

IDENTIFICAÇÃO

Aluno: Ruan Eduardo Carneiro Lucas

Título do Projeto: Mudanças climáticas e a elevação da temperatura: Implicações no conforto, na saúde e no desempenho de alunos em ambientes de ensino inteligentes (NEWS ICT) em áreas de regiões brasileiras

Título do Plano: Conforto e percepção térmica em ambientes de ensino inteligentes

RESUMO

Compreender a relação térmica que existe entre os indivíduos e um ambiente é importante quando se quer analisar como as condições existentes propiciam a realização das atividades de forma eficiente. Em salas de aula e ambientes de ensino inteligente (*News ICT*) não é diferente, e entender como os estudantes sentem-se com relação ao seu ambiente de trabalho torna-se papel fundamental no âmbito educacional. O entendimento da percepção possibilita promover alterações térmicas que possam influenciar positivamente na saúde e no conforto. Essa influência positiva também tende a otimizar o processo de aprendizagem. Logo, a busca por melhorias constantes nesses ambientes vem se tornando fundamental, como explicam Almeida e Freitas (2014), que a excelência em condições estruturais educacionais tem se tornado um objetivo claro de qualquer sociedade moderna. Assim, a forma de compreender a percepção dos estudantes com relação às condições termoambientais é a partir do conforto térmico, que é subjetivo e indica satisfação com as condições térmicas do espaço habitado. É dentro desse cenário que o objetivo desse trabalho se propõe analisar o conforto térmico dos estudantes em três ambientes de ensino localizados em cidades diferentes na Região Nordeste. Identificar a percepção térmica dos ocupantes e a relacionar com as condições térmicas existentes; calcular os índices normativos PMV e PPD; e por fim, verificar se esses índices compreendem de forma concisa a sensação térmica dos ocupantes. Para tais objetivos, foram realizados experimentos em ambientes de ensino inteligente nas cidades de João Pessoa, Teresina e Petrolina. Nas duas instituições a temperatura do ar foi controlada, e foram medidos os parâmetros físicos para calcular o PMV e PDD; em paralelo, foram aplicados questionários abordando questões pessoais e térmicas do local. Utilizando os softwares Excel (tabulação dos dados) e R (programação e testes estatísticos) analisou-se os dados. Logo, concluiu-se que existiram similaridades na percepção térmica dos ocupantes dos três ambientes, e que a aclimação com as condições da região influenciou nesse resultado. Outro ponto importante foi a relação forte entre a sensação térmica e índice normativo (PMV), ou seja, o comportamento da variação do PMV foi similar ao da sensação térmica. Por fim, observou-se quando a temperatura do ar estava no entorno de 24°C o índice $10\% < PPD < 15\%$, porém quando a temperatura do ar estava no entorno de 20°C e 28°C o índice do PPD estava acima de 15%, contrariando a norma ISO 7730/2005.

PALAVRAS-CHAVE: Ambiente de ensino inteligente, Sensação térmica, PMV, PPD

1 INTRODUÇÃO

Na sociedade contemporânea grande parte da população mundial desempenha suas atividades em ambientes internos fechado, predominando uma má circulação do ar, bem como, não propiciando contato direto com a radiação solar. Nessa perspectiva, as condições ambientais desses lugares podem trazer danos psicológicos e principalmente fisiológicos aos ocupantes, e conforme Conceição e Lúcio (2011), a qualidade de ambientes térmicos interiores pode influenciar significativamente na saúde e no conforto humano.

Com os estudantes não é diferente, estes passam a maior parte do seu dia em salas de aula ou em ambientes de ensino inteligente. Esse último é definido como espaços de aprendizagem que dispõem de aparatos tecnológicos, como computadores, data show, entre outros. Esses locais são exemplos de ambientes fechados no qual as oportunidades de adaptação as condições físicas do local são limitadas durante o período de aulas (CORGNATI et. al.,2009). Diante dessa afirmativa, torna-se importante avaliar esses ambientes, analisando as condições existentes, entendendo as necessidades de adaptação e

procurando alternativas na busca por um ambiente aceitável, influenciando assim no desempenho dos ocupantes.

Essa investigação tem aumentado cada vez mais, pois as sociedades atuais passaram a reconhecer que uma educação de qualidade influencia na formação cidadã e eleva o nível cultural da mesma. Segundo Almeida e Freitas (2014), a excelência em educação é um objetivo claro de qualquer sociedade moderna. Nesse contexto, faz-se necessário proporcionar aos estudantes estruturas físicas e condições ambientais de qualidade, aguçando assim, a memorização, percepção e o raciocínio lógico.

Assim, entender a afinidade das pessoas quanto ao ambiente térmico e também avaliá-lo torna-se essencial. A avaliação desses ambientes se dá a partir do conforto térmico. Segundo Coutinho (2009), o conforto térmico é um estado de espírito que reflete satisfação com as condições térmicas do ambiente no qual a pessoa se encontra. Para o cálculo desse índice, leva-se em consideração variáveis pessoais e físicas, como temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade relativa, entre outras. (KATAFYGIOTOU; SERGHIDES,2014)

Entretanto, são as condições ambientais, como temperatura e umidade relativa, os principais fatores que alteram o estado de conforto. Como nas salas de aula esses fatores também são determinantes, torna-se essencial avaliar termicamente esses ambientes. Para isso, a ISO 7730, indica que essa avaliação é calculada a partir de dois índices: O voto médio estimado, conhecido como PMV e a percentagem de pessoas insatisfeitas, PPD.

Dentro do cenário apresentado, avaliar os parâmetros térmicos do local e compreender a percepção dos ocupantes é de extrema importância quando se deseja oferecer condições térmicas de qualidade. Sendo assim, o objetivo desse estudo é avaliar o conforto térmico de estudantes em três ambientes de ensino inteligentes, localizados em estados diferentes da região nordeste do Brasil. Identificando a sensação térmica dos ocupantes e comparando-as com a avaliação normativa do ambiente.

2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo analisar o conforto térmico de estudantes submetidos a variação da temperatura do ar em três ambientes de ensino inteligente da região nordeste do Brasil.

2.1 Objetivos específicos

- a) Analisar a percepção térmica dos estudantes mediante a variação de temperatura;
- b) Compreender a variação do índice PMV
- c) Identificar a porcentagem de pessoas insatisfeitas nos ambientes;
- d) Relacionar a percepção térmica com o índice PMV.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo consistiu em uma pesquisa experimental, onde foi manipulado a temperatura do ar visando identificar o comportamento dos ocupantes mediante mudanças nas condições ambientais internas. A manipulação ocorreu objetivamente na alteração das temperaturas diretamente no refrigerador de ar (ar-condicionado).

Esse experimento foi realizado em três dias consecutivos, onde as temperaturas propostas foram de 20°, 24° e 30°. Essas temperaturas foram escolhidas para representar uma possível sensação de desconforto por frio (20°C); sensação de conforto (24°C) e de desconforto por calor (30°C). A ISO 7730/2005 corrobora essa escolha, pois indica que a temperatura de conforto varia entre 22° e 24°C.

O estudo foi realizado em três ambientes de ensino inteligente localizados em cidades da região Nordeste do Brasil, cujo as condições climáticas predominantes são quentes durante a maior parte do ano. A instituição “A” estava localizada na cidade de João Pessoa-PB; a instituição “B” na cidade de

Teresina; e a instituição “C” em Petrolina. A amostra das três instituições foi composta de estudantes universitários das ciências exatas.

3.1 Coleta de dados

Nos três dias de experimento foram coletados dados referentes as variáveis físicas, variáveis pessoais e parâmetros subjetivos. Com relação as variáveis físicas foram mensurados os seguintes parâmetros: Temperatura do ar (t_a); Temperatura de bulbo úmido (t_w); temperatura operativa (t_o); Umidade relativa do ar (ur) e velocidade do ar (va).

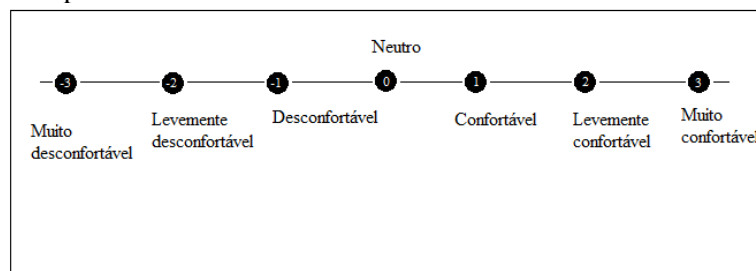
Os parâmetros citados anteriormente foram medidos através de dois instrumentos, um TGD-400 medidor de estresse térmico; e uma Estação Microclimática (BACUC), onde os dois equipamentos estavam certificados pelo INPE. O posicionamento desses equipamentos nos ambientes de ensino inteligentes foi baseado na ISO 7726/1998, onde recomendava-se o seu posicionamento no centro do local a ser analisado. Dessa forma, em todos os ambientes esses equipamentos foram posicionados no ponto central.

3.1.2 Variáveis pessoais e Parâmetros subjetivos

No primeiro dia em cada ambiente de ensino inteligente os alunos responderam um questionário a respeito de informações pessoais, como sexo, idade, peso, roupa utilizada, entre outras. Nos três dias de experimento, quando eles já estavam aclimatados com as condições térmicas propostas, foram questionados a respeito da sensação térmica, ou seja, foram submetidos a uma avaliação subjetiva que visava a entender percepção térmica diante das mudanças nas condições ambientais.

Essa avaliação subjetiva da sensação térmica foi baseada em uma escala de sete pontos, como mostra a fig. 1, variando de -3 a 3, sendo classificada em: Muito desconfortável, levemente desconfortável, desconfortável; neutro; confortável, levemente confortável e muito confortável. De posse dessas respostas, foi possível identificar as sensações dos ocupantes. Destaca-se que essa escala foi baseada na ASHRAE 55 (2013).

