



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ALINNY DANTAS AVELINO

A INFLUÊNCIA DO METABOLISMO NO CÁLCULO DO PMV DA NORMA ISO  
7730 (2005)

ORIENTADOR ACADÊMICO: PROF. LUIZ BUENO DA SILVA

JOÃO PESSOA

2019

ALINNY DANTAS AVELINO

A INFLUÊNCIA DO METABOLISMO NO CÁLCULO DO PMV DA NORMA ISO  
7730 (2005)

Dissertação submetida ao Programa de pós-graduação em Engenharia de Produção do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba como parte dos requisitos necessários para o grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Ergonomia e sustentabilidade

Orientador Acadêmico: Prof. Luiz Bueno

JOAO PESSOA

2019

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

AVELIi Avelino, Alinny Dantas.

A influência do metabolismo no cálculo do PMV da norma ISO 7730 (2005) / Alinny Dantas Avelino. - João Pessoa, 2019.

128 f. : il.

Orientação: Luiz Bueno da Silva Silva.  
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Metabolismo. 2. Conforto térmico. 3. PMV. 4. Estudantes. 5. Smart. 6. TSV. I. Silva, Luiz Bueno da Silva. II. Título.

UFPB/BC

ALINNY DANTAS AVELINO

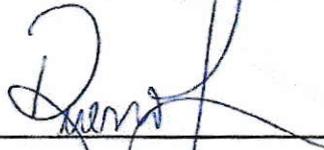
A INFLUÊNCIA DO METABOLISMO NO CÁLCULO DO PMV DA NORMA ISO  
7730 (2005)

Programa de pós-graduação em Engenharia de Produção

Área de concentração: Ergonomia, inovação e sustentabilidade

Esta dissertação foi julgada e aprovada em 15/02/2019, no Laboratório de Análise do Trabalho localizado no Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba – Campus I às 10:00.

BANCA EXAMINADORA



---

Orientador – Prof. Dr. Luiz Bueno da Silva

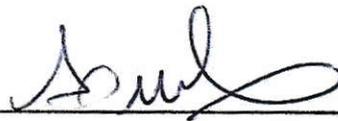
Universidade Federal da Paraíba



---

Avaliadora interna – Profa. Dra. Maria de Lourdes Barreto Gomes

Universidade Federal da Paraíba



---

Avaliadora externa – Profa. Dra. Solange Maria Leder

Universidade Federal da Paraíba

---

Avaliador externo – Prof. Dr. João Manuel Abreu dos Santos Baptista

Universidade do Porto

Ao meu avô

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha mãe Miriam Avelino pela paciência e compreensão durante os longos dias e momentos difíceis do mestrado. Ao meu pai Edmilson Dantas pela ideia e pela constante busca pelo meu aperfeiçoamento. Agradeço a minha família, pelo apoio constante, especialmente minha irmã Iara, minha vó Nita, minhas tias Iraci e Marli e meu tio Genilson que me ensinou matemática.

Agradeço aos colegas e amigos do Laboratório de Análise do Trabalho (LAT) especialmente Wilza Leite, Girlene Alencar, Erivaldo Lopez, Sawana Araújo, Elamara Marama e Ruan Eduardo. Agradeço a minha parceira para todos os trabalhos, artigos, seminários, livros, problemas e vitórias nos últimos dois anos, Andrezza Araújo.

Agradeço a minha banca, ao professor João Baptista e a professora Solange Leder pelas contribuições acadêmicas ao trabalho e a professora Maria de Lourdes não apenas pelas contribuições ao trabalho, mas também pela paciência e inspiração durante todo o mestrado.

Agradeço ao professor Luiz Bueno da Silva pela orientação e pelas discussões que levaram este trabalho à conclusão e ensinaram uma metodologia de aprendizado para a vida.

Agradeço à equipe de professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção pelo conhecimento transmitido, à Secretária Ana Araújo pela paciência e conselhos e aos funcionários: Nildo, Quézia, Socorro e Iraci sem os quais a vida ficaria mais difícil na Universidade.

Agradeço a Deus pela saúde e capacidade de aprender que me foram concedidas.

## RESUMO

Conforto térmico é influenciado por seis fatores e a precisão de cada um vai influenciar a exatidão geral do PMV. Um dos possíveis fatores para as desigualdades é a determinação da taxa de metabolismo. Assim, esta dissertação analisou se o PMV calculado em função do metabolismo obtido através da análise das variáveis pessoais de estudantes em ambientes de ensino *smart* climatizado é mais similar à sensação térmica do que o modelo apresentado pela norma ISO 7730 (2005). As variáveis pessoais foram obtidas através de questionário estruturado enquanto as de saúde e ambientais foram mensuradas. A amostra utilizada constou de 210 pessoas em 7 ambientes totalizando uma amostra de 517 dados. Para a elaborar um modelo de metabolismo foi utilizado o método da bissecção. Foram ajustados modelos lineares generalizados utilizando métodos e funções relativas à função  $g$ , que relaciona o metabolismo calculado às variáveis coletadas. Foi observada uma diferença entre o PMV e o TSV dos sujeitos. Nas situações desta pesquisa, o PMV hora superestimou e hora subestimou a opinião dos sujeitos. Apesar de um maior número de alunos apresentarem metabolismos mais alto que o esperado, a tendência central se situa a apenas 0,6 met do que foi registrado pela norma. Quanto a geração dos modelos, em todo grupo que a variável peso foi analisada, ela foi considerada no modelo. O mesmo ocorreu para as variáveis frequência cardíaca final e sensação de olhos secos. Não fazer ingestão de bebida alcoólica reduz o metabolismo em 0.16528 met. A variável peso apresenta pouca influência quando alterada. A variação da pressão arterial diastólica medida no final da coleta diminui o metabolismo em até 0.67578 met à medida que aumenta. Um aumento da frequência cardíaca no repouso causa diminuição no metabolismo enquanto um aumento da frequência cardíaca final causa aumento do mesmo. O PMV que melhor se ajustou à opinião dos sujeitos avaliados nesta pesquisa foi o PMV calculado utilizando o modelo de metabolismo elaborado nesta pesquisa. O estudo está limitado ao ambiente, atividade e conjunto de sujeitos que se adequa ao grupo inicialmente proposto.

Palavras-chave: Metabolismo. Conforto térmico. PMV. Estudantes. Smart. TSV.

## ABSTRACT

Thermal comfort is influenced by six factors and the accuracy of each will influence the overall accuracy of the PMV. One of the possible factors for inequalities is the determination of the metabolism rate. Thus, this research analyses whether the PMV calculated as a function of the metabolism obtained through the analysis of the personal variables of students in air-conditioned smart teaching environments is more similar to the thermal sensation vote than the model presented by ISO 7730 (2005). The personal variables were obtained through a structured questionnaire while the health and thermal variables were measured. The sample was 210 people in 7 settings totaling a sample of 517 data. In order to obtain a value for the metabolism, the bisection method was used. Generalized linear models were developed using methods and functions related to the g function, which relates the calculated metabolism to the evaluated variables. Generalized linear models were generated in order to improve the accuracy of the subjects' metabolism. A difference was observed between the PMV and the TSV of the subjects. In the situations of this research, the PMV overestimated and underestimated the opinion of the subjects. Although a lot of students have higher-than-expected metabolic rates, the central trend is only 0.6 met from what was recorded by the standard. Regarding the generation of the models, in every group that the variable weight was analyzed, it was considered in the model. The same occurred for the variables final heart rate and dry eyes sensation. Not drinking alcohol reduces metabolism by 0.16528 met. The weight variable shows little influence when altered. The variation of this variable decreases the metabolism by up to 0.67578 met as the pressure increases. An increase in heart rate at rest causes a decrease in metabolism while an increase in final heart rate causes an increase in heart rate. The PMV that best fit the opinion of the subjects evaluated in this research was the PMV calculated through the metabolism model created in this research. The study is limited to the environment, activity and set of subjects that fit the group initially proposed.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Efeitos da taxa metabólica na variação do PMV em dois níveis de isolação de vestimenta.....	16
Figura 2 – Relação entre a taxa metabólica e o PMV para o clima típico de escritórios.....	17
Figura 3 – Erros de PMV causados por incertezas dos parâmetros de entrada .....	22
Figura 4 – Mecanismos de trocas de calor no corpo humano.....	31
Figura 5 – Efeito da temperatura atmosférica sobre a temperatura corporal interna	32
Figura 6 – Escala de sete pontos da ASHRAE .....	37
Figura 7 – Diagrama de conforto mostrando a influência da temperatura do ar e da velocidade do ar sobre as outras variáveis sobre umidade relativa de 50% e índice de vestimenta de 1,0clo .....	42
Figura 8 – Diferença de predições de conforto entre o voto real e o PMV em alguns estudos de campo.....	49
Figura 9 – Relação entre o PMV e os votos reais de sensação térmica .....	51
Figura 10 – Relação entre a temperatura operacional e temperatura de neutralidade para Singapura e Bangkok.....	54
Figura 11 – Número de passos dados e a taxa metabólica .....	59
Figura 12 – Variação da taxa metabólica medida com a temperatura para N-N e S-N .....	61
Figura 13 – Comparação do TSV, PMV e rPMV .....	62
Figura 14 – Comparação da taxa metabólica por temperatura .....	65
Figura 15 – Comparação entre TSV, PMV e rPMV .....	66
Figura 16 – Ajuste entre o PMV e as sensações relatadas para taxa metabólica igual 70W/m <sup>2</sup> (a). Ajuste entre o PMV e as sensações relatadas para a taxa metabólica determinada em função das características pessoais dos sujeitos(b).....	68
Figura 17 – Instrumentos de coleta (a) TGD 300 (b) Estação microclimática .....	74
Figura 18 – Layouts dos ambientes analisados .....	79
Figura 19 – Características gerais dos sujeitos da pesquisa .....	80

Figura 20 – Comparação entre o PMV e o TSV dos sujeitos .....	81
Figura 21 – Gráfico das densidades empírica e teórica do metabolismo .....	82
Figura 22 – Avaliação da multicolinearidade entre variáveis.....	84
Figura 23 – Gráfico comparativo dos PMV calculados com diferentes metabolismos .....	92
Figura 24 – Temperatura interna do ar registrada por local .....	93
Figura 25 – PMVa e TSV por local avaliado.....	94

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Seis métodos de medição do metabolismo .....	27
Quadro 2 – Características dos 128 participantes do estudo de Fanger em 1968....	36
Quadro 3 – Limites do modelo PMV conforme criado por Fanger.....	39
Quadro 4 – Categorias do ambiente para ambientes internos com condicionamento de ar. ....	41
Quadro 5 – Classificação da taxa metabólica pela ocupação .....	44
Quadro 6 – Classificação da taxa metabólica pelo tipo de atividade.....	44
Quadro 7 – Resultados da análise do conforto térmico nos ambientes naturalmente ventilados e com HVAC .....	52
Quadro 8 – Classificação desta pesquisa .....	70
Quadro 9 – Palavras chave utilizadas no levantamento de referências .....	71
Quadro 10 – Locais de coleta.....	72
Quadro 11 – Variáveis coletadas na pesquisa .....	73
Quadro 12 – Período e horários das coletas do experimento .....	75
Quadro 13 – Cálculo do PMV em função do metabolismo .....	78
Quadro 14 – Modelos ajustados a partir das variáveis disponíveis .....	85
Quadro 15 – Frequência de uso das variáveis .....	90

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores do metabolismo calculado por Instituição .....	83
---	----

## LISTA DE ABREVIACOES

HVAC – *Heating and Ventilation and air conditioning* (aquecimento, ventilação e ar-condicionado)

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

TSV – *Temperature Sensation Vote* (Voto de sensação térmica)

PMV – *Predicted Mean Vote* (Voto médio predito)

ATP – Trifosfato de adenosine

PPD – *Predicted Percentage of Dissatisfied* (Percentagem prevista de insatisfeitos)

LPPD – *Lowest Possible Percentage of Dissatisfied* (Percentagem minima de insatisfeitos possível)

MWC – Maximum work capacity (capacidade máxima de trabalho)

BPR – Bateria de provas de raciocínio

VDT – vídeo display terminal

## SUMÁRIO

RESUMO.....	4
ABSTRACT .....	5
LISTA DE FIGURAS .....	6
LISTA DE QUADROS .....	8
LISTA DE TABELAS .....	9
LISTA DE ABREVIACÕES.....	10
SUMÁRIO.....	11
1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Tema e problema de pesquisa .....	14
1.2 Objetivos.....	19
1.3 Justificativa .....	20
1.4 Estrutura do documento .....	23
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	25
2.1 Conforto térmico .....	25
2.2 Termorregulação humana .....	32
2.3 <i>Predicted Mean Vote (PMV)</i> .....	35
2.3.1 <i>O Experimento de Fanger</i> .....	35
2.3.2 <i>Equação do PMV</i> .....	37
2.3.3 Discussões e investigações sobre o modelo PMV .....	38
2.3.4 Predicted percentage of dissatisfied (PPD) .....	40
2.3.5 <i>Aplicações do modelo do PMV</i> .....	41
2.4 Metabolismo .....	43
2.5 Normas relacionadas ao conforto térmico .....	47

2.5.1	<i>ASHRAE 55</i> .....	47
2.5.2	<i>ISO 7730</i> .....	48
2.5.3	<i>ISO 7726</i> .....	48
2.5.4	<i>ISO 8996</i> .....	48
3	ESTADO DA ARTE.....	49
3.1	A análise do uso do PMV como método de termoavaliação.....	49
3.2	O estudo do metabolismo relacionado ao conforto térmico.....	58
3.3	Os estudos do PMV com metabolismo não tabelado .....	63
3.4	Considerações finais do capítulo.....	69
4	METODOLOGIA .....	70
4.1	Classificação da pesquisa .....	70
4.2	Considerações sobre o projeto e a ética .....	70
4.3	Processo de levantamento literário .....	71
4.4	Etapas .....	72
4.4.1	<i>Coleta de dados</i> .....	72
4.4.2	<i>Calculo do metabolismo</i> .....	75
4.4.3	<i>Triagem das variáveis</i> .....	77
4.4.4	<i>Elaboração dos modelos</i> .....	77
4.4.5	<i>Comparação entre os PMV</i> .....	78
5	RESULTADOS .....	79
5.1	Análise descritiva dos dados coletados.....	79
5.2	Metabolismo calculado .....	82
5.3	Grupos de dados relacionados.....	83
5.4	Modelos gerados .....	85
5.5	Comparação entre os PMV .....	91

6	DISCUSSÃO.....	93
7	CONCLUSÃO .....	104
	REFERÊNCIAS.....	106
	APÊNDICE A – Código em linguagem R para calcular o metabolismo pelo método da bisseção .....	118
	ANEXO A – Parecer do comitê de ética da Universidade Federal da Paraíba n. 664.712 .....	121
	ANEXO B – Termo de consentimento livre e esclarecido .....	122
	ANEXO C – Questionário .....	125

# 1 INTRODUÇÃO

Este capítulo discorre sobre a necessidade de pesquisas sobre a relação entre metabolismo e conforto térmico justificado na modernização atual dos ambientes que provoca uma imprecisão do modelo do PMV na determinação do conforto de sujeitos em ambientes de campo.

## 1.1 Tema e problema de pesquisa

Na sociedade industrial moderna do século 21, o homem está passando a maior parte da sua vida no ambiente interno de edificações. Fanger (1973), Noh (2007) e Daghigh (2015) afirmam que grande parte da população passa a maior parte do dia em um ambiente interno de condições artificiais seja no trabalho, diversão, centros culturais ou no transporte. A preocupação com o conforto térmico dos trabalhadores e sua influência na produtividade já vem sendo estudado há anos, por exemplo, Straub *et al.* (2016) afirma que a Comissão Americana de Ventilação realizou os primeiros estudos sobre a interferência das condições térmicas no rendimento de trabalhadores em 1916.

De acordo com Auliciems e Szokolay (2007), até a Revolução industrial, havia pouca praticidade no controle do conforto térmico devido à baixa disponibilidade de ferramentas de controle dos fatores que influenciam no conforto térmico. Esta concepção é corroborada por Fabbri (2015) que afirma que antes do século 20 o controle da temperatura ambiente era feito através de processos adaptativos relacionados ao comportamento, vestuário, uso de lareiras ou fogões e até a uso de túneis e de torres de ventilação. Auliciems e Szokolay (2007) observam que, embora o resfriamento mecânico só tenha se tornado uma possibilidade no início do século 20, desde o final do século 18 o homem já melhorava os métodos disponíveis para se manter aquecido. A partir da invenção de sistemas de aquecimento e condicionamento de ar para permitir o trabalho de militares em altas e baixas temperaturas se torna possível controlar a temperatura do ambiente e assim nasce o conceito de conforto térmico.

Comparando os ambientes de trabalho de hoje com os de anos atrás, observa-se que o *design* de um ambiente de trabalho atual deve antecipar altos níveis de mudança espacial e tecnológica fornecendo sistemas térmicos e de qualidade do ar

sensíveis, bem como infraestruturas de tecnologia flexível. Um exemplo deste esforço de antecipação é descrito por Akimoto *et al.* (2010) quando narra os eventos da terceira conferência de partidos para a Convenção estrutural de mudança climática das Nações Unidas (COP3) em 1997, quando foi adotado o protocolo de Kyoto em um esforço conjunto de nações para lutar contra mudanças climáticas.

Choi *et al.* (2012) mostram que apesar dos ocupantes das edificações modernas requererem condições ambientais internas que suportem atividades computacionais intensivas, além das outras atividades anteriormente exercidas nestes ambientes, visto a modernização dos ambientes de trabalho, as normas e padrões para ambientes internos foram predominantemente desenvolvidos baseados em experimentos envolvendo humanos em câmaras térmicas sem considerar estas inovações tecnológicas inseridas nos novos ambientes de trabalho e tal desconsideração pode não refletir as condições necessárias para gerar conforto térmico nesses ambientes.

O ser humano possui um sistema corporal capaz de ajudá-lo a manter sua temperatura interna constante e dentro de padrões de permitir que todos os órgãos e membros do corpo funcionem eficientemente. Este sistema, que trabalha com um mecanismo de *feedback*, é chamado de sistema termorregulatório e seu propósito é manter a temperatura interna humana razoavelmente constante usando vasoconstrição, vasodilatação, secreção de suores e tremores. Fanger (1973) afirma que, embora este mecanismo de regulação seja mais eficaz para manter o equilíbrio do calor, a manutenção de equilíbrio do corpo está longe de ser a única condição para conforto o térmico.

Diversos autores (Raja and Nicol (1997), Fanger e Toftum (2002) Humphreys e Nicol (2002), Auliciems e Szokolay (2007), Corgnati *et al.* (2009), Andreasi *et al.* (2010), Conceição *et al.* (2012), Ricciardi e Buratti (2012), Moreira *et al.* (2012), Choi *et al.* (2012), Teleghani *et al.* (2013), Alfano *et al.* (2013), de Dear *et al.* (2013), Attia e Hensen (2014), Maiti (2014), Dhaka *et al.* (2015), Kim *et al.* (2013), Ricciardia e Buratti (2015), Kim *et al.* (2015), Straub *et al.* (2016)), afirmam que em estudos realizados em ambientes reais ou condições próximas da realidade, o modelo PMV (*Predicted Mean Vote*) frequentemente não reflete os votos de sensação térmica reais dos

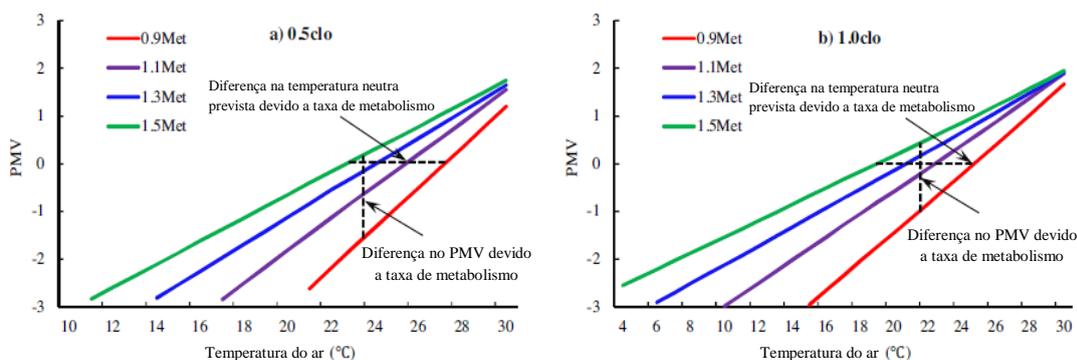
ocupantes das edificações estudadas. Recentemente, nos ambientes de trabalho aumentaram as atividades no computador e reduziram-se as atividades baseadas em papel. Esta mudança causa uma diminuição no metabolismo dos trabalhadores e alteração na temperatura de conforto térmico dos mesmos.

Conforto térmico é influenciado por seis fatores e a precisão de cada um vai influenciar a exatidão geral do PMV. Um dos possíveis fatores para as desigualdades é a determinação da taxa de metabolismo. De acordo com Havenith *et al.* (2002), Katavoutas *et al.* (2009), Luo *et al.* (2018), a taxa estimada de metabolismo para pessoas, realizando a mesma atividade, não deveria ser usada de uma forma generalizada devido às diferenças individuais e possíveis influências psicológicas ou sociológicas no ambiente de trabalho.

A Figura 1 apresenta os impactos da mudança da taxa de metabolismo no PMV para duas taxas de isolamento de vestimentas diferentes. Ela mostra que para uma mesma temperatura, a sensação térmica pode variar de uma sensação de conforto para uma sensação de desconforto a medida que o metabolismo varia. Isto é, um erro de 0,6 met na estimação do metabolismo pode ser a diferença entre estar e não estar confortável a uma determinada temperatura para atividades sedentárias.

A partir da Figura 1 se observa que, variando o metabolismo em 0,6 met, o PMV pode variar de 0,5, considerado uma posição de conforto térmico e até -3 que equivale a uma situação de muito frio.

Figura 1 – Efeitos da taxa metabólica na variação do PMV em dois níveis de isolamento de vestimenta

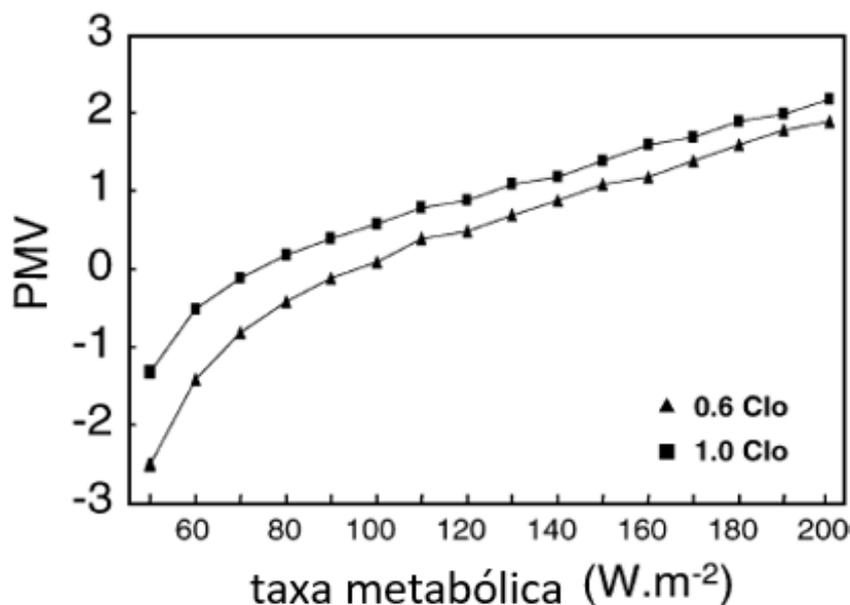


Fonte:

Luo *et al.* (2016a, p.153)

A Figura 2 mostra a variação que ocorre no PMV para determinadas mudanças feitas na taxa metabólica a fim de demonstrar a sensibilidade do PMV ao metabolismo em climas de escritório usando dois tipos de vestimenta.

Figura 2 – Relação entre a taxa metabólica e o PMV para o clima típico de escritórios



Fonte: Havenith *et al.* (2002, p.590)

Havenith *et al.* (2002) evidenciam na Figura 2 que um erro de 15% na avaliação da taxa metabólica pode facilmente levar a erros no PMV maiores que 0,3 dependendo de outras condições. Eles destacam a necessidade de uma medida precisa da taxa metabólica para uma análise de conforto apurada.

A norma ISO 8996 (2004) oferece métodos de obter o valor do metabolismo humano. A primeira é obtida através da tabela constante na própria norma de acordo com a atividade. Este é o método mais utilizado no cálculo do PMV, porém, conforme afirmam Broday *et al.* (2014), é um método generalizado, que não considera a forma como as atividades são realizadas, e as adaptações e regulações que as pessoas utilizam a fim de atingir o objetivo da atividade, a exemplo das adaptações posturais sugeridas por Raja e Nicol (1997). E ainda, Yau e Chew (2014) indicam que o valor disponível nas tabelas da norma ISO 8996 (2004) foi derivado através da análise de um pequeno grupo de pessoas em um experimento laboratorial e não poderia ser utilizado para edificações reais nos quais os resultados seriam instáveis.

Xavier (2000) destaca ainda que as tabelas mencionadas são estimadas levando-se em consideração apenas a atividade desempenhada e não a pessoa que a está desempenhando bem como suas características individuais como sexo, altura, forma física, esforço que está dispendendo para realizar a atividade, adaptação à atividade, condicionamento físico, hábitos alimentares ou nível de stress e, assim, considera a utilização das tabelas um método simplista para seus propósitos.

Existe ainda o fato que a amostra utilizada na elaboração das tabelas era composta de pessoas com altura, idade e massa muscular semelhante de forma que é difícil extrapolar seu uso para a diversidade de trabalhadores presentes nos ambientes para os quais o modelo do PMV é utilizado.

O segundo método consiste no cálculo do metabolismo através da frequência cardíaca. De acordo com Ruas (1999), o uso deste método foi facilitado pelo surgimento de equipamentos de medida que oferecem liberdade de movimentação para o trabalhador. No entanto, apesar de estar intimamente relacionada à taxa metabólica, a variação da frequência cardíaca é uma ferramenta que só é recomendada quando a atividade for de trabalho dinâmico, que utilize grandes grupos de músculos (exemplo: todos os músculos dos membros superiores do corpo) com pequena solicitação estática e na ausência de sobrecarga térmica e mental, de acordo com a própria norma ISO 8996 (2004).

Outro método consiste na obtenção do metabolismo através da medição de oxigênio consumido. Hasan *et al.* (2016) oferece uma nova opção ao afirmar que novos dispositivos *smart* já podem ser utilizados para estimar de forma mais precisa e contínua a taxa de metabolismo, porém o uso desses dispositivos ainda é inviabilizado pelo custo e não se encontra normatizado, causando dificuldades de padronização em pesquisas.

