

## **Pedestrian thermal stress in urban canyons scenarios of a medium city in Paraná, Brazil**

**Diana Carla Rodrigues Lima**

IFMS - Instituto Federal do Mato Grosso do Sul

### **Abstract**

**The quality of urban spaces depends on the adaptation of urban designs to their climatic context. In Brazil, the master plan is the instrument of municipal governments responsible for regulating urban design. The city of Umuarama in the state of Paraná recently approved a new Master Plan and is developing an Urban Tree Plan. The objective of this research is to verify urban geometry and tree plan influence on the pedestrian thermal stress in urban canyon scenarios in Umuarama, based on microclimate models generated with Envi-MET software. The Physiological Equivalent Temperature (PET) index was used to evaluate the thermal stress. The results showed that the PET tends to be lower in deeper urban canyons with greater green space coverage. Furthermore, this study demonstrated the benefits of computational simulation in the development of municipal plans for the production of climate-oriented urban designs.**

### **Introdução**

O progresso da forma urbana adequada ao seu contexto climático é determinante para a qualidade ambiental dos espaços abertos. No entanto, em diversas cidades brasileiras o crescimento urbano acelerado ocorre quase sem nenhum controle ou planejamento. Esse descontrole causa sérios danos no ambiente natural e construído e ocasiona significativas alterações no campo térmico da cidade.<sup>1</sup>

As regulamentações urbanas voltadas ao planejamento das cidades deveriam assegurar

que os usuários dos espaços urbanos, principalmente os pedestres, estivessem bem servidos de espaços abertos de qualidade porém, o desconforto térmico ou estresse térmico nas áreas abertas urbanas é apontado como uma das principais consequências das alterações climáticas na escala da cidade.

No Brasil, o Plano Diretor é o instrumento dos governos municipais direcionado à definição do padrão de desenvolvimento da ocupação urbana do seu território e, conseqüentemente, regulador do desenho urbano.<sup>2</sup>

De acordo com pesquisas conduzidas pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas - IPCC, é importante que pesquisas e estratégias de planejamento urbano associadas ao clima urbano sejam direcionadas para cidades de pequeno e médio porte de países em desenvolvimento, uma vez que um terço do crescimento da população urbana entre 1950 e 2010 (1,16 bilhões) ocorreu nesses assentamentos.<sup>3</sup> É nessas áreas de rápida expansão urbana, onde é esperada a maior parte do crescimento urbano no futuro, que há maior flexibilidade para a gestão da forma urbana e da infraestrutura.

A cidade de Umuarama, com pouco mais de 100.000 habitantes, localizada na região Noroeste do estado do Paraná, Brasil, se enquadra nessas características. A cidade assistiu recentemente a um intenso processo de expansão urbana e teve em 2016 seu novo plano diretor aprovado. O novo Plano Diretor de Umuarama (PDU)<sup>4</sup> propôs a ampliação da área da cidade onde é permitida a verticalização. Além disso, está em fase de desenvolvimento na cidade o Plano Municipal de Arborização Urbana (PMA), que prevê a manutenção das espécies existentes,

preenchimentos das áreas “sem sombra” e arborização da cidade.

O objeto de estudo dessa pesquisa é o cânion urbano, a menor unidade de análise dos microclimas urbanos. Ele se refere ao espaço conformado pela via e edifícios adjacentes e constitui uma unidade geométrica básica que pode ser usada para construir estruturas urbanas maiores.<sup>5</sup> Os principais elementos que influenciam as alterações microclimáticas são a geometria, a orientação, a presença de coberturas verdes e o albedo das superfícies, por sua vez, a densidade urbana é um parâmetro determinante para essas características. Diferentes configurações dos elementos do cânion influenciam no conforto térmico em seu interior.<sup>6</sup>

O objetivo da pesquisa é verificar a influência da geometria urbana e da arborização no estresse térmico de pedestres em cenários de cânions urbanos de Umuarama, Paraná, face ao proposto pelos planos, através de modelagem microclimática, utilizando o programa ENVI-met. O EnviMET tem sido usado em pesquisas recentes para a simulação de cenários de microclima em cânions urbanos.<sup>7</sup>

## Metodologia

### *Caracterização da área de estudo*

Inicialmente foram selecionados dois cânions urbanos existentes no centro da cidade, área de maior concentração de pedestres e onde o novo plano diretor possibilita maior verticalização (figura 1). Os dois cânions selecionados possuem orientação leste-oeste e predomínio de edificações de dois pavimentos; o cânion 1 possui relação H/W (Height/ Weight) de 0,17 e o cânion 2, relação H/W de 0,37.

