ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Conforto Térmico em escolas públicas: um estudo de caso na escola José Quintella Cavalcanti

Thermal comfort in public schools: a case study at José Quintella Cavalcanti school

Dayany Barreto Vasconcelos
Universidade Federal de Alagoas | Maceió-AL | Brasil | vasconcelosdb@gmail.com
Sabrina Lucia de Farias Silva
Universidade Federal de Alagoas|Arapiraca-AL | Brasil |sabrinafarias9597@gmail.com
Juliana Oliveira Batista
Universidade Federal de Alagoas | Maceió-AL | Brasil | juliana.batista@fau.ufal.br
Fernando Sá Cavalcanti
Universidade Federal de Alagoas | Maceió-AL | Brasil | fernando.antonio@fau.ufal.br

Resumo

Estudos recentes apontam uma ligação intrínseca entre o conforto térmico oferecido pelo ambiente e os níveis de concentração, desempenho e aprendizagem alcançados por seus usuários. Nas instituições públicas de ensino, edificações onde as restrições orçamentárias comumente tornam proibitivo o uso da climatização artificial, a obtenção do conforto térmico depende primordialmente de estratégias passivas de climatização, a exemplo da ventilação natural. O objetivo deste trabalho é avaliar o impacto da velocidade do ar no conforto térmico de uma sala de aula da escola Quintella Cavalcanti, localizada em Arapiraca-AL, município do agreste alagoano, com base em dados de medições in loco de temperatura, utilizando-se a ferramenta *CBE Thermal Comfort Tool* para estimativas de conforto adaptativo conforme a *ASHRAE Standard 55*. Foram realizadas 20 medições in loco na estação quente, calculando-se os índices PMV/PPD. Sob velocidade do ar nula, verificou-se sensação de desconforto. Já as estimativas do efeito do movimento do ar indicaram que, mesmo com velocidades < 0,5 m/s, obter-se-ia conforto térmico entre as 8h e 16h (PMV < 0,5), com um efeito de resfriamento fisiológico de até 2,3°C. Ressalta-se a importância do uso dos princípios de adequação bioclimática em edificações para proporcionar conforto térmico aos ocupantes.

Palavras-chave: *ASHRAE Standard 55*. Conforto térmico. *CBE Thermal Comfort Tool*. Escolas públicas. Simulação.

Abstract

Recent studies have demonstrated a significant correlation between environmental thermal comfort and the concentration, performance, and learning levels of individuals. In public educational institutions, budget constraints often prohibit the use of artificial air

Como citar:
VASCONCELOS, D. B. Conforto Térmico em escolas públicas: um estudo de caso na escola José Quintella Cavalcanti. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

conditioning, making passive cooling strategies, such as natural ventilation, essential for achieving thermal comfort. This study aimed to evaluate the impact of air velocity on thermal comfort in a classroom at the Quintella Cavalcanti school in Arapiraca-AL, a municipality in the agreste region of Alagoas. Using on-site temperature measurements and the CBE Thermal Comfort Tool, adaptive comfort was estimated in accordance with ASHRAE Standard 55. Over twenty measurements were taken during the hot season to calculate the PMV/PPD indices. Results indicated discomfort at zero air velocity, while air movement, even at speeds below 0.5 m/s, achieved thermal comfort (PMV < 0.5) from 8 am to 4 pm, providing a physiological cooling effect of up to 2.3°C. This study underscores the importance of bioclimatic adaptation principles in building design to enhance thermal comfort for occupants.

Keywords: ASHRAE Standard 55. Thermal comfort. CBE Thermal Comfort Tool. Public schools. Simulation.

INTRODUÇÃO

O conforto térmico pode ser definido como o estado mental responsável por expressar a satisfação do ser humano em relação ao ambiente térmico que o cerca [1]. Assim sendo, o indivíduo quando não satisfeito termicamente, pode expressar a sensação de desconforto por frio ou por calor. Nesse sentido, o conforto térmico, quando representado como uma sensação humana, entra no campo da subjetividade e passa a depender de fatores físicos (trocas de calor), fisiológicos (do organismo) e psicológicos (de percepção). De acordo com esses três fatores, evidencia-se a importância de estudar o conforto térmico. Visto que os fatores físicos estão diretamente ligados com a satisfação do indivíduo em sentir-se confortável termicamente, os fatores fisiológicos evidenciam a relação com a melhor produtividade e o melhor desempenho de atividades intelectuais, manuais e de percepção [2]. Já os fatores psicológicos acarretam a conservação de energia, uma vez que, ao perceber um ambiente termicamente confortável, seus usuários não sentirão a necessidade de condicioná-lo artificialmente, reduzindo custos e o consumo de recursos naturais [3].

