XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA DE NEUTRALIDADE EM EDIFICAÇÕES PÚBLICAS, COMERCIAIS E DE SERVIÇO NAS ZONAS BIOCLIMÁTICAS 5 E 6 DO ESTADO DE MATO GROSSO

Alexandra Marsaro Cella (1); Luciana Tozzo (2); Karen Wrobel Straub Schneider (3); Marlon Leão (4)

(1) Engenheira Civil, alexandramcella@gmail.com, UNEMAT - Sinop, (66)99672-9214
(2) Engenheira Civil, lucianatozzo27@gmail.com, UNEMAT - Sinop, (66)99961-2276
(3) Me., Professora do Departamento de Engenharia Civil, karen.straub@unemat.br, UNEMAT – Sinop, (66)3511-2100
(4) Dr.-Ing., Professor do Departamento de Engenharia Civil, leao@unemat.br, UNEMAT – Sinop, (66)3511-2137

RESUMO

A neutralidade térmica representa a condição em que uma pessoa em um determinado ambiente não sinta calor e nem frio, estando em equilíbrio térmico, fator condicionante para se alcançar o conforto térmico. O Estado de Mato Grosso não possui zonas de conforto e temperaturas de neutralidade conhecidas, contribuindo para o baixo conforto térmico das edificações. O objetivo geral dessa pesquisa foi determinar a temperatura de neutralidade de edificações públicas, comerciais e de serviço, para as zonas bioclimáticas 5 e 6 do estado de Mato Grosso. O estudo aplicou o conceito Spot-Monitoring que relaciona a coleta de dados ambientais (por meio de aparelho com sensores) com simultânea aplicação de questionários que coletam as sensações e preferências térmicas dos usuários. Foram realizadas 247 medições e obtidos 2223 questionários válidos nas cidades de Sinop e Primavera do Leste. Utilizando-se regressões lineares de mínimos quadrados que correlacionaram o voto médio de sensação térmica com a temperatura operativa, obteve-se equações que determinaram a temperatura de neutralidade. Para essas edificações em ambos os períodos, nas referidas cidades a temperatura de neutralidade média foi de 24,6°C.
Palavras-chave: Conforto Térmico; Abordagem adaptativa; Sensação térmica; PMV; Spot-Monitoring.

ABSTRACT

Thermal neutrality represents the condition in which a person in a given environment does not feel heat or cold, being in thermal balance. This is a conditioning factor for achieving thermal comfort. There are not known zones of comfort and neutrality temperatures in the State of Mato Grosso, contributing to the low thermal performance of buildings. This study aimed to determine the neutral temperature of public, commercial and services buildings, for the 5 and 6 bioclimatic zones in the Mato Grosso state. It was applied the Spot-Monitoring concept, which relates the collection of environment data (by the usage of equipment with sensors) with a simultaneous appliance of questionnaires that collects sensations and thermal preferences of the users. A total of 247 measurements were performed and 2223 questionnaires were applied to the cities of Sinop and Primavera do Leste. By utilizing linear least-squares regressions analysis that correlates the thermal sensation vote with the operative temperature, equations that determine the neutral temperature were obtained. For these buildings, in those cities, the neutrality temperature average was 24,6°C.
Keywords: Thermal comfort; Adaptive approach; Thermal sensation; PMV; Spot-Monitoring.

1. INTRODUÇÃO

A obtenção de um ambiente termicamente confortável para o usuário é um dos objetivos do estudo do conforto térmico. Segundo Nicol (2007), Nicol e Humphreys (2002) e Batiz *et al.* (2009), o conforto térmico pode melhorar a saúde do trabalhador e sua eficiência no ambiente de trabalho.

Segundo Frota e Schiffer (2001), as primeiras pesquisas realizadas a respeito da influência do conforto térmico no rendimento dos trabalhadores tiveram início em 1916, com a Comissão Americana de Ventilação (American Society of Heating and Ventilating Engineers - ASHVE). Posteriormente, Fanger (1970), desenvolveu sua pesquisa na Dinamarca que auxiliou normas internacionais importantes. Fanger analisou uma amostra de pessoas em câmaras climatizadas, em que todos os parâmetros de conforto e variáveis pessoais eram constantes e a temperatura operativa era controlada. Com base nessa análise, desenvolveu duas equações: o Voto Médio Predito - PMV e o Percentual de Pessoas Insatisfeitas - PPD.

Em contrapartida Humphreys (1976) observou que a aclimatação afetava a temperatura de neutralidade e índices de conforto variavam em relação à temperatura média da região estudada. Em 1979, o autor propôs que as pessoas têm diferentes respostas ao meio que estão inseridas. Essas respostas são medidas adaptativas do corpo para se ajustar ao meio térmico. Sua pesquisa mostra que os resultados obtidos das câmaras climatizadas e controladas pelo pesquisador têm divergências com ambiente climatizado naturalmente. Essas divergências acontecem, pois naturalmente o indivíduo se adapta ao ambiente em que vive, e, por isso, a abordagem adaptativa traz resultados mais reais.

O conforto térmico depende de variáveis quantificáveis (temperatura e velocidade do ar, umidade, entre outros) e não quantificáveis (hábitos, estado mental, cultura, entre outros) e a combinação entre essas variáveis tem grande influência sobre o conforto em espaços reais de trabalho.