A partir dos cânions urbanos existentes foram propostos cenários de cânions urbanos que envolvem alterações na geometria urbana e arborização perante o proposto pelos novos planos municipais. Quanto à geometria urbana, considerou-se edifícios com dois pavimentos (próxima do existente), edifícios com 12 pavimentos (máximo permitido pelo plano diretor) e gabarito intermediário de 7 pavimentos. A configuração adotada para cada edificação nos cenários foi feita respeitando o disposto pela lei de uso e ocupação do solo a partir de um lote padrão existente na área de estudo.

Quanto à arborização, foram previstos cenários sem arborização, com arborização intermediária (no canteiro central ou calçada sul), e arborização consolidada conforme o plano de arborização (dois lados da calçada e no canteiro central, quando houver). A espécie utilizada foi a sibipiruna (*Caesalpinia pluviosa*), espécie predominante no centro da cidade. A arborização foi quantificada através do índice de cobertura verde(CV).<sup>8</sup>

A figura 2 mostra o esquema para construção dos cenários e os códigos utilizados. Para cada cânion urbano de origem resultaram 9 configurações.

### *Levantamento de dados*

Nessa etapa foi realizado o levantamento das características físicas da área, necessárias para a modelagem dos cenários, e das variáveis climáticas para a validação do modelo microclimático. O monitoramento das variáveis microclimáticas foi realizado em um ponto no cânion urbano 1 em situação de inverno (23/08/2016) e de verão (27/02/2017), às 6h, 9h, 12h, 15h, 18h, 21h e 00h, conforme disponibilidade de equipamentos e condições do tempo. As variáveis microclimáticas medidas foram a temperatura do ar (Ta), a umidade relativa do ar (UR), a temperatura de globo (Tg) e a velocidade do ar (v); os sensores foram posicionados a 1,10 m do solo.

### *Simulação microclimática com ferramenta computacional*

Para a simulação do microclima urbano foi utilizada a ferramenta computacional ENVI-met 4. Esse programa executa simulações do microclima urbano através das interações entre superfícies urbanas, vegetação e atmosfera.<sup>9</sup>

Inicialmente, a simulação do modelo semelhante ao cânion urbano 1 existente permitiu a validação do modelo através da correspondência das medidas observadas no local e simuladas. A temperatura do ar foi adotada como variável climática de referência para a comparação das medidas.<sup>10</sup> A aplicação do teste índice de concordância de Willmott para as medidas simuladas e observadas da temperatura do ar apresentou valor próximo de 1 (0,976) o que indica que as medidas são concordantes.

O modelo foi desenhado com células de 2,5 x 2,5m e 3,0 m para a altura (z). Os cenários

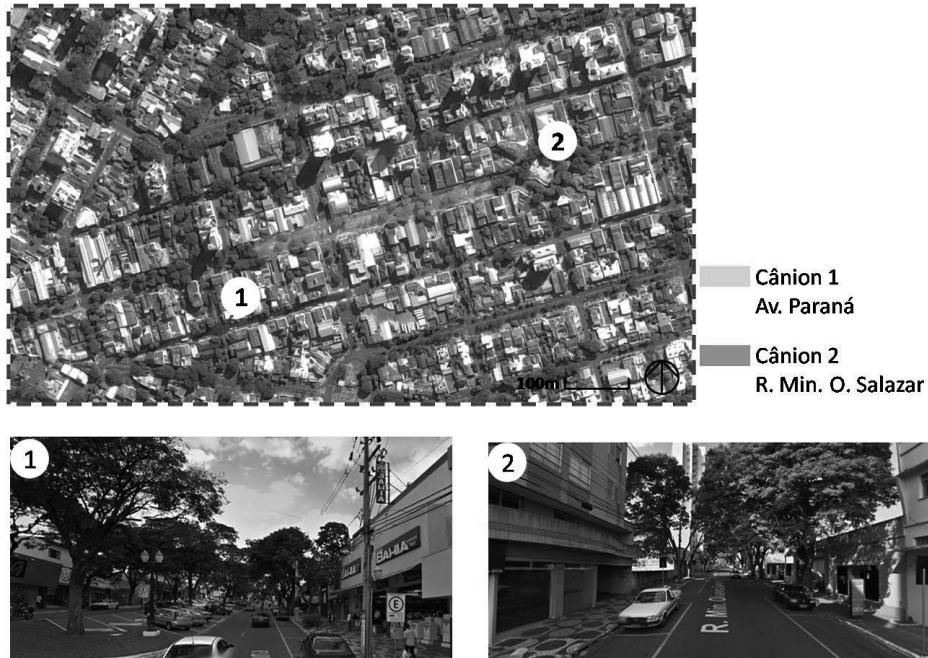


Figura 1.. Localização dos cânions urbanos existentes. A autora.