Levando em consideração a premissa anterior, muitas pesquisas vêm sendo difundidas a fim de delimitar as temperaturas consideradas confortáveis. Nesse âmbito, destacam-se dois grandes grupos: o primeiro refere-se à pesquisa de Fanger, que na década de 1970 elaborou a Teoria do Balanço Térmico, também conhecida como Modelo do PMV/PPD. O segundo grupo refere-se ao Modelo Adaptativo, com a base de dados da ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) que ultrapassa 20.000 votos individuais de conforto e seus dados ambientais equivalentes [4]. Ambos os grupos serão melhor explicados a seguir.

TEORIA DO BALANÇO TÉRMICO – MODELO PMV/PPD

Segundo [4] e [5], a Teoria do Balanço Térmico ou Modelo PMV/PPD foi proposta por Fanger em 1970, após a realização de diversos estudos sobre sensação de conforto térmico na Dinamarca. Esse modelo é aceito como o mais completo dentre os índices de conforto. O PMV (Predicted Mean Vote) é o índice que indica o valor médio de sensação térmica de um grupo considerável de pessoas por meio da escala de sensações de 7 pontos da ASHRAE, que vai do -3 ao +3, (Quadro 1).

Quadro 1: Escala de sensações do Modelo PMV

Sensação	Escala

Muito Frio	-3
Frio	-2
Levemente Frio	-1
Neutro	0
Levemente Quente	+1
Quente	+2
Muito Quente	+3

Fonte: [5], adaptado pela autora 2024.

Dessa forma, quanto mais próximo do ponto Neutro (0), o PMV estiver, mais confortável termicamente um grupo de indivíduos se encontra em determinado ambiente. Em contrapartida, quanto mais afastado estiver do Neutro, mais desconfortável esse grupo está em relação ao frio, quando em valores negativos, ou ao calor, quando em valores positivos. Os valores contidos entre -0,5 e +0,5 são aceitos como confortáveis.

O PPD (*Percentual of Dissatisfied*) é o índice que indica o percentual quantitativo de pessoas insatisfeitas termicamente. Tomando como base um grande grupo de pessoas que gostariam que o ambiente estivesse mais quente ou mais frio, votando na escala de sensações entre +3, +2 para mais quente, ou -3, -2 para mais frio[4].

Mesmo sendo amplamente difundido, o Modelo PMV/PPD é apontado em alguns estudos de campo como responsável por superestimar a sensação de calor, o que leva à proposta de limites de temperaturas inferiores ao realmente necessário. Acrescido a isso, há o argumento de que normalmente os indivíduos consideram uma grande variação de temperatura e velocidade do ar como normal. A partir dessa vertente, nasce o princípio da abordagem adaptativa, proposta de acordo com os estudos de Humphreys no Paquistão [5].

MODELO ADAPTATIVO

O Modelo Adaptativo introduz uma abordagem baseada na premissa de que existe uma série de ações que o indivíduo pode realizar para obter conforto térmico. Desse modo, o desconforto ocorre quando as pessoas não podem realizar essas ações devido a impedimentos do ambiente físico ou social [4].

Assim sendo, são apresentadas três categorias de adaptação: (a) ajustes comportamentais – modificações conscientes ou inconscientes feitas pelas pessoas;
(b) ajustes fisiológicos – respostas fisiológicas das pessoas à exposição à fatores ambientais e térmicos; (c) ajustes psicológicos – percepções e reações as informações sensoriais e térmicas [3].

OBJETO DE PESQUISA

Como apresentado anteriormente, o conforto térmico tem ligação direta com os níveis de percepção e concentração dos usuários de determinado ambiente.

Quando esse ambiente é o escolar, a sensação de conforto implica na qualidade do ensino- aprendizagem dos alunos e professores.

Segundo [5], as condições físicas do ambiente construído são capazes de proporcionar reações fisiológicas de conforto e bem-estar aos seus usuários. Assim sendo, essas relações estão diretamente vinculadas ao processo de ensino-aprendizagem adequado, evidenciando a importância de projetar espaços que favoreçam o conforto do seu público-alvo.

