

INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DO CÂNION URBANO NO NÍVEL DE ESTRESSE TÉRMICO DE PEDESTRES

Diana Carla Rodrigues Lima (1); Pollyanna Rodrigues Lima (2); Rosana Maria Caram (3)

(1) Arquiteta, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da USP/ São Carlos, dianalima.arq@gmail.com

(2) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, pollyannalima@outlook.com

(3) PhD, Professora do Programa de Pós-Graduação do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da USP/ São Carlos, rcaram@sc.usp.br, Universidade São Paulo, IAU USP/São Carlos, Avenida Trabalhador Sancarlense, Parque Arnold Schimidt, Cx Postal 031, São Carlos - SP Tel.: (16) 3373 9308 Ramal: 9308

RESUMO

A precária ou ausente atuação de políticas públicas no controle e normalização do uso do solo e das construções urbanas tem conduzido as cidades a reprodução de modelos urbanos de baixa qualidade ambiental. Esse descontrole é apontado como causa de prejuízos ao ambiente natural e construído, entre eles, o desconforto térmico nos espaços urbanos abertos. Diversos estudos e pesquisas apontam a inter-relação entre as propriedades urbanas e o clima local resultante, sendo que a geometria dos cânions urbanos é considerada um dos parâmetros que afetam significativamente as características microclimáticas. Na cidade de estudo, Umuarama, Paraná, a consolidação de uma nova geometria urbana poderá impactar no seu microclima, uma vez que a cidade assiste a um intenso crescimento urbano associado ao processo de aprovação de nova legislação para o uso e ocupação do solo. Assim, esta pesquisa tem como objetivo analisar a influência da geometria do cânion urbano no estresse térmico de pedestres em duas vias distintas da cidade, em situação de inverno e verão, através da comparação do índice de conforto térmico PET. Para isso, foram selecionados dois cânions urbanos com diferentes relações H/W na cidade. Eles foram monitorados em um dia de inverno e outro de verão para levantamento de variáveis microclimáticas e posterior cálculo do índice de estresse térmico PET através do programa RayMan Pro 2.3 - 2016. Os resultados mostraram que as diferenças na razão H/W entre os dois cânions podem resultar em diferentes valores PET associados, principalmente, à temperatura radiante média. O estudo reforça a necessidade de considerar os efeitos da geometria urbana no conforto térmico dos usuários dos espaços urbanos.

Palavras-chave: estresse térmico, cânions urbanos, geometria urbana.

ABSTRACT

The precarious or absent performance of public policy on the control and standardization of land use and urban construction has led the cities playing low quality urban environmental models. This lack of control is pointed to as the cause of damage to the built and natural environment, including the thermal discomfort in open urban spaces. Several studies and surveys indicate the interrelationship between urban properties and the local climate, and the geometry of the urban canyons is considered to be one of the parameters that significantly affect the microclimate characteristics. In the study city, Umuarama, Paraná, the consolidation of a new urban geometry can impact on its microclimate, once the city watching an intense urban growth associated with the approval process of new legislation for the use and occupation of the soil. Thus, this research aims to analyze the influence of urban canyon geometry on thermal stress of pedestrians in two different streets, in winter and summer, by comparing the PET thermal comfort index. For it, were selected two urban canyons with different H/W ratio in the city. They were monitored on a winter day and on a summer day for collect microclimatic variables and subsequent calculation of the thermal stress index PET through the program RayMan Pro 2.3-2016. The results showed that differences in H/W ratio between the two canyons can result in different values associated with PET, mainly, the mean radiant temperature. The

study reinforces the need to consider the effects of urban geometry on thermal comfort of users of urban spaces.

Keywords: thermal stress, urban canyons, urban geometry.

1. INTRODUÇÃO

A configuração urbana se transforma ao longo do tempo para atender as necessidades da sociedade. Porém, essas modificações têm ocorrido de forma rápida para abrigar a população urbana cada vez maior e, assim, resultado em alterações que comprometem o conforto térmico humano e diminuem a qualidade de vida nas cidades.

Em diversas cidades brasileiras, a falta de planejamento e a ausente ou precária atuação de políticas públicas no controle e normalização do uso do solo e das construções urbanas tem conduzido as cidades a reprodução de modelos urbanos de baixa qualidade ambiental. Por um lado, observa-se uma explosão da malha urbana, um intenso processo de verticalização e uso do solo, e por outro, o desenvolvimento de assentamentos que desconsideram as restrições do sítio físico e climático (GOMES e LAMBERTS, 2009).

Esse descontrole causa sérios danos no ambiente natural e construído e ocasiona significativas alterações no campo térmico da cidade (ASSIS, 2006). Diversos estudos e pesquisas apontam a inter-relação entre as propriedades urbanas e o clima local resultante, sendo que a geometria dos cânions urbanos é considerada um dos parâmetros que afetam significativamente as características microclimáticas (OKE, 1988; ANDREOU, 2014; MAKROPOULOU e GOSPODINI, 2016).

