

## UMA FERRAMENTA PARA ANÁLISE DO POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE ILHAS DE CALOR

C. M. Nakata-Osaki, L. C. L. Souza e D. S. Rodrigues

### RESUMO

O uso de ferramentas computacionais tem sido cada vez mais frequente em pesquisas de planejamento urbano, em simulações de previsão de cenários futuros e na inclusão de modelos matemáticos. O objetivo deste estudo é o de verificar a influência da geometria urbana nos valores de intensidade de ilha de calor noturna através da simulação com o uso da ferramenta THIS – *Tool for Heat Island Simulation*. Essa ferramenta foi desenvolvida como sub-rotina de cálculo incorporada ao SIG ArcGIS 10.2. O método do trabalho inclui levantamento de campo (monitoramento de dados climáticos e dados de geometria urbana); desenvolvimento da ferramenta computacional; ajuste; e simulação. Este estudo traz como contribuição, a verificação de que, para um mesmo valor de relação H/W (altura/largura do via), cânions urbanos com maior rugosidade resultam em valores de intensidade de ilha de calor menores em relação aos cânions de menor rugosidade.

### 1 INTRODUÇÃO

Muitos são os efeitos no clima decorrentes do processo de urbanização. Dentre eles destaca-se a formação de ‘ilha de calor urbana’ (ICU), que corresponde ao aumento da temperatura nos centros urbanos em relação à periferia da cidade (ou área rural adjacente). Dentre suas causas, estão as propriedades e os arranjos de elementos urbanos, que possibilitam maior armazenamento de calor nas cidades do que nas áreas periféricas.

Com as estimativas de aquecimento global, torna-se relevante estudar o crescimento das ICU com o aumento da urbanização (Hamdi, 2010; Mendonça e Monteiro, 2003). Dentre os fatores envolvidos no processo de urbanização, destaca-se o tamanho da população, o aumento de fontes de calor e a geometria urbana.

O fenômeno da ilha de calor apresenta efeitos que podem ser benéficos em algumas cidades mais frias, mas geralmente no verão são vistos como um problema. Além do desconforto causado nas pessoas, podem contribuir também para problemas de saúde, maior consumo energético e aumento de poluição. Arnfield (2003) resumiu as várias observações gerais realizadas em estudos de ilha de calor no âmbito geográfico, indicando que: sua intensidade decresce com o aumento da velocidade dos ventos e da nebulosidade; tende a aumentar com o aumento do tamanho da cidade e da população; e, apresenta-se maior à noite. No entanto, essas conclusões não são unânimes dentre os estudos encontrados na área.

Para Oke (1988), Ali-Toudert e Mayer (2006) e Bourbia e Boucheriba (2010), um dos fatores geralmente relacionados à formação de ilhas de calor urbanas, é a geometria

urbana, principalmente se considerada a variação do microclima. A variação da geometria urbana pode provocar aumento ou diminuição da temperatura do ar do centro em relação aos arredores da cidade, influenciar na velocidade e direção dos ventos, e, alterar a forma de recebimento de radiação por ondas curtas e liberação de calor através de ondas longas.

Uma das formas mais comumente utilizadas para representar a geometria dos cânions urbanos, é a relação entre a altura das edificações e a largura da via (relação H/W, do inglês *height/width*). A relação H/W pode variar desde o valor 0 (zero), caracterizando um ambiente rural, até valores mais altos, que podem caracterizar bairros de baixa densidade (0,25, 0,5) ou alta densidade (1, 2, 3,...).

Fundamentando seu estudo na geometria urbana, Oke (1981) desenvolveu um modelo numérico de base empírica, simplificado, de previsão de intensidade máxima de ilhas de calor noturnas. Aquele modelo tornou-se uma das referências na literatura de clima urbano, pois conseguiu isolar o papel específico da geometria urbana sobre a ilha de calor. Com isso, Oke (1981) verificou a existência de uma tendência de menor taxa de resfriamento do ambiente urbano em relação ao rural, à medida que o cânion urbano apresenta aumento na relação H/W. Teoricamente, quanto maior é a relação H/W, menor é a área de céu visível e de dissipação da radiação de ondas longas. Assim, ocorre redução na taxa de resfriamento das áreas urbanas, por redução do transporte turbulento, devido ao abrigo do vento e da quantidade de calor antropogênico liberado (Oke, 1987). Em outras palavras, o maior valor de relação H/W, supostamente, incorreria na ilha de calor de maior intensidade. Porém, como se trata de um modelo muito simplificado, em que o perfil dos cânions é tido como homogêneo e infinito, nem sempre essa condição experimental corresponde à realidade em campo. Além disso, o modelo de Oke, considera apenas dados obtidos em monitoramentos climáticos na Australásia, Europa e América do Norte. Por essas razões, conforme ressaltam Souza et al. (2010), o modelo requer ajustes.