Dada a importância da temática, o presente artigo busca avaliar o conforto térmico em uma sala de aula da Escola Estadual de Educação Básica Professor José Quintella Cavalcanti, situada em Arapiraca-AL com respaldo no Modelo PMV/PPD, da ASHRAE Standard 55 e dos dados obtidos na Dissertação de Mestrado de Dayany Vasconcelos - Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo - Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2018). Através de simulações com o auxílio da ferramenta CBE Thermal Comfort Tool, para testar a influência da velocidade do ar na sensação de conforto térmico dos usuários na sala de aula da escola estudada.

OBJETIVO

O objetivo do presente artigo é avaliar o impacto da velocidade do ar no conforto térmico de uma sala de aula da escola Quintella Cavalcanti, localizada em Arapiraca-AL com base em medições in loco de temperatura, utilizando-se a ferramenta CBE Thermal Comfort Tool para estimativas de conforto adaptativo conforme a ASHRAE Standard 55.

METODOLOGIA

Para a concepção do trabalho, foi realizada a análise e extração dos dados da Dissertação de Mestrado de Dayany Vasconcelos, uma vez que essa dissertação serviu com base para a elaboração do presente artigo. Os dados foram cedidos e liberados para extração pela própria autora e serão sumarizados a seguir.

SUMARIZAÇÃO DA PESQUISA BASE

O presente trabalho teve por base a dissertação de [6], onde observou-se as seguintes variáveis: temperatura do ar (Tar), temperatura de Bulbo Seco (Tbs), temperatura de Bulbo Úmido (Tbu) e temperatura de Globo (TG). As medições foram realizadas em dois períodos do ano: estação seca e estação chuvosa, nos turnos matutino e vespertino. Utilizando-se os seguintes instrumentos: Data Logger – foram instalados 4 em cada sala de aula analisada; medidor de stress térmico com Data Logger – esfera de 15cm. Para as medições foram necessários 15 minutos de calibração, e a coleta de dados foi feita com intervalos de 30 minutos.

Os resultados apresentados por Vasconcelos e utilizados no presente artigo foram obtidos através da média dos dados obtidos em diferentes dias e salas de aula em cada escola. Entretanto, não foram apresentados dados referentes à velocidade do ar. Assim sendo, optou-se neste trabalho, por avaliar a influência da velocidade do ar na sensação de conforto térmico dos usuários de uma das salas de aula em

uma das escolas estudadas, por meio de simulações com o auxílio da ferramenta *CBE Thermal Comfort Tool*.

CARACTERIZAÇÃO DA ESCOLA ESCOLHIDA

A escola escolhida para análise nesse trabalho foi a Escola Quintella Cavalcanti (EQC), que está localizada na Avenida Ventura de Farias - Bairro Eldorado e foi edificada no ano de 1964 em um terreno de doação. Atualmente funciona nos três períodos, atendendo turmas do 1º ao 3º ano do Ensino Médio. (Figura 1).

Figura 1: Vista aérea da Escola EQC.



Fonte: Google Earth, Vasconcelos, 2018.

Seu sistema construtivo é de alvenaria de tijolo cerâmico e conta com beirais de proteção solar, piso de granilite, esquadrias de madeira e ferro pintado, sendo o forro de PVC. As salas de aula são pintadas na cor branco gelo e revestimento cerâmico na cor gelo e azul, cada sala dispõe de dois ventiladores, distribuídos nas paredes laterais. Além disso, conta com pátio interno arborizado e pátio coberto para refeitório. (Figura 2).

Figura 2. Pátio arborizado e Sala de aula da Escola EQC.

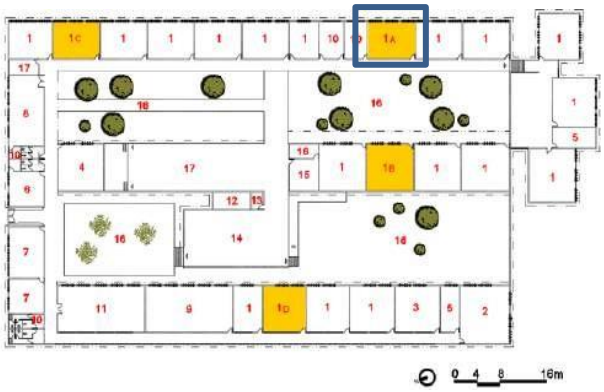


Fonte: [6].

