

INFLUÊNCIA DO FATOR DE VISÃO DO CÉU NO CONFORTO TÉRMICO EM DUAS SITUAÇÕES URBANAS DISTINTAS

Flávia Osaku Minella (1); Francine A. Rossi (2); Eduardo L. Krüger (3)

(1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – PPGTE-UTFPR, Av. Sete de Setembro, 3165 CEP. 80230-901 Curitiba PR, arqui_flavia@yahoo.com

(2) Arquiteta, Doutoranda do PPGTE-UTFPR, francinea.rossi@hotmail.com

(3) Professor Doutor, PPGTE-UTFPR, ekruger@utfpr.edu.br

RESUMO

O clima urbano é decorrente da ação de diversas variáveis, entre elas o fator de visão do céu (FVC), índice definido como a razão entre a porção de céu visível visto de um determinado ponto e o céu potencialmente disponível a partir deste ponto. Este trabalho teve como objetivo investigar a influência do fator de visão do céu sobre os níveis de conforto térmico em espaços abertos, mais especificamente a Rua XV de Novembro em Curitiba. Para isso, foram monitorados dois pontos ao longo da rua, com maior e menor obstrução da abóbada celeste, em um período de 5 horas de um dia de verão. Os resultados finais mostram que a temperatura do ar apresenta baixa correlação com o índice PMV, embora a temperatura radiante média esteja mais fortemente correlacionada com esse índice térmico. Além disso, as análises apresentadas apontam que o FVC não pode ser considerado, isoladamente, como fator determinante para os níveis de conforto dos índices PMV e PET. Considerando que a geometria das edificações é entendida como a principal causa das ilhas de calor, o estudo do FVC adquire maior importância à medida que é um parâmetro passível de ser utilizado no planejamento urbano, contribuindo para um norteamento da expansão ou crescimento vertical dos centros urbanos.

Palavras-chave: fator de visão do céu, conforto térmico, PET, PMV.

ABSTRACT

Urban climate is a result of the interaction of several variables, including the sky view factor, index defined as the ratio between the visible portion of sky seen from a certain point and the sky potentially available from this point. The aim of this study is to investigate the influence of the sky view factor on the levels of thermal comfort in open spaces, specifically on the Rua XV de Novembro in Curitiba. For this, two points were monitored along the pedestrian street, with more and less obstruction of the sky, in a period of 5 hours during a summer day. The final results show that the air temperature has low correlation with the PMV index, while the mean radiant temperature is more strongly correlated with the heat index. Furthermore, the analysis presented showed that the FVC can not be considered alone as a determining factor for levels of comfort indices PMV and PET. Whereas the geometry of buildings is seen as the main cause of heat islands, the study of SVF acquires greater importance as it is a parameter that can be used in urban planning, contributing to the expansion or vertical growth of the urban centers.

Keywords: Sky View Factor, thermal confort, PET, PMV.

1. INTRODUÇÃO

O fator de visão do céu, representado pelo símbolo Ψ_s , é a razão entre a porção de céu visível visto de um determinado ponto e o céu potencialmente disponível a partir deste ponto (CHAPMAN, 2007, p. 4). Watson e Johnson¹ (1987, apud GRIMMOND *et al.*, 2001; BROWN; GRIMMOND; RATTI, 2001)

¹ WATSON I.D.; JOHNSON G.T. Graphical estimation of sky-view factors in urban environments. *Journal of Climatology*, v. 7, p. 193–197, 1987.

consideram o FVC como a razão entre a radiação solar recebida (ou emitida) por uma superfície plana comparada com aquela recebida (ou emitida) por todo o entorno.

O valor do FVC varia de 0 (zero) até 1, sendo que o valor 1 corresponde a uma área sem qualquer obstáculo que se interponha entre o ponto escolhido e o céu. Para Souza, Rodrigues e Mendes (2003, p. 671), representa uma obstrução à abóbada celeste, "qualquer edificação, elemento ou equipamento urbano, pertencente ao plano do observador posicionado na camada intra-urbana".

O balanço de radiação em um cânion urbano depende do FVC. No processo de balanço térmico, o céu por possuir temperaturas mais amenas do que a superfície terrestre funciona como um receptor da radiação de onda longa vinda da camada urbana, possibilitando o resfriamento desta superfície (SOUZA; RODRIGUES; MENDES, 2003, p.1228). Nesse sentido, a geometria urbana e qualquer outro elemento que obstrua a visão do céu, influem no controle da temperatura das superfícies (T_s) e na temperatura do ar (T_a). Este efeito é considerado a principal causa da ilha de calor urbana (CHAPMAN; THORNES; BRADLEY, 2001; MOIN; TSUTSUMI, 2004; CHAPMAN, 2007).

Embora parâmetros como o calor liberado pelas ações antropogênicas e as propriedades térmicas dos materiais estejam relacionados com a intensidade da ilha de calor noturna (ΔT_{u-r}), simulações realizadas por Oke² (1981) e Oke *et al.*³ (1991) apontam que o FVC pode, isoladamente, produzir uma ΔT_{u-r} de 5 a 7°C (CHAPMAN; THORNES; BRADLEY, 2001; SVENSSON, 2004).

