



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

# **CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES DE ENSINO COM VDT EM DIFERENTES REGIÕES BRASILEIRAS**

uan Eduardo Carneiro Lucas – [ruaneduardo94@gmail.com](mailto:ruaneduardo94@gmail.com)



- A **sociedade atual** consome **parte do seu tempo** em **ambientes fechados**, no qual a climatização normalmente é feita por **dispositivos mecânicos**. Porém, em alguns ambientes esse **sistema de refrigeração** não supre as necessidades dos indivíduos, ou seja, **não conduzem a um estado de conforto**.
- As **condições ambientais** desses lugares podem trazer **danos psicológicos e principalmente fisiológicos** aos ocupantes, o que ratificam **Conceição e Lúcio (2011)** quando enfatizam que a **qualidade de ambientes térmicos interiores** **pode influenciar** significativamente na **saúde e no conforto humano**.



- Os estudantes, por exemplo, passam a maior parte do seu dia em salas de aula ou em ambientes de ensino com *Video Display Terminal* (VDT) climatizados.
- Esses lugares são ambientes fechados no qual as oportunidades de adaptação às condições físicas do local são limitadas durante o período de aulas (CORGNATI *et. al.*, 2009).
- Ou seja, as condições existentes e o tempo que os alunos passam em sala de aula não possibilitam a aclimatação térmica.
- Assim, torna-se importante analisar as condições ergonômicas ambientais, entendendo as necessidades de adaptação e procurando alternativas na busca por um ambiente confortável que possa maximizar o desempenho dos ocupantes.



- Em um mesmo ambiente os **ocupantes** tendem a apresentar **respostas fisiológicas diferentes** e, conseqüentemente, **percepções diferentes**.
- Nesse contexto, **Mors et. al. (2011)** considera que a percepção térmica é algo subjetivo e que **fatores pessoais e psicológicos** tendem a **influencia-la** diretamente.
- Para o entendimento dessa percepção existe o conceito de **conforto térmico**, que é definido por **Coutinho (2005)** como uma **condição da mente** que expressa **satisfação com o ambiente térmico**.



- As **condições ambientais** como radiação, temperatura, velocidade e umidade do ar, entre outros, são os **principais fatores** que alteram o **estado de conforto**.
- Logo, torna-se necessária a **avaliação térmica normativa** desses ambientes.
- A norma **ISO 7730 (2005)** indica que essa avaliação é calculada a partir de dois índices: o ***Predicted Mean Vote (PMV)*** ou voto médio estimado; e o ***Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)*** ou percentual de pessoas insatisfeitas.



- A **avaliação térmica ambiental** possibilita **entender** as condições existentes e **indicar possíveis alterações** que aumentem o **bem-estar e a satisfação das pessoas**.
- Corroborando isso, **Almeida e Freitas (2014)** indicam que a **qualidade ambiental** interna dentro de uma sala de aula **está relacionada** diretamente com a **saúde, conforto e desempenho** dos alunos.
- De fato, a qualidade ambiental interior afeta não só a saúde e conforto, mas também a **produtividade dos ocupantes, interferindo na eficiência de aprendizagem, com repercussão sobre a produção e os custos sociais (CORGNATI et. al., 2009)**.
- Diante do que foi exposto, assume-se que a **avaliação das condições ambientais** somado a **compreensão da percepção térmica dos estudantes** tende a possibilitar uma **otimização** do ambiente no **aspecto térmico**.

- A presente monografia teve como base o projeto de pesquisa “**Mudanças Climáticas e a Elevação da Temperatura: Implicações no conforto, na saúde e no desempenho de alunos em ambientes de ensino com VDTs (News ICT) nas regiões brasileiras**”, coordenado pelo Prof. Dr. Luiz Bueno da Silva e financiado pelo Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pelos fundos setoriais CT-Agro, CT-Saúde e CT-Hidro da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP).
- Dentro dos objetivos prévios desse projeto estava a análise do conforto e percepção térmica dos estudantes diante das mudanças nas condições internas ambientais.



- Admite-se que a **maioria dos estudantes** de nível médio e superior passam parte da sua **rotina** diária nos **ambientes de ensino**, muitas vezes sendo **submetidos** a **condições térmicas** distantes do ideal.
- Nesse sentido, **Zomorodian *et. al.* (2016)** indica que os estudantes **passam mais tempo nos prédios escolares** do que em qualquer outro local fechado; e evidencia a **necessidade de disponibilizar aspectos térmicos confortáveis** nos ambientes fechados dessas instituições.
- É necessário proporcionar **aspectos térmicos confortáveis** em virtude do **impacto** direto no **bem-estar de alunos e professores**.



- Batiz (2009) verificou que na condição de neutralidade (conforto térmico) os alunos apresentam bom desempenho nos testes de atenção e memória.
- Em contrapartida, Zomorodian *et. al.* (2016) enfatiza que o desconforto térmico em ambientes de aprendizado proporciona a existência de condições insatisfatórias para professores e alunos.
- Logo, a existência de condições insatisfatórias pode comprometer o equilíbrio corporal e afetar o processo de aprendizagem.

- Dentro de uma **sala de aula** os estudantes tendem a apresentar **sensações térmicas diferentes** mesmo submetidos as **mesmas condições**.
- Tal fato acontece em virtude de os ocupantes apresentarem **fatores e condições pessoais distintas entre si**, resultando em **respostas fisiológicas e equilíbrios corporais diferentes**.
- Segundo **Djongyang *et. al.* (2010)** os **indivíduos** que ocupam o **mesmo ambiente**, pertencendo a uma **mesma cultura** e submetidos ao **mesmo clima**, tendem a indicar **opiniões diferentes** com relação ao conforto térmico **devido à combinação de fatores pessoais** que afetam a percepção.
- Logo, **analisar a percepção térmica** de determinado grupo **é importante** em virtude das **possíveis diferenças existentes**.



- Diversos estudos foram e continuam sendo realizados pelo mundo. Todos eles incorporando a importância da análise perceptiva e avaliação normativa do ambiente.
- Corgnati *et. al.* (2009) desenvolveu em salas na cidade de Turim (Itália); Katafygiotou e Serghides (2014) realizaram um estudo de caso em uma escola secundária do Chipre; Teli *et. al.* (2012) realizou um estudo em Hampshire, Inglaterra; Wang *et. al.* (2014) realizou um na China; Jung *et. al.* (2011) desenvolveu um estudo na Coreia do Sul; Mishra e Ramgopal (2014) realizaram na Índia; Hussin *et. al.* (2013) realizou um estudo na Malásia; Hamzah *et. al.* realizou um estudo na Indonésia; Ziki realizou estudos na Malásia e Japão.
- Diante dos trabalhos supracitados constata-se a importância e diversidade do estudo do conforto térmico em salas de aula e em ambientes de ensino com VDT.

## Objetivo geral:

Avaliar o conforto térmico dos estudantes em ambientes de ensino com VDT de Centros de Tecnologia de Instituições de Ensino Superior (IES) localizados nas regiões Norte, Nordeste, Sul e Sudeste do Brasil.

## Objetivos específicos:

- ✓ Analisar a percepção térmica dos estudantes de cada ambiente;
- ✓ Comparar a sensação térmica dos ocupantes com os valores esperados pelo índice PMV;
- ✓ Analisar o índice PPD em cada ambiente;
- ✓ Analisar quantitativamente a percepção dos ocupantes;
- ✓ Estimar zonas de conforto.



- Transmissão de calor;
- Comportamento do corpo humano mediante alterações térmicas;
- Conforto térmico;
- Modelo de Fanger;
- Síntese das normas referente ao ambiente térmico.

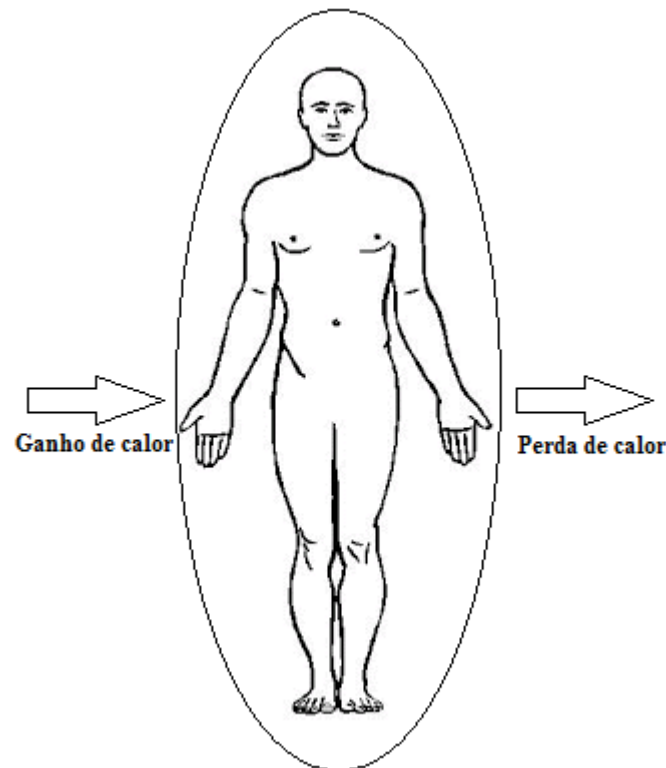
# 1) TRANSMISSÃO DE CALOR



- A **interação térmica** que existem entre o indivíduo e o ambiente passa pela recepção ou emissão de **cargas térmicas**.
- Esse processo acontece através da **transferência de calor**, que segundo Coutinho (2005) consiste na **troca de energia** realizada entre o **sistema e o ambiente**, ocasionado pela **diferença de temperatura** entre eles.
- Ainda nesse sentido, Saa (2006) indica que a “transferência de calor é energia em trânsito devido a uma diferença de temperatura”.