O cânion urbano é 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 (NAKAMURA e OKE, 1988). Os principais elementos do cânion que influenciam as alterações microclimáticas são a geometria, a orientação, a presença de coberturas verdes e o albedo das superfícies, sendo a densidade urbana um parâmetro determinante para essas características (NAKAMURA e OKE, 1988; OKE, 1988; BOURBIA e AWBI, 2004; SILVA, 2013; SHISHERGAR, 2013; ANDREOU, 2014; ERELL et al. 2014; MINELLA, 2014; COUTTS et al., 2015).

Combinações diversas desses elementos afetam os ambientes exteriores em relação a temperatura do ar, temperatura superficial, permeabilidade e velocidade do vento, distribuição da radiação e da iluminação solar. A densidade construída e a porção de céu visível, resultante da geometria urbana, têm sido apontadas como condicionantes do aquecimento noturno e a temperatura radiante média, como a principal variável determinante do nível de estresse térmico diurno nesses ambientes (STEWART e OKE, 2012; ERELL et al., 2014; MAKROPOULOU e GOSPODINI, 2016)

A configuração da geometria nos cânions urbanos pode ser determinada pela relação entre a altura e a largura da via através da razão H/W (H: *High*, W: *Width*). Diferente do Fator de Visão do Céu (FVC), determinado a partir de um ponto e que engloba todos os elementos presentes no local, a razão H/W simplifica a geometria do cânion a partir do perfil predominante (ROSSI, 2012). O gabarito das edificações interfere nessa relação, quanto mais baixas as edificações e quanto maior o espaçamento entre elas, menor é a razão H/W.

Conforme Oke (2009), a razão H/W influencia na forma como a radiação solar penetra nos cânions e também na perda de calor armazenado nesse espaço. Durante o dia, o sombreamento das edificações pode provocar uma diminuição na quantidade de radiação que atinge o solo e, dessa forma, na temperatura do ar próximo ao nível da rua. Por outro lado, o cânion tende a acumular calor proveniente da radiação de ondas curtas recebidas pelas superfícies, promovendo seu aquecimento. No período noturno, nas primeiras horas após o sol se pôr, o calor armazenado é liberado na forma de radiação de ondas longas. Porém, quanto mais obstruído é um local no meio urbano, menor sua capacidade de troca térmica radiativa, o que dificulta a irradiação térmica do calor (NAKAMURA e OKE, 1988; ROMERO, 2001; OKE, 2009; JOHANSSON; 2006; ERELL et al., 2011; TALEGHANI et al., 2015).

Dessa forma, a geometria dos cânions urbanos influi diretamente no conforto térmico dos espaços abertos, especialmente, no nível do pedestre. Para a avaliação do conforto térmico em ambientes abertos, o índice Temperatura Fisiológica Equivalente (PET) tem sido amplamente utilizado em locais com diferentes condições climáticas (MINELLA; ROSSI; KRÜGUER, 2009; LABAKI et al. 2010; CHENG et al., 2012; KETTERER e MATZARAKIS, 2014; HOVE et al., 2015; TALEGHANI et al., 2015).

O PET foi desenvolvido por Mayer e Höppe (1987) para ser aplicado em ambientes externos ou internos e considera as variáveis de temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade. Ele representa a temperatura equivalente, considerando um ambiente de referência, no qual o

balanço térmico de um indivíduo é mantido com a temperatura da pele e do centro do corpo iguais às condições em avaliação.

O uso do PET é adequado em análises de conforto térmico em espaços abertos, uma vez que ele traduz a avaliação complexa de um ambiente térmico externo para um cenário interno numa base fisiologicamente equivalente que pode ser mais facilmente interpretada (CHEN e NG, 2011). O índice é expresso em graus Celsius e, conforme Matzarakis, Mayer e Iziomon (1999), o conforto térmico segundo o PET, ou seja, a ausência de estresse térmico para um ambiente de referência, seria próximo de 21°C ou entre 18°C e 23°C. Os valores mais baixos representam possibilidades de estresse térmico para o frio crescentes e valores mais altos, condições crescentes de estresse térmico para o calor.

O cálculo do PET pode ser realizado através do programa computacional RayMan, um modelo de grande utilidade para o planejamento urbano climaticamente orientado. Trata-se de um programa de domínio público, desenvolvido por Andréas Matzarakis para o cálculo de conforto térmico em áreas externas (MATZARAKIS; RUTZ; MAYER, 2007). Para o cálculo dos fluxos de radiação e índices térmicos, o modelo RayMan considera os dados de entrada gerais (data, horário, longitude, latitude, altitude), variáveis climáticas e variáveis pessoais. Já a temperatura radiante média (Trm) pode ser inserida, se conhecida, ou calculada pelo programa que simula o fluxo de radiação de ondas curtas e longas para um ambiente urbano tridimensional.

