XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Análise da percepção térmica em locais com diferentes valores de FVC em cidade com clima Cfa

Analysis of thermal perception at places with different values of SVF in a city with Cfa climate

Luísa Alcantara
UTFPR | Curitiba | Brasil | luisa.alcantara.rosa@gmail.com
Eduardo Krüger
UTFPR | Curitiba | Brasil | ekruger@utfpr.edu.br
Eduardo Cunha
UFPEL | Pelotas | Brasil | eduardogralacunha@yahoo.com.br

Resumo
O microclima local influencia na satisfação térmica dos usuários dos espaços abertos quanto ao conforto térmico no espaço urbano. O fator de visão do céu influencia no clima urbano. Este estudo busca analisar a percepção térmica individual em espaços abertos de Pelotas-RS que apresentam diferentes valores de FVC. Com a utilização do TGD-400 foram realizadas 53 campanhas de monitoramento, com aplicação de questionários e registro dos dados microclimáticos, resultando em 1644 respostas validades. A partir dos registros, os valores de PET foram calculados. Os resultados apontam que a percepção térmica individual é influenciada pelo FVC do local de análise.

Palavras-chave: Fator de visão do céu. Percepção térmica. Conforto térmico. PET.

Abstract
The local microclimate influences the thermal satisfaction of users of open spaces regarding thermal comfort in urban space. The sky view factor influences the urban climate. This study aims to analyze the individual thermal perception in open spaces of Pelotas-RS that present different values of SVF. Using the TGD-400, 53 monitoring campaigns were carried out, with application of questionnaires and recording of microclimatic data, resulting in 1644 valid answers. From the records, the PET values were calculated. The results indicate that individual thermal perception is influenced by the SVF of the analysis site.

Keywords: Sky view factor. Thermal perception. Thermal comfort. PET.

Como citar:
ALCANTARA, L.; KRÜGER, E.; CUNHA, E. Análise da percepção térmica em locais com diferentes valores de FVC em cidade com clima Cfa. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

INTRODUÇÃO

Em 1950, cerca de 30% da população global, em torno de 750 milhões de habitantes, residia nas cidades [1]. Mais de 50% da população mundial atualmente reside nas áreas urbanas, sendo que em 2050, este percentual deve aumentar cerca de 70% [2]. No Brasil, mais de 160 milhões de habitantes, cerca de 84% da população brasileira, residem em áreas urbanas [3].

Em muitas situações, o crescimento e a densificação das áreas urbanas ocorrem de maneira desordenada, sem o planejamento adequado e com infraestrutura deficitária, podendo gerar alterações significativas no ambiente que, por sua vez, influencia na qualidade de vida das pessoas. A paisagem natural e o clima urbano são alterados pela densificação e urbanização das cidades. Ao ocupar e edificar no meio urbano, os indivíduos interferem no ambiente climático. Nas cidades acontecem as principais mudanças climáticas sentidas pelo ser humano.

As cidades apresentam, entre outros problemas, aqueles relacionados ao conforto térmico humano, influenciando desde a saúde pública até a qualidade de vida das pessoas. Atividades econômicas, comerciais, sociais e recreativas são influenciadas pelo conforto térmico humano, sejam realizadas em espaços externos ou internos [4].

O clima urbano é um sistema que envolve o clima e a urbanização de uma localidade [5], resultante da relação entre as ações naturais do ambiente e dos fenômenos urbanos que acontecem ao redor. Dessa forma, condicionantes microclimáticas e aspectos urbanos interferem no clima urbano. A urbanização consiste no processo de estabelecimento do indivíduo em determinada localidade [6] e influencia as mudanças climáticas e a concentração de poluentes.

Diferentes variáveis influenciam no clima urbano, sendo que o fator de visão do céu (FVC - *Sky View Factor*), constitui um desses elementos [7]. O FVC desempenha um papel significativo na relação entre a climatologia urbana e as variações espaciais que acontecem [8]. A parcela de céu visível demonstra a geometria e a densidade construtiva de um local [9] [10].

