APLICABILIDADE DE MODELOS PREDITIVOS DE CONFORTO TÉRMICO COM TURISTAS E GRADUANDOS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Mayara Sousa (1); Solange Leder (2)
(1) Doutora, Professora, mayara.sousa@ufersa.edu.br, Universidade Federal Rural do Semi-árido
(2) Doutora, Professora, solangeleder@yahoo.com.br, Universidade Federal da Paraíba

RESUMO
Se observa um crescente interesse de pesquisadores em estimar índices de conforto térmico adaptados ao clima local, entendido como modelos adaptativos. Entretanto, ainda existem lacunas no estado da arte em como estimar as sensações térmicas dos usuários quando estes são adaptados a climas diferentes. Assim, este trabalho estudou a aplicabilidade de modelos preditivos de conforto térmico, com turistas e estudantes de graduação, em espaços com condicionamento misto, no clima semiárido brasileiro, com usuários aclimatados a climas distintos do semiárido. A pesquisa de caráter longitudinal, contou com a aplicação de questionários e aferição simultânea das variáveis ambientais, a saber: temperatura do ar, temperatura de globo, velocidade do ar e umidade relativa. Estudou-se a aplicabilidade dos índices PMV (Voto Médio Predito), PMVe (PMV com fator expectativa) e o Modelo Adaptativo. Em todos os cenários avaliados, sejam com condicionamento artificial, ventilação natural, pessoas adaptadas a climas similares ao semiárido de Campina Grande - PB, adaptadas a climas mais frios, adaptadas a climas mais quente ou adaptadas a climas litorâneos, o índice do Voto Médio Predito com fator de expectativa obteve maior assertividade entre o predito e o autorreferido pelos entrevistados.
Palavras-chave: modelos preditivos de conforto térmico, turistas e graduandos, PMVe.

ABSTRACT
There is a growing interest of researchers in estimating thermal comfort indices adapted to the local climate, understood as adaptive models. However, there are still gaps in the state of the art on how to estimate the thermal sensations of users when they are adapted to different climates. Thus, this work studied the applicability of predictive models of thermal comfort, with tourists and travel students, in spaces with mixed accommodation, in the Brazilian semi-arid climate, with users acclimated to different semi-arid climates. Longitudinal research, outline with the application of monitoring and simultaneous measurement of environmental variables, namely: air temperature, globe temperature, air velocity and relative humidity. The applicability of the PMV (Predicted Average Vote), PMVe (PMV with expected factor) and Adaptive Model indices were studied. In all evaluated scenarios, whether with artificial accommodation, natural ventilation, people adapted to climates similar to the semi-arid region of Campina Grande - PB, adapted to colder climates, adapted to warmer climates or adapted to coastal climates, the Predicted Average Vote index with a waiting factor, it obtained greater assertiveness between what was predicted and what was self-reported by the guided participants.

Keywords: predictive models of thermal comfort, tourists and undergraduates, PMVe.

1. INTRODUÇÃO

Se observa, nas últimas décadas, um crescimento do uso de equipamentos térmicos para o condicionamento ambiental nas edificações. Esse cenário acentua a importância de estudos sobre a eficiência energética das construções, bem como, no uso de técnicas passivas para o resfriamento e aquecimento das edificações (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Esse panorama, segundo De Dear et al. (2013), definirá e orientará o viés das pesquisas sobre conforto térmico nos próximos anos.

Nesse sentido, pesquisadores estão estudando como o uso de sistemas de condicionamento misto pode ser eficiente energeticamente, ou seja, o aproveitamento dos recursos naturais como promotores do conforto térmico e, quando estes não forem suficientes, o acionamento dos meios artificiais é realizado (DE VECCHI, 2015; OROSA; OLIVEIRA, 2010). Dessa forma, o sistema artificial desempenha um papel complementar.

Outrossim é essencial a adequada aplicação de modelos preditivos de conforto em espaços com condicionamento misto, sem gerar estresse no usuário. No tocante de modelos que estimam a sensação e o conforto térmico dos usuários existem duas grandes correntes de pesquisa, as baseadas exclusivamente no balanço de calor do corpo e as que consideram aspectos adaptativos. Estes conceitos dividiram o mesmo espaço, pela primeira vez, em 1972, na Primeira Conferência Internacional do Conforto Térmico (HUMPHREYS; NICOL; ROAF, 2016).

Acerca dos modelos adaptativos, os pesquisadores Humphreys e Nicol (1970) estudaram a adaptação térmica, e concluíram que as pessoas se adaptam ao clima que estão habituadas, deste modo, o conforto térmico não poderia se concentrar em equações baseadas unicamente na troca de calor, embora esse aspecto seja relevante. Assim, seria necessário se considerar, além dos aspectos fisiológicos, os aspectos adaptativos e psicológicos na predição da sensação térmica e do conforto térmico. Destarte, pessoas habituadas a climas diferentes, teriam condições térmicas divergentes para o conforto térmico.