Vários autores como Hellwig e Bischof (2006), Boestra (2006), Raue et al. (2004), Nicol e Humphreys (2002), De Dear (2004), sustentam que a utilização de normas que se baseiam no modelo de abordagem estática de Fanger, como a ISO 7730 (ISO, 2005), apresentam desvios que são próprios do método de obtenção do mesmo.

Rupp et al. (2017) destaca que no Brasil são poucos os resultados publicados de estudos de campo focados na adequabilidade do modelo PMV/PPD, porém em seus estudos em Florianópolis verificaram que o método é inadequado para o clima da região por superestimar a sensação de frio, além de não estimar adequadamente a insatisfação térmica em ambientes condicionados artificialmente.

Apesar de a abordagem adaptativa ter suas origens posteriores à estática e ser mais completa em suas considerações, o objetivo das duas pesquisas tem um fator comum: alcançar o conforto térmico em ambientes reais.

Oseland (1994), realizou sua pesquisa no Reino Unido e buscou determinar uma temperatura de neutralidade comparando os votos médios preditos, PMV, de Fanger, com as sensações relatadas por moradores de casas nos períodos de inverno e verão. Assim, notou que em ambos os períodos, os limites demostrados pelos moradores foram superiores aos calculados.

Pesquisas internacionais buscam determinar temperaturas de neutralidade em edifícios de escritório climatizados artificialmente. De Dear e Fountain (1994), em Townsville (Austrália), determinaram uma temperatura operativa neutra de 22°C no inverno e 22,6°C no verão. Uma pesquisa realizada em Hong Kong (MUI; WONG, 2005) encontrou uma temperatura de neutralidade de 23,6°C para o verão e 21,4°C para o inverno.

Em suas pesquisas na Alemanha, Kuchen e Fisch (2009), avaliaram 25 edifícios de escritórios, realizando medições e aplicando questionários no local. Assim, puderam desenvolver um método estatístico para determinar a temperatura de neutralidade, 22,7°C, menor que a encontrada pelo método de Fanger. O método Spot-Monitoring utiliza medições pontuais e simultâneas das variáveis ambientais, utilizando a abordagem adaptativa para determinar uma zona de conforto térmico, com uma temperatura de neutralidade definida a partir das características do local e de seus ocupantes.

Straub et al. (2017) buscaram determinar uma temperatura de neutralidade em salas de ensino superior nas zonas bioclimáticas do Estado de Mato Grosso e obtiveram uma temperatura de neutralidade de 26,6°C.

Andreasi e Lamberts (2009) realizaram uma pesquisa no Mato Grosso do Sul, com voluntários em atividades sedentárias em ambientes ventilados naturalmente. Verificaram um intervalo de aceitabilidade térmica de 23°C a 31°C.

Essas divergências ocorrem principalmente em razão do clima, e por isso, nota-se a importância de se conhecer a temperatura de neutralidade em cada região.

Os edifícios de domínios públicos e privados, de forma comercial e de serviço, possuem um grande número de usuários que necessitam de um conforto térmico tanto para um rendimento adequado no ambiente de trabalho, quanto aquele que utiliza de forma transitória o espaço comercial.

A solução normalmente adotada para a obtenção de ambientes mais confortáveis termicamente é a utilização de condicionamento artificial, estratégia atual que contraria fatores importantes como consumo e conservação de energia (ANDREASI, 2009).

O Estado de Mato Grosso possui um território extenso, grande diversidade climática e topográfica, sendo necessária a definição de zonas de conforto térmico e temperaturas de neutralidade. A falta de uma temperatura de neutralidade nas edificações acarreta na má utilização da edificação. E como consequência, compromete o rendimento do trabalhador, bem como o conforto do usuário.

Há uma necessidade de se obter um ambiente confortável termicamente nessas edificações para a melhoria da produtividade e saúde humana. Pesquisas realizadas por Lorsch e Abdou (1994), entre outros pesquisadores, mostram que quando a temperatura atinge níveis desconfortáveis a produtividade, o bem-estar e a disposição dos ocupantes diminui.

Segundo Bernardi (2001) e Lan, Wargocki e Lian (2011) o desconforto térmico pode levar o usuário à sonolência, aumento do suor, alteração de batimentos cardíacos, e tanto a longo quanto a curto prazo comprometer assim, a saúde e a produtividade.

O estudo sobre o conforto térmico em edificações é um ramo recente no Brasil, com normas específicas brasileiras pouco abrangentes, sendo necessário usufruir de alguns parâmetros estabelecidos em outros países, o que pode não ser tão preciso. Portanto, verifica-se a importância da determinação da temperatura de neutralidade para regiões específicas, justamente devido à condição de aclimatação do ser humano. O desenvolvimento desse estudo no Estado de Mato Grosso e nas edificações públicas, comerciais e de serviço pode contribuir em pesquisas e nortear projetos e normativas no âmbito do conforto térmico e em zonas de conforto.

2. OBJETIVO

Esse trabalho tem por objetivo determinar a temperatura de neutralidade em edificações públicas, comerciais e de serviço para as zonas bioclimáticas 5 e 6 do Estado de Mato Grosso, através de coleta de variáveis pessoais e ambientais.

3. MÉTODO

Para a determinação da temperatura de neutralidade em edificações públicas, comerciais e de serviço foram realizadas coletas de dados em duas cidades escolhidas para representar as zonas bioclimáticas 5 e 6 do Estado de Mato Grosso. A pesquisa foi feita nos períodos de chuva (janeiro e fevereiro/2017) e seca (julho e agosto/2017). A Tabela 1 traz as datas das coletas de dados em cada edificação e zonas bioclimáticas, nas duas estações analisadas.