O céu é um fator fundamental no balanço energético, o resfriamento da superfície terrestre está relacionado com a parcela de céu visível presente no local analisado [11]. O FVC interfere no estresse térmico diurno, dada sua relação com a capacidade de acesso de radiação solar direta [12]. Constitui um indicador adimensional empregado para apontar, a partir de determinado local de observação, a relação entre a área visível do céu e a parcela de céu obstruída, considerando o mesmo ponto de visualização [13].

O FVC é o meio mais adequado para a análise da geometria e radiação de um local [14]. Apresenta variação entre 0 e 1, corresponde a 1 quando o céu está totalmente desimpedido [7]. O valor de FVC aponta a parcela do céu que está visível.

O software RayMan [15] dispõe de recursos para calcular o FVC do ponto que se deseja analisar através da inserção de fotografias realizadas com uma lente do tipo olho de peixe. Este processo foi utilizado em diferentes estudos [16] [17] [18].

Diferentes índices são empregados para estimar os níveis de estresse térmico das pessoas e para auxiliar na compreensão da percepção térmica humana nos espaços em que estão inseridos, neste estudo será utilizado o índice térmico Temperatura Fisiológica Equivalente (PET).

Este estudo objetiva determinar e relacionar a percepção térmica dos usuários dos espaços abertos de Pelotas, Rio Grande do Sul, com os valores de FVC dos locais de coleta.

MÉTODO

O método envolve trabalho de campo, com aplicação de questionários sobre a percepção térmica individual nos espaços abertos, simultaneamente ao monitoramento dos dados microclimáticos. A seguir é apresentado o método empregado.

CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA LOCAL

O município de Pelotas (31°46’34”S, 52°21’34”W) está localizado ao sul do Estado do Rio Grande do Sul. Conforme a classificação Köppen-Geiger, o clima presente em Pelotas é o Cfa.

As Normais Climatológicas do Brasil 1981-2010 [19] apontam 18°C como a temperatura média anual para Pelotas, a umidade relativa média anual corresponde a 81%, a precipitação anual é aproximadamente 1400 mm, a insolação anual corresponde a 2328 horas e a média da intensidade do vento é 3,7 m/s.

DEFINIÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE DADOS

Cinco pontos na cidade de Pelotas foram definidos para a coleta dos dados e aplicação dos questionários com os transeuntes (Tabela 1). Para a seleção desses locais foi observada a frequência de utilização desses espaços pela população e foram considerados aspectos relativos a esses espaços, como cobrimento do céu, pavimentação e uso do solo, entorno construído e presença de vegetação. Os pontos definidos estão localizados em diferentes áreas do município (Figura 1), na região central estão situados três pontos, na região norte de Pelotas está localizado o quarto e o último foi estabelecido na orla da Praia do Laranjal.

Figura 1: Cidade de Pelotas e localização dos pontos



Fonte: Google Earth.

Tabela 1: Características dos pontos de coleta de dados

Ponto	Localização	Pavimentação	Circulação	Vegetação	Edificação
P01	Praça Coronel Pedro Osório	Ladrilho hidráulico	Apenas pedestres	Densamente vegetada	Sem edificações ao redor
P02	Rua XV de Novembro	Paralelepípedo regular	Apenas pedestres	Pouco vegetada	Cercado por edificações
P03	Rua Andrade Neves	Ladrilho hidráulico	Apenas pedestres	Pouco vegetada	Cercado por edificações
P04	Av. Dom Joaquim	Areia e gramíneas	Pedestres e veículos	Mediamente vegetada	Cercado por edificações
P05	Praia do Laranjal	Bloquete de concreto	Pedestres e veículos	Pouco vegetada	Sem edificações ao redor

Fonte: os autores.

DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE FVC

O programa RayMan foi utilizado para a determinação dos valores de FVC para cada ponto analisado no estudo. Outros estudos [16] [17] [18] também utilizaram o RayMan para a obtenção dos valores de FVC.

Em cada local foram realizadas imagens com lente olho de peixe para possibilitar a obtenção do valor de FVC. A partir dessas imagens, o programa pôde determinar o valor de FVC de cada ponto observado. Na Figura 2 são apresentados as imagens e os valores de FVC para cada ponto observado.

Figura 2: Pontos de análise e valores de FVC



P01) 0,717 P02) 0,517 P03) 0,561 P04) 0,671 P05) 0,871

Fonte: Os autores.

ESTRUTURAÇÃO DOS QUESTIONÁRIOS E DELIMITAÇÃO DA AMOSTRA DE ESTUDO

As normatizações [20] [21] [22] [23] e o estudo realizado por Johansson [24] foram considerados para a estruturação e formulação das questões que compõem os questionários. Aspectos relacionados a aclimatação de curto e longo prazo, utilização do espaço, percepção e preferência térmica e de ventilação, características biométricas, taxa metabólica e isolamento térmica da vestimenta são abordados no questionário. A percepção térmica do usuário é obtida por meio da questão apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Sensação térmica: Pergunta e alternativas disponíveis

Como tu te sentes neste exato momento?						
-3	-2	-1	0	1	2	3
Muito frio	Frio	Pouco frio	Sem frio, nem calor	Pouco calor	Calor	Muito calor

Fonte: Os autores.

A amostra do estudo (Tabela 3) é composta pelos residentes no município de Pelotas há, pelo menos, seis meses e que estão, no mínimo, há 15 minutos no ambiente externo. Essas condicionantes visam garantir que os participantes estejam aclimatados ao espaço aberto considerando as condições microclimáticas no momento da realização da entrevista. Estudos realizados [25] [26] recomendam o tempo mínimo de 15 minutos no espaço aberto para a aclimatação do indivíduo. Não foi adotada nenhuma delimitação quanto a faixa etária dos participantes.

Tabela 3: Dados da amostra

Variável pessoal	Categoria	N	%
Sexo Biológico	Feminino	1029	63
	Masculino	615	37
Idade	Até 25 anos	531	32
	Entre 25 e 64 anos	1032	63
	Acima de 64 anos	81	5
Massa Corporal	Abaixo do peso (IMC<18,5 kg/m²)	27	2
	Normal (18,5 kg/m²≤IMC≤24,5 kg/m²)	654	40
	Acima do peso (IMC>25 kg/m²)	656	40
	Obeso (IMC>30 kg/m²)	307	18
Cor da pele	Branca	1220	74
	Parda	231	14
	Preta	174	10
	Amarela	10	1
	Indígena	9	1

Fonte: Os autores.

COLETA DOS DADOS CLIMÁTICOS E APLICAÇÃO DOS QUESTIONÁRIOS

O equipamento TGD-400 (Figura 3) é um medidor de estresse térmico e foi utilizado para registrar os dados microclimáticos. O medidor possui a função de console digital (datalogger) e é constituído por um conjunto de sensores. Foram registradas as seguintes variáveis: temperaturas de globo (TG), de bulbo seco (TBS) e de bulbo úmido

(TBU) e velocidade do vento (v). A partir dos registros de TBS e TBU foram obtidos os valores de umidade relativa. O globo utilizado possui diâmetro de 5 cm, foi pintado na cor cinza médio e assumida a emissividade de 0,95, conforme normatização [27]. Estudos [24] [28] apontam que o uso do globo de 5 cm de diâmetro na coloração cinza médio é mais adequado para estudos realizados em espaços abertos.

Figura 3: TGD-400



Fonte: Os autores.

Os trabalhos de campo foram realizados no período diurno, entre 9:00h e 17:00h, de julho de 2019 a março de 2020 (interrompidos pela pandemia). Cada trabalho de campo foi realizado em um dos pontos de coleta. Foram realizadas 53 campanhas de monitoramento e obtidas 1644 respostas validadas.