Figura 1-Escala de sete pontos



Fonte: Elaboração própria (2016)

3.2 Estimação do índice normativos

Diante da mensuração dos parâmetros ambientais; e da captação das informações pessoais tornou-se possível calcular os índices PMV e PDD. A ISO 7730 indica que esses índices podem ser calculados da forma como está expressa nas equações 1 e 2.

$$\begin{aligned}
 PMV = & (0.303e^{-0.036M} + 0.028)x[(M - W') - 3.05 \times 10^{-3} \cdot \{5733 - 6.99(M - W') - Pa\} \\
 & - 0.42\{(M - W') - 58.15\} - 1.7 \times 10^{-5} \cdot m \cdot (5867 - Pa) - 0.0014 \cdot M \cdot (34 - T_a) \\
 & - 3.96 \times 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot \{T_{cl} + 274\}^4 - (T_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (T_{cl} - T_a)]
 \end{aligned} \quad (1)$$

$$PPD = 100 - 95 * \exp(-0,03353 * PMV^4 - 0,2179 * PMV^2) \quad (2)$$

Após conhecer os índices, eles foram comparados com o estudo de Fanger(1970), que indicava para um PMV igual a 0 a sensação neutra; para um PMV entre -3 e -1 a sensação de frio; e para um PMV entre 1 e 3 a sensação de calor, como indica a tab. 1.

Tabela 1- Resultados obtidos no estudo de Fanger (1970)

Valor do PMV	Sensação térmica	Tipo de desconforto
3	Muito quente	Desconforto por calor
2	Quente	
1	Levemente quente	
0	Neutro	Confortável
-1	Levemente frio	Desconforto por frio
-2	Frio	
-3	Muito frio	

Fonte: Elaboração própria (2015)

3.3 Análise dos dados

Todos os resultados obtidos, mensurações ambientais e as respostas subjetivas foram tabuladas em um software chamado de Excel. Para facilitar a análise dos dados, esses foram agrupados de acordo com o seu respectivo dia e instituição. Por fim, utilizando o software estatístico R, foram realizadas análises estatísticas para uma melhor visualização dos dados, compreensão do ambiente térmico, identificação da percepção dos estudantes, e compreensão da relação entre percepção térmica e índices normativos.

4 RESULTADOS

Os resultados foram subdivididos em três tópicos referentes a cada ambiente de ensino inteligente (A, B e C). Em cada instituição foram obtidos resultados referentes a: Percepção térmica; e Comparação da avaliação normativa (PMV) com a sensação térmica.

4.1 Instituição “A”

Como era um experimento e tentou-se manipular a temperatura para 20°,24° e 28°C referente a cada dia, obteve-se uma pequena variação nessas temperaturas. Para o dia em que era esperado 20°C obteve-se o valor médio durante o experimento de 20,50°C e o desvio padrão de 0,1°C. Para o dia em que era esperado 24°C foi obtido a temperatura média de 23,14°C e o desvio padrão de 0,094°C. Já para o dia em que foi proposto 28°C obteve-se uma temperatura média do ar de 28,75°C e um desvio padrão de 0,14 (Tabela 2).

Tabela 2- Temperatura proposta e valores médios obtidos

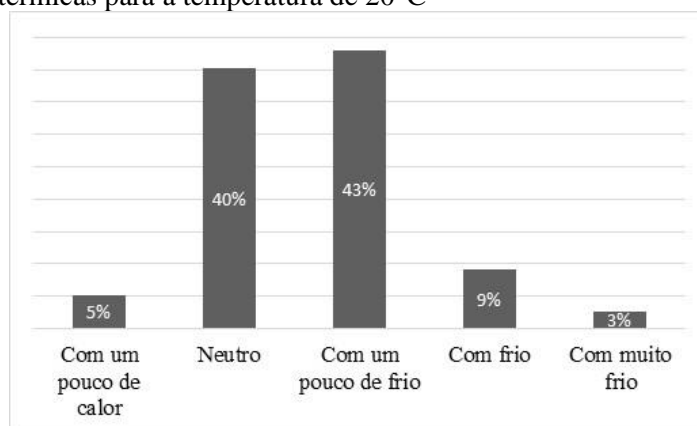
Temperatura proposta (°C)	Temperatura média obtida (°C)	Desvio padrão (°C)
20	20,5	0,1
24	23,14	0,094
28	28,75	0,14

Fonte: Elaboração própria (2016)

4.1.1 Análise da percepção térmica

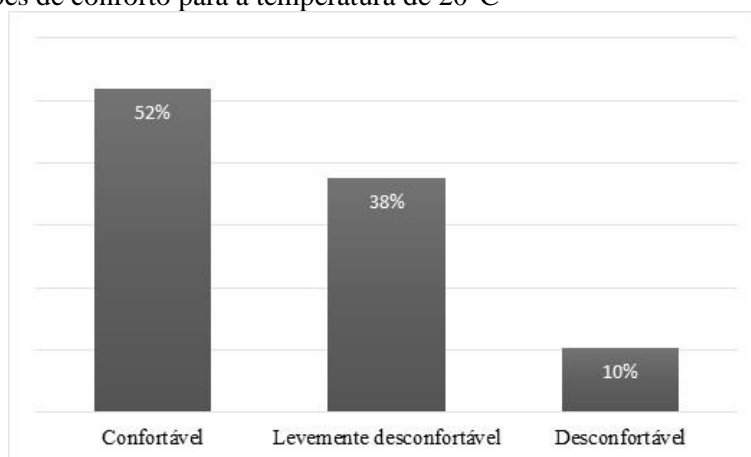
Analisando a percepção térmica dos ocupantes para a temperatura proposta de 20° C observa-se a predominância de duas sensações, a sensação de neutralidade com 40%; e um pouco de frio com 43% (Fig. 2). Ainda nesse sentido, e de acordo com a fig. 2, cerca de 52% dos ocupantes estavam confortáveis com as condições, enquanto que 48% sentiram algum tipo de desconforto. Ou seja, pode-se inferir que a sensação de frio prevaleceu para essa amostra.

Figura 2- Sensações térmicas para a temperatura de 20°C



Fonte: Elaboração própria (2016)

Figura 3- Percepções de conforto para a temperatura de 20°C

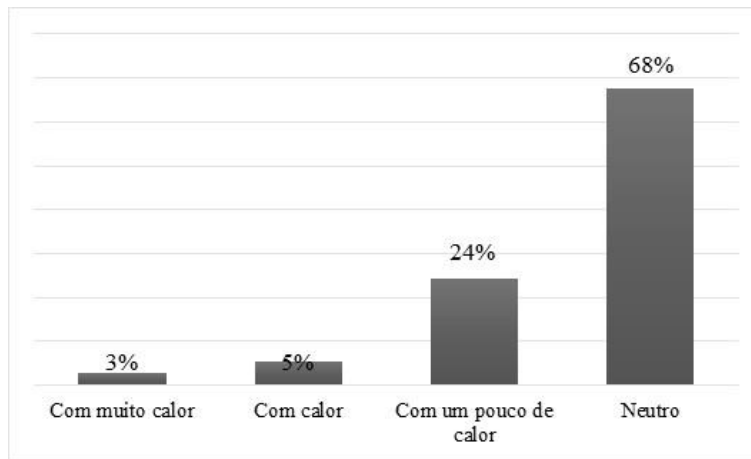


Fonte: Elaboração própria (2016)

Assim como para temperatura de 20°C, prevaleceu a sensação de neutralidade para a temperatura proposta de 24°C. Entretanto, como mostra a fig. 4, esse percentual sofreu um aumento (68%). Destaca-se também que nenhum ocupante teve qualquer sensação de frio.

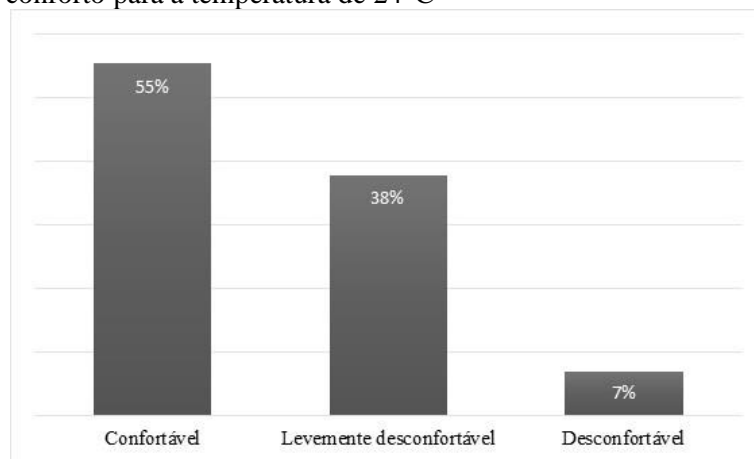
Por outro lado, apesar da sensação de neutralidade ter aumentado com relação ao dia anterior, a percepção de conforto térmico não sofreu grandes alterações como mostra a fig. 5, esse percentual foi de 55% ficando próximo do percentual do dia anterior.