Memon *et al.* (2010), por exemplo, encontraram uma correlação positiva para o aquecimento de superfícies no período noturno, mas uma correlação ligeiramente negativa para aquecimento direto de superfícies no período diurno. Entretanto, outros estudos encontraram uma correlação negativa. Em um estudo realizado na cidade de Constantina (Argélia), foi verificado que o ponto urbano de maior relação H/W apresentou ambiente mais fresco (Bourbia e Bouceriba, 2010). Aqueles autores constataram que a variação no comportamento térmico das ruas medidas pode estar relacionada ao efeito da geometria, que cria uma certa falta de simetria em relação à exposição solar do cânion urbano durante o dia. Isso pode influenciar na proteção de superfícies quanto à radiação solar, sendo uma das mais importantes estratégias para a redução de carga de calor em um clima quente e seco.

Schrijvers et al. (2015) analisaram a transferência radiativa, o fluxo de calor condutivo e a ventilação, em modelo CFD, considerando uma gama de relação H/W (0,0, 0,5, 1,0, 2,0 e 4,0), a fim de estudar a importância da geometria do edifício. Os experimentos daqueles autores demonstraram que a temperatura do ar para as relações H/W 2,0 e 4,0, devido à estratificação muito estável na parte mais baixa do cânion, apresentou-se muito menor que as relações H/W 0,5 e 1,0.

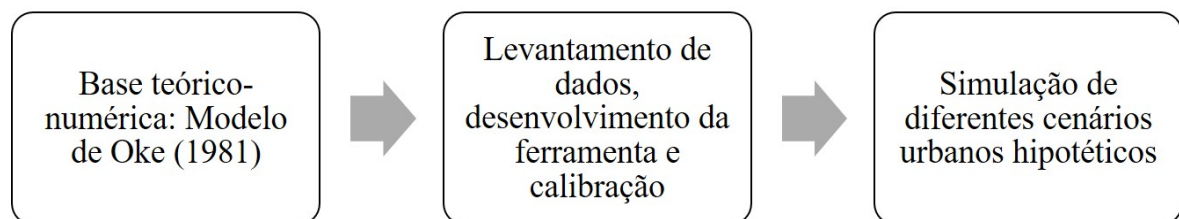
Associado à geometria urbana, um outro parâmetro complementar parece ser importante para a análise do cânion urbano: o comprimento de rugosidade ( $Z_0$ ). Esse considera, além da altura, a área de fachada e a área ocupada pelas edificações. A aplicação desse conceito

parece ser um importante aspecto a considerar nos estudos de clima urbano, pois permite relacionar a geometria urbana com as alterações de fluxo de vento (Zaki et al., 2011; Millward-Hopkins et al., 2011; Kanda e Moriizumi, 2009; Sugawara e Narita, 2009).

Dentro desse contexto e procurando-se aprofundar os estudos voltados para cidades brasileiras, neste artigo é estudado o modelo de Oke como etapa preliminar para o desenvolvimento de uma ferramenta de simulação de previsão de intensidade máxima de ilha de calor noturna. A ferramenta é incorporada como uma sub-rotina de cálculo em um Sistema de Informações Geográficas. Nessa plataforma, associam-se novas equações de adaptação e ajuste, gerando a ferramenta denominada THIS – *Tool for Heat Island Simulation*. Esta é então aplicada a cenários urbanos hipotéticos para verificar a influência da geometria urbana nos valores de intensidade máxima de ilha de calor noturna.

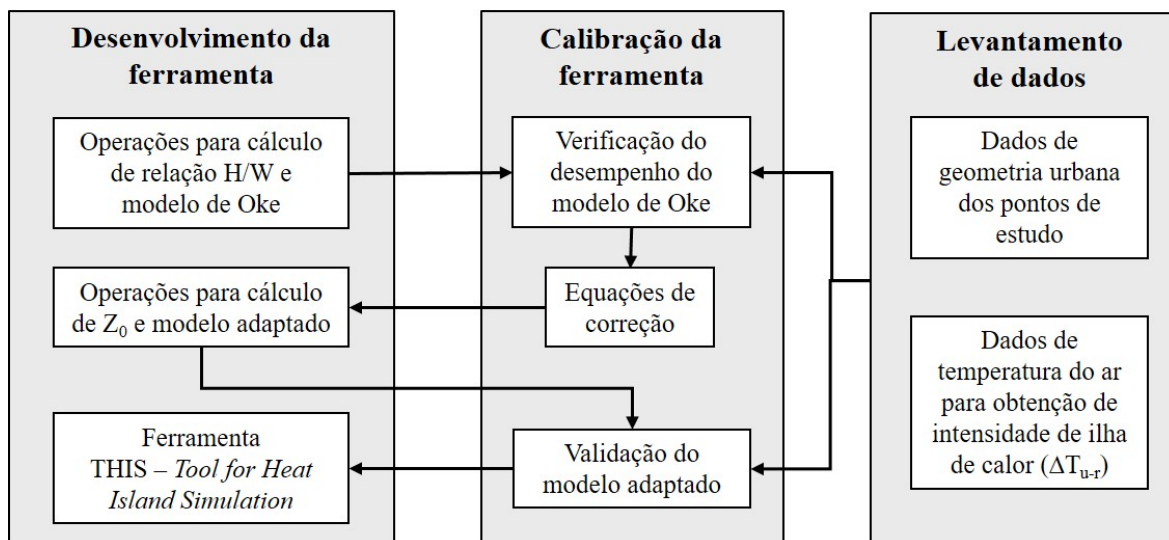
## 2 MÉTODO

O método envolve: uma etapa inicial, que é a consideração do modelo de Oke como base teórico-numérica; uma etapa intermediária, que é composta pelo levantamento de dados de campo, desenvolvimento da ferramenta computacional e calibração; e, uma etapa final, que é a simulação de cenários hipotéticos (Figura 1).



