4) Drª., Professora do Departamento de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, 5000 – CEP 81280-340-Curitiba/PR, claricelemos@utfpr.br

## RESUMO
Alguns fatores influenciam o uso dos espaços públicos abertos de lazer, dentre eles a incidência solar, fatores climáticos e de conforto, o design e ergonomia destes espaços. O sombreamento, gerado pelas elevadas alturas das edificações de entorno, pode alterar o ambiente térmico nas diferentes estações durante o ano, estimulando ou não o uso destes locais. A avaliação do impacto de sombreamento para a situação de inverno pode ser feita através de dois diferentes métodos, de forma direta ou indireta. Dentre os métodos diretos podemos citar: as informações cadastrais disponibilizadas pelos órgãos competentes do município, medições *in loco* com Estação Total, medições através de aplicativos existentes, ou através de uma ferramenta do Google Earth Pro, recurso este disponibilizado até o momento somente para as capitais brasileiras. Já o método indireto origina-se a partir da análise das sombras das edificações projetadas no solo por meio do sensoriamento remoto. Este estudo apresenta um método indireto para a obtenção das alturas de edificações a partir da análise das sombras projetadas nos solos, observadas a partir de imagens de satélite disponibilizadas em meio digital, utilizando-se de relações geométricas e da geometria solar. Os resultados obtidos na aplicação do método indireto, demonstraram que o método é confiável. As diferenças dos resultados entre as medições *in loco* e as medições através do método proposto foram, em sua maioria, pequenas.
Palavras-chave: acesso solar, sombreamento, uso de espaços abertos

## ABSTRACT
Some factors influence the use of open public spaces, among them solar access, climatic and comfort factors, the design and ergonomics of such spaces. Shading from adjacent high-rise buildings can change the thermal environment in different seasons during the year, stimulating or not the use of these places. The evaluation of the impact of shading in winter can be done according to two different methods, directly or indirectly. Among the direct methods we can mention: the cadastral information made available by the competent authorities of the municipality, in situ measurements with Total Station, measurements by means of existing applications, or with a tool from Google Earth Pro, currently available only for Brazilian capitals. The indirect method originates from the analysis of the shadows of the buildings projected on the ground through remote sensing. This study presents an indirect method to obtain height of buildings from the analysis of the projected shadows in the ground, observed from satellite images available online, based on geometric relations and solar geometry. Results obtained in the application of the indirect method demonstrated that the method is reliable. The differences in results between on-site measurements and measurements using the proposed method were mostly small.
Keywords: solar access, shading, use of open spaces.

## 1. INTRODUÇÃO

Os espaços públicos abertos de lazer trazem inúmeros benefícios para a melhoria da habitabilidade do ambiente urbano, entre eles a possibilidade de práticas sociais, encontros ao ar livre e momentos de lazer, que favorecem o desenvolvimento humano e o relacionamento entre as pessoas (OLIVEIRA e MASCARÓ, 2007).

Alguns fatores influenciam o uso destes espaços, tais como os fatores climáticos e de conforto térmico, o sombreamento/acesso solar, e a ergonomia e design dos espaços, e por esta razão vários são os estudos direcionados nesta área, pois segundo Nikolopoulou *et al.* (2001), a não condição de conforto pode representar a redução do uso dessas áreas.

Outro importante aspecto quanto a apropriação ou uso de um determinado local é o entorno que circunda os espaços públicos abertos de lazer, o qual influi substancialmente sobre os indivíduos que vão usá-lo e sobre a condição de cada pessoa, tanto no que tange aos mecanismos biológicos do corpo como psicológicos, motivações, experiências e necessidades (BENEDET, 2008).

Portanto, é imprescindível analisar os diferentes aspectos que influenciam o uso dos espaços públicos abertos de lazer. Um destes aspectos é o sombreamento, gerado pelas elevadas alturas das edificações de entorno, que pode alterar o ambiente térmico nas diferentes estações durante o ano, estimulando ou não o uso destes locais.

Para a avaliação do impacto de sombreamento proveniente de edificações sobre estes espaços é necessário conhecer a altura das edificações de entorno. Para isto, existem dois diferentes métodos direto e indireto.

Dentre os métodos diretos podemos citar: as informações cadastrais disponibilizadas pelos órgãos competentes do município, medições *in loco* com Estação Total, medições através de aplicativos existentes a partir dos princípios de trigonometria, ou através de uma ferramenta disponibilizada pelo Google Earth Pro que utiliza a base de dados tridimensional, recurso este disponibilizado até o momento, no Brasil, somente para as capitais.