Desta forma, Havenith *et al.* (2002) aponta que diversos estudos têm sido realizados buscando taxas de metabolismo em diferentes atividades e utilizando não só os métodos presentes na ISO 8996 (2004), mas também técnicas de regressão e modelos matemáticos. No entanto, ainda segundo o autor, deve-se tomar cuidado pois os modelos só são válidos sobre condições nos quais os estudos foram realizados, isto é, estudos realizados em geografias e atividades diferentes da geografia brasileira

e da atividade sedentária em ambiente *smart*, apenas se aplicam a estas situações específicas, especialmente devido às particularidades do uso de novas tecnologias. Assim, para aprimorar a estimativa da taxa metabólica são necessárias mais informações e detalhes para atividades com taxa metabólica abaixo de 2 met. Esta afirmação é corroborada por Yang *et al.* (2016) que diz que a faixa de flutuação da taxa de metabolismo difere em diferentes ambientes.

Ressalta-se que a adequação do ambiente de trabalho ao homem é uma das preocupações da ergonomia. Sob o ponto de vista termoambiental o ajuste e controle das variáveis térmicas poderão trazer conforto e segurança para as pessoas com reflexo na produtividade. Logo, ambientes climatizados, como os de ensino, que hoje são munidos de equipamentos eletrônicos modernos, precisam ser projetados levando-se em consideração as características das pessoas, a atividade a ser desempenhada, além do tempo de permanência dessas pessoas neste ambiente. Como o conforto térmico é influenciado por diversos fatores, dentre estes há a taxa de metabolismo, que se usada de forma generalizada pode não considerar as diferenças individuais de cada pessoa o que poderá interferir na precisão da estimativa do voto médio previsto na norma ISO 7730 (2005) quanto às condições térmicas do ambiente.

Emerge-se da contextualização do tema apresentado que o voto predito médio, conhecido como PMV da referida norma supracitada, há certas diferenças entre o PMV obtido utilizando o metabolismo adquirido através dos métodos disponíveis na literatura, associado à necessidade evidenciada neste e em outros trabalhos de obter os dados precisos de metabolismo para o cálculo do PMV, além da sua adequação para o ambiente a ser estudado. Sendo assim, esta pesquisa propõe-se a responder a seguinte pergunta: O PMV calculado em função do metabolismo obtido através da análise das variáveis pessoais de estudantes em ambientes de ensino *smart* climatizado é mais similar à sensação térmica que o PMV da norma ISO 7730 (2005)?

## **1.2 Objetivos**

Geral:

Analisar se o PMV calculado em função do metabolismo obtido através da análise das variáveis pessoais de estudantes em ambientes de ensino *smart*

climatizado é mais similar à sensação térmica do que o modelo apresentado pela norma ISO 7730 (2005).

Objetivos específicos:

- Avaliar as variáveis pessoais e de saúde vinculadas aos estudantes
- Avaliar a percepção térmica dos estudantes no ambiente
- Propor um modelo de metabolismo em função de variáveis pessoais e de saúde dos estudantes
- Comparar o modelo de metabolismo proposto com outros modelos constantes na literatura

### **1.3 Justificativa**

Pesquisadores (Huang *et al.* (2012) e Vimalanathan e Babu (2014), Siqueira e Silva (2015)) concordam que os fatores de conforto térmico são mais importantes que muitas outras características dos ambientes contemporâneos, como iluminação. No entanto, ainda de acordo com os autores supracitados, os bancos de dados relativos ao conforto térmico no Brasil ainda são poucos e existe uma inadequação das normas vigentes às adaptações que os ambientes chamados *smart*, exigem.

Existem conflitos entre os resultados dos modelos PMV e as situações reais encontradas nos ambientes internos. As imprecisões na determinação da taxa metabólica são o foco principal desta pesquisa, pois o uso do metabolismo obtido através de tabelas baseadas na atividade na definição do PMV de ambientes internos gera imprecisão quando comparado ao uso do metabolismo obtido por outros métodos experimentais ou matemáticos (Luo *et al.* (2018)).

Siqueira e Silva (2015) destacam que uma das implicações do aumento na temperatura média do ar de 3°C a 6°C até o ano 2100 em comparação ao final do século 20 em todo o Brasil previsto pelo relatório do Ministério de Ciência e Tecnologia sobre mudanças climáticas, é provável que a saúde do sistema termorregulatório humano e a geração de uma sobrecarga fisiológica, as quais poderão ter reflexos no trabalhador durante o exercício de atividades em ambientes de trabalho, e esta sobrecarga pode não constar nas tabelas de metabolismo presentes nas normas de conforto térmico.

Assim, o aumento na temperatura demandará mais esforço do corpo humano para atingir a sensação de conforto térmico, o que poderá gerar uma inadequação do modelo do PMV com metabolismo obtido através das tabelas mencionadas, e este resultado possivelmente não representará a realidade dos novos ambientes climatizados.

O PMV desconsidera também os modos adaptativos que cada pessoa utiliza em busca do conforto térmico conforme demonstram Akimoto *et al.* (2010), Luo *et al.* (2016b), Xavier (2000), Raja e Nicol (1997), Fanger e Toftum (2012) e outros autores que procuram demonstrar que fatores como idade, postura e até expectativa criada por viver em um ambiente externo com um determinado tipo de clima influenciam na adequação do modelo do PMV aos votos reais dos ocupantes de edificações em estudos de conforto térmico. A ausência de fatores subjetivos de adaptação no modelo do PMV, principalmente no cálculo do metabolismo pode ser o fator que causa desajustes do PMV que poderiam ser corrigidos através da construção de um modelo que leve em consideração outras variáveis.

Considera-se também que de acordo com Veselý e Zeiler (2014), é comum assumir que quando uma pessoa considerada “média” está em conforto térmico, atingiu-se o melhor ambiente térmico possível, no entanto na prática diferenças individuais, como idade, sexo, vestuário, atividade ou massa corporal, interferem na satisfação geral com o ambiente e tentar contornar essa dificuldade com métodos adaptativos individuais tem se mostrado ineficiente.

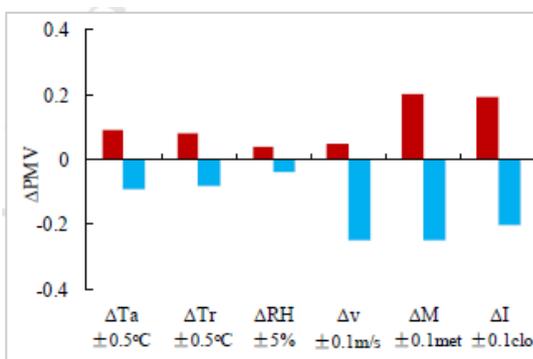
Rupp *et al.* (2015) destaca que fatores contextuais como aspectos comportamentais e culturais, preferências individuais, características demográficas e antropométricas (por exemplo, idade, sexo, peso), disposição do espaço, características arquitetônicas e oportunidades adaptativas disponíveis também podem influenciar a percepção de conforto térmico dos ocupantes.

De acordo com Luo *et al.* (2018), os métodos prevalentes na literatura provavelmente não são precisos o suficiente para sustentar uma modelagem de conforto térmico comum “com qualquer aparência de precisão”. De acordo com o autor isso ocorre por dois motivos: alterações na taxa metabólica podem causar falhas em algumas suposições básicas dos modelos de conforto térmico e incerteza na

descrição da taxa metabólica causada pela desconsideração de características individuais do corpo humano também pode causar erros de previsão conforme ilustrado na figura 3.

Na figura,  $\Delta T_a$  é a variação da temperatura do ar.  $\Delta T_r$  é a variação da temperatura de radiação.  $\Delta RH$  é a variação na umidade relativa.  $\Delta v$  é a variação na velocidade do ar.  $\Delta M$  é a variação no metabolismo e  $\Delta I$  é a variação no fator de vestimenta.

Figura 3 – Erros de PMV causados por incertezas dos parâmetros de entrada



Fonte: Luo *et al.* (2018)

Em função dessas diferenças, é necessário analisar o metabolismo a fim de encontrar um modelo que seja capaz de obter um valor mais preciso, em especial em ambientes *smart* para utilizá-lo no modelo PMV, de reduzir as desconexões entre o PMV e o voto real dos ocupantes de edificações.

De Dear *et al.* (2013) menciona que as mudanças climáticas e a necessidade de menor consumo energético em edificações têm determinado as direções das pesquisas contemporâneas no campo do conforto térmico. Esta tendência pode ser observada no estudo de Siqueira e Silva (2015) que menciona que os edifícios em geral têm como principal objetivo proporcionar um ambiente saudável e confortável para seus ocupantes e assim condições térmicas em um espaço fechado precisam ser controladas para assegurar a saúde e o conforto dos ocupantes bem como o adequado funcionamento dos equipamentos.

De Dear *et al.* (2013) fez um levantamento das tendências de pesquisa no campo do conforto térmico de 1993 a 2013 e concluiu que existiam, nesta época oito

campos emergentes de pesquisa. Dentre estas oito áreas, esta pesquisa está inserida no que ele chamou de aceitabilidade térmica em sistemas de conforto pessoal, mas traz consigo características de outras três das áreas por ele consideradas importantes para o cenário do conforto térmico atualmente. Daghigh (2015) enfatiza que vários conceitos já foram aplicados para relacionar variáveis de conforto térmico às variáveis fisiológicas do sujeito que ocupa o ambiente, destacando assim o nível de dificuldade que apresenta o assunto.

Considerando o exposto observa-se uma necessidade de aperfeiçoar o processo de aquisição do metabolismo a fim de precisar e melhorar o cálculo do PMV para adaptá-lo as mudanças pelas quais os ambientes vêm passando tanto pela introdução de novos equipamentos quanto devido ao aumento da temperatura externa. Essa necessidade tem sido demonstrada também em trabalhos recentes (De Dear *et al.* (2013), Daghigh (2015)) em periódicos de alto impacto o que demonstra a importância e imperatividade deste estudo.

Para a área de ERGONOMIA, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE e o Programa de Pós graduação em Engenharia da Produção no qual se insere esta dissertação, a pesquisa traz um esforço no sentido de tornar um modelo normatizado mais preciso e oferecer um modelo mais adequado para sala de aula que é onde se desenvolvem as atividades da própria pós-graduação.

#### **1.4 Estrutura do documento**

Este projeto está estruturado em quatro capítulos. O capítulo 1, chamado INTRODUÇÃO, traz um apanhado superficial da necessidade de pesquisas nesta área de conforto térmico e sua relação com a necessidade de uma estimativa precisa do metabolismo. A caracterização é complementada pela justificativa que mostra que existe uma necessidade desta pesquisa devido a modernização dos ambientes que gera uma situação nova que o modelo de PMV não tem sido capaz de compreender de forma precisa. A introdução traz ainda os objetivos gerais e específicos que a pesquisa visa atingir.

O capítulo 2, intitulado FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA, oferece ao leitor os conceitos básicos de conforto térmico, termorregulação humana, PMV e suas

aplicações e obtenção do metabolismo que são necessários para compreender a pesquisa.

O capítulo 3, chamado ESTADO DA ARTE, divide o tema em três grandes grupos de artigos e trabalhos que têm sido realizados desde 1970, quando o modelo de Fanger foi introduzido até os dias atuais e que possuem relevância para esta pesquisa. O primeiro grupo faz a análise do modelo PMV como método de determinação do conforto térmico real de sujeitos. O segundo grupo mostra estudos sobre a influência do metabolismo no conforto térmico e, por fim, o terceiro grupo mostra como tem evoluído os estudos do metabolismo humano relacionado ao conforto térmico utilizando outros métodos de obtenção do metabolismo que não o tabelado.

O capítulo 4 descreve os METODOLOGIA que se pretende adotar na execução deste projeto desde a revisão bibliográfica até a análise dos resultados encontrados na pesquisa.

O capítulo 5 contém os RESULTADOS de cada uma das etapas da dissertação divididos e organizados de forma semelhante ao capítulo da metodologia para facilitar a relação entre a etapa metodológica e os resultados por ela alcançados.

O capítulo 6, chamado DISCUSSÃO, sumariza os resultados encontrados, visando conectá-los entre si. Além disto, o capítulo fornece uma comparação e análise crítica dos resultados em relação à literatura consultada a fim de identificar vieses de pesquisa e mostrar os atingimentos dos objetivos aos quais este trabalho se propôs.

O capítulo 7 contém a CONCLUSÃO desta pesquisa identificando possíveis lacunas deixadas por ela e apresentando os avanços acadêmicos e práticos acarretados por esta pesquisa. O capítulo aponta ainda como os objetivos foram alcançados e as vantagens de alcançá-los.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tem por finalidade capacitar o leitor com conceitos básicos necessários ao entendimento desta pesquisa. Ele será dividido em conceitos de conforto térmico, termorregulação humana, PMV e metabolismo.

### 2.1 Conforto térmico

De acordo com a ISO 7730 (2005), conforto térmico é definido como a condição de mente que expressa satisfação com o ambiente térmico. O homem está em conforto térmico quando a produção interna de calor no corpo está equilibrada com a perda de calor para o ambiente. Fabbri (2015) define conforto térmico como o resultado da interação de trocas físicas, fisiologia, psicológico, direitos sociais e culturais, depende da arquitetura, vestuário, hábitos alimentares e clima.

Fanger (1973) enfatiza que o primeiro requisito para o conforto térmico sobre condições permanentes é que a equação do balanço de calor seja satisfeita. Este requisito é uma expressão para o propósito do sistema termorregulatório do homem para manter uma temperatura corporal interna razoavelmente constante.

A equação do balanço de calor, chamada de equação 1, busca considerar os mecanismos de produção de calor do corpo e bem como os mecanismos normais de perda deste calor, isto é, as formas normais de perda de calor pelas quais o sistema não sofre o estresse da termorregulação. De acordo com a Auliciems e Szokolay (2007), a temperatura interna do corpo tem que se manter em 37°C enquanto a temperatura da pele pode variar de 31°C a 34°C sobre condições de conforto, considerando que de acordo com a pesquisa realizada por Frank (1999) a temperatura do corpo e da pele contribuem da mesma forma para o conforto térmico, e que a temperatura do corpo influencia mais na regulação das respostas autonômicas de termorregulação e metabolismo.

$$M - T = C_{res} + E_{res} + C + R + E_s + E_{dif} + S \quad (1)$$

Na qual:

$M$  – Metabolismo

$T$  – Trabalho

$C_{res}$  – Convecção na respiração

$E_{res}$  – Evaporação na respiração

$C$  – Convecção na pele

$R$  – Radiação na pele

$E_s$  – Evaporação através da sudorese

$E_{dif}$  – Evaporação por difusão

$S$  – Saldo

O primeiro termo desta equação diz respeito à produção de calor no organismo. O calor é produzido através de reações químicas que ocorrem no corpo humano a partir da respiração e da ingestão de alimentos. De acordo com Guyton e Hall (2006), o produto da digestão humana é basicamente glicose, frutose e galactose, sendo 80% glicose. Após a absorção pelo trato intestinal, grande parte da frutose e boa parte da galactose são convertidas em glicose no fígado; neste ponto, quando as substâncias chegam ao sangue já é 95% glicose. No fígado, a glicose é transformada em trifosfato de adenosina (ATP) que é utilizado como energia para o corpo. Da energia produzida por uma molécula de glicose, 34% é energia calorífica que não pode ser usada pelas células do corpo e precisa ser dissipada. Além deste uso, algumas reações químicas que utilizam o ATP como fonte de energia só utilizam algumas centenas das 1200 calorias disponíveis e o restante é também liberado na forma de calor.

Guyton e Hall (2006) afirmam que metabolismo (M) significa a totalidade das reações químicas em todas as células do organismo, visto que calor é o produto final de quase toda a energia liberada no corpo e ainda que, mesmo com a produção de calor na formação do ATP e com a transferência do ATP para as células, apenas 27% da energia produzida alcance as células, parte dessa energia ainda se transforma em calor.

Existem várias formas de medir o metabolismo humano. A norma ISO 8996 (2004) fornece seis métodos e dados para estimar a produção de calor metabólico em humanos, conforme apresentado no quadro 1.

Quadro 1 – Seis métodos de medição do metabolismo

Nível	Método	Precisão	Inspeção do local de trabalho
I	A: Classificação de acordo com o tipo de atividade	Informação bruta na qual o risco de erro é muito grande	Não é necessária
	B: Classificação de acordo com a ocupação		Informações sobre equipamentos técnicos e organização de trabalho
II	A: Uso de tabelas de avaliação em grupo	Alto risco de erro: precisão de $\pm 15\%$	Necessários estudos de tempo
	B: Uso de tabelas de estimação para atividades específicas		
	C: Uso da taxa de batimentos cardíacos sobre condições definidas		Não é necessário
III	Medição através de entrada e saída e oxigênio	Risco de erros dentro dos limites de precisão da medida e do tempo de estudo: precisão de $\pm 15\%$	Necessários estudos de tempo

Fonte: ISO 8996 (2004)

ASHRAE 55 (2013) define a taxa metabólica como a taxa de transformação de energia química em calor e trabalho mecânico através de atividades metabólicas de um organismo, geralmente expresso em termos de unidade de área da superfície total do corpo. Tradicionalmente, o metabolismo tem sido estimado em met sendo  $1 \text{ met} = 58,15 \text{ W/m}^2$ .

Essencialmente, afirmam Guyton e Hall (2006) que toda a energia despendida pelo corpo é convertida em calor com exceção de quando os músculos são usados para realizar alguma forma de trabalho exterior ao corpo, como por exemplo quando os músculos elevam um objeto a certa altura.

A taxa de energia mecânica utilizada para realizar um esforço externo, podendo ser obtido a partir da eficiência térmica é denominado trabalho (T). As tabelas de metabolismo da norma NHO 06 (2012) e da NR-15 (2014) mostram que a maioria das atividades terá o trabalho desprezível em relação ao metabolismo.

Este calor gerado pelos metabolismo e trabalho precisam ser eliminados para garantir o balanço térmico, evitando elevações ou reduções prejudiciais na temperatura corporal do ser humano. Estas perdas ocorrem através da pele e da respiração.

A convecção é um mecanismo de trocas de calor que se baseia na movimentação de matéria de fluidos a exemplo do ar. Ela ocorre quando há uma diferença de temperatura entre uma superfície sólida e o fluido ao seu redor. Considerando a pele (superfície) imersa em ar (fluido), um processo de convecção natural ocorre no qual o ar mais quente, próximo à superfície da pele se afasta, e é substituído pelo ar mais frio. Este, por sua vez, troca calor com a pele e ganha calor, realizando mais uma vez este ciclo e resfriando a pele. Esta convecção pode ocorrer também de forma forçada a partir de ventilação mecânica externa ao corpo humano.

De um modo geral, a transferência de calor por convecção é representada pela equação 2:

$$Q_c = h_c A (t_s - t_f) \quad (2)$$

Na qual:

A= área da superfície sólida (m<sup>2</sup>)

$h_c$ = coeficiente de convecção (W/m<sup>2</sup>.°C)

$t_s$  = temperatura da superfície (°C)

$t_f$ =temperatura do fluido (°C)

Para a pele, analogamente, a transferência de calor por convecção é representada pela equação 3:

$$C = h_c F_s (t_p - t) \quad (3)$$

Na qual:

$h_c$ = coeficiente de convecção (W/m<sup>2</sup>.°C)

$F_s$  = fator de redução do calor sensível

$t_p$ =temperatura da pele (°C)

$t$ =temperatura do fluido (°C)

A transferência de calor por radiação ocorre através de raios infravermelhos que são emitidos por qualquer corpo com temperatura superior a 0 Kelvin através de qualquer meio transparente sem necessidade de contato do corpo. A transferência de calor através da radiação ocorre quando há dois corpos de temperaturas diferentes dentro de um meio transparente. Os dois emitem radiação, mas a diferença gerada pela desigualdade de temperaturas é convertida em calor para o corpo de temperatura mais baixa. A transferência de calor por radiação normalmente é calculada através da equação 4:

$$Q_R = \varepsilon_s \sigma A_s (T_s^4 - T_v^4) \quad (4)$$

Na qual:

$\varepsilon_s$  = emissividade da superfície envolvida

$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ )

$A_s$  = área da superfície envolvida ( $\text{m}^2$ )

$T_s$  = temperatura da superfície envolvida (K)

$T_v$  = temperatura das superfícies vizinhas (K)

De acordo com a Guyton e Hall (2006), o corpo humano irradia raios infravermelhos de comprimento de onda entre 5 a 20 micrômetros que é de 10 a 30 vezes o comprimento de onda da luz em todas as direções. Esta radiação é representada pela equação 5:

$$R = h_r F_s (t_p - t_{rm}) \quad (5)$$

Na qual:

$h_r$  = coeficiente de radiação ( $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ )

$F_s$  = fator de redução do calor sensível

$t_p$  = temperatura da pele (°C)

$t$  = temperatura radiante média (°C)

A condução é uma forma de transferência de calor de contato. Ela funciona através da transferência da agitação de moléculas próximas de umas às outras. A capacidade de transmitir o calor dessa forma é uma propriedade intrínseca do material. A equação 6 representa esta transferência de calor:

$$Q_k = -kA \frac{dt}{dx} \quad (6)$$

Na qual:

$k$  = condutividade térmica W/m.°C

$A$  = área da superfície transversal ao fluxo de calor (m<sup>2</sup>)

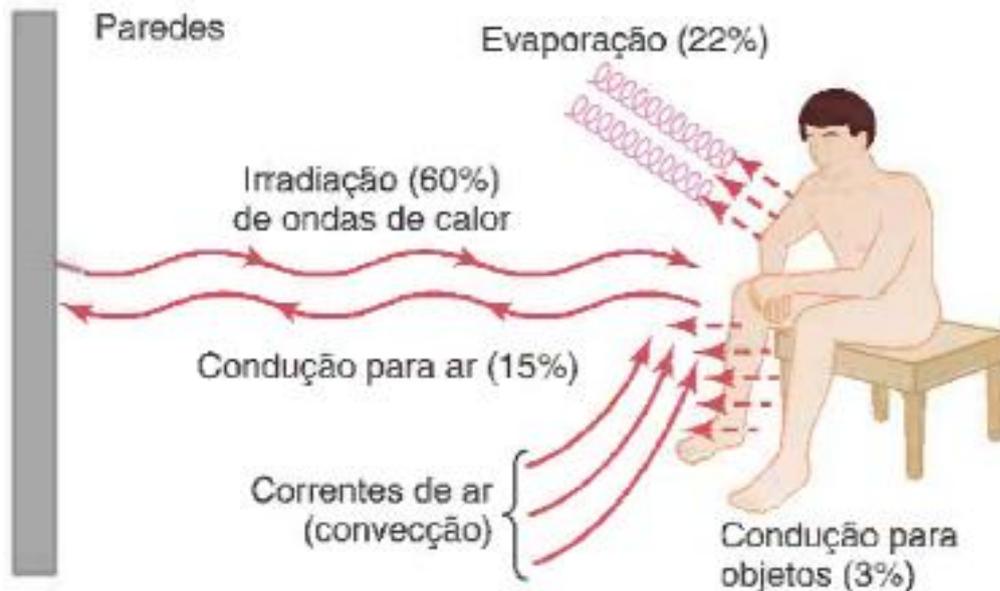
$\frac{dt}{dx}$  = gradiente de temperatura (°C/m)

A condução na pele é um caso que precisa ser analisado com cuidado. Ela ocorre da pele para o objeto sólido quando há contato entre os dois, mas este tipo de mecanismo ocorre em pouca quantidade e com objetos com temperatura diferente do ser humano. Além disso, quando o ar imediatamente adjacente à pele está com temperatura inferior à da pele, ocorre uma condução através da parte interna e externa da pele. Só que, à medida que a convecção térmica necessita que o ar adjacente a pele esteja na temperatura da pele e diferente da temperatura do ambiente, a condução é autolimitado.

A evaporação se apresenta de três formas no controle da temperatura corporal. É um método de perda de calor muito relevante quando a temperatura externa é maior que a temperatura corporal, pois nestes casos o corpo humano está ganhando calor através da radiação e da convecção, restando, portanto, apenas a evaporação no balanço de sua temperatura para igualar os dois termos do balanço. Na pele a evaporação acontece através da porção molhada da mesma, quando o corpo precisa aumentar esta porção molhada para conseqüentemente aumentar a perda de calor por evaporação, ela ativa o mecanismo de sudorese. Além da evaporação comum

pela pele molhada, ocorre uma evaporação insensível a partir da pele que contém água, chamada evaporação por difusividade, que advém da difusão contínua das moléculas que compõem a pele. Esta evaporação não pode ser controlada.

Figura 4 – Mecanismos de trocas de calor no corpo humano



Fonte: Guyton e Hall (2006)

A Figura 4 representa a parcela de contribuição que cada um destes mecanismos tem para a perda de calor pela pele para uma pessoa nua imersa em ar com temperatura normal e sentada, sendo a irradiação o principal mecanismo e a condução o menos representativo.

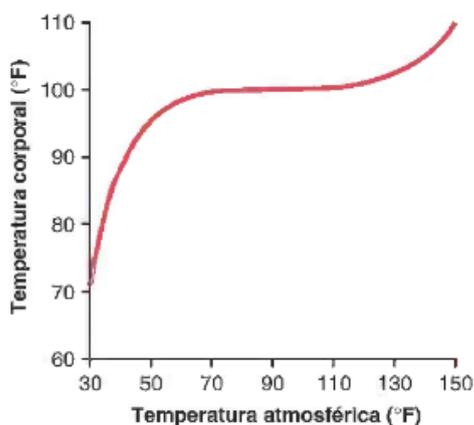
O ser humano também perde calor através da respiração. Nela ocorrem dois processos: convecção e evaporação. A convecção ocorre quando há diferença de temperatura entre o ar inspirado e expirado e a evaporação porque as mucosas internas do corpo humano estão mais úmidas que o ar expirado fazendo com que ocorra um nível de evaporação.

Todos estes processos são regulados através de um sistema corporal que controla através do sistema nervoso as ações do corpo para manter-se estável. Este sistema é chamado de termorregulação humana.

## 2.2 Termorregulação humana

O corpo humano é capaz de suportar altas temperaturas sem alterar sua temperatura interna conforme demonstra a Figura 5, que representa a variação na temperatura central de pessoa desnuda exposta a ar seco. No entanto, a partir do momento que o corpo não consegue, com seus mecanismos de perda de calor, controlar a temperatura interna, entra em ação o mecanismo da termorregulação.

Figura 5 – Efeito da temperatura atmosférica sobre a temperatura corporal interna



Fonte: Guyton e Hall (2006)

A termorregulação é um mecanismo de *feedback* do ser humano cujo objetivo é regular e manter a temperatura interna do corpo dentro da faixa ideal de funcionamento do organismo. O sistema de termorregulação depende de sensores de temperatura. Os sensores periféricos se localizam na pele e nos tecidos corporais profundos. Alguns autores vão afirmar que a pele só possui sensores para o frio, porém, apesar de haver muito mais sensores de frio, Guyton e Hall (2006) afirmam que existem sensores para o calor também, mas em menor número. Além da pele, esses sensores são encontrados principalmente na medula espinhal, nas vísceras abdominais e dentro ou ao redor das grandes veias na parte superior do corpo. Existem sensores mais centrais de temperatura de frio e de calor localizados na parte da frente do hipotálamo. As informações dos sensores periféricos e centrais convergem para o hipotálamo posterior que institui os mecanismos apropriados de termorregulação, quando necessário.