**Fig. 1 Etapas do método**

A etapa intermediária, que compreende especificamente o desenvolvimento e automatização da ferramenta THIS - *Tool for Heat Island Simulation* em um SIG, abrange diversas sub-etapas (Figura 2).



**Fig. 2 Fluxograma da etapa de levantamento de dados, desenvolvimento da ferramenta e calibração da ferramenta.**

Utiliza-se o ArcGIS 10.2 como plataforma de desenvolvimento da sub-rotina de cálculo proposta, por permitir a personalização de tarefas. Assim, é possível automatizar o acionamento sequencial de suas ferramentas para a execução da tarefa específica de cálculo da máxima intensidade da ilha de calor urbana noturna.

### 3.1 Levantamento de dados

O levantamento de dados foi realizado em duas cidades brasileiras, São José do Rio Preto e Bauru, ambas localizadas no interior do estado de São Paulo, Brasil. Na primeira cidade foram coletados dados em 6 pontos de estudo, em junho de 2013 e outubro de 2012 (em colaboração com Masiero, 2014), e na segunda cidade foram obtidos dados de 15 pontos de um levantamento realizado em junho e julho de 2005 por Leme (2005), dessa forma, totalizando 21 pontos de estudo.

Por se tratar de uma análise das magnitudes de ilha de calor estritamente relacionada à influência da geometria urbana, a seleção dos pontos de estudo considerou diferentes configurações urbanas, com variação de relação H/W. Para isolar essa influência sobre a temperatura do ar, o critério de escolha dos pontos estabeleceu o necessário distanciamento de locais que estivessem sob influência de outras variáveis, tais como vegetação e corpos d'água.

Após obtidos os dados dos levantamentos, foram selecionados somente dias estáveis, sem ocorrência de chuvas ou nevoeiros, de céu claro (baixa nebulosidade, menor que 50%) e baixa velocidade média de vento (menor que 2,0 m/s). Os valores de intensidades de ilhas de calor ( $\Delta T_{u-r(max)}$ ) dos dias medidos foram selecionados no período noturno, nas primeiras horas após o pôr do sol (entre 18h e 22h). Todas as medições, em ambas as cidades, foram realizadas a 3 metros de altura (em postes de fornecimento de energia), com orientação a sul. Em cada uma das cidades e durante o levantamento de dados correspondente, foram também levantados dados de temperatura do ar pelas estações meteorológicas localizadas em área periférica da cidade, para permitir o cálculo de  $\Delta T_{u-r(max)}$ .

Os equipamentos utilizados nos pontos de coleta urbana da cidade de São José do Rio Preto foram data-loggers da HOBO Pro v2, modelo U23-001, marca ONSET, com sensores de temperatura (precisão de -40°C a 70°C) e umidade (0-100%), ambos com erro de 1%. Em Bauru foram utilizados data-loggers HOBO H8 Pro Series Temp/External Temp H08-031-08, da marca ONSET, com sensores de temperatura do ar (de -30°C a 50°C) e externa/superficial (-40° a 100°C), com resolução de 0,02°C a 21°C em modo de alta resolução. Todos os equipamentos possuem proteção contra radiação solar direta e chuva.

### 3.2 Desenvolvimento da ferramenta computacional e calibração

O desenvolvimento da ferramenta foi realizado dentro do ambiente de programação da plataforma ArcGIS 10.2, baseando-se em uma sequência lógica de relações espaciais e numéricas necessárias para o cálculo da geometria urbana. Inicialmente, o valor de relação H/W é determinado através de associações espaciais, e o cálculo da intensidade máxima da ilha de calor ( $ICU_{max}$ ) é obtido através da incorporação da equação de Oke (Equação 1) no algoritmo. O código foi escrito em linguagem Visual Basic e incorporado ao ArcGIS 10.2 como um novo módulo.

$$\Delta T_{u-r(max)} = 7,45 + 3,97 \ln (H/W) \quad (1)$$

Onde:

$\Delta T_{u-r(max)}$ : intensidade máxima da ilha de calor (°C);

H: média da altura das edificações da quadra urbana (m);

W: largura média da via medida de face a face das edificações do cânion urbano (m). Nesse caso, o algoritmo proposto considera que a medida de largura da via (W) é a média da largura do trecho de rua em análise, da fachada de uma edificação à outra, estando contido nesse espaço as calçadas e os recuos. O trecho de rua a que se refere esse cálculo é delimitado pelo encontro entre os eixos de via urbana, ao formarem uma quadra.