Por outro lado, o pesquisador Ole Fanger, por meio de pesquisas longitudinais realizadas em câmeras climáticas, elaborou extensivos diagramas, baseados em técnicas inferenciais, que seriam capazes de prever o conforto em qualquer ambiente (FANGER, 1973). Estes estudos associavam os conhecimentos fisiológicos do corpo humano e as teorias físicas da termodinâmica. Deste modo, acreditava-se que esses diagramas poderiam ser utilizados para qualquer ambiente, independente do clima e das oportunidades de adaptação dos usuários.

As duas correntes de pensamento, apesar de divergentes na teoria e na prática, estão presentes em normas internacionais, a saber, a ASHRAE 55-2020 e a EN15251 (2007). Nessa conjuntura, se observa a importância da análise da aplicabilidade de modelos preditivos de conforto térmico tradicionais, bem como, a criação de novos modelos preditivos, adequados ao clima e as oportunidades de adaptação. À vista disso, se observa que os modelos adaptativos são bem aceitos em espaços com condicionamento natural e os modelos baseados em balanço de calor, possuem maior assertividade, em espaços condicionados artificialmente.

Nesse seguimento, surge uma inquietação, sobre qual modelo preditivo de conforto térmico teria maior assertividade na sensação térmica e no conforto térmico, considerando múltiplos usuários, adaptados a climas distintos, sendo o espaço com condicionamento térmico misto.

1.1. Estudo de campo: Campina Grande - PB

De acordo com Monteiro (2008), as pesquisas desenvolvidas no Brasil são limitadas, especialmente, quando considerada a diversidade climática existente no território nacional, aliado as poucas contribuições efetivas realizadas para a elaboração de modelos de avaliação afetiva da ambiência térmica.

A necessidade de estudos específicos na região semiárida brasileira, é desencadeada pela sua condição distinta em relação às demais regiões semiáridas do mundo. O semiárido no Brasil possui uma precipitação pluviométrica anual que varia de 200 a 800 mm, cuja distribuição ocorre de modo irregular no território, concentrando-se em poucos meses do ano (ASA, 2017). Metade dos estados do nordeste do Brasil possui ao menos 85% do seu território no clima semiárido. O semiárido brasileiro possui uma extensão de 700 mil quilômetros quadrados, com uma população de aproximadamente 23 milhões de pessoas, caracterizando a região semiárida mais povoada do mundo (AB´SÁBER e AZIZ, 2003).

A cidade de Campina Grande (cf. Figura 1), local do estudo, situa-se no interior do estado da Paraíba, a 113,34 km de distância linear da capital do estado, João Pessoa, entre o alto sertão e a zona litorânea, com altitude de 551m (APOLO 11, 2017). O seu clima é classificado como As e BSh (ALVARES et al.; 2014), e o período mais chuvoso se estende de abril a julho, com julho sendo, em média, o mês mais frio do ano, com temperaturas inferiores a 21°C (INMET, 2017).



Figura 1 – Posicionamento dos equipamentos

2. OBJETIVO

Este trabalho se propõe a analisar a aplicabilidade de modelos preditivos de conforto térmico, em espaços com condicionamento misto, no clima semiárido brasileiro, com usuários aclimatados a climas distintos do semiárido.

3. MÉTODO

Esta pesquisa se caracteriza como um estudo de campo longitudinal, com aplicação de questionários estilo *right-here-right-now*, e coleta de dados simultâneos das variáveis ambientais térmicas e das sensações térmicas autorreferidas dos usuários. Os questionários foram aplicados em três instituições: o Museu de Arte Popular da Paraíba e duas universidades, a saber, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), todas as edificações localizadas em Campina Grande. As edificações não apresentavam patologias aparentes. Nas instituições de ensino superior, os fechamentos opacos são predominantes, intercalados com esquadrias em vidro transparente e alumínio ou de madeira, estas são responsáveis pela ventilação natural dos ambientes analisados (salas de aula). No museu, em ambientes condicionados artificialmente, o fechamento transparente nos planos verticais é predominante, nos espaços ventilados naturalmente, existem fechamentos de vidro e guarda-corpos, se caracterizando como espaço de transição. Podemos observar o museu e alguns prédios das universidades na Figura 2.



Figura 2 – Edifícios analisados

Devido à dificuldade de estimar a população da pesquisa, considerando que o público-alvo principal eram turistas e estudantes universitários recém-chegados na cidade, adotou-se uma amostragem por conveniência e, portanto, não probabilística, simplificando a obtenção dos dados. O estudo obteve uma amostra de 583 entrevistados, divididos de acordo com a estação, inverno e verão, e conforme o condicionamento dos ambientes, ambientes condicionados artificialmente e ambientes com ventilação natural. É possível observar a discriminação da amostra na Tabela 1.

Tabela 2 - Questionários aplicados por estação.