A calibração de modelos preditivos de conforto térmico para a região de estudo é importante, haja vista não apenas as diferenças climáticas das diferentes localidades do globo, mas também socioculturais (CHEN e NG, 2011). Nesse sentido, Monteiro (2008) estabeleceu para a cidade de São Paulo os limites de temperatura PET entre 18°C e 26°C para a neutralidade térmica ou ausência de estresse térmico, ampliando a faixa apresentada por Matzarakis, Mayer e Iziomon (1999), de 18 °C a 23 °C.

É importante destacar que a formação de um microclima mais ameno atrai um maior número de pessoas para as áreas abertas, contribuindo para a habitabilidade e vitalidade urbanas, além de incentivar atividades ao ar livre e, principalmente, encorajar os moradores da cidade a diminuir o uso de veículos motorizados (CHEN e NG, 2011; ERELL; PEARMUTTER; WILLIAMSON, 2011).

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é analisar a influência da geometria do cânion urbano no estresse térmico de pedestres em duas vias distintas em Umuarama, Paraná, em situação de inverno e verão, através da comparação do índice de conforto térmico PET.

3. AMBIENTE URBANO DE ESTUDO

O ambiente urbano de estudo se localiza na cidade de Umuarama, no noroeste do Paraná (figura 1a), com coordenadas de 23°47'S de latitude e 53°18' de longitude, e altitude próxima de 480 metros. Com uma população estimada em 108.218 habitantes (IBGE, 2011), Umuarama pode ser considerada uma cidade média (HULLSMAYER, 2014). De acordo com o zoneamento bioclimático brasileiro, estabelecido pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005), a cidade de Umuarama pertence a Zona Bioclimática 3 (ZB3), que recomenda como estratégias para o verão, o sombreamento e a ventilação cruzada, e para o inverno, o aquecimento solar. A figura 2b mostra a localização da cidade na ZB3.

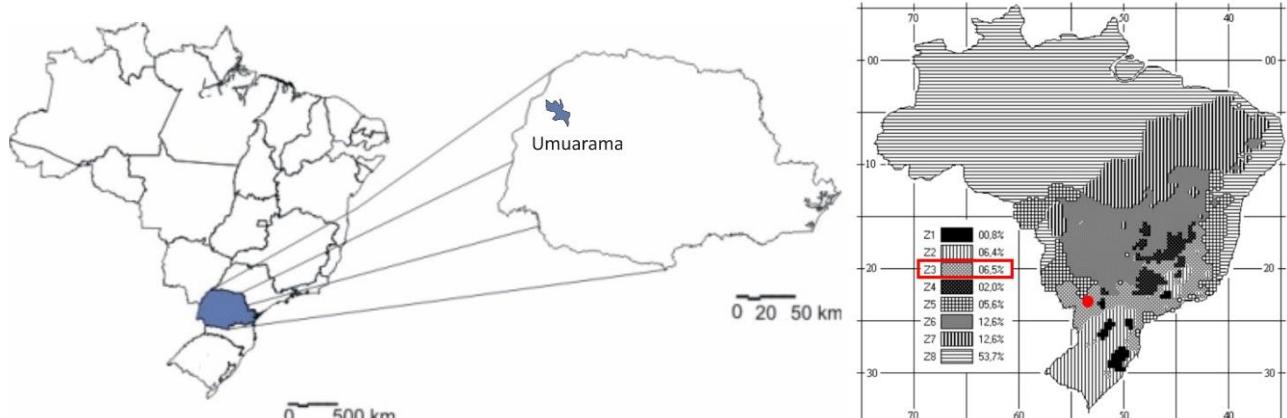


Figura 1 – a. localização da cidade de estudo (elaborado pelos autores, com base em IPARDES, 2015); b. Zoneamento Bioclimático Brasileiro e localização da cidade de Umuarama na ZB3 (ABNT, 2005, com modificação dos autores).

A cidade foi fundada em 1955 (IBGE, 2011) pela Companhia Melhoramentos Norte do Paraná e faz parte de uma rede de cidades, fundadas pela mesma companhia, com desenho urbano de qualidade urbanística e ambiental inicial que as diferenciaram no cenário nacional (REGO e MENEGUETTI, 2008). Na última década, a cidade tem assistido a um processo de crescimento urbano nunca antes ocorrido na região (HULSMAYER, 2014) o que pode acarretar em impactos negativos à cidade. Associado a esse processo, encontra-se em fase de aprovação no município o novo plano diretor municipal, que entre outras disposições, propõe a ampliação da área da cidade onde a verticalização será permitida, essencialmente em áreas pertencentes ao plano original da cidade.

Nessa linha, pesquisas conduzidas pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas - IPCC (SETO et al., 2014), apontam a importância de pesquisas e estratégias de planejamento urbano associadas ao clima urbano 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. São nessas áreas de rápida expansão urbana, onde é esperada a maior parte do crescimento urbano no futuro, que existe maior flexibilidade para a gestão da forma urbana e da infraestrutura.