Os dados de entrada solicitados para o cálculo de geometria urbana pela sub-rotina são: uma camada do tipo 'linha' (que representa os eixos das vias) e outra camada do tipo 'polígono' (que representa os edifícios). Além disso, é necessário que na camada dos edifícios o usuário informe os valores da altura dos edifícios (número associado com o objeto polígono), e o valor da distância do raio edifício-eixo (único valor). Este último parâmetro trata do valor a ser utilizado para a seleção dos edifícios para o cálculo de relação H/W de cada eixo da rua.

Como a realidade das cidades, na maioria das vezes, não corresponde a configuração de um cânion infinito, o qual fundamenta a relação H/W do modelo de Oke, adotou-se uma forma de incorporar a heterogeneidade do terreno urbanizado, através da identificação da rugosidade ( $Z_0$ ), proposta por Oke (1987). A equação de  $Z_0$  foi adaptada para a plataforma de cálculo no ArcGIS 10.2 (Equação 2).

$$Z_0 = 0,5h (A^*/A') \quad (2)$$

Onde:

$Z_0$ : é o comprimento da rugosidade (m);

h: altura média das edificações da quadra urbana (m);

$A^*$ : área média da fachada voltada ao centro/eixo do cânion urbano (m<sup>2</sup>);

$A'$ : área média ocupada por cada edificação da quadra urbana (m<sup>2</sup>).

Dessa forma, foram observadas as diferentes tendências de crescimento da intensidade de ilha de calor em relação ao valor de H/W e em função da rugosidade. Com base nessa diferença, o modelo foi ajustado através de equações de correções, obtendo-se, assim, o modelo adaptado.

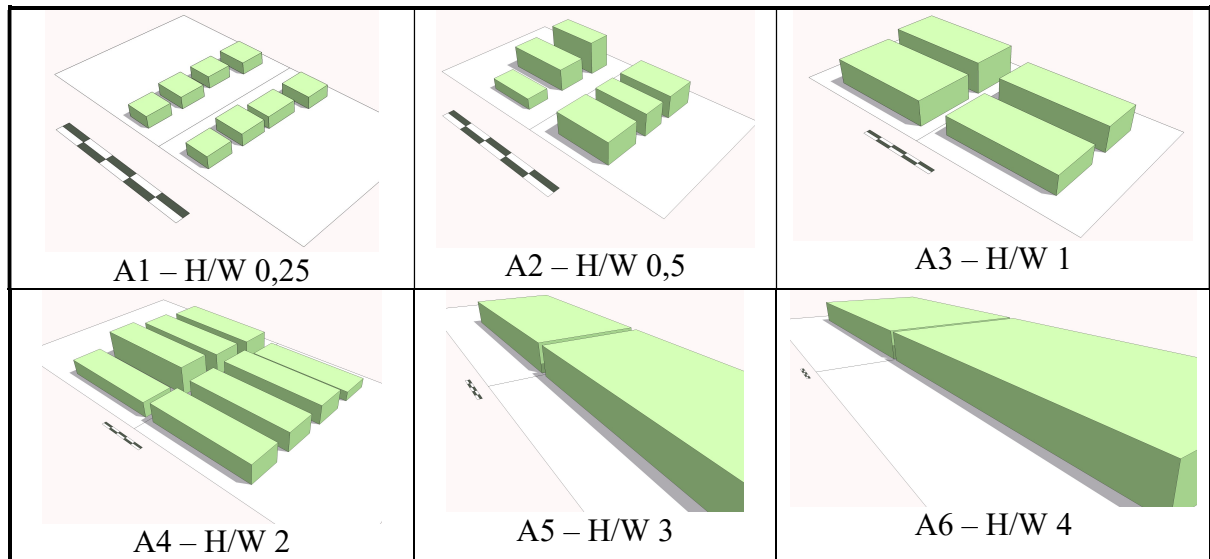
Uma sub-rotina incorporada ao SIG ArcGIS 10.2 foi programada utilizando associações espaciais para o cálculo de relação H/W e, com base nesses resultados, associações tabulares para o cálculo das máximas intensidades de ilha de calor noturna pelo modelo de Oke. Através de novas associações espaciais, foram obtidos valores de  $Z_0$  para os mesmos pontos. Somados aos dados resultantes anteriores, foi possível verificar as relações dentre a geometria urbana e ilha de calor noturna, comparando-se dados simulados com dados reais. Dessa forma, foram obtidas novas equações que, incorporadas à sub-rotina, se configuraram no modelo adaptado, resultando no desenvolvimento da ferramenta THIS (*Tool for Heat Island Simulation*).