Ribeiro, Fidelis e Carvalho (2008) relatam que estudos demonstram que o fator de visão do céu exerce influência, também, no ganho de radiação solar direta, influenciando a ilha de calor diurna ou estresse térmico diurno.

O FVC tem sido comumente utilizado em estudo de trocas de energia (CHAPMAN; THORNES, 2004). Unger (2004) fornece uma revisão detalhada sobre a relação entre temperatura do ar e FVC e demonstra que a literatura apresenta resultados controversos.

Eliasson (1996) analisou a distribuição horizontal da temperatura do ar em relação a diferentes geometrias urbanas e uso do solo na cidade de Göteborg, Suécia. Por intermédio de análise de regressão, os resultados apontaram pouca variação de temperatura, menos de 3 °C, o que demonstra pouca influência do FVC para a determinação da T_a . Corroborando com esta afirmação, Upmanis e Chen (1999) em um estudo na mesma localidade, afirmam que o FVC apresenta correlação significativa com a temperatura de superfície, mas não com a temperatura do ar.

Svensson (2004) lista algumas pesquisas que apontam o FVC como parâmetro de influência para a variação da temperatura do ar, como: Yamashita *et al.*⁴ (1986) e Karlsson⁵ (2000) e comprova com outro estudo realizado em Göteborg, que há forte correlação entre temperatura do ar e FVC.

Para explicar os diferentes resultados apresentados pela bibliografia, Svensson (2004, p. 202) formula a hipótese de que estes parâmetros estão relacionados com o procedimento de obtenção destes dados. A autora analisou a diferença de FVC's obtidos por meio de fotografias olho de peixe em diferentes níveis (2m acima do solo e ao nível do solo) e por meio de análise de regressão, determinou como esta diferença influi na relação entre as variáveis.

Apesar de o FVC ser uma simples parametrização, o cálculo para a sua obtenção tem sido um desafio para os climatologistas (CHAPMAN; THORNES, 2004, p. 730). Diferentes métodos são apresentados para o cálculo de obtenção do FVC. Basicamente, o FVC pode ser obtido por métodos analíticos (OKE², 1981, *apud* ELIASSON, 1996, p. 379; JOHNSON; WATSON⁶, 1984, *apud* SVENSSON, 2004, p. 202), métodos fotográficos - uso de programas específicos (CHAPMAN; THORNES; BRADLEY, 2001 ; MOIN; TSUTSUMI , 2004 ; CORREA *et al.*, 2005), sistemas com dados de base 3D acoplados a um SIG - Sistema de Informações Geográficas (SOUZA; RODRIGUES; MENDES, 2003), sistemas que utilizam GPS (CHAPMAN; THORNES, 2004) e mais recentemente, imagens com um dispositivo que mostra as diferenças térmicas entre as obstruções e o céu (CHAPMAN *et al.*, 2007).

² 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.

³ OKE, T.R.; JOHNSON, G.T.; STEYN, D.G.; WATSON, I.D. Simulation of surface urban heat islands under 'ideal' conditions at night. Part 2: Diagnosis of causation. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 56, p. 339-358, 1991.

⁴ YAMASHITA, S., SEKINE, K., SHODA, M., YAMASHITA, K. & HARA, Y. On relationships between heat island and sky view factor in the cities of Tama river basin, Japan. **Atmos. Environ.**, v. 20, p. 681-686, 1986.

⁵ KARLSSON, I. M. Nocturnal air temperature variations between forest and open areas. **J. Appl. Meteorol.**, v. 36, p. 851-862, 2000

⁶ JOHNSON, G.T. ; WATSON, I.D. The determination of view-factors in urban canyons. **Journal of Applied Climate and Meteorology**, v. 23. p. 329-335, 1984.

1.2. ÍNDICES DE CONFORTO – PMV E PET

A partir de meados do século XVII, foram registradas as primeiras medições de temperatura do ar. Nesta época, questões referentes à sensação térmica em ambientes, começaram a ser levantadas. Mas é no início do século XIX que os primeiros estudos relacionados ao estresse térmico começaram a ser realizados (MONTEIRO; ALUCCI, 2005).

Fanger (1982) apresentou um método para avaliar a sensação térmica de pessoas exposta a um mesmo ambiente, o índice Voto Médio Estimado (PMV - *Predicted Mean Vote*). O PMV prediz o valor médio dos votos de sensação térmica de um grupo de pessoas, tendo como base o balanço térmico do corpo humano, ou seja, quando o calor interno produzido pelo corpo é igual à perda de calor para o ambiente. Os votos são dados em uma escala de 7 pontos (Tabela 1).

O PET, Temperatura Fisiológica Equivalente (*Physiological Equivalent Temperature*), foi baseado no MEMI (*Munich Energy-balance Model for Individuals*), que tem como base o balanço de energia. O PET, expresso em °C, baseia-se no balanço térmico do corpo, sendo "um índice para cálculo do conforto térmico, adaptado às condições externas, que considera não só a temperatura 'do ar'⁷, umidade e vento, mas também a temperatura radiante média e é baseado na equação de equilíbrio térmico humano em estado de uniformidade" (MAYER; HÖPPE⁸, 1987, *apud* LOIS; LABAKI, 2001, p. 5).