3. MÉTODO

O estudo está dividido em quatro etapas principais:

1. Caracterização e seleção da área de estudo;
2. Monitoramento das vias de estudo para obtenção das variáveis microclimáticas;
3. Cálculo do índice de estresse térmico PET através do programa RayMan;
4. Análise dos resultados para a verificação da influência da relação H/W no conforto térmico dos pedestres.

3.1. Caracterização e seleção da área de estudo

A área de estudo se localiza no centro da cidade de Umuarama, pertencente ao núcleo original planejado. Em relação às características físicas do centro de Umuarama, para o estudo do microclima, a área de estudo se classifica como LCZ6₅, conforme a classificação de zona climática local (LCZ – local climate zone) proposta por Stewart e Oke (2012).

A escolha da área de estudo partiu da seleção inicial da avenida Paraná (cânion urbano 1), localizada no centro da cidade, por se tratar de via com maior fluxo de pedestres, devido à grande concentração de comércio e serviços em seu trajeto. Além disso, essa via apresenta grande importância como eixo estruturador do traçado urbano e também na vitalidade e cultura da cidade. A segunda via selecionada corresponde a Rua Ministro Oliveira Salazar (cânion urbano 2) paralela à Avenida Paraná, portanto com a mesma orientação, porém mais estreita, com maior relação H/W.

As áreas selecionadas para o estudo, cânion urbano 1 e cânion urbano 2, estão identificadas na figura 2. O cânion urbano 1 possui predomínio de edificações com dois pavimentos e razão H/W 0,17; já no cânion urbano 2 predominam edifícios de 4 pavimentos e razão H/W 0,75. Nos dois cânions a densidade da vegetação arbórea é semelhante.

Apesar das duas vias possuírem larguras diferentes, 35 metros e 16 metros respectivamente, para o cânion urbano 1 e para o 2, o plano diretor possibilita a construção de até 15 pavimentos em ambas as vias (PLANO DIRETOR DE UMUARAMA, 2004), ou seja, não são considerados os efeitos da maior ou menor relação entre altura e largura do cânion urbano.

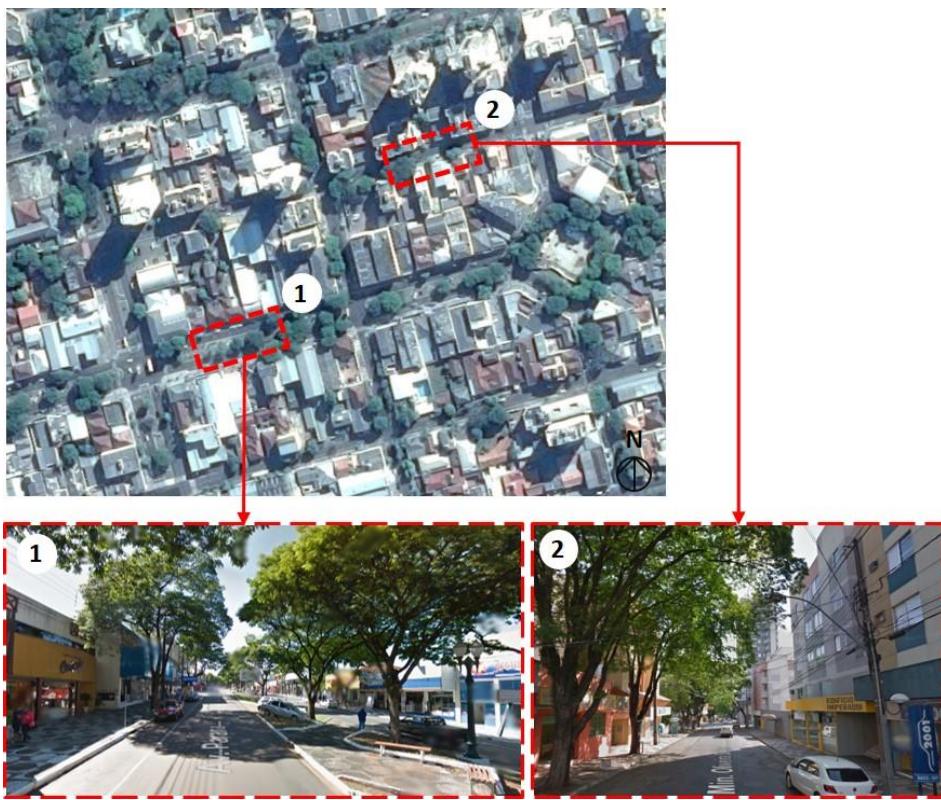


Figura 2 –câncions urbanos de estudo

3.2. Monitoramento das vias de estudo

Para o cálculo do estresse térmico do pedestre 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). A Temperatura radiante média (Trm) foi calculada pela fórmula de convecção forçada conforme a ISO 7726 (1998).