Condicionamento	**Verão e início do outono**	**Inverno e início da primavera**
Ventilação Natural	121	168
Condicionamento Artificial	171	123

Dois estudos pilotos foram realizados antes das medições de campo definitivas. A primeira etapa foi realizada nos dias 29 e 30 de outubro de 2016 no museu, contando com um levantamento de dados físicos

(temperatura do bulbo seco, velocidade do ar, temperatura do bulbo úmido e temperatura de globo), teste da primeira versão do questionário e contagem do tempo médio de visitação por ambiente. O segundo teste piloto, ocorreu em janeiro de 2017, utilizando um segundo formato de questionário (que culminou no formato final), tendo como base perguntas sugeridas pelas normas ISO 10551:1995 e ASHRAE 55-2017, além de dados extraídos do estudo de Bernardi e Kowaltowski (2001), assim como as hipóteses de De Vecchi, Cândido e Lamberts (2016). As variáveis climáticas aferidas no teste piloto detectaram que os ambientes apresentaram condições microclimáticas moderadas, ambiente classe C de acordo com a ISO 7726:1998.

Os equipamentos foram previamente submetidos a testes para comprovar sua precisão na coleta das variáveis ambientais, sendo todos colocados lado a lado durante 24 horas, e seus dados posteriormente comparados. Os resultados apontaram a necessidade de calibração. Assim, os equipamentos foram novamente instalados, em conjunto com a estação meteorológica do programa de Pós-Graduação de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande, nos dias 20 e 23 de dezembro de 2016, os resultados dessas medições foram utilizados para calibrar os equipamentos por meio de regressões e com a ajuda de meteorologistas.

Durante a coleta de dados, os equipamentos foram instalados o mais próximo possível do eixo central dos ambientes, onde ocorreram as medições, conforme a Figura 3. Os equipamentos utilizados foram o Medidor de Stress Térmico digital modelo TGD-300, o termoanemômetro digital de fio quente, modelo TAFR-180, e a estação meteorológica portátil modelo Davis Vantage Pro 2. Todos os equipamentos atenderam aos requisitos mínimos da norma ASHRAE 55 – 2017. A altura de instalação dos sensores considerou 0,60m para ambientes com os usuários sentados e 1,10 m para ambientes com usuários em pé.



Figura 3 – Posicionamento dos equipamentos

Considerando as diferentes localidades que moravam os entrevistados, por meio de técnicas inferenciais de agrupamento de Cluster, dividiu-se os usuários em regiões frias, quentes, litorâneas e similar ao clima de Campina Grande[1]. O parâmetro utilizado foi o da temperatura do ar média diária da cidade onde o entrevistado estava aclimatado, se considerando um intervalo anual. Os dados e informações climáticas referentes aos ambientes externos foram extraídos de plataformas de coleta de dados, estações meteorológicas, com preferência por aqueles que disponibilizavam dados horários ou diários, em especial: o Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa (BDMEP, 2017); na plataforma do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET); o Sistema Integrado de Dados Ambientais (SINDA, 2017), na plataforma do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); e o Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais (SONDA, 2017) na plataforma do INPE. Outras plataformas utilizadas foram a Base de dados climáticos em formato EPW (EnergyplusWeather Data) da plataforma Roriz Bioclimática: Conforto térmico e eficiência energética (RORIZ, 2017); e o Banco de dados climáticos do Brasil na plataforma Embrapa (EMBRAPA, 2017).

3.1. Modelo Adaptativo

O Modelo Adaptativo, baseado na ASHRAE 55-2017, foi elaborado para determinar as condições térmicas aceitáveis, obedecendo os seguintes critérios: I – Espaços controlados naturalmente por seus ocupantes; II – Ausência de sistema de condicionamento artificial instalado; III – Os ocupantes devem possuir taxa de metabolismo entre 1,0 e 1,3 met; IV – Os ocupantes devem estar livres para adaptar suas roupas, que podem variar de 0,5 a 1,0 clo; V – A temperatura média externa deve estar dentro do intervalo de 10 °C a 33,5 °C.

Com base nesses critérios, para se determinar se o ambiente é aceitável, utiliza-se as equações 1 e 2 para verificar se a temperatura operativa está dentro do intervalo estabelecido na ASHRAE 55-2017:

Limite inferior de aceitabilidade 80% (°C) = 0.31 × text. + 14.3

Equação 1

[1] Para mais detalhes consultar Sousa, Leder e Costa (2018).

Limite superior da aceitabilidade 80% (°C) = 0.31 × text. + 21.3

Equação 2

Onde:
text. = Temperatura externa (°C).

Também é necessário considerar o aumento do limite da temperatura operativa aceitável resultante do aumento da velocidade do ar, conforme a Tabela 1.