Figura 4 - Sensações térmicas para a temperatura de 24°C



Fonte: Elaboração própria (2016)

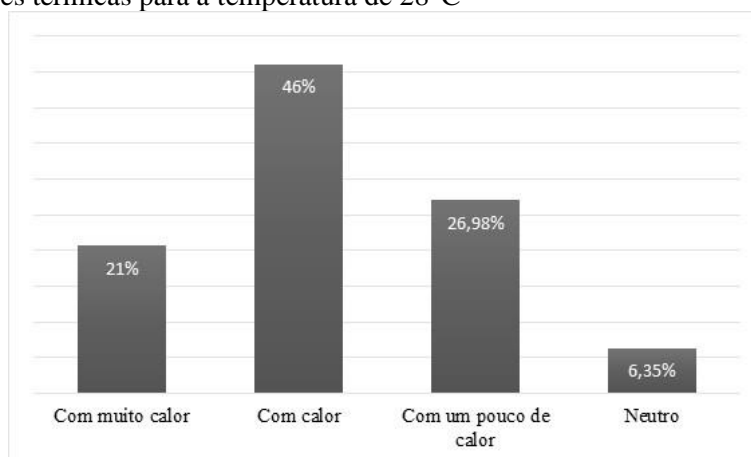
Figura 5 - Percepções de conforto para a temperatura de 24°C



Fonte: Elaboração própria (2016)

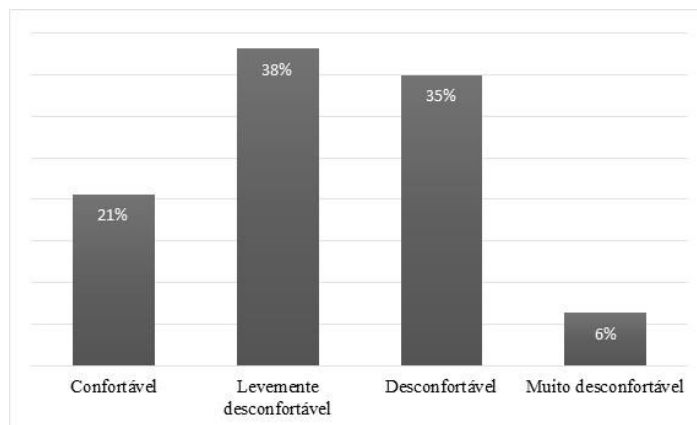
Para a temperatura proposta de 28°C prevaleceram as sensações de calor (46%); com um pouco de calor (26,98); e com muito calor (21%). A sensação de neutralidade que tinha prevalecido nos dias anteriores, apresentou o menor percentual conforme mostra a fig. 6 (6,35). Diante de todo esse cenário a sensação de desconforto ficou evidenciado na fig. 7, onde o percentual de indivíduos confortáveis foi de apenas 6%.

Figura 6 - Sensações térmicas para a temperatura de 28°C



Fonte: Elaboração própria (2016)

Figura 7 - Percepções de conforto para a temperatura de 28°C



Fonte: Elaboração própria (2016)

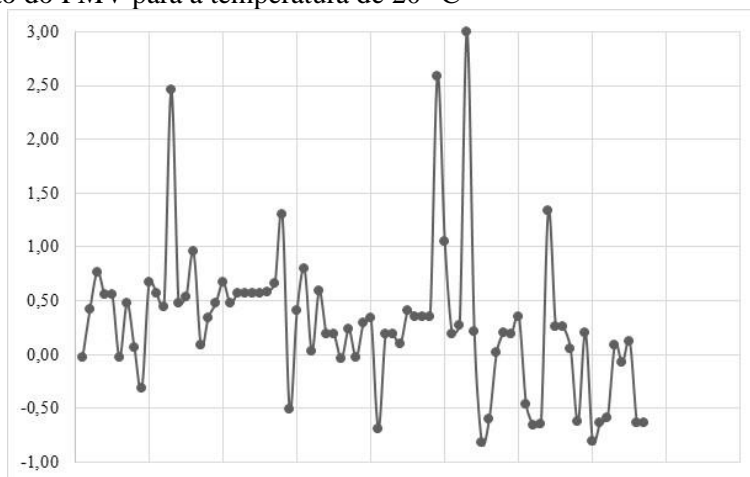
4.1.2 Comparação da avaliação normativa com a sensação térmica

A ISO 7730 indica que um ocupante está confortável em um ambiente termicamente moderado quando $-0,5 < PMV < 0,5$. Nesse contexto, visualiza-se na fig. 8 que para a temperatura de 20° C a maioria dos valores encontrados estiveram dentro do intervalo mencionado anteriormente. Os valores de PMV inferiores a zero eram esperados em virtudes das condições térmicas propostas.

A fig. 9 permitiu a comparação entre o valor obtido pelo índice normativo (PMV) e a sensação térmica dos ocupantes, nela observa-se que existiu uma congruência entre essas duas variáveis. Ou seja, o índice normativo apresentou o mesmo comportamento da sensação térmica dos ocupantes, mesmo apresentando pequenas divergências. Isso ficou justificado pelo índice de correlação que foi de 0,78.

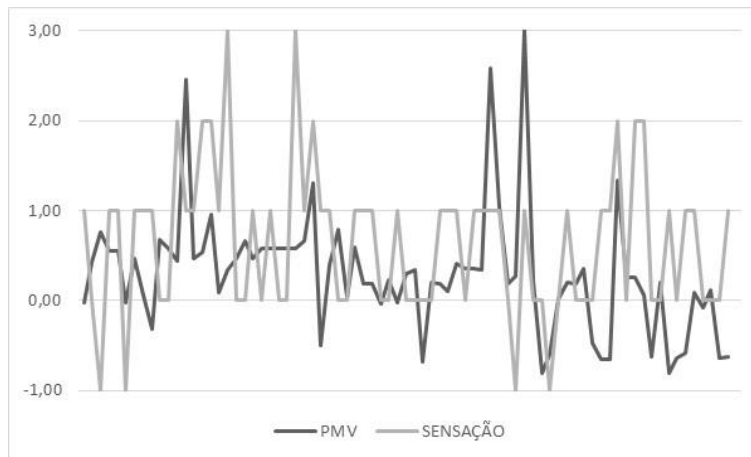
Outro índice muito utilizado nessa avaliação é o PPD, que indica o percentual de pessoas insatisfeitas em determinado ambiente. A ISO 7730 estipula um percentual de 10% para que um ambiente seja considerado aceitável termicamente, e alguns autores expandem esse percentual até 15%. Nesse contexto, o PPD nesse dia foi de 13,96%, ficando dentro dos limites estabelecidos.

Figura 8 - Variação do PMV para a temperatura de 20° C



Fonte: Elaboração própria (2016)

Figura 9 - Comparação do PMV e Sensação térmica para temperatura de 20° C

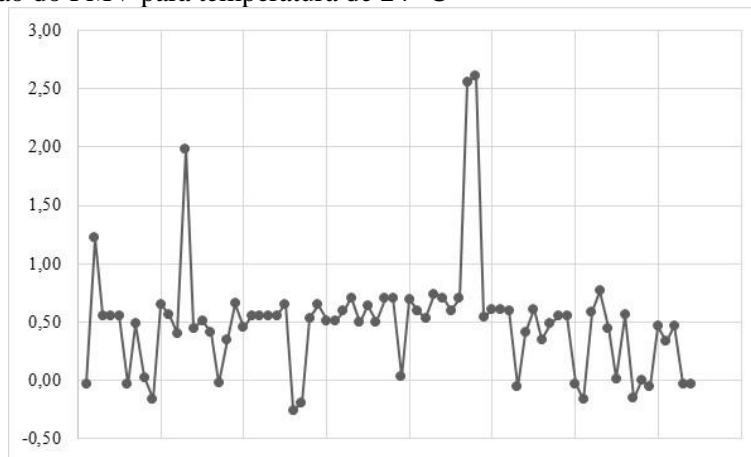


Fonte: Elaboração própria (2016)

Para o dia em que a temperatura proposta foi de 24° quase todos os valores do PMV estiveram entre o intervalo mencionado pela norma (Figura 10). Entretanto, quando comparou-se esses valores com a sensação térmica (Figura 11) observou-se uma leve discordância entre esses dois índices. Como essas duas variáveis estavam correlacionadas, pode-se assumir que a diferença existente entre a temperatura proposta (24°C) e a temperatura média obtida (23,14); e a adaptabilidade térmica desses ocupantes podem ter influenciado nessas divergências.

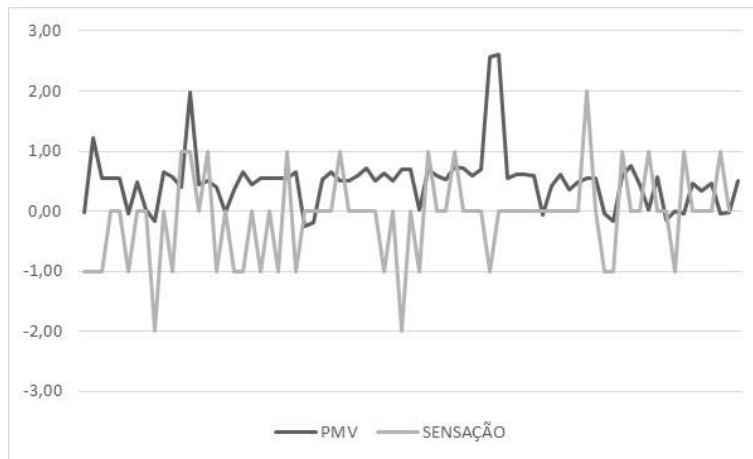
Com relação ao índice PPD, o percentual encontrado nesse dia foi de 13,69%. Tal percentual está dentro dos limites aceitáveis para um ambiente termicamente moderado. Em comparação com o dia anterior esse percentual sofreu uma leve diminuição.