O sistema termorregulatório do homem é bem efetivo para equilibrar balanço térmico fisiológico. Porém, conforme afirmado por Fanger (1973), não é a única condição para o conforto térmico. De acordo com o autor, dentro dos limites das variáveis ambientais para as quais o balanço térmico é atingido, só existe um intervalo que resulta também conforto térmico.

Mecanismos de controle quando o corpo está muito quente:

- a) Vasodilatação: com o corpo mais quente que o normal o sangue tende a aquecer em concordância. O sangue está em todas as partes do corpo e pode funcionar como resfriador hidráulico do corpo. Para isso, ocorre uma vasodilatação dos vasos cutâneos. Com a vasodilatação, o volume de sangue nos vasos mais próximos à pele aumenta. A pele está trocando temperatura com o ambiente (mais frio), assim, o sangue se resfria e continua a circular pelo corpo levando à nova temperatura.
- b) Sudorese: o aumento da temperatura corporal faz com que o hipotálamo ative as glândulas sudoríparas distribuídas pelo corpo, que no intuito de aumentar a perda de calor por evaporação na pele através de uma elevação na fração de pele molhada, passam a produzir e secretar mais suor. De acordo com Frank *et al.* (1999), é possível produzir 4L/h por um curto período gerando muita fadiga, uma taxa de 1L/h é sustentável e absorve calor de forma endotérmica a uma taxa de 2,4mJ/L.
- c) Diminuição da produção de calor: forte inibição dos mecanismos termorregulação para o frio.

Mecanismos de controle quando o corpo está muito frio:

- d) Vasoconstrição: é o mecanismo reverso da vasodilatação. O corpo mais frio precisa que o sangue perca menos calor quando se aproxima das regiões mais periféricas do corpo. Para que esta redução ocorra, acontece uma vasoconstrição dos vasos cutâneos. Com isso, o volume de sangue nos vasos mais próximos a pele diminui e o sangue passa então a perder menos da temperatura interna do corpo para o ambiente.

- e) Aumento na termogênese: se manifesta tanto na forma de calafrios, excitação simpática da produção de calor ou elevação da tiroxina. O calafrio não é uma contração muscular real e, de acordo com Guyton e Hall (2006), o calafrio pode aumentar a produção de calor de quatro a cinco vezes o normal. A excitação simpática da produção de calor consiste no fenômeno conhecido como termogênese química no qual o corpo aumenta a produção de epinefrina e norepinefrina que são hormônios que podem aumentar a temperatura corporal em até 15% no ser humano adulto e até 100% na mulher em período de amamentação. A elevação da tiroxina secretada pela tireoide é um mecanismo de elevação do metabolismo a longo prazo; e é um responsável pelas diferenças que podem ocorrer no metabolismo de pessoas que vivem expostas ao frio como em regiões árticas.
- f) Tremores: podem ocorrer tremores involuntários do corpo com o objetivo de exigir mais energia do corpo e aumentar assim o metabolismo que aumenta a produção de calor.

De acordo com a pesquisa de Lopez *et al.* (1994), os sistemas termorregulatórios do homem e da mulher são semelhantes, Kahn *et al.* (1992), no entanto acusou uma diminuição no controle termorregulatório do idoso.

Além das respostas termorregulatórias involuntárias do sistema, o ser humano também pode utilizar de atos conscientes ou regulações comportamentais no sentido de controlar sua temperatura ao perceber uma desregulação do sistema, por exemplo, alterando o nível de vestimentas ou o local onde se encontra.

Existem fatores que influenciam o controle térmico humano como a forma do corpo, a quantidade de gordura ou aclimatação. Auliciems e Szokolay (2007) mostra que em climas quentes o volume de sangue circulando pode aumentar em até 20% e a taxa de sudorese aumenta por muitas semanas. Auliciems e Szokolay (2007) ainda discorrem sobre a influência da massa corporal na razão superfície-volume de corpo. A gordura subcutânea é um bom isolante de forma que a pessoa de maior volume preferiria uma temperatura mais baixa por estar mais bem isolada termicamente e pela maior superfície que este volume gera para trocas de calor.

## 2.3 Predicted Mean Vote (PMV)

### 2.3.1 O Experimento de Fanger

A necessidade de termorregulação decorre do ambiente no qual o ser humano está inserido. Para analisar este ambiente existe mais de uma alternativa. Para ambientes moderados a mais utilizada é o *Predicted Mean Vote* (PMV). De acordo com Broday *et al.* (2014), ambiente moderado é aquele que não há necessidade de uso intenso do sistema termorregulatório nem para o frio nem para o calor.

Fabbri (2015) realizou um levantamento da pesquisa de P.O. Fanger que resultou no índice usado atualmente. Ele afirma que a pesquisa começou nos anos sessenta no Laboratório de Aquecimento e Condicionamento de ar da Universidade Técnica da Dinamarca, concomitantemente ao Instituto de pesquisas ambientais na Universidade Estadual do Kansas. A escala de avaliação de conforto, que posteriormente foi adaptada para a escala utilizada pela ASHRAE, foi proposta em 1967 no artigo “Calculation of Thermal Comfort: Introduction of a basic comfort equation” e em 1970 foi publicado o livro “Conforto Térmico” que define o estudo das condições de conforto térmico e bem-estar em ambientes internos.

Estas condições são analisadas mediante o relacionamento entre parâmetros físicos de um ambiente e parâmetros fisiológicos das pessoas e destes dois parâmetros com a percepção de conforto expressa pelas próprias pessoas.

Fanger propõe então três condições para o conforto térmico conforme exposto por Coutinho (2005):

- a) Primeira: que o corpo esteja em condições de neutralidade térmica, fisiologicamente representada pela equação 7 do balanço térmico:

$$M - T = C_{RES} + E_{RES} + E_{DIF} + E_S + C + R \quad (7)$$

- b) Segunda: temperatura da pele de acordo com a equação 8:

$$t_p = 35,7 - 0,0275M \quad (8)$$

- c) Terceira: evaporação de suor obedecendo à equação 9:

$$E_s = 0,42(M - 58,15) \quad (9)$$

Em busca de uma forma de prever como os ocupantes de um ambiente se sentiriam quando inseridos neste ambiente, Fanger submeteu, em 1968, 128 pessoas cujas características estão descritas no quadro 2 a seu experimento em uma câmara climática (câmara ambiental) em formato de cubo de 2,8x5,6m com a altura de 2,8m na Universidade Técnica da Dinamarca.

Quadro 2 – Características dos 128 participantes do estudo de Fanger em 1968

Variável	Características
Profissão	Estudantes
Nacionalidade	Dinamarqueses
	50% homens + 50%mulheres
Idade média	23 anos
Roupas	Camisa e calças de algodão, com a camisa fora da calça, roupas de baixo de algodão e meias de lã sem sapatos
Insolação	0,6 clo

Fonte: Elaborado pelo autor

No início do experimento foram registradas as medidas, alturas, peso e área do corpo (fórmula de DuBois) dos 128 envolvidos e eles responderam um questionário inicial com questões relacionadas ao sono e alimentação. Os sujeitos foram então encaminhados para uma antecâmara onde passaram aproximadamente 30 minutos nos quais foram medidas suas temperaturas orais. Os sujeitos foram encaminhados para uma câmara de teste onde as condições de iluminação (150lux) e acústicas (45dB) foram mantidas constantes enquanto o ar foi filtrado e retro utilizado para evitar a formação de poeira e odores.

O experimento em si consistiu em fixar condições físicas de conforto ambiental, aguardar 30 minutos com os participantes sentados de forma tranquila, no máximo conversando sobre assuntos que não gerassem situação de nervoso e eles

responderam a um segundo questionário no qual avaliava o ambiente baseada no sistema de sete pontos exibido na Figura 6.

Figura 6 – Escala de sete pontos da ASHRAE



Fonte: Elaborada pelo autor

O experimento foi repetido com oito pontos fixos de temperatura que somente variavam a cada 30 minutos para que o sujeito não sentisse a variação gerando um total de seis notas para cada sujeito. O voto real dado por cada pessoa foi chamado de Y. Dentro da câmara, durante todo o experimento, foram gravados através de um sistema digital a temperatura do ar, umidade, temperatura média de radiação e a velocidade do ar.

Como no início do experimento, os sujeitos foram pesados para determinar a perda de peso devido à evaporação. Durante o teste eles podem beber, mas não comer e a quantidade de bebida é medida. (Fabbri, 2015, p.19)

### 2.3.2 Equação do PMV

Após o experimento e considerando que a opinião individual das pessoas (Y) variava em função da existência de um saldo de calor na equação de balanço que descreve a primeira condição para conforto térmico (L), realizou-se um tratamento estatístico e modelou-se uma equação diferencial de Y em relação a L e em função do metabolismo. A integral desta equação era uma função do metabolismo e do saldo de calor que substituído pelo saldo encontrado na equação do balanço térmico e chamando Y de PMV resultou na equação 10 retirada da Gilani, Khan e Ali (2016).

$$\begin{aligned}
 PMV = & (0,303e^{-0,036M} + 0,028)\{(M - T) \\
 & - 3,5 \cdot 10^{-3}[5733 - 6,99(M - T) - p_a] - 0,42(M - 58,5) \\
 & - 1,7 \cdot 10^{-5}M(5867 - p_a) - 0,0014M(34 - t_a) \\
 & - 3,96 \cdot 10^{-8}f_{cl}[(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl}h_c(t_{cl} - t_a)\}
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

Na qual:

$f_{cl}$  – fator de área das roupas

$h_c$  – coeficiente de transferência convectiva de calor (W/m<sup>2</sup>.°C)

$M$  – geração de calor metabólica (W)

$p_a$  – pressão parcial de água-vapor (Pa)

$t_{cl}$  – temperatura das roupas (°C)

$t_a$  – temperatura do ar (°C)

$t_r$  – temperatura média de radiação (°C)

$W$  – trabalho externo (W.m<sup>-2</sup>)

Na equação 10, o  $M$  se refere ao metabolismo e o  $T$  ao trabalho já analisados. A pressão parcial de água-vapor é o vapor que iria exercer se ele ocupasse sozinho o volume ocupado pelo ar úmido na mesma temperatura. A temperatura do ar se refere à temperatura do ar ao redor do ocupante. De acordo com ASHRAE 55 (2013), este conceito ressalta a importância da localização das medidas em um experimento. O  $f_{cl}$  é o fator de área das roupas que depende da parte coberta da pele e do isolamento térmico das peças de roupas.  $t_{cl}$  é a temperatura das roupas.  $t_r$  é a temperatura média de radiação que representa a temperatura de superfície uniforme de um espaço fechado imaginário preto no qual um ocupante trocaria a mesma quantidade de calor de radiação que em um espaço não uniforme termicamente.

### 2.3.3 Discussões e investigações sobre o modelo PMV

As investigações determinaram que os únicos processos fisiológicos influenciando o equilíbrio calorífico eram taxa de suor e temperatura média da pele como uma função de nível de atividade. Mais tarde, ele usou dados de outro estudo

para derivar um relacionamento linear entre nível de atividade e taxa de suor e conduziu um estudo para derivar um relacionamento linear entre nível de atividade e temperatura média da pele. Essas duas relações lineares foram substituídas nas equações de equilíbrio de calor para criar uma equação de conforto que descreve todas as combinações das seis variáveis de entrada PMV que resultam na sensação térmica neutra. (García, 2010, p.14)

De acordo com García (2010), o modelo é baseado nas teorias de termorregulação e balanço de calor que afirmam que o corpo humano usa processos fisiológicos para manter o equilíbrio entre o calor produzido pelo metabolismo e o calor perdido pelo corpo.

Fabbri (2015) afirma que no experimento, Fanger buscava eliminar fatores que poderim perturbar a escala de avaliação de julgamento ou pelo menos avaliar os impactos destes fatores.

Este modelo possui limites que representam as fronteiras dentro das quais a equação funciona. Estes limites estão expressos no quadro 3, portanto, antes de avaliar um ambiente pelo método PMV é necessário verificar se este ambiente se encaixa nos critérios mínimos de avaliação.

Quadro 3 – Limites do modelo PMV conforme criado por Fanger

$h_c$	$\begin{cases} 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} \text{ para } 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} > 12,1\sqrt{v_{ar}} \\ 12,1\sqrt{v_{ar}} \text{ para } 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} < 12,1\sqrt{v_{ar}} \end{cases}$
$f_{cl}$	$\begin{cases} 1,00 + 1,290I_{cl} \text{ para } I_{cl} \leq 0,078m^2 \cdot ^\circ C/W \\ 1,05 + 0,645I_{cl} \text{ para } I_{cl} \geq 0,078m^2 \cdot ^\circ C/W \end{cases}$
$M$	46 W/m <sup>2</sup> até 232 W/m <sup>2</sup>
$I_{cl}$	0m <sup>2</sup> .°C/W ate 0,310m <sup>2</sup> .°C/W
$t_a$	10°C até 30°C
$t_r$	10°C até 40°C
$v_{ar}$	0 m/s até 1 m/s

$p_a$	0 Pa até 2700Pa
-------	-----------------

Fonte: Fanger (1973)

Além destes limites, Van Hoof (2008) afirma que o índice PMV se aplica a adultos saudáveis e não pode ser usado para pessoas mais idosas ou deficientes. Em estudo publicado em 1973, Fanger discute como o modelo se aplica a pessoas de diferentes *backgrounds*. No artigo, ele cita testes e resultados obtidos com pessoas de várias idades e sexos afirmando que o conforto térmico independeria destes fatores. Ele também considera a hipótese de a adaptação climática interferir na obtenção do conforto térmico. Em experimento com pessoas que viveram toda a vida em clima tropical e nadadores de clima gelado, ele constatou que as diferenças pela temperatura preferida são pequenas.

#### 2.3.4 Predicted percentage of dissatisfied (PPD)

O método de Fanger tenta prever o voto das pessoas em relação ao seu conforto térmico e, formando esta previsão, possibilita prognosticar quantas pessoas insatisfeitas deverão ser esperadas nas condições nas quais as medidas são tomadas. O índice que estabelece uma previsão quantitativa da porcentagem de pessoas termicamente insatisfeitas determinadas pelo PMV é o Predicted percentage of dissatisfied (PPD).

O PPD é importante para analisar quantas pessoas estão insatisfeitas em determinado ambiente e assim poder alterar as variáveis ambientais no sentido de reduzir esta porcentagem de pessoas e proporcionar mais conforto a uma maior população. O PPD também qualifica o conjunto das propriedades físicas de um ambiente que influencia o conforto térmico do indivíduo.

A qualidade de um ambiente em termos de conforto térmico é classificada pela ISO 7730 (2005) e pela EN 15251 (2005) em três categorias conforme quadro 4. Já a norma ASHRAE 55 (2013) considera como ambiente confortável aquele no qual o PMV varia entre -0,5 e 0,5. Tem sido possível, na literatura, encontrar valores de PPD de até 5%. No entanto, é consenso entre os estudiosos que não é possível zerar este índice e obter um ambiente com 100% de satisfação de conforto térmico, pois tem-se que considerar as diferenças fisiológicas, psicológicas e perceptivas que existem entre

os seres humanos. A norma ASHRAE 55 (2013) considera aceitável um índice de 10% de insatisfação térmica.

Quadro 4 – Categorias do ambiente para ambientes internos com condicionamento de ar.

Categoria	Estado térmico do corpo como um todo	
	PMV	PPD (%)
A	$-0,2 < PMV < +0,2$	<6
B	$-0,5 < PMV < +0,5$	<10
C	$-0,7 < PMV < +0,7$	<15

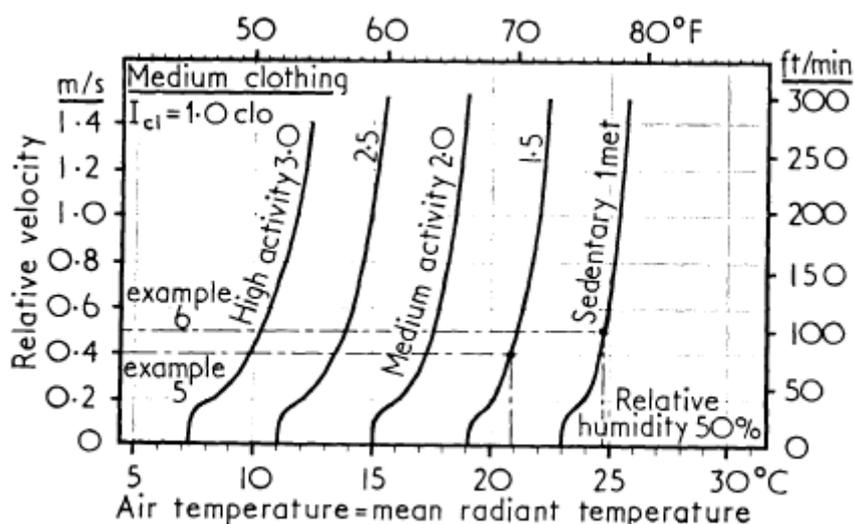
Fonte: ISO 7730(2005) e EN15251 (2005)

Há de se considerar antes de analisar o PPD, a existência de heterogeneidade térmica no ambiente. Se um ambiente não é uniforme, a probabilidade de o número de pessoas insatisfeitas ser maior é bastante grande. Fanger (1973) afirma que baseado em medidas tomadas no campo, é possível calcular o Menor Percentual de insatisfação Possível (*Lowest Possible Percentage Dissatisfied* - LPPD) em um ambiente alterando o nível de temperatura. A magnitude do LPPD é uma expressão da não uniformidade do ambiente termal e é então apropriado para caracterizar o sistema de aquecimento ou ar condicionado no espaço considerado. O autor afirma ainda que no caso de diferenças térmicas entre pontos do ambiente, é possível atingir a uma média zero nos valores de PMV para todos os pontos do ambiente, mas o PPD será mais alto que o valor mínimo.

### 2.3.5 Aplicações do modelo do PMV

A fim de facilitar o uso de seu modelo que, a princípio apresenta uma necessidade de cálculo muito robusto, Fanger (1973) traçou diagramas de conforto térmico usando combinações de duas variáveis e considerando as outras constantes para facilitar a utilização prática da sua equação. Para utilizá-los é preciso primeiro estimar o nível de atividade e isolamento das roupas. O diagrama da Figura 7 é um exemplo destes diagramas.

Figura 7 – Diagrama de conforto mostrando a influência da temperatura do ar e da velocidade do ar sobre as outras variáveis sobre umidade relativa de 50% e índice de vestimenta de 1,0clo



Fonte: Fanger (1973)

A ISO 7033 (2005) apresenta um método para medir desconforto térmico e um padrão aceitável de conforto baseados no trabalho de Fanger e adotados internacionalmente para regulação de temperatura em ambientes.

Questões relativas ao conforto térmico de indivíduos são de importância em todos os campos profissionais considerando, conforme afirma Coutinho (2005), que ambientes quentes podem gerar desmotivação no trabalho e, no caso de trabalho qualificado, descontinuidades na realização das tarefas, diminuição da precisão, na atenção e, por conseguinte, no rendimento. O autor salienta que estes sintomas variam interpessoalmente. Luo *et al.* (2016b) ressalta que viver em um clima interno favorável contribui para a percepção de conforto, saúde e produtividade.

A análise do conforto térmico avaliado pelo PMV é ainda importante no tocante a segurança de trabalhadores porque além de acidentes aparecerem como possíveis consequências dos problemas de produtividade apresentados por Coutinho (2005), o autor cita ainda os estudos de Wyndhani e de Belding. Wyndhani mostra que o rendimento de cada grupo analisado em sua pesquisa vai diminuindo com o aumento da temperatura até que atinge uma determinada temperatura do ar na qual se igualam. Belding, por sua vez, fez um levantamento dos acidentes ocorridos em aciarias e

mostrou uma correlação entre desconforto térmico causado por condições termoambientais e a frequência de acidentes.

Outra importância do PMV se relaciona à necessidade moderna de economizar energia para proteção e conservação do meio ambiente. Neste sentido, de acordo com Gilani, Khan e Ali (2016) e Snodgrass *et al.* (2008), o consumo de energia aumentou de 24% para 40% em países desenvolvidos, o que destaca a área de otimização de energia em construções na era moderna.

Attia e Hensen (2014) destacaram a necessidade de analisar o conforto térmico interno em construções com uso de energia zero citando o padrão europeu EN 15251 (2007) que diz que uma declaração energética sem uma declaração relacionada ao ambiente interno não faz sentido. Existe, portanto uma necessidade de especificar critérios de ambientes internos para o design, cálculos de energia, desempenho e operação de construções.

Tanto a ISO 7730 (2005) quanto a ASHRAE 55 (2004) mostram a aplicação do índice PMV para criar climas artificiais para espaços internos realizando diferentes atividades utilizando diferentes níveis de vestimenta. Neste sentido, têm sido desenvolvidos programas, códigos e soluções interativas para controle de temperatura com dados reais e em tempo real, alguns dos quais são mostrados por Enescu (2017).

Yang *et al.* (2014) destacou que O uso de ISO-PMV poderia levar a um resfriamento desnecessário em climas mais quentes e aquecimento desnecessário em regiões mais frias, gerando, principalmente em países menos desenvolvidos, desvantagens econômicas e ambientais.

## **2.4 Metabolismo**

Guyton e Hall (2006) conceitua metabolismo como o calor resultante da totalidade das reações químicas que ocorrem no organismo. De acordo com Daghigh (2015), Djongyang *et al.* (2010), Olesend e Parsons (2002) e Havenith *et al.* (2002), ele é um dos parâmetros menos conhecidos e mais difíceis de estimar com precisão em estudos de campo. Siqueira e Silva (2015) explicam que parte da energia metabólica gerada é transformada em trabalho na execução de uma tarefa, mas o

rendimento do corpo é muito baixo (raramente chega a 0,2) de forma que 80% da energia gerada pelo corpo será transformado continuamente em calor como produto de combustão.

Para a área de engenharia, diferentemente de outras áreas, o metabolismo é calculado utilizando a norma ISO 8996 (2004) e medido em met ou W/m<sup>2</sup> que é igual a energia produzida por unidade de área superficial do corpo para uma pessoa sentada em repouso. A norma propõe 4 níveis de conhecimento para obtenção do metabolismo. O primeiro nível trata da obtenção através da caracterização da carga de trabalho por ocupação (quadro 5) ou tipo de atividade (quadro 6).

Quadro 5 – Classificação da taxa metabólica pela ocupação

Ocupação	Taxa metabólica (W/m <sup>2</sup> )
Motorista de trator	85 a 110
Pintor	100 a 130
Carpinteiro	110 a 175
Jardineiro	115 a 190

Fonte: Adaptado da ISO 8996 (2004)

Quadro 6 – Classificação da taxa metabólica pelo tipo de atividade

Classe	Taxa metabólica média (W/m <sup>2</sup> )	Exemplos
Repouso	65	Descansando, sentada de forma relaxada
Baixa	100	Trabalho manual leve; trabalho com mãos e braços; trabalho com braços e pernas. Perfuração em pé, máquina com ferramentas de baixa potência; caminhada casual.
Moderada	165	Trabalho de mãos e braços sustentado; trabalho de braços e pernas; trabalho de braços e tronco;
Alta	230	Trabalho intenso com braços e tronco; carregar material pesado; trabalho com marreta;
Muito Alta	290	Atividade muito intensa a ritmo rápido ou máximo; trabalhar com machado; cavar intensamente; subir escadas ou rampas; caminhando rapidamente com pequenos passos;

Fonte: Adaptado da ISO 8996 (2004)

O segundo nível ocorre por observação e se subdivide em adicionar conhecimentos das atividades metabólicas ao metabolismo basal ou obter o valor do metabolismo através de tabelas normativas determinadas para várias atividades. Um dado componente desta atividade é a postura, que exerce uma grande influência sobre o metabolismo. A tabela permite considerar as posturas em pé, sentado, ajoelhado e deitado. Lan *et al.* (2009) realizou uma pesquisa sobre a postura de pessoas realizando atividades sedentárias sentadas e mostrou que as pessoas realizam adaptações posturais como resposta ao desconforto térmico ou de qualquer outra natureza. Neste sentido, o uso da soma das partes para definir o metabolismo de uma atividade é deficiente porque uma mudança na postura, que não seria captada pelo uso das tabelas, já representaria uma diminuição da superfície corporal implicando em inadequação do modelo à realidade na área do conforto térmico que depende da área superficial do corpo.

Além das observações de Lan *et al.* (2009), de acordo com Xavier (2000), estes dois métodos têm grandes erros de precisão, pois não consideram a pessoa que está desempenhando a atividade e suas características pessoais, e qual o esforço que está dispendendo para realizar a atividade e sua adaptação à atividade. Dessa forma, a utilização das tabelas torna-se um artifício bastante simplista.

De acordo com Ruas (1999, p.70), os valores de taxa de metabolismo constantes nas tabelas dessa norma foram baseados numa pessoa padrão de 35 anos (homem com 70 kgf e 1,70 m e mulher com 60 kgf e 1,60 m), sendo 44 W/m<sup>2</sup> a taxa de metabolismo basal adotada para o homem e 41 W/m<sup>2</sup> para a mulher. Xavier (2000) afirma que os valores obtidos através da tabela estão bem definidas para trabalhos com taxas metabólicas inferiores a 1,5 met, mas que estejam bem definidas para o propósito da engenharia, mas podem gerar imprecisão para valores de metabolismo superiores ou novas tarefas que não estejam ainda bem definidas.

O terceiro nível de conhecimento consiste no método analítico, também chamado calorimetria. Este método faz uso da frequência cardíaca. Este modelo consiste, conforme define a norma, no cálculo da capacidade máxima de trabalho (MWC), o aumento na frequência cardíaca por unidade de taxa metabólica (RM) e o

metabolismo basal culminando em um modelo que relaciona o metabolismo com a frequência cardíaca (HR) utilizando as equações de 11 a 15.

$$HR = HR_0 + RM(M - M_0) \quad (11)$$

$$RM = (HR_{max} - HR_0)/(MWC - M_0) \quad (12)$$

$$MWC = (41,7 - 0,22A)P^{0,666} \quad (13)$$

$$MWC = (35,0 - 0,22A)P^{0,666} \quad (14)$$

$$HR_{max} = 205 - 0,62A \quad (15)$$

Por outro lado, de acordo com Taelman *et al.* (2011), pelo método acima a frequência cardíaca sofre influência da atividade realizada e das condições térmicas, além de ser capaz de representar o efeito do estresse mental, exerce influência no sistema de *biofeedback*.