Resumidamente, a ferramenta adotou como princípio a incorporação de uma equação base, cujos resultados de cálculo foram comparados com resultados obtidos em levantamentos de dados em campo como forma de ajuste da ferramenta. Esse processo de comparação resultou na definição de equações de correções, que levaram à incorporação de novas operações no desenvolvimento da ferramenta e a obtenção do modelo adaptado. As equações de correção foram incorporadas com base em uma classificação de rugosidade das quadras ( $Z_0$ ), um novo parâmetro incluído na sub-rotina. Entretanto, caso seja necessária a validação do modelo para sua aplicação em outras cidades, a inserção de novas equações de correção é possível, desde que com base em um levantamento prévio de dados de ilha de calor urbana, relação H/W e  $Z_0$ .

### 3.3 Simulação

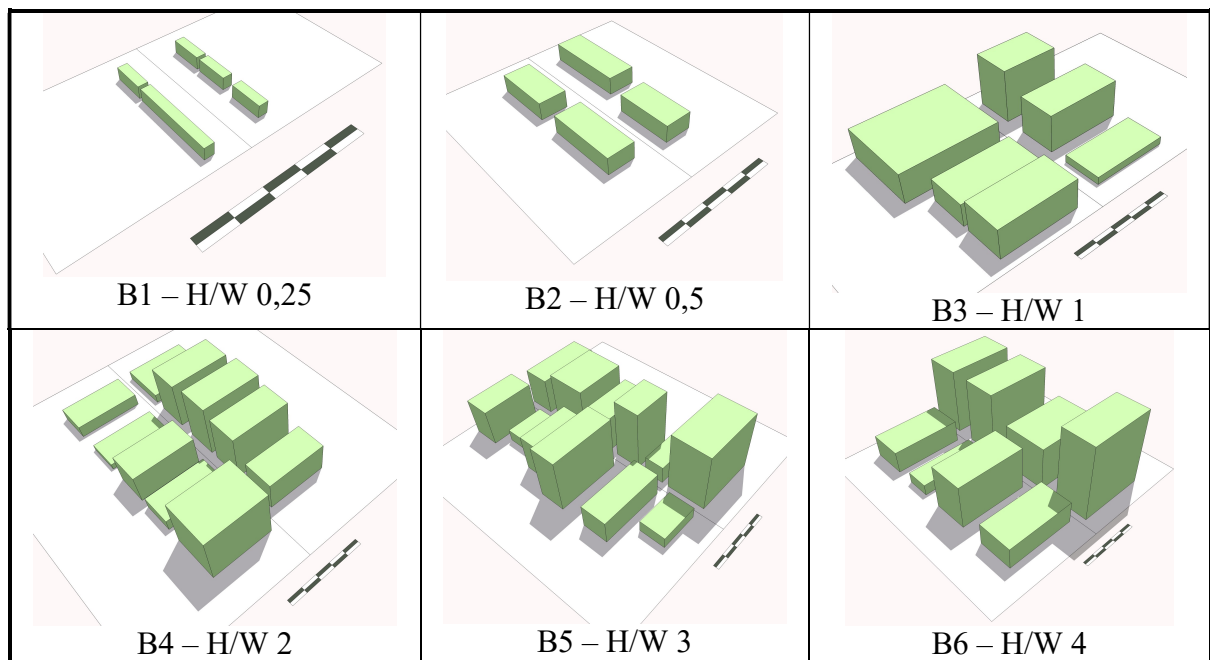
Com a sub-rotina da ferramenta THIS concluída, foi realizada uma simulação de 12 cenários urbanos hipotéticos. Esses correspondem a diferentes configurações de quadras urbanas, tanto no valor de H/W, quanto no comprimento de rugosidade ( $Z_0$ ), uma vez que ambos os parâmetros são calculados pela própria sub-rotina. A fim de abranger uma ampla gama de cenários, para a verificação da influência da geometria urbana na  $ICU_{max}$ , os seguintes valores de relação H/W foram determinados para a simulação: 0,25, 0,5, 1, 2, 3 e 4. Essa escala de relação H/W foi simulada tanto para valores de  $Z_0 < 2,0$  (Tabela 1) quanto para  $Z_0 \geq 2,0$  (Tabela 2), extrapolando os dois grupos de valores para os quais foram encontradas diferentes tendências de crescimento da  $ICU_{max}$ .

**Tabela 1 Cenários urbanos hipotéticos para  $Z_0 < 2,0$**



Obs: a escala gráfica que se apresenta ao lado das quadras urbanas mede 50m.

**Tabela 2 Cenários urbanos hipotéticos para  $Z_0 \geq 2,0$**



Obs: a escala gráfica que se apresenta ao lado das quadras urbanas mede 50m.