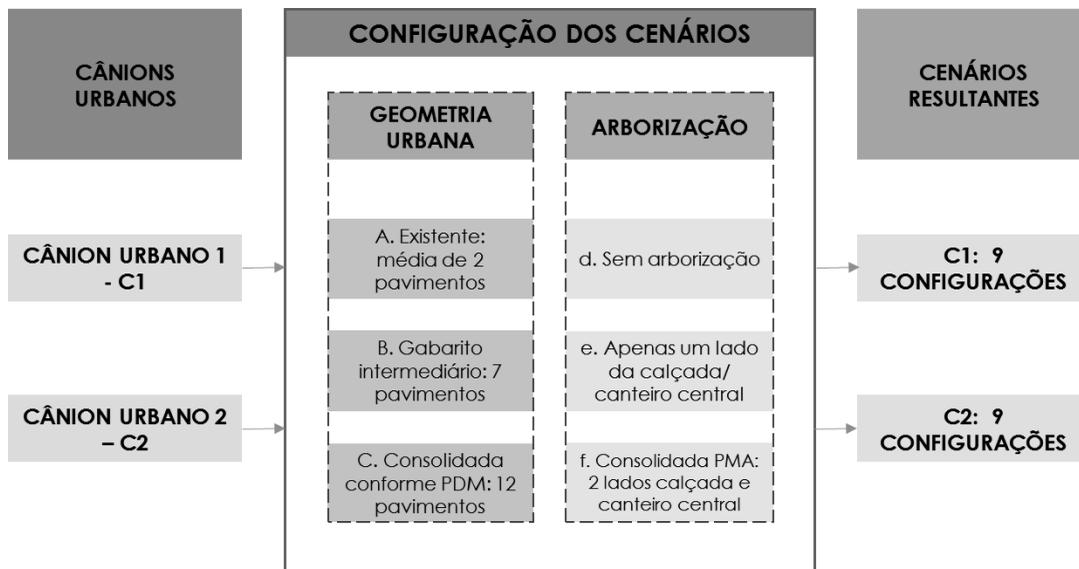


Figura 2. Configuração dos cenários. A autora.

modelados com origem em C1 possuem dimensões de 310x175x90 metros (x;y;z) e com origem em C2 de 312x155x90 metros. A espécie arbórea sibipiruna foi configurada conforme Rosseti.<sup>11</sup>

As simulações foram feitas para situação de inverno (21/06/16) e verão (21/12/16). Para a validação do programa, a simulação foi realizada para os mesmos dias dos monitoramentos no local. As variáveis microclimáticas foram registradas às 9h, 12h, 15h, 18h, 21h e 00h.

Para a configuração climática de inicialização foram utilizados os dados fornecidos pela estação automática do Sistema Meteorológico do Paraná – SIMEPAR localizada em Umuarama; os valores de umidade específica do ar a 2.500 m (em g/kg) foram obtidos no site da Universidade de Wyoming<sup>12</sup> para o Aeroporto de Londrina, Paraná. O quadro 1 resume os dados de entrada no modelo.

Os dados de saída (temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e temperatura radiante média) foram extraídos de um ponto receptor, localizado no interior do cânion, a uma altura de 1,50 metro para posterior cálculo do índice Temperatura Fisiológica Equivalente (PET).

*Aplicação do índice de conforto térmico PET*  
O cálculo do nível de estresse térmico do pedestre pelo índice PET foi feito através da ferramenta computacional RayMan Pro 2.3<sup>13</sup> com os dados extraídos das simulações microclimáticas de cada cenário pelo ENVI-met. Para o cálculo do PET, utilizou-se como variáveis pessoais as de um homem padrão conforme a norma ISO 8996<sup>14</sup>: indivíduo de 30

anos de idade, pesando 70 kg e com 1,75 m de altura. A escala PET utilizada foi a escala calibrada por Monteiro<sup>15</sup> para a cidade de São Paulo por se tratar da cidade com características climáticas que mais assemelham à área de estudo com escala PET calibrada. Para análise dos dados, foram usadas técnicas de superfície de resposta com o auxílio do ambiente estatístico R<sup>16</sup>.