O monitoramento foi realizado em situação de inverno, no dia 23 de agosto de 2016, e de verão, 27 de fevereiro de 2017, às 6h, 9h, 12h, 15h, 18h, 21h e 00h a fim de abranger parte representativa das horas de maior utilização do espaço público, além de seguir recomendação da Organização Mundial de Meteorologia (OMM) para estudos de clima urbano (SILVA, 2013). O monitoramento foi feito em condições de céu limpo. Nos dois cânions, as variáveis foram medidas em um ponto de cada calçada localizada a Sul da via, entre duas espécies arbóreas na altura de 110cm. A tabela 1 mostra um corte esquemático de cada cânion urbano de estudo e a localização do ponto monitorado em cada um.

Os instrumentos utilizados foram:

1. Tripé posicionado a 110 cm do solo;

2. Data logger 177-H1, marca Testo, com 2 canais de temperatura, sensor externo de umidade conectado a um sensor de temperatura da marca Testo, modelo 0613, com globo plástico cinza de 40 mm confeccionado com bola de pingue-pongue oficial pintada na cor cinza médio (figura 3a);

3. Anemômetro, marca Testo, modelo 405 (figura 3b).

Entre as medidas do cânion 1 e do cânion 2 houve uma diferença de 15 minutos, tornando necessária a correção das medidas do cânion 2. As correções foram feitas através de interpolação linear dos valores medidos com dados climáticos fornecidos pelo Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR). Os dados foram fornecidos para a cidade de Umuarama, pelo SIMEPAR, para o período de 20 a 24 de agosto de 2016 e 24 a 28 de fevereiro de 2017.

Tabela 1– corte esquemático e localização dos pontos de monitoramento nos cânions urbanos de estudo.

Cânion urbano	Corte esquemático	Planta esquemática: localização do ponto de monitoramento	Foto aérea: localização do ponto de monitoramento
Cânion urbano 1			
Cânion urbano 2			



Figura 3-a. Data logger Testo 177-H1 com sensor externo com globo plástico cinza ; b. Anemômetro Testo 405.

3.3. Cálculo do índice de estresse térmico PET

O cálculo do nível de estresse térmico do pedestre pelo índice PET foi feito através do programa RayMan Pro 2.3 de 2016 (MATZARAKIS; RUTZ; MAYER; 2010) utilizando como dados de entrada as variáveis microclimáticas monitoradas e informações geográficas da área de estudo. Além disso, utilizou-se como variáveis pessoais as de um homem padrão conforme a norma ISO 8996 (2004). Foram adotadas as seguintes características: 30 anos de idade, 1,75 m de altura e peso igual a 70 kg. A taxa metabólica adotada foi de 110 W, para atividade moderada, como caminhada, e o valor de isolamento térmico das roupas considerado foi de 0,5 clo, para o verão e 0,9 clo para o inverno (ISO 7730; 2005).

A escala PET utilizada foi a escala calibrada por Monteiro (2008) 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. A tabela 2 mostra a escala PET calibrada por Monteiro (2008) com a percepção térmica correspondente a cada nível de estresse térmico.

Tabela 2– escala PET.

PET (°C)	Percepção Térmica	Nível de Estresse Térmico
< 4	muito frio	estresse forte ao frio
< 12	frio	estresse moderado ao frio
< 18	pouco frio	estresse leve ao frio
18-26	neutra	sem estresse térmico
> 26	pouco calor	estresse leve ao calor
> 31	calor	estresse moderado ao calor
> 43	muito calor	estresse forte ao calor

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos neste estudo. A tabela 3 mostra a escala PET adotada e legenda de cores para facilitar a visualização dos resultados. A tabela 4 mostra os índices PET em graus Celsius calculados no programa RayMan através da inserção das variáveis microclimáticas monitoradas no cânion urbano 1 (C1) e no cânion urbano 2 (C2), em cada horário, para situação de inverno e calor.

Tabela 3– Escala PET adotada e legenda de cores.

PET (°C)	Nível de Estresse Térmico
< 4	estresse forte ao frio
< 12	estresse moderado ao frio
< 18	estresse leve ao frio
18-26	sem estresse térmico
> 26	estresse leve ao calor
> 31	estresse moderado ao calor
> 43	estresse forte ao calor

Tabela 4–Variação do Índice PET em (°C), por horário, em cada cânion, em situação de inverno e de verão.

Horário	C1-inverno	C2-inverno	C1-verão	C2-verão
6:00	8,9	9,5	16,6	16,8
9:00	13,6	12,6	32,5	32
12:00	23,2	20,1	42,7	39,4
15:00	22,4	22	44,7	42,2
18:00	21,4	20,4	37	36,5
21:00	17,5	17,8	23,3	22,7
0:00	15,1	15,8	18,8	19,6

Através da tabela 4, observa-se que, de forma geral, os níveis de estresse térmico nos dois cânions urbanos foram semelhantes, porém existem variações significativas do índice PET nos dois cânions. Para situação de inverno, no cânion urbano 1, a média do índice PET entre os horários de estudo foi de 17,44 °C, sendo 20,15 °C para o período diurno (entre 9:00h e 18:00h). Já no cânion urbano 2, a média PET foi de 16,88 °C, sendo 18,77 °C para o período diurno, 1,38 °C mais baixo que a média do cânion 1 para esse período.