Para o registro dos dados microclimáticos, o TGD-400 foi posicionado a 1,10 m do solo e acionado, a cada 5 segundos foram registrados os dados das variáveis. Após o acionamento, foi necessário aguardar 20 minutos para iniciar a aplicação dos questionários, período para que o termômetro de globo obtenha o equilíbrio térmico.

CÁLCULO DOS VALORES DE PET

Os valores de PET (Tabela 4) para cada entrevista foram obtidos através do RayMan. As variáveis TBS, TBU, temperatura radiante média (TRM) e velocidade do vento foram adotadas como dados de entrada. Para todas as respostas foi adotada a taxa metabólica correspondente a um indivíduo caminhando a 4 km/h, equivalente a 300 W/m². Quanto aos dados biométricos, foram consideradas as informações estabelecidas na normatização [22] para o homem padrão (30 anos, 70 kg e 1,75 m) e para a mulher padrão (30 anos, 60 kg e 1,60 m), conforme a resposta quanto ao sexo

biológico. O isolamento térmico da vestimenta correspondeu ao somatório apontado na entrevista. A equação estabelecida para convecção forçada foi utilizada para a determinação da TRM [27].

Tabela 4: Valores de PET obtidos

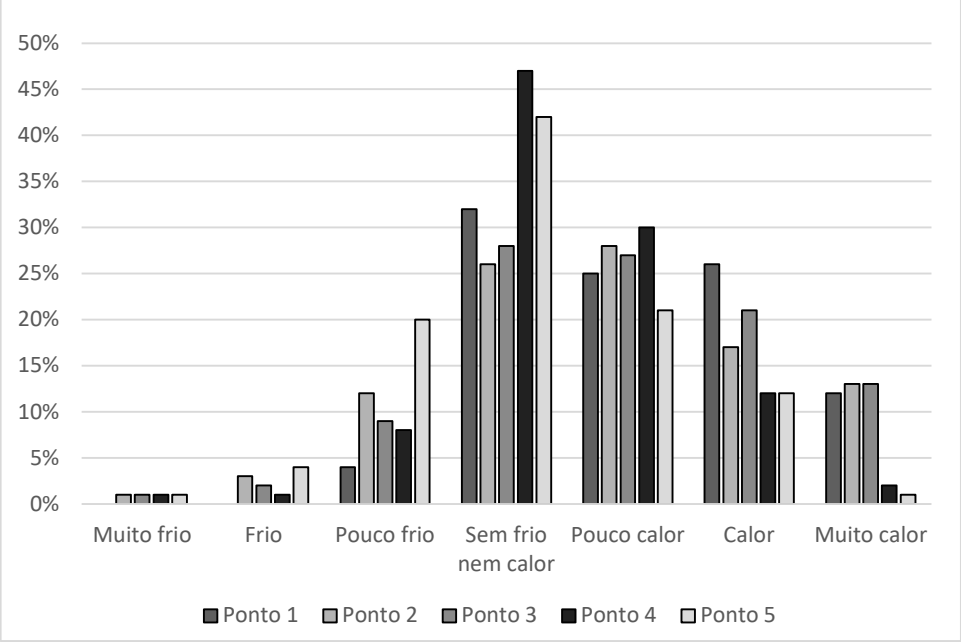
	Totalidade	P01	P02	P03	P04	P05
N	1.679	370	319	368	268	354
Mínima	9,7	11,4	9,7	13,4	10,2	17,1
Média	27,9	30,8	27,1	27,2	27,7	26,3
Máxima	51,2	45,0	44,2	40,9	51,2	36,5

Fonte: Os autores.