Tabela 1 - Data e horário das medições em cada estação e zona bioclimática analisada.

Estudo de campo	**01 - ZB 5**	**02 - ZB 5**	**03 - ZB 5**	**04 - ZB 5**	**05 - ZB 5**
Data	01/02/2017	14/02/2017	18/12/2017	11/02/2017	18/02/2017
Horário	Comercial	Comercial	Comercial	Comercial	Comercial
Estação	Chuva	Chuva	Chuva	Chuva	Chuva
Estudo de campo	**07 - ZB 6**	**08 - ZB 6**	**09 - ZB 6**	**10 - ZB 6**	**11 - ZB 6**
Data	05/01/2017	04/01/2017	06/01/2017	09/01/2017	10/01/2017
Horário	Comercial	Comercial	Comercial	Comercial	Comercial
Estação climática	Chuva	Chuva	Chuva	Chuva	Chuva
Estudo de campo	**01 - ZB 5**	**02 - ZB 5**	**03 - ZB 5**	**04 - ZB 5**	**05 - ZB 5**
Data	02/08/2017	01/08/2017	28/07/2017	30/07/2017	31/07/2017
Horário	Comercial	Comercial	Comercial	Comercial	Comercial
Estação climática	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca
Estudo de campo	**07 - ZB 6**	**08 - ZB 6**	**09 - ZB 6**	**10 - ZB 6**	**11 - ZB 6**
Data	11/08/2017	10/08/2017	12/08/2017	14/08/2017	15/08/2017
Horário	Comercial	Comercial	Comercial	Comercial	Comercial
Estação climática	Seca	Seca	Seca	Seca	Seca

A coleta de dados foi baseada no conceito Spot-Monitoring desenvolvido por Kuchen e Fisch (2009). Esse método relaciona a coleta de dados ambientais com simultânea aplicação de questionários que coletam as sensações e preferências térmicas dos usuários.

A pesquisa foi dividida em dois momentos: a medição dos índices em pesquisa de campo e a obtenção e análise estatística dos dados. Nas pesquisas de campo, coletou-se variáveis ambientais e pessoais. O questionário utilizado para a coleta das variáveis pessoais é semelhante ao utilizado em outras pesquisas de conforto térmico, como a de Kuchen e Fisch (2009) e Straub et al. (2017). Para a obtenção das variáveis ambientais, utilizou-se um Datalogger conectado a sensores que coletaram e armazenaram dados como temperatura, umidade relativa, e velocidade do ar e temperatura radiante média.

3.1. Área de estudo

Segundo a NBR 15220-3 (ABNT, 2005), que classifica as zonas bioclimáticas brasileiras, o estado de Mato Grosso apresenta 5 zonas bioclimáticas (Figur 1) das 8 zonas presentes no Brasil. As cidades classificadas nesse estudo são: Sinop, zona bioclimática 5 (11°50′53″ S, 55°38′57″ W; 384m); e Primavera do Leste, zona bioclimática 6 (15°31′40″ S, 54°20′45″ W; 636m).

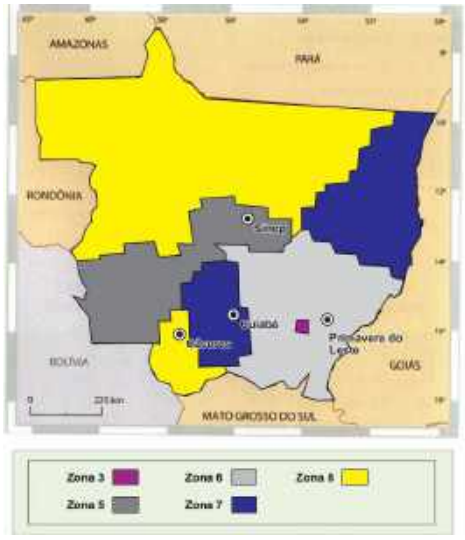


Figura 1 - Zoneamento bioclimático segundo NBR 15220-2003 para o Estado de Mato Grosso, adaptado (SANCHES et al., 2011).

3.2. Objeto de estudo

A pesquisa foi realizada em edificações públicas, comerciais e de serviço. As edificações foram definidas por meio de permissões e acordos de cooperação que garantiram total anonimato na pesquisa, referente tanto ao nome e localização da instituição como aos usuários que responderam ao questionário. Entretanto, todas as edificações localizavam-se em região central da cidade, portanto, possuindo condição climática semelhante.

Cinco setores foram avaliados em função da atividade desenvolvida, sendo eles: farmácias, supermercados, bancos, lojas varejistas e órgãos públicos. Foi determinado para cada setor, uma edificação para medição. Desse modo, a medição foi realizada em cinco edificações em cada cidade.

Todas as edificações são de alvenaria comum, algumas com divisórias internas. Foi avaliado o ambiente com interação de funcionários e clientes, por isso com número de ocupantes variável. Nas edificações com dois pavimentos, foram realizadas medições nos dois ambientes. Os ambientes estudados eram homogêneos e estacionários, assim não havia diferença entre ambientes para os usuários experimentarem situações diferentes. Os equipamentos no interior das edificações se limitavam aos utilizados nas atividades cotidianas dos setores avaliados, como computadores, com exceção dos mercados que possuem diversos tipos de equipamentos em seu interior. As Tabelas 2 e 3 trazem as principais características das edificações, referentes às aberturas, número de pavimentos e sistema de climatização.