## Resultados

Os resultados obtidos mostram que a geometria do cânion e a presença de arborização nos cenários de cânions urbanos exercem influência significativa nas variáveis microclimáticas e consequentemente no nível de estresse térmico do pedestre. Essa influência está associada principalmente às alterações na temperatura radiante média (trm) e velocidade do ar (V). As maiores médias do PET foram observadas nos cenários de cânions com menor relação H/W e com ausência de arborização; as menores médias do PET foram observadas nos cenários de cânions mais profundos.

As diferenças mais significativas do PET foram observadas no período diurno, especialmente às 12h e 15h, afetadas essencialmente pela Trm, tanto em função de H/W quanto de CV. No período noturno, observou-se menor influência de H/W no PET, porém houve influência de CV no PET; nesse período as variações estão associadas a redução de V pelo aumento de CV.

Os resultados mostraram que a maior incidência de estresse térmico para o pedestre nos diversos cenários ocorreu às 12h e 15h ao calor; mesmo para situação de inverno foi verificado estresse térmico ao calor.

<i>Dado de entrada</i>	<i>Inverno</i>	<i>Verão</i>	<i>Inverno- validação</i>	<i>Verão- validação</i>
Data de início	21/06/2016	21/12/2016	23/08/2016	27/02/2017
Início da simulação	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
Velocidade do ar a 10 m de altura (m/s)	2,87	2,56	2,95	2,82
Direção do vento (graus)	90	90	90	90
Temperatura do ar inicial (oC)	16,34	24,90	15,7	25,4
Umidade específica a 2500m (g/kg)	4,25	9,49	6,89	8,65
Umidade Relativa do ar (%)	67	71	63	72

Quadro 1 .Dados de entrada no modelo. A autora.

Para melhor identificar a influência de H/W e CV no PET nesses horários mais críticos foram utilizadas técnicas de superfície de resposta e os resultados expressos através de um gráfico de contorno. A superfície de resposta foi construída com base nos resultados do modelo de regressão ajustado, que modela a média do PET, considerando dados para situação de verão e para situação de inverno, as 12h e 15h. A figura 3 apresenta o gráfico de superfície de resposta do PET, de acordo com a variação conjunta de CV e H/W.

Observa-se no gráfico que valores altos de H/W tendem a diminuir o PET. Para valores mais baixos de H/W até próximo de 1,3, o PET é menor quando CV é mais alto, porém para valores mais altos de H/W não há variação significativa do PET médio de acordo com CV. Nos cenários de cânions mais profundos, os edifícios proporcionaram sombreamento na via e a presença de arborização atuou principalmente na redução da velocidade do ar. Assim, os menores valores do índice de conforto térmico são observados para o H/W em torno de 2,0 com CV de 0,2 e 0,3.

### Conclusões

A pesquisa mostrou que a configuração dos cânions urbanos quanto a sua geometria e cobertura verde influi diretamente no conforto térmico dos pedestres. O uso de simulação computacional pode auxiliar a elaboração dos planos municipais para a produção de um desenho urbano climaticamente orientado. Por meio dos resultados, tem-se que as propostas dos planos em andamento no município são compatíveis com o conforto térmico para o pedestre desde que elaborados em conjunto.

A formação de um microclima mais ameno contribui para a habitabilidade e vitalidade urbanas, incentivando atividades ao ar livre e, principalmente, encorajando os moradores da cidade a diminuir o uso de veículos motorizados.