Já o método indireto de obtenção das alturas origina-se a partir da análise das sombras das edificações projetadas no solo. Estas análises podem ser efetuadas através do sensoriamento remoto, ou seja, a partir de imagens de satélite disponibilizadas em meio digital, ou adquiridas de empresas especializadas.

Segundo Peeters e Etzion (2012), o sensoriamento remoto tem sido usado, combinado com técnicas de processamento de imagens, com o intuito de proporcionar ferramentas que podem ser empregadas em estudos de forma urbana. Conforme salientado por Shettigara e Sumerling (1998), este procedimento tem aplicações significativas em monitoramento urbano e estudos ambientais.

O método é utilizado em situações onde não é possível utilizar o método direto, considerando que nem todas as cidades possuem ou disponibilizam um registro/cadastro geral de alturas das edificações, e que nem sempre é possível estar no local para verificar ou obter essas alturas, devido ao deslocamento e tempo necessários para se realizar tais levantamentos ou, ainda, onde a base de dados para a medição através do recurso do Google Earth não está disponível.

Existem algumas plataformas que disponibilizam, sob licenças de uso, imagens de sensoriamento remoto em alta resolução, porém com metadados restritos, entre eles o *Bing Maps*, o *Google Earth* e o *Google Maps*. Os dois últimos possuem a mesma base, que são imagens de satélite adquiridas de grandes empresas como, por exemplo, a *Digital Globe.* Existem também outras plataformas gratuitas de acesso a imagens de satélite, como as do INPE, da NASA, e da Agência Espacial Europeia.

Nessa linha, alguns estudos aprofundam métodos automatizados de segmentação e classificação de objetos em imagens para obtenção de altura das edificações a partir de imagens de satélite (IRVIN e MCKEOWN 1989; CHENG e THIEL, 1995; CORDOVA, 2005; CLUA e CARRARA, 2007; LEE e KIM 2010; COMBER *et al.,* 2012; PEETERS e ETZION, 2012; HUANG e ZHANG, 2012; RAJU *et al.,*2014; KADHIM *et al.,* 2015; DINI *et al*., 2014; LIASIS e STRAVOU, 2016; QI *et al*., 2016; BILJECKI *et al*., 2017).

Na linha de pesquisa com aplicação de extração de sombras e segmentação com finalidades de análises urbanas, pode-se citar Peeters (2016) e Wang *et al*. (2016). Sendo que Peeters (2016) aplicou um método automatizado de análises de clima urbano, mais especificamente em extensão do acesso solar que foi utilizado em um estudo de caso em pátios internos residenciais, durante o verão, na cidade de Marrakesh. Foi adotado o critério paramétrico de 100% de sombra no pátio às 14h com a finalidade de checar se os pátios estavam sombreados durante o horário mais quente do dia nesta cidade, sendo que os resultados demonstraram que a maioria dos pátios analisados (53%) estavam sombreados no horário desejado. Já Wang *et al*. (2016) aplicaram um método de reconstrução em 3D de edifícios residências a partir de sombras de

uma cidade localizada na China com o intuito de obter a distribuição populacional usando imagens de satélite.

A pesquisa de Comber *et al.* (2012) apresenta um método que complementa as abordagens existentes para extrair alturas de construções que requerem especificações precisas das características geométricas dos dados de detecção remota e/ou grandes quantidades de dados pré-existentes, sendo que a abordagem é adequada para análises que requerem medidas aproximadas de altura de edifícios.

O estudo do sombreamento pode auxiliar e fornecer subsídios desde a etapa de planejamento urbano, como por exemplo na definição dos zoneamentos, e no planejamento dos espaços públicos abertos de lazer, contribuindo para a análise da distribuição dos subespaços e áreas de lazer e descanso, além de poder atuar como ferramenta de avaliação do impacto de novas edificações de entorno com o objetivo de maximizar o uso/apropriação dos espaços nas diferentes estações do ano. Dados abertos e *softwares* específicos ou ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica livres podem ser utilizados para a geração de mapas de visualização do sombreamento no local e também permitir diferentes tipos de análises de sombra, espaciais e quantitativas, em diferentes períodos do ano.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é apresentar um método indireto para a obtenção das alturas de edificações a partir da análise das sombras projetadas no solo, observadas a partir de imagens de satélite disponibilizadas em meio digital, utilizando-se de relações geométricas e da geometria solar.