# 1) TRANSMISSÃO DE CALOR

- O **corpo humano** pode ser visto **como um sistema** cuja fronteira coincide com o conjunto pele-vestimenta, por onde **cargas térmicas irão entrar e sair**.
- O balanço térmico é coordenado pelo próprio corpo, que busca alternativas para dissipar o saldo resultante.



Fonte: Elaboração própria (2017)

# 1) TRANSMISSÃO DE CALOR



- Lamberts *et. al.* (2005) indica que as **trocas térmicas** acontecem através dos processos de **condução; convecção; radiação e evaporação**.

## CONDUÇÃO

“A energia é transmitida por meio de impactos entre os átomos constituintes do sistema e pelo deslocamento dos elétrons livres das regiões de alta temperatura para as de baixa temperatura (JORGE, 1990)”.

## CONVECÇÃO

Coutinho (2005) indica que em contato com o sólido, as moléculas de um fluido se aquecem, ficam mais leves e sobem dando lugar a moléculas mais frias e pesadas que, como as anteriores, recebem calor do sólido, ficam mais leves e sobem, em ciclos que se repetem

## RADIAÇÃO

A radiação consiste na transferência de calor entre corpos afastados por meio de ondas eletromagnéticas.

## EVAPORAÇÃO

A evaporação é um processo no qual as moléculas ganham energia suficiente para mudar de um estado para o outro.



## 2) COMPORTAMENTO DO CORPO HUMANO



- O **corpo humano** apresenta **dois tipos de temperatura** na sua interação com o ambiente : **Temperatura interna; Temperatura neutra** (FANGER, 1970);
- Os **mecanismos termorreguladores** são dispositivos que **buscam alternativas** e criam condições para que a **temperatura interna** permaneça sempre **constante** naquele valor (COUTINHO, 2005).
- Ou seja, para qualquer alteração que ocorra, seja aumento ou diminuição da temperatura, o organismo vai buscar alternativas para que temperatura interna esperada seja atingida novamente.

## 2) COMPORTAMENTO DO CORPO HUMANO



- De acordo com **Blatteis (1997)** o corpo humano possui **dois tipos de sensores**: de **alta temperatura** localizado no **hipotálamo** e no núcleo do corpo; e um de **baixa temperatura** distribuídos por **toda a pele**;
- Os **sensores de alta temperatura** enviam **impulsos** ao **mecanismo termorregulador** e ao **córtex** quando a **temperatura do sangue aumenta**;
- Já os de **baixa**, enviam impulsos ao **hipotálamo** e ao **córtex** quando a **temperatura da pele começa a cair**.
- O **córtex** por sua vez responde com atos conscientes: **Vasodilatação**; **Sudorese** e **Vasoconstricção**.

## 2) COMPORTAMENTO DO CORPO HUMANO



- Balanço térmico

$$M - T = C_{RES} + E_{RES} + K + C + R + E + S$$

M - Geração da taxa metabólica (W /m<sup>2</sup>);

T- Trabalho mecânico (W/m<sup>2</sup>);

C<sub>RES</sub> - Troca por convecção no trato respiratório (W/m<sup>2</sup>);

E<sub>RES</sub> - Troca por evaporação no trato respiratório (W/m<sup>2</sup>);

K - Troca de calor por condução (W/m<sup>2</sup>);

C - Troca de calor por convecção (W/m<sup>2</sup>);

R - Troca de calor por radiação (W/m<sup>2</sup>);

S - Armazenamento de calor, acumulando-se no corpo (S/m<sup>2</sup>).

### 3) CONFORTO TÉRMICO



- Segundo Bernardi e Kowaltowski (2006) o **conforto ambiental** está ligado à **efetividade** dos **fatores térmicos, luminosos e acústicos**.
- A ASHRAE indica que o **conforto ambiental** pode ser definido como o **ajustamento do indivíduo ao ambiente** resultando em uma condição de **satisfação percebida**.
- Frota e Schiffer (2001) indicam que essa condição **é resultado** de uma série de **variáveis** que se dividem em **humanas e ambientais**.

### 3) CONFORTO TÉRMICO



- As **condições térmicas** consistem em **um dos fatores** que influenciam no **conforto ambiental**;
- O **conforto térmico** consiste em um **estado psicológico** em que o indivíduo apresenta **contentamento** com os **parâmetros termoambientais** do local no qual está inserido;
- A ASHRAE 55 por sua vez o define como sendo **uma condição da mente** que expressa **satisfação com o ambiente térmico**;
- Segundo Coutinho (2005), o **conforto térmico** necessita de **três condições** para ocorrer: **neutralidade térmica**; **taxa de suor liberada sobre a pele** e a **temperatura da pele** têm que ser **compatíveis** com a **atividade realizada**; e por último, o indivíduo não pode estar sendo submetido a **nenhum desconforto localizado**.

# 3) CONFORTO TÉRMICO



- Variáveis que influenciam

Natureza	Variáveis
Ambiental	Temperatura de bulbo seco (°C) Temperatura radiante média (°C) Velocidade do ar (m/s) Umidade do ar (K/Pa)
Pessoal	Atividade desempenhada (W/m <sup>2</sup> ) Resistência térmica das roupas (clo)

- Os valores referentes a Atividade desempenhada e Resistência térmica das roupas são tabelados

Atividade	Metabolismo (W/m <sup>2</sup> )
Reclinado	46
Sentado, relaxando	58
Atividades sedentárias (escritório, escola, etc.)	70
Fazendo compras, atividades laboratoriais	93
Trabalhos domésticos	116
Caminhando em local plano a 2km/h	110
Caminhando em local plano a 3km/h	140
Caminhando em local plano a 4km/h	165
Caminhando em local plano a 5km/h	200

Fonte: Adaptado ISO 7730/2005

Vestimenta	Isolamento térmico (Icl)	
	Clo	m <sup>2</sup> .°C/W
Cueca, camiseta sem manga, short, meias leves e sandálias.	0.18	0.028
Cueca, bermuda, camiseta de manga curta, sapatos.	0.26	0.040
Cueca, calça leve, camisa de manga curtas, meias e sapatos.	0.35	0.054
Cueca, calça leve, camisa leve de manga compridas, meias e sapatos.	0.46	0.071
Cueca, calça leve, camisa leve de manga compridas, meias, sapatos e paletó leve.	0.71	0.110

Fonte: Adaptado Coutinho (2005)

## 4) MODELO DE FANGER



- O principal estudo da área de conforto térmico foi desenvolvido por Fanger (1970);
- Um estudo com cerca de 1296 indivíduos; submetidos a condições ambientais controladas; e apresentando roupas e atividades padronizadas;
- Os indivíduos foram submetidos a diferentes condições ambientais, visando identificar as sensações térmicas de acordo com a escala de sete pontos da ASHRAE; e analisar a influência das variáveis pessoais e dos parâmetros térmicos.

## 4) MODELO DE FANGER



- Escala utilizada na análise da sensação térmica;

<b>(-3)</b>	<b>Muito frio</b>
<b>(-2)</b>	<b>Frio</b>
<b>(-1)</b>	<b>Levemente Frio</b>
<b>(0)</b>	<b>Neutro</b>
<b>(1)</b>	<b>Levemente quente</b>
<b>(2)</b>	<b>Quente</b>
<b>(3)</b>	<b>Muito quente</b>

Fonte: Adaptado ASHRAE (2013)