Segundo Höppe (1999), o PET é definido como a temperatura fisiológica equivalente, em um determinado ambiente (interno ou externo), à temperatura do ar de um ambiente interno de referência, no qual o balanço térmico humano é mantido com temperatura da pele e do centro do corpo iguais àquelas das condições em avaliação. Os dados climáticos do ambiente de referência e os dados individuais são estabelecidos da seguinte forma: (1) umidade relativa de 50% a uma temperatura do ar de 20°C, (2) velocidade do ar de 0,1 m/s, (3) temperatura radiante média igual à temperatura do ar, (4) pressão de vapor de água de 12hPa, (5) metabolismo 80W e (5) vestimenta de 0,9 clo (HÖPPE, 1999). A faixa de conforto está entre 18°C e 23°C, conforme Mayer e Matzarakis (1998).

Para o cálculo dos índices PMV e PET são consideradas as seguintes variáveis climáticas: (1) temperatura do ar, (2) temperatura radiante média, (3) velocidade do ar e (4) umidade do ar. E as seguintes variáveis individuais: (1) taxa metabólica, (2) eficiência mecânica, (3) isolamento da vestimenta e (4) atividade. A equação para cálculo do PMV é apresentada na norma ISO 7730 (2005).

A Tabela 1 mostra os níveis de estresse térmico e sensação térmica para os índices PMV e PET.

Tabela 1 – Sensação térmica e nível de estresse térmico para os índices PMV e PET

PMV	PET	Sensação Humana	Nível de estresse térmico
-3,5	4°C	Muito frio	estresse extremo para frio
-2,5	8°C	frio	estresse forte para frio
-1,5	13°C	pouco frio	estresse moderado para frio
-0,5	18°C	levemente frio	estresse leve para frio
0,5	23°C	confortável	sem estresse térmico
1,5	29°C	levemente calor	estresse leve para calor
2,5	35°C	pouco calor	estresse moderado para calor
3,5	41°C	calor	estresse forte para calor
		muito calor	

Fonte: Adaptado de Mayer; Matzarakis, 1998

⁷ Inclusão de texto pelos autores.

⁸ MAYER, H.; HÖPPE, P. Thermal comfort of man in different urban environments. In: *Theoretical and Applied Climatology*, v. 38, p. 43-49, 1987.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é analisar a influência do fator de visão de céu para a sensação de conforto térmico em duas situações urbanas distintas no calçadão da Rua XV de Novembro em Curitiba, a partir da comparação entre valores de temperatura do ar e temperatura radiante média, obtidos por monitoramento térmico local, e os índices de conforto PMV e PET calculados por intermédio do programa *RayMan*.

3. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Situada na região central da cidade de Curitiba, o calçadão da Rua XV de Novembro faz parte da história do urbanismo brasileiro por ter se tornado, em 1972, a primeira rua de pedestres do país. Principal artéria comercial daquela época, a pedestrianização surgiu como uma medida para favorecer o comércio local ao passo em que solucionava os problemas advindos da circulação de veículos, cujo fluxo foi redirecionado para vias adjacentes. Assim, o espaço foi remodelado com a introdução de um passeio único e equipamentos urbanos foram dispostos ao longo de todo o calçadão.

Iniciando-se a partir da Rua Presidente Faria e estendendo-se por mais 5 quarteirões até a Rua Ébano Pereira / Travessa Oliveira Bello, a paisagem urbana desta via é marcada por edificações comerciais de grande altura que contrastam com antigos casarões. Atualmente, a Rua das Flores, como é popularmente chamada, faz parte da identidade cultural da cidade, sendo caracterizada por um fluxo intenso e constante de transeuntes (cerca de 121 mil pessoas por dia).

4. MÉTODO

O estudo está dividido em quatro etapas principais:

1. Determinação dos pontos, no calçadão da Rua XV de Novembro, com maior e menor obstrução do céu, por meio da análise de fotos olho de peixe inseridas no programa *RayMan* (descrito a seguir).
2. Monitoramento dos pontos selecionados para obtenção das variáveis microclimáticas.
3. Utilização do programa *RayMan* para a definição dos índices de conforto PMV e PET.
4. Análises dos resultados para a verificação da influência do FVC no conforto térmico dos transeuntes.

4.1. Determinação do Fator de Visão do Céu

A primeira etapa desta pesquisa consistiu na determinação do ponto com maior e menor obstrução do céu. Para a obtenção das fotos foi utilizada uma lente 8 mm acoplada a câmera Nikon D-80. A câmera foi posicionada no eixo da rua, alinhada com o centro de cada uma das 5 quadras, e as imagens foram realizadas nas primeiras horas da manhã, sem incidência solar direta no obturador da câmera. A altura da câmera, 110 cm, corresponde à altura dos sensores de temperatura do ar (T_a) e umidade relativa. A falta do sistema de captação de imagem conhecido como *Full-Frame*, necessário para captar um círculo completo de uma lente olho de peixe, fez com que fosse necessário o tratamento das fotos em um editor de imagens. Na seqüência, utilizou-se o programa *RayMan* para o cálculo do FVC.