Nessa pesquisa não foram medidos dados externos, como temperatura do ar e umidade relativa. A pesquisa limitou-se a medição do interior das edificações apenas.

Tabela 2 – Caracterização das edificações avaliadas em Sinop-MT.

LOCAL	N° DE PAVIMENTOS	TIPO DE ABERTURAS		CORTINA DE AR	SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO
		PORTA	JANELAS		
Farmácia	1	De correr - Vidro	Não	Sim	3 unid. Ar condicionado Split
Loja varejista	1	De correr - Vidro	Não	Sim	12 unid. Ar condicionado Split
Supermercado	1	De correr - Vidro	Alta para iluminação	Sim	Ar central
Banco	2	Porta giratória - Vidro	Não	Não	Ar central
Órgão público	1	De correr - Vidro	Alta para iluminação	Não	3 unid. Ar condicionado Split

Tabela 3 – Caracterização das edificações avaliadas em Primavera do Leste - MT.

LOCAL	N° DE PAVIMENTOS	TIPO DE ABERTURAS		CORTINA DE AR	SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO
		PORTA	JANELAS		
Farmácia	1	De correr - Vidro	Alta para iluminação	Sim	4 unid. Ar condicionado Split
Loja varejista	1	De correr - Vidro	Não	Sim	10 unid. Ar condicionado Split
Supermercado	1	De correr - Vidro	Não	Sim	Ar central
Banco	1	Porta giratória - Vidro	Não	Não	Ar central
Órgão público	1	De correr - Vidro	Alta para iluminação	Não	2 unid. Ar condicionado Split

3.3. Instrumentação

A coleta dos dados ambientais foi realizada pelo aparelho HD 32.1 Delta OHM utilizando o programa A: análise de microclima e medidor de stress térmico. O instrumento apresenta oito entradas para sondas módulo SICRAM. A calibração do aparelho estava no período de validade durante a realização da pesquisa.

O aparelho é portátil e para a medição foram conectados sensores que fizeram a leitura das variáveis armazenadas no datalogger (Figura 2a) e posteriormente foram transferidos para um computador.

Foram utilizados três sensores de medição: a sonda combinada (Figura 2b), utilizada para medir a temperatura e umidade relativa do ar, o anemômetro de fio quente (Figura 2c), utilizado para determinar a velocidade do ar e o termômetro de globo negro (Figura 2d), empregado na determinação da temperatura média radiante.

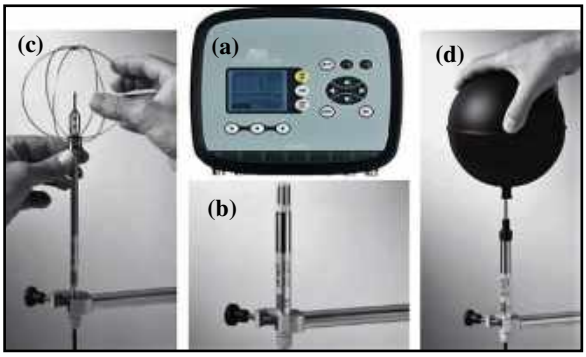


Figura 2 - Equipamento com sensores utilizados.

3.4. Medições ambientais

Para a realização das medições o aparelho foi posicionado no centro de cada ambiente a uma altura equivalente ao nível do abdômen das pessoas em pé, conforme sugere a ISO 7726 (ISO, 1998) a 1,10m do solo. As medições aconteceram no período diurno, de acordo com o horário comercial de cada edificação.

Em cada edificação analisada, o equipamento foi posicionado no centro do ambiente e permaneceu em estabilização por 30 minutos, conforme indicado no manual do equipamento.

Foram realizadas 247 medições ao total e cada medição teve duração de 5 minutos. Cada uma dessas medições é uma média de registro de dados a cada 30 segundos.

3.5. Consulta de opinião

Para a coleta das variáveis pessoais foram aplicados questionários simultaneamente a coleta das variáveis ambientais. O modelo de questionário utilizado, é baseado em outras pesquisas de conforto térmico (STRAUB et al., 2017; KUCHEN; FISCH, 2009).

O questionário possui perguntas de caráter subjetivo, referentes a aspectos psicológicos, e fisiológicos e físicos do usuário com relação ao ambiente estudado.

As perguntas de aspecto psicológico coletaram os dados de voto sensação térmica (S) a partir da escala sétima (ASHRAE, 2017). O voto de sensação térmica foi utilizado para os cálculos da temperatura de neutralidade.

As perguntas de aspecto fisiológicos e físicos são referentes a atividade metabólica e isolamento da roupa. A vestimenta interfere na resistência térmica do usuário com relação ao ambiente. As atividades recentes influenciam na taxa metabólica.

3.6. Análise dos resultados

Para o cálculo do isolamento térmico das vestimentas, utilizou-se da tabela presente na ISO 7730 (ISO, 2005). Para a taxa metabólica foi utilizada a atividade do ocupante nos últimos 10 minutos e relacionado com a tabela, também, presente na ISO 7730 (ISO, 2005).

Para o cálculo do PMV foi utilizada a metodologia descrita na ISO 7730 (ISO, 2005), seguindo estudo realizado por Fanger (1970). A pesquisa utilizou também o método proposto na ASHRAE 55, para o cálculo do PPD.