## 4 RESULTADOS

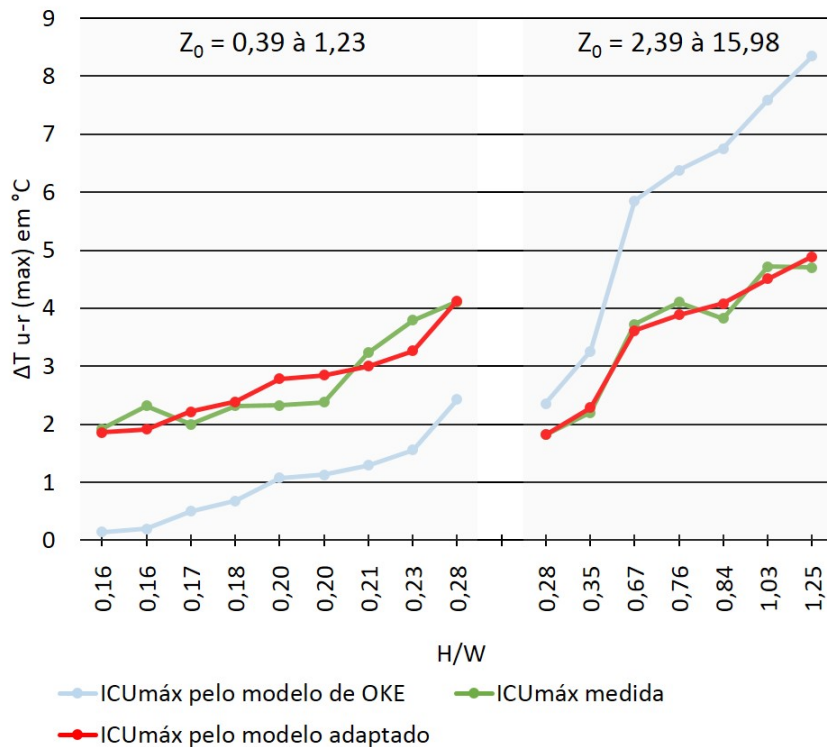
### 4.1 Comparação de dados medidos com os simulados pelo modelo de Oke e obtenção das novas equações para o modelo adaptado

A comparação entre os dados medidos e os simulados pelo modelo de Oke para os mesmos pontos demonstrou uma tendência crescente da  $\Delta T_{u-r(max)}$  em relação ao valor de H/W. No entanto, a correlação entre esses dados demonstrou-se baixa, com o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,63 e desvio padrão de 2,20. Após algumas análises e testes, foi

verificado que essa baixa correlação se deve aos comportamentos diferenciados para duas diferentes faixas  $Z_0$ . Quando a análise foi então realizada por faixas de  $Z_0$  (Figura 3), obteve-se uma melhoria na correlação dos dados ( $R^2$  de 0,80 e 0,97 para as duas diferentes faixas de  $Z_0$ ).

A faixa de ' $Z_0 = 0,39$  à  $1,23$ ' apresenta a relação entre valores de  $ICU_{max}$  para uma faixa de relação  $H/W$  entre 0,16 e 0,28. Os valores de  $ICU$  medidos encontram-se acima dos simulados pelo modelo de Oke, com diferenças de  $1,25^\circ C$  a  $2,25^\circ C$ . O coeficiente de determinação dessa relação é de  $R^2 = 0,80$ , com desvio padrão de 1,15.

A faixa de ' $Z_0 = 2,39$  à  $15,98$ ' apresenta resultados para a faixa de relação  $H/W$  de 0,28 à 1,25. Existe uma maior correlação entre as curvas dos valores simulados pelo modelo de Oke e a dos dados reais, que também apresenta uma relação diretamente proporcional à relação  $H/W$ , mas de forma menos acentuada que a do modelo de Oke. A curva dos dados reais, no entanto, ficou abaixo da curva de valores do modelo de Oke, com diferenças que variam de  $0,53^\circ C$  a  $3,63^\circ C$ . Essa relação apresentou um coeficiente de determinação de  $R^2 = 0,97$ , com desvio padrão de 2,13.



**Fig. 3 Intensidade máxima de ICU simulada pelo modelo de Oke e pelo modelo adaptado, e obtida em medição.**

A diferença de tendência notada entre essas duas faixas de  $Z_0$  serviu como um parâmetro adicional para a calibração do modelo de Oke para as cidades analisadas neste estudo. Como os dados reais das cidades estudadas apresentam uma lacuna de valores de  $Z_0$  entre 1,23 e 2,39, essa lacuna poderia gerar problemas de faltas de valores na simulação. Para que isso fosse evitado, foram extrapolados os valores possíveis de  $Z_0$  na inserção das equações no código da ferramenta. Essa extrapolação considerou valores de  $Z_0$  menores que '2,0' para o primeiro grupo, e os maiores ou iguais à 2,0 para o segundo grupo.



Com base nessa comparação entre dados reais medidos e simulados pelo modelo de Oke, é obtida a equação de correção (Equação 3) para o cálculo de intensidade máxima de ilha de calor noturna ( $\Delta T_{u-r(max)}$ ) do modelo adaptado para  $Z_0 < 2,0$ :

Se  $Z_0 < 2,0$ :

Então:

$$\Delta T_{(u-r)max} = 9,1098 + 3,9386 \ln (H/W) \quad (3)$$

Da mesma forma, obtém-se a equação de correção (Equação 4) para o cálculo de intensidade máxima de ilha de calor noturna ( $\Delta T_{u-r(max)}$ ) do modelo adaptado para  $Z_0 \geq 2,0$ :

Se  $Z_0 \geq 2,0$ :