4.1.1. Ferramenta de simulação utilizada

O programa *RayMan* permite a obtenção da temperatura média radiante, além de índices como o PMV e o PET. O modelo *RayMan*, por considerar as complexas estruturas urbanas, é de grande utilidade para a climatologia e planejamento urbano. O modelo foi desenvolvido por Andréas Matzarakis e é de domínio público (<http://www.mif.uni-freiburg.de/RayMan>). O programa possibilita que uma determinada localidade seja graficamente representada com a inserção de dados de implantação e dimensões das edificações e vegetação. Por meio deste sistema de dados gráficos, é possível a visualização de áreas sombreadas pelos obstáculos naturais e artificiais, além do cálculo do FVC. Outra alternativa para a obtenção do FVC é por meio da inserção de fotos olho de peixe. As imagens podem ser importadas e editadas no próprio *software*.

4.2. Monitoramento da Rua XV de Novembro

As variáveis climáticas foram obtidas de acordo com a norma ISO 7726 (1998), que dispõe sobre os instrumentos para a medição de variáveis físicas. Para medir as variáveis climáticas foi utilizada a estação meteorológica da marca HOBO (H21-001).

A estação estava equipada com os seguintes instrumentos:

1. Sensor de temperatura e umidade (S-THB-M002);
2. Piranômetro de silício (S-LIB-M003);
3. Sensor de direção e velocidade do vento (S-WCA-M003).

Os sensores de temperatura do ar e umidade relativa foram fixados na altura de 110cm, conforme ISO 7726 (1998), o piranômetro foi fixado à 160cm, acima dos demais sensores e orientado para o Norte, para evitar sombras sobre o mesmo. O anemômetro foi fixado à 200cm, conforme recomendação da Campbell (1997).

Para se obter a temperatura radiante média (Trm), foram utilizados termômetros de globo de cobre, com $\varnothing=2''$, pintado na cor RAL-7001 (cinza) (THORSSON *et al.*, 2007). Em cada estação foram fixados dois termômetros de globo nas alturas de 60cm e 110cm, conforme ISO 7726 (1998). Para se obter a temperatura de globo, foi feita a média aritmética entre os dois registros. A Trm foi calculada pela fórmula para convecção natural, definida pela ISO 7726 (1998, pg.16). Os globos estavam equipados com os seguintes instrumentos:

1. Sensor de temperatura 12-Bit (S-TMB-M002);
2. HOBO Pro V2 logger (U23-004)

As faixas de precisão dos instrumentos utilizados satisfizeram as recomendações da norma ISO – 7726. Os dados foram gravados de 1 em 1 segundo e depois trabalhados para compor o minuto. Assim, têm-se dados climáticos para cada minuto no período das 10:50 às 16:00.

Para a obtenção de uma pessoa típica representativa foram aplicados 64 questionários, no ponto 1 e 66 questionários no ponto 2, totalizando 130 questionários. No ponto 1, responderam 36 mulheres e 28 homens; no ponto 2, 23 mulheres e 43 homens. Destes dados foram feitas médias da idade, altura, peso e vestimenta (clo), para cada ponto e sexo. No entanto, neste estudo, foram selecionados apenas os respondentes masculinos para a comparação dos índices de conforto entre os dois pontos monitorados.

Os índices de conforto utilizados neste estudo foram: PMV e PET. O cálculo de cada um deles foi feito pelo programa *RayMan*. Para a obtenção dos valores destes índices, foram considerados todos os dados, ou seja, de minuto em minutos. Desta forma, a partir da obtenção de uma pessoa representativa (média das alturas, pesos e idades da amostra coletada para o sexo masculino) foram obtidos, para cada minuto, os valores de PMV e PET. Com estes dados foi feita uma tabela a fim de se estabelecer às correlações entre os índices de conforto e as variáveis climáticas. Depois foi montado um gráfico, correlacionando a diferença entre a temperatura radiante média, e os respectivos valores de PMV e PET (Figura 3 e Figura 4).

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1. Determinação do Fator de Visão do Céu

A escolha dos pontos para o monitoramento das variáveis microclimáticas e posterior comparação entre eles, foi definida pelos valores de FVC's. Assim, as medições foram feitas nos pontos 1 e 2 por apresentarem valores de FVC's diferentes, sendo o valor do ponto 2 o dobro do valor do ponto 1.

O ponto com maior obstrução apresenta FVC igual a 0,30 (ponto 1), enquanto o ponto de menor FVC apresenta 0,61 (ponto 2).



Figura 1: Localização dos pontos 1 e 2 ao longo da Rua XV



Figura 2 - Foto olho de peixe do ponto 1 (FVC = 0,30)



Figura 3 - Foto olho de peixe do ponto 2 (FVC = 0,61)

O ponto 1 se localiza na quadra entre a Rua Presidente Faria e Rua Riachuelo, e o ponto 2 entre a Rua Muricy e a Rua Ébano Pereira (Figura 1). Estes pontos apresentam características distintas; o primeiro está em uma quadra que possui edifícios comerciais altos, enquanto o segundo ponto está entre edifícios antigos de baixa altura (Figura 2). Outro fator de diferenciação é a largura das vias, que é maior no ponto 2. Ambos os pontos se distanciam em aproximadamente 500m.