Para situação de verão, a média do índice PET no cânion 1 foi de 30,8 °C, sendo 39,22 °C para o período diurno. No cânion urbano 2, a média PET foi de 30,63 °C, sendo de 37, 52 °C para o período diurno, um decréscimo de 1,7 °C em relação ao cânion 1.

As figuras 4 e 5 mostram a variação do índice PET em graus Celsius nos dois cânions, para situação de inverno e verão, respectivamente. Através dessas figuras nota-se diferenças do índice PET em cada cânion.

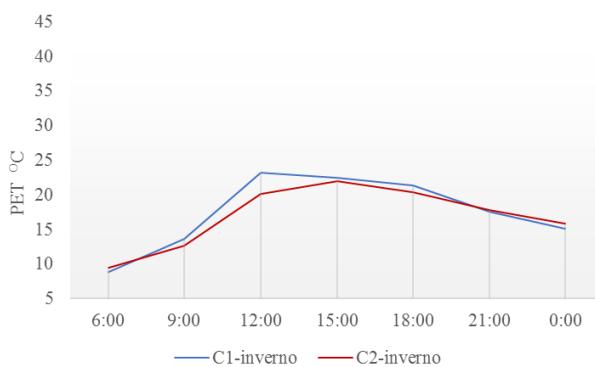


Figura 4 –Variação do Índice PET por horário em cada cânion: situação de inverno.

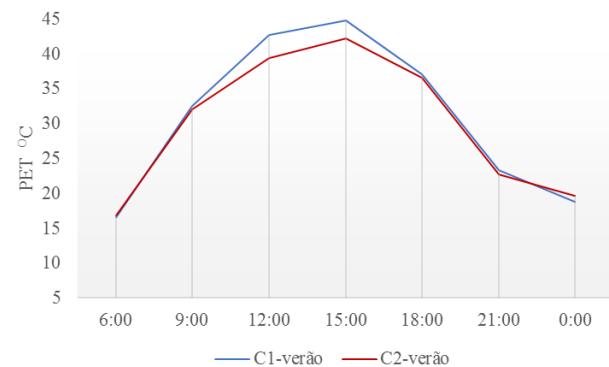


Figura 5 –Variação do Índice PET por horário em cada cânion: situação de verão.

Para situação de inverno, a partir das 9:00h até às 18:00h, ou seja, no período diurno, observa-se que os valores do índice PET são menores no cânion 2, com maior relação H/W, do que no cânion 1, indicando maiores possibilidades da ocorrência de estresse leve ao frio nesse cânion. Possivelmente, esse resultado está associado ao sombreamento dos edifícios no nível da calçada, maior no período de inverno para a orientação

dessa via quando a altura solar é menor. De acordo com Oke (2009), esse efeito provoca a diminuição da radiação que atinge o solo e, assim, da temperatura do ar e temperatura radiante.

Para a situação de verão, ocorrem variações semelhantes à situação de inverno, sendo as diferenças mais significativas às 12:00h e 15:00h, quando o índice PET é 3,3 °C e 2,5 °C, respectivamente, mais baixo no cânion urbano 2. Às 15:00, conforme a tabela 4, a variação no índice PET atinge um diferente nível de estresse térmico nos dois cânions, no cânion 1, com menor relação H/W, portanto com menor sombreamento das edificações, o pedestre estaria exposto a estresse forte ao calor, enquanto no cânion 2, a estresse moderado ao calor.

Ainda para a situação de verão, nota-se que no cânion urbano 1, às 00:00h, o índice PET é 0,8°C maior do que no cânion urbano 1. Em situação de inverno, também ocorre uma diferença de 0,7 °C. Apesar dessa variação ser pequena, essa diferença corrobora com as pesquisas de Oke (2009), que aponta que em cânions mais obstruídos existe menor capacidade de liberação do calor armazenado durante o dia, promovendo seu aquecimento noturno.

A tabela 5 mostra a correlação entre o índice PET com as variáveis microclimáticas. Observa-se que a correlação entre o índice PET com a temperatura do ar foi grande, principalmente para situação de inverno, porém observou-se altas correlações entre a temperatura radiante média e o índice PET tanto em situação de verão quanto de inverno. Esses resultados vão de encontro com as observações de Taleghani et al. (2015) que apontaram que a duração da radiação solar direta e a temperatura radiante são os parâmetros que mais exercem influência na sensação térmica do pedestre em cânions urbanos.

Tabela 5– Correlação entre as variáveis microclimáticas e o índice PET.