Para determinar temperatura operativa e a temperatura radiante média seguiu-se os cálculos propostos pela ASHRAE (2017). O cálculo da neutralidade térmica seguiu o método utilizado por Straub *et al.* (2017).

Para a determinação da temperatura de neutralidade, dois índices foram correlacionados, a temperatura operativa e os votos de sensação térmica. Para essa correlação foram realizadas regressões lineares simples de mínimos quadrados. Através da regressão obteve-se equações que determinaram a temperatura de neutralidade.

A análise da intersecção da reta da equação, com os valores de +1 e -1, pode demonstrar um intervalo de temperatura operativa. Esse intervalo resulta na aceitabilidade térmica dos ocupantes. A determinação dos valores de neutralidade térmica é realizada a partir da inserção dos votos de sensação térmica de conforto (voto "zero") nas equações de regressão obtidas, resultando em uma temperatura operativa coincidente com a temperatura de neutralidade.

A validação das regressões se deu por meio de análises de variância e testes de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, conforme utilizado por Kuchen e Fisch (2009) e Straub *et al.* (2017).

4. RESULTADOS

Nos períodos de chuva e seca, foram realizadas 247 medições e obtidos 2400 questionários para as duas zonas bioclimáticas avaliadas. Questionários com erros de preenchimento, incompletos ou rasurados foram considerados inválidos. Portanto, ao total, 2223 questionários foram considerados válidos. Cada cidade, portanto, obteve, em média, 1112 questionários. Esse valor é encontrado em outras pesquisas da mesma linha, como a pesquisa de Fanger (1970) com 1300 questionários, Xavier (1999) com 1415 questionários, Kuchen e Fisch (2009) com 1100 questionários e Straub *et al.* (2017) com 1151 questionários.

Dos questionários válidos, 58% foram respondidos por mulheres e 42% por homens, entre 15 e 79 anos. Desses, 58% consideraram-se com peso normal.

As variáveis pessoais e ambientais estão diretamente ligadas a sensação de conforto térmico do usuário. A taxa metabólica, medida em W/m², e o isolamento térmico das vestimentas, medido em clo, são variáveis pessoais de grande influência. Na cidade de Primavera do Leste, a taxa metabólica média foi de 93,49 W/m². Para a cidade de Sinop, a taxa metabólica média obtida foi de 93,39 W/m².

A Tabela 4 traz os principais indicadores pessoais e ambientais, com média e desvio-padrão para as zonas bioclimáticas estudadas no período de chuva e seca.

Ao se avaliar os dados, nota-se que apesar de possuir variáveis de edificações diferentes, o desvio-padrão das temperaturas demonstrou pouca divergência entre zonas bioclimáticas. Percebe-se essa mesma relação com o isolamento térmico das vestimentas e as taxas metabólicas. Apesar de serem edificações com atividades distintas, o padrão de vestimentas é semelhante e as atividades metabólicas permaneceram próximas. Como isso, podemos entender que essas edificações podem ser avaliadas de maneira conjunta para cada zona bioclimática, por apresentarem na maioria das variáveis um desvio-padrão pouco divergente.

Entretanto, ao avaliar o PPD há uma disparidade entre as zonas bioclimáticas estudadas, o que pode significar, comparado ao percentual real de pessoas insatisfeitas uma possível falha no método de obtenção do mesmo.

Tabela 4 - Média e desvio padrão das variáveis coletadas no período de chuva.

Período de chuva											
Zona Bioclimática		Ta (°C)	Va (m/s)	Tr (°C)	UR (%)	Top (°C)	PMV (-)	PPD (%)	Icl (CLO)	S (-)	I (%)
5	Média	24,10	0,11	24,80	55,78	24,40	0,17	11,36	0,40	0,00	16,87
	Desvio padrão	1,29	0,06	1,32	4,38	1,29	0,53	6,21	0,07	0,50	19,07
6	Média	25,10	0,13	25,75	51,98	25,39	-0,14	32,46	0,41	0,12	13,08
	Desvio padrão	1,60	0,06	1,70	6,46	1,64	1,22	26,17	0,07	0,40	17,75
Período de seca											
Zona Bioclimática		Ta (°C)	Va (m/s)	Tr (°C)	UR (%)	Top (°C)	PMV (-)	PPD (%)	Icl (CLO)	S (-)	I (%)
5	Média	24,60	0,11	25,20	39,39	24,90	0,37	9,76	0,42	0,01	6,93
	Desvio padrão	0,80	0,07	1,35	3,09	1,07	0,30	3,80	0,06	0,24	9,68
6	Média	25,80	0,10	26,30	31,77	26,00	0,69	21,17	0,43	0,13	7,70
	Desvio padrão	1,48	0,02	1,53	3,38	1,49	0,54	8,32	0,05	0,20	9,11

As variáveis indicadas na Tabela 4 representam:
Ta: temperatura do ar, em °C;
Va: velocidade do ar, em m/s;
Tr: temperatura média radiante, em °C;
UR: umidade relativa do ar, em %;
Top: temperatura operativa, em °C;
PMV: voto médio predito, conforme Fanger (1970), adimensional;
PPD: percentual de pessoas insatisfeitas, conforme Fanger (1970);
Icl: isolamento térmico das vestimentas utilizadas pelos ocupantes, em clo;
S: voto de sensação térmica real, obtido através da média de votos emitidos de todos os ocupantes, adimensional, faixa de resposta de +3 a -3;
I: percentual real de pessoas insatisfeitas, obtido conforme proposto por Xavier (1999), com todos os ocupantes que votaram +3, +2, -3, -2 somado a 50% daqueles que votaram +1 e -1.