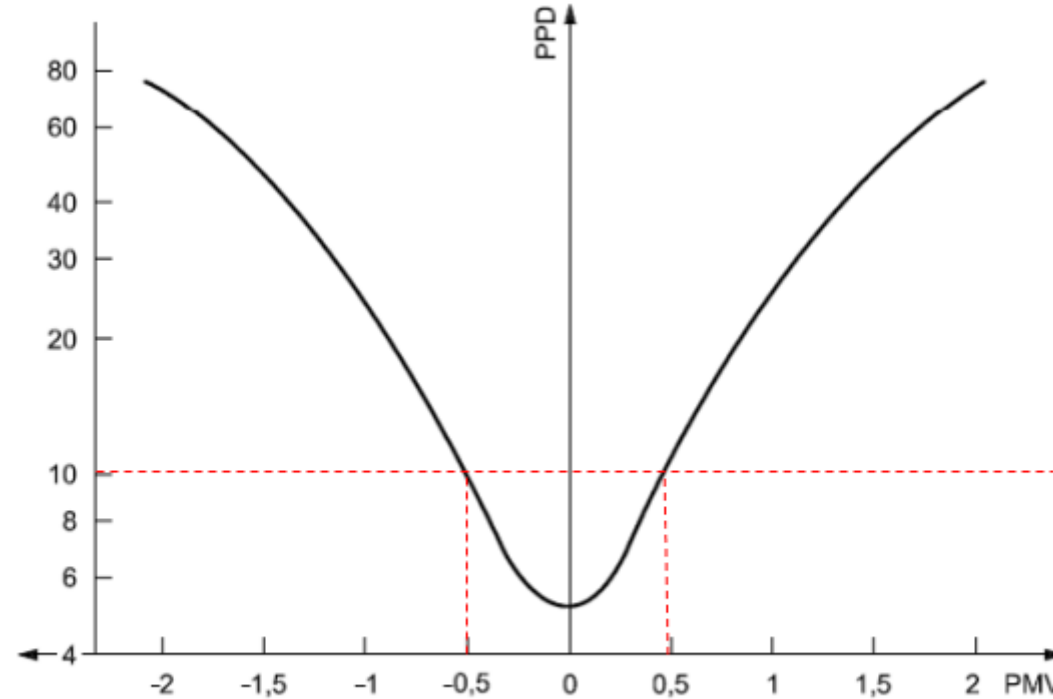
## 4) MODELO DE FANGER

- Os resultados obtidos nesse estudo propiciaram a aplicação de um modelo, que ficou conhecido como modelo de Fanger;
- Esse modelo levou em consideração as seguintes variáveis: temperatura do ar; temperatura radiante média; velocidade do ar; umidade relativa do ar; taxa metabólica e isolamento térmico da roupa.
- Para representa-lo foram utilizados dois índices: *Predicted Mean Vote* (PMV) e o *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD).
- De acordo com Djongyang *et. al.* (2010) esse índice (PMV) prevê a sensação térmica das pessoas presente num ambiente de acordo com a escala de sensação da ASHRAE.
- O PPD por sua vez indica a porcentagem de pessoas insatisfeitas;

## 4) MODELO DE FANGER



- Relação entre PMV e PPD;



Fonte: Lamberts et. al. (2005); ISO 7730 (2005)

- Resultado ótimo:  $PMV = 0 \rightarrow PPD = 5\%$ ;
- Resulto admissível pela ISO 7730/2005:  $-0,5 < PMV < 0,5 \rightarrow PPD \leq 10$ ;

## 4) MODELO DE FANGER



- O estudo desenvolvido por Fanger (1970) é tido como a referência para toda e qualquer pesquisa na área de conforto térmico.
- Os referidos índices são utilizados em todo o mundo para prever e avaliar o conforto térmico, sendo reconhecidos como padrão internacional através da norma ISO 7730/2005 e da ASHRAE 55 (2010).
- Ambientes termicamente moderados são lugares que possivelmente existe o conforto térmico, por exemplo, sala de aula, bibliotecas, laboratórios, entre outros. Segundo a norma ISO 7730 (2005), a avaliação desses ambientes é realizada a partir dos dois índices desenvolvidos por Fanger (1970).

# 4) SÍNTESE DAS NORMAS



**ISO 10551/1995**

- ✓ **Parâmetros subjetivos**
- ✓ **Escalas de preferências térmica (Percepção; aceitabilidade; e tolerância térmica).**

**ISO 7726/1998**

- ✓ **Especificar as características necessárias dos equipamentos;**
- ✓ **Especificar os métodos de mensuração.**

**ISO 7730/2005**

- ✓ **A avaliação de ambientes termicamente moderados foi baseado no estudo de Fanger (1970);**
- ✓ **Método PMV e PPD;**
- ✓ **Especifica as condições necessárias para propiciar o conforto térmico.**

**ASHRAE 55/2013**

- ✓ **Estabelece as condições mínimas para que um ambiente térmico se torne aceitável;**
- ✓ **Combinação de parâmetros ambientais e pessoais;**

- Natureza da pesquisa;
- População e amostra;
- Variáveis e indicadores da pesquisa;
- Coleta de dados;
- Tratamento e análise de dados.

# 1) NATUREZA DA PESQUISA



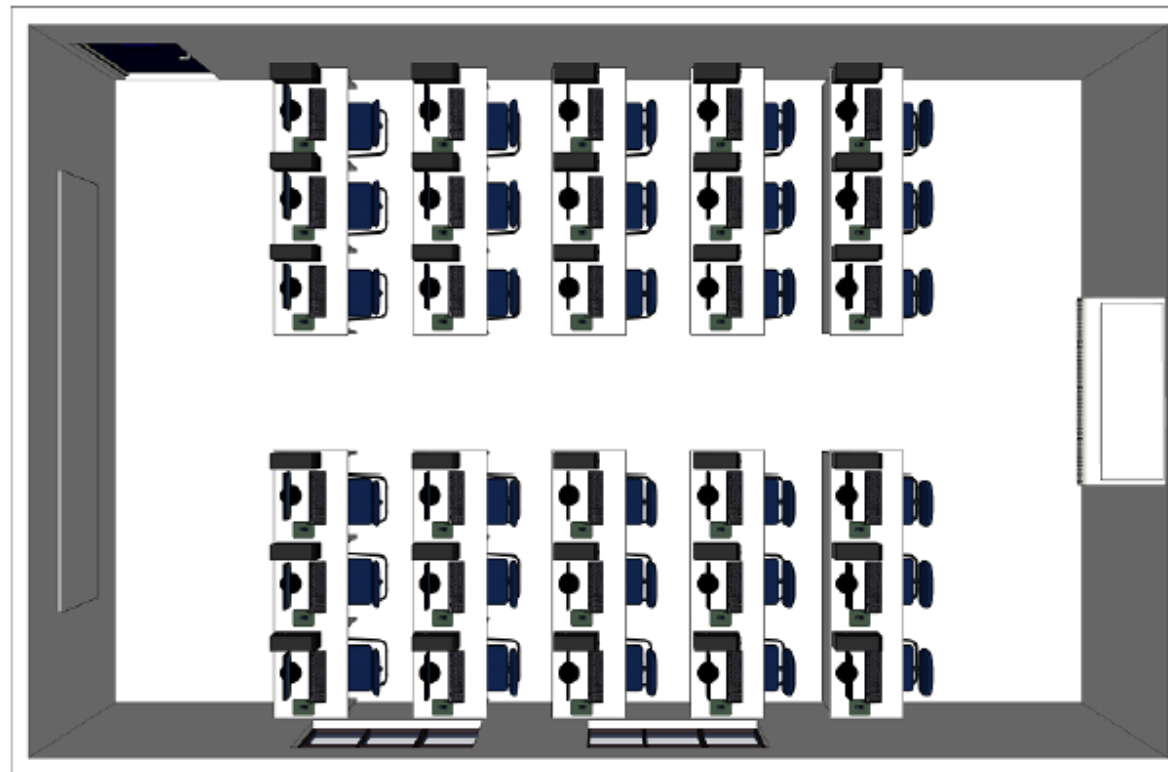
## 2) POPULAÇÃO E AMOSTRA



- O estudo foi realizado em seis ambientes de ensino;
- Os ambientes escolhidos foram laboratórios de informática climatizados (*VDT*);
- Com uma média de 20 alunos por sala;
- Critérios de inclusão: Alunos das ciências exatas; Idade entre 17 e 30 anos; Boas condições de saúde; Não apresentassem doenças cardiovasculares ou doenças crônicas;  $IMC > 30$ ; e por último, se comprometessem a participar dos três dias de coleta.

## 2) AMBIENTE “A”

- Faculdade privada localizada na cidade de João Pessoa;
- Área de 76,44 m<sup>2</sup>; ocupado por 12 bancadas com 3 computadores cada, totalizando 36 postos de trabalho
- Sistema de climatização tipo Split; a iluminação é artificial.





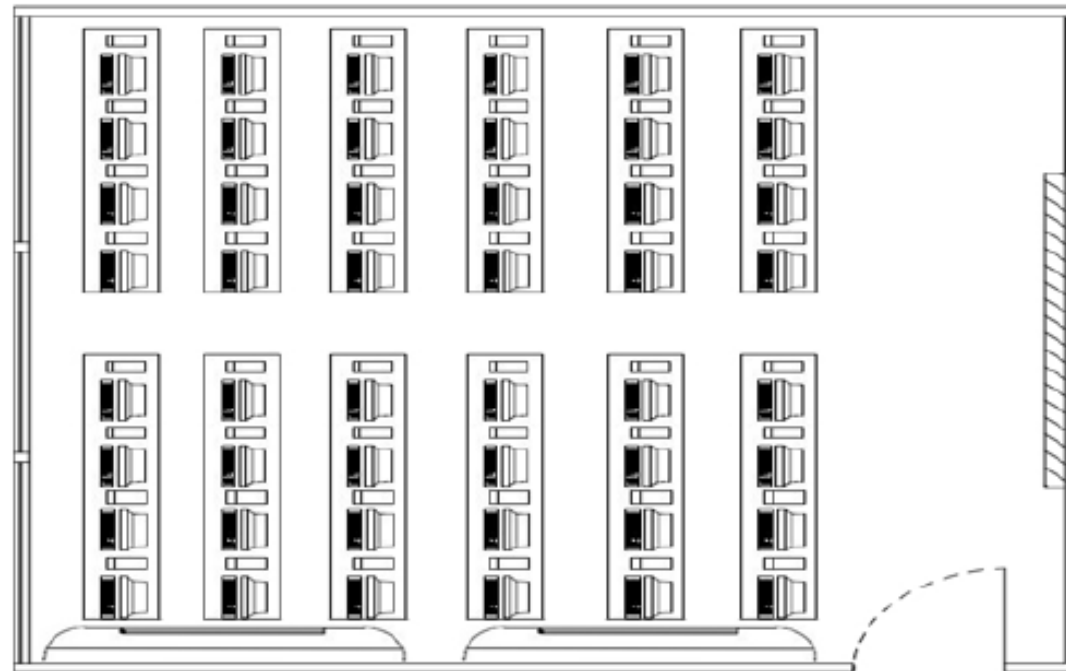
## 2) AMBIENTE “B”

- Situado em uma **universidade pública** localizada na cidade de **Petrolina**;
- Possuía **100 m<sup>2</sup>**; ocupado por **5 bancadas com 5 computadores** cada, totalizando **25 postos de trabalho**;
- O ambiente possuía climatização mecânica através de **dois aparelhos** do tipo **Split**; e apresentava **iluminação artificial**.