As salas escolhidas por Vasconcelos para medições foram: Sala A: 51,27 m2; Sala B: 64,87 m2; Sala C: 51,32 m2; Sala D: 58,27 m2 representadas na Figura 3. Para o presente artigo, a sala escolhida para análise de dados foi a sala A (Figura 3), o critério de seleção para essa sala foi seu posicionamento em relação ao Norte do

Terreno, visto que sua posição favorece o recebimento dos ventos predominantes na cidade de Arapiraca. (Figura 4).

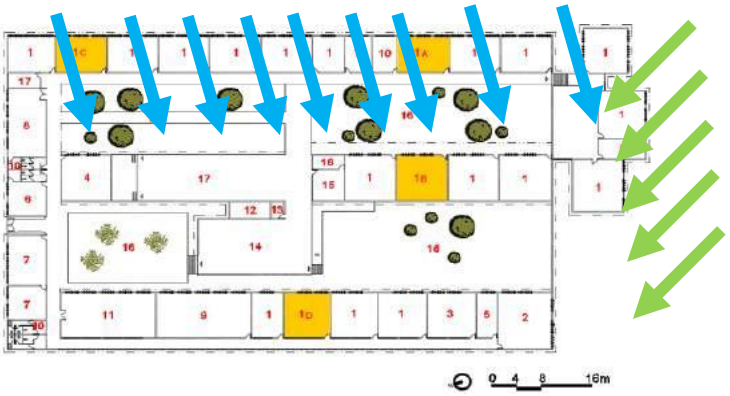
Figura 3. Salas escolhidas para realização das medições na Escola EQC.



Fonte: Vasconcelos, 2018. Adaptado pela autora, 2023.

Em Arapiraca a predominância dos ventos provem da direção Leste (em azul) e de forma secundária da direção Sudeste (em verde). Em relação a velocidade do vento, a mesma varia entre fraca (1,6 a 3,4 m/s) e bonançoso (3,4 a 5,5 m/s), [7]. A Figura 4 a seguir, mostra a implantação da escola em relação a essas direções.

Figura 4. Predominância dos ventos na Escola EQC.



Fonte: Vasconcelos, 2018. Adaptado pela autora, 2023.

Analisando a Figura 4, percebe-se que algumas salas estão melhor posicionadas em relação à predominância dos ventos. Isso se deve pelo fato de que as salas prejudicadas foram implantadas posteriormente através de reformas e ampliações para atender a demanda de alunos.

ANÁLISE E EXTRAÇÃO DE DADOS

Para o presente artigo foram utilizados os valores referentes a Temperatura de Globo, Temperatura de Bulbo Seco e Temperatura de Bulbo Úmido, além da Data e Hora das medições na Sala A da EQC. Foram selecionados os dados de 3 dias de medição (dois na estação chuvosa e um na estação seca) e com intervalo de medição de uma hora. A partir desses dados foram calculados para cada dia e horas, assumindo a Velocidade do Ar (Var) como nula, as seguintes varáveis:

Umidade Relativa (UR) - através de uma Plataforma auxiliar para o cálculo de

propriedades psicrométricas do ar (AGAIS); Temperatura Operativa (Top) – por meio da média da Tbs e TG; e Temperatura Radiante Média (TRM) por meio de uma equação específica aplicada como fórmula em uma planilha do Excel. Figura 5 a seguir.

Figura 5. Dados cedidos e dados calculados a partir das medições na Sala A da EQC.

3	Hora	TBU	TBS	Data	Var	UR	TG	TRM	Top
4	8:00	24,6	27,0	17/04/2018	0,00	82,72	26,3	26,30	26,65
5	9:00	24,4	27,9	17/04/2018	0,00	75,74	27,3	27,30	27,6
6	10:00	24,1	28,8	17/04/2018	0,00	68,68	28,4	28,40	28,6
7	13:00	24,0	29,7	17/04/2018	0,00	63,33	28,9	28,90	29,3
8	14:00	23,9	30,3	17/04/2018	0,00	59,79	29,9	29,90	30,1
9	15:00	24,9	30,4	17/04/2018	0,00	64,94	29,9	29,90	30,15
10	16:00	24,7	28,9	17/04/2018	0,00	71,81	28,4	28,40	28,65
11	8:00	24,3	26,6	26/04/2018	0,00	83,28	26,6	26,60	26,6
12	9:00	23,5	27,7	26/04/2018	0,00	71,15	27,1	27,10	27,4
13	10:00	23,3	28,6	26/04/2018	0,00	64,93	27,9	27,90	28,25
14	13:03	24,7	29,9	26/04/2018	0,00	66,36	28,9	28,90	29,4
15	14:00	25,4	30,7	26/04/2018	0,00	66,28	30,1	30,10	30,4
16	15:00	24,1	29,6	26/04/2018	0,00	64,42	29,1	29,10	29,35
17	8:00	26,8	29,7	04/06/2018	0,00	80,36	29,1	29,10	29,4
18	9:00	25,9	29,2	04/06/2018	0,00	77,61	28,9	28,90	29,05
19	9:30	26,8	30,3	04/06/2018	0,00	76,82	29,4	29,40	29,85
20	10:00	26,1	30,1	04/06/2018	0,00	73,65	29,7	29,70	29,9
21	14:00	27,4	31,5	04/06/2018	0,00	73,71	29	29,00	30,25
22	15:00	26,4	31,5	04/06/2018	0,00	67,89	31,3	31,30	31,4
23	16:00	26,5	31,3	04/06/2018	0,00	69,51	31,1	31,10	31,2