Figura 10 - Variação do PMV para temperatura de 24° C



Fonte: Elaboração própria (2016)

Figura 11 - Comparação do PMV e Sensação térmica para temperatura de 24° C

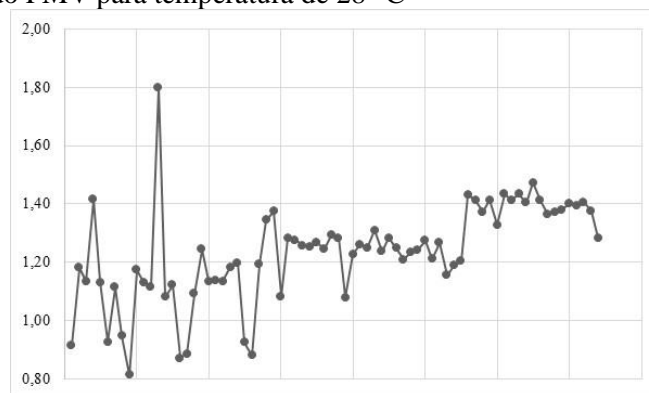


Fonte: Elaboração própria (2016)

A temperatura proposta de 28°C fez com que os índices PMV fossem todos superiores a 0,5 como mostra a fig. 12. Comparando esses índices com a sensação térmica e assumindo que estão fortemente correlacionados (Figura 13) observa-se algumas diferenças. Por mais que o índice indique que o ambiente esteja termicamente quente, em determinados casos esses valores foram inferiores aos indicados pelos estudantes. Logo, pode-se assumir que alguns os ocupantes sentiram o ambiente muito mais quente do que o previsto pelo índice normativo.

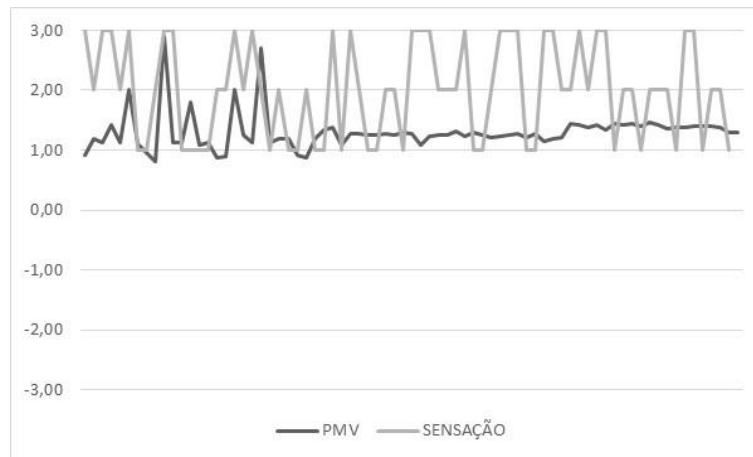
Esse dia que apresentou a temperatura mais elevada, apresentou também o maior percentual de pessoas insatisfeitas com o ambiente, ou seja, o PPD foi de cerca de 37,27%. Esse valor é bem superior ao estipulado pela norma e o adotado por autores dessa temática.

Figura 12 - Variação do PMV para temperatura de 28° C



Fonte: Elaboração própria (2016)

Figura 13 - Comparação do PMV e Sensação térmica para temperatura de 28° C



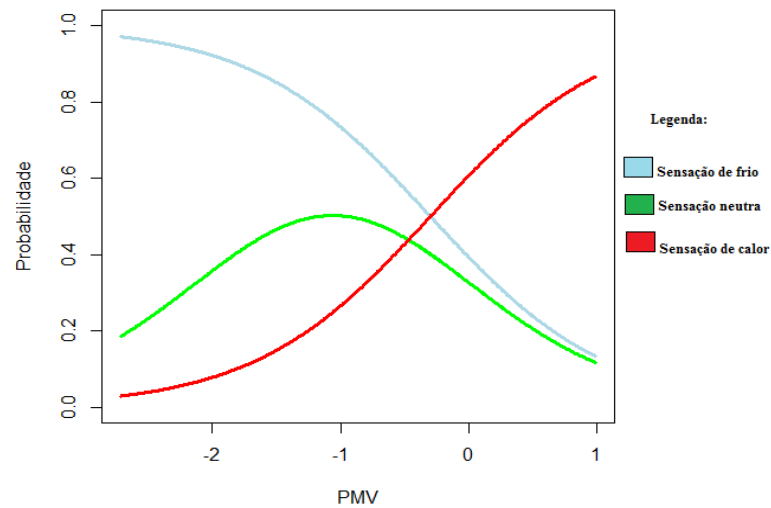
Fonte: Elaboração própria (2016)

A fig. 14 indica um modelo de regressão logística que aborda a relação existente entre o voto médio estimado (PMV) e a sensação térmica. Ela foi agrupada em: Sensação de frio; sensação neutra e sensação de calor. Diante desse agrupamento, foi feita uma regressão logística com o objetivo de entender a relação proposta. O Pseudo R² para esse modelo indicou o valor de 0,40; e o valor-p obtido para a cada curva de sensação foi respectivamente: 0,002 (sensação de frio); 0,0001 (sensação de calor); e 0,0001 (sensação de neutralidade).

Pode-se observar (Figura 14) que para um PMV próximo de -2 a probabilidade de existir a sensação de frio é próxima de 100%. À medida que o PMV vai aumentando e se aproximando de 0, a probabilidade de sensação de frio diminui. Vale ressaltar que para o PMV igual a 0 prevalece a maior probabilidade da sensação de calor. Isso difere do resultado esperado, que seria sensação neutra. Por fim, quando o PMV fica superior a 0, prevalece a sensação de calor, entretanto, destaca-se que a probabilidade da sensação de frio é maior que a sensação neutra.

Entretanto, destaca-se que esse modelo compreende bem a sensação térmica dos ocupantes. Pois, baseado no modelo de Fanger assume-se que para valores de PMV inferiores a 0 prevalece a sensação de frio; e para valores superiores a 0 a sensação de calor. As pequenas diferenças encontradas são oriundas das adaptações e peculiaridades de cada ocupante.

Figura 14 - Modelo de Regressão Logístico da Sensação térmica em função do PMV



Fonte: Elaboração própria (2016)

4.2 Instituição “B”

Para o dia em que a temperatura proposta foi de 20°C observou-se uma temperatura média de 20,07°C e um desvio padrão de 0,01. Para a temperatura proposta de 24°C obteve-se uma temperatura média de 22,95°C e um desvio padrão de 0,02; para a temperatura proposta de 28°C obteve-se a temperatura média de 33,72°C e um desvio padrão de 0,16°C. Esses estão expressos na tab. 3, nela ainda pode-se observar uma certa defasagem para o dia em que a temperatura proposta foi de 28°C.

Tabela 3- Temperatura proposta e valores médios obtidos

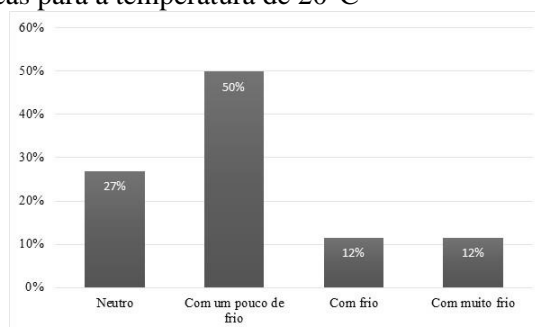
Temperatura proposta (°C)	Temperatura média obtida (°C)	Desvio padrão (°C)
20	20,07	0,01
24	22,95	0,02
28	33,72	0,16

Fonte: Elaboração própria (2016)

4.2.1 Análise da percepção térmica

Com relação a temperatura proposta de 20°C cerca de 50% dos ocupantes tiveram a percepção de um pouco de frio; outros 12% sentiram frio; enquanto outros 12% muito frio. Como percepção é algo muito particular dos indivíduos, para essas condições ambientais também existiram ocupantes (27%) que sentiram a neutralidade térmica (Figura 15).

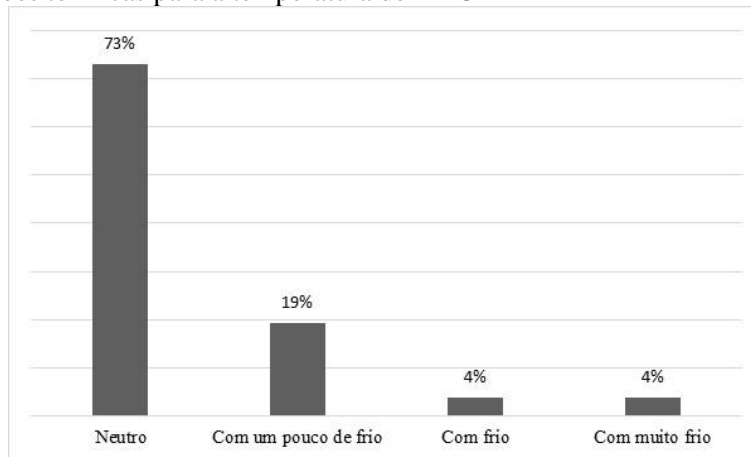
Figura 15: Sensações térmicas para a temperatura de 20°C



Fonte: Elaboração própria (2016)

Para a temperatura proposta de 24°C a maioria dos ocupantes sentiram estado de neutralidade térmica, essa afirmação fica comprovado com o percentual de 73% na figura 16. Contudo, também existiram indivíduos que sentiram um pouco de frio (19%); frio (4%) e muito frio (4%).