## 3. MÉTODO

As projeções das sombras das edificações podem ser observadas através de levantamentos fotográficos feitos a partir de sobrevoos de drones ou aviões, e a partir das imagens de satélite de bancos de dados de sensoriamento remoto adquiridas ou disponibilizadas online, como, por exemplo, as imagens do Google Earth, recurso este utilizado na pesquisa e descrito a seguir.

### 3.1. Seleção de Imagens Aéreas do Google Earth Pro

A primeira etapa do processo de obtenção das alturas é selecionar a imagem aérea que melhor enquadra o objeto de estudo, pois o Google Earth disponibiliza uma ferramenta de imagens históricas, onde são disponibilizadas todas as imagens existentes de determinada localidade. As imagens distinguem-se em tonalidade e cor da imagem, presença ou não de nuvens e inclinação (Figura 1).

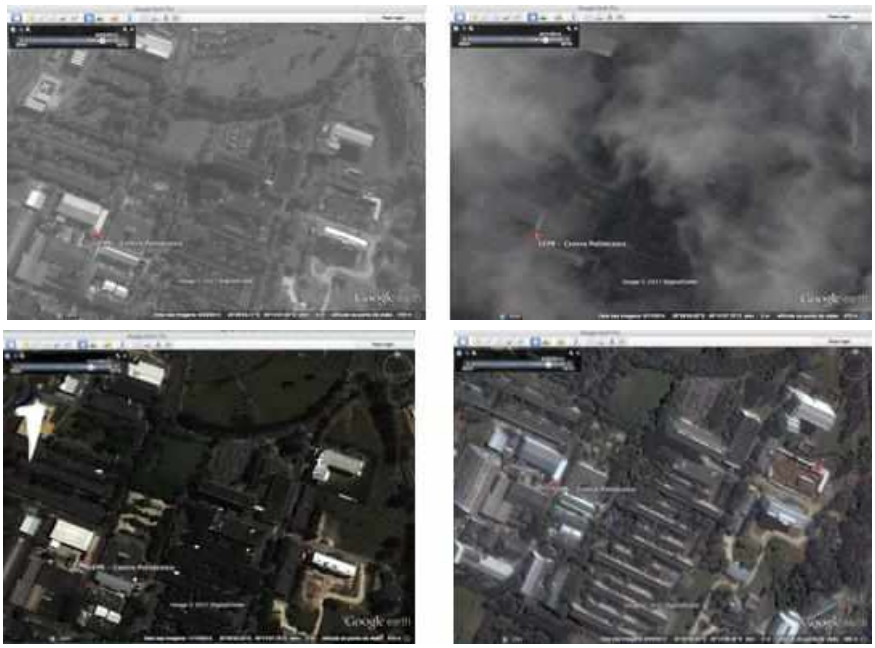


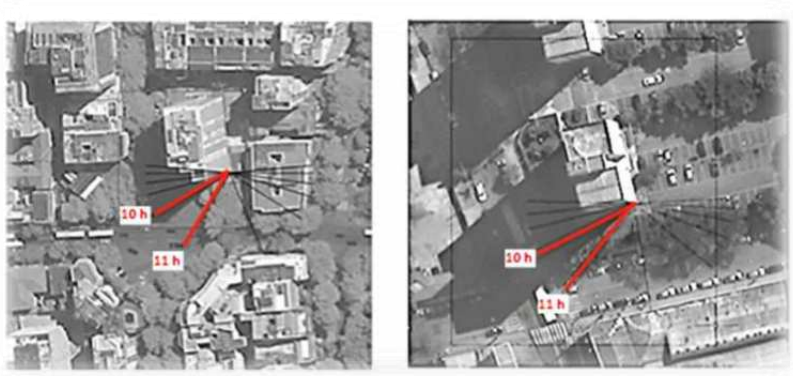
Figura 01 - Imagem de satélite da UFPR Centro Politécnico em diferentes datas (Google Earth, 2017).

Os critérios a serem adotados para a seleção são: a qualidade da imagem (nitidez), a inclinação dos prédios e também o posicionamento da sombra (dimensão, inclinação), e a visualização do "pé da sombra" no edifício. A imagem deve estar direcionada com o norte na parte superior.