Ruas (1999) afirma que o uso desse método para a estimativa do metabolismo cresceu a partir do surgimento dos instrumentos que possibilitavam medir a frequência cardíaca de sujeitos enquanto trabalham sem interferir na realização da atividade em todo o período de trabalho, permitindo análise instantânea, de média e ao longo do tempo. A norma, no entanto, só recomenda este método para trabalho dinâmico, desenvolvido por grupos de músculos grandes com pequena solicitação estática e na ausência de sobrecargas térmica e mental.

O quarto e último nível de conhecimento disponibilizado pela norma é a perícia (*expertise*). Este método consiste na determinação do metabolismo através da medida com uso de instrumentos da taxa de consumo de oxigênio definida a partir da medida do volume de oxigênio inalado pelo trabalhador e do ar (dióxido de carbono e nitrogênio) exalado por ele. Ruas (1999) considera este método o mais exato, mas com algumas limitações, como o curto tempo de amostragem e o desconforto e alteração dos resultados causados pelo peso da máscara em torno de 3,5 Kg.

Luo *et al.* (2016a) realizou um estudo para comparar a medida de oxigênio consumido com a taxa de batimentos cardíacos de trabalhadores divididos em dois

grupos. Os resultados apontaram que a medida da taxa metabólica obtida pode não representar a situação de trabalho sugerindo que nem as medidas de consumo de oxigênio e da taxa de batimentos cardíacos podem não ser a melhor forma de analisar o metabolismo. Os autores, no entanto, afirmam que a taxa de batimentos cardíacos apresenta melhores resultados por analisar o estresse cardíaco instantaneamente no exato momento da medida e ao longo da realização da atividade.

Hasan *et al.* (2016) observou que avanços em dispositivos *smart* para vestir possibilitaram colocar sensores em um dispositivo menor o que vem melhorando as possibilidades de coleta de informações como frequência cardíaca e número de passos que podem, com o avanço científico oferecer uma precisão maior ao metabolismo.

Ainda neste âmbito, Havenith *et al.* (2002) afirmam que para aprimorar a estimativa da taxa metabólica baseado na ISO 8996 (2004) são necessários mais detalhes das atividades com taxa metabólica abaixo de 2 met.

De acordo com Auliciems e Szokolay (2007), Siqueira e Silva (2015), Luo *et al.* (2016a) são muitos os fatores que podem influenciar o metabolismo de uma pessoa. Estes estudos citam fatores como idade, sexo, aclimatação, entre outros. Por fim, de acordo com Yang *et al.* (2016, p.156), quando a taxa de metabolismo é maior que 1,6 met, a porcentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico é maior que 25%. Sendo assim, destaca-se a importância de uma caracterização do metabolismo satisfatória a fim de prever corretamente o ponto de conforto térmico dos ocupantes do uma edificação e assim reduzir o número de pessoas insatisfeitas no ambiente.

## **2.5 Normas relacionadas ao conforto térmico**

As normas utilizadas neste projeto foram a ASHRAE 55 (2010), ISO 7730 (2005), ISO 7726 (1998) e ISO 8996 (2004).

### **2.5.1 ASHRAE 55**

Publicada inicialmente em 1966 e revisada periodicamente desde então, essa norma destaca os padrões aceitáveis de conforto térmico para a maior parte dos ocupantes de determinado ambiente. Foi criada pela ASHRAE para ser utilizada no projeto e avaliação de ambientes e sistemas de refrigeração.

A norma traz definições e conceitos básicos relacionados ao conforto térmico e métodos de terminação de condições térmicas adequadas, modelos computacionais e gráficos que expressam esse conforto, as limitações dos métodos, tabelas de metabolismo e vestimentas e modelos de questionários.

#### *2.5.2 ISO 7730*

A ISO 7730 demonstra como calcular analiticamente o PMV e o PPD e interpretá-los para os ambientes estudados. A norma foi atualizada para considerar desconforto térmico local e ambientes transientes. No final, ela traz também algumas recomendações adaptativas de projeto para obter conforto térmico nos ambientes.

Entre seus anexos, a norma dispõe de exemplos de requisitos térmicos, tabelas para o cálculo do metabolismo e das vestimentas e um código computacional que se encontra em desuso para o cálculo do PMV.

#### *2.5.3 ISO 7726*

A ISO 7726 discorre sobre os instrumentos de medida física do ambiente a saber: temperatura do ar, temperatura radiante, umidade do ar, velocidade do ar e temperatura da superfície. Suas seções falam sobre o instrumento de medida utilizado, seus princípios fundamentais, características e especificações de funcionamento. A norma oferece também o procedimento de medida de cada uma das variáveis.

#### *2.5.4 ISO 8996*

A norma ISO 8996 se dedica e oferecer formas de calcular o metabolismo conforme discutido na seção 2.4.

### 3 ESTADO DA ARTE

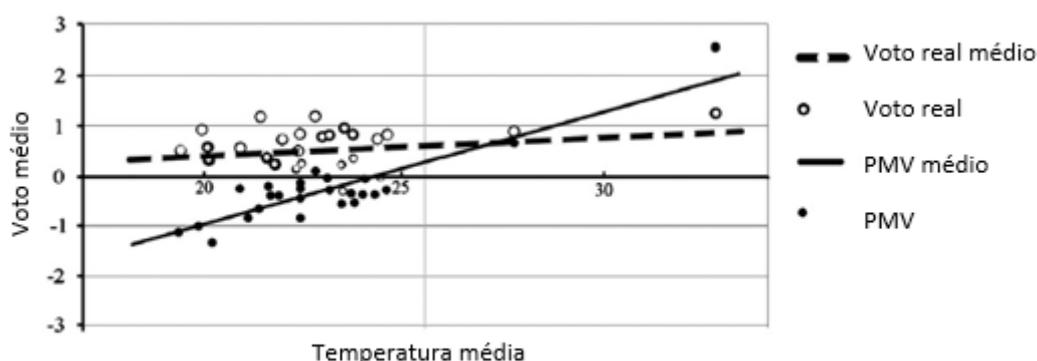
Este capítulo mostra os estudos e trabalhos que têm sido realizados na área na qual se insere esta pesquisa. Os trabalhos encontrados da forma descrita na metodologia são divididos em três grupos: a análise do modelo PMV como método de determinação do conforto térmico real de sujeitos, a influência do metabolismo no conforto térmico e a evolução dos estudos do metabolismo humano relacionado ao conforto térmico.

#### 3.1 A análise do uso do PMV como método de termoavaliação

De acordo com de Dear *et al.* (2013), o modelo de Fanger foi o modelo de conforto térmico por um longo período de tempo, seu uso sendo ratificado por sua inclusão em normas e padrões internacionais como a ASHRAE 55. Até pouco mais de 20 anos atrás, o modelo de Fanger era considerado válido para qualquer situação em qualquer lugar, mas, nas últimas duas décadas, o conhecimento vem se formando no sentido de mostrar inadaptabilidades deste modelo e aprimoramentos no sentido de aproximá-lo do voto real de sujeitos de pesquisas em todo o planeta, nas mais diversas situações.

A figura 8 extraída de Teleghani *et al.* (2013) mostra a opinião do sujeito entre 0 e 1, uma zona de conforto, em temperaturas de menos de 20 °C até mais de 30 °C o que representa que as pessoas se sentem confortáveis em uma variedade de ambientes. A figura 8 apresenta também o PMV calculado para a mesma situação mostrando que, às vezes, ambientes que estão confortáveis para seus ocupantes, quando analisados pelo PMV estão fora ou nos limites do padrão.

Figura 8 – Diferença de predições de conforto entre o voto real e o PMV em alguns estudos de campo



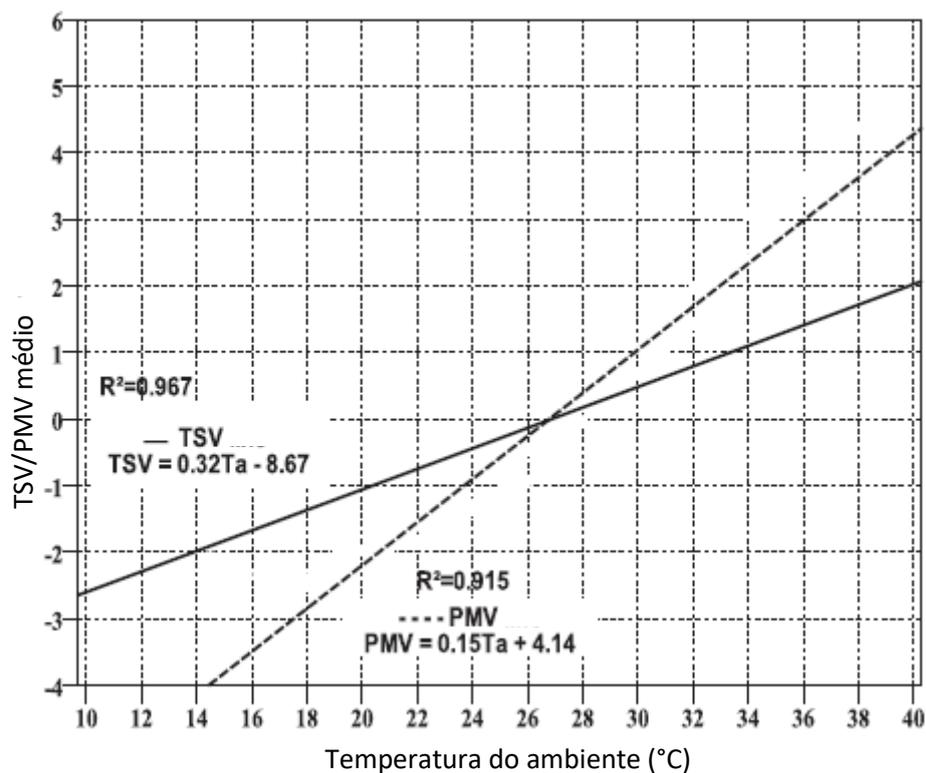
Fonte: Teleghani *et al.* (2013)

De acordo com Alfano *et al.* (2013), o próprio Fanger teria reconhecido algumas limitações do seu modelo PMV, partindo do próprio autor a definição de algumas restrições às suas verificações. Sobre estas limitações, nos últimos 10 anos, um largo número de investigações objetivas e subjetivas sobre a avaliação do conforto térmico em edificações com ventilação artificial ou naturalmente ventilado têm sido realizados. A maior parte deles trata de edifícios escolares e classes universitárias em países geograficamente situados em situações climáticas quentes. (Alfano *et al.*, 2013)

Raja e Nicol (1997) levantou as posturas de 736 sujeitos entre as temperaturas de 20 e 26°C E analisou as áreas que encontravam com outras áreas, removendo-as do cálculo da área de Dubois, gerando assim uma área proporcional exposta à radiação. Com estes dados, ele criou uma relação entre a temperatura interna e a área proporcional disponível para troca de calor e observou que com o aumento da temperatura posturas mais abertas eram adotadas. Dada a relação entre postura e conforto térmico, é possível considerar que em ambientes no qual uma mudança de postura não é favorecida, pode ocorrer também um aumento de metabolismo para compensar o que a postura não está compensando.

Dhaka *et al.* (2015) analisou as variáveis ambientais de 30 ambientes naturalmente ventilados em Jaipur na Índia onde o clima muda bastante durante o ano. Com estes dados, o PMV foi calculado e comparado com as respostas dadas à escala de sete pontos da ASHRAE. A relação encontrada entre o PMV calculado e as respostas dos questionários se encontra na figura 9 que mostra que o PMV por vezes subestima e por vezes superestima o valor de voto real de sensação térmica. Neste estudo também se concluiu que a área média do corpo humano é menor que a área padrão sugerida pelas normas.

Figura 9 – Relação entre o PMV e os votos reais de sensação térmica



Fonte: Dhaka *et al.* (2015)

Maiti (2014) analisou a correspondência entre o PMV calculado e a opinião de 40 indianos do sexo masculino em um laboratório na Índia, com temperaturas internas variando entre 21 °C e 33 °C, observando que o modelo PMV superestima a sensação térmica para indianos que são mais sensíveis ao frio do que ao calor.

Kim *et al.* (2015) examinou de que forma as variáveis ambientais internas afetam a sensação de conforto térmico através da comparação do modelo PMV com o CSV (voto de sensação de conforto) e TSV (voto de sensação térmica). Devido à diferença encontrada entre o PMV e o TSV supõe-se que o PMV não reflete a sensação de conforto térmico de forma adequada.

Attia e Hensen (2014) fizeram uma revisão de diferentes modelos de conforto térmico a fim de aplicá-los na melhoria do projeto de edifícios de energia zero. Eles mostraram que a diferença de consumo de energia que satisfaz os critérios de conforto da ISO 7730:2005 em comparação com a EN 15251 (2007), ASHRAE 55 (2004) ou o modelo de Givoni variou até 16%, 21% e 24,7%, respectivamente, mostrando que o

PMV da ISO 7730:2005 não possui o nível de confiabilidade que ele foi projetado para demonstrar.

Andreas *et al.* (2010) analisou três ambientes naturalmente ventilados nos quartéis gerais do exército brasileiro e um ambiente com ar condicionado no Banco Federal nos meses de Abril e Novembro de 2005. Nenhum dos ambientes naturalmente ventilados foram considerados dentro dos padrões da ISO 7730 (2005) que estabelece o mínimo de 80% de aceitação para que o ambiente seja considerado aceito pelos ocupantes. Além de se apresentarem fora do padrão de conforto, os votos de PMV e votos reais analisados através de questionários apresentaram diferenças de até 1,6 pontos entre o voto real e o previsto conforme pode ser observado no quadro 8 adaptado da pesquisa. O único ambiente analisado cujo PMV ficou próximo do nível de aceitação (de -0,5 a +0,5) foi o ambiente estudado na cidade de Campo Grande, MT, no mês de Abril. No entanto, a aparente adequação pode ter ocorrido devido a uma frente fria que diminuiu a temperatura externa do local no qual o ambiente está inserido no período do estudo.

Quadro 7 – Resultados da análise do conforto térmico nos ambientes naturalmente ventilados e com HVAC

Mês	Cidade	PMV	TSV	PPD	Aceitação térmica (%)
Abril	Coimbra	3,0	1,4	99	59
	Corumbá	2,8	1,9	98	31
	Campo Grande	0,6	-0,5	13	86
Novembro	Coimbra	1,8	1,1	69	61
	Corumbá	0,9	1,3	25	54
	Campo Grande	1,3	0,6	42	73

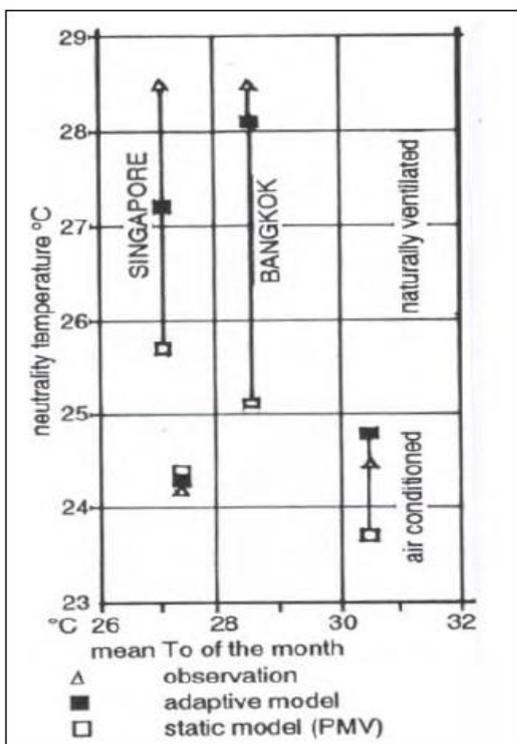
Fonte: Adaptado de Andreas *et al.* (2010)

Corgnati *et al.* (2009) analisou salas de aula na Itália naturalmente ventiladas através de observações físicas, aplicação de questionários e observação de comportamento. Com os dados obtidos da análise dos parâmetros ambientais foram calculados o PMV e o PPD de cada sala analisada. O PMV obtido pelo método de Fanger e pelo método adaptativo foram análogos, no entanto, ao comparar o PPD com o resultado dos questionários observou-se que, para temperaturas acima de 20,5°C, o percentual de pessoas insatisfeitas nos questionários era geralmente mais alta que o PPD calculado e, para temperaturas abaixo de 20,5°C, o percentual de pessoas insatisfeitas obtido através dos questionários era mais alto que o PPD calculado.

Auliciems e Szokolay (2007) compararam três informações a saber: (1) o PMV, (2) os resultados obtidos através do método adaptativo e (3) as observações reais obtidas em Singapura e Bangkok para o mesmo ambiente naturalmente ventilado e com ar condicionado. Na Figura 10, observa-se que os resultados obtidos através do método PMV apresentaram diferenças que chegaram a ultrapassar 3°C dos votos reais. O ambiente com condicionamento de ar em Singapura foi o único local onde a temperatura do ar de conforto obtidas pelo método PMV se aproximou da temperatura do ar de conforto obtida através das respostas dos questionários.

Ainda, García (2010) enfatiza um histórico de trabalhos de De Dear e de Brager juntos e separados que mostra discrepâncias entre o PMV e a sensação térmica dos indivíduos. De acordo com García (2010), quando Brager estudou edifícios comerciais em São Francisco durante o inverno, ele revelou que o PMV era mais baixo (frio) que a sensação térmica obtida e definiu uma temperatura neutra de 24,8°C que era 2,4°C acima do valor estimado pelo PMV. Este experimento foi corroborado pelo próprio García (2010) que analisou escritórios com ventilação mecânica no Reino Unido e demonstrou que o PMV diferia em 0,5 pontos (equivalente a 1,5°C de diferença) com a sensação térmica dada pelos ocupantes do ambiente.

Figura 10 – Relação entre a temperatura operacional e temperatura de neutralidade para Singapura e Bangkok



Fonte: Auliciems e Szokolay (2007)

Dear *et al.* (1993) reanalisaram e retificaram a isolamento térmica do assento porque discrepâncias entre a opinião dos sujeitos da pesquisa e o PMV. Aparentemente, para condições reais, a sensação térmica de neutralidade se alinha com um desvio da ordem de 0,2 a 3,3°C e uma média de 1,4°C das condições térmicas de neutralidade. O erro foi atribuído à uma definição errônea de atividade metabólica e do índice de isolamento térmico das vestimentas do PMV ou à incapacidade de considerar o isolamento do assento.

Straub *et al.* (2016) realizou uma pesquisa para determinar a temperatura de neutralidade em salas de aula de ensino superior para as zonas bioclimáticas do estado de Mato Grosso nos períodos seco e chuvoso através de 64 medições com 1.151 questionários. No processo, variações foram encontradas entre os votos reais de conforto térmico e os valores esperados de PMV. Em sua análise, apenas 47,92% das variações das sensações reais coincidem com o modelo do Fanger. Os autores destacaram, ao encontrar estas diferenças, a importância do trabalho de campo para validar e discutir modelos analíticos.

No trabalho de Conceição *et al.* (2012), um fator de correção adaptativo baseado no modelo “*black box*” foi adicionado à equação do PMV, obtendo um novo índice PMV denominado de aPMV, que considera um coeficiente de impacto psicológico e comportamental. A conclusão foi que existiram diferenças entre o PMV e o aPMV tanto no inverno, quanto no verão, e para condições mais frias e mais quentes. A diferença nos dois valores foi atribuída à diferença entre o ambiente interno e externo.

Ricciardi and Buratti (2012) fez uma análise do conforto térmico em nove escritórios através de medições para formar um índice adaptativo. Discrepâncias foram encontradas entre os resultados objetivos derivados das medidas e resultados subjetivos dos questionários. A diferença corrobora análises prévias realizadas pelos próprios autores em outros tipos de ambientes. A comparação entre o PMV dos questionários e o PMV experimental mostrou baixa correlação. Esta discrepância atribuída parcialmente à falta de possibilidades dos trabalhadores de modificar as condições do ambiente térmico e parcialmente à baixa movimentação de ar e a consequente insatisfação com o gradiente térmico vertical.

Choi *et al.* (2012) realizou uma análise de conforto térmico, ergonômico e da qualidade do ar em edificações nos Estados Unidos. Foram encontradas diferenças nos níveis de conforto experimentais em relação os esperados de acordo com as normas de conforto térmico. O estudo encontrou e sugeriu soluções economicamente viáveis para discrepâncias no tocante ao conforto entre sexos, idades e localização geográfica. Além de encontrar as diferenças e sugerir soluções, foi mostrado que a não conformidade dos padrões com as novas e modernas edificações causam desconforto e queda na produtividade com efeitos potencialmente adversos à saúde.

Ricciardia e Buratti (2015) comparou dados medidos e elaborados de acordo com o modelo estático tradicional de Fanger com informações obtidas através de questionários coletados com o público de uma peça no Teatro Fraschini, na Pavia, Itália. O teatro, como a maioria das edificações desse tipo, é mecanicamente resfriado ou aquecido devido à ausência de janelas. Mais de 400 questionários foram distribuídos e os parâmetros foram medidos em uma distribuição de pontos feita através de um algoritmo que foi escolhido a partir de pesquisas sobre o estado da arte

da pesquisa relacionada ao artigo. A análise ocorreu durante três apresentações distintas a fim de validar um modelo proposto pelo autor em um trabalho anterior para simplificar a análise termoambiental. Depois de tratar estatisticamente os dados, foram adquiridos três PMV. O PMVQ foi obtido através dos questionários, o PMVM medido e calculado através do método de Fanger e o PMVC calculado através da equação 16, na qual a, b e c são parâmetros que dependem do sexo e das roupas. Uma forte correlação entre os três PMV's foi encontrada, mas, em termos de avaliação, elas cobrem áreas um pouco diferentes da escala de 7 pontos de conforto térmico proposta pela ASHRAE. O PMVQ e o PMVM estão entre -1 e +1 com tendências mais ou menos semelhantes. PMVC e PMVM tem diferença mais inconstante de aproximadamente +0.5. Com diferenças entre o PMVc e os PMVM e PMVQ de no máximo +0.79 e +0.22 respectivamente, os autores consideram o modelo confiável.

$$PMV = aT - bP_v - c \quad (16)$$

Humphreys and Nicol (2002) analisa a aplicação do PMV para prever o conforto térmico em edificações. Ele discute a origem de discrepâncias entre o PMV e voto real de ocupantes de edificações nas quais foram realizados os estudos de campo da base de dados do ASHRAE e conclui que o modelo presente na ISO 7730 (2005) pode ser melhorado ou pelo menos incluir um aviso para o leitor de suas limitações na previsão do conforto térmico.

Já na introdução de seu artigo, Moreira *et al.* (2012) menciona a dificuldade de trabalhar o conforto térmico em ambientes hospitalares. Nestes ambientes, pacientes apresentam uma taxa metabólica mais baixa que os profissionais, visto que suas atividades proporcionam realização de movimentos corporais, além da diversidade dos serviços submetidos. Além da diferença de atividade entre profissionais e pacientes, geralmente estes ambientes são concebidos considerando os pacientes que são as pessoas que precisam de mais conforto no momento de dificuldade, colocando em segundo plano a necessidade de conforto dos trabalhadores da saúde. Além da diferença entre pacientes e profissionais, os próprios pacientes apresentam diferenças entre si, pois cada um está medicado de uma forma e alguns medicamentos afetam o metabolismo. Neste sentido, os autores avaliaram o PMV nas clínicas de medicina e reabilitação na área do Grande Porto e então compararam o

PMV calculado com a sensação térmica declarada de 14 fisioterapeutas que estavam realizando atividades diversas com seus pacientes. A medida do PMV com metabolismo tabelado foi mais precisa e os autores justificaram esta precisão devido a maior movimentação dos membros superiores dos fisioterapeutas na realização do seu trabalho, o que favorece a elevação da frequência cardíaca dos mesmos, sem, no entanto, elevar o metabolismo.

Kim *et al.* (2015) desenvolveu dois tipos de modelos adaptativos de PMV considerando estímulo físico sobre a sensação térmica e o comportamento adaptativo do ser humano. O modelo adaptativo PMV (aPMV) baseado na teoria da caixa preta mostrou bom desempenho somente quando o valor original de PMV varia de -1,5 a +1,5. Já o (nPMV) baseado na teoria do conforto adaptativo está ajustado com a sensação térmica real das pessoas, e poderia aumentar o desempenho de predição do modelo PMV original e desempenhar um papel importante na redução da energia de resfriamento de edifícios com ar-condicionado.

Fica claro pelos exemplos que, apesar do modelo PMV ser amplamente usado como modelo padrão, seu comportamento universal tem sido questionado quando aplicado a diferentes situações, zonas climáticas, tipos de construções e atividades. Conceição *et al.* (2012) afirma que o motivo pelo qual as pesquisas de campo sobre conforto térmico têm questionado tanto o modelo PMV é porque utilizando valores tabelados para as variáveis pessoais, ele não considera as adaptações do corpo humano, que tem um papel fundamental em determinar a sensação e percepção térmica subjetiva avaliada nos questionários tão utilizados nestas pesquisas.

Na visão de Humphreys e Nicol (2002), nenhum estudo individual de campo pode validar adequadamente o PMV para uso diário em edificações. A validação de qualquer modelo necessitaria então de resultados de muitos estudos de campo, nas diversas faixas de condições internas encontradas em edificações ocupadas em uma variedade de condições ambientais externas.

Dado o número de estudos analisados fica evidente que as tendências de desvio não são idênticas em todos os trabalhos. Desta forma, criar um modelo generalizado para todas as faixas de condições internas como sugeriu Humphreys e Nicol (2002) pode não ser uma tarefa fácil ou trazer um resultado mais preciso do que

o PMV já traz, pois existe uma variedade muito grande de tipos de ambientes em diversas situações climáticas ocupados por indivíduos diferentes entre si que não poderiam ser descritos em um só modelo. Há de se considerar também que o modelo de Fanger foi desenvolvido, conforme afirma Djamila (2017), para climas temperados, mas desde seu desenvolvimento, tem sido utilizado para diferentes climas em diferentes países do globo.

Fanger, no artigo apresentado com Toftum (2002) reconhece também a limitação de seu modelo em climas mais quentes e em edificações sem ar condicionado. De acordo com os autores, o PMV prevê uma sensação mais quente que a sensação real e um dos fatores sugeridos para explicar a diferença é a expectativa do ocupante que neste caso tem vivido toda sua vida em um clima quente. A expectativa é expressa por um fator de expectativa e que deve ser multiplicado pelo PMV para que este se torne mais preciso nessas situações. Mesmo considerando a expectativa, Fanger não deixa de levantar a questão do nível de atividade que esta pesquisa visa levantar. Ele destaca que algumas vezes as pessoas inconscientemente diminuem a velocidade de suas atividades para se adaptar ao calor diminuindo sua taxa metabólica causando um erro no cálculo do PMV. Para corrigir o erro ele sugere o uso de uma taxa de metabolismo mais baixa quando calculando em climas mais quentes. Ao testar esta hipótese percebeu-se que, de fato, utilizando uma taxa metabólica de 6,7% a 10% mais baixa, o PMV tornou-se mais preciso nos estudos de caso realizados em Brisbane, Atenas, Singapura e Bangkok. Este método combina o melhor do método PMV com o melhor do método adaptativo. Sendo assim, de certa forma, o próprio autor concorda com a necessidade do melhoramento de seu modelo para cada tipo específico de ambiente.