## 2) AMBIENTE “C”

- Pertence à **Universidade Federal do Piauí**, localizada na **cidade de Teresina**;
- O ambiente possui uma área de cerca de **112 m<sup>2</sup>**, ocupada por **10 bancadas** que possuíam no seu total **48 computadores**;
- O ambiente é climatizado por **dois aparelhos do tipo Split**; e apresenta **iluminação artificial**.



## 2) AMBIENTE “D”

- O ambiente “D” estava situado na Universidade Federal do Amazonas, localizada cidade de Manaus;
- O ambiente possui uma área de cerca  $70 \text{ m}^2$ ; ocupada por 10 bancadas com 3 computadores cada, totalizando 30 estações de trabalho;
- O ambiente é climatizado por um aparelho do tipo Split; e apresenta iluminação artificial.



## 2) AMBIENTE “E”

- O ambiente estava situado no Instituto de Matemática da Universidade de São Paulo, campus de São Carlos;
- O ambiente possui uma área de  $61,68 \text{ m}^2$ , sendo ocupado por 10 bancadas com 4 estações cada, totalizando 40 estações de trabalho;
- O ambiente é climatizado com dois aparelhos do tipo Split, apresentando iluminação artificial.



## 2) AMBIENTE “F”

- O ambiente “F” pertence à **Universidade Federal de Santa Catarina**, campus de **Florianópolis**;
- Esse ambiente possui uma área de aproximadamente **49,7 m<sup>2</sup>**; ocupada por **25 estações de trabalho**;
- O ambiente é climatizado com **dois aparelhos do tipo Split**; possui **iluminação artificial**.



### 3) VARIÁVEIS E INDICADORES DA PESQUISA



**Quadro 5:** Variáveis e indicadores da pesquisa

<b>Tipo</b>	<b>Variáveis</b>	<b>Indicadores</b>
<b>Parâmetros de conforto</b>	Pessoais	Atividade desempenha ( $W/m^2$ ); Isolamento térmico das vestes (ICL); Resistência térmica da vestimenta (clo); Altura (m); Peso (Kg); Idade (anos); Sexo.
	Ambientais	Temperatura do ar ( $^{\circ}C$ ); Temperatura radiante média ( $^{\circ}C$ ); Pressão parcial (KPa); Velocidade do ar (m/s).
<b>Parâmetros subjetivos</b>	<u>Sensação térmica</u> <u>Desejo térmico</u>	Escala de sete pontos baseado na norma ISO 10551/1995.

Fonte: Elaboração própria (2017)

## 4) O EXPERIMENTO



- Em **todos os ambientes** o experimento foi realizado em **três dias consecutivos**.
- Em **cada dia** foi aplicada **uma condição térmica** mediante **fixação da temperatura** dos aparelhos de **ar-condicionado**;
- O **ajuste da temperatura** para cada situação **foi baseado** na norma **ISO 7730/2005**. Essa norma indica que uma temperatura **entre 22° e 24°C** pode propiciar o **conforto térmico**, enquanto que **valores abaixo** desse intervalo tendem a propiciar o **desconforto por frio**; e **acima**, **desconforto por calor**.

DIA	TEMPERATURA (°C)	SITUAÇÃO
1	20°	Desconforto por frio
2	24°	Conforto
3	30°	Desconforto por calor

Fonte: Elaboração própria (2017)

## 4) O EXPERIMENTO

- No primeiro dia realizava-se uma **explicação** acerca dos **objetivos da pesquisa**, **metodologia** utilizada, e quais os **procedimentos** a serem feitos durante o período de **coleta de dados**;
- Posteriormente, **explicava-se** especificamente acerca dos **questionários** sobre **sensação**, **conforto e desejo térmico**.
- Nos **três dias** os estudantes de todos os locais analisados chegaram **30 minutos antes do início da coleta**;
- Em cada dia eles **utilizaram os computadores** para acessar os **questionários subjetivos** através da **ferramenta** on-line para *Survey* “**QUALTRICS**”.



## 5) COLETA DE DADOS – Variáveis pessoais



### Procedimentos iniciais:

- Altura (fita métrica);
- Peso (balança digital);
- Vestimenta utilizada para o cálculo da resistência térmica da roupa;
- Adotou-se o valor de  $69,8\text{W/m}^2$  ou 1,2 Met para o metabolismo (Atividade padronizada).

## 5) COLETA DE DADOS – Variáveis ambientais

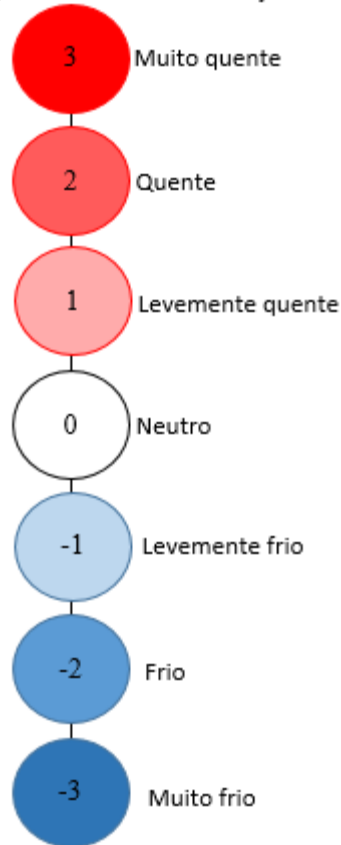


- Utilizou-se o medidor de estresse térmico **TGD 300** e a estação microclimática **BABUC A**;
- Tais aparelhos estavam devidamente **calibrados** pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (**INPE**) do Rio Grande do Norte (RN) e **atendiam** às exigências da **Norma ISO 7726 (1998)**;
- Os equipamentos foram instalados **30 minutos antes** do início da coleta no **centro do ambiente**, para que se **estabilizassem**, e posicionados na **altura do tronco dos participantes** que estavam utilizando os computadores ( **ISO 7726**);
- Os referidos instrumentos foram programados para **registrar** os dados das variáveis de **minuto a minuto**.

# 5) COLETA DE DADOS – Parâmetros subjetivos

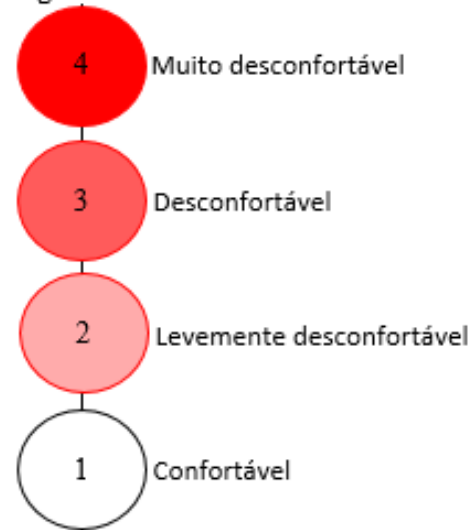
- Os **parâmetros subjetivos** (conforto, sensação e desejo térmico) foram aferidos durante os **três dias de coleta** para entender a **percepção dos estudantes** com relação às **condições a que foram submetidos**.
- Aplicou-se **questionários baseados** nas escalas de sete pontos de percepção e preferência da **norma ISO 10551 (1995) e ASHRAE 55 (2013)**.

Figura 11: Escala de sensação térmica



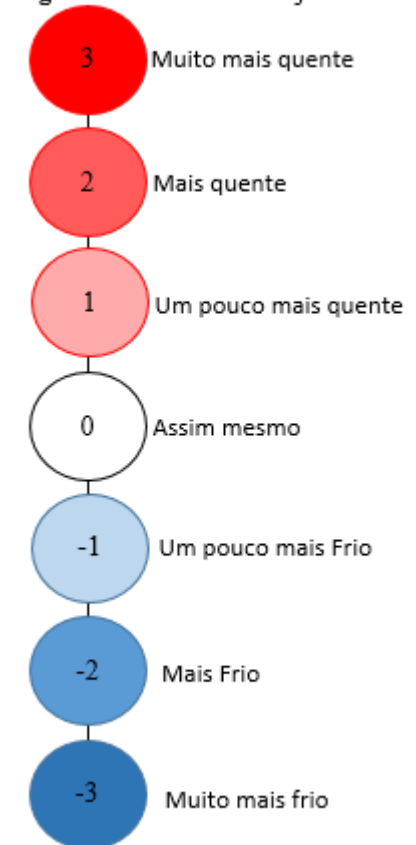
Fonte: Elaboração própria (2017)

Figura 12: Escala de conforto térmico



Fonte: Elaboração própria (2017)

Figura 13: Escala de desejo térmico



Fonte: Elaboração própria (2017)

## 6) TRATAMENTO DOS DADOS

- **Dados ambientais e subjetivos** foram tabulados através do programa **Microsoft Excel®** de acordo com o respectivo dia e localidade.
- Nesse software organizaram-se as variáveis, categorizaram-se outras, e calcularam-se os índices normativos PMV e PPD;
- Utilizando o **software estatístico R-Project 3.3.1** foram realizadas **análises estatísticas** para uma **compreensão quantitativa** e um **entendimento mais preciso** do comportamento dos dados.