### 3.2. Estimativa do horário de captura da imagem através de Relógio de Sol Virtual

Como as imagens são distribuídas gratuitamente pelo Google, os metadados disponibilizados são mínimos (constando em geral apenas: data, longitude e latitude). Para se estimar a altura dos edifícios a partir das sombras projetadas nestas imagens, utilizando-se de relações geométricas e da geometria solar, é necessário conhecer o horário no qual essas foram capturadas, uma vez que tal horário definirá a extensão da sombra na imagem.

Neste estudo, para se obter o horário da captura da imagem a partir da data fornecida como metadado, baseou-se na estimativa do horário via sobreposição de um relógio de sol virtual sobre a imagem de satélite, conforme o método descrito por Moro *et al*. (2017) (Figura 2).




a) b)

Figura 2 - Imagens de satélite das cidades do Rio de Janeiro (a) e São Paulo (b) com o gráfico do relógio de sol. (Moro et al., 2017)

### 3.3. Cálculo da estimativa da altura das edificações

Após a verificação do horário de captura da imagem, realizou-se a estimativa da altura da edificação através da relação trigonométrica entre a altura solar e a dimensão da sombra da edificação projetada no solo (Figura 3 e Equação 1).

$$tg \quad = h / d \rightarrow h = d \times tg \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:

α – □□□□□□ solar

d - dimensão da sombra da edificação projetada no solo

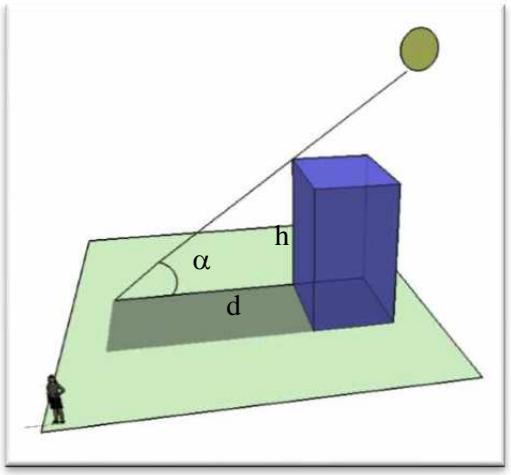



Figura 3 - Relação trigonométrica entre a altura solar e a dimensão da sombra

A dimensão da sombra da edificação foi obtida através da ferramenta “régua” no Google Earth, onde é possível obter medidas lineares, de um caminho, poligono, circulo, entre outros. Neste caso foi utilizada a medida linear, a partir da extremidade do edificio até o limite da sombra (Figura 4).

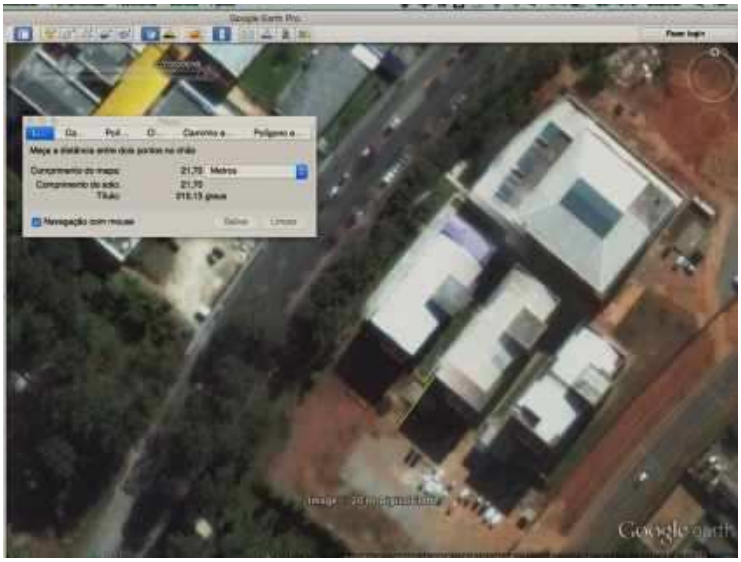


Figura 4 - Medição do comprimento das sombras pelo Google Earth

Para o cálculo da altura solar são necessários valores de algumas variáveis, relativos à Astronomia de Posição e à subsequente aplicação de equações. Algumas derivações do cálculo da altura solar são encontradas na literatura, entre elas a disponibilizada no meio digital pelo NOAA (*National Oceanic & Atmospheric Administration).*