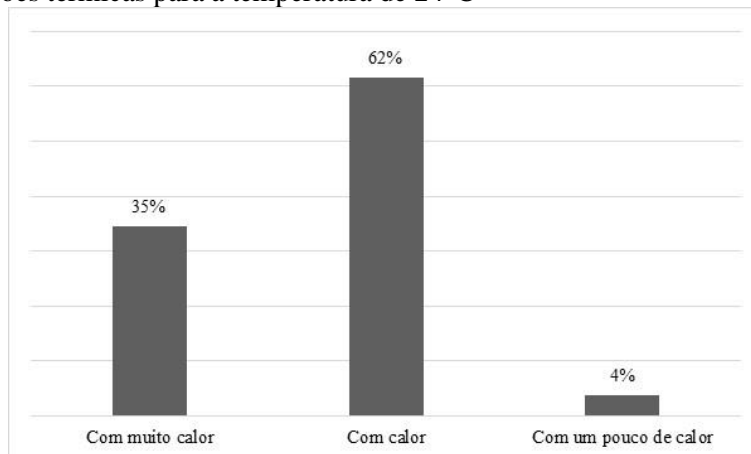
Figura 16 - Sensações térmicas para a temperatura de 24°C



Fonte: Elaboração própria (2016)

Com relação a temperatura proposta de 28°C todos os ocupantes tiveram a percepção de que o ambiente estava termicamente quente. A figura 17 mostra que 62% dos ocupantes disseram sentir-se com calor; outros 35% com muito calor e 4% com um pouco de calor. Destaca-se que esse resultado foi perfeitamente compreensível em função das altas temperaturas obtidas nesse dia.

Figura 17 - Sensações térmicas para a temperatura de 24°C

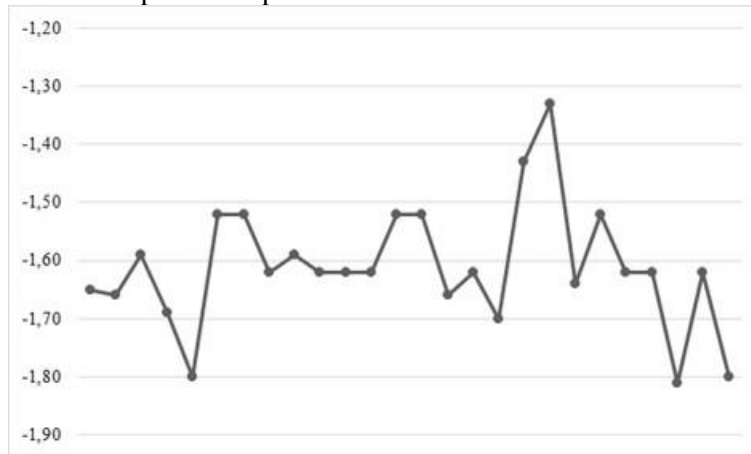


Fonte: Elaboração própria (2016)

4.2.2 Comparação da avaliação normativa com a sensação térmica

Como era esperado os valores de PMV foram inferiores a 0 para o dia em que a temperatura proposta foi de 20°C. A fig. 18 mostra esse índice variou entre $-1,80 < PMV < -1,30$. Sendo assim, esse resultado indicado pelo PMV mostra que pela norma o ambiente estava desconfortável termicamente em função do frio. Dentro desse contexto o percentual de pessoas insatisfeitas foi de 57%.

Figura 18 - Variação do PMV para a temperatura de 20°C

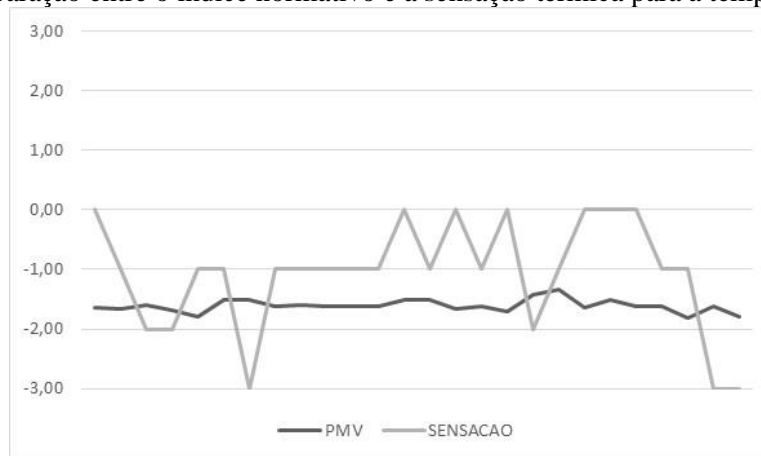


Fonte: Elaboração própria (2016)

A correlação forte (0,9) permitiu a comparação entre o índice normativo (PMV) com a sensação térmica dos ocupantes. Baseado na fig.19, pode-se observar que esses dois indicadores foram congruentes, pois indicaram valores inferiores a 0. Valores inferiores a 0 indicam a sensação térmica de frio. Porém, como trata-se de percepção térmica existiram leves discordâncias nesses indicadores, que podem ser justificadas pelas peculiaridades de cada indivíduo.

Em virtude de estarem altamente correlacionados assume-se que o índice normativo previu a sensação de frio dos ocupantes, entretanto, as características dessa amostra fizeram com que os indivíduos tivessem a sensação do ambiente está um pouco mais quente do que o avaliado normativamente.

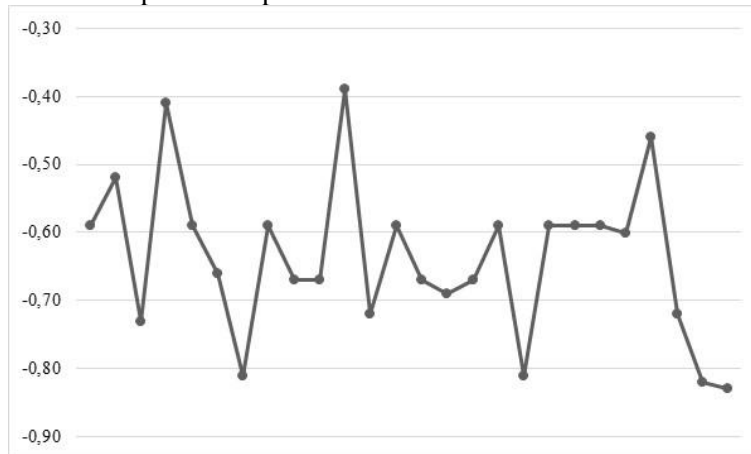
Figura 19 - Comparação entre o índice normativo e a sensação térmica para a temperatura de 24°C



Fonte: Elaboração própria (2016)

Para a temperatura proposta de 24°C a fig. 20 mostra que os índices variaram entre $-0,80 < PMV < -0,40$, logo, essa amostra apresentou um PMV médio de $-0,64$. Esses resultados obtidos fizeram com que o percentual de pessoas insatisfeitas fosse de 15,21%. Esse valor foi superior ao indicado normativamente para que um ambiente seja considerado confortável termicamente.

Figura 20 - Variação do PMV para a temperatura de 24°C

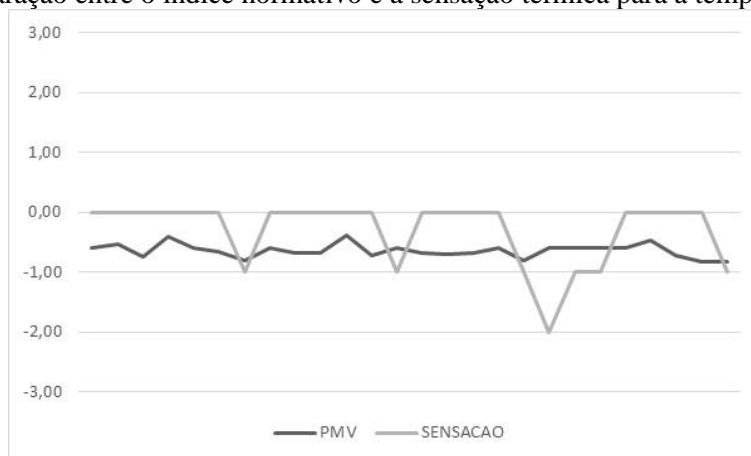


Fonte: Elaboração própria (2016)

Na comparação do índice normativo com a sensação térmica dos ocupantes que foi permitida pela correlação forte mencionada anteriormente (Figura 21), observa-se que os ocupantes tiveram tendência para a neutralidade térmica, enquanto que os valores obtidos normativamente indicaram valores sutilmente menores que zero.

Apesar dessa leve discordância, os dois indicadores mostraram que o ambiente pode ser considerado termicamente confortável, pois os ocupantes tiveram a percepção de neutralidade térmica; e o valores de PMV estiveram dentro do intervalo estipulado pela norma.

Figura 21 - Comparação entre o índice normativo e a sensação térmica para a temperatura de 24°C

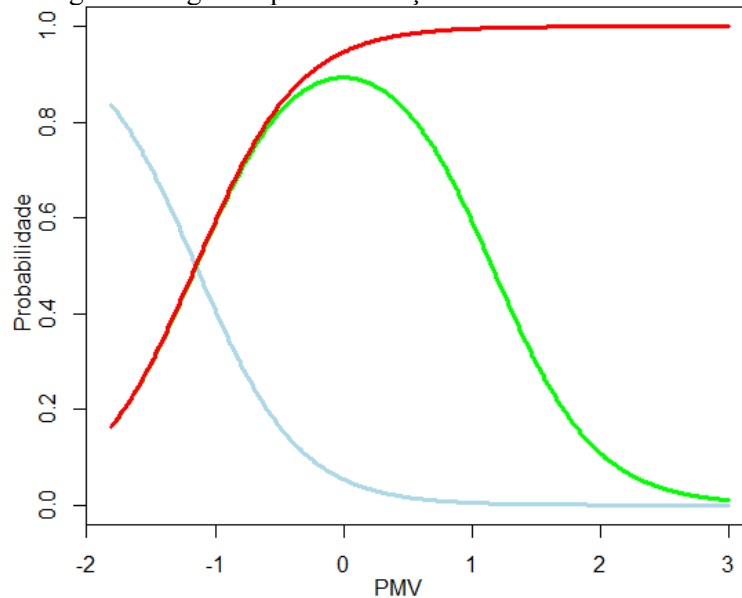


Fonte: Elaboração própria (2016)

Para a temperatura proposta de 28°C os valores do PMV foram todos próximos a 3 como mostra a figura 22. Tal resultado era esperado em virtude das condições térmicas propostas, e foi corroborado com o percentual de pessoas insatisfeitas que foi de 98%.