# 7) ANÁLISE DOS DADOS



- A **relação** existente entre **sensação térmica** e o índice normativo **PMV** através da **correlação**;
- Investigou o **conforto térmico (VD)** em **função** da **temperatura do ar (VI)**, onde o conforto foi classificado como **variável dicotômica (Confortável e Desconfortável)**;
- A **sensação térmica e o desejo térmico** também foram analisados em **função temperatura do ar**, para isso foram desenvolvidos **modelos com distribuição multinomial**;
- As **zonas de conforto** para cada ambiente foi utilizado o **teste de Wilcoxon**;



- Temperaturas média obtidas;
- Análise inicial da sensação térmica e conforto térmico;
- Análise dos índices normativos PMV e PPD;
- Comparação entre sensação térmica e o índice PMV;
- Compreensão do conforto e sensação térmica em termos quantitativos;
- Estimação de zonas de conforto.

# 1) TEMPERATURAS MÉDIAS OBTIDAS



Tabela 4: Temperaturas média obtidas

Ambiente	Cidade	Menor temperatura média (°C)	Temperatura intermediária média (°C)	Maior temperatura média (°C)
A	João Pessoa	20,31°	23,40°	27,82°
B	Petrolina	22,43°	23,04°	28,52°
C	Teresina	20,07°	22,95°	33,72°
D	Manaus	23,58°	25,93°	30,86°
E	São Carlos	23,09°	23,30°	28,80°
F	Florianópolis	22,72°	24°	28,48

Fonte: Elaboração própria (2017)

- Assume-se que as **variações existentes** estavam **dentro do esperado** e **não comprometeram** a metodologia do **experimento**.
- Tais **variações** foram decorrentes das **condições de cada ambiente**, seja **estrutural**, das características ou **desempenho do sistema de refrigeração**, ou até das **condições ambientais externas**.

## 2) SENSAÇÃO TÉRMICA PREDOMINANTE



Tabela 5: Sensação térmica predominante

Ambiente	Cidade	Região	Menor temperatura	Temperatura intermediária	Maior temperatura
A	João Pessoa	Nordeste	Levemente frio (48%)	Neutro (68%)	Levemente quente (38,5%)
B	Petrolina	Nordeste	Levemente frio (41%)	Neutro (67%)	Levemente quente (44%)
C	Teresina	Nordeste	Levemente frio (50%)	Neutro (70%)	Quente (62%)
D	Manaus	Norte	Neutro (64%)	Neutro (43%)	Muito quente (58%)
E	São Carlos	Sudeste	Neutro (56,25%)	Neutro (47,06%)	Quente (80%)
F	Florianópolis	Sul	Neutro (58,82%)	Neutro (52,63%)	Muito quente (53,33%)

Fonte: Elaboração própria (2017)

- **Menor temperatura:** Para os estudantes da região nordeste prevaleceu a sensação de que o ambiente estava levemente frio. Enquanto que nos outros ambientes prevaleceu a neutralidade.
- **Maior temperatura:** Os estudantes das Norte, Sudeste e Sul tiveram a sensação de que o ambiente estava mais quente do que os estudantes da região nordeste.



### 3) PERCEPÇÃO DE CONFORTO



Tabela 6: Percepção de conforto

Ambiente	Menor temperatura		Temperatura intermediária		Maior temperatura	
	Confortável	Desconfortável	Confortável	Desconfortável	Confortável	Desconfortável
A	51,85%	48,15%	53,85%	46,15%	23,08%	76,92%
B	52,94%	47,06%	66,67%	33,33%	11,76%	88,24%
C	61,54%	38,46%	92,59%	7,41%	0%	100%
D	64,29%	35,71%	42,86%	57,14%	3,85%	96,15%
E	60%	40%	47%	53%	13%	87%
F	41,18%	58,82%	38,84%	63,16%	13,33%	88,67%

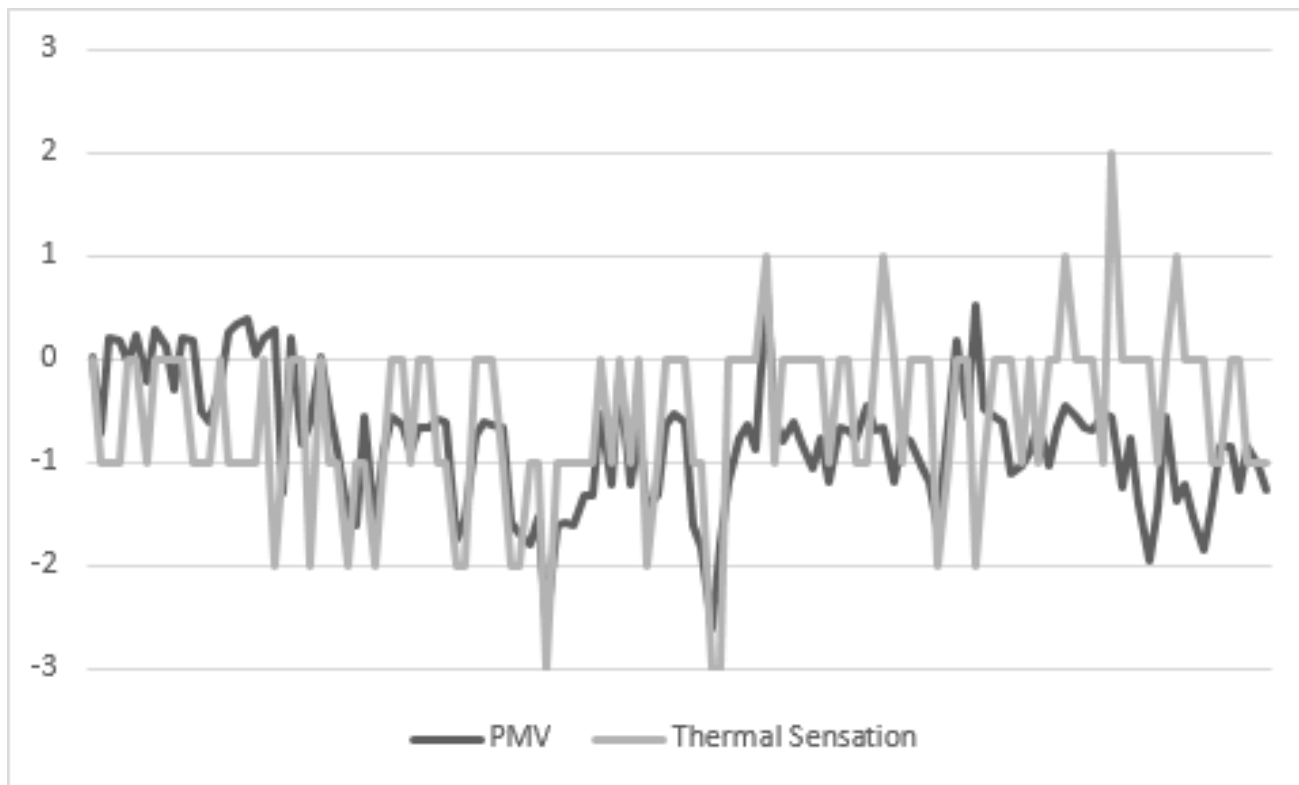
Fonte: Elaboração própria (2017)

**Menor temperatura:** Apenas os estudantes da região sul estavam desconfortáveis (22°C);

**Temperatura intermediária:** Os estudantes de Manaus (25,93° C); São Carlos (23,30° C) e Florianópolis (24°C) estavam desconfortáveis.