Este laboratório, através da Divisão de Monitoramento Global, disponibiliza ao público em geral e a pesquisadores planilhas de Cálculos de Detalhes Solares (*Solar Calculation Details*) baseados em equações de Meeus (1999). Os resultados do nascer e do pôr-do-sol são teoricamente precisos dentro de um minuto para localizações entre +/- 72 ° latitude e dentro de 10 minutos fora dessas latitudes. No entanto, devido às variações na composição atmosférica, temperatura, pressão e condições, os valores observados podem variar de cálculos. Na planilha disponibilizada pelo NOAA, a partir da entrada de dados de longitude, latitude, time zone e data é possível obter dados referentes à posição solar para um determinado local. Entre eles a altura solar, ou o também chamado ângulo de elevação solar, resultante do cálculo de diversas variáveis, dentre elas: o dia juliano, equação do tempo, hora solar verdadeira, ângulo hora, ângulo solar zenital (Equação 2) (USA, 2016).

$$90 \quad (\cos \quad 1(sen(latitude(radianos)) \quad sen((\hat{a}ngulodeclin.sol(radianos))+ \\ \cos(latitude(radianos))*\cos(\hat{a}ngulodeclin.sol(radianos)) \quad \cos(\hat{a}ngulohor\acute{a}rio)(radianos)) \qquad \text{Equação 2}$$

## 4. RESULTADOS

Para a validação do método indireto para obtenção de alturas das edificações a partir de imagens de satélite, foram escolhidos os blocos A, L e M situados na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, sede Ecoville.

Primeiramente, foram estimadas as alturas a partir das sombras projetadas no solo observadas na imagem de satélite do Google Earth e, posteriormente, foram efetuadas medições in loco com Estação Total TS02 para comparação dos resultados tendo como referências os pontos da base da edificação e o ponto extremo do topo da edificação. A metodologia adotada para as medições *in loco* seguiu as seguintes etapas: 1. Montagem e nivelamento visual do tripé; 2. Fixação do equipamento; 3. Nivelamento do equipamento; 4. Inserção dos dados – altura do equipamento (1,365m) e altura do prisma (1,80m); 5. No visor: Item programas – altura remota; 5. Ponto no prisma inferior e ponto superior edificação; 6. Resultado no visor.

O critério para seleção das imagens de satélite foi o descrito anteriormente. E, novamente, a partir das imagens aéreas selecionadas, foi estimado o horário da captura da imagem através do relógio do sol virtual através do método apresentado por Moro *et al*. (2017).

Para a determinação da altura solar (α), foi utilizada a planilha virtual da NOAA, a partir dos metadados conhecidos de longitude, latitude e data (Tabela 1).

Tabela 1 - Dados para validação do método de obtenção das alturas das edificações de blocos da UTFPR

| Data da imagem | Bloco | Dimensão da sombra (m) | Horário estimado Relógio Sol | Altura Solar (Noaa) | Altura da edificação obtida (m) | Altura pela medição *in loco* (m) | Diferença (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 29/04/13 | Bloco M | 17,00 | 11h45min | 49,13 | 19,64 | 17,913 | -1,727 |
| 03/05/13 | Bloco L | 21,7 | 12h | 48,56 | 21,74 | 17,909 | -3,831 |
| | Bloco M | 18,20 | 12h | 48,56 | 20,38 | 17,913 | -2,467 |
| 01/06/14 | Bloco A | 29,00 | 9h45min | 29,67 | 16,52 | 16,66 | 0,14 |
| | Bloco L | 32,10 | 9h45min | 29,67 | 18,28 | 17,909 | -0,371 |
| | Bloco M | 31,50 | 9h45min | 29,67 | 17,95 | 17,913 | -0,037 |
| 22/07/16 | Bloco A | 19,10 | 12h | 44,08 | 18,49 | 16,66 | -1,83 |
| | Bloco L | 20,70 | 12h | 44,08 | 19,85 | 17,909 | -1,941 |
| | Bloco M | 21,50 | 12h | 44,08 | 20,91 | 17,913 | -2,997 |
| 16/06/16 | Bloco A | 18,70 | 11h30min | 39,80 | 15,83 | 16,66 | 0,83 |
| | Bloco L | 20,07 | 11h30min | 39,80 | 16,72 | 17,909 | 1,189 |
| | Bloco M | 21,59 | 11h30min | 39,80 | 17,99 | 17,913 | -0,077 |

Os resultados mostraram que as diferenças entre as alturas obtidas através das sombras nas imagens aéreas, e as medidas obtidas através das medições *in loco* variaram entre -0,371 e -3,831, em função do horário ou da época do ano.