A Figura 3 mostra a correlação entre o percentual de insatisfeitos real e os votos médios de sensação térmica real, ambos obtidos através do questionário, podendo-se verificar que existe uma dispersão no percentual de insatisfeitos quando analisada a sensação de conforto, ou seja, o voto 0 (zero). Para essa pesquisa, verificou-se R^2=0,714. O resultado dessa correlação também demostra que o comportamento dos dados não é tão acentuado e estreito quanto o proposto por Fanger (1970).

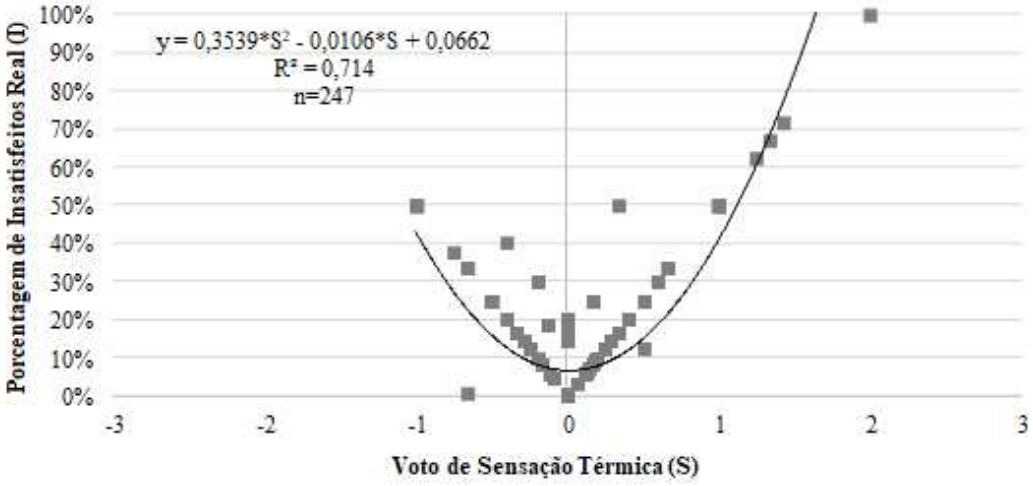


Figura 3 - Correlação entre a porcentagem de insatisfeitos real e votos médios de sensação térmica.

Sendo:
I: percentual real de pessoas insatisfeitas;
S: voto de sensação térmica real, adimensional.

A Figura 4, expõe a correlação entre o PMV (FANGER, 1970) e os votos médios de sensação térmica real dos ocupantes. Verificou-se que apenas 6,5% dos dados coincidiu com os valores propostos pela fórmula de Fanger (1970). Esse valor indica que o modelo do PMV possui uma baixa representatividade para essa pesquisa, corroborando que o modelo de Fanger seria representativo apenas em ambientes controlados pelo pesquisador.

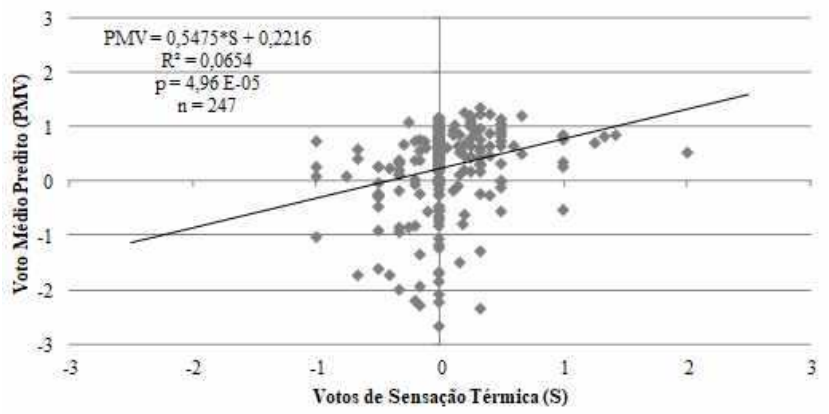


Figura 4 - Correlação entre PMV e votos médios de sensação térmica real.

Sendo:
PMV: voto médio predito, adimensional;
S: voto de sensação térmica real, adimensional.
p: probabilidade de significância, adimensional.

A Figura 5 representa a regressão linear feita para a zona bioclimática 5 (a e b), correspondente a cidade de Sinop e 6 (c e d), correspondente a cidade de Primavera do Leste comparando a temperatura operativa com os votos médios de sensação térmica dos ocupantes nos períodos de chuva e de seca.