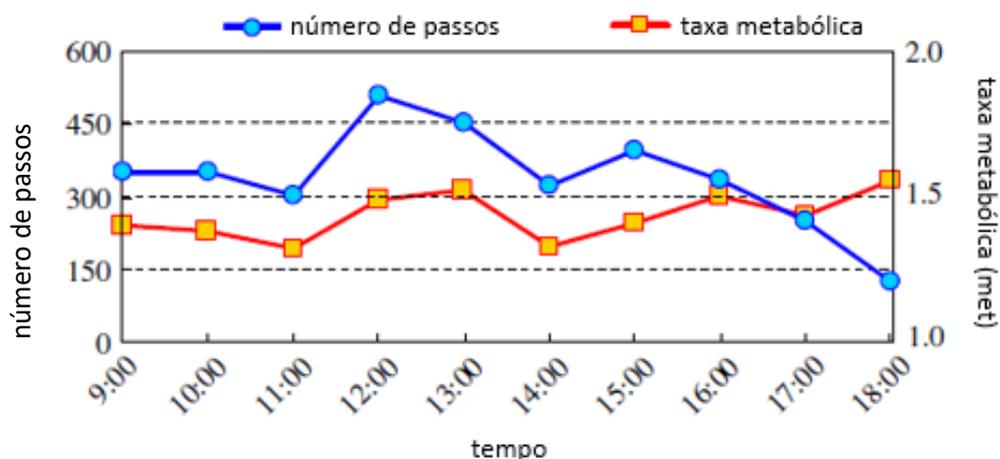
### **3.2 O estudo do metabolismo relacionado ao conforto térmico**

Yang *et al.* (2016) administrou questionários em Changsha para validar um modelo matemático que relaciona a flutuação permitida no valor do metabolismo com os parâmetros ambientais térmicos através de regressão e testes experimentais. Os resultados mostraram que, dentre os fatores ambientais constantes no PMV, a variável temperatura do ar é o que mais gera flutuações no metabolismo.

Hasan *et al.* (2016) utilizou gráficos de zona de conforto multidimensionais para analisar as sensibilidades do PMV e avaliar qual parâmetro do PMV possui o maior impacto. Ele conclui que, apesar de atualmente o padrão de uso dos fatores pessoais ser tabelado, eles são os que tem o maior impacto sobre o PMV. Os autores observam que uma análise completa da influência de todos os fatores presentes no modelo do PMV sobre seu valor é difícil porque os fatores ambientais se relacionam bastante entre si. Hansen *et al.* (2016) demonstram essas relações através de gráficos que relacionam, por exemplo, a temperatura do ar com a velocidade do ar.

Akimoto *et al.* (2010) monitorou o comportamento de trabalhadores, o tempo que passam sentados e andando, utilizou pedômetro para medir o número de passos e um acelerômetro para levantar a taxa metabólica de quatro homens e quatro mulheres a fim de analisar a influência do comportamento do trabalhador na sua sensação de conforto térmico. Os autores descobriram que a média da taxa de metabolismo dos trabalhadores é 1,4met ao passo que, quando sentado é apenas de 1,3 met, e ao sair do seu assento, 1,7 met. O estudo aponta também que a taxa metabólica tende a acompanhar as tendências do número de passos, variando durante o dia conforme figura 11. A taxa metabólica dos oito trabalhadores enquanto sentados, em pé ou trabalhando variou de 1,2 met até 2,3 met. O principal viés neste estudo é a pequena amostra utilizada.

Figura 11 – Número de passos dados e a taxa metabólica



Fonte: Akimoto *et al.* (2010)

Focando a análise da sensibilidade da equação do PMV apenas ao metabolismo, os autores demonstram que o PMV é mais sensível ao metabolismo baixo e que esta sensibilidade diminui com o aumento da temperatura do ar e do grau de vestimentas. Eles sugerem então o uso de um dispositivo *smart* para vestir chamado Fitbit Charge HR™, equipado com um pedômetro; um acelerômetro e um sensor de frequência cardíaca para medir o metabolismo de forma contínua e mais precisa. Eles mostram que o resultado obtido através do PMV calculado com a medição do metabolismo é mais condizente com a realidade avaliada pelos participantes do estudo.

Alfano *et al.* (2013) mostra que o nível de atividade varia o PMV em até 0,3 unidades na sensação neutra. A atividade de computador em um laboratório de computação tem um nível de atividade específico pelas normas da ASHRAE, que deve ser o mesmo para todos os trabalhadores em todos os laboratórios sobre determinadas condições. Esse valor não considera as condições fisiológicas do trabalho específico e pode ser melhorado. O estudo de Van Hoof (2008) já menciona que este valor deveria ser melhorado, mas não apresenta um modelo no qual cada indivíduo tinha seu nível analisado a partir de uma grande amostra em uma determinada função.

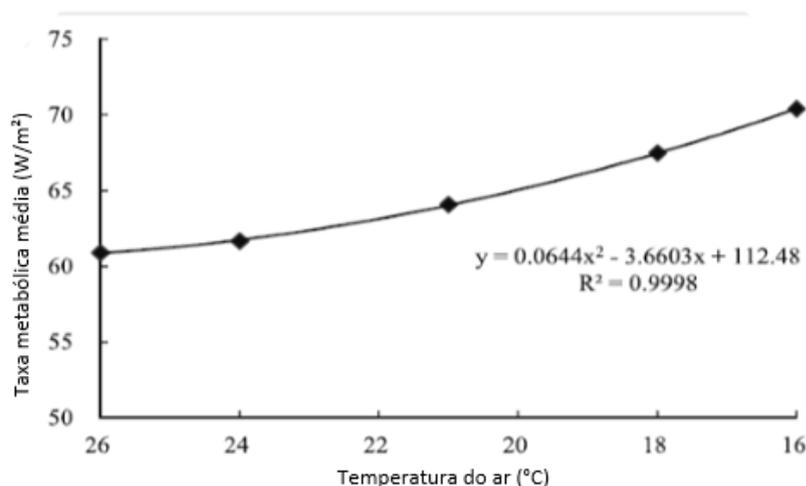
Djamila (2017) utilizou a meta análise utilizando a base de dados ASHRAE RPA-884 para esclarecer problemas relacionados à predição do conforto térmico. Para escolher quais estudos seriam incluídos na pesquisa, o autor fixou limites para os parâmetros que seriam posteriormente analisados nos resultados. Para a taxa de metabolismo, foram selecionados os estudos com taxas variando de 0,8 a 1,3 met que representa a taxa de metabolismo de pessoas em atividade quase sedentária. Foram analisados 24 estudos a fim de identificar problemas e tendências. Observou-se que houveram pequenas variações na utilização de taxas metabólicas no estudo cuja média ficou em 1 met entre os estudos analisados

Como problemas neste resultado, o autor ressaltou algumas tendências mundiais que deveriam estar influenciando o metabolismo. A primeira é o aumento tanto no peso quanto na superfície do corpo das populações americanas e europeias. Segundo, destaca-se esta mesma superfície corporal como motivo para uma

diferença entre homens e mulheres e por fim, o autor destaca que as diferenças regionais de superfície corporal são amplamente divulgadas.

Luo *et al.* (2016b) comparou as adaptações fisiológicas de dois grupos em Beijing. O primeiro grupo chamado N-N era composto de sujeitos que viveram toda a vida no hemisfério norte da China que é consideravelmente mais quente que o hemisfério sul; e o segundo chamado S-N composto de sujeitos que viveram toda a sua vida no sul da China, e apenas recentemente haviam se mudado para o norte. Cinco condições climáticas foram criadas variando a temperatura de 26 a 16°C em uma câmara climática; parâmetros fisiológicos (taxa de metabolismo, fluxo sanguíneo na superfície da pele, temperatura da pele e taxa de batimentos cardíacos) foram medidos e os sujeitos responderam um questionário de votos térmicos a cada 5 minutos. Os resultados indicaram que o grupo S-N sentiu menos desconforto quando expostos a temperaturas mais frias que o grupo N-N. Resultados mostraram também que a taxa metabólica tendeu a aumentar com a diminuição da temperatura conforme figura 12 em ambos os grupos, embora N-N tenha apresentado mais tremores.

Figura 12 – Variação da taxa metabólica medida com a temperatura para N-N e S-N



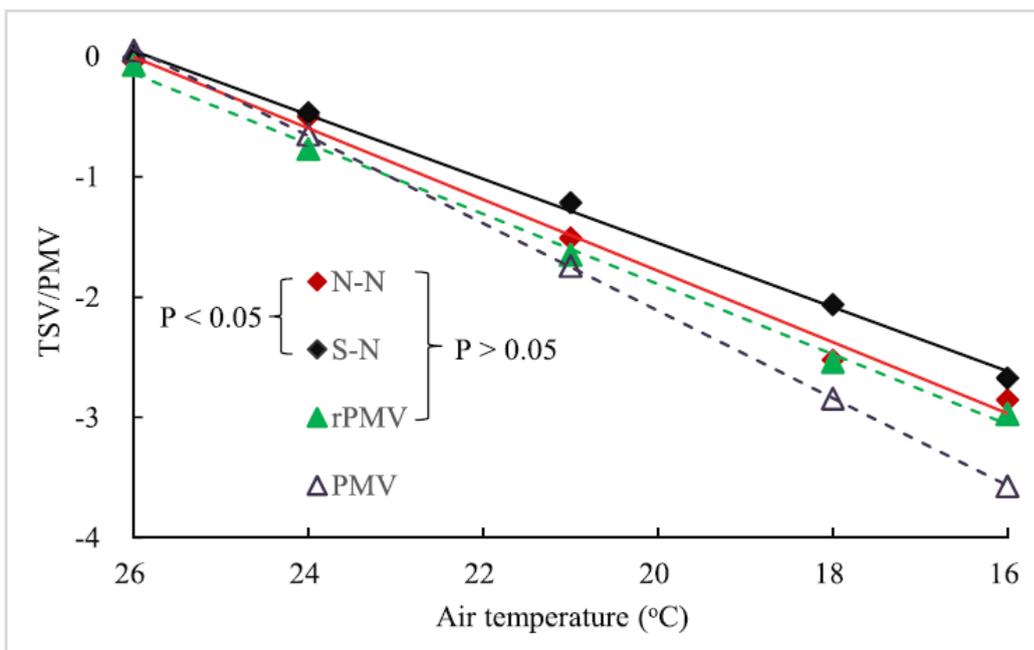
Fonte: Luo *et al.* (2016b)

Os autores levantaram a hipótese de os dois grupos terem apresentado a mesma tendência metabólica devido à presença no grupo S-N de tecido adiposo marrom, que é constantemente relacionado à termorregulação e cujo volume e atividade aumentam com a exposição ao frio. Essa hipótese não foi confirmada, foi

apenas levantada. Os autores apontaram ainda vários estudos que afirmam que a aclimação semelhante à do grupo S-N traz alterações fisiológicas que mudam a forma como o grupo percebe as condições térmicas.

Por fim, os autores compararam o PMV obtido com valores medidos de parâmetros ambientais e valores tabelados dos parâmetros pessoais com o rPMV obtido utilizando o metabolismo medido de cada sujeito e também com as respostas dadas aos questionários pelos dois grupos. Observou-se na figura 13 que o rPMV ficou mais próximo da sensação relatada pelos sujeitos especialmente os do grupo N-N com menos adaptação ao frio.

Figura 13 – Comparação do TSV, PMV e rPMV



Fonte: Luo *et al.* (2016b)

Luo *et al.* (2018) realizou uma revisão literária a fim de transferir desenvolvimentos na ciência metabólica humana para o contexto do ambiente construído. Nesta revisão, ele indica três grandes caminhos de pesquisa no tocante ao metabolismo 1) desenvolvimento e validação de nova instrumentação de taxa metabólica, 2) medição de campo da taxa metabólica, 3) determinar zonas de conforto para edifícios com características da taxa metabólica que podem variar entre

indivíduos com suas características pessoais e podem variar ao longo do dia a medida que o indivíduo realiza diferentes atividades.

Os estudos analisados mostram a influência do metabolismo no conforto térmico geral dos sujeitos avaliados que apesar de ser tabelado, em oposição às variáveis ambientais que são medidas, exerce maior influência que as variáveis ambientais no cálculo do PMV. Se observa também as variações de PMV interpessoais e intrapessoais que afastam o PMV de cada indivíduo do valor tabelado.

A análise destes trabalhos permite verificar a importância da correta aferição da taxa de metabolismo para o cálculo preciso do PMV. Levando em consideração a conclusão de Hasan *et al.* (2016) que os fatores ambientais são os que mais alteram o valor de PMV associado ao de Alfano *et al.* (2013), mostrando de quanto pode ser essa alteração, fica claro que é necessário aumentar a precisão desta variável independente da atividade ou do ambiente analisado. Adicionando esta preocupação à dificuldade de isolar a flutuação deste valor encontrada por Yang *et al.* (2016), mostra-se necessária um levantamento amplo de dados sobre um ambiente para especificar a melhor forma de analisar o metabolismo e conseqüentemente o PMV para determinado local e atividade.

### **3.3 Os estudos do PMV com metabolismo não tabelado**

Broday *et al.* (2014) determinou três valores de taxa metabólica de soldadores de uma empresa que oferece um serviço de tratamento de superfície baseado em revestimentos especiais para linha industrial, tendo como foco principal a linha de padaria: o primeiro calculado utilizando o método de Newton, o segundo medido através de um dispositivo de análise metabólica chamado VO2000® e o terceiro obtido das tabelas da ISO8996 (2004). Os valores de metabolismo encontrados foram utilizados no modelo do PMV gerando três valores distintos de PMV para cada soldador. Os valores foram comparados com a sensação térmica real dada através de questionário pelos trabalhadores. O coeficiente de PMV calculado com metabolismo obtido pelas tabelas da ISO8996 (2004) em comparação com a sensação térmica real apresentou grande diferença. Esta diferença pode estar relacionada ao uso do metabolismo obtido através das tabelas. Os valores de PMV obtidos pelo método de Newton e pelo VO2000® mostraram ainda diferenças, porém bem menores que o

tabelado em relação ao valor real de sensação dos trabalhadores. É importante destacar ainda que os valores médios obtidos de PMV não estão na faixa indicada na tabela para soldadores. O método de Newton forneceu o valor de 178,63W/m<sup>2</sup> e o VO2000® forneceu o valor de 145,46 W/m<sup>2</sup>, enquanto o intervalo tabelado é de 75 a 125 W/m<sup>2</sup>. Pode-se inferir então que um método simples e fácil de analisar o conforto térmico é usar o medidor VO2000® nos trabalhadores, mas além do custo dos aparelhos, os autores lembram que o trabalhador utilizando o medidor fica sujeito a variações psicofisiológicas que podem alterar sua taxa metabólica.

Ruas (1999) analisou os diversos fatores que podem influenciar o metabolismo. Ele afirma que a o tipo e quantidade de alimento ingerido pelo sujeito estudado causa uma ação dinâmica específica ou efeito ADE que pode aumentar o metabolismo em até 15% do metabolismo basal por um período de até 6h. Além da alimentação, ele aponta pesquisas que afirmam que mulheres tem o metabolismo 5 a 10% mais baixo que os homens pela diferença de gordura corporal e que um homem de 20 anos tem o metabolismo 12% mais alto que um homem de 45 anos o que o leva a concluir que a idade e o sexo também influenciam no metabolismo humano.

Gilani, Khan e Ali (2016) elaborou uma equação modificada de PMV para incluir o nível de atividade medido pela pressão arterial. Os resultados da avaliação do índice modificado (mPMV) junto ao PMV e ao voto real dos participantes indica que o PMV, o mPMV e o voto real são próximos quando se aproximam da sensação neutra e diferentes com as temperaturas um pouco quente ou um pouco frias nos quais o resultado foi diferente. De forma que, quando a sensação se afasta da sensação neutra, o mPMV chega mais próximo do valor real.

Luo *et al.* (2016a) monitorou o fluxo sanguíneo na pele, a temperatura em várias partes da pele, a frequência cardíaca e a taxa metabólica. Esta última obtida usando a carta metabólica Vmax Encore (SensorMedics, USA) para medir o consumo de oxigênio e a produção de dióxido de carbono. Com estes dados, aplicados à equação 17 foi obtido o metabolismo.

$$M = \frac{21(0,23RQ + 0,77)Q_{O_2}}{A_d} \quad (17)$$

Na qual:

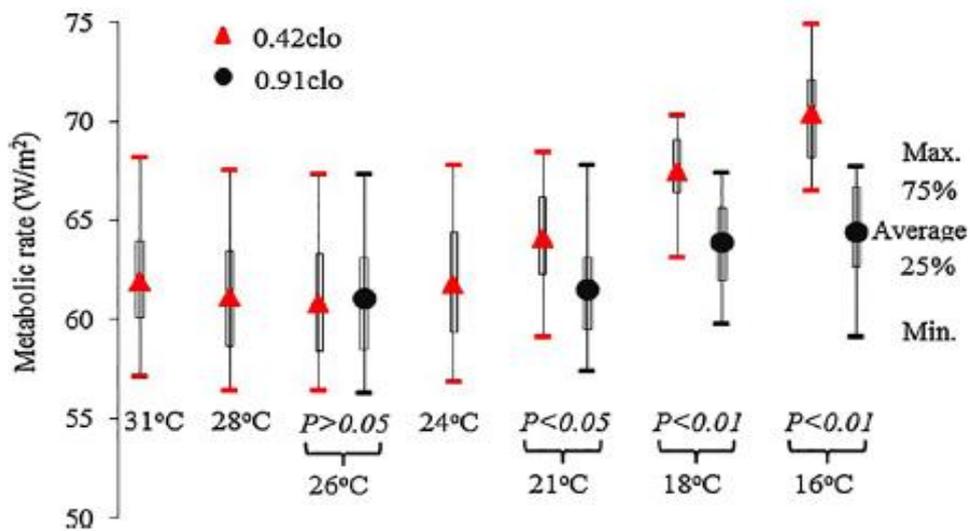
RQ = quociente respiratório ( $Q_{CO_2\text{exalado}}/Q_{O_2\text{inspirado}}$ )

$Q_{O_2}$  = taxa volumétrica de oxigênio consumido em ml/s a 0°C, 101.3 kPa

Ad = área de Dubois

Os autores mostram na figura 14 que o metabolismo muda para diferentes condições térmicas.

Figura 14 – Comparação da taxa metabólica por temperatura



Fonte: Luo *et al.* (2016a)

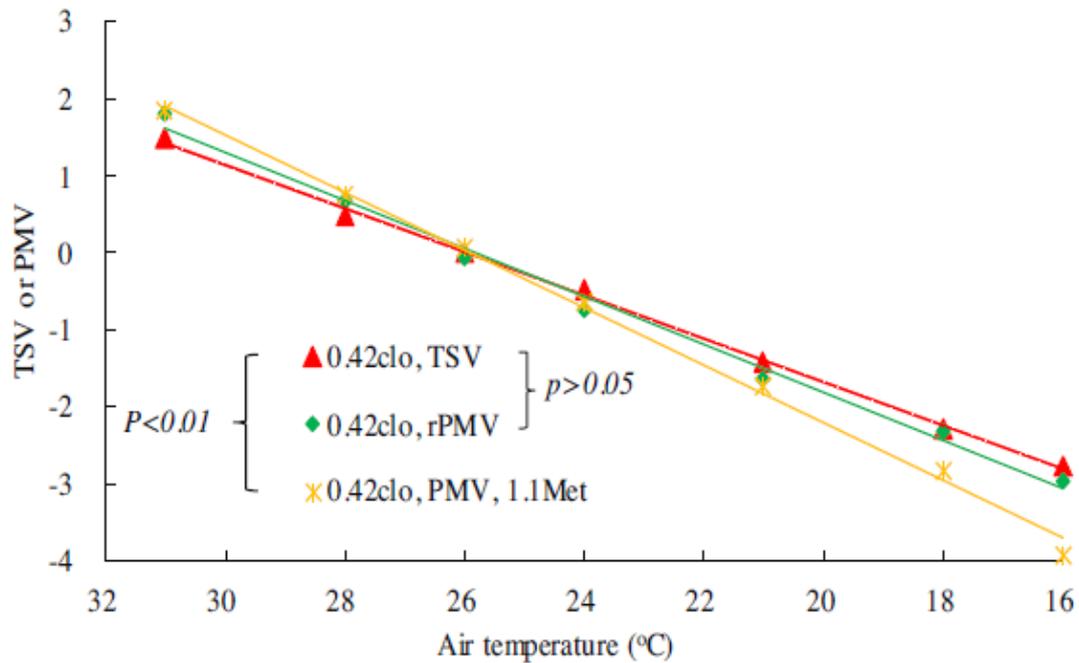
$$M = 0,4051PMV^2 - 0,7651PMV + 61,497 \quad (18)$$

$$M = 0,7928TSV^2 + 0,9955TSV + 61,405 \quad (19)$$

Eles comparam os valores de rPMV (obtido com o metabolismo calculado), PMV (obtido com o valor tabelado) e as opiniões dos sujeitos do estudo. Concluíram que o rPMV se aproxima mais do voto real medida a cada 5 minutos dentro de câmara climática conforme figura 15. Logo a produção de calor pode ser influenciada por condições ambientais e não apenas pela atividade desenvolvida, e que as alterações no metabolismo podem ser expressas através das equações polinomiais 18 e 19,

considerando ou a opinião dos sujeitos entrevistados ou o PMV calculado com o valor tabelado.

Figura 15 – Comparação entre TSV, PMV e rPMV



Xavier (2000) realizou estudos de campo em ambientes de escritórios com condicionamento central de ar e em ambientes escolares sem o mecanismo de condicionamento de ar a fim de apresentar e comparar metodologias de avaliação termoambiental nas atividades sedentárias predominantemente realizadas nestes ambientes. Para tanto, foi realizada a medição direta do consumo de oxigênio e levantadas as medidas antropométricas. Com os dados da medição de oxigênio, foi calculado indiretamente o metabolismo dos sujeitos da pesquisa e observado que este metabolismo variava entre um indivíduo e outro realizando a mesma atividade.

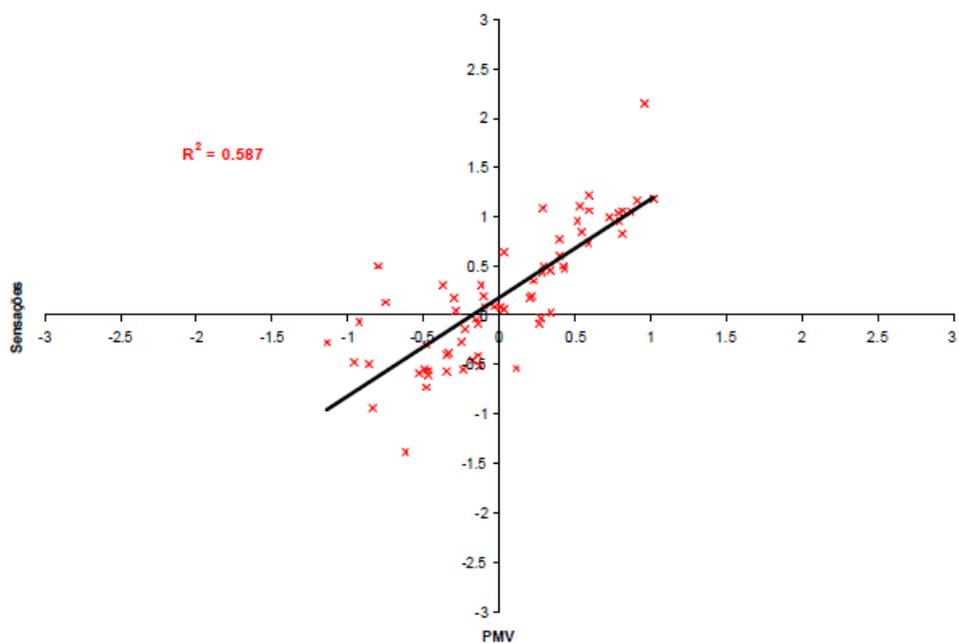
Observou-se que os valores de metabolismo encontrados seguiam uma distribuição normal com média  $65,11 \text{ W/m}^2$  com amplitude significativa de dados, que mostram que apesar da média estar próxima ao valor da tabela da ISO 7730 (2005) para a atividade realizada, usar o valor tabelado implicaria em alta imprecisão no resultado do PMV.

Em seguida foi proposto um algoritmo de regressão que analisava o metabolismo considerando as variáveis morfológicas, antropométricas e de estilo de vida individuais, a fim de verificar se estas variáveis influenciavam o metabolismo no caso de afetarem, de que forma isso ocorre. Foi constatado que a idade e massa corporal exerciam influência significativa no metabolismo ao passo que altura e hábitos referentes ao estilo de vida não exerciam influência. A equação 20 demonstra como a taxa metabólica é influenciada pela massa corporal e idade para pessoas de ambos os sexos, desempenhando atividades sedentárias, com idades entre 18 e 50 anos, com massa corporal entre 50 e 90 kg.

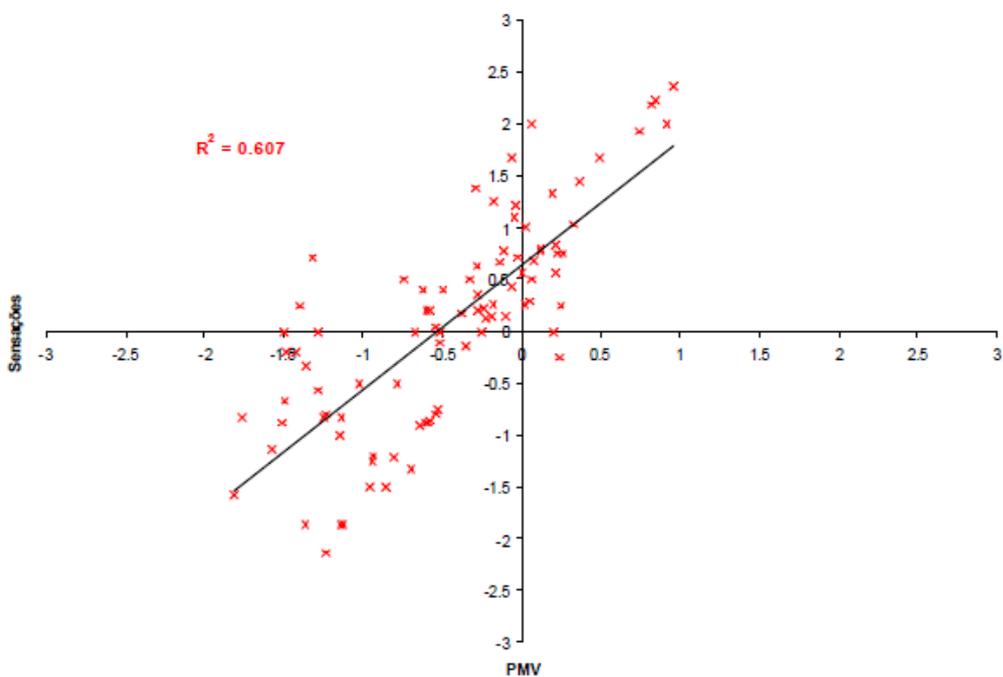
$$\text{Taxa metabólica} = 0,476.\text{Idade} + 0,324.\text{massa corporal} + 29,953 \quad (20)$$

Com os valores estabelecidos e corrigidos pela equação 20, foram calculados os valores de PMV. A figura 16 mostra que o novo cálculo do PMV se ajusta melhor às sensações reais encontradas através de questionários aplicados aos sujeitos da pesquisa. Os resultados do trabalho mostram que apesar do valor final do PMV não sofrer grande alteração devido à média da taxa metabólica ficar próxima do valor tabelado, incluir outras variáveis a esta equação pode trazer à mesma para uma proximidade da realidade encontrada nos ambientes estudados.