5.2. Monitoramento das variáveis microclimáticas

As medições ocorreram no dia 09 de janeiro de 2008 em um período total de 5 horas. Neste dia, o tipo de céu que prevaleceu na vizinhança, foi céu claro com nuvens esparsas.

Foram correlacionados os índices PMV e PET com as variáveis climáticas, conforme Tabela 2 e 3. É possível observar, para cada ponto, que as correlações entre os índices de conforto e a T_a foram pouco significantes, enquanto as correlações dos índices com a T_{rm} foram altas. Esta análise corrobora com Matzarakis, Rutz e Mayer (2007, p. 323) que consideram a temperatura radiante média o parâmetro mais importante para a obtenção do balanço energético humano durante condições meteorológica providas de sol. Assim, por se tratar de uma variável de grande relevância para os níveis de conforto térmico, foi escolhida a T_{rm} para a análise de correlação com o FVC.

Tabela 2: Correlações entre o PMV e as variáveis climáticas

Dias	Pontos	Velocidade do vento	Radiação Solar	UR	T_a	T_{rm}
9.1.2009	1	-0,16	0,38	-0,45	0,52	0,76
	2	-0,45	0,49	-0,46	0,45	0,70

Tabela 3: Correlações entre o PET e as variáveis climáticas

Dias	Pontos	Velocidade do vento	Radiação Solar	UR	T_a	T_{rm}
9.1.2009	1	-0,47	0,55	-0,40	0,33	0,75
	2	-0,19	0,43	-0,36	0,41	0,81

No início das medições, das 10:50 até aproximadamente 11:00, a temperatura radiante média estava mais alta no ponto 1 (FVC=0,30) em relação ao ponto 2 (FVC=0,61), assim como a sensação de desconforto térmico (índice PMV) neste local. Deste horário em diante, em maior parte do tempo de medição, o ponto 2 apresentou temperaturas mais altas, sendo a diferença T_a positiva, apresentando valores maiores de PMV, como pode ser visto no horário das 13:00. A média da T_{rm} no ponto 1 foi de 36,7 °C, enquanto o ponto 2 registrou a média de T_{rm} de 38,5 °C, ou seja, uma diferença de 1,8 °C.

9.1.2009

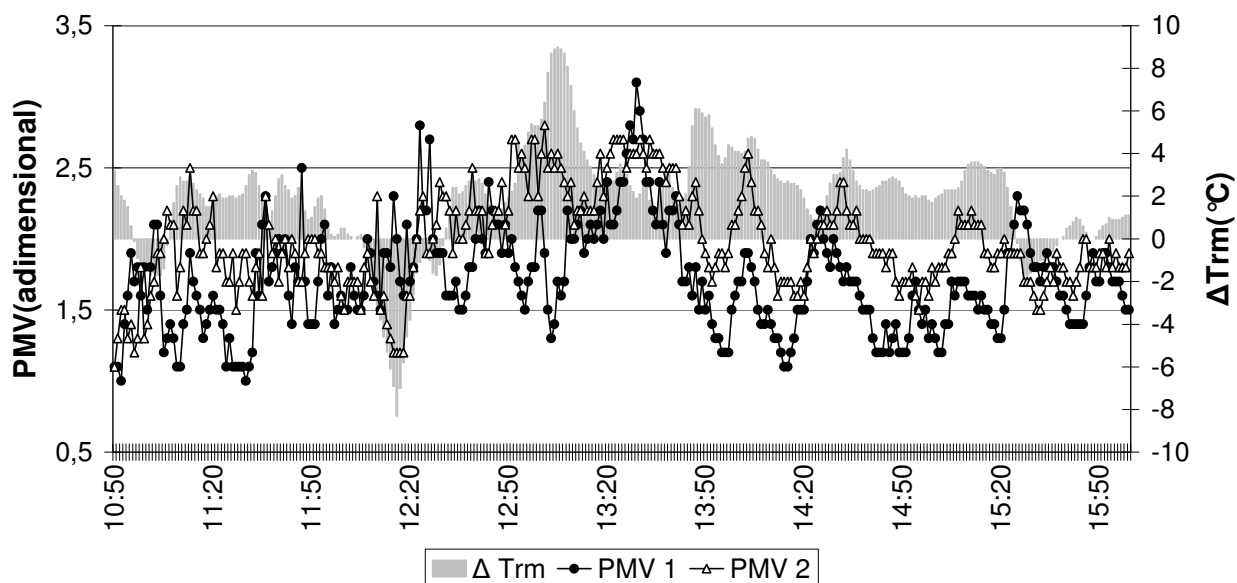


Figura 3: Diferenças entre TRM's (ponto 2 - ponto 1) e PMV calculado para cada ponto

Note-se que a Figura 3 mostra faixas de conforto e estresse térmico, conforme Mayer e Matzarakis (1998): faixa 1, $3,5 < PMV < 2,5$ (forte estresse térmico para calor), faixa 2, $2,5 < PMV < 1,5$ (estresse térmico moderado para calor), faixa 3, $1,5 < PMV < 0,5$ (baixo estresse térmico para calor), faixa 4, $0,5 < PMV < -0,5$ (faixa de conforto).