Tabela 3 - Aumento da temperatura operativa aceitável com base no aumento da velocidade do ar no modelo adaptativo ASHRAE 55-2017 (ASHRAE 55, 2017)

Média da velocidade do ar 0,6 m/s	**Média da velocidade do ar 0,9 m/s**	**Média da velocidade do ar 1,2 m/s**
1,2°C	1,8°C	2,2°C

3.2. Voto Médio Predito (PMV)

O modelo Predicted Mean Vote (PMV), foi criado para ser utilizado em ambientes homogêneos, através da integração de quatro variáveis ambientais: a temperatura do ar, a pressão parcial do vapor de água no ar, a velocidade do ar e a temperatura radiante média; e duas variáveis pessoais: a atividade física e o isolamento da vestimenta. Assim, para o cálculo do PMV com valores entre -2 e +2, a ISO 7730-2005 estabeleceu que sejam obedecidos os seguintes parâmetros:

I – Metabolismo entre 46 W/m² e 232 W/m² (0,8 met e 4 met); II – Isolamento da vestimenta entre 0 m² × K/W e 0,310 m² x K/W (0 clo e 2 clo); III – Temperatura do ar entre 10 °C e 30 °C; IV – Temperatura radiante média entre 10 °C e 40 °C; V – Velocidade relativa do ar entre 0 m/s e 1 m/s; Pressão parcial do vapor da água entre 0 PA e 2700 PA.

Assim, considerando os parâmetros acima, para o cálculo do PMV (Equação 3), se faz necessário realizar previamente os cálculos da superfície da roupa (Equação 4), do coeficiente da transferência de calor convectivo (Equações 5 e 6) e do fator da área de superfície da roupa (Equações 7 e 8) conforma a ISO 7730-2005.

$$PMV = [0{,}303 \times \exp(-0{,}036 \times M) + 0{,}028] \times \{`(M - W) - 3{,}05 \times 10\text{-}3 \times [5733 - 6{,}99 (M - W) - pa] - 0{,}42 \times [(M - W) - 58{,}15] - 1{,}7 \times 10\text{-}5 \times M \times (5867 - pa) - 0{,}0014 \times M \times (34 - ta) - 3{,}96 \times 10\text{-}8 \times fcl \times [(tcl + 273)4 - (tr + 273)4] - fcl \times hc \times (tcl - ta)\}$$

Equação 3

$$tcl = 35{,}7 - 0{,}028 (M - W) - Icl \times \{3{,}96 \times 10\text{-}8 \times fcl [(tcl + 273)4 - (tr + 273)4] + fcl \times hc \times (tcl - ta)\}$$

Equação 4

$$hc = 2{,}38 \times |tcl - ta|0{,}25; \quad \text{para } 2{,}38 \times |tcl - ta|0{,}25 > 12{,}1 \times \sqrt{(V_ar)}$$

Equação 5

$$hc = 12{,}1 \times \sqrt{(V_ar)}; \quad \text{para } 2{,}38 \times |tcl - ta|0{,}25 < 12{,}1 \times \sqrt{(V_ar)}$$

Equação 6

$$fcl = 1{,}00 + 1{,}29\ Icl; \quad \text{para } Icl \leq 0{,}0078 m^2 \times K/W$$

Equação 7

$$fcl = 1{,}05 + 0{,}645\ Icl; \quad \text{para } Icl > 0{,}0078 m^2 \times K/W$$

Equação 8

Sendo,
M = taxa de metabolismo (W/m²);
W = trabalho (W/m²);
Icl = isolamento da vestimenta (m² × K/W);
fcl = fator da área de superfície da roupa;
ta = temperatura do ar (°C);
tr = temperatura radiante média (°C);

var = velocidade relativa do ar (m/s);
pa = pressão parcial do vapor da água (Pa);
hc = coeficiente da transferência de calor convectivo (W/(m² × K));
tcl = temperatura da superfície da roupa (°C);

Para o cálculo do PMV, se considerou a plataforma online *CBE Thermal Comfort Tool,* certificada pela ASHRAE e amplamente utilizada em pesquisas acadêmicas. Para estimação do isolamento da vestimenta, se usou as normas ASHRAE 55 – 2017 e ISO 7730: 2005.

3.3. Voto Médio Predito com fator de expectativa (PMVe)

O método Predicted Mean Vote com fator de expectativa, elaborado por Fanger e Toftum (2002), é idealizado para climas quentes em ambientes sem ar-condicionado, consiste no fator expectativa incluído no modelo. Admite-se que pessoas aclimatadas a espaços quentes, possuem maior resistência ao calor, de modo a incluir um fator de expectativa na equação. Seu cálculo é dividido em duas etapas, a primeira consiste na redução da taxa metabólica em 6,7% para cada escala da unidade do PMV; e a segunda na multiplicação do PMV pelo fator de expectativa, de acordo com os valores expressos na Tabela 3.

Tabela 3 - Fatores de expectativa para edificações sem ar-condicionado em climas quentes (FANGER e TOFTUM, 2002)

Expectativa	**Localização**	**Períodos quentes**	**Fator de expectativa, *e***
Alta	Em regiões onde o ar-condicionado é comum nas edificações	Ocorrendo brevemente durante o verão	0,9 - 1,0
Moderada	Em regiões com alguns ar-condicionado nas edificações	Verão	0,7 – 0,9
Baixa	Em regiões com pouco ar-condicionado nas edificações	Todas as estações	0,5 – 0,7

Para esta pesquisa, o cálculo do PMVe só considerou o fator de expectativa, desconsiderando a redução da taxa metabólica de 6,7%. A retirada da redução da taxa metabólica é resultado das análises em teste piloto, as quais evidenciaram que essa redução ocasionava uma superestimação da adaptação a espaços quentes e uma subestimação a adaptação em espaços frios.