Comparando o índice normativo com a sensação térmica dos ocupantes (Figura 23) observa-se que os dois indicadores mostraram que o ambiente estava desconfortável termicamente por causa do calor. Essa afirmação ficou justificada em virtude de os dois índices variarem entre 2 e 3. Entretanto, também pode-se afirmar que o índice normativo avaliou o ambiente como sendo mais quente do que o sentido pelos ocupantes.

Figura 24 – Modelo de regressão logística para instituição “B”



Fonte: Elaboração própria (2016)

4.3 Instituição “C”

Analisando o comportamento da temperatura do ar pode-se observar que para a temperatura proposta de 20°C a temperatura média foi de 22,43°C e o desvio padrão foi de 0,09; para a temperatura proposta de 24°C a temperatura média obtida foi 23,04 e o desvio padrão foi de 0,01; para o dia em que a temperatura proposta foi de 28°C obteve-se a temperatura média de 28,52°C e o desvio padrão de 0,04. A tab. 4 mostra esses valores.

Tabela 4 - Temperatura proposta e valores médios obtidos

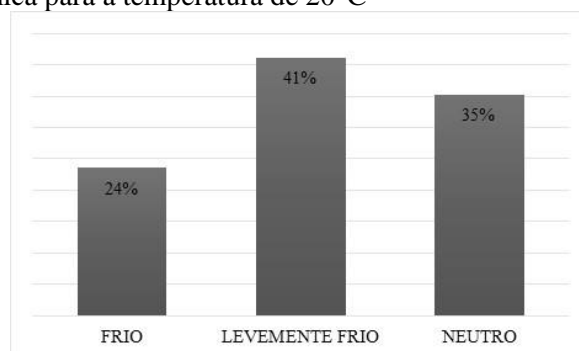
Temperatura proposta (°C)	Temperatura média obtida (°C)	Desvio padrão (°C)
20	22,43	0,09
24	23,04	0,01
28	28,52	0,04

Fonte: Elaboração própria (2016)

4.3.1 Análise da percepção térmica

Para a temperatura proposta de 20°C 41% dos ocupantes tiveram a sensação de levemente frio; outros 24% tiveram a sensação de frio; e apenas 35% tiveram a sensação de neutralidade (Figura 25). Logo, pode-se inferir que mesmo esse dia apresentando uma temperatura média de 22,43°C, ou seja mais de 2°C acima do estipulado, a sensação de frio foi predominante.

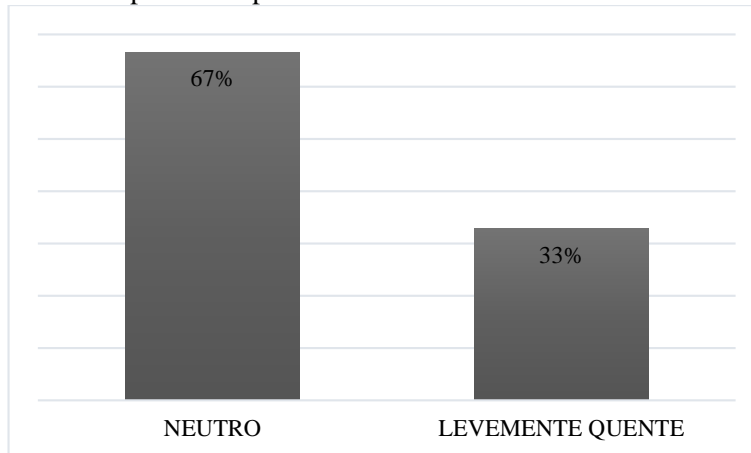
Figura 25 - Sensação térmica para a temperatura de 20°C



Fonte: Elaboração própria (2016)

No dia em que a temperatura proposta foi de 24°C, como mostra a fig.26, a sensação que prevaleceu foi a de neutralidade térmica (67%); enquanto que os outros 33% sentiram um ambiente levemente quente. Com esses percentuais, tornou-se possível afirmar que o maior percentual para a sensação de neutralidade térmica foi nesse dia. O que chama atenção é que a percepção térmica dos ocupantes sofreu uma considerável mudança em comparação com o dia anterior, e isso aconteceu em função do aumento de apenas 2°C na temperatura do ambiente.

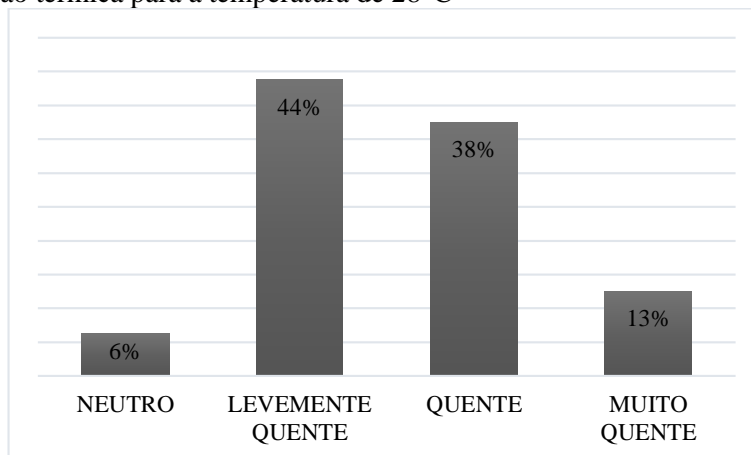
Figura 26 - Sensação térmica para a temperatura de 24°C



Fonte: Elaboração própria (2016)

Por fim, com relação a temperatura proposta de 28°C observou-se (Figura 27) que apenas 6% dos ocupantes sentiram a sensação de neutralidade térmica e os outros 94% sentiram o ambiente com algum nível de calor. Nesse contexto, 44% compreenderam o ambiente como levemente quente; 38% quente; e 13% muito quente. O que chama atenção é que mesmo com essas condições térmicas desfavoráveis existiram ocupantes na condição de neutralidade térmica.

Figura 27 - Sensação térmica para a temperatura de 28°C

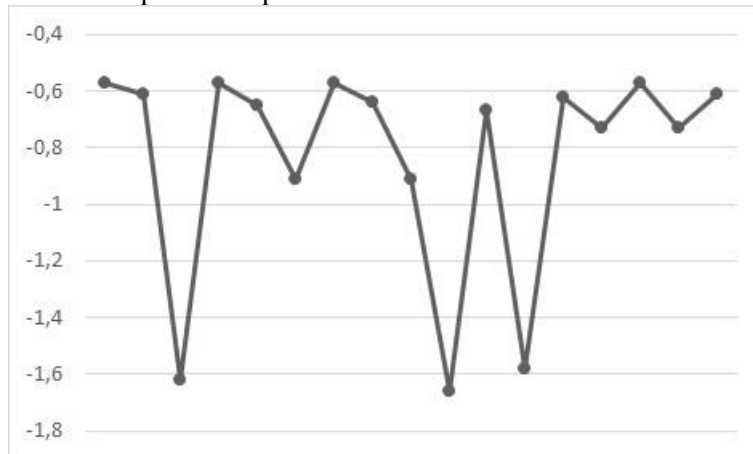


Fonte: Elaboração própria (2016)

4.3.2 Comparação da avaliação normativa com a sensação térmica

Para a temperatura proposta de 20°C os índices PMV foram menores que -0,5 ($PMV < -0,5$) conforme mostra a fig.28. Esse resultado normativo indica que para as condições térmicas propostas o ambiente não é considerado confortável termicamente, prevalecendo um possível desconforto por frio. Observou-se ainda que o PPD, índice que indica o percentual de pessoas insatisfeitas nesse dia foi de 22%.

Figura 28 - Variação do PMV para a temperatura de 20°C

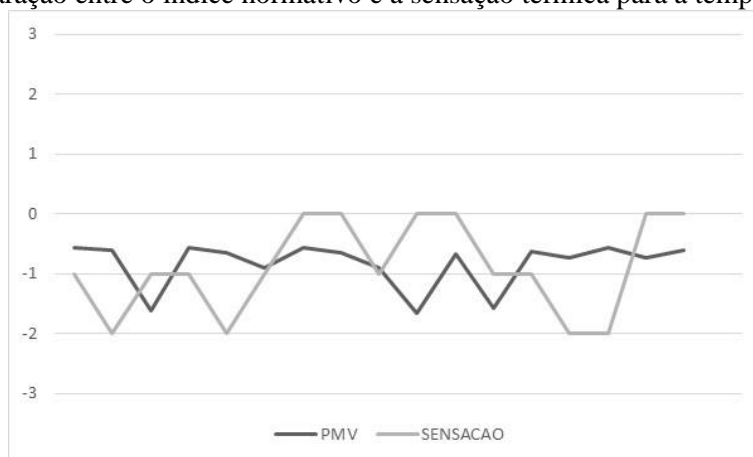


Fonte: Elaboração própria (2016)

Comparando a avaliação normativa (PMV) com a sensação térmica dos ocupantes observa-se que esses dois indicadores mostraram valores inferiores a 0 (Figura 29). Isso indica, que tanto normativamente como na esfera perceptiva o ambiente tendia a apresentar condições de frio. Ainda nesse contexto, também observou-se que determinados ocupantes tiveram a sensação de que o ambiente estava mais frio do que o índice normativo previu.