RESULTADOS

Na análise descritiva quanto a percepção térmica dos usuários foi considerada a totalidade das informações coletadas em cada ponto (Figura 4). Para todos os pontos observa-se que a resposta “sem frio nem calor” é predominante. O ponto 1 apresenta percentuais semelhantes entre as categorias “pouco calor” e “calor”, cada uma com cerca de 25%, já aqueles que não sentiam frio nem calor correspondem a aproximadamente 30%. Nos pontos 2 e 3 percentuais próximos entre as respostas “sem frio nem calor” e “pouco calor” são observados, cada um com cerca de 25%. Nos pontos 4 e 5, aproximadamente 45% dos respondentes nesses locais afirmaram que estavam “sem frio nem calor”. Quanto à categoria “muito calor”, os pontos 1, 2 e 3 apresentam percentuais semelhantes, um pouco mais de 10% cada um, já os pontos 4 e 5 não chegam a atingir 5%.

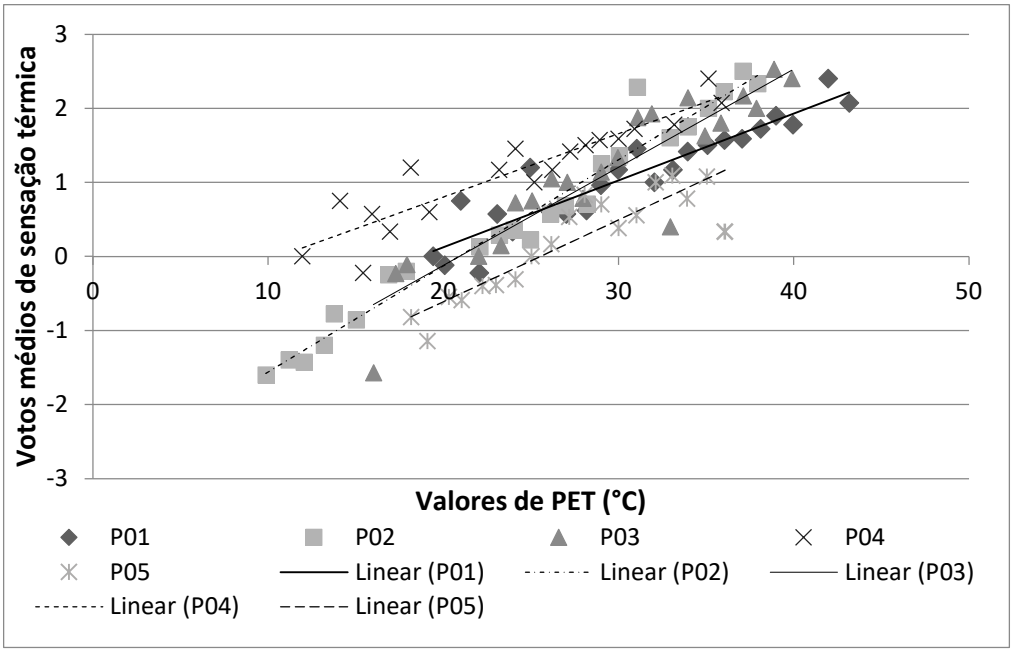
Figura 4: Sensação térmica: Respostas descritivas



Fonte: Os autores.

Os votos de sensação térmica validados foram agrupados para uma variação de 1°C da escala do índice PET (Figura 5).

Figura 5: Gráfico gerado pelas respostas de PET



Fonte: Os autores.

Há forte correlação entre os votos de sensação térmica agrupados e os valores de PET obtidos, o ponto 2 apresenta maior correlação. Há paralelismo entre as linhas de tendência dos pontos 1 e 4. As linhas de tendência dos pontos 2 e 3 são semelhantes, o ponto 2 abrange uma quantidade maior de votos de sensação térmica relacionados a sensação de frio. No ponto 5, observa-se que os votos de sensação térmica se concentram, principalmente, entre os valores -1 e +1. A sensibilidade térmica varia entre 0,05 e 0,14. As temperaturas neutras verificadas nos pontos 1 e 5 correspondem, respectivamente, a 18,6°C e 25,5°C, na escala PET, esses locais apresentam os maiores valores de FVC. Os pontos 2 e 3 apresentam valores próximos de FVC e possuem a temperatura neutra de 20,9°C PET.