4. RESULTADOS

O estudo de campo, de caráter longitudinal, ocorreu durante todas as estações de 2017, concentrando-se principalmente no verão e no inverno. Nos ambientes ventilados naturalmente, a temperatura do ar variou de 21,2°C a 30,6°C, enquanto nos espaços condicionados artificialmente variou de 15,0°C a 25,8°C. Os registros referentes às universidades foram analisados em conjunto. É possível observar mais informações na Tabela 4.

Tabela 4 -Condições térmicas durante as medições

	Museu Ventilado Naturalmente		**Museu Condicionado Artificialmente**		**Universidade Ventilada Naturalmente**		**Universidade Condicionada Artificialmente**	
	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
Amostra	54	52 e 50 [1]	87	84[3]	58	95[2]	84	25
Temperatura do ar (°C) máxima	30,6	26,5	25,4	25,4	29,9	27,0	25,8	23,97*
Temperatura do ar (°C) mínima	25,6	21,9	15,0	15,0	21,2	23,8	24,2	24,0
Temperatura operativa (°C) máxima	30,3	27,1	27,6	27,6	30,1	27,4	26,6	22,96*
Temperatura operativa (°C) mínima	26,4	21,8	16,4	6,4	25,1	23,4	24,	22,7

* As medições consistiram em um único momento;
[1] 14 e 16 questionários foram descartados nas avaliações do índice adaptativo e do PMV, respectivamente;
[2] 5 questionários foram descartados;
[3] 14 questionários foram descartados.

4.1. Aplicação dos modelos preditivos de conforto em espaços ventilados naturalmente e condicionados artificialmente

Buscando descobrir qual índice preditivo de conforto obtém melhor desempenho, considerando pessoas de diferentes regiões do Brasil, localizadas no semiárido paraibano, comparou-se a assertividade do PMV, PMVe e do modelo adaptativo em relação à sensação térmica e ao conforto autorreferido dos usuários. O índice com maior assertividade, tanto em espaços ventilados naturalmente quanto em espaços condicionados artificialmente, foi o PMVe. O mesmo apresentou uma assertividade em relação à sensação de conforto e desconforto de 90% em espaços ventilados naturalmente e 97,6% em espaços condicionados artificialmente, ambos no inverno e no museu.

Destaca-se que o PMV e o PMVe obtiveram uma assertividade média inferior a 60% na predição da sensação térmica do usuário. Em relação ao modelo adaptativo, observa-se que houve uma concordância entre a sensação real do usuário e a prevista no modelo. No entanto, o modelo apresentou bons resultados apenas para ambientes ventilados naturalmente, mostrando baixa assertividade para espaços condicionados artificialmente. Durante o inverno, o modelo conseguiu acertar apenas 19% das respostas dos entrevistados no museu. As informações detalhadas estão disponíveis na Tabela 5.

Tabela 5 -Concordância entre os índices preditivos e a sensação real dos entrevistados

	Museu Ventilado Naturalmente		**Museu Condicionado Artificialmente**		**Universidade Ventilada Naturalmente**		**Universidade Condicionada Artificialmente**	
	Verão	**Inverno**	**Verão**	**Inverno**	**Verão**	**Inverno**	**Verão**	**Inverno**
PMV – Porcentagem de acerto da sensação térmica autorreferida	24,1%	36%	51,7%	51,2%	43,1%	26,3%	40,5%	48%
PMV – Porcentagem de acerto do conforto e desconforto térmico autorreferido	46,3%	32%	48,8%	50,0%	72,4%	64,2%	51,2%	64%
Modelo Adaptativo – Porcentagem de acerto do conforto e desconforto térmico autorreferido	51,9%	86,5%	25,3%	19%	72,4%	57,9%	56%	84%
PMVe – Porcentagem de acerto da sensação térmica autorreferida	35,2%	56%	55,8%	63,1%	50%	32,6%	47,6%	64%
PMVe – Porcentagem de acerto do conforto e desconforto térmico autorreferido	53,7%	90%	95,3%	97,6%	72,4%	60%	56%	84%

O índice adaptativo utilizado considerou 80% de aceitação, enquanto o PMV foi de 90%. O índice PMV apresentou, em ambientes condicionados artificialmente, o seu melhor resultado na predição da sensação (51,72%), destacando-se a baixa predição de sensação em ambientes ventilados naturalmente (24,07%). Buscando correlação entre o baixo acerto em espaços ventilados naturalmente e a variável velocidade do ar, percebeu-se que pequenos valores na velocidade do ar, o índice melhorava sua assertividade.

O modelo adaptativo, como esperado, obteve melhor desempenho no espaço ventilado naturalmente, e apresentou resultados insatisfatórios nos ambientes condicionados artificialmente (24,14%), pois este teve, como temperatura do ar aferida, resultados discrepantes da média encontrada nos espaços externos. Os resultados obtidos no modelo adaptativo nas universidades, em espaços condicionados artificialmente, conseguiram prever os estudantes em conforto, mas não os que estavam em desconforto. Isso ocorreu porque o intervalo de temperatura obtido nesse ambiente se assemelha à temperatura média mensal e, portanto, o resultado tendia ao conforto no índice.