Por fim, pode-se considerar a correlação dessas duas variáveis como sendo moderada (0,60). Apesar disso, também pode-se inferir que o índice normativo e a sensação térmica dos ocupantes tiveram um comportamento similar apesar das pequenas divergências.

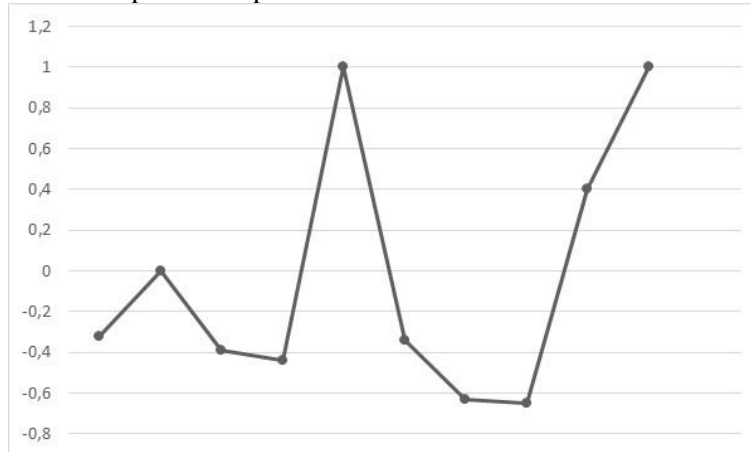
Figura 29 - Comparação entre o índice normativo e a sensação térmica para a temperatura de 20°C



Fonte: Elaboração própria (2016)

A fig. 30 mostra que os valores do PMV para a temperatura de 24°C apresentou um intervalo que variou entre $-0,6 < PMV < 1$. Entretanto, observa-se que a maioria dos valores estiveram entre $-0,5 < PMV < 0,5$, indicando assim, está dentro do intervalo indicado pela norma para que um ambiente seja considerado termicamente moderado. O que chamou a atenção para esse resultado foram os valores baixos do PMV, haja vista que para temperatura de 24°C esperava-se índices um pouco mais elevados. Entretanto, isso foi justificado pelas temperaturas médias obtidas que foram de 23,04°C. Com relação ao PPD, o percentual para esse dia foi de 12,42%.

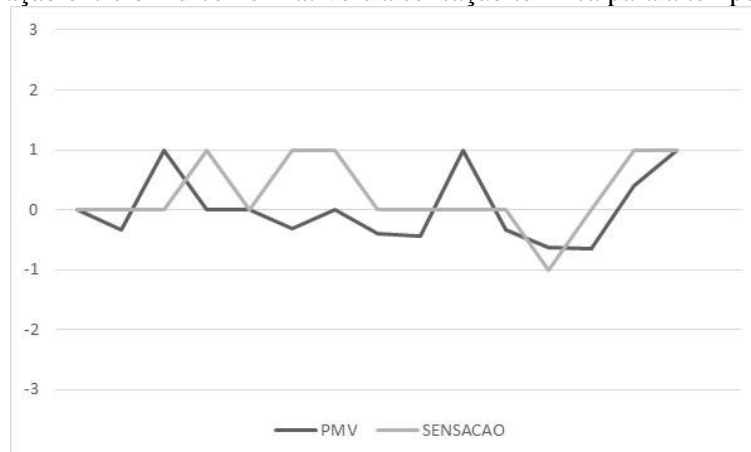
Figura 30: Variação do PMV para a temperatura de 24°C



Fonte: Elaboração própria (2016)

A fig.31 também mostra uma certa congruência entre a sensação térmica e o PMV, ou seja, para essa temperatura o índice normativo conseguiu compreender a sensação térmica dos ocupantes. Com relação as pequenas diferenças encontradas elas podem ser justificadas por peculiaridades dos indivíduos que são variáveis impossíveis de serem mensuradas.

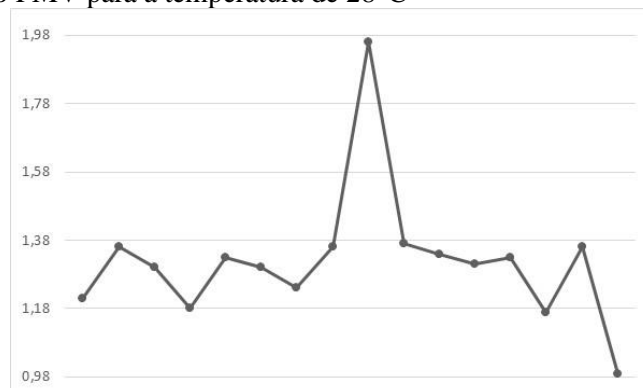
Figura 31: Comparação entre o índice normativo e a sensação térmica para a temperatura de 24°C



Fonte: Elaboração própria (2016)

Para a temperatura proposta de 28°C era esperado que os índices PMV fossem todos superiores a 0, indicando assim que o ambiente estava desconfortável termicamente em função do calor. A fig.32 mostra que todos os índices calculados foram superiores a 1, corroborando a ideia inicial de que o ambiente estava desconfortável termicamente. Corroborando essa afirmação, o PPD apresentou o valor mais alto entre os três dias, 41,28%.

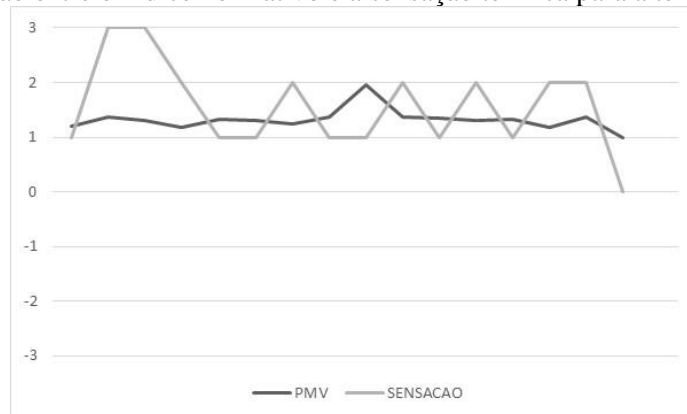
Figura 32 - Variação do PMV para a temperatura de 28°C



Fonte: Elaboração própria (2016)

Conforme mostra a fig.33, apesar de ter existido algumas diferenças entre o índice PMV e a sensação térmica dos ocupantes, pode-se inferir que para essas condições o índice normativo explicou de forma coerente a sensação térmica dos ocupantes.

Figura 33: Comparação entre o índice normativo e a sensação térmica para a temperatura de 28°C



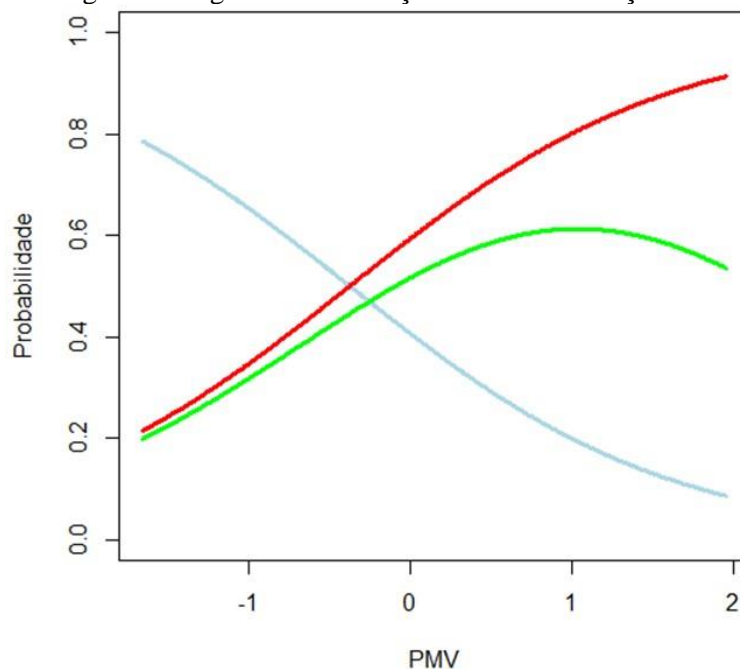
Fonte: Elaboração própria (2016)

A fig. 34 representa o modelo de regressão logística que indica a probabilidade dessa amostra sentir frio, calor ou está em neutralidade, para cada índice PMV. O Pseudo R2 desse modelo foi de 0.59; o valor p para a curva de sensação de frio foi 0,005; para a curva de sensação de calor 0,001; e para a curva de sensação de neutralidade foi de 0,001.

Para um PMV igual a 0 esperava-se uma maior probabilidade da sensação de neutralidade térmica, entretanto, para essa amostra acontece uma maior probabilidade de sensação de calor. Para valores superiores a 0, o resultado esperado seria uma maior probabilidade de sensação de calor, afirmativa essa que é comprovada pelo modelo.

Assim como os modelos de regressão das outras instituições, esse modelo também foi coerente com o estudo realizado por Fanger. Dessa forma, pode-se afirmar tantos em termos teóricos como em termos estatísticos que esse modelo compreende bem a sensação térmica dos ocupantes.

Figura 34 - Modelo de Regressão Logístico da Sensação térmica em função do PMV



Fonte: Elaboração própria (2016)

4.3 Comparação entre as três instituições

A tabela 5 abaixo mostra que para a temperatura proposta de 20°C a percepção que predominou nas três instituições foi a sensação de um pouco de frio. Tal resultado era esperado por se tratar de instituições de uma mesma região e a variação da temperatura média para esses dias não ter sido tão grande.

Para a temperatura proposta de 24°C predominou em todas instituições a sensação de neutralidade térmica. A amostra analisada na cidade de Teresina foi que apresentou o maior percentual nesse dia, cerca de 73%; enquanto que 68% para os ocupantes do ambiente localizado na cidade de João Pessoa; e 67% dos ocupantes de Petrolina estavam com essa sensação.