Fonte: Vasconcelos, 2018. Adaptado pela autora, 2024.

As variáveis encontradas após os cálculos foram inseridas na plataforma *CBE Thermal Comfort Tool* da *ASHRAE Standard 55* para obter informações referentes ao PMV: índice que prevê o valor de avaliação do clima médio de um grande grupo de pessoas; PPD: fornece uma previsão quantitativa do número de pessoas que vão estar insatisfeitas com um certo clima ambiente. Sensation: sensação térmica do usuário no ambiente; SET: Temperatura efetiva padrão; CE: Efeito de resfriamento e Velocidade do ar: que para estar em adequação com os padrões de conforto da *ASHRAE-55* precisa estar entre 0,1 e 0,8 m/s. Adotando como padrão a vestimenta (CLO) dos usuários como "roupa típica de verão para ambientes internos e assumindo o valor de 0,5 CLO; e a taxa metabólica de 1 met para pessoas lendo sentadas. Nesse primeiro momento a velocidade do ar para todas as horas e dias de medição foi considerada nula, para que fosse possível entender qual era a sensação dos usuários da escola quando as medições aconteceram e se eles estavam em condições de conforto ou desconforto para o frio ou para o calor. A Figura 6 a seguir mostra a plataforma utilizada e a Figura 7 mostra os resultados obtidos.

Figura 6. Plataforma *CBE Thermal Comfort Tool.*



Fonte: CBE Thermal Comfort Tool, 2024.

Figura 7. Resultados de PMV, PPD, Sensação e SER obtidos através das medições feitas na EQC.

	Hora	Data	PMV	PPD	Sensação	SET
4	8:00	17/04/2018	0,58	12%	Um pouco Quente	27,3°C
5	9:00	17/04/2018	0,9	22%	Um pouco Quente	28,2°C
6	10:00	17/04/2018	1,22	36%	Um pouco Quente	29,1°C
7	13:00	17/04/2018	1,5	48%	Um pouco Quente	29,5°C
8	14:00	17/04/2018	1,71	62%	Quente	30,2°C
9	15:00	17/04/2018	1,79	67%	Quente	30,8°C
10	16:00	17/04/2018	1,27	39%	Um pouco Quente	29,5°C
11	8:00	26/04/2018	0,57	12%	Um pouco Quente	27,3°C
12	9:00	26/04/2018	0,77	18%	Um pouco Quente	27,6°C
13	10:00	26/04/2018	1,05	28%	Um pouco Quente	28,3°C
14	13:03	26/04/2018	1,51	52%	Quente	29,9°C
15	14:00	26/04/2018	1,9	72%	Quente	31,2°C
16	15:00	26/04/2018	1,49	49%	Um pouco Quente	29,7°C
17	8:00	04/06/2018	1,54	53%	Quente	30,6°C
18	9:00	04/06/2018	1,5	51%	Quente	30,5°C
19	9:30	04/06/2018	1,81	67%	Quente	31,7°C
20	10:00	04/06/2018	1,79	67%	Quente	31,4°C
21	14:00	04/06/2018	1,93	73%	Quente	31,9°C
22	15:00	04/06/2018	2,31	89%	Quente	32,8°C
23	16:00	04/06/2018	2,25	87%	Quente	32,7°C

Fonte: autora, 2024.