Após o estudo com os edifícios da UTFPR sede Ecoville, o mesmo método foi aplicado em 06 espaços públicos abertos em Curitiba, sendo praças e jardins ambientais, com medição de alguns edifícios do entorno imediato. Os critérios para escolha destes espaços púbicos abertos foram: espaços com edificações de entorno que possibilitassem projeção integral da sombra no solo; espaços com edificações de entorno de alturas variáveis e localizadas em diferentes bairros, centrais e periféricos, da cidade. Sendo assim, os espaços públicos abertos selecionados foram: Praça Oswaldo Cruz (Centro), Praça do Japão (Batel/Água Verde), Praça Generoso Marques (Centro), Jardim Ambiental da Rua do Herval (Novo Mundo), Jardim Ambiental da Rua Olga de Araújo Espíndola (Novo Mundo), Praça Alcinda Gomes Chagas (Parolin) (Figura 5).

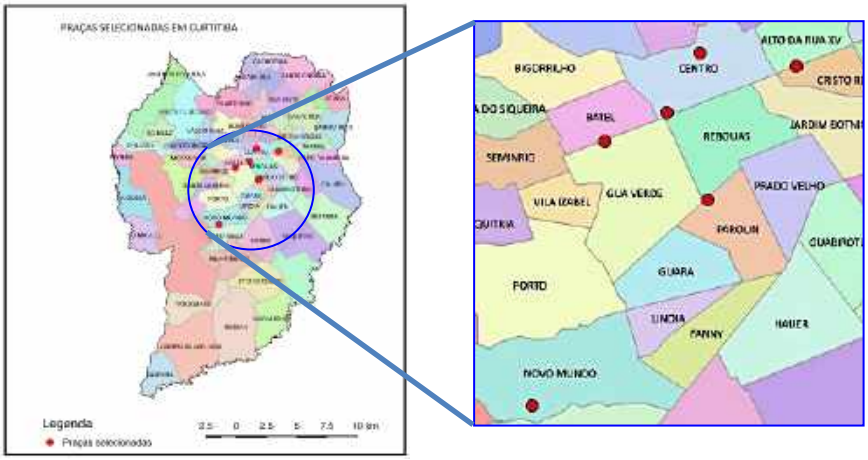



Figura 5 - Mapa de localização das praças selecionadas para validação do método de obtenção das alturas dos edifícios do entorno imediato

Para cada local foram aplicadas as etapas da metodologia de obtenção das alturas descritas anteriormente. Sendo que primeiramente foi feita a seleção de imagens de satélite no Google de cada local selecionado (escolhidas entre 01 e 03 imagens); Posteriormente, foi executada a estimativa do horário de captura da imagem aplicando Relógio de Sol Virtual a partir da sombra de uma edificação de entorno. Por fim foi executada a estimativa das alturas edificações selecionadas a partir da equação trigonométrica

(Equação 1). Os resultados foram comparados a dados de medição das respectivas edificações, fornecidos pelo IPPUC – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba, realizados através de levantamento por perfil a Laser, onde os dados são capturados por scanners laser que executam medições em três dimensões sem contato com o objeto (Tabela 2).

Tabela 2 - Comparativo do método indireto de obtenção de alturas de edificações com dados de medição a Laser de alguns dos espaços públicos abertos analisados

| Data da imagem | Dimensão da sombra (m) | Horário estimado relógio sol | Altura solar (NOAA) | Altura da edificação obtida (m) | Altura a partir da medição perfil laser (m) | Diferença (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Praça Oswaldo Cruz** | | | | | | |
| 20/11/12 | 18,76 | 12h | 84,38 | 190,6 | 61,9 | -208,19% |
| 29/04/13 | 63,00 | 11h30min | 48,47 | 71,1 | 61,9 | -14,99% |
| 13/03/14 | 31,50 | 11h15min | 61,08 | 57,0 | 61,9 | 7,83% |
| **Praça Do Japão** | | | | | | |
| 21/05/09 | 74,10 | 13h30min | 40,67 | 63,7 | 70,2 | 9,36% |
| 28/02/16 | 40,50 | 11h | 62,39 | 77,4 | 68,1 | -13,78% |
| **Praça Generoso Marques** | | | | | | |
| 02/05/11 | 14,75 | 11h | 45,33 | 14,9 | 16,1 | 7,27% |
| 10/10/09 | 12,22 | 11h30min | 69,67 | 33,0 | 16,1 | -104,98% |
| **Jardim Ambiental – Herval** | | | | | | |
| 09/05/14 | 13,43 | 16h | 20,23 | 4,9 | 12,0 | 58,65% |
| 17/05/14 | 14,06 | 11h30min | 43,91 | 13,5 | 11,9 | -13,45% |