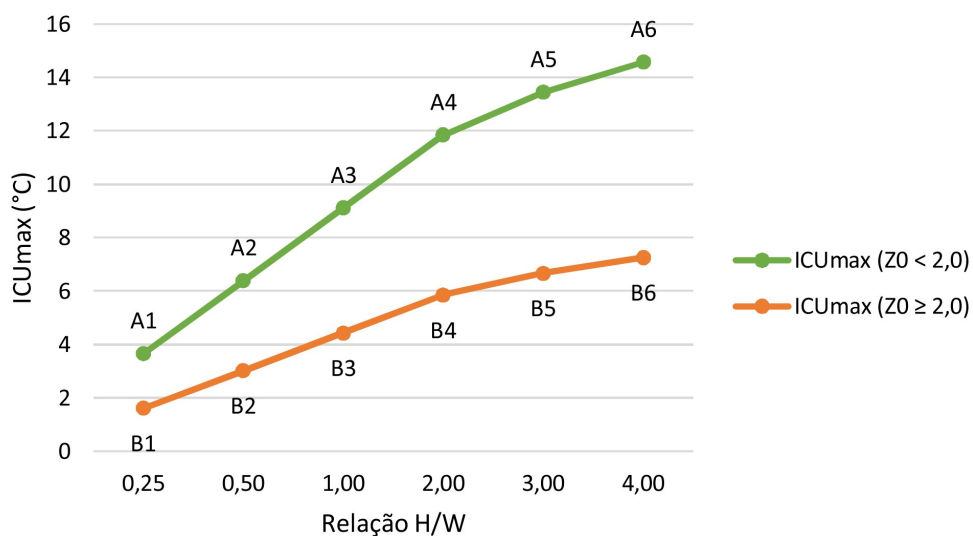
Então:

$$\Delta T_{(u-r)max} = 4,4345 + 2,0358 \ln (H/W) \quad (4)$$

Dessa forma, é verificada uma maior correlação entre dados medidos e simulados pelo modelo adaptado, em relação aos dados simulados pelo modelo de Oke. O modelo adaptado resultou em um  $R^2$  de 0,92 com desvio padrão de 1,01, em relação aos dados medidos. O ajuste dessa curva de dados simulados pode ser verificado no gráfico da Figura 3, em que a curva de  $ICU_{max}$  pelo modelo adaptado se aproxima significativamente da curva de  $ICU_{max}$  medida.

#### 4.2 Resultados da simulação com a ferramenta THIS dos cenários hipotéticos

A simulação com a ferramenta THIS gerou resultados para 12 cenários hipotéticos que representam quadras urbanas classificadas em dois grupos: grupo A com rugosidade menor que 2,0 e grupo B com rugosidade maior/igual a 2,0. O gráfico da Figura 4 apresenta tendências diferenciadas para a previsão de  $ICU_{max}$  para esses dois grupos.



**Fig. 4 Resultado da simulação dos cenários hipotéticos com a ferramenta THIS.**

Para todos os valores de relação H/W simulados, a  $ICU_{max}$  para cenários de menor rugosidade (grupo A,  $Z_0 < 2,0$ ) foi maior que dos cenários de maior rugosidade (grupo B,

$Z_0 \geq 2,0$ ), com diferenças que variaram de  $2,04^\circ\text{C}$  a  $7,31^\circ\text{C}$ , a medida que o valor de relação H/W aumenta. Realizando uma análise mais aprofundada, e considerando a equação de cálculo de comprimento de rugosidade (Equação 2), para os mesmos valores de relação H/W, cenários urbanos em que predominam edifícios com maior área ocupada em relação à área de fachada tendem a apresentar valores de  $\text{ICU}_{\text{max}}$  maiores.

De forma oposta, para os cenários urbanos em que as áreas das fachadas dos edifícios são predominantemente maiores que as áreas ocupadas pelos mesmos, para os mesmos valores de relação H/W, os valores de  $\text{ICU}_{\text{max}}$  tendem a ser menores. É verificada uma tendência dos resultados simulados para cenários com  $Z_0 < 2,0$  apresentar valores de  $\text{ICU}_{\text{max}}$  duas vezes maior que os cenários de  $Z_0 \geq 2,0$ , para um mesmo valor de relação H/W.

## 5 CONCLUSÕES

O desenvolvimento da ferramenta THIS possibilitou a verificação de diferentes tendências de aumento nos valores de intensidade de ilha de calor, em relação à rugosidade das quadras urbanas. Dessa forma, ampliou-se as possibilidades de simulação de previsão de ilha de calor com base no modelo de Oke, o qual considerava um cânion urbano mais homogêneo, sem muita variação de rugosidade.