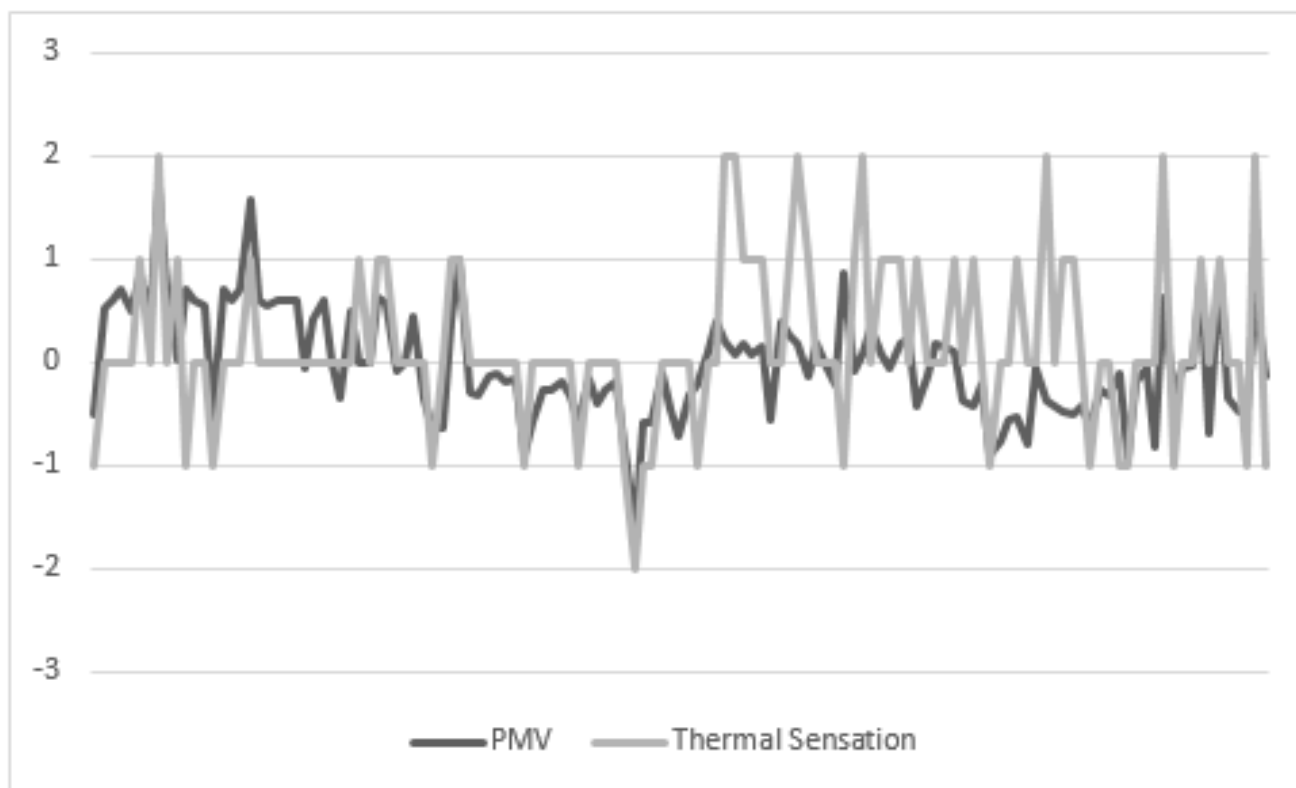
- **Maior temperatura:** Todos os estudantes estavam em desconforto.

## 4) COMPARAÇÃO ENTRE SENSACÃO TÉRMICA E PMV (20°C)



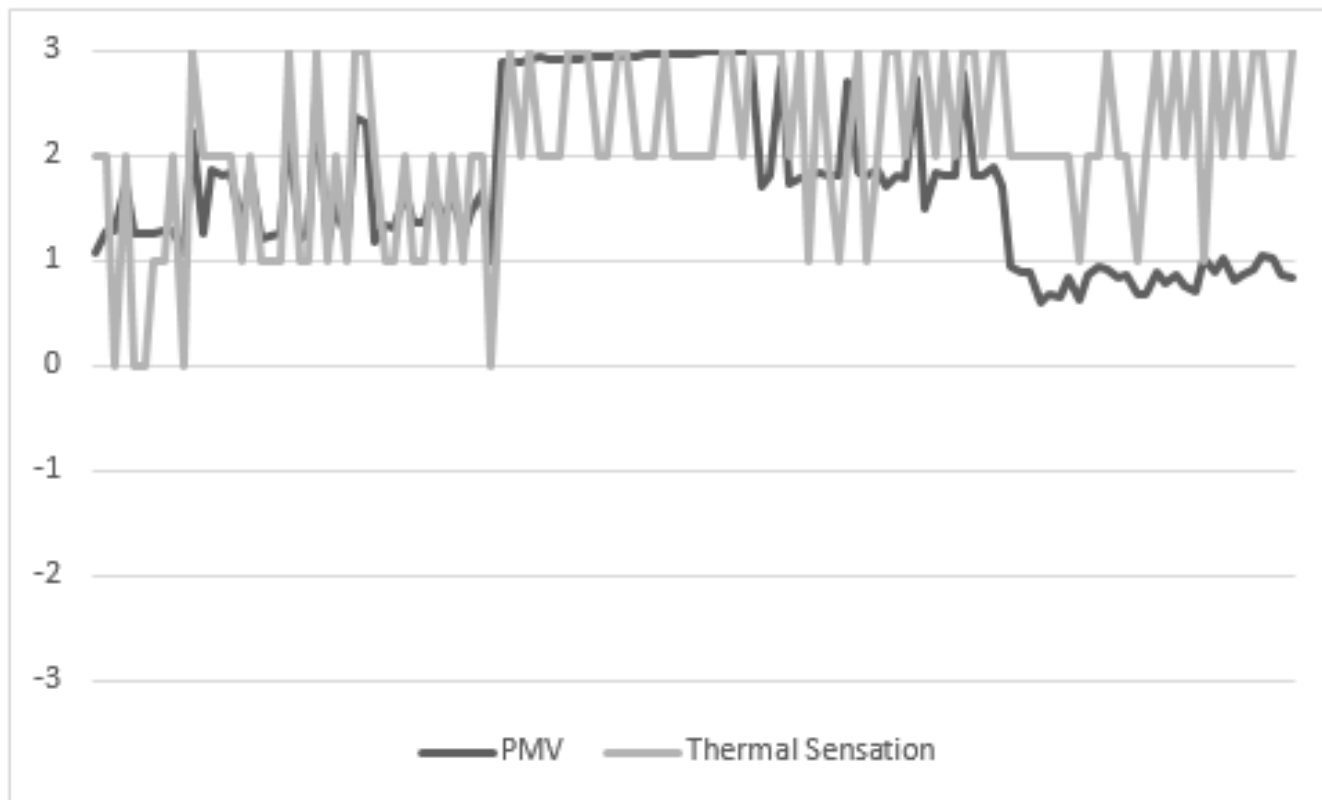
- PMV e Sensação Térmica predominaram para um intervalo entre (-3,0);
- O índice PMV indicando, inicialmente, condições de conforto e depois variando entre conforto, levemente frio e frio;
- Quanto à sensação térmica, seguiu a mesma tendência, mas apresentando discordâncias que tenderam a aumentar na segunda metade do gráfico, sendo maiores na parte final.

## 4) COMPARAÇÃO ENTRE SENSACÃO TÉRMICA E PMV (24°C)



- Observa-se a existência de maiores variações entre as duas variáveis;
- A variação obtida para as duas variáveis ficou entre (-1,1) próximo do estipulado normativamente ( $-0,5 < PMV < 0,5$ ).
- A sensação térmica apresentou variações com relação ao índice, entretanto, assume-se que seguiu a mesma tendência.
- Por fim, assume-se que em alguns pontos a sensação térmica e o índice normativo apresentaram valores discrepantes.

## 4) COMPARAÇÃO ENTRE SENSACÃO TÉRMICA E PMV (28°C)



- O índice normativo ( $1 \leq \text{PMV} \leq 3$ ) e a sensação térmica ( $1 \leq \text{Sensação} \leq 3$ ) indicaram o ambiente como sendo quente.
- Nesse teste também existiram discordâncias entre essas duas variáveis de modo semelhante às anteriores.
- As maiores variações ocorreram na parte final do gráfico.

## 4) CORRELAÇÃO ENTRE PMV E SENSAÇÃO TÉRMICA



Tabela 7: Correlações entre a sensação térmica e o índice normativa

Cidade	Ambiente	Região	Menor temperatura	Temperatura intermediária	Maior temperatura
João Pessoa	A	Nordeste	0,17	0,70	0,76
Petrolina	B	Nordeste	0,80	0,73	0,88
Teresina	C	Nordeste	0,85	0,79	0,01
Manaus	D	Norte	0,09	0,4	0,14
São Carlos	E	Sudeste	0,17	0,34	0,48
Florianópolis	F	Sul	0,19	0,74	0,2

Fonte: Elaboração própria (2017)

## 5) PORCENTAGEM DE PESSOAS INSATISFEITAS (PPD)



<b>Cidade</b>	<b>Ambiente</b>	<b>Menor temperatura</b>	<b>Temperatura intermediária</b>	<b>Maior temperatura</b>
<b>João Pessoa</b>	A	9,52%	18,57%	37,08%
<b>Petrolina</b>	B	22%	10,32%	41,48%
<b>Teresina</b>	C	56,98%	11,55%	98,86%
<b>Manaus</b>	D	18%	6,6%	96,15%
<b>São Carlos</b>	E	16%	11%	18,46%
<b>Florianópolis</b>	F	38,06%	11,79%	21,2%