Variável	C1-inverno	C2-inverno	C1-verão	C2-verão
Ta (°C)	0,98	0,96	0,81	0,82
UR (%)	-0,86	-0,89	-0,53	-0,75
Var (m/s)	0,27	0,60	-0,23	0,35
TRm(°C)	0,93	0,94	0,99	0,99

As figuras 6 e 7 mostram a variação do índice PET e da temperatura radiante média (Trm) em cada cânion, em situação de inverno e verão, respectivamente. Através das figuras é possível observar que, especialmente no período diurno, um aumento da Trm está associado a um aumento do índice PET. Em situação de verão, o aumento da Trm está associado ao aumento do estresse ao calor, já no inverno está associado a um menor estresse ao frio e ausência de estresse térmico. Porém, no período noturno, após as 18:00h, as duas variáveis estão menos associadas, sendo nesse período a temperatura do ar a variável que exerce maior influência no índice PET.

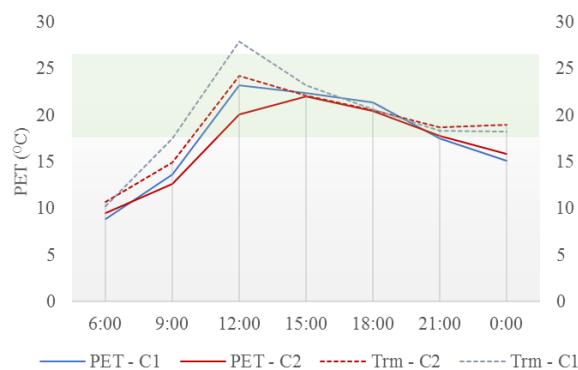


Figura 6 –Variação do Índice PET e da Temperatura Radiante Média em cada cânion: situação de inverno.

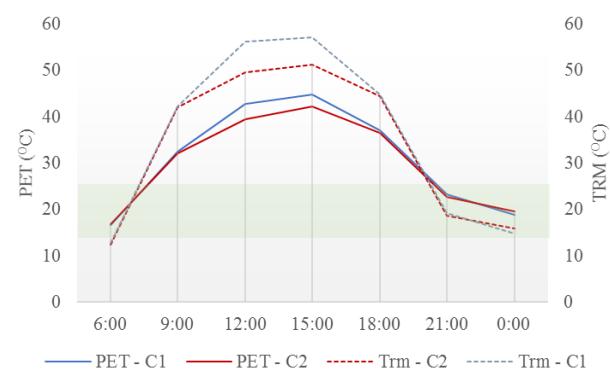


Figura 7 –Variação do Índice PET e da Temperatura Radiante Média em cada cânion: situação de verão.

5. CONCLUSÕES

A análise realizada corrobora com pesquisas que indicam a influência da geometria urbana como fator determinante para o conforto térmico urbano. As características do desenho urbano, como altura das edificações e larguras das vias, têm forte influência na incidência da radiação solar no interior do cânion urbano. Assim, cânions urbanos com menor razão H/W possibilitam maior acesso de radiação solar no nível do pedestre o que está associado a maiores valores de temperatura radiante média.

A análise também identificou que no período diurno, tanto para situação de inverno quanto de verão, a temperatura radiante média é a variável microclimática que exerce maior influência no índice PET. Assim, cânions urbanos mais profundos podem possibilitar menores níveis de estresse térmico ao calor no verão, mas também maiores níveis de estresse térmico ao frio no inverno. Em relação ao período noturno as variações no índice PET entre os cânions foram pequenas, mas sugerem que cânions mais profundos perdem menos calor após o pôr-do-sol que cânions mais rasos.

Por fim, tendo em vista os resultados, é manifesta a importância de um desenho urbano que considere as características do sítio climático. No caso da cidade de Umuarama, a aprovação de um novo Plano Diretor deve considerar os efeitos da geometria urbana no microclima da cidade de forma a assegurar que a população urbana e, essencialmente, os pedestres, estejam bem servidos de espaços abertos de qualidade.

Como continuidade deste trabalho, novos monitoramentos serão realizados em cânions urbanos com diferentes orientações e também no período noturno.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOU, E. The effect of urban layout, street geometry and orientation on shading conditions in urban canyons in the Mediterranean. **Renewable Energy**, v. 64, p. 587-596, 2014.

ASSIS, E.S. Aplicações da climatologia urbana no planejamento da cidade: revisão dos estudos brasileiros. **Revista Rua**, v. 9, p.20-25, 2006.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: Desempenho Térmico de Edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e 111 diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2005.

BOURBIA, F.; AWBI, H. B. Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate. Part 2: Shading simulations. **Renewable Energy**, v.29, p.291-301, 2004.

CHENG, V.; NG, E.; CHAN, C.; GIVONI, B. Outdoor thermal comfort study in a sub-tropical climate: a longitudinal study based in Hong Kong. **Int. J. Biometeorol**, n.56, p. 43-56, 2012.

CHEN, L.; NG, E. Outdoor thermal comfort and outdoor activities: A review of research in the past decade. **Cities**, n.29, p.118-125, 2011.

COUTTS, A.M. et al. Temperature and human thermal comfort effects of street trees across three contrasting street canyon environments. **Theor Appl Climatol**, 2015. DOI 10.1007/s00704-015-1409-y.