A análise de variação do PMV para cada ponto mostra em geral que o ponto com menor FVC, ponto 1, apresenta menor grau de estresse térmico, havendo uma variação entre as faixas de conforto 2 e 3, enquanto no ponto 2 ocorreu uma predominância na faixa 2.

Para a análise da relação entre PET e temperatura radiante média seguiu-se à classificação de Mayer e Matzarakis (1998), na qual o ponto de neutralidade térmica corresponderia a uma temperatura próxima de 20°C . O gráfico da Figura 4 mostra um padrão semelhante ao da Figura 3, ou seja, aponta para uma correlação entre diferenças de temperatura radiante média e aumento da diferença de desconforto entre os pontos.

9.1.2009

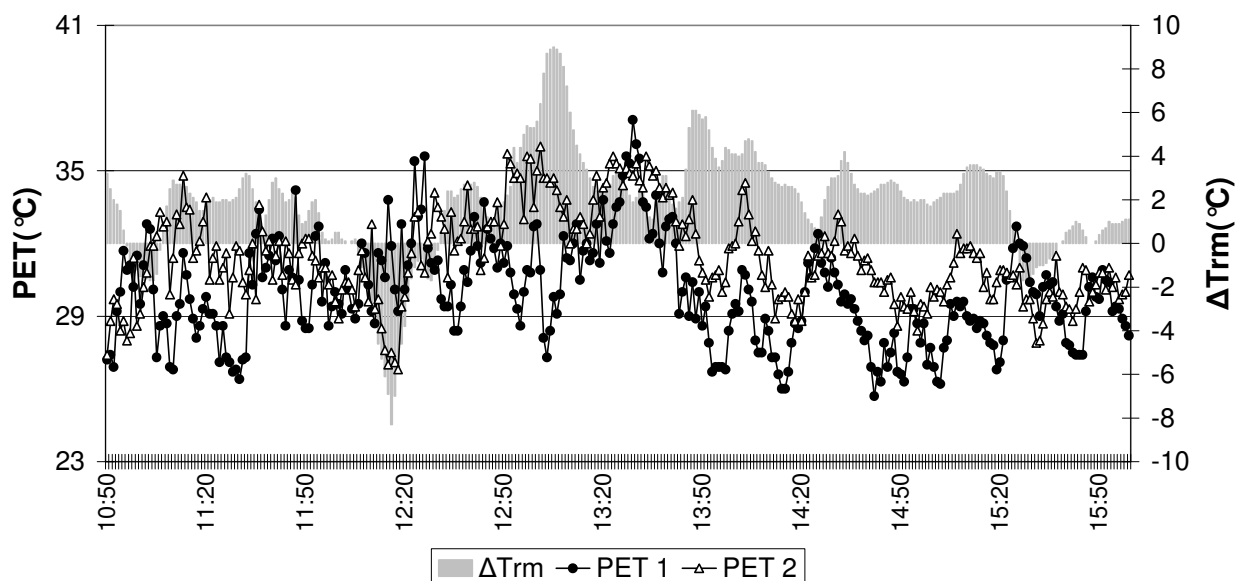


Figura 4: Diferenças entre TRM's (ponto 2 - ponto 1) e PET calculado para cada ponto

Os resultados em termos de porcentagem de votos de conforto/desconforto, segundo os índices PMV e PET, são mostrados na tabela⁹ 4.

Tabela 4– Porcentagem de votos de conforto/ desconforto para o índice PMV e PET

09.01.2009	PMV				PET			
	conforto	Pouco calor	calor	Muito calor	conforto	Pouco calor	calor	Muito calor
Ponto 1 FVC = 0,30	0	35,8	61,6	2,6	0	35,8	61,9	2,3
Ponto 2 FVC=0,61	0	7,4	84,5	8,1	0	7,7	88,1	4,2

No ponto 1 de medição, para o índice PMV, há uma diferença de 25,8 pontos percentuais entre o voto de pouco calor para o de calor. Esta diferença, no ponto 2, apresenta um aumento significativo para 77,1 pontos percentuais. Da mesma forma ocorre para o índice PET. No ponto 1 a diferença de votos de pouco calor para muito calor é de 26,1 pontos percentuais. Já no ponto 2, a diferença é de 80,4 pontos percentuais.

A diferença morfológica mais visível entre os dois pontos é representada pelo fator de visão do céu. Enquanto o ponto 1 possui edifícios altos dos dois lados da rua, estando estes mais próximos, devido à largura da via ser menor, o ponto 2 possui edifícios mais baixos, além da largura da via ser mais espaçada.

5.3 Relação entre radiação solar e FVC

A carta solar sobreposta à foto olho de peixe indica o período de incidência solar no ponto durante todo o ano. A análise da incidência solar nos pontos monitorados abrangeu o período do mês de Janeiro.