Com a incorporação do modelo de Oke à sub-rotina de cálculo, foi possível verificar que esse subestimou valores de  $\text{ICU}_{\text{max}}$  para cânions urbanos de  $Z_0 < 2,0$  e superestimou valores de máxima ICU para cenários de  $Z_0 \geq 2,0$ , na comparação entre dados simulados e medidos. Esses resultados foram fundamentais para a inclusão de mais um parâmetro na sub-rotina e sua calibração, resultando na obtenção de novas equações que correspondessem à realidade das cidades brasileiras analisadas no estudo. Com a obtenção do modelo adaptado, a ferramenta THIS possibilita uma forma de simulação mais ágil e prática, podendo ser aplicada em qualquer outra cidade com a representação simplificada de alguns elementos urbanos. Ressalta-se, no entanto, a importância da THIS ser antes validada para a região que se pretende simular, considerando a possibilidade de inserção de diferentes equações de correção.

Constata-se, neste estudo, que para aquelas cidades brasileiras, não somente o valor de relação H/W pode influenciar as intensidades de ilha de calor noturna, mas também a variação das áreas de fachada e ocupação das edificações que compõem o cânion urbano. Dessa forma, uma maior rugosidade representa uma atenuação de valores de intensidade de ilha de calor para um mesmo valor de relação H/W. Entretanto, sugere-se um estudo mais aprofundado do impacto dessa configuração em outros fatores que influenciam também o microclima urbano, como, por exemplo, mudanças na velocidade e direção de fluxo de vento.

O desenvolvimento da ferramenta THIS pretende auxiliar pesquisadores e planejadores nas tendências de formação de ilhas de calor em diferentes cenários urbanos e sugere uma discussão mais aprofundada sobre a influência de diferentes configurações de geometria urbana na formação de ilhas de calor.

## 6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pela concessão de bolsa de doutorado e pelos recursos financiados para participação

no evento, à CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, e ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelos diferentes tipos de suportes concedidos.

## 7 REFERÊNCIAS

Ali-Toudert, F.; Mayer, H. (2006) Numerical study on the effects of aspect ratio and solar orientation on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. **Building and Environment**, v. 41, p. 94-108.

Arnfield, A. J. (2003) Review two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. **International Journal of Climatology**, 23: 1-26.

Bourbia, F.; Boucheriba, F. (2010) Impact of street design on urban microclimate for semi arid climate (Constantine). **Renewable Energy**, v. 35, p. 343-347.

Hamdi, R. (2010) Estimating Urban Heat Island Effects on the Temperature Series of Uccle (Brussels, Belgium) Using Remote Sensing Data and a Land Surface Scheme. **Remote Sensing**. Vol. 2, p. 2773-2784, doi:10.3390/rs2122773.

Kanda, M.; Moriizumi, T. (2009) Momentum and Heat Transfer over Urban-like Surfaces. **Boundary-Layer Meteorology**. 131: 385-401. DOI 10.1007/s10546-009-9381-7

Leme, F. T. (2005) **Fase B – Expansão da coleta de dados de fator de visão do céu e armazenamento. Vinculado ao projeto “Verificação da influência da geometria urbana no consumo de energia elétrica em edificações por modelagem de redes neurais artificiais: Projeto CEU – Consumo de Energia Urbano”**. Relatório de pesquisa.

Masiero, E. (2014) **Influência de corpos d’água em microclimas urbanos: estudo de caso em São José do Rio Preto – SP**. Tese (Doctoral thesis in Urban Engineering). Departamento de Engenharia Civil. Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

Memon, R. A.; Leung, D. Y. C.; Liu, C. H. (2010) Effects of building aspect ratio and wind speed on air temperatures in urban-like street canyons. **Building and Environment**, 45:176-188.

Mendonça, F. e Monteiro, C. A. de F. (2003) **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto. 192 p.

Millward-Hopkins, J. T.; Tomlin, A. S.; Ma, L.; Ingham, D.; Pourkashanian, M. (2011) Estimating Aerodynamic Parameters of Urban-Like Surfaces with Heterogeneous Building Heights. **Boundary-Layer Meteorology**. 141: 443-465. DOI 10.1007/s10546-011-9640-2.

Oke, T. R. (1981) Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. **Journal of Climatology**, vol. 1, 237-254.

Oke, T. R. (1987) **Boundary layer climates**. 2 nd ed. London and New York: Routledge.

Oke, T. R. (1988) Street Design and Urban Canopy Layer Climate. **Energy and Buildings**. Vol. 11, p. 103-113.

Schrijvers, P. J. C.; Jonker, H. J. J.; Kenjeres, S.; Roode, S. R. (2015) Breakdown of the night time urban heat Island energy budget. **Building and Environment**. 83, 50-64.

Souza, L.C.L.; Tente, C. M.; Giunta, M.B.; Nakata, C.M. (2010). Fator de visão do céu e intensidade de ilhas de calor na escala do pedestre. **Revista Ambiente Construído**. n.10, vol. 4, 155-167.

Sugawara, H.; Narita, K. (2009) Roughness length for heat over an urban canopy. **Theoretical and Applied Climatology**. 95: 291-299. DOI 10.1007/s00704-008-0007-7

Zaki, S. A.; Hagishima, A.; Tanimoto, J.; Ikegaya, N. (2011) Aerodynamic Parameters of Urban Building Arrays with Random Geometries. **Boundary-Layer Meteorology**, 138: 99-120. doi: 10.1007/s10546-010-9551-7.