Figura 16 – Ajuste entre o PMV e as sensações relatadas para taxa metabólica igual 70W/m<sup>2</sup> (a). Ajuste entre o PMV e as sensações relatadas para a taxa metabólica determinada em função das características pessoais dos sujeitos(b)



(a)



(b)

Fonte: Xavier (2000)

Apesar dos estudos trazerem a mesma conclusão, a de que o uso de um metabolismo gerado através de modelos matemáticos ou medidos através de instrumentação e não do metabolismo obtido através de tabelas segmentadas por atividade traz mais precisão ao estudo do PMV de um ambiente e atividade, as variações encontradas nos resultados não são constantes nem seguem tendência que permita uma padronização de método e solução para aproximar o PMV da opinião real dos sujeitos nos ambientes estudados, isto é, a literatura pesquisada não oferece um modelo que se aplique a uma diversidade de ambientes e pessoas.

### **3.4 Considerações finais do capítulo**

Através do levantamento literário do estado da arte atualmente, foi possível tirar algumas conclusões.

- a) Existem análises de ambientes diversificados utilizando o PMV da norma ISO 7730, no entanto a maior parte destes trabalhos mostram diferenças entre a opinião dos sujeitos e o resultado do PMV. Os desvios observados, no entanto, não seguem uma tendência clara.
- b) O modelo de Fanger possui limitações que nem sempre são consideradas no uso da norma porque são, principalmente, muito restritas para as condições ambientais atuais.
- c) O metabolismo exerce grande influência no conforto térmico, alguns estudos mostram que essa influência chega a ser maior que a das variáveis ambientais consideradas no cálculo do PMV e por isso é necessário aumentar a precisão do modelo de metabolismo.
- d) Existem estudos no sentido de aumentar essa precisão, mas o que foi descoberto até o momento não pode ser aplicado à diversidade de ambientes e climas atuais.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Classificação da pesquisa

Esta pesquisa é uma pesquisa quantitativa classificada como *survey* exploratório e explanatório. Os detalhes e justificativas da sua classificação estão dispostos no quadro 8.

Quadro 8 – Classificação desta pesquisa

Item	Classificação	Justificativa
Natureza	Aplicada	Gera conhecimentos com aplicação prática na análise do conforto térmico em ambientes com VDT
Abordagem do problema	Qualiquantitativa	Utiliza dados mensuráveis e quantificáveis. Traduz informações em números e utiliza recursos estatísticos.
Objetivos	Exploratória e explicativa	Além de identificar se há ou não relação entre as variáveis pessoais e de saúde e o metabolismo, será quantificada essa relação
Meios de pesquisa (método)	Bibliográfica e de campo ( <b>survey</b> )	Levanta dados na bibliografia do que deve ser pesquisado e obtém dados junto aos sujeitos para realizar a análise quantitativa

Fonte: elaborado pelo autor

### 4.2 Considerações sobre o projeto e a ética

Esta proposta de dissertação está vinculada ao projeto de pesquisa “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 das regiões brasileiras”, financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), vinculado à Chamada MCTI/CNPq/CT-AGRO/CT-SAÚDE/CT-HIDRO N 037/2013, cujo objetivo geral é analisar em que medida as variáveis do conforto térmico afetam a saúde e o desempenho de estudantes nos ambientes de ensino inteligentes (*news ICT*) nas regiões brasileiras.

Através do projeto, esta pesquisa foi submetida ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal da Paraíba com o número 31037614.0.0000.5188

e aprovado na data de 22/05/2014 conforme Resolução CNS 466/12 e complementares no parecer 664.712, conforme documento no anexo A.

#### 4.3 Processo de levantamento literário

Realizou-se um levantamento no portal de periódicos da Capes que dá acesso às melhores bases de pesquisa a exemplo da Scopus, ScienceDirect e Elsevier. Para este levantamento foram realizadas as pesquisas com as palavras chave do quadro 9 que mostra também o número de resultados para cada busca. Esta busca foi necessária para trazer materiais mais atuais para a pesquisa, portanto, utilizou-se como filtro os anos de 2012 a 2017. Considerando apenas o título e excluindo artigos duplicados e que já estavam nas referências desta pesquisa, foram selecionados novos 27 materiais. Foi perceptível na busca por referências que apesar da tendência mundial no estudo do *Predicted Mean Vote* (PMV) estar se voltando para esta área, poucos foram os trabalhos encontrados com produção brasileira. Após a análise dos resumos e leitura preliminar, foram selecionados 12 dos 27 materiais para ajudar a compor este estado da arte. Este afunilamento se deve ao fato de o estudo do metabolismo não estar apenas relacionado ao estudo do conforto térmico, visto que ele é um parâmetro que se relaciona a todos os outros que compõe o conjunto humano.

Quadro 9 – Palavras chave utilizadas no levantamento de referências

Palavras chave	Número de resultados
<i>metabolic rate pmv</i>	761
<i>metabolism pmv</i>	436
<i>conforto térmico metabolismo pmv</i>	1
<i>thermal confort metabolismo</i>	14
<i>metabolismo pmv</i>	5

Fonte: elaborado pelo autor

Este referencial será dividido em estudos sobre a eficiência do PMV como método de avaliação termo ambiental, e as discordâncias que têm sido encontradas

quando o método é comparado a métodos adaptativos, os estudos que estão sendo realizados sobre metabolismo e finalmente levantam-se os poucos estudos que estão analisando metabolismo e conforto térmico simultaneamente.

#### 4.4 Etapas

As análises descritivas, modelagens e formulações matemáticas propostas, bem como as comparações entre os modelos foram desenvolvidas com os recursos do software R Project 3.1.1 (Garcia et al., 2016).

##### 4.4.1 Coleta de dados

###### 4.4.1.1. Instituições analisadas

A primeira etapa desta pesquisa tratará da coleta dos dados a qual foi realizada através do projeto supracitado nas instituições descritas no quadro 10.

Quadro 10 – Locais de coleta

Local	Região	Cidade	Instituição
A	Norte	Manaus	Universidade Federal do Amazonas (UFAM)
B	Centro-oeste	Brasília	Universidade de Brasília (UnB)-Campus Gama
C	Sul	Florianópolis	Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
D	Nordeste	João Pessoa	UNINASSAU
E	Nordeste	Petrolina	Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF)
F	Sudeste	São Carlos	Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC) da Universidade de São Paulo (USP)
G	Nordeste	Teresina	Universidade Federal do Piauí (UFPI)

Fonte: elaborado pelo autor

#### 4.4.1.2. População e amostra

Os sujeitos da pesquisa são 210 alunos universitários com idades entre 18 e 38 anos que no momento da coleta estavam realizando atividades cognitivas através do teste BPR 5 em ambientes climatizados com VDT configurando atividade cognitiva sedentária. Todos assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido disposto no anexo B.

Antes da coleta, os alunos passaram por um período de descanso em um ambiente com condições climáticas favoráveis onde suas frequências cardíacas e pressão arterial foram verificadas. Os objetivos e a metodologia do experimento foram explicados antes do início das atividades.

#### 4.4.1.3. Variáveis do modelo

As variáveis investigadas para construção do modelo do metabolismo foram as descritas no quadro 11, as quais são recomendadas por (Moreira *et al.* (2012), Luo *et al.* (2016), Choi *et al.* (2012), Ruas (1999), Xavier (2000), Kim (2013)). De acordo com Antoniadou e Papadopoulos (2017), na pesquisa térmica a coleta de dados é comumente realizada através de medidas termofísicas, questionários ou uma combinação dos dois. Os autores afirmam que apesar do desempenho independente dessas abordagens, na maioria dos casos, sua combinação é indicada em uma avaliação integrada como a desta pesquisa.

Quadro 11 – Variáveis coletadas na pesquisa

Tipo	Variável	Código
Sensação térmica	Com relação à sua sensação térmica, como você está se sentindo neste momento?	SENS
Pessoais	Sexo	SEXO
	Atividade Física	AF
	Altura	ALT
	Ingere bebida alcoólica?	BEBE
	Fuma?	FUMA
	Grupo étnico	GE
	Idade	IDADE
	Índice de massa corporal	IMC
Saúde	Peso	PESO
	Olhos secos	CV1_4
	Dores nas costas, nos pulsos ou nos braços	CV1_5
	Coriza, congestão nasal	CV1_6

Dor de cabeça	CV1_7
Irritação na garganta	CV1_8
Sensibilidade à luz	CV1_9
Desconforto físico	DF
Irritação, coceira nos olhos	CV1_1
Fadiga excessiva	CV1_10
Doença atual	HÁ
Doenças na família	HF
Chiado no peito	CV1_11
Pele seca ou irritada	CV1_2
Uso de medicação	MED
Lágrimas nos olhos	CV1_3
Frequência cardíaca	FCmed FCmax FCRepouso FCfinal
Pressão arterial	PASI PADI PASF PADF

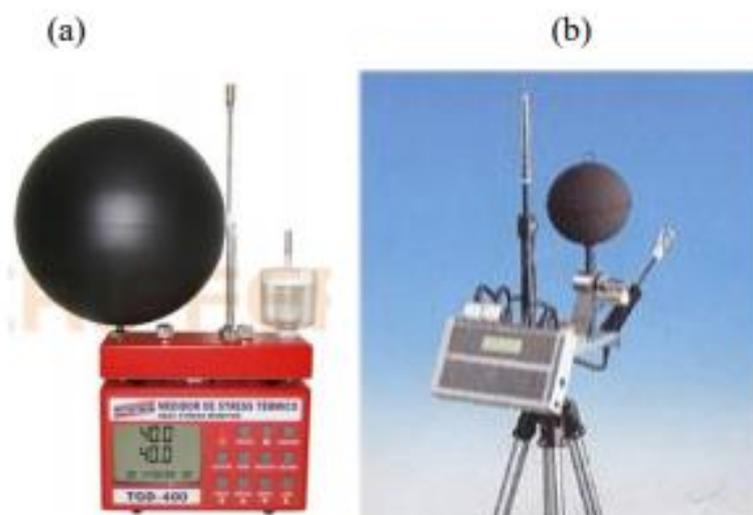
Fonte: elaborado pelo autor

#### 4.4.1.4. Instrumentos de coleta

As variáveis pessoais foram obtidas através de questionário estruturado constante do anexo 3 enquanto as de saúde foram medidas através de frequencímetros de pulso e tensiômetro digital semelhantes aos da figura 17. As variáveis térmicas foram mensuradas utilizando os equipamentos estação microclimática de marca BABUC/A/M e TGD 300 os quais foram instalados no centro da sala registrando dados a cada 5 minutos.

A amostra utilizada constou de no 210 pessoas em 7 ambientes e 3 dias diferentes totalizando uma amostra de 517 dados. De acordo com Hair e Hill (2009) e Hill o tamanho mínimo da amostra para que seja possível efetuar uma análise multivariada dos dados é no mínimo 5 vezes o número de variáveis independentes. Ou seja, para 32 variáveis, um mínimo de 160 conjunto de dados.

Figura 17 – Instrumentos de coleta (a) TGD 300 (b) Estação microclimática



Fonte: (a) <http://goo.gl/4LCoQg> (b) <http://goo.gl/KG9cM2>

As coletas foram realizadas nas datas e horários exibidos no quadro 12.

Quadro 12 – Período e horários das coletas do experimento

Local	Período	Horário da coleta	Temperatura externa média
A	01 a 03 de agosto de 2016	15:00	27.8°C
B	26 a 28 de abril de 2016	10:00	23.3°C
C	21 a 23 de março de 2016	15:00	25.6°C
D	18 a 27 de agosto de 2014	14:30	26.7°C
E	23 a 25 de maio de 2016	13:00	31.7°C
F	17 a 19 de novembro de 2014	17:30	26.7°C
F	15 a 17 de setembro de 2015	15:00	37.8°C

Fonte: dados da pesquisa

#### 4.4.2 *Calculo do metabolismo*

De acordo com Antoniadou e Papadopoulos (2017), as principais ferramentas aplicadas para a análise do metabolismo são a simulação e a modelagem matemática. Essas abordagens levam ao estabelecimento de novos modelos, ou à determinação de observações sobre o modelo aplicado e abordagens metodológicas, ambos objetivos desta pesquisa.

Para a elaborar um modelo de metabolismo é preciso ter o metabolismo real dos sujeitos. Como este valor não foi medido, então ele foi calculado nesta etapa. Assim, utilizou-se o método numérico da bissecção, pois este permite encontrar uma variável dependente a partir da estimação das variáveis independentes.

O método numérico da bissecção é utilizado para encontrar as raízes numéricas de uma função através de iterações. Dado que a raiz esteja em um intervalo (a,b) tal que  $f(a).f(b)<0$ , o teorema do valor intermediário garante uma raiz para a função  $f$  neste intervalo. Assim, toma-se  $M$  contido no conjunto (0,15) e  $c = \frac{a+b}{2}$ . Se  $f(c).f(a)<0$ , então  $\exists x \mid f(x)=0, c<x<a$ . Se  $f(c).f(a)>0$ , então  $\exists x \mid f(x)=0, b<x<c$ .

A função utilizada foi baseada na equação de Fanger (1973)

$$f \rightarrow (0,303e^{-0,036M} + 0,028)\{(M - T) - 3,5 \cdot 10^{-3}[5733 - 6,99(M - T) - p_a] - 0,42(M - 58,5) - 1,7 \cdot 10^{-5}M(5867 - p_a) - 0,0014M(34 - t_a) - 3,96 \cdot 10^{-8}f_{cl}[(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl}h_c(t_{cl} - t_a)\} - \text{sens}$$

Na qual:

$f_{cl}$  – fator de área das roupas

$h_c$  – coeficiente de transferência convectiva de calor (W/m<sup>2</sup>.°C)

$M$  – geração de calor metabólica (W)

$p_a$  – pressão parcial de água-vapor (Pa)

$t_{cl}$  – temperatura das roupas (°C)

$t_a$  – temperatura do ar (°C)

$t_r$  – temperatura média de radiação (°C)

$W$  – trabalho externo (W.m<sup>-2</sup>)

sens – sensação térmica reportada pelo sujeito

Esta é a função do PMV conforme a norma ISO 7730 (2005) subtraída da sensação térmica reportada pelo sujeito. A própria função contém um processo

iterativo para obtenção de  $t_{cl}$  que foi integrado ao algoritmo para se relacionar com o método da bissecção.

O código utilizado encontra-se no apêndice A.

#### 4.4.3 *Triagem das variáveis*

As variáveis coletadas dos participantes da pesquisa foram classificadas em quantitativas ou qualitativas. As qualitativas foram subdivididas entre ordinais, nominais e binárias.

Em seguida, foram realizados testes de correlação para identificar relações entre as variáveis em si. Foi utilizado o fator de variação inflacionada com índice de 10 e os testes de Mann-Whitney, Kruskal-Wallis, Chi quadrado e Fisher, todos com nível de significância 0,05. O fator de variação inflacionada (cor amarelo) foi utilizado para investigar multicolinearidade entre variáveis quantitativas (Naimi, 2014). Simulações com índice VIF maior que 10 foram considerados multicolineares. O teste de Mann-Whitney para pares de variáveis quantitativas-binárias. O teste de Kruskal Wallis para pares de variáveis quantitativas-ordinais (Naimi, 2014). Estes dois últimos utilizaram nível de significância de 0,05. O conjunto de variáveis qualitativas foi dividido entre o teste de Fisher e o teste de Chi quadrado baseado no tamanho das tabelas de contingência geradas por cada dupla de variáveis.

Considerando os resultados dos testes e objetivando reduzir as multicolinearidades, foram gerados 24 grupos de variáveis que não possuem influências umas com as outras conforme foram testadas.

#### 4.4.4 *Elaboração dos modelos*

Foram elaborados modelos lineares generalizados utilizando métodos e funções relativas à função  $g$ , monótona, que relaciona o metabolismo calculado às variáveis estudadas pessoais, de estilo de vida e saúde conforme o modelo da equação 21.

$$g(M) = \beta_0 + \underbrace{\sum_{i=1}^I \beta_{pi} X_{pi}}_{\text{pessoais}} + \underbrace{\sum_{j=1}^J \beta_{evj} X_{evj}}_{\text{estilo de vida}} + \underbrace{\sum_{k=1}^K \beta_{sk} X_{sk}}_{\text{saúde}} \quad (21)$$

Neste modelo, a variável dependente é sempre o metabolismo calculado na etapa 2, enquanto as variáveis independentes variam conforme os grupos gerados na etapa 3. As interações entre as variáveis foram testadas dentro dos modelos. Os valores representados por  $\beta$  no modelo são chamados de estimadores ou coeficientes. Estes medem a variação que o  $X_i$  provoca na função  $g(M)$ , quando modificado.

Por fim, os melhores modelos encontrados tiveram seus pressupostos testados a fim de validar a eficiência dos testes de significância nele realizados. O primeiro pressuposto é o da normalidade dos resíduos. Este, será avaliado através do gráfico QQplot e do teste de Shapiro-Wilkes. A homocedasticidade dos resíduos foi calculada através do gráfico dos resíduos em função do valor ajustado (esperado) da variável dependente. A independência dos resíduos foi avaliada através do teste de Durbin-Watson e a multicolinearidade através do fator de variância inflacionada.

#### 4.4.5 Comparação entre os PMV

Os valores de PMV foram calculados conforme o quadro 13. A equação de conforto é abrangente e requer o uso de métodos numéricos iterativos, portanto, inadequada para cálculos manuais (Fanger, 1973), por isso foi desenvolvido um código na linguagem do software R. Os valores de PMV calculados por cada um dos métodos presentes na literatura foram comparados a fim de identificar qual deles se aproximava mais da sensação térmica expressa pelos sujeitos no questionário (TSV).

Quadro 13 – Cálculo do PMV em função do metabolismo

<b>PMV</b>	<b>Metabolismo</b>
PMVa	Tabela ISO 8996
PMVb	Metabolismo calculado (etapa 2)
PMVc	Metabolismo ajustado (etapa 4)
PMVd	Gilani, Khan e Ali (2016)
PMVe	Luo <i>et al.</i> (2016a)
PMVf	Xavier (2000)

Fonte: elaborado pelo autor

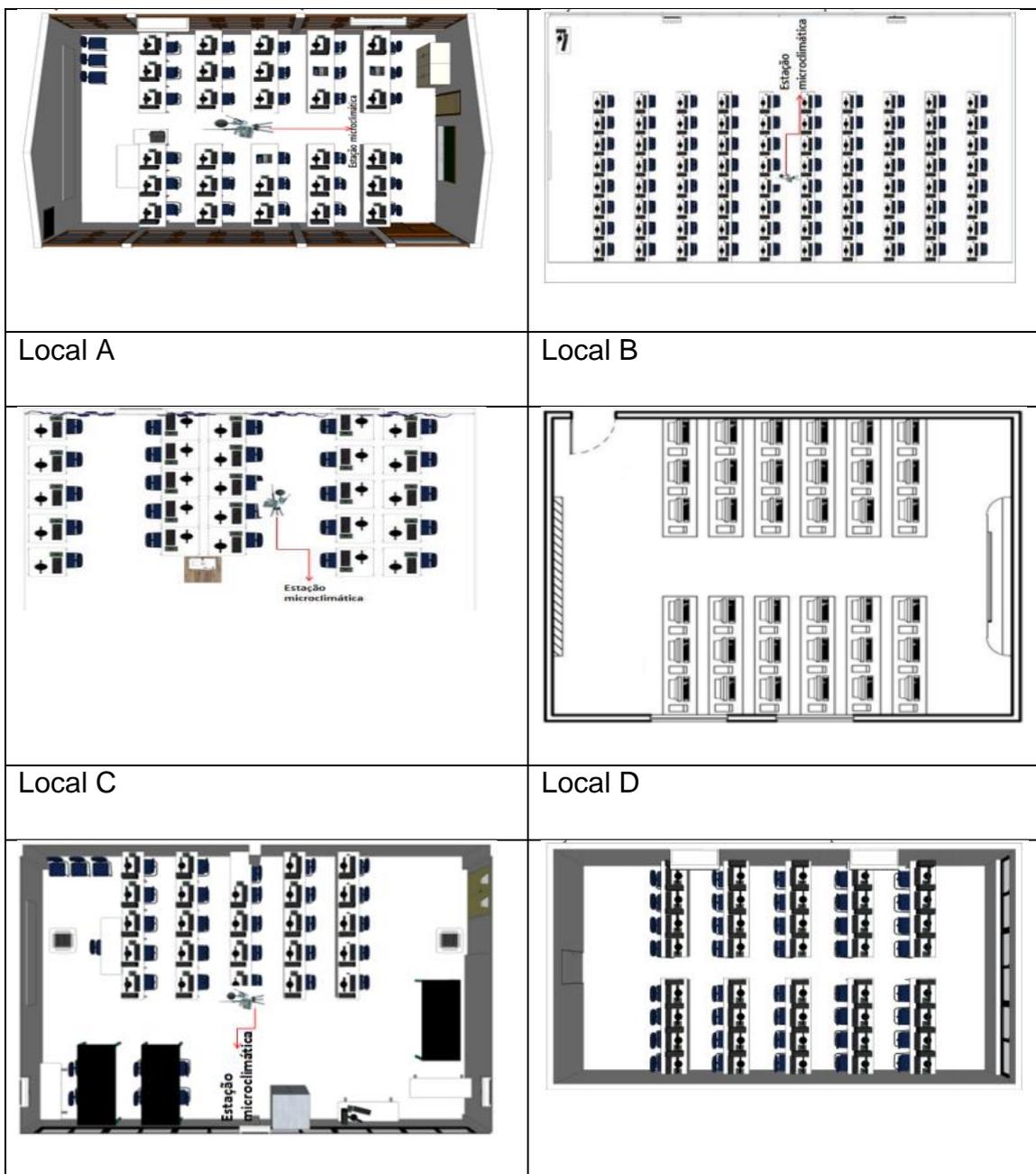
## 5 RESULTADOS

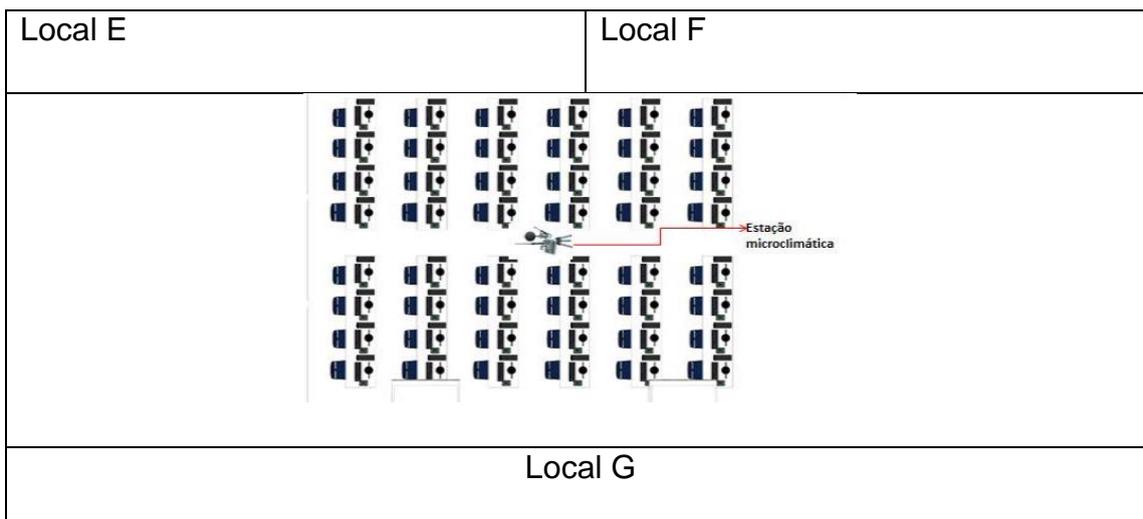
Este capítulo apresenta os resultados obtidos através de cada etapa da metodologia de forma direta e sucinta correlacionando o resultado com a etapa que o gerou.

### 5.1 Análise descritiva dos dados coletados

O layout das salas nas quais os testes foram realizados pode ser observado na figura 18.