Com relação a temperatura proposta de 28°C o maior percentual de indivíduos com calor aconteceu na cidade de Teresina com 62%, curiosamente foi o ambiente que apresentou a maior temperatura média. Em João Pessoa e Petrolina predominou a sensação de calor, com 38% e 42% respectivamente.

Tabela 5 - Sensação predominante nas instituições

AMOSTRAS	20°	24°	28°
	SENSAÇÃO PREDOMINANTE	SENSAÇÃO PREDOMINANTE	SENSAÇÃO PREDOMINANTE
João Pessoa	Com um pouco de frio (43%)	Neutro (68%)	Com calor (38%)
Teresina	Com um pouco de frio (50%)	Neutro (73%)	Com calor (62%)
Petrolina	Com um pouco de frio (41%)	Neutro (67%)	Com um pouco de calor (44%)

Fonte: Elaboração própria (2016)

Analisando o índice PPD na tabela 6, observa-se que para a temperatura proposta de 20°C cerca de 57% dos ocupantes do ambiente localizado na cidade de Teresina estavam insatisfeitos com as condições térmica; e outros 22% estavam insatisfeitos com o ambiente analisado na cidade de Petrolina. O menor percentual obtido foi no ambiente localizado na cidade de João Pessoa com 13,96%. Dentro desse cenário, nenhuma instituição se enquadrava dentro dos parâmetros estabelecidos pela ISO 7730, que é um $PPD < 10\%$.

Para a temperatura de 24°C os valores de PPD das amostras de João Pessoa, Petrolina e São Carlos foram inferiores a 15%. Esse resultado não está dentro dos valores estabelecidos pela norma, entretanto, autores como Teli (2014) assumem que esse percentual pode ser expansível até 15%. Logo, pode-se inferir baseado no PPD que para a temperatura de 24° essas instituições estão tendendo ao conforto térmico.

Com relação a temperatura de 28°C observa-se que todas as amostras apresentaram um percentual muito superior a 15%. O que chama atenção é que a instituição da cidade de Teresina apresentou um percentual de 98,86%, que pode ser justificado pelas altas temperaturas existentes no local. Sendo assim, que baseado no índice PDD nenhum ambiente estava propício ao conforto térmico.

Tabela 6 - Análise comparativa do PPD

AMOSTRAS	20°	24°	28°
	PPD (%)	PPD (%)	PPD (%)
João Pessoa	13,96	13,69	37,27
Teresina	56,98	15,21	98,86
Petrolina	22	12,42	41,28
São Carlos	17,07	9,04	25,09

Fonte: Elaboração própria (2016)

5 DISCUSSÃO

Mediante as temperaturas propostas observou-se a diferença de percepção térmica entre os estudantes, o que reflete a subjetividade da percepção térmica em um ambiente. Essa subjetividade é destacada por Teli et. al. (2014), que afirma que as fortes diferenças interpessoais decorrem das respectivas atividades realizadas pelo corpo de cada estudante. Essas atividades são preponderantes na determinação da percepção de conforto térmico.

Embora essa diferença tenha sido verificada, notou-se que entre os ocupantes dos três ambientes de ensino inteligente localizados na região nordeste não existiam diferenças significativas na distribuição de frequência da percepção. Essa similaridade da percepção térmica pode ter ocorrido devido ao fato desses ocupantes serem de uma mesma localidade, tendendo a serem compostas por pessoas que estão adaptadas a condições climáticas similares.

A comparação dessa sensação térmica com a avaliação normativa (PMV) foi possível graças a correlação forte que existe entre essas variáveis. Logo, observou-se uma certa linearidade nessas duas variáveis, entretanto, assume-se que também aconteceram pequenas divergências. Ou seja, pode-se inferir que para essas amostras o índice PMV compreendeu de forma correta a possível sensação térmica dos ocupantes. Entretanto, em determinados momentos o índice pode ter subestimado a sensação térmica real dos ocupantes. Essa afirmação pode ser justificada por Yang (2015), onde ele ressalta o impacto da adaptação na determinação das percepções térmicas individuais e, conseqüentemente, dos grupos de indivíduos.

6 CONCLUSÕES

O presente trabalho avaliou o conforto ambiental dos estudantes em três ambientes de ensino localizados em cidades diferentes na Região Nordeste do Brasil, mediante a variação da temperatura do ar no em torno de 20, 24 e 28°C. Para as amostras analisadas observou-se que a subjetividade da percepção térmica pode refletir nas diferenças de variação das atividades corporais. Essas distinções individuais repercutiram nas diferenças de distribuição das percepções dos referidos grupos. Essas diferenças representam uma variação aleatória natural entre os grupos. Entretanto, também existiram similaridades nas sensações térmicas das amostras, que pode ser justificado pela aclimação dos estudantes com as condições térmicas dessa região.

Foi possível observar que a sensação térmica e o índice PMV estavam fortemente correlacionados para todas as amostras, devido à tendência das mesma serem próximas. Ou seja, a variação do índice normativo apresentou um comportamento similar ao da percepção térmica dos ocupantes. Em decorrência desse resultado, torna-se possível estimar temperaturas de conforto baseado apenas na sensação térmica dos ocupantes. Porém, foram identificadas pequenas discordâncias, que foram consideradas como normais pois a percepção térmica é algo muito subjetivo e as características individuais e de aclimação podem ter influenciado nesse resultado.

Por fim, quando a temperatura do ar estava no entorno de 24°C o índice $10\% < \text{PPD} < 15\%$, porém quando a temperatura do ar estava no entorno de 20°C e 28°C o índice do PPD estava acima de 15%, contrariando a norma ISO 7730/2005

7 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. M. S. F. ; DE FREITAS, V. P. Indoor environmental quality of classrooms in Southern European climate. **Energy and Buildings**, v. 81, p. 127-140, 2014.

ASHRAE. **Standard 55**: thermal environmental conditions for human occupancy. ASHRAE: Atlanta, 2004.

BLATTEIS, C. M. **Fisiologia e patofisiologia da regulação da temperatura**. Ed.: EDUSP, 1997.

BAKÓ-BIRÓZ,S. ; CLEMENTS-CROOME, D. J.; KOCHHAR, N.; AWBI, H.B; WILLIAMS, M.J. Ventilation rates in schools and pupils' performance. **Building and Environment**, v.48, p.215–223, 2012.

CONCEIÇÃO, E. Z. E; LÚCIO, M. M. J.R. Evaluation of thermal comfort conditions in a classroom equipped with radiantcooling systems and subjected to uniform convective environment. **Applied Mathematical Modelling**, v.35, p. 1292-1305, 2011.

CORGNATI, S. P. ; ANSALDI, R. ; FILIPPI, M. Thermal comfort in Italian classrooms under free running conditions during mid seasons: Assessment through objective and subjective approaches. **Building and Environment**, v.44, P. 785-792, 2009.

COUTINHO, A. S.. **Conforto térmico e insalubridade térmica em ambientes de trabalho**. João Pessoa: Ed. Universitária, 2005.

DASCALAKI, E. G.; SERMPETZOGLOU V.G. Energi performance and indoor environmetal qualiy in Hellenic schools. **Energy and buildings**, v.43, p. 718-727, 2011.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort**. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARD. **ISO 7730**: moderate thermal environments: determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the conditions of Thermal Comfort. Geneva, 2005.

KATAFYGIOTOU, M. C. ; SERGHIDES, D. K. Thermal comfortof a typical secondary school building in Cyprus. **Sustainable Cities and Society**, v.13, p. 303-312, 2014.

MORS, S.; HENSEN J.L.M.; LOOMANS, M.G.L.C. ; BOERSTRA, A. C. Adaptive thermal comfort in primary school classrooms: Creating and validating PMV-based comfort charts. **Building and Environment**, v.6, p. 2454–2461, 2011.

TELI, D.; JENTSCH, M. F. ; JAMES, P. A.B. The role of a building's thermal properties on pupils' thermal comfort in Junior school classrooms as determined in Field studies . **Building and Environment**. v. 82, p. 640-654, 2014.

WANG, Z.;LI, A.;REN, J.;HE, Y.. Thermal adaptation and thermal environment in university classrooms and offices in Harbin. **Energy and Buildings**, v.77, p. 192-196,2014.

YANG, Y.; LI, B.;LIU, H.; TAN, M.; YAO, R. A study of adaptive thermal comfort in a well-controlled climate chamber. **Applied Thermal Engineering**, v.76, p. 283–291, 2015.

YUN, H.;NAM, I.;KIM, J.;YANG, J.;LEE, K.;SOHN, J. A field study of thermal comfort for kindergarten children in Korea: An assessment of existing models and preferences of children. **Building and Environment**, v.75, p. 182-189, 2014.

8 PUBLICAÇÕES

LUCAS, R. E. C. Thermal comfort in teaching intelligent environments: comparative analysis of thermal perception in two environments of the northeast region. 2016. **Ceset Journal**, v.22, p.9-17,2016.

LUCAS, R. E. C. Avaliação do conforto ambiental: um estudo de caso em um laboratório de uma faculdade na cidade de João Pessoa – PB. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP 2016)**

9 PARTICIPAÇÃO EM REUNIÕES DO GRUPO DE PESQUISA

O CESET- Conforto, Eficiência e Segurança no Trabalho é um grupo de pesquisa que realiza encontros mensais com o objetivo de que o aluno de iniciação científica apresente o trabalho que está sendo feito. Os encontros possibilitam que o aluno exponha o andamento detalhado da pesquisa e desenvolva melhorias na forma de falar e expor seu conhecimento em público. Mais informações consultar o site www.ct.ufpb.br/lat.