Verifica-se que todos os resultados analisados indicaram desconforto para o calor, variando entre Um Pouco Quente e Quente. Desse modo, partiu-se para o segundo momento: fazer simulações de diferentes velocidades do ar para que a sensação pudesse chegar ao estado de conforto – Neutro ou o mais próximo disso (Um pouco Quente), sem exceder os limites de velocidades do ar permitidos pela ASHRAE-55. Os resultados dessas simulações serão apresentados na seção – Resultados e Discussões.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como anteriormente apontado, foram feitas simulações de diferentes velocidades do ar atreladas as variáveis calculadas para que a sensação dos usuários fosse considerada confortável ou estivesse o menos desconfortável possível. Desse modo, a velocidade do ar para atingir conforto (Var Con) para cada hora de medição variou entre 0,1m/s e 0,8m/s obedecendo os limites impostos pela *ASHRAE-55*. A partir dessas simulações foram encontrados os valores de Efeito de Resfriamento (Cooling effect – CE);Temperatura Efetiva Padrão (SET), PMV e Sensação após o resfriamento. Como mostra a Figura 8.

Figura 8. Resultados obtidos após as simulações de diferentes velocidades do ar.

3	Hora	Data	PMV	PPD	Sensação	Var Con*	CLO	CE	SET	PMV - alterado	Sensação
4	8:00	17/04/2018	0,58	12%	Um pouco Quente	0,2 m/s	0,5 -RC	1,0°C	26,3 °C	0,25	Neutro
5	9:00	17/04/2018	0,9	22%	Um pouco Quente	0,3 m/s	0,5 -RC	1,4°C	26,2 °C	0,28	Neutro
6	10:00	17/04/2018	1,22	36%	Um pouco Quente	0,4 m/s	0,5 -RC	1,9°C	26,5 °C	0,41	Neutro
7	13:00	17/04/2018	1,5	48%	Um pouco Quente	0,5 m/s	0,5 -RC	2,3°C	26,6 °C	0,47	Neutro
8	14:00	17/04/2018	1,71	62%	Quente	0,8 m/s	0,5 -RC	3,0°C	26,6 °C	0,47	Neutro
9	15:00	17/04/2018	1,79	67%	Quente	0,8 m/s	0,5 -RC	3,0°C	26,9 °C	0,56	Um pouco quente
10	16:00	17/04/2018	1,27	39%	Um pouco Quente	0,4 m/s	0,5 -RC	1,9°C	26,8 °C	0,46	Neutro
11	8:00	26/04/2018	0,57	12%	Um pouco Quente	0,1 m/s	0,5 -RC	0,3°C	27,0°C	0,5	Neutro
12	9:00	26/04/2018	0,77	18%	Um pouco Quente	0,2 m/s	0,5 -RC	1,0°C	26,7°C	0,43	Neutro
13	10:00	26/04/2018	1,05	28%	Um pouco Quente	0,3 m/s	0,5 -RC	1,4°C	26,5°C	0,41	Neutro
14	13:03	26/04/2018	1,51	52%	Quente	0,6 m/s	0,5 -RC	2,5°C	26,6°C	0,45	Neutro
15	14:00	26/04/2018	1,9	72%	Quente	0,8 m/s	0,5 -RC	2,9°C	27,3°C	0,67	Um pouco quente
16	15:00	26/04/2018	1,49	49%	Um pouco Quente	0,6 m/s	0,5 -RC	2,5°C	26,4°C	0,4	Neutro
17	8:00	04/06/2018	1,54	53%	Quente	0,8 m/s	0,5 -RC	2,6°C	26,9°C	0,49	Neutro
18	9:00	04/06/2018	1,5	51%	Quente	0,6 m/s	0,5 -RC	2,4°C	26,9°C	0,46	Neutro
19	9:30	04/06/2018	1,81	67%	Quente	0,8 m/s	0,5 -RC	2,8°C	27,4°C	0,62	Um pouco quente
20	10:00	04/06/2018	1,79	67%	Quente	0,8 m/s	0,5 -RC	2,8°C	27,2°C	0,59	Um pouco quente
21	14:00	04/06/2018	1,93	73%	Quente	0,8 m/s	0,5 -RC	2,8°C	27,7°C	0,73	Um pouco quente
22	15:00	04/06/2018	2,31	89%	Quente	0,8 m/s	0,5 -RC	2,9°C	28,8°C	1,09	Um pouco quente
23	16:00	04/06/2018	2,25	87%	Quente	0,8 m/s	0,5 -RC	2,9°C	28,7°C	1,04	Um pouco quente

Fonte: autora, 2024.