Tabela 5: Informações das linhas de tendência

Ponto	Equação da linha de tendência	R^2	Sensibilidade térmica	Temperatura neutra (°C PET)
P01	y=0,0903x – 1,6809	0,8643	0,09	18,6
P02	y=0,1433x – 2,9912	0,9656	0,14	20,9
P03	Y=0,1324x – 2,7679	0,8357	0,13	20,9
P04	Y=0,0548x – 1,1109	0,7052	0,05	20,3
P05	Y=0,1104x – 2,8187	0,8056	0,11	25,5

Fonte: Os autores.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos pelo estudo apontam que o local com maior FVC constatado é o ponto 5, no qual é observado que cerca de 40% dos participantes apontaram não sentir frio nem calor, enquanto as respostas de outros 40% se dividiram entre pouco frio e pouco calor. Já o ponto 2 apresenta a maior área de céu obstruída, local com o menor valor de FVC observado, verifica-se que apresenta uma quantidade significativa maior

de votos sensação térmica relacionados ao frio, em comparação aos outros pontos analisados.

Há relação entre a percepção térmica individual e os valores de FVC dos locais analisados, sendo que esse indicador influencia no conforto térmico. Os locais com maiores valores de FVC apontam maiores percentuais de indivíduos que não sentiam desconforto por frio ou por calor. Já nos pontos de análise que possuem os menores valores de FVC, foram verificados percentuais maiores de respostas relacionadas ao frio e ao calor.

A mesma temperatura neutra foi constatada nos pontos 2 e 3, que apresentam FVC e características semelhantes. Nos pontos 1 e 4, nota-se valores de temperatura neutra mais baixas. No ponto 5 constata-se a maior temperatura neutra, diferentemente dos outros pontos com FVC maiores. Essa diferença entre as temperaturas neutras no ponto 5 e nos pontos 1 e 4 pode ser explicada pelo motivo de utilização do ambiente. Verifica-se que o FVC influencia na temperatura neutra dos locais analisados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

[1] NATIONS, U. Revision of world urbanization prospects. **United Nations: New York, NY, USA**, 2018.

[2] HEILIG, G. K. World urbanization prospects: the 2011 revision. **United Nations, Department of Economic and Social Affairs (DESA), Population Division, Population Estimates and Projections Section, New York**, v. 14, p. 555, 2012.

[3] IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Brasileiro de 2010.** Resultados gerais da amostra. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

[4] HIRASHIMA, S. Q. S. **Calibração do índice de conforto térmico temperatura fisiológica equivalente PET para espaços abertos do município de Belo Horizonte, MG.** 2010, 225f. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

[5] MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria e clima urbano: tese apresentada ao concurso à livre-docência junto ao Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.** Universidade de S. Paulo, Instituto de Geografia, 1976.

[6] MONTEIRO, C. A. de F. A cidade como processo derivado ambiental e a geração de um clima urbano: estratégias na abordagem geográfica. **Geosul**, v. 5, n. 9, p. 80-114, 1990.

[7] MINELLA, F. C. O.; ROSSI, F. A.; KRÜGER, E. L. Influência do fator de visão do céu no conforto térmico em duas situações urbanas distintas. *In:* X ENCONTRO NACIONAL E VI ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2009, Natal - RN. **Anais [...]** Natal: ANTAC, 2009.

[8] MORAIS, M. V. B. de; FREITAS, E. D. D.; MARCIOTTO, E. R.; GUERRERO, V. V. U.; MARTINS, L. D.; MARTINS, J. A. Implementation of observed sky-view factor in a

mesoscale model for sensitivity studies of the urban meteorology. **Sustainability**, v. 10, n. 7, p. 2183, 2018.