Os resultados derivados da extensão do PMV elaborado por Fanger e Toftum (2002) obtiveram o maior percentual de acerto na predição do conforto, independentemente de o espaço ser condicionado artificialmente ou ventilado naturalmente. No entanto, em relação à concordância entre a sensação predita e a real, o seu percentual máximo foi de 64%.

4.2. Aplicação dos modelos preditivos de conforto por região onde reside o entrevistado

É esperado que o índice adaptativo apresente resultados satisfatórios quando aplicado em ambientes ventilados naturalmente. O PMVe, quando utilizado em pessoas aclimatadas a regiões quentes e em espaços ventilados naturalmente, e o PMV têm caráter universal, desde que suas variáveis ambientais estejam dentro de limites definidos. Sendo assim, observou-se o índice de acerto com base no clima da região onde o entrevistado alegou residir, conforme expresso em Tabela 6. Os entrevistados foram agrupados em quatro classes, climas similares ao da região analisada (semiárido), clima frio, clima quente e clima litorâneo.

Tabela 6 - Comparação dos resultados preditos em relação ao conforto e desconforto por região onde reside o entrevistado

Índice de acerto dos modelos preditivos de conforto em relação a sensação de conforto e desconforto autorreferida do entrevistado							
Registro	**Número Registros**	**Modelo Adaptativo**		**Modelo PMV**		**Modelo PMVe**	
		Número absoluto de acertos	**Percentual de acerto**	**Número absoluto de acertos**	**Percentual de acerto**	**Número absoluto de acertos**	**Percentual de acerto**
Analisada	334	183	54,95%	184	55,26%	203	60,96%
Fria	37	20	54,05%	20	54,05%	24	64,86%
Quente	22	7	31,82%	8	36,36%	11	50,00%
Litorânea	137	59	43,07%	67	48,91%	82	59,85%

Foram descartados 14, 4, 1 e 16 questionários das regiões analisada, fria, quente e litorânea, respectivamente.

O modelo adaptativo apresentou melhor resultado (≅ 55%) com pessoas que residiam na região analisada, o que era esperado, uma vez que a temperatura externa utilizada no cálculo condiz com a que elas estão habituadas. Situação similar ocorreu com o modelo PMV, que apresentou maior assertividade para a população habituada ao clima local, seguida por aqueles que residem em regiões frias. O modelo PMVe, por sua vez, apresentou novamente os melhores resultados em todas as categorias, destacando-se as pessoas provenientes da região fria e da região analisada.

4.3. Avaliação da concordância entre os modelos preditivos de conforto térmico com sensação térmica e o conforto e desconforto térmico autorreferido pelos usuários (Actual Mean Vote – AMV)

Estudou-se a avaliação de concordância entre os índices preditivos de conforto térmico PMV e o PMVe unicamente com o fator expectativa, nas escalas de sensação e de conforto, devido à categorização destes possuir a mesma distribuição da empregada no questionário. Considerou-se os registros de pessoas em espaços ventilados naturalmente e condicionados artificialmente. Observa-se, na Figura 4, que a concordância da sensação térmica entre o autorreferido e o predito no PMV apresentou um viés próximo a zero (-0,14). Entretanto, isso ocorreu por existir uma maior concentração de valores negativos nas três primeiras categorias de medição (remetentes ao calor) e de valores positivos nas últimas três (remetentes ao frio).

As pessoas demonstraram ser mais suscetíveis as variações ambientais, do que o previsto no índice PMV. Tendo pessoas votado nas sete categorias de sensação térmica, a saber: 1- Muito quente; 2 – Quente; 3- Levemente quente; 4 – Neutro; 5- Levemente frio; 6-Frio; e 7- Muito frio.

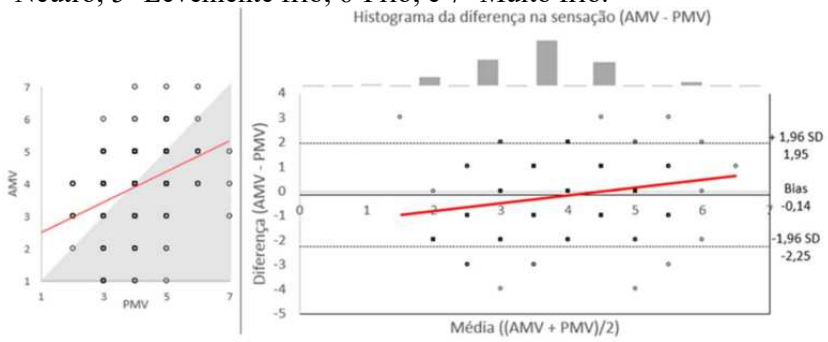


Figura 4 - Concordância entre autorreferido e predito no PMV na sensação térmica.