Figura 18 – Layouts dos ambientes analisados

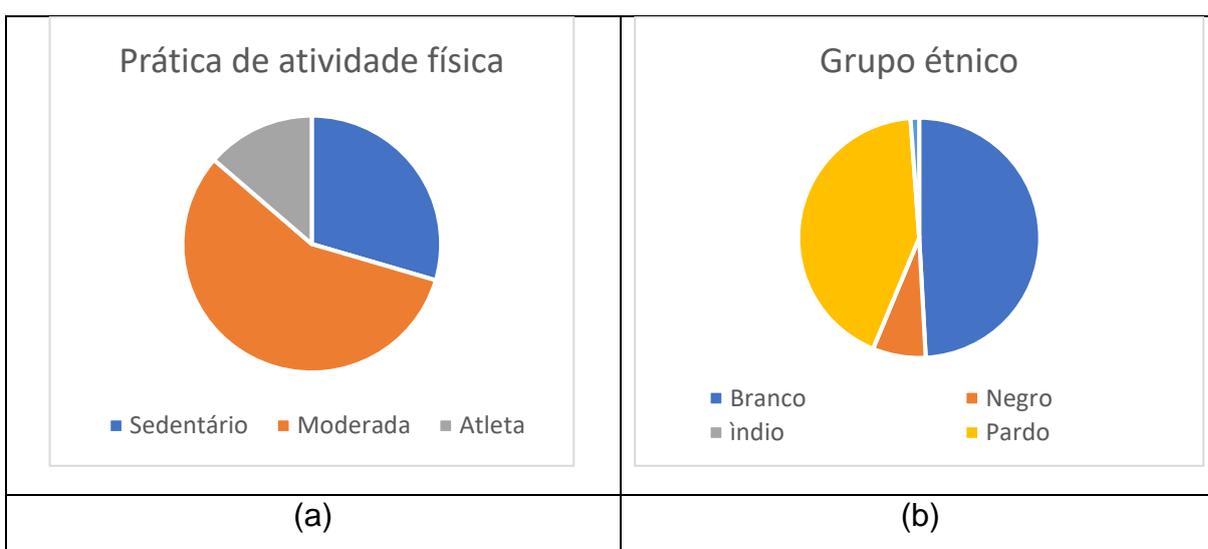


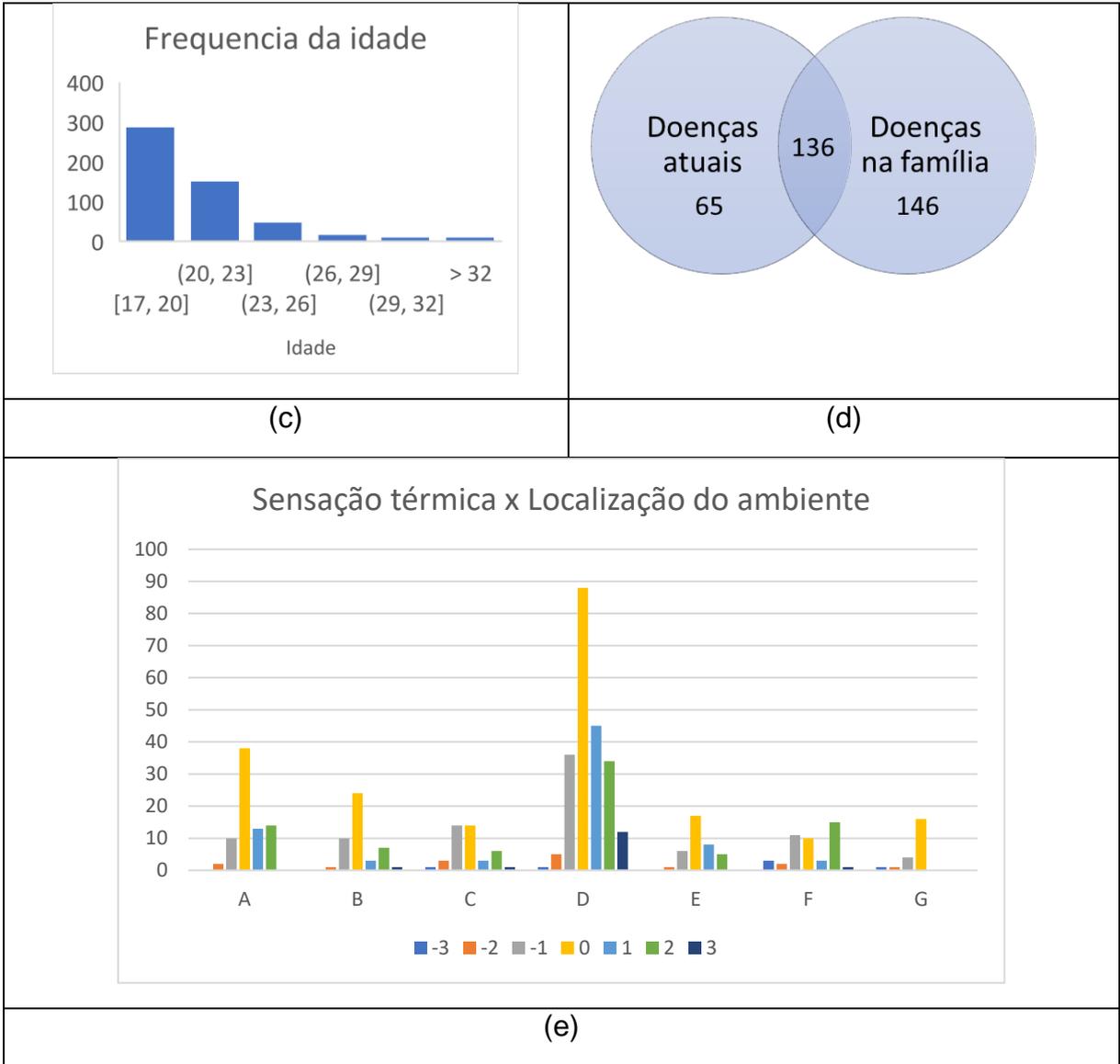


Fonte: Brito (2017) e Torres (2016)

Das respostas coletadas, 69% foram dadas pelo sexo masculino e 31% feminino. Menos de 3% das pessoas fuma, mas pouco mais da metade bebe. A figura 19 mostra a prática de atividade física (a), distribuição dos sujeitos em grupos étnicos (b), idade (c) e a distribuição da sensação térmica por local (d). Na figura 19 (d) observa-se o número de sujeitos que indicaram a presença de doença na família ou que estavam doentes no momento da aplicação do questionário, a figura mostra ainda a relação entre estas variáveis. Dessa forma observa-se que, das 201 pessoas que reportaram estar doentes no momento da aplicação do questionário, 136 tinham histórico de doenças na família.

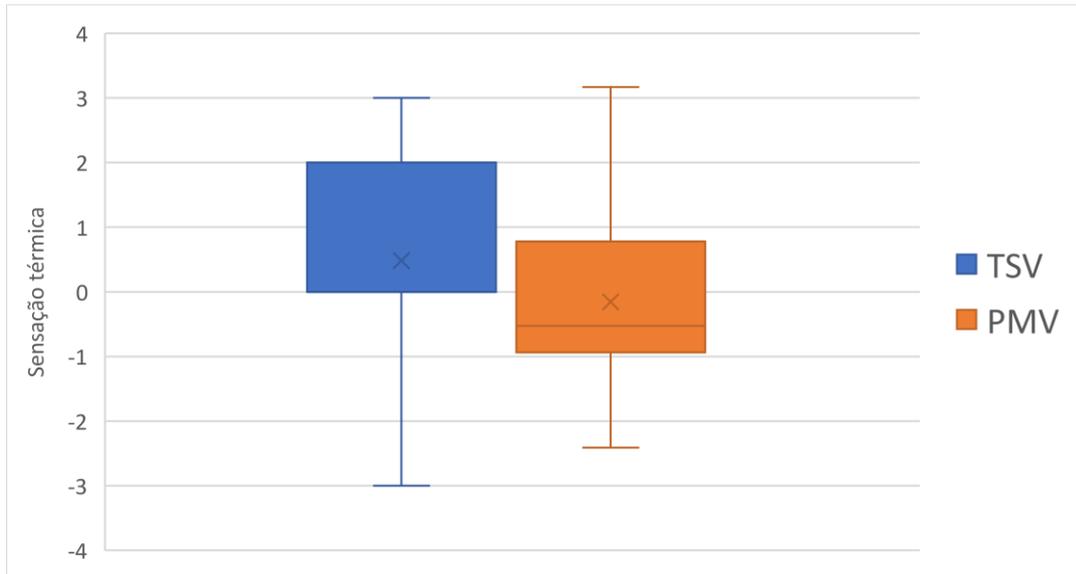
Figura 19 – Características gerais dos sujeitos da pesquisa





Foram identificadas diferenças entre as médias e os limites encontrados entre o PMV calculado conforme a norma ISO 7730 (2005) para o ambiente estudado e a opinião dos sujeitos (TSV). A representação gráfica destas diferenças está na figura 20.

Figura 20 – Comparação entre o PMV e o TSV dos sujeitos



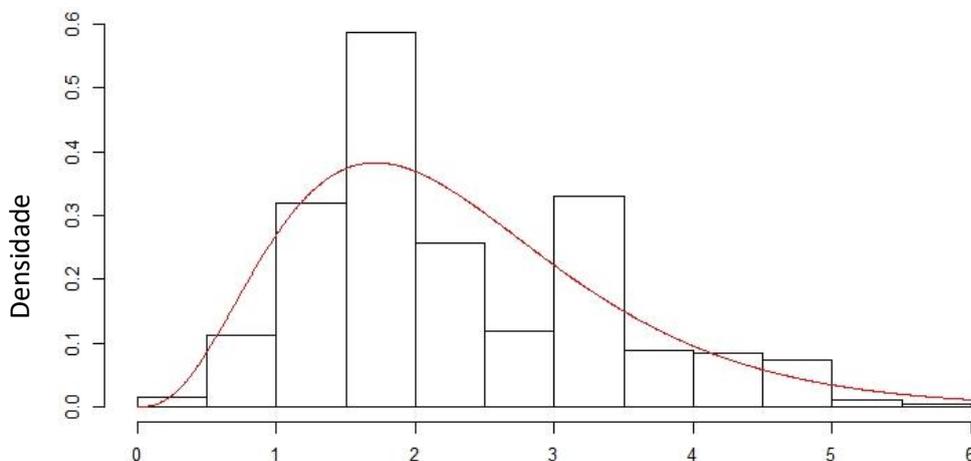
Fonte: elaborado pelo autor

## 5.2 Metabolismo calculado

O maior metabolismo obtido dos sujeitos foi 5.949908 met e o menor foi 0.001892 met; a média dos valores foi 2.311748 met com desvio padrão de 1.067689 met.

O histograma e a distribuição de densidade dos valores de metabolismo estão dispostos na figura 21, indicando que a distribuição é da família exponencial do tipo gama. O conjunto dos dados é assimétrico e o maior volume de dados está situado a esquerda da média, conforme pode ser observado na figura 21.

Figura 21 – Gráfico das densidades empírica e teórica do metabolismo



Fonte: elaborado pelo autor

Os resultados do metabolismo considerando os locais nos quais as coletas foram realizadas tem-se o panorama da tabela 1 na qual os valores máximos, mínimos, médios e o desvio padrão do metabolismo calculado em cada instituição se encontram em *met*.

Tabela 1 – Valores do metabolismo calculado por Instituição

Local	Maior	Menor	Média	Desvio padrão	Tamanho da amostra
A	4.414755	-0.01024	2.412127	1.101109	80
B	4.645146	0.016326	1.958991	0.991133	47
C	4.688834	0.918127	2.495017	1.181125	53
D	5.948986	0.703357	2.342198	1.103438	225
E	4.806651	0.912784	2.629717	0.993112	42
F	4.596373	0.823478	2.344066	0.949103	45
G	3.442301	-0.17086	1.526108	1.062248	81

Fonte: elaborado pelo autor

### 5.3 Grupos de dados relacionados

Os testes de correlação realizados geraram a figura 22 na qual os itens em vermelho estão correlacionados e, portanto, não podem estar presentes no mesmo modelo, enquanto os itens cuja fonte está colorida em verde não apresentaram correlação significativa e, à princípio, podem estar no mesmo modelo.



A partir destes resultados, 24 grupos de variáveis foram geradas a fim de tornar mais eficiente a construção de um modelo (que será apresentado no item 5.4) que melhor represente a sensação térmica dos sujeitos. Os grupos foram gerados agrupando as variáveis que não apresentaram multicolinearidade, isto é, as variáveis representadas no gráfico na cor verde.

#### 5.4 Modelos gerados

Foram gerados 117 modelos a fim de melhorar a precisão do metabolismo dos sujeitos conforme descrito no quadro 14.

Quadro 14 – Modelos ajustados a partir das variáveis disponíveis

Grupo	Família	Função de ligação	Número de variáveis	Teste da razão de verossimilhança	pseudoR2
G1	Normal	Identidade	3	3.209e-05 ***	0.06443565
		Inversa	5	7.703e-05 ***	0.07441169
		Logarítmica	2	4.794e-10 ***	0.04821810
	Normal inversa	Identidade	4	6.393e-06 ***	0.07752044
		Inversa	3	2.802e-05 ***	0.06356200
		Logarítmica	4	1.247e-05 ***	0.07491655
	Gama	Identidade	4	1.043e-05 ***	0.08117458
		Inversa	3	4.246e-05 ***	0.06685780
		Logarítmica	3	2.729e-09 ***	0.06255206
G2	Normal	Identidade	6	6.337e-06 ***	0.10159202
		Inversa	6	2.514e-06 ***	0.09076214
		Logarítmica	7	8.36e-06 ***	0.10072600
	Normal inversa	Identidade	6	6.314e-07 ***	0.10693133
		Inversa	5	3.307e-06 ***	0.09160366
		Logarítmica	6	2.449e-06 ***	0.10551361
	Gama	Identidade	6	2.923e-06 ***	0.10387376
		Inversa	7	7.642e-06 ***	0.10875902
		Logarítmica	7	4.045e-06 ***	0.11151870

G3	Normal	Identidade	4	3.446e-06 ***	0.08040322
		Inversa	3	9.534e-06 ***	0.06829143
		Logarítmica	4	5.531e-06 ***	0.07895077
	Normal inversa	Identidade	5	6.616e-07 ***	0.09044153
		Inversa	6	7.057e-06 ***	0.07991503
		Logarítmica	4	2.126e-06 ***	0.08209321
	Gama	Identidade	4	1.636e-06 ***	0.08927936
		Inversa	4	5.816e-06 ***	0.08473646
		Logarítmica	4	2.997e-06 ***	0.08724983
G4	Normal	Identidade	5	2.645e-05 ***	0.07767434
		Inversa	6	8.817e-06 ***	0.08940593
		Logarítmica	6	8.31e-06 ***	0.08706726
	Normal inversa	Identidade	4	5.622e-06 ***	0.07413323
		Inversa	4	2.407e-05 ***	0.06864963
		Logarítmica	4	1.206e-05 ***	0.07128166
	Gama	Identidade	4	1.042e-05 ***	0.07725935
		Inversa	5	3.392e-05 ***	0.08263413
		Logarítmica	4	1.882e-05 ***	0.07500214
G5	Normal	Identidade	4	5.016e-05 ***	0.07337399
		Inversa	5	1.197e-05 ***	0.07842105
		Logarítmica	6	4.635e-05 ***	0.08636363
	Normal inversa	Identidade	5	3.61e-05 ***	0.08165806
		Inversa	4	0.0001196 ***	0.06880035
		Logarítmica	5	4.376e-13 ***	0.07932041
	Gama	Identidade	5	3.577e-05 ***	0.08766213
		Inversa	4	0.0001066 ***	0.07508425
		Logarítmica	4	1.559e-12 ***	0.07607358
G6	Normal	Identidade	4	2.957e-06 ***	0.06685916

		Inversa	6	1.877e-05 ***	0.08690579
		Logarítmica	4	1.406e-05 ***	0.06628117
	Normal inversa	Identidade	5	3.962e-06 ***	0.07486339
		Inversa	4	2.425e-05 ***	0.06897530
		Logarítmica	5	2.124e-05 ***	0.07424655
	Gama	Identidade	5	2.894e-06 ***	0.08040050
		Inversa	5	2.064e-05 ***	0.07465432
		Logarítmica	4	1.422e-05 ***	0.07923377
	G7	igual ao G3			
G8	igual ao G3				
G9	igual ao G3				
G10	Normal	Identidade	4	1.924e-06 ***	0.08211717
		Inversa	6	5.035e-06 ***	0.07572386
		Logarítmica	4	1.723e-06 ***	0.08229834
	Normal inversa	Identidade	6	5.58e-06 ***	0.09682934
		Inversa	6	3.625e-06 ***	0.08216062
		Logarítmica	4	2.081e-06 ***	0.08180211
	Gama	Identidade	4	2.023e-06 ***	0.08824287
		Inversa	7	2.241e-05 ***	0.09151711
		Logarítmica	4	1.976e-06 ***	0.08844686
G11	Normal	Identidade	5	1.286e-05 ***	0.08642007
		Inversa	4	1.741e-06 ***	0.08163423
		Logarítmica	4	1.723e-06 ***	0.08229834
	Normal inversa	Identidade	4	2.851e-06 ***	0.07932315
		Inversa	7	2.398e-05 ***	0.08547733
		Logarítmica	5	1.489e-05 ***	0.08725750
	Gama	Identidade	5	1.433e-05 ***	0.09392694
		Inversa	6	3.295e-06 ***	0.08836793

		Logarítmica	5	1.402e-05 ***	0.09325909
G12	Iguar ao G10				
G13	Normal	Identidade	6	1.301e-06 ***	0.10215752
		Inversa	6	5.906e-07 ***	0.10151258
		Logarítmica	6	9.538e-07 ***	0.10255388
	Normal inversa	Identidade	7	3.34e-06 ***	0.10716020
		Inversa	7	2.022e-06 ***	0.09463083
		Logarítmica	5	2.42e-06 ***	0.08859269
	Gama	Identidade	5	1.945e-06 ***	0.09583970
		Inversa	7	1.878e-06 ***	0.10135996
		Logarítmica	5	1.111e-06 ***	0.10141792
G14	Iguar ao G11				
G15	Iguar ao G10				
G16	Iguar ao G10				
G17	Iguar ao G10				
G18	Iguar ao G10				
G19	Normal	Identidade	5	3.927e-06 ***	0.09014396
		Inversa	5	4.799e-06 ***	0.08826088
		Logarítmica	5	4.117e-06 ***	0.08964402
	Normal inversa	Identidade	4	1.07e-06 ***	0.08431881
		Inversa	6	7.057e-06 ***	0.07991503
		Logarítmica	4	2.126e-06 ***	0.08209321
	Gama	Identidade	4	1.636e-06 ***	0.08927936
		Inversa	5	5.593e-06 ***	0.09505437
		Logarítmica	4	2.997e-06 ***	0.08724983
G20	Normal	Identidade	4	5.483e-05 ***	0.06926009
		Inversa	6	0.0001832 ***	0.06492318
		Logarítmica	4	6.647e-13 ***	0.06587643

	Normal inversa	Identidade	5	1.546e-05 ***	0.07833162
		Inversa	6	0.0001825 ***	0.06660615
		Logarítmica	4	5.483e-05 ***	0.06835716
	Gama	Identidade	5	6.213e-05 ***	0.08429442
		Inversa	6	0.0001839 ***	0.07133759
		Logarítmica	4	2.027e-12 ***	0.07321966
G21	Normal	Identidade	3	5.324e-06 ***	0.07052443
		Inversa	3	9.534e-06 ***	0.06829143
		Logarítmica	2	5.604e-14 ***	0.05245773
	Normal inversa	Identidade	4	1.53e-06 ***	0.07907347
		Inversa	5	1.200e-05 ***	0.06828649
		Logarítmica	3	1.291e-10 ***	0.06310804
	Gama	Identidade	3	3.445e-06 ***	0.07702066
		Inversa	5	1.347e-05 ***	0.07290747
		Logarítmica	3	1.858e-10 ***	0.06686397
G22	Igual ao G13				
G23	Igual ao G13				
G25	Normal	Identidade	6	2.017e-06 ***	0.09831485
		Inversa	11	2.247e-06 ***	0.11808382
		Logarítmica	9	7.95e-06 ***	0.12065557
	Normal inversa	Identidade	6	6.257e-07 ***	0.10309315
		Inversa	10	1.29e-05 ***	0.11481421
		Logarítmica	8	4.635e-06 ***	0.1188474
	Gama	Identidade	8	4.404e-06 ***	0.12745281
		Inversa	8	5.478e-06 ***	0.10286437
		Logarítmica	8	7.259e-06 ***	0.12462030

Fonte: elaborado pelo autor

O quadro 15 mostra a frequência na qual cada variável foi considerada em (número de grupos) e a frequência na qual a variável de fato integrou um modelo (número de modelos).

Quadro 15 – Frequência de uso das variáveis

Tipo	Variável	Código	Número de grupos	Número de modelos gerados
Pessoais	Sexo	SEXO	15	0
	Atividade Física	AF	5	0
	Altura	ALT	8	14
	Ingere bebida alcoólica?	BEBE	16	54
	Fuma?	FUMA	19	0
	Grupo étnico	GE	16	0
	Idade	IDADE	20	7
	Índice de massa corporal	IMC	19	26
	Peso	PESO	20	81
Saúde	Olhos secos	CV1_4	15	59
	Dores nas costas, nos pulsos ou nos braços	CV1_5	7	0
	Coriza, congestão nasal	CV1_6	6	0
	Dor de cabeça	CV1_7	9	21
	Irritação na garganta	CV1_8	8	0
	Sensibilidade à luz	CV1_9	13	45
	Desconforto físico	DF	7	0
	Irritação, coceira nos olhos	CV1_1	14	0
	Fadiga excessiva	CV1_10	7	28
	Doença atual	HA	17	0
	Doenças na família	HF	18	0
	Chiado no peito	CV1_11	11	0
	Pele seca ou irritada	CV1_2	7	0
	Uso de medicação	MED	8	0
	Lágrimas nos olhos	CV1_3	12	8
	Frequência cardíaca	FCmed	24	9
		FCmax	20	0
		FCRepouso	24	28
		FCfinal	27	108
Pressão arterial	PASI	20	0	
	PADI	21	50	
	PASF	21	0	
	PADF	20	29	

Fonte: elaborado pelo autor

Os 5 melhores modelos dentre os modelos gerados estão no grupo 25. Eles foram avaliados quanto a confiabilidade dos seus pressupostos a fim de escolher para estudar o modelo mais confiável dentre os melhores avaliados. Em conformidade com os testes de confiabilidade, além do Teste da razão de verossimilhança e do pseudoR2 presentes no quadro 14, o melhor modelo foi escolhido e é representado pela equação 22. Esta, foi gerada com a função de ligação identidade a partir das variáveis do grupo 25, com a família gama.

O teste da razão de verossimilhança mostrou um p-valor de 4.404e-06 \*\*\* e o pseudoR2 de 0.12745281. Apesar do baixo valor do pseudoR2, Cordeiro e Demétrio (2008, p.112) afirmam que, se a análise do desvio, representado pela razão de verossimilhança, apresentar um resultado favorável para o modelo em investigação, então o modelo ajusta-se razoavelmente aos dados. Neste caso, um valor favorável é abaixo de 0.005 e o valor encontrado foi de 4.404e-06 \*\*\*, bem abaixo.

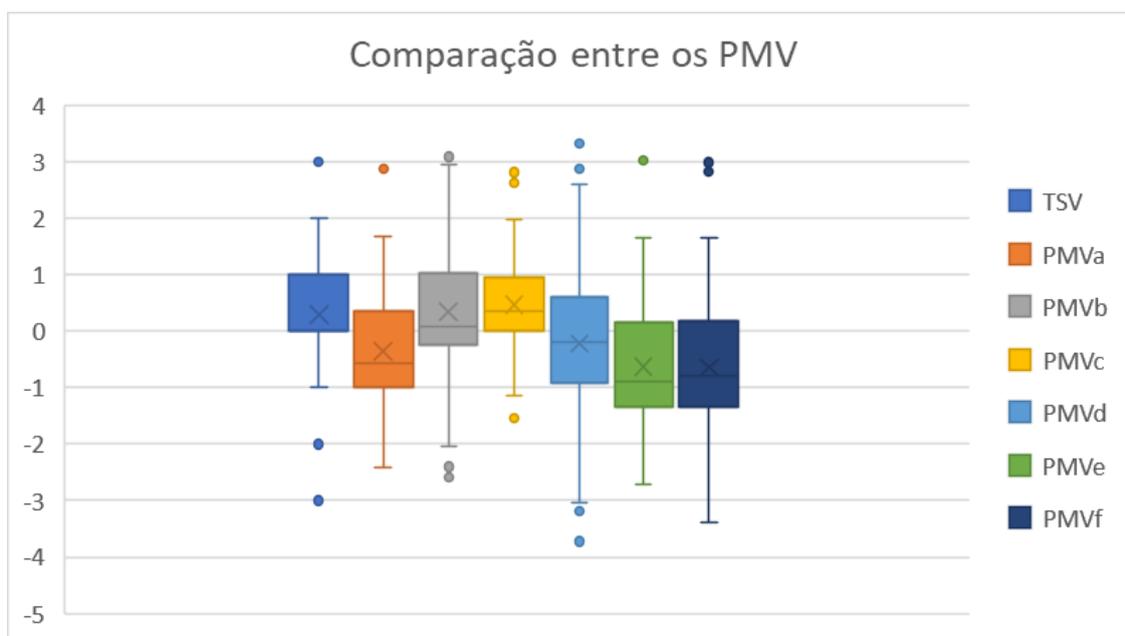
$$M=1.766624-0.165280BEBE+0.004674PESO-0.071330CV1\_4- \quad (22) \\ 0.072258CV1\_9+0.085847CV1\_10-0.011263PADF- \\ 0.009319FCRepouso+0.021691FCFinal$$

## 5.5 Comparação entre os PMVs

A figura 23 evidencia que o PMV que melhor se ajustou à opinião dos sujeitos avaliados nesta pesquisa foi o PMVc visto que sua representação é a que melhor se aproxima da opinião dos sujeitos (TSV).

O PMVc corresponde ao PMV calculado através do modelo de metabolismo proposto nesta pesquisa e disposto na equação 22.

Figura 23 – Gráfico comparativo dos PMV calculados com diferentes metabolismos



Fonte: elaborado pelo autor

Nesta figura, o TSV   a opinião real dos sujeitos, o PMVa   o PMV calculado com o metabolismo sugerido na norma ISO 7730 (2005). O PMVb   o PMV obtido com o metabolismo calculado através do método da bissec o. O PMVc foi alcançado com o modelo ajustado nesta disserta o. O PMVd, PMVe e PMVf foram calculados através de modelos presentes na literatura de Gilani, Khan e Ali (2016), Luo *et al.* (2016a) e Xavier (2000) respectivamente.

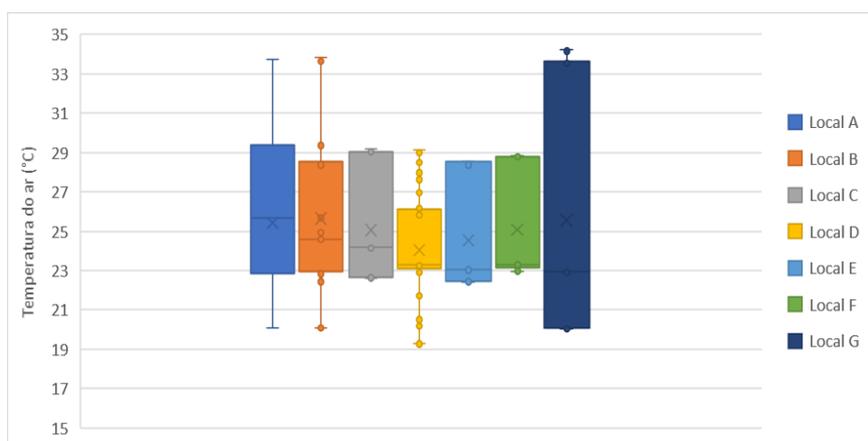
## 6 DISCUSSÃO

Este capítulo descreve os resultados na ordem em que foram obtidos e busca explica-los a luz da literatura consultada a fim de entender a lacuna que esta dissertação preenche e como os resultados obtidos se relacionam aos resultados que vem sendo obtidos no mundo em pesquisas na área de conforto térmico.