EREELL, E. et al. Effect of high-albedo materials on pedestrian heat stress in urban street canyons. **Urban Climate**, n.10, p 367-386, 2014.

EREELL, E.; PEARLMUTTER, D.; WILLIAMSON, T. **Urban microclimate: designing the spaces between buildings**. Earthscan/James & James Science Publishers, London, 2011.

GOMES, P.S.; LAMBERTS, R. O estudo do clima urbano e a legislação urbanística: considerações a partir do caso Montes Claros, MG. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 73-91, 2009.

HOVE et al. Temporal spatial variability of urban heat island. And thermal comfort within Rotterdam agglomeration. **Building and Environment**, n.83, p.91-103, 2015.

HULSMAYER, A. F. **A cidade através dos seus sistemas de espaços livres: estrutura e configuração da paisagem urbana – um estudo de caso em Umuarama – PR**. São Paulo, 2014. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 2010. IBGE, 2011. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: fev. 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 7726: ergonomics of the thermal environment: instruments of measuring physical quantities**. Switzerland, ISO, 1998.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL – IPARDES. Perfil do município de Umuarama. Disponível em: <<http://www.ipardes.gov.br>>. Acesso em: ago.2015.

JOHANSSON, E. Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: a study in Fez, Morocco. **Build Environ**, v. 41, p. 1326-1338, 2006.

KETTERER, C.; MATZARAKIS, A. Human-biometeorological assessment of heat stress reduction by replanning measures in Stuttgart, Germany. **Landscape and Urban Planning**, n.122, p. 78-88, 2014.

LABAKI, L. C. et al. Conforto térmico em espaços públicos de passagem: estudos em ruas de pedestres no estado de São Paulo. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 1, p. 167- 183, 2012.

MAKROPOULOU, M.; GOSPODINI, A. Urban form and microclimatic conditions in urban open spaces at the densely built of a greek city. **Journal of Sustainable Development**, v. 9, n. 1, 2016.

MATZARAKIS, A.; MAYER, H.; IZIOMON, M.G. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. **Int J Biometeorol**, n.43, p.76-84, 1999.

MATZARAKIS, A., Rutz, F., MAYER, H., 2010: Modelling Radiation fluxes in simple and complex environments – Basics of the RayMan model. **International Journal of Biometeorology** 54, 131-139.

MAYER, H.; HÖPPE, P. Thermal Comfort of Man in Different Urban environments. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 38, p. 43-49, 1987.

MINELLA, F.C.O. **Desenho urbano climaticamente orientado: a influência da vegetação no ambiente externo**. Tese (Doutorado em Tecnologia), Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal de Paraná, Curitiba, 2014.

MINELLA, F.O.; ROSSI, F.A. KRÜGUE, E.L. Análise do efeito diurno do fator de visão do céu em microclima e nos níveis de conforto térmico em ruas de pedestres em Curitiba. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n.1, p.123-143, 2011.

MONTEIRO, L. M. **Modelos preditivos de conforto térmico: quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projeto de espaços abertos.** 378p. Tese (Doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

NAKAMURA, Y.; OKE, T. R. Wind, temperature and stability conditions in an eastwest oriented urban canyon. **Atmos Environ.**, v. 22, n. 12, p. 2691–2700, 1988.

OKE, T.R. **Boundary Layer climates.** 2 ed. London: New York Routledge, 2009.

OKE, T. R. Street design and urban canopy layer climate. **Energy and Buildings**, v. 11, p. 103–113, 1988.

OKE, T. R. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. **Journal of Climatology**, v. 1, p. 237-254, 1981.

PLANO DIRETOR DE UMUARAMA. Lei Complementar nº124, de 22 dez. 2004. Institui o Plano Diretor Municipal e estabelece as Diretrizes e Proposições de Desenvolvimento no Município de Umuarama. Disponível em: <http://www.umuarama.pr.gov.br/arquivos_diversos/downloads/1>. Acesso em: out. 2014.

REGO, R. L.; MENEGUETTI, K. S. O território e a paisagem: a formação da rede de cidades do norte do Paraná e a construção da forma urbana. **Paisagem e Ambiente**, n. 25, p. 37-54, 2008.

ROMERO, M. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano.** São Paulo: Editora Projeto, 2001.

ROSSI, F. A. **Proposição de metodologia e de modelo preditivo para avaliação da sensação térmica em espaços abertos em Curitiba.** 2012. 188 f. Tese (Doutorado em Tecnologia) – Programa de Pós-graduação em Tecnologia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SETO K.C., S. 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 University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/>>. Acesso em: jan.2015.

SHISHEGAR, N. 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**, v.1, n. 1, p. 52-56, 2013.

SILVA, C.F. **O contexto térmico das cavidades urbanas: contexto climático do Distrito Federal.** Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

STEWART, I.D.; OKE, T.R. Local Climate Zones for urban temperature studies. **Bull. American Meteorological Society**, n.93, p. 1879, 1900, 2012.

TALEGHANI, M. et al. Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherland. **Building and Environment**, v. 83, p.65-78, 2015.