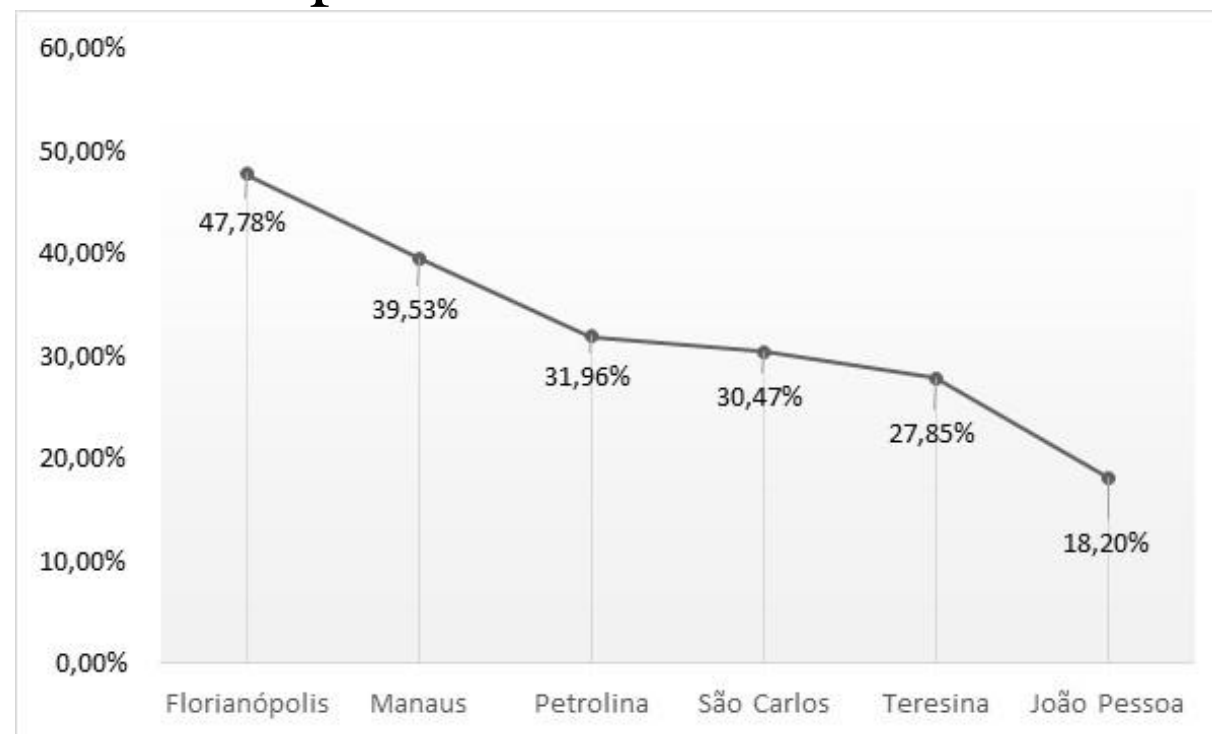
## 6) MODELAGEM MATEMÁTICA

- Influência da temperatura do ar (variável independente) na percepção de conforto (dicotômica, dependente);
- Influência da temperatura do ar (variável independente) na sensação térmica (multinomial – frio, neutralidade, calor – dependente);
- Influência da temperatura do ar (variável independente) no desejo térmico (multinomial – frio, neutralidade, calor -, dependente).
- Os modelos aqui apresentados foram aprovados em uma série de diagnósticos, como análises das funções de ligação e variância; verificação da distribuição da variável resposta e análise de resíduos. Logo, tiveram bom poder explicativo.

## 6) TEMPERATURA DO AR ~ PERCEPÇÃO DE CONFORTO

- A análise focou na razão da chance, ou seja, na chance de o estudante sentir desconforto mediante o aumento de 1°C na temperatura do ar.

Cidade	Teste Z (valor-p)	PseudoR2	Chance de sentir desconforto
João Pessoa	0.000197	0.478	18,20%
Petrolina	0.00606	0.251	31,96%
Teresina	4.65e-06	0.549	27,85%
Manaus	0.000107	0.365	39,53%
São Carlos	0.0164	0.208	30,47%
Florianópolis	0.0363	0.252	47,78%





## 6) TEMPERATURA DO AR ~ SENSAÇÃO TÉRMICA



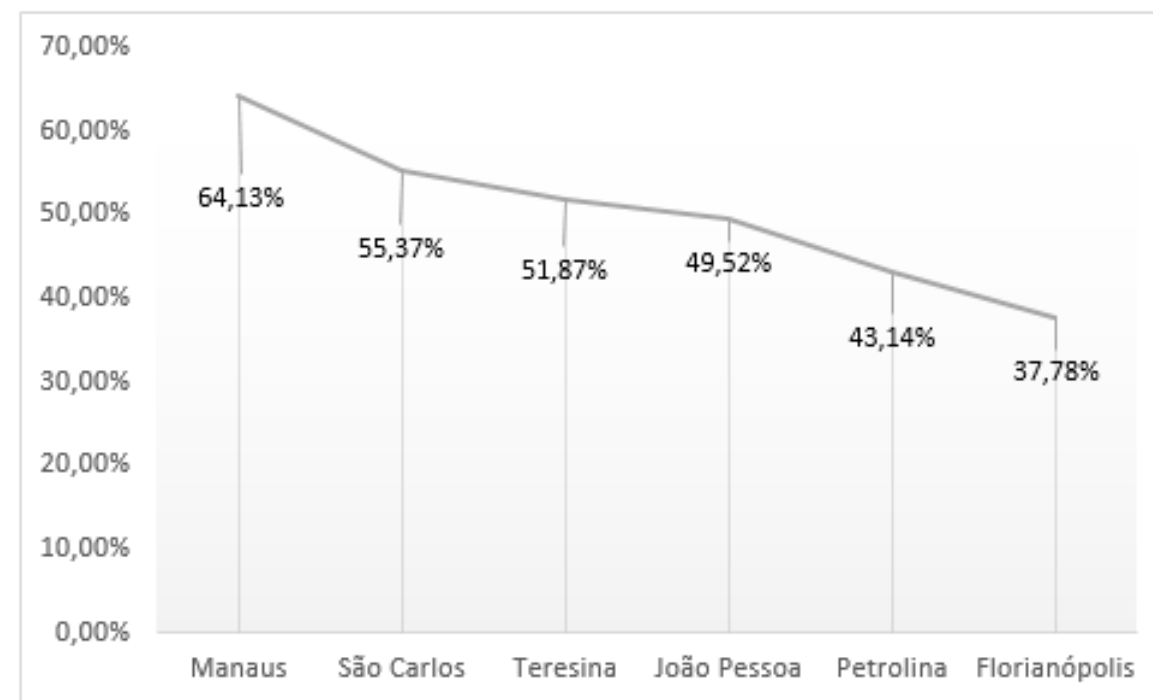
- A análise focou na razão da chance, ou seja, na chance de o estudante sentir o ambiente quente mediante o aumento de 1°C na temperatura do ar.

Cidade	Teste Z (Valor-p)	PseudoR2	A chance de sentir o ambiente quente aumenta em:
João Pessoa	0.0001	0.452	82,10%
Petrolina	0.0003	0.385	66,01%
Teresina	0.0001	0.850	133,61%
Manaus	0.0001	0.627	199,21%
São Carlos	0.0001	0.458	87,08%
Florianópolis	0.0001	0.709	252,95%

## 6) TEMPERATURA DO AR ~ DESEJO TÉRMICO

- A análise focou na razão da chance, ou seja, na chance de o estudante desejar o ambiente mais frio mediante o aumento de 1°C na temperatura do ar.

Cidade	Teste Z (valor-p)	PseudoR2	Chance de querer o ambiente mais frio aumenta em:
João Pessoa	0.0001	0.491	49,52%
Petrolina	0.0029	0.495	43,14%
Teresina	0.0001	0.763	51,87%
Manaus	0.0001	0.300	64,13%
São Carlos	0.0002	0.421	55,37%
Florianópolis	0.0001	0.606	37,78%



## 7) ESTIMAÇÃO DA ZONA DE CONFORTO



- A partir das temperaturas que os estudantes indicaram estar em conforto térmico, aplicou-se o teste de Wilcoxon e obteve-se os intervalos de conforto.

Ambiente	Cidade	Região	Intervalo de conforto
A	João Pessoa	Nordeste	(23.07 - 23.28)
B	Petrolina	Nordeste	(22.73 - 23.04)
C	Teresina	Nordeste	(21.50 - 22.93)
D	Manaus	Norte	(23.66 - 24.82)
E	São Carlos	Sudeste	(23.13 - 23.31)
F	Florianópolis	Sul	(23.25 - 25.50)

João Pessoa

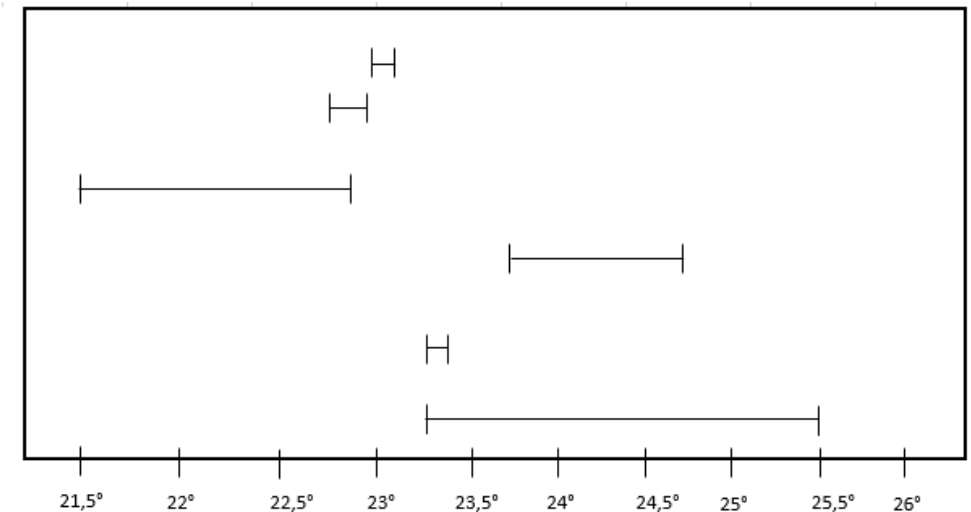
Petrolina

Teresina

Manaus

São Carlos

Florianópolis



# DISCUSSÃO



- Constatou-se a **diferença perceptiva** entre os estudantes, o que **reflete a subjetividade** da percepção térmica em um **ambiente**.
- Entre os estudantes dos **ambientes A, B e C** (Região nordeste) **não existiu diferenças significativas** de **percepção térmica**;
- Os **estudantes da região nordeste** tiveram **percepção diferente** na comparação com os **outros ambientes** (**Menor temperatura e temperatura intermediária**);
- **Teli (2014)**, que afirma que as fortes **diferenças interpessoais** decorrem das respectivas **atividades** realizadas pelo **corpo de cada estudante**.
- **Orosa e Oliveira (2011)** as **condições climáticas** a que um indivíduo está submetido **afetam a percepção** de conforto.
- **Yang (2015)** ressalta a **importância** da **aclimatação** na **determinação das percepções** térmicas individuais e, conseqüentemente, dos grupos de indivíduos.