Quando se comparou a concordância do PMV e do expresso pelos entrevistados em relação ao seu conforto térmico, foram encontradas diferenças significativas e dispersas ao longo da escala. Devido à não normalidade das diferenças, não foi considerado o gráfico de Bland Altman. No gráfico de dispersão, observa-se a tendência linear com inclinação levemente ascendente, o que sugere uma leve convergência dos dados preditos aumentarem com o autorreferido.

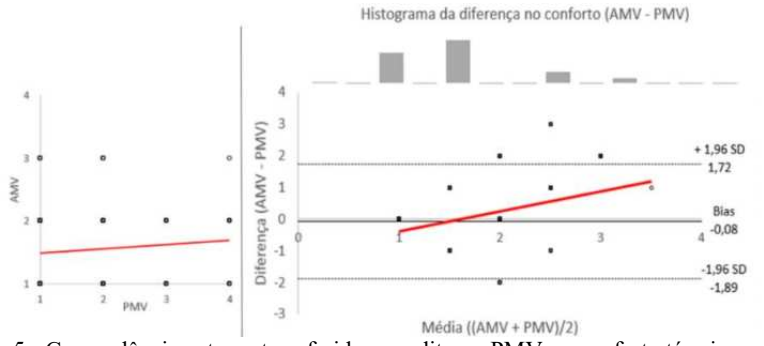


Figura 5 - Concordância entre autorreferido e predito no PMV no conforto térmico.

Ao analisar as Figuras 6 e 7, que retratam a concordância entre o autorreferido e o predito pelo PMVe com fator de expectativa, é possível observar a subestimação do índice em relação ao desconforto. Nota-se que a diferença entre o autorreferido pelos usuários e o predito pelo PMVe concentra-se em valores positivos, indicando que o PMVe tendia a valores de conforto e leve desconforto, enquanto as pessoas relatavam um nível maior de desconforto.

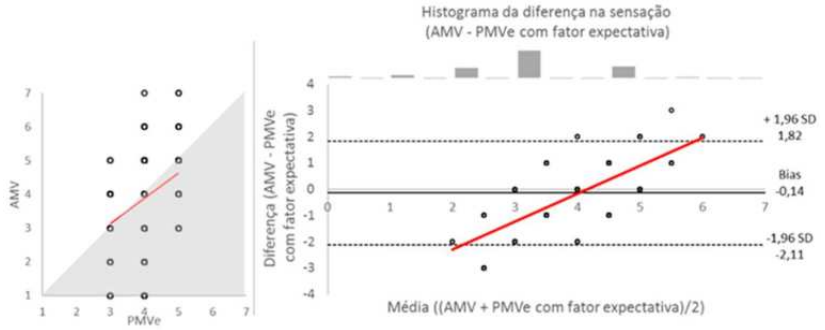


Figura 6 - Concordância entre autorreferido e predito no PMVe (com fator expectativa) na sensação térmica.

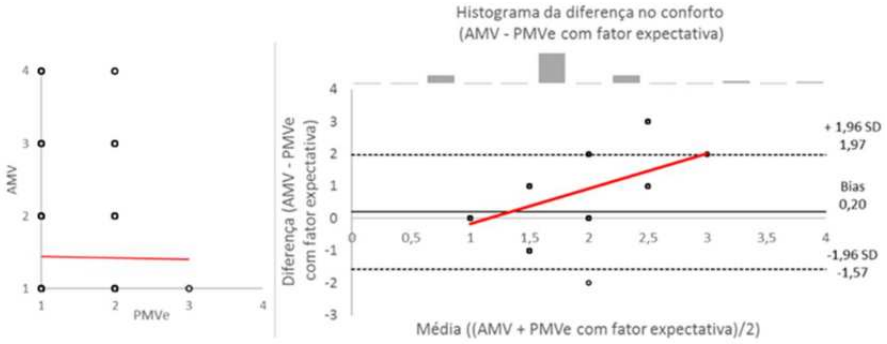


Figura 7 - Concordância entre autorreferido e predito no PMVe (com fator expectativa) no conforto térmico.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho se propôs a analisar a aplicabilidade de modelos preditivos de conforto térmico em espaços com condicionamento misto no clima semiárido brasileiro, considerando usuários aclimatados a climas distintos do semiárido. Foram considerados os índices PMV, PMVe e o Modelo Adaptativo. Em todos os cenários avaliados, seja com condicionamento artificial, ventilação natural, pessoas adaptadas a climas similares ao semiárido de Campina Grande, adaptadas a climas mais frios, adaptadas a climas mais quentes ou adaptadas a climas litorâneos, o índice do Voto Médio Predito com fator de expectativa obteve melhores resultados.