A Figura 5 mostra o período de sombreamento do ponto 1. Observa-se que na linha de 21 de Janeiro, o ponto 1 (FVC = 0,30) recebe sol a partir das 7:20 até o fim da tarde, sendo o total de radiação incidente no ponto, no período de medição, $I = 9588 \text{ W/m}^2$. No ponto 2 (FVC = 0,61), por ser um espaço mais aberto, recebe sol durante todo o dia, sendo que o total de radiação é de $I = 13330 \text{ W/m}^2$ (Figura 6). A diferença de radiação recebida nos pontos é de 3742 W/m^2 . Desta forma, embora o período de insolação seja quase o mesmo no intervalo de monitoramento, a quantidade de radiação recebida em cada ponto é influenciada pelo FVC, por duas razões principais: a contribuição da abóbada celeste (radiação difusa) e reflexões da radiação recebida na área vertical edificada (em função do albedo). Uma vez que a abóbada celeste influi no total de radiação recebida sob a forma de radiação difusa, mostra-se que uma menor obstrução da abóbada celeste, na situação de verão analisada, trará maior desconforto para calor.

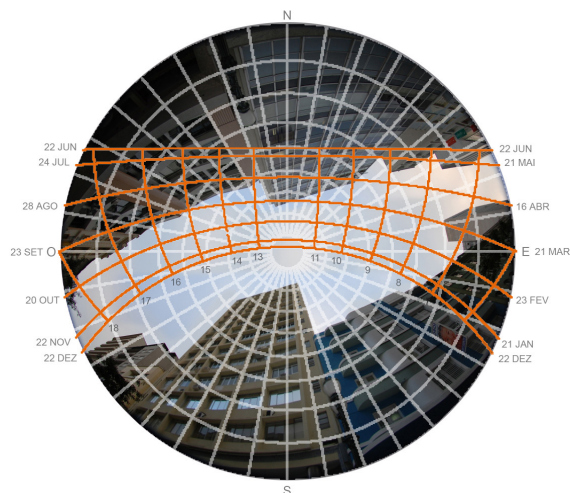


Figura 5 - Foto olho de peixe com carta solar para o ponto 2

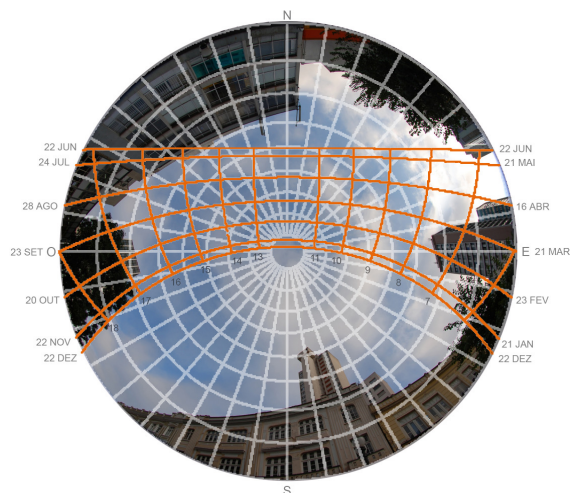


Figura 6 - Foto olho de peixe com carta solar para o ponto 7

⁹ Faixas baseadas em Mayer e Matzarakis (1998)

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise corrobora com pesquisas que apontam pouca influência do FVC como fator determinante para a temperatura do ar (ELIASSON, 1996; UPMANIS; CHEN, 1999). Além disso, os resultados apresentados apontam que o FVC não pode ser considerado, isoladamente, como fator determinante para os níveis de conforto dos índices PMV e PET.

No entanto, a Trm é uma importante variável no que diz respeito aos índices de conforto térmico estudados, assim como a radiação, que tem forte correlação com a Trm. Isto mostra, que a influência do FVC no microclima é menor, quando comparada ao efeito da incidência da radiação solar no microclima. Sendo assim, algumas características do desenho urbano como, altura das edificações, largura das vias e orientação, tem forte influência no ganho de radiação solar nos pontos medidos, e em consequência nos níveis de conforto.

É necessário levar em conta que os resultados poderiam apresentar diferenças caso houvesse um ajuste no índice para a cidade de Curitiba. Pretende-se, ao final da etapa de monitoramento, atingir um total de cerca de 20 dias de medições, cada qual com duas estações medidoras, perfazendo 35 situações urbanas diferentes (considerando a repetição de alguns pontos). A partir do total de dados e situações coletadas e a partir do que foi concluído nesta etapa, pretende-se comparar pares de situações urbanas com diferentes relações de FVC's, nas quais os dados de radiação solar incidente sejam comparáveis.

O FVC adquire maior importância à medida que é um parâmetro que pode inferir no planejamento urbanístico, contribuindo para o norteamento de uma organização espacial sustentável. Assim, estudos em espaços abertos podem contribuir para aumentar a conexão desejável entre climatologistas e projetistas.