Pode-se observar que nas imagens em que a altura solar é muito alta, com ângulos solares maiores que 65º ou com ângulos solares muito baixos, a diferença com relação à altura dos edifícios é maior. Os resultados mais próximos se referem aos que possuem altura solar mais próxima de 45º, pois quando o ângulo se aproxima deste valor, por princípios baseados na trigonometria, a dimensão da sombra projetada no solo praticamente será a mesma.

Os resultados obtidos através da aplicação do método apresentado neste estudo também foram comparados com os resultados da medição das alturas das edificações obtidos através da ferramenta disponibilizada pelo Google Earth Pro (Tabela 3), método este também validado através de comparação de resultados de medição in loco e os obtidos através desta ferramenta virtual.

Tabela 3 - Comparativo entre as medições pelo método indireto e através do Google Earth

| Data da Imagem | Dimensão da sombra (m) | Horário do Relógio de Sol | Altura Solar (NOAA) | Altura da edificação – método indireto (m) | Altura da edificação – Google Earth Pro (m) | Diferença de altura – mét. Indireto x Google Earth Pro (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Praça Oswaldo Cruz** | | | | | | |
| 20/11/12 | 18,76 | 12h | 84,38 | 190,64 | 60,25 | -216,42% |
| 29/04/13 | 63,00 | 11h30min | 48,47 | 71,13 | 60,25 | 1,4% |
| 13/03/14 | 31,50 | 11h15min | 61,08 | 57,02 | 60,25 | 1,8% |
| **Praça do Japão** | | | | | | |
| 21/05/09 | 74,10 | 13h30min | 40,67 | 63,67 | 67,62 | 1,6% |
| 28/02/16 | 40,50 | 11h | 62,39 | 77,44 | 67,40 | 1,3% |
| **Praça Generoso Marques** | | | | | | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 02/05/11 | 14,75 | 11h | 45,33 | 14,92 | 16,22 | 1,4% |
| 10/10/09 | 12,22 | 11h30min | 69,67 | 32,98 | 16,22 | -103,34% |
| **Jardim Ambiental – Herval** | | | | | | |
| 09/05/14 | 13,43 | 16h | 20,23 | 4,95 | 11,60 | -57,33% |
| 17/05/14 | 14,06 | 11h30min | 43,91 | 13,53 | 11,02 | 7,4% |
| **Jardim Ambiental – Olga** | | | | | | |
| 31/08/14 | 7,2 | 14h | 48,04 | 8,01 | 9,50 | 12,5% |
| **Praça Alcinda Gomes Chagas** | | | | | | |
| 18/03/16 | 28,6 | 11h | 57,77 | 45,36 | 41,50 | 2,2% |
| **Edifício Administração UFPR Politécnico** | | | | | | |
| 31/08/12 | 17,1 | 13h | 54,68 | 27,12 | 27,16 | 3,7% |

Pode-se observar que os valores das alturas das edificações obtidos pelos dois métodos ficaram bem próximos, exceto nos casos em que os ângulos solares eram muito altos, maiores que 65º, ou muito baixos, menores que 30º. Quando o ângulo é próximo de 45º os resultados apresentaram menor diferença, validando a relação trigonométrica que neste ângulo, a altura da edificação e a sombra deveriam apresentar os mesmos valores.

## 5. CONCLUSÕES

É imprescindível analisar os diversos aspectos que influenciam o uso dos espaços livres urbanos. Um destes aspectos é o sombreamento gerado pelas elevadas alturas das edificações de entorno, que pode alterar o ambiente térmico nas diferentes estações durante o ano, estimulando ou não o uso destes locais. Para a análise de sombreamento, é necessário conhecer as alturas das edificações, e para isto foi descrito um método indireto neste estudo.

Os resultados obtidos na aplicação do método indireto, levando em consideração o ângulo de incidência solar, demonstraram que o método é confiável. As diferenças dos resultados entre as medições *in loco* e as medições através do método proposto em sua maioria foram pequenas.