Em relação à sensação de conforto e desconforto, o índice PMVe apresentou uma concordância de 90% com a sensação autorreferida dos entrevistados em espaços ventilados naturalmente e de 97,6% em espaços condicionados artificialmente, ambos no inverno e no Museu de Arte Popular da Paraíba. No entanto, em relação à predição da sensação térmica do usuário, o PMVe obteve uma assertividade média inferior a 60%. Nesse sentido, indica-se como trabalhos futuros submeter a pesquisa a uma amostra maior e incluir entrevistados de outros climas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

_____. 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. ISO 7730:2005, third edition, 2005.
_____. Ergonomics of the thermal environment – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales. ISO 10551, Genebra 1995.
_____. Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities. ISO 7726:1998(E), second edition, Suiça, 1998.
_____. ASHRAE (2017). ANSI/ASHRAE Standard 55-2013: Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Condition Engineers, Inc. Atlanta, EUA, 2017.
_____. ASHRAE (2020). ANSI/ASHARE Standard 55-2020: Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Condition Engineers, Inc. Atlanta, EUA, 2020.
AB'SÁBER, AZIZ NACIB. Os domínios de natureza no brasil: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê editorial, 2003.
ALVARES, et al.. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, 22, 6, 711–728, 2014.
APOLO11. Latitude e Longitude das cidades Brasileiras. Disponível em: http://www.apolo11.com/latlon.php?uf=pb&cityid=2599. Acesso em 06 de novembro de 2017.
ASA - ARTICULAÇÃO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. Semiárido – É no semiárido que a vida pulsa. Disponível em: http://www.asabrasil.org.br/semiarido. Acesso em 05 de novembro de 2017.
BDMEP. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/. Acesso segundo trimestre de 2017.
BERNADI, Núbia; KOWALTOWSKI, Doris. Avaliação da Interferência comportamental do usuário para a melhoria do conforto ambiental em espaços escolares: estudo de caso em Campinas-SP. VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, São Paulo, 2001.
DE DEAR, et al.. Progress in thermal comfort research over the last twenty years. Indoor Air, 23, Singapura, pp. 442-461, 2013.
DE VECCHI, Renata. Avaliação de conforto térmico em edificações comerciais que operam sob sistemas mistos de condicionamento ambiental em clima temperado e úmido. Florianópolis, 2015. 237 pag. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.
DE VECCHI, Renata; CÂNDIDO, Christhina Maria; LAMBERTS, Roberto. Thermal history and comfort in a Brazilian subtropical climate: a 'cool' addiction hypothesis. Ambiente Construído, vol. 16, n°1, pag. 7-20, 2016.
EMBRAPA. Banco de Dados climáticos do Brasil. Disponível em: https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/bdclima/balanco/index/index.html. Acesso segundo trimestre de 2017.
EUROPEAN STANDARD. EN15251. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. Brussels. Comité Européen de Normalisation, 2007.
FANGER, P. O. Assessment of man's thermal comfort in practice. British Journal of Industrial Medicine, 30, pp. 313-324, 1973.
FANGER; TOFTUM. Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates. Elsevier, Energy and Buildings, 34, pag. 533-536, 2002.
HUMPHREYS, Michael; NICOL, Fergus. An investigation into thermal comfort of office workers. Inst. Heat & Vent. Eng., [s. l], v. 8, p. 181-189, 1970.
HUMPHREYS, Michael; NICOL, Fergus; ROAF, Susan. Adaptive Thermal Comfort: Foundations and Analysis. Routledge, 2016. ISBN: 978-0-415-69161-1.
HUMPHREYS; et al.. Standards for Thermal comfort: Indoor air temperature standards for the 21st century. Taylor & Francis Group, 1995. ISBN: 0-419-20420-2.
INMET. Gráficos Climatológicos (1931-1960 e 1961-1990). Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos. Acesso em 05 de novembro de 2017.
LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando. O. R.. Eficiência Energética na Arquitetura. Eletrobrás/Procel, v.3, 2014.
MONTEIRO, Leonardo Marques. Modelos preditivos de conforto térmico: quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projeto de espaços abertos. São Paulo, 2008. Tese (Doutorado em Tecnologia da Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.
NICOL, J. F,; ROAF, S. Rethinking Thermal Comfort. Building Research & Information, 45, pp. 711-716, 2017. ISSN: 0961-3218. DOI: 10.1080/09613218.2017.1301698.
OROSA, José A.; OLIVEIRA, Armando C. A new thermal comfort approach comparing adaptive and PMV models. Renewable Energy, 36, pp. 951-956, 2010. ISBN 0960-1481.
RORIZ. Roriz Bioclimática: conforto térmico e eficiência energética. Disponível em: http://www.roriz.eng.br/epw_9.html. Acesso segundo trimestre de 2017.
SINDA. Dados históricos. Disponível em: http://sinda.crn2.inpe.br/PCD/SITE/novo/site/historico/index.php. Acesso segundo trimestre de 2017.
SONDA. Estações sonda. Disponível em: http://sonda.ccst.inpe.br/infos/index.html. Acesso segundo trimestre de 2017.
SOUSA, M. C. B.; LEDER, S. M. ; COSTA, F. J. . Proposta De Método de agrupamentos de cidades segundo o histórico térmico no estudo de adaptação fisiológica. In: VII Encontro Nacional de Ergonomia do Ambiente Construído / VIII Seminário Brasileiro de Acessibilidade Integral, 2018, v. 4. p. 1257-1266.