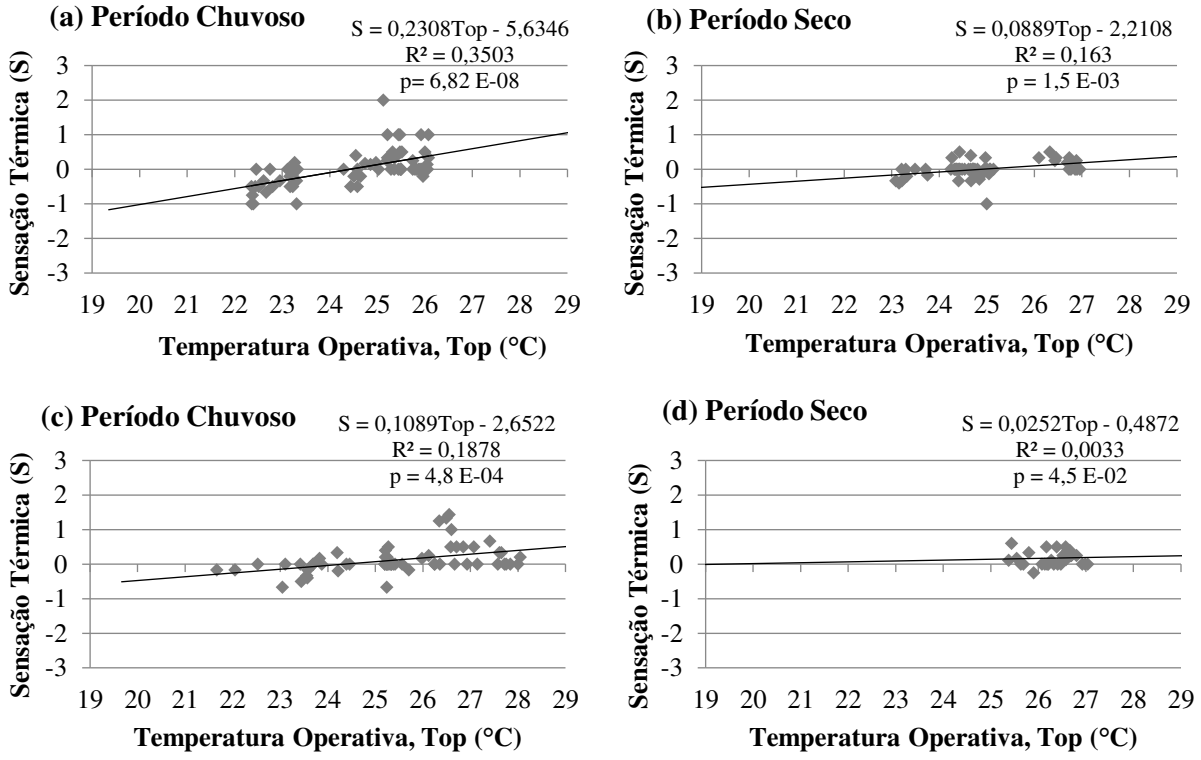


Figura 5 - Regressão linear entre a sensação térmica real e a temperatura operativa para zonas bioclimáticas 5 e 6.

Sendo:
Top: temperatura operativa, em °C;
S: voto de sensação térmica real, adimensional;
p: probabilidade de significância, adimensional;
R^2: coeficiente de determinação, adimensional.

As regressões lineares foram validadas pelos testes de Kolmogorov-Smirnov, indicando normalidade dos resíduos, as análises de variância indicaram a significância das equações das regressões.

A Tabela 5 apresenta o resumo dos valores encontrados de temperatura de neutralidade e o coeficiente "a" das equações de regressão para cada zona bioclimática, para as estações de chuva e seca.

Tabela 5 - Caracterização dos resultados das zonas bioclimáticas 5 e 6.

Período	Zona Bioclimática	Coeficiente (a)	Temperatura de Neutralidade (°C)
Chuva	5	0,231	24,4
	6	0,109	24,3
Seca	5	0,089	24,9
	6	0,037	22,6

Optou-se analisar o conjunto das edificações, sem separação por tipologia construtiva ou roupas e metabolismo, pelo fato de o objetivo da pesquisa ser determinar uma temperatura de neutralidade geral para esses tipos de edificações, corroborado pelos resultados apresentados na Tabela 4.

O coeficiente "a" pode demonstrar a habilidade dos ocupantes de se adaptarem ao ambiente. Verifica-se através da análise da Tabela 5 que houve grande variação desse coeficiente, tanto quando analisado entre estações da mesma zona bioclimática, tanto avaliando entre as zonas bioclimáticas. Valores baixos desse coeficiente indicam grande capacidade de adaptação dos usuários, como encontrado nessa pesquisa.

Os intervalos de aceitabilidade de temperatura não puderam ser determinados, pois apresentaram-se extrapolados. Uma explicação deve-se aos baixos valores encontrados do coeficiente "a". Acredita-se que a obtenção desses intervalos tenha advindo da grande amplitude dos dados.

5. CONCLUSÕES

Através da realização de 247 medições e 2223 questionários válidos, foram obtidas as variáveis ambientais e pessoais de edificações públicas, comerciais e de serviço climatizadas artificialmente, além de sensações e preferencias térmicas dos usuários, o que possibilitou avaliar e comparar os resultados obtendo as temperaturas de neutralidade de 24,6°C para a zona bioclimática 5 e 23,4°C para a zona bioclimática 6.

Por meio dessa pesquisa, foi possível perceber as divergências entre as pesquisas de campo e as pesquisas realizadas em câmaras climatizadas, pois os resultados mostraram grandes variações entre as sensações térmicas reais levantadas em campo e as calculadas pelo modelo do PMV de Fanger, mostrando que esse modelo pode não ser tão preciso na região estudada. Notando assim, a importância de se realizar pesquisas de campo.

Espera-se que por meio dessa análise possa ser possível oferecer aos ocupantes dessas edificações melhores condições de conforto e que um retorno financeiro possa ser estabelecido através das temperaturas de neutralidade.