7. REFERÊNCIAS

- BROWN M.; GRIMMOND S.; RATTI C. Comparison of Methodologies for Computing Sky View Factor in Urban Environments. In: International Symposium on Environmental Hydraulics, 2001, Tempe, AZ, EUA. **Proceedings...** Tempe, AZ: ISEH / IAHR, 2001. Disponível em: <http://senseable.mit.edu/papers/pdf/2001_Brown_Grimmond_Ratti_ISEH.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2009.
- CAMPBELL, S. **Application Note: Weather Station Siting and Installation Tools**. 1997.
- CHAPMAN, L. Towards a tree-view factor. Why do urban climatologists dislike trees? **IAUC Newsletter**, v. 25, p. 4-6, 2007.
- CHAPMAN, L.; THORNES, J.E. Real-time sky-view factor calculation and approximation. **J. Atmos. Oceanic. Technol.** v. 21, n. 5, p. 730-742, 2004.
- CHAPMAN, L.; THORNES, J.E.; BRADLEY, A.V. Rapid determination of canyon geometry parameters for use surface radiation budgets. **Theoretical Appl. Climatol.**, v. 69, n. 1/2, p. 81-89, 2001.
- CHAPMAN, L.; THORNES, J.E.; MULLER, J.P.; MCMULDROCH, S. Potential applications of thermal fisheye imagery in urban environments Geoscience and Remote Sensing Letters. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v.4, n. 1, p. 56-59, 2007.
- CORREA, E. N.; PATTINI, A.; CÓRICA, M. L.; FORNÉS, M.; LESINO, G. Evaluación del factor de visión de cielo a partir del procesamiento digital de imágenes hemisféricas. Influencia de la configuración del canón urbano en la disponibilidad del recurso solar. **Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente**, v.9, p. 43-48, 2005.
- ELIASSON I. Urban Nocturnal Temperatures, Street Geometry and Land Use. **Atmos. Environ.**, v. 30, p. 379-392, 1996.
- FANGER, P. O. **Thermal Comfort**. Florida: Robert E. Krieger Publishing Company, 1982.
- GRIMMOND, C.S.B.; POTTER, S. K.; ZUTTER, H. N.; SOUCH, C. Rapid methods to estimate sky-view factors applied to urban areas. **Int. J. Climatol.**, v. 21, n. 7, p. 903-913, 2001.
- HÖPPE, P. **The Physiological Equivalent Temperature: a index for the biometeorological assessment of the thermal environment**. In: International Journal of Biometeorology. n.43. p. 71-75, 1999.
- ISO 7726 **Ergonomics of the Thermal Environment: Instruments of measuring physical quantities**. ISO, 1998.
- ISO 7730 **Ergonomics of the Thermal Environment: Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria**. Suíça: ISO, 2005.
- LOIS, E.; LABAKI, L. C. CONFORTO TÉRMICO EM ESPAÇOS EXTERNOS: UMA REVISÃO. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2001, São Pedro. Anais... São Pedro: ANTAC, 2001.
- MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments—application of the RayMan model. **Int J Biometeorol** . v. 51, p. 323-334, 2007.
- MAYER, H.; MATZARAKIS, A. Human-biometeorological assessment of urban microclimates' thermal component. In: Japanese-German Meetings "Klimaanalyse für die Stadtplanung", 2. Toward Reconstruction in Kobe. Report of Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University, Special Report, n.1, p. 155-168. 1998.
- MOIN U. M.; TSUTSUMI J. Rapid Estimation of Sky View Factor and Its Application to Human Environment. **Journal of the Human-Environment System**, v. 7, n. 2, p. 83-87, 2004.
- MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Índices de Conforto Térmico para Espaços Abertos Parte II: revisão histórica. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., Maceió, **Anais...** ENTAC. p. 1221-1230, 2005.
- RIBEIRO, C. A. M. ; FIDELIS, C. N ; CARVALHO, H. J. M. FATOR DE VISÃO DO CÉU E ILHAS DE CALOR: GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO CONFORTO URBANO. In: III Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica - CONNEPI - 2008, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, CONNEPI, 2008.

- SOUZA, L. C. L. ; RODRIGUES, D. S. ; MENDES, J. F. G. Expandindo um SIG-D para aplicação em conforto ambiental em nível urbano. In: VII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e III Conferência Latino-Americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações, 2003, Curitiba. **Anais...**Curitiba: ANTAC, 2003. p. 669-676.
- SVENSSON M. K. Sky view factor analysis – implications for urban air temperature differences. **Meteorol. Appl.**, v. 11, p. 201–211, 2004.
- THORSSON, S. *et al.* **Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting.** In: International Journal of Climatology. n.27. p.1983-1993, 2007.
- UNGER, J. Intra-urban relationship between surface geometry and urban heat island: review and new approach. **Clim Res** , v. 27, p. 253–264, 2004.
- UPMANIS H.; CHEN D. Influence of geographical factors and meteorological variables on nocturnal urban – park temperature - differences – A case study of summer 1995 in Göteborg, Sweden. **Clim Res**, v. 13, p. 125-139, 1999.
- UNIVERSITY OF FREIBURG. Meteorological Institute. **RayMan**: modelling of mean radiant temperature in urban structure, calculation of thermal indices. version 2.0, 2007.

8. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à pós-doutoranda Eliane Dumke e à mestranda Cíntia A. Tamura pelo auxílio durante o período de monitoramento. Agradecem, também, ao CNPq pelo apoio financeiro (Projeto Universal 474358/2007-0, Universal 2007, FaixaB), CAPES e CNPq pela concessão das bolsas de Mestrado e Doutorado.