# DISCUSSÃO



- Observou-se nesse estudo a presença de **leves discordâncias** entre os valores do índice normativo (**PMV**) e a **sensação térmica** dos ocupantes;
- Essas **discordâncias aconteceram** em função dos **estudantes sentirem o ambiente mais quente** do que o que foi **estipulado normativamente**;
- Yang (2015) declarou que o **PMV pode superestimar a sensação térmica** dos indivíduos em um ambiente termicamente controlado;
- Mors (2011) indica que os **limites normativos subestimam a sensação térmica** e preveem **temperaturas mais confortáveis** do que as realmente **indicadas pelos ocupantes**;
- Hassan (2016) explica que uma pessoa com **alta taxa metabólica** não estando em repouso pode **sentir desconforto** em qualquer momento da sua atividade **independentemente das condições térmicas existentes**.
- Logo, uma **medição** mais precisa da **taxa metabólica** dos ocupantes pode permitir que as **possíveis discordâncias** entre o índice normativo e a sensação térmica **possam ser minimizadas**.

- O ambiente localizado na **região sul** apresentou **chance de sentir desconforto maior** do que todos os **outros ambientes**;
- Os **ambientes da região nordeste** apresentaram a **chance de querer o ambiente frio próximas**;
- Esses resultados corroboram a **importância da adaptabilidade** no estudo do conforto térmico;
- Segundo **Teli (2012)** as características do edifícios têm um **forte impacto na percepção térmica** dos ocupantes, mesmo quando não afetam diretamente as condições térmicas.

# CONCLUSÕES



- A **adaptabilidade dos estudantes** com suas respectivas regiões **influenciou nos resultados obtidos** nesse trabalho;
- As **distinções individuais** repercutiram nas **diferenças de distribuição das percepções** dos referidos grupos;
- Em algumas situações **o índice PMV subestimou a sensação térmica dos estudantes**, haja vista que eles sentiram o ambiente mais quente do que o indicado normativamente;
- O índice **PPD** esteve dentro do **previsto normativamente** para a temperatura proposta de **24°C**;
- **As amostras** localizadas nos ambientes da **região sul e sudeste** tiveram **maior chance de desconforto** do que as amostras da **região norte e nordeste**;
- Os **resultados obtidos** para as amostras da **região nordeste** não apresentaram **diferenças significativas**.

# CONCLUSÕES



- A **estimação de zonas confortáveis** é importante pois **permite** que os professores desses ambientes possam **estimar condições** internas **propícias ao conforto térmico**.
- É muito **importante avaliar termicamente** os ambientes de ensino, pois os **alunos** podem estar sendo **submetidos a condições térmicas inaceitáveis** que podem **influenciar negativamente** no seu **bem-estar e desempenho**.
- Por fim, é extremamente **importante** compreender a **opinião do usuário**, pois podem fornecer **informações relevantes** e de forma **mais precisa** acerca **das condições térmicas existentes**.



# REFERÊNCIAS



- ASHRAE 55. Thermal environmental conditions for human occupancy. **American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers Inc.** Atlanta, GA, USA, 2013.
- 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.
- BAKÓ-BIRÓ, Z. 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.
- BATIZ, E. C.; GOEDERT, J.; MORSCH, J. J.; JUNIOR, P. K.; VESKE R. Avaliação do conforto térmico no aprendizado: estudo de caso sobre a influência na atenção e memória. **Produção**, v.19, p.477-488, 2009.
- BERNARDI, N.; KOWALTOWSKI, D. Environmental Comfort in School Buildings: A Case Study of Awareness and Participation of Users. **Environment and Behavior**, v.38, p.155-172, 2006.
- BLATTEIS, C. M. **Fisiologia e patofisiologia da regulação da temperatura**. Ed.: EDUSP, 1997.
- CONCEIÇÃO, E. Z. E; LÚCIO, M. M. J.R. Evaluation of thermal comfort conditions in a classroom equipped with radiant cooling 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.
- DE GIULI V.; ZECCHIN R.; CORAIN V.; SALMASO L. Measured and perceived environmental comfort: Field monitoring in a Italian school. **Applied Ergonomics**, v..45, v. 1035–1047, Julho 2014.
- DE GIULI, V.; DA POS, O.; DE CARLI, M., Indoor environmental quality and pupil perception in Italian primary schools. **Building and Environment**, v.56, p. 335-345, 2012.
- DIAS P. L. ; RAIMONDO, D.; CORGNATI, S. P.; DA SILVA, G. M. Assessment of indoor air quality and thermal comfort in Portuguese secondary classrooms: Methodology and results. **Building and Environment**, v. 81, p. 69-80, 2014.
- DJONGYANG, N.; TCHINDA, R.; NJOMO, D. Thermal comfort: A review paper. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, p. 2626-2640, 2010.
- FANGER, P. O. **Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering**. New York, NY: McGraw-Hill Book Company, 1970.
- FROTA A.F.; SCHIFFER S. R. **Manual de conforto térmico**. 5a ed. São Paulo: Studio Nobel; 2001.
- HAMZAH B.; ISHAK M. T.; BEDDU S.; Osman M. Y. Thermal comfort analyses of naturally ventilated university classrooms. **Structural Survey**, v. 34, p.427-445, 2016.
- HUSSIN, M.; ISMAIL, M. R.; AHMAD M.S. Subjective Perception of Thermal Comfort Study in Air-conditioned University Laboratories. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v.91, p. 192- 200, 2013.
- ISO 10551. **Ergonomics of the thermal environment - Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales**. 1995.
- ISO 7726. **Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities**. 1998.
- ISO 7730. **Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort**. Genebra, 2005.
- JORGE W. Analogia no ensino da física. **Caderno Catarinense do Ensino da Física**. Florianópolis, v.7, n.3, p.196-202, 1990.

# REFERÊNCIAS

- JUNG, G. J. ; SONG, S. K.; AHN, Y.; OH, G. S.; IM Y. B. Experimental research on thermal comfort in the university classroom of regular semesters in Korea. **Jornal of Mechanical Science and Technology**, v.25, p. 503-512, 2010.
- KATAFYGIOTOU M. C.; SERGHIDES D. K. Thermal comfort of a typical secondary school building in Cyprus. **Sustainable Cities and Society**, v.13, p. 303-312, 2014.
- LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. P. **Conforto térmico e stress térmico**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.
- MISHRA A. K.; RAMGOPAL, M. Thermal comfort Field study in undergraduate laboratories – Analysis of occupant perceptions. **Building and Environment**, v.76, p. 62 – 72, 2014.
- MISHRA, ASITKUMAR; RAMGOPAL, MADDALI. Thermal comfort in undergraduate laboratories — A Field study in Kharagpur, India. **Building and Environment**, v.71, p. 223-232, 2014.
- MISHRA, A.; RAMGOPAL, M. A comparison of student performance between conditioned and naturally ventilated classrooms. **Building and Environment**, v. 84, p. 181-188, 2015.
- 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.
- OROSA, J. A.; OLIVEIRA, A. C. A new thermal comfort approach comparing adaptive and PMV models. **Renewable Energy**, v. 36, pg. 951-956, 2011.
- RAW, G. J.; OSELAND, N. A., Why another thermal comfort conference? In: Thermal comfort: past, present and future. **The Building Research Establishment**. Garston, p. 1–10, 1994.
- TELI D.; JENTSCH M. F.; JAMES P. A. B. Naturally ventilated classrooms: An assessment of existing comfort models for predicting the thermal sensation and preference of primary school children. **Energy and Buildings**, v.53, p. 166-182, 2012.
- 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.
- SAA A. **TRANSMISSÃO DE CALOR**. UNICAMP, 2006. Disponível em: <<http://vigo.ime.unicamp.br/~asaa/Calor.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2017.
- WANG, Z. A field study of the thermal comfort in residential buildings in Harbin. **Building and Environment**, v.41, p. 1034-1039, 2006.
- 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 clima techamber. **Applied Thermal Engineering**, v.76, p. 283–291, 2005.
- YAO, R.; LI, B.; LIU, JING. A theoretical adaptive model of thermal comfort – Adaptive Predicted Mean Vote (aPMV). **Building and Environment**, v.44, p.2089 – 2096, 2009.
- 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.
- ZAKI S. A.; DAMIATI S. A.; RIJAL H. B.; HAGISHIMA A.; RAZAK A. A. Adaptive thermal comfort in university classrooms in Malaysia and Japan. **Building and Environment**, v. 122, p.294-306, 2017.
- ZOMORODIAN, Z. S.; TAHLSDOOST, M.; HAFEZI, M. Thermal comfort in educational buildings: A review article. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.59, p. 895-906, 2016.



**OBRIGADO!!**