[9] THEEUWES, N. E.; STEENEVELD, G. J.; RONDA, R. J.; HOLTSLAG, A. A. M. A diagnostic equation for the daily maximum urban heat island effect for cities in northwestern Europe. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 1, p. 443-454, 2017.

[10] MIDDEL, A.; LUKASCZYK, J.; MACIEJEWSKI, R.; DEMUZERE, M.; ROTH, M. Sky View Factor footprints for urban climate modeling. **Urban climate**, v. 25, p. 120-134, 2018.

[11] SOUZA, L. C. L.; TENTE, C. M.; GIUNTA, M. B.; NAKATA, C. M. Fator de visão do céu e intensidade de ilhas de calor na escala do pedestre. *In:* **Ambiente Construído**, Porto Alegre, 2010. p. 155-167.

[12] 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, 3., 2008, Fortaleza - CE. **Anais [...]** Fortaleza: CONNEPI, 2008.

[13] OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. 2. ed. London and New York: Routledge, 2005. 435p.

[14] OKE, T. R. **Canyon geometry and the nocturnal urban heat island:** Comparision of scale model and field observations. Journal of climatology, New York, v. 1, n. 3, 1981. 237–254.

[15] MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. Modeling radiation fluxes in simple and complex environments: Basics of the RayMan model. **International Journal of Biometeorology**, v. 54, n. 2, p. 131-139, 2007.

[16] MINELLA, F. O. Avaliação da Influência de Aspectos da Geometria Urbana Sobre Níveis de Conforto Térmico em Ruas de Pedestres de Curitiba. 2009. 163f. **Dissertação** (Mestrado em Tecnologia) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

[17] SILVA, F.T., ALVAREZ, C.E. An integrated approach for ventilation's assessment on outdoor thermal comfort. **Building and Environment**. v. 87, p. 59–71, 2015.

[18] RIBEIRO, K. F. A. **Calibração do índice de conforto térmico PET (temperatura fisiológica equivalente) em espaços abertos para a cidade de Cuiabá – MT**. 106p. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grasso, Cuiabá, 2019.

[19] INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas 1981-2010**. Cidade de Pelotas. INMET, BRASIL, 2018. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/normais.

[20] ISO. International Organization for Standardization. **ISO 10551**. Ergonomics of the thermal environments – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales. Genève: ISO, 2015.

[21] ISO. International Organization for Standardization. **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. Genève, 2005.

[22] ISO. International Organization for Standardization. **ISO 8996**. Ergonomics of the thermal environments – Determination of thermal metabolic rate. Genève: ISO, 2004.

[23] ISO. International Organization for Standardization. **ISO 9920**. Ergonomics of the thermal environments – Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble. Genève: ISO, 2007.

[24] JOHANSSON, E.; THORSSON, S.; EMMANUEL, R.; KRÜGER, E. Instruments and methods in outdoor thermal comfort studies - The need for standardization. **Urban Climate**, Vol. 10, p. 346-366, 2014.

[25] KRÜGER, E.; DRACH, P.; EMMANUEL, R.; CORBELLA, O. Assessment of daytime outdoor comfort levels in and outside the urban area of Glasgow, UK. **International Journal of Biometeorology**, v.57, n.4, p.521–533, 2013.

[26] KRÜGER, E.; TAMURA, C. A.; SCHWEIKER, M.; WAGNER, A.; BRÖDE, P. Short-term acclimatization effects in an outdoor comfort study. *In:* 9th INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, 9., 2015, Toulouse, França. **Proceedings** […] Toulouse, France: ICUC9, 2015.

[27] ISO. International Organization for Standardization. **ISO 7726**. Ergonomics of the thermal environments – Instruments for measuring physical quantities. Genève: ISO, 1998.

[28] THORSSON, S.; LINDBERG, F.; ELIASSON, I.; HOLMER, B. Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. **International Journal of Climatology**, v.27, p.1983-1993, 2007.