Com velocidade do ar nula 100% das situações estavam em desconforto para o calor, sendo 55% classificadas em Quente (+2) e 45% em Um Pouco Quente (+2) na escala PMV. Após as simulações de velocidade ar identifica-se que, 65% das situações chegou ao estado de conforto Neutro (0). Entretanto, 35% permanecereu em desconforto para o calor. Todavia, vale ressaltar que além da redução no percentual de situações em desconforto, também houve uma melhora na faixa de desconforto em que essas situações se enquadravam, uma vez que as mesmas passaram de Quente (+3 na escala PMV) para uma Um Pouco Quente (+2 na escala PMV). As ocasiões que chegaram ao Neutro tiveram suas velocidades do ar alteradas entre 0,2m/s e 0,6m/s no máximo, já as que ficaram com sensação Um Pouco Quente, chegaram ao limite de 0,8m/s permitidos pela ASHRAE-55. Quadro 2.

Quadro 2: Comparação entre as sensações com velocidade do ar nula e após as simulações

Sensação	Situações sem ventilação	Situações com simulação de ventilação
Quente	55%	0
Um Pouco Quente	45%	35%
Neutro	0	65%

Fonte: autora, 2024.

As simulações possibilitaram também analisar a uma relação diretamente proporcional entre a velocidade do ar e o efeiro de resfriamento encontrada para a sala avaliada, nas condições registradas e simulada. Cabe destacar que nas situações onde a velocidade do ar chegou a 0,8m/s o efeito de resfriamento chegou a aproximadamente 3ºC. Ainda assim, essa velocidade não foi suficiente para que a sensação de conforto chegasse ao neutro nessas situações. 71,42% dos casos que permaneceram com sensação Um Pouco Quente ocorreram em na estação seca no período vespertino.

O Gráfico 1 a seguir mostra a relação entre a velocidade do ar e o efeito de resfriamento.

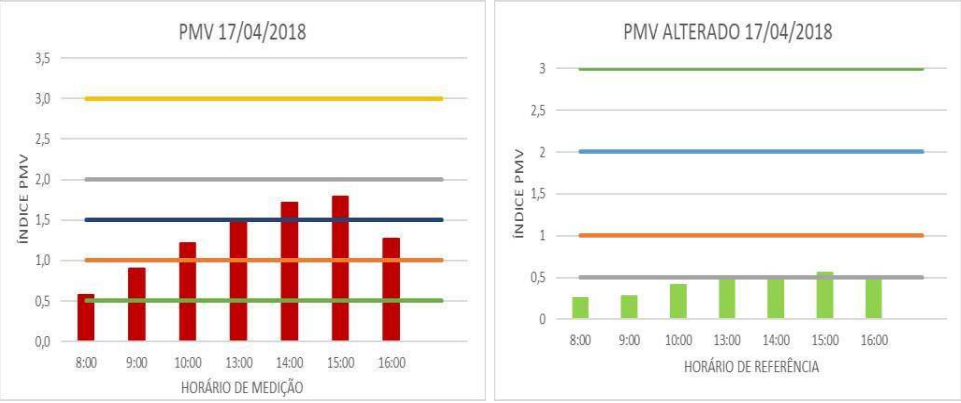
Gráfico 1. Relação entre a velocidade do ar e o efeito de resfriamento.



Fonte: autora, 2024.

Foram feitas também comparações ente o PMV obtido com a velocidade do ar nula e o PMV alterado pelas simulações de diferentes velocidades do ar. Tais comparações foram separadas por dia de medição e serão apresentadas a seguir. No dia 17/04/2018, estação chuvosa, (períodos matutino e vespertino), considerando- se a velocidade do ar como nula, todos os PMVs apresentaram desconforto para o calor, com 71,42% estando na faixa de Um Pouco Quente (+1) e 28,58% na faixa de Quente (+2). Após as simulações, aplicando diferentes velocidades do ar para atingir conforto, conseguiu-se o resultado neutro em 85% dos horários. Ver Gráfico 2.

Gráfico 2. Comparação dos PMVs com Var Nula e após simulações no dia 17/04/2018.



Fonte: autora, 2024.

Analisando o Gráfico 2, verifica-se que a alteração na velocidade do ar, possibilitou a melhoraria nas condições de conforto do ambiente. Uma vez que enquanto com a velocidade nula todos os PMVs estavam para o desconforto por calor, chegando

ao pico de aproximadamente +2 às 15h, com a introdução de ventilação apenas 15% dos horários não atingiu o conforto, visto que o período das 15h passou de Quente para Um Pouco Quente.