Verificou-se que é possível determinar a temperatura de neutralidade para as zonas bioclimáticas estudadas através das equações de regressão, apesar de não poder ser determinados os intervalos de aceitabilidade. Porém, vale ressaltar que essas equações devem ser utilizadas somente para as zonas bioclimáticas e os ambientes relacionados nessa pesquisa.

Ademais, juntamente com outras pesquisas realizadas no Estado de Mato Grosso, esse trabalho contribui para a formação de estudos de conforto térmico do Estado e suas edificações, trazendo importantes contribuições ao alcance do conforto térmico em ambientes reais de trabalho no Estado de Mato Grosso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREASI, W. A. Método para avalição de conforto térmico em região de clima quente e úmido do Brasil. Florianopolis, 2009. 204 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

ANDREASI, W. A.; LAMBERTS, R. Thermal comfort in buildings located in regions of hot and humid climate of Brazil. In: Proceedings of the conference: Comfort and Energy Use in Buildings: Getting them Right. London, 2009. Network for Comfort and Energy Use in Buildings.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGENEERS. ASHRAE 55: thermal environmental conditions for human occupancy. New York: 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS - ABNT. NBR 15.220-3: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

BERNARDI, N. Avaliação da Interferência Comportamental do Usuário para a Melhoria do Conforto Ambiental em Espaços Escolares: Estudo de Caso em Campinas- SP. 2001. 127f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2001.

BATIZ, E. C.; GOEDERT, J.; MORSCH, J. J.; KASMIRSKI-JR, P.; VENSKE, R. Avaliação do conforto térmico no aprendizado: estudo de caso sobre influência na atenção e memória. Prod., São Paulo, v. 19, n. 3, p. 477-488, 2009.

BOESTRA, A. C. The Adaptive Thermal Comfort Criterion in the New EPBD IEQ Standard. In: BBA Indoor Environmental Consultancy. Netherland, 2006.

DE DEAR, R.; FOUNTAIN, M. Field Experiments on Occupant Comfort and Office Building Thermal Environments in a Hot-Humid Climate. ASHRAE Transactions, v. 100, p. 457-475, 1994.

DE DEAR, R. Thermal Comfort in Practice. Indoor Air Journal, v. 14, supl. 7, p. 32-39, 2004.

FANGER, P. O. Thermal Comfort. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970. Technical University of Denmark, Laboratory of heating and Air Conditioning.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S.R. Manual do conforto térmico. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

HELLWIG, R. T.; BISCHOF, W. Gültigkeit Thermischer Behaglichkeitsmodelle. Bauphysik Journal, v. 28, n. 2, p. 131-136, 2006.

HUMPHREYS, M. A. Field Studies of Thermal Comfort Compared and Applied. Building Services Engineer. Watfort: v. 44, p. 5-27, 1976.

HUMPHREYS, M. A. The variation of comfortable temperatures. Energy Research, v. 3, p. 13-18, 1979.

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. 2005

_____. ISO 7726: ergonomics of the thermal environments – instruments for measuring physical quantities. 1998.

KUCHEN, E. ; FISCH, M. N. Spot Monitoring: Thermal comfort evaluation in 25 office buildings in winter. Building and Environment Journal, v. 44, 2009.

LAN, L. WARGOCK, P.; LIAN, Z. Quantitative measurement of productivity loss due to thermal discomfort. Energy and Buildings, v. 43, n. 5, p. 1057-1062, 2011.

LORSCH, H.G.; ABDOU, O.A. Impact of the building indoor environment on occupant productivity. ASHRAE Transactions, v. 100, p. 895-901, 1994.

MUI, K.W.; WONG, L.T. Neutral temperature in subtropical climates – A field study survey in air-conditioned offices. Building and Environment, v. 42, p. 699-709, 2005.

NICOL, J. F. Comfort and energy use in buildings - Getting them right. Energy and Buildings. 39 pp. 737-739. 2007.

NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Adaptive Thermal Comfort and Sustainable Thermal Standards for Buildings. Energy and Buildings Journal, v. 34, n. 6, p. 563-572, 2002.

OSELAND, N. A. A Comparison of the Predicted and Reported Thermal Sensation Vote in Homes During Winter and Summer. Energy and Buildings, Lausanne, v. 21, n. 1, p. 45-54, 1994.

RAUE, A. K. et al. Buildings versus HVAC Buildings: a new dutch thermal comfort guideline. In: AIVC CONFERENCE, 25., Prague, 2004. Proceedings… Prague, 2004.

RUPP, R. F.; DE VECCHI, R.; ASMUS, B. F.; CANDIDO, C. M.; GHISI, E. Conforto térmico humano em escritórios com sistema central de condicionamento artificial em clima subtropical úmido: estudos de campo vs. abordagem analítica. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 111-123, jan./mar. 2017.

SANCHES, J. C. M.; QUEIROZ, T. M.; VIEIRA, N. L. Viabilidade da utilização de Coberturas Verdes em Mato Grosso segundo o Balanço Hídrico Climatológico do estado e o Zoneamento Bioclimático brasileiro. In: 4º Seminário de Habitação e Interesse Social, 2011. Anais... Sinop, 2011.

STRAUB, K. W. ; LEÃO, E. F. B.; KUCHEN, E. ; LEÃO, M. Determinação da temperatura de neutralidade em salas de aula do ensino superior para as zonas bioclimáticas do estado de Mato Grosso. Ambiente Construído, Porto Alegre, 2016.

XAVIER, A. A. P. Condições de Conforto Térmico Para Estudantes de 2° Grau na Região de Florianópolis. Florianópolis, 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.