No entanto, foram observadas algumas limitações de uso para que sejam obtidos resultados mais condizentes. São elas: evitar imagens de satélite com altura solar maior que 65 graus ou menor que 45 graus; sombras com dimensões reduzidas geram maior erro, portanto quanto maior a sombra, melhores os resultados; existem prováveis limitações quanto à medição da sombra que são a declividade do terreno e a imprecisão do ponto de início da sombra/edificação.

É importante salientar que as sombras sobrepostas das edificações não foram consideradas, e que apenas as sombras que estão totalmente no solo foram consideradas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


BENEDET, M. S. **Apropriação de praças públicas centrais em cidades de pequeno porte.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Florianópolis. Brasil. 2008.

BILJECKI, F.; LEDOUX, H. STOTER, J. **Generation 3D city models without elevation data**. Computers Environment and Urban Systems. 2017

**COMBER, A.; UMEZAKI, M.; ZHOU, R.; DING, Y.; LI, Y.; FU, H.; JIANG, H.; TEWKESBURY, A. Using shadows in high-resolution imagery to determine building height**. Remote Sensing Letters. Volume 3. Issue 7. 2012.

**CHENG, F.; THIEL , K.H. Delimiting the Building Heights in a City from the Shadow in a Panchromatic SPOT-Image - Part 1 - Test of Forty Two Buildings, Int. J. Remote Sensing, 16:409-415. 1995.**

CLUA, D. M. G.; CARRARA, V. **Reconstrução gráfica tridimensional de edificações urbanas a partir de imagens aéreas relatório**. INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2007.

CORDOVA, H. **Elevation determination by shadow measurement from vertical monoscopic aerial imagery**. Pecora 16 "Global Priorities in Land Remote Sensing". 2005.

DINI, G. R.; LISINI, G.; HARB, M. ; GAMBA, P. **Comparison of estimated building story number for exposure mapping from high resolution space-borne images**. Leibniz University Hannover, Germany. 2014.

HUANG, X.; ZHANG, L. **Morphological building/shadow index for building extraction from high-resolution imagery over urban areas**. Ieee Journal Of Selected Topics In Applied Earth Observations And Remote Sensing, Vol. 5, No. 1, February 2012

IRVIN, R. B.; MCKEOWN, D. M. **Methods for Exploiting the Relationship Between Buildings and Their Shadows in Aerial Imagery**. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. 1989.

KADHIM, N. M M.; MOURSHED, M.; BRAY, M. **Automatic extraction of urban structures based on shadow information from satellite imagery**. 14th Conference of International Building Performance Simulation Association, Hyderabad, India, Dec. 7-9, 2015.
LEE, T.; KIM, T. **Generation of 3D Building Models From Commercial Image Database Through Shadow Analysis 3D Building Extraction By Volumetric Shadow Analysis**. ASPRS 2010 Annual Conference - San Diego, Califórnia. 2010.
LIASIS, G.; STAVROU, S. **Satellite images analysis for shadow detection and building height estimation**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2016
MORO, J. ; KRÜGER, E.; CAMBOIM, S.; PIASKOWY, N. **Estimativa do Horário de Aquisição de Imagens de Satélite Para Análises Climáticas Urbanas**. XIV ENCAC. Balneário Camboriú. Setembro/2017.
NIKOLOPOULOU, M., BAKER, N., STEEMERS, K. **Thermal comfort in outdoor urban spaces: Understanding the Human parameter.** Solar Energy Vol. 70, No. 3, pp. 227–235. 2001.
OLIVEIRA, L. A. DE, ; MASCARÓ, J.J. **Análise da qualidade de vida urbana sob a ótica dos espaços públicos de lazer.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 7, n. 2, p. 59-69, abr./jun. 2007.
PEETERS, A. ETZION, Y. **Automated recognition of urban objects for morphological urban analysis**. Computers, Environment and Urban Systems. 2012.
QI, F.; ZHAI, J. Z.; DANG, G. **Building height estimation using Google Earth**. Energy and Buildings. 2016.
RAJU, P.L.N.; CHAUDHARY, H.; JHA, A.K. **Shadow analysis technique for extraction of building height using high resolution satellite single image and accuracy assessment.** The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-8, ISPRS Technical Commission VIII Symposium, 09 – 12 December 2014, Hyderabad, India. 2014.
SHETTIGARA, V. K.; SUMERLING G. M. **Height determination of extended objects using shadows in spot Images**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 64: 35-44. 1998.
USA, Department of Commerce. ESRL - Earth System Research Laboratory.Global Monitoring Division. Disponível em: https://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/calcdetails.html. Acessado em: Agosto/2016.