No dia 26/04/2018, também da estação chuvosa e com medições nos dois períodos, observou-se resultados semelhantes ao anterior. Todos os horários com ventilação nula apresentaram desconforto para o calor. Atingindo o pico de aproximadamente +2 às 14h. Da mesma forma, após a introdução de ventilação, 83% dos horários atingiu o conforto, com exceção das 14h, que passou da faixa Quente, para Um Pouco Quente. Ver Gráfico 3.

Gráfico 3. Comparação dos PMVs com Var Nula e após simulações no dia 26/04/2018.



Fonte: autora, 2024.

Em contrapartida, no dia 04/06/2018 da estação seca, o PMV apresentou níveis elevados de desconforto, passando de +2 nos horários de 15h e 16h. Após a simulação de ventilação os horários iniciais do período da manhã chegaram ao Neutro (33%) e os demais passaram de Quente para Um Pouco Quente (67%). Ver Gráfico 4.

Gráfico 4. Comparação dos PMVs com Var Nula e após simulações no dia 04/06/2018.



Fonte: autora, 2024.

Após análise dos dados conclui-se que a ventilação mecânica seria uma solução viável para atingir o conforto térmico nas salas de aula em 65% das situações. Uma vez que cada sala de aula contava, em 2018, com dois ventiladores capazes de

atingir a velocidade de ventilação necessária para atingir conforto em cada período, chegando a 0,8m/s como exigido pela ASHRAE-55. Nos horários em que não foi possível atingir a sensação Neutra com ventilação de 0,8m/s, uma solução viável seria o uso do ar condicionado, que atualmente já se encontra instalado nas salas de aula da EQC. Sugere-se que seu uso não seja constante e apenas nos horários em que o uso do ventilador não suprisse a necessidade dos usuários, afim de economizar energia e recursos naturais.

CONCLUSÕES

Por fim, conclui-se que o conforto térmico é de extrema importância para a melhor qualidade do ensino-aprendizagem. Visto que, situações de desconforto implicam em diminuir a capacidade de concentração e desempenho das pessoas. Assim sendo, é preciso que os as escolas sejam planejadas atendendo os requisitos mínimos para proporcionar conforto térmico. Em escolas já existentes, a adequação bioclimática se faz necessária nos casos mais extremos. Além dessa solução, a introdução de ventilação mecânica também é viável. A princípio por meio da utilização de ventiladores e em último caso e apenas quando extremamente necessário, do ar condicionado.

Para pesquisas futuras, propõem-se novas simulações e sugestões para o aprimoramento do conforto térmico em salas de aula de forma passiva, sem o uso de ventilação mecânica.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Juliana Batista e ao Professor Fernando Cavalcante por todo auxilio durante a produção desse artigo, e a Dayany Vasconcelos por ceder os dados necessários para produzi-lo.

REFERÊNCIAS

[1] ASHRAE Standard 55. RAMSPECK, Claire B. et al. ***Thermal environmental conditions for human occupancy*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers**, 2004.

[2] MENDELL, M. J.; HEATH, G. A. **Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance?** *Indoor Air*, v. 15, n. 1, p. 27-52, 2005. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00320.x. Acesso em: 25 nov. 2023.

[3] LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PAPST, A. L. ***Desempenho térmico de edificações***. LabEEE, Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

[4] BATISTA, J. O. ***A arquitetura e seu desempenho térmico no contexto do semiárido alagoano: estudos de caso em Santana do Ipanema-AL***. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2006.

[5] NOGUEIRA, M. C. J. A. et al. **Conforto térmico na escola pública em Cuiabá-MT: estudo de caso**. *Revista Eletrônica em Educação Ambiental*, Rio Grande, RS, v. 14, p. 37-49, 2005. ISSN: 1517-1256.

[6] VASCONCELOS, D. B. ***Avaliação das condições de conforto ambiental em escolas da rede pública: estudo de caso em Arapiraca-AL***. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2018.

[7] NUNES, A.M. L. A. et al. **Intensidade e direção predominante de ventos e precipitação no Agreste Alagoano**. In: *Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído*, v. 15, p. 718-727, 2019.
[8] **Cálculo da Propriedades Psicrométricas do Ar**. Disponível em: https://www.agais.com/toolbox/psicrometria3.php. Acesso em: 24 nov. 2023.
[9] **CBE Thermal Comfort Tool**. Disponível em: https://comfort.cbe.berkeley.edu/. Acesso em: 11 dez. 2023.