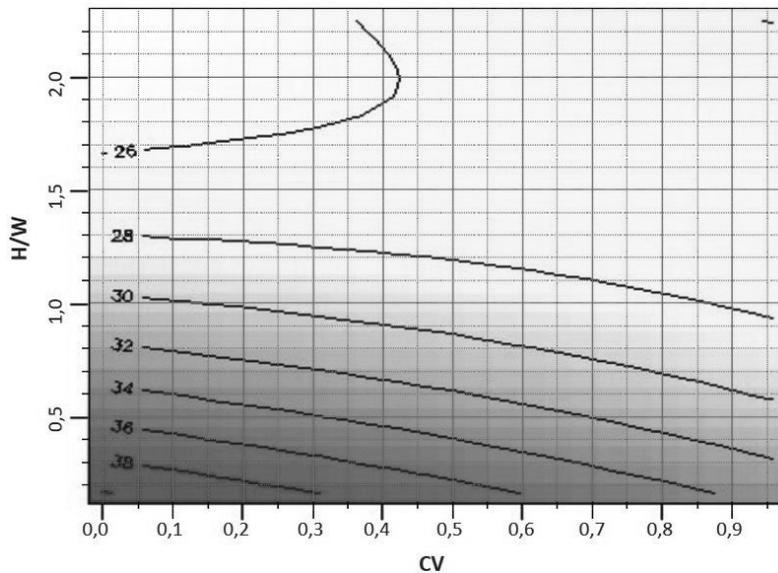


Figura 3. Gráfico de superfície de resposta para a variável PET de acordo com H/W e CV para as 12h e 15h . A autora.

## Endnotes

1. E.S. Assis, “Aplicações da climatologia urbana no planejamento da cidade: revisão dos estudos brasileiros”. *Revista Rua* 9, nº 1 (2006): 20-25
2. F. Villaça, “Dilemas do Plano Diretor”, in: CEPAM, O município no século XXI: cenários e perspectivas. São Paulo: Fundação Prefeito Faria Lima – Cepam, 1999) 237 – 247.
3. S. Seto et al., “Human Settlements, Infrastructure and Spatial Planning” in: Climate Change 2014: Mitigation of climate change, contribution of working group iii to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change (Cambridge, United Kingdom and New York: Cambridge University Press, 2014). <https://www.ipcc.ch/>.
4. Plano Diretor de Umuarama. Atualização e revisão 2016. <<http://www.umuarama.pr.gov.br>.
5. Y. Nakamura & T. R. Oke, “Wind, temperature and stability conditions in an east west oriented urban canyon”, *Atmos Environ.* 22, no 12 (1988): 2691–2700.
6. Y. Nakamura & T. R. Oke; M. Shishegar, “Street design and urban microclimate: analyzing the effects of street geometry and orientation on airflow and solar access in urban canyons”. *Journal of Clean Energy Technologies* 1, no 1 (2013): 52-56; E. Andreou, “The effect of urban layout, street geometry and orientation on shading conditions in urban canyons in the Mediterranean”, *Renewable Energy* 64, no 1 (2014): 587-596; G. Erell, D. Pearlmutter, & T. Williamson, *Urban microclimate: designing the spaces between buildings* (London: Earthscan/James & James Science Publishers, 2011); A. M. Coutts et al., “Temperature and human thermal comfort effects of street trees across three contrasting street canyon environments”. *Theor Appl Climatol*, no 1 (2015). <http://doi.org/10.1007/s00704-015-1409-y>.
7. A. Rossi, E. Krüger, & M. Nikolopoulou, “A influência da configuração urbana no microclima e na sensação térmica em ruas de pedestre de Curitiba, Paraná” in: XI Encontro Nacional e VII Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC/ELACAC (Búzios: ANTAC, 2011); C. F. Silva, “O contexto térmico das cavidades urbanas: contexto climático do Distrito Federal” (Tese de doutorado em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 2013); F.C.O Minella, “Desenho urbano climaticamente orientado: a influência da vegetação no ambiente externo” (tese de doutorado em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal de Paraná, 2014); M. Taleghani et al., “Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherland”, *Building and Environment* 83, no 1 (2015): 65-78.
8. F. Cavalheiro et al., “Proposição de Terminologia para o Verde Urbano”, *Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (SBAU)* VII, no 3 (1999).
9. M. Bruse & H. Fleer, “Simulating Surface-Plant-Air Interactions Inside Urban Environments with a Three Dimensional Numerical Model”, *Environmental Software and Modelling* 13, no 1 (1998): 373–384.
10. Minella
11. K.A. C. Rosseti, “Efeitos do uso de telhados vegetados em ilhas de calor urbanas com simulação pelo software ENVI-met” (Tese de doutorado em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, 2013).
12. University of Wyoming, Department of Atmospheric Science. <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>.
13. A. Matzarakis, F. Rutz, & H. Mayer, “H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the Rayman model”, *Int. J. Biometeorol* 54, no 1 (2010): 131–139.
14. International Organization For Standardization (ISO). ISO 8996: ergonomics of the thermal environment: determination of metabolic rate. Geneva: 2004.
15. L. M. Monteiro, “Modelos preditivos de conforto térmico: quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projeto de espaços abertos” (Tese de doutorado em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2008).
16. R Development Core Team. R: a language and environment for statistical computing (Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2015). <http://www.R-project.org>.