Os valores de sensação térmica identificados por local na figura 19 (e) não apresentam características comuns que os defina. A sensação “muito frio” foi consistentemente menos frequente. Isto se explica porque, mesmo com o auxílio da refrigeração, em nenhuma das situações do experimento, foi alcançada uma temperatura inferior a 19°C. Isto se deu, principalmente, pelas altas temperaturas externas que influenciaram os ambientes analisados. A sensação de neutralidade térmica (TSV=0) foi predominante em quase todos os locais com exceção do local E onde predominou a sensação levemente quente. Essa sensação pode ser explicada pela alta temperatura externa (31.7°C) registrada durante a coleta, conforme mostra o quadro 12, que não permitiu a redução da temperatura interna cuja distribuição mais frequente no quartil de temperaturas mais altas está demonstrado na figura 24.

Observa-se na figura 24 que a maior parte dos valores registrados de temperatura interna do ar está entre o segundo e o terceiro quartil, mostrando que a maior parte dos valores coletados está acima da mediana.

Figura 24 – Temperatura interna do ar registrada por local



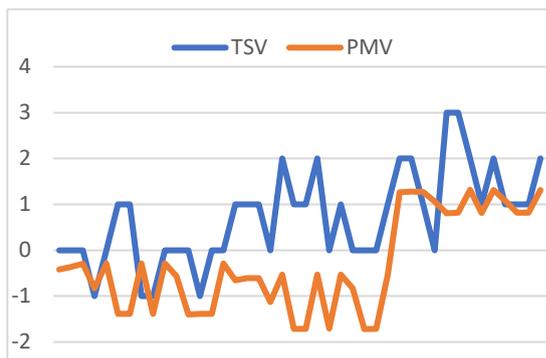
Fonte: elaborado pelo autor

O valor do PMVa, calculado utilizando o metabolismo da norma ISO8996 (2004) conforme a norma ISO 7730 (2005), possui média aproximadamente simétrica à opinião dos sujeitos. O TSV possui volume de dados positivamente assimétricos, mas que não se comparam ao PMVa cuja mediana se aproxima do 1º quartil como pode ser observado na figura 20. Ainda neste gráfico, se observa que o valor mínimo do TSV é maior que o valor mínimo do PMVa.

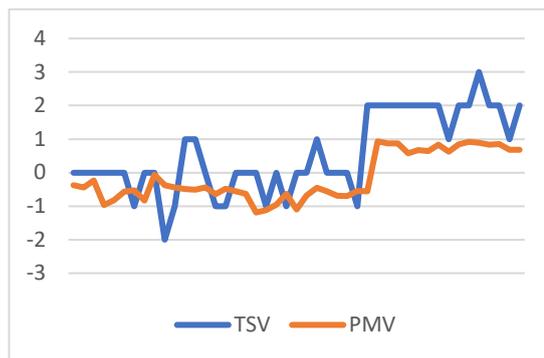
No tocante a variação local, conforme observado na figura 25, que representa as variações de PMVa e TSV entre os locais, o local E mais uma vez se destaca com as maiores defasagens entre PMV e TSV. No local G houve a menor diferença entre PMV e TSV. Os locais A, B e D apresentaram diferenças, mas, de forma geral, o PMV e o TSV seguiram uma mesma tendência. Poucos locais avaliados alcançaram a sensação térmica muito fria (-3).

Figura 25 – PMVa e TSV por local avaliado

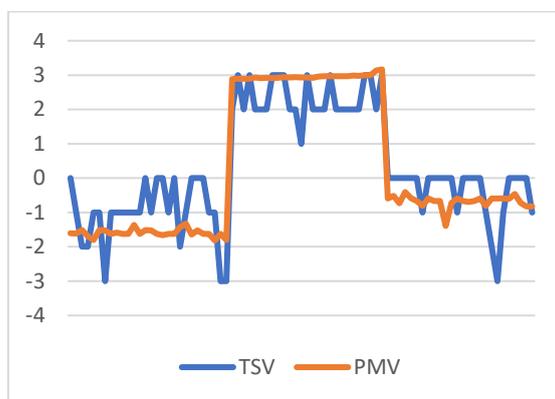




Local E



Local F



Local G

Fonte: elaborado pelo autor

Há uma diferença, exibida na figura 20 entre o PMV e o TSV dos sujeitos. Nas situações desta pesquisa, o PMV hora superestimou e hora subestimou a opinião dos sujeitos. O mesmo ocorreu nas pesquisas de De Dear *et al.* (1991), Kumar, Singh e Sud (2010), Ricciardi e Buratti (2012), Broday, Xavier e Oliveira (2014), Yau e Chew (2014), Kim *et al.* (2015), Gilani, Khan e Ali (2016), Yang, Yin e Fu (2016), Lindberg *et al.* (2017) e Sattayakorn, Ichinose e Sasaki (2017). Nestas pesquisas, há inadequação do modelo PMV aos ambientes estudados, mas esta inadequação nem sempre tende a um dos lados da escala.

Destes autores, Kumar, Singh e Sud (2010), Broday, Xavier e Oliveira (2014), Kim *et al.* (2015), Gilani, Khan e Ali (2016) e Lindberg *et al.* (2017) atribuem essas inconsistências aos fatores pessoais que são contabilizados no metabolismo, mas apenas Gilani, Khan e Ali (2016) e Broday, Xavier e Oliveira (2014) propõem modelos para reduzir essa inadequação através do metabolismo.

Hasan, Alsaleem e Rafeie (2016) também atribuíram ao metabolismo as inadequações do PMV ao TSV encontradas em sua pesquisa. No entanto, para o caso destes pesquisadores, o PMV subestimou o TSV em todos os momentos avaliados.

Os valores obtidos para o metabolismo superaram o dobro do valor entre 1.2met e 1.3 met que é esperado para esta atividade de acordo com a tabela constante da norma ISO 8996 (2004). Nesta tabela, o valor máximo atingido de 5.949908 met é o esperado aproximadamente para uma pessoa subindo uma escada inclinada a 70° a uma velocidade de 11.2m/min com uma carga de 20Kg.

A média encontrada de 2,240 met está bem acima do esperado para a atividade que é 1.2 met, mas o índice de Curtose de -0.15638 indica que a maior densidade dos dados está abaixo desse valor, conforme comprova a figura 21.

Há uma diferença entre a média, a moda e a mediana da amostra. Estes valores indicam que a maior parte dos sujeitos possuem metabolismo de 3.046435, mas o desvio foi grande, isto é, a variação do metabolismo é grande. A mediana de 1.963423 mostra uma tendência central em concordância com a figura 18 e mais aproximada dos valores da norma que a média. Assim, infere-se que, apesar de um maior número de alunos apresentarem metabolismos mais alto que o esperado, a tendência central se situa a apenas 0,6 met do que é considerado pela norma.

O local com o maior metabolismo calculado foi o D. No outro extremo, o menor metabolismo apresentado ocorreu em um estudante no ambiente A. Os horários de início da coleta em cada localização, bem como a temperatura externa da cidade no dia da coleta estão dispostos no quadro 12.

Estes horários são relevantes porque o metabolismo é influenciado pelo ciclo circadiano (Marcheva *et al.* (2013), Froy (2009), Eckel-Mahan (2013), Bailey (2014)). De acordo com Marcheva *et al.* (2013) o relógio circadiano coordena as respostas metabólicas apropriadas para o dia e a noite em nível neuroanatômico e neuroendócrino.

Froy (2009) afirma que muitos hormônios envolvidos no metabolismo como insulina, glucagon, adiponectina, corticosterona, leptina e grelina têm sido relacionados à oscilação circadiana. Por isso, ainda conforme Froy (2009), o relógio

tem sido apontado como regulador do metabolismo e da homeostase energética do fígado.

Bailey (2014) afirma que a razão deste relacionamento é que o metabolismo não é apenas um resultado do relógio circadiano, mas também que processos metabólicos influenciam o funcionamento do relógio. Isto porque parâmetros metabólicos como níveis de nutrientes, utilização do substrato, gasto de energia e termogênese, flutuam através do dia.

De acordo com Eckel-Mahan (2013), diversos estudos revelam que fatores ambientais, incluindo aqueles que afetam o ciclo circadiano, também tem papéis essenciais na homeostase metabólica. A variação no horário de coleta pode ter influenciado a variação local entre os valores obtidos.

É preciso observar também que, apesar do modelo inicial do metabolismo estar em função da temperatura do ar, os valores encontrados de metabolismo por região não refletem necessariamente a mesma ordem, isto é, o local que apresentou a maior temperatura no momento da coleta, não necessariamente apresenta o maior metabolismo.

De acordo com Ruas (1999, p.70), os valores de taxa de metabolismo constantes nas tabelas da norma ISO 8996 (2004) foram baseados numa pessoa padrão de 35 anos (homem com 70 kgf e 1,70 m e mulher com 60 kgf e 1,60 m). A pessoa média desta pesquisa, por sua vez tem  $20,77 \pm 3,92$  anos, os homens com  $76.69 \text{Kgf}$  e  $1.77 \text{m}$  e mulher com  $62.34 \pm 16.99 \text{Kgf}$  e  $1.64 \pm 0.09 \text{m}$  de altura.

De acordo com Wang *et al.* (2018), não há uma conclusão consistente até o momento quanto a significância das diferenças interpessoais no conforto térmico. Por isso, estas diferenças tornam um desafio manter todos os sujeitos de um ambiente satisfeitos especialmente considerando que os efeitos das variabilidades interpessoais são amplificados a medida que o ambiente se afasta da zona de conforto ( $-0.5 < \text{PMV} < 0.5$ ).

Modelos gerados para a média da população geram riscos para indivíduos nos extremos da população, por isso existe um volume de trabalhos tratando do conforto

térmico de idosos e crianças e uma vertente fisiológica estudando variações no metabolismo de anoréxicos e obesos.

Humphreys e Nicol (2002) consideram como fonte de variabilidades interpessoais as diferenças de interpretação das escalas, diferenças de interpretação do que é temperatura neutra e diferenças intrapessoais de julgamento que podem ter aparecido como fonte de erros nesta pesquisa. Rupp *et al.* (2015) por outro lado, considera menos as questões psicológicas e mais as questões de origem fisiológica, que influenciam na taxa metabólica, além das variações de origens culturais e comportamentais que são expressas através da vestimenta.

Esta pesquisa está tratando das diferenças interpessoais de origem fisiológica pois as diferenças comportamentais e de vestimenta tem função adaptativa no conforto térmico. Isto é, à medida que um sujeito sente frio, ele tende a aumentar a quantidade de vestimenta, mas isso vai se refletir na sensação térmica dele e como ambos os fatores foram considerados no cálculo do metabolismo, um reduziu a influência do outro e nenhum gerou interferências interpessoais.

Quanto a geração dos modelos, todas as vezes que a variável peso foi avaliada quanto a seu coeficiente de significância, ela foi considerada no modelo. A presença desta variável é uma informação relevante da pesquisa de Byrne *et al.* (2005) que afirma que indivíduos com excesso de peso apresentam uma taxa metabólica 30% menor do que pessoas que estão na faixa de peso normal. Além disso, a variável peso foi indicada por Rupp *et al.* (2018) como fator relacionado às sensações de “desconforto quente” e “desconforto frio”.

Ainda na pesquisa de Rupp *et al.* (2018), as variáveis sexo, IMC e dependência de ar condicionado se mostraram significativamente relacionadas ( $p < 0,001$ ) ao desconforto no ambiente de trabalho. A variável idade e o tipo de ventilação do edifício foram insignificantes em relação às ocorrências de "desconforto quente".

Por outro lado, as variáveis sexo, IMC e a dependência de condicionamento de ar foram associados de forma significativa e positiva ao "desconforto quente" no ambiente de trabalho. Com relação ao "desconforto ao frio", foram encontrados fatores

expressivamente associados ao sexo, IMC, dependência de ar condicionado e tipo de ventilação do edifício para os sujeitos da pesquisa.

Em todas as ocasiões nas quais as variáveis frequência cardíaca final e a sensação de olhos secos foram avaliados para integrar o modelo, ambas foram consideradas no modelo, isto é, o teste da razão de verossimilhança foi significativo para que as variáveis se mostrassem representativas para o modelo.

A variável sexo, que aparece como fator determinante do metabolismo nos trabalhos de Ruas (1999), Xavier (2000), Auliciems e Szokolay (2007), Choi (2012), Siqueira e Silva (2015), Ricciardi e Buratti (2015), Luo *et al.* (2016a) e Djamila (2017), porém, não teve significância em nenhum dos modelos gerados.

Isso vai de encontro também às conclusões de Byrne *et al.* (2005), Kingma e Lichtenbelt (2015) e Rupp *et al.* (2018). Esta, destacou ainda a relevância da idade que também não foi considerada no modelo final utilizado, mas foi considerado com mais frequência que a variável sexo nos modelos gerados por esta pesquisa, conforme o quadro 15.

Observando de forma conjunta as variáveis sensação de olhos secos (CV1\_4), presença de dor de cabeça (CV1\_7), sensibilidade à luz (CV1\_9) e lágrimas nos olhos (CV1\_3), que frequentemente foram consideradas quando avaliadas entre os 117 modelos, é possível afirmar que variáveis que refletem a quantidade de iluminação no ambiente ou incidindo diretamente sobre a visão dos sujeitos estariam influenciando o metabolismo.

Para explicar essa influência, foram consideradas duas vertentes. A primeira seria a proximidade destes sujeitos à iluminação da sala, que gera uma troca de radiação com a lâmpada aumentando o calor à medida que aumenta o desconforto visual.

A outra vertente considera que a coleta de dados foi realizada enquanto os alunos realizavam uma atividade cognitiva em computador que emite luz configurando o ambiente *smart*. Esta atividade gera um esforço cognitivo e visual que exerceria uma fração de influência no metabolismo.

Quatro frequências cardíacas foram coletadas e consideradas: as frequências cardíacas média, máxima, em repouso (antes do experimento) e ao final do experimento. Todas estas foram analisadas no sentido de decidir se seriam ou não incluídas no modelo. Quando a influência das frequências cardíacas é analisada, a que mais frequentemente possui significância no modelo é a frequência final, que é considerada em todos os modelos gerados.

Com menos constância, frequência cardíaca de repouso permanece no modelo e, mesmo quando isto ocorre, a variável FCRepouso está acompanhada da frequência cardíaca final. Desta forma, infere-se que a variável frequência cardíaca, quando em repouso, apenas exerce influência no modelo quando tocante à diferença entre esta e final, isto é, quando o esforço da atividade física gerar uma alteração relevante no estado inicial do sujeito.

A norma ISO 8996 (2004) utiliza a frequência cardíaca para calcular o metabolismo no segundo nível, conforme mostra o quadro 1 no início desta pesquisa. No entanto, este nível não foi considerado na norma ISO 7730 (2005) para conforto térmico, porque não se baseia na atividade e sim na frequência cardíaca, idade e peso do sujeito da pesquisa.

A variável ingestão alcoólica está presente no modelo final. Não fazer ingestão de bebida alcóolica, de acordo com este modelo, reduz o metabolismo em 0.16528 met. A variável peso apresenta pouca influência quando alterada. Se o peso aumentar em 1Kg, o metabolismo aumenta em -0.004674. Para que haja uma alteração categórica de 0.1 met, é preciso uma variação de pelo menos 23Kg. Este patamar de variação, embora alta, ainda ocorreu na pesquisa.

A variável sensação de olhos secos (CV1\_4), sensibilidade à luz (CV1\_9) e fadiga excessiva (CV1\_10) estavam apresentadas no questionário através de uma escala de Lickert de 5 pontos na qual 1 representa nenhum desconforto; 2, Um pouco desconfortável; 3, alguma coisa desconfortável; 4, desconfortável e 5, muito desconfortável. Considerando uma variação entre “nenhum desconforto” e “muito desconfortável”, entre estas variáveis, a mais representativa é a fadiga excessiva que aumenta o metabolismo em até 0.343388 met.

A pressão arterial diastólica medida no final da coleta variou entre 45 e 105 mmHG. A variação desta variável diminui o metabolismo em até 0.67578 à medida que a pressão aumenta. No modelo de Gilani, Khan e Ali (2016) a pressão diastólica é considerada, porém, a mesma variação de pressão causa um aumento no metabolismo de 0.601738341, isto é, para Gilani, Khan e Ali (2016) o aumento da pressão arterial atua no sentido do metabolismo, enquanto para o modelo desta pesquisa, no sentido contrário.

Na sua pesquisa, Gilani, Khan e Ali (2016) consideraram a média das pressões sistólica e diastólica, chamada pressão arterial média. A pressão sistólica não apresentou significância no modelo desta pesquisa. Este pode ser um indicativo que por considerar um valor médio, a pesquisa de Gilani, Khan e Ali (2016) pode ter sofrido uma perda de precisão.

Um aumento da frequência cardíaca no repouso causa diminuição no metabolismo enquanto um aumento da frequência cardíaca final causa aumento do mesmo. Isso pode se explicar porque, se o sujeito da pesquisa já inicia a atividade com a frequência alta, o corpo gastará menos energia aumentando a frequência à medida que o teste BPR5 aplicado junto ao questionário eleva o nível de estresse do sujeito.

A coleta dos dados utilizados nesta pesquisa foi realizada em campo. O trabalho de campo é conhecido e aplicado na pesquisa térmica há muitos anos e possui vantagens e desvantagens. Neste caso, a vantagem é oferecer dados reais que possibilitaram a elaboração de um modelo com aplicabilidade prática. No entanto, de acordo com Rupp *et al.* (2018), medições precisas de características pessoais são logisticamente difíceis e, portanto, dependem da autoavaliação do participante que pode representar um viés na pesquisa.

Quanto a vieses, Rupp *et al.* (2018) cita o instrumento do questionário como possível fonte. A forma como as perguntas foram elaboradas e apresentadas aos sujeitos podem ter influenciado as respostas. Além disso, conforme supracitado, as respostas dependem de avaliação pessoal do próprio participante baseado nas suas experiências e costumes pessoais desenvolvidos ao longo do tempo.

O PMVb foi calculado a partir de um metabolismo que tem como variável geradora a opinião dos participantes da pesquisa e, portanto, deveria ter sido o mais adequado para avaliar esta mesma opinião. No entanto, analisando a figura 23, o PMVc, ajustado a partir do modelo elaborado nesta pesquisa, foi o que mais se adequou à opinião dos sujeitos avaliados. Esta é a principal evidência de adequação do modelo à realidade do ambiente pesquisado.

Ambos, PMVb e PMVc estão mais bem ajustados que o PMVa, calculado através da norma. Isso sugere não só que o metabolismo é um ponto crítico no cálculo do PMV, como que a proposta apresentada por esta pesquisa oferece uma melhoria crítica e pode contribuir para avanços no campo do estudo do conforto térmico.

Os modelos de Gilani, Khan e Ali (2016) – PMVd – Luo *et al.* (2016a) – PMVe – e Xavier (2000) – PMVf – na situação analisada apresentaram-se mais próximos ao modelo PMVa da norma ISO7730 (2005) e não se ajustaram adequadamente à opinião do sujeito. O modelo de Xavier (2000) foi ajustado em situação de avaliação muito próxima da situação desta pesquisa. As pesquisas de Gilani, Khan e Ali (2016) e Luo *et al.* (2016a) não apenas foram realizados em contextos diferentes como em amostras populacionais de outros países o que pode justificar as diferenças encontradas.

O modelo de Gilani, Khan e Ali (2016) utiliza a equação 23 para calcular o metabolismo de 200 estudantes na Tailândia. De acordo com os autores, ao calcular o PMVd utilizando seu modelo para o metabolismo, haverá distanciamento maior da sensação térmica a medida que há um afastamento da zona de conforto.

$$\text{Activity level} = 0.1092 \exp(0.0296\text{MAP}) \quad (23)$$

Na qual MAP representa a pressão média arterial dada pela equação 24, PAD representa a pressão arterial diastólica e PAS representa a pressão arterial sistólica.

$$\text{MAP} = \frac{(2\text{PAD} + \text{PAS})}{3} \quad (24)$$

Os hábitos medidos por Xavier (2000) se relacionam principalmente a alimentação e prática de exercícios físicos e, portanto, diferem das que foram avaliadas por esta pesquisa.

A norma ISO 8996 (2004) relata o peso, idade e altura entre os fatores que influenciam o metabolismo, destes, apenas o peso permaneceu no modelo. Nesta pesquisa, este fator é representado pelas variáveis que se relacionam a iluminação e que se apresentaram no modelo.

## 7 CONCLUSÃO

A seção intitulada “Análise descritiva dos dados” oferece uma perspectiva sobre como as variáveis pessoais coletadas se apresentavam dentro da amostra de sujeitos analisada atingindo o objetivo específico de avaliar as variáveis pessoais vinculadas aos estudantes.

No curso da realização desta pesquisa, foram identificadas diferenças entre as médias e os limites encontrados entre o PMV calculado conforme a norma ISO 7730 (2005) para o ambiente estudado e a opinião dos sujeitos (TSV). Nas situações desta pesquisa, o PMV da norma hora superestimou e hora subestimou a opinião dos sujeitos mostrando uma inadequação do modelo PMV aos ambientes estudados.

A média dos valores de metabolismo calculados através do primeiro método desenvolvido foi 2.311748 met com desvio padrão de 1.067689 met foi superior ao dobro do que o valor esperado para esta atividade de acordo com a tabela constante da norma ISO 8996 (2004) ainda que a tendência central se situa apenas 0,6 met do que foi registrado pela norma.

Foram gerados 117 modelos, dois quais um foi selecionado. Estes modelos se propõem a cumprir o objetivo de gerar um modelo de metabolismo em função de fatores pessoais dos estudantes que é um objetivo específico e também um passo essencial em mostrar a importância das variabilidades dentro da pesquisa. As variáveis peso, sensação de olhos secos e frequência cardíaca final foram as variáveis mais presentes nos modelos. A variável sexo não teve significância em nenhum dos modelos gerados.

Fatores relacionados a iluminação estariam influenciando o metabolismo que pode ser explicado pela proximidade dos sujeitos à iluminação da sala ou pela realização atividade cognitiva.

O PMV que melhor se ajustou à opinião dos sujeitos avaliados nesta pesquisa foi o PMVc que corresponde ao PMV calculado através do modelo de metabolismo criado nesta pesquisa, e esta é a principal evidência de adequação do modelo à realidade do ambiente pesquisado.

O estudo está limitado ao ambiente, atividade e conjunto de sujeitos que se adequa ao grupo inicialmente proposto. O instrumento de pesquisa também apresenta uma limitação, pois impõe que o sujeito realize uma autoavaliação.

Levando em consideração a literatura, a fim de comparar o modelo proposto com o que a literatura consultada apresenta, o modelo exibiu novas variáveis e divergiu de modelos previamente estabelecidos. Ela oferece um modelo mais ajustado à sensação térmica que o presente na norma ISO 7730 (2005).

Este modelo mostra uma influência da atividade cognitiva que não é considerada na norma ISO 7730 (2005) ou na norma ISO 8996 (2004). A atividade cognitiva, principalmente associada a VDT está sendo cada vez mais difundida nos ambientes de trabalho.

Dessa forma, para esta atividade, o modelo apresentado foi mais adequado que o modelo já presente na norma. Esta comparação foi feita com o modelo de primeiro nível da norma ISO 8996 (2004) que é o modelo utilizado na norma ISO 7730 (2005) para avaliar o conforto do ambiente cumprindo com o objetivo a que se propôs essa dissertação

O modelo pode ter apresentado os resultados satisfatórios por ter sido avaliado levando em consideração os sujeitos que deram origem a ele. Isto pode ser considerado um viés de pesquisa e também uma proposta de melhoramento para o futuro aplicando este modelo a um novo grupo de estudantes em ambientes de ensino *smart*.

Outro fator que não foi considerado, é a influência do ambiente externo no ambiente interno e conseqüentemente no sistema termoregulatório dos sujeitos. Essa influência precisa ser investigada a fim de melhor explicar a sensação térmica apresentada na pesquisa.

Ainda, é possível explorar melhor os resultados dessa pesquisa dentro da área de fisiologia coletando e pesquisando os efeitos fisiológicos das variáveis tais como o uso do computador, ingestão de bebida alcoólica e etc. sobre o metabolismo.

## REFERÊNCIAS

AKIMOTO, T.; TANABE, S.; YANAI, T.; SASAKI, M. **Thermal comfort and productivity - Evaluation of workplace environment in a task conditioned office.** Building and Environment, v. 45, p. 45-50, 2010. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013230900167X>>. Acesso em: 21/05/2017.

ALFANO, F. R. A.; IANNIELLO, E.; PALELLA, B.I. **PMV e PPD and acceptability in naturally ventilated schools.** Building and Environment, v. 67, p. 129-137, 2013. Elsevier Ltd. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/257171987\\_PMV-PPD\\_and\\_acceptability\\_in\\_naturally\\_ventilated\\_schools](https://www.researchgate.net/publication/257171987_PMV-PPD_and_acceptability_in_naturally_ventilated_schools)>. Acesso em: 14/02/2017.

ANDREASI, W. A.; LAMBERTS, R.; CÂNDIDO, C. **Thermal acceptability assessment in buildings located in hot and humid regions in Brazil.** Building and Environment, v. 45, p. 1225-1232, 2010. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132309003308>>. Acesso em: 20/05/2017.

ANTONIADOU, P.; PAPADOPOULOS, A. M. **Occupants' thermal comfort: State of the art and the prospects of personalized assessment in office buildings.** Energy and Buildings, v. 153, p. 136-149, 2017. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778817319709>>. Acesso em: 12/11/2018.

ASHRAE. **ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.** Methods. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc. 2004.

ASHRAE. **ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.** Methods. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc. 2010.

ASHRAE. **ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.** Methods. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc. 2013.

ATTIA, S.; HENSEN, J. L. M. **Investigating the Impact of Different Thermal Comfort Models for Zero Energy Buildings in Hot Climates.** In: Proceedings 1st

Int. Conf. on Energy and Indoor Environment for Hot Climates, ASHRAE, 24 – 26 de Fevereiro, 2014, Doha, Qatar. **[Anais]**. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/288364460\\_Investigating\\_the\\_impact\\_of\\_different\\_thermal\\_comfort\\_models\\_for\\_zero\\_energy\\_buildings\\_in\\_hot\\_climates](https://www.researchgate.net/publication/288364460_Investigating_the_impact_of_different_thermal_comfort_models_for_zero_energy_buildings_in_hot_climates)>. Acesso em: 16/12/2016.

AULICIEMS, A.; SZOKOLAY, S.V. **Thermal Confort**. 2.ed. 4. ed. Queensland: PLEA Notes, 2007.

BAILEY, S. M.; UDOH, U. S.; YOUNG, M. E. **Circadian regulation of metabolism**. Journal of endocrinology, v. 222, p. 75-96, 2014. Disponível em: <<http://joe.endocrinology-journals.org/10.1530/JOE-14-0200>>. Acesso em: 26/07/2018.

BRODAY, E. E.; XAVIER, A. A. P.; OLIVEIRA, R. **Comparative analysis of methods for determining the metabolic rate in order to provide a balance between man and the environment**. International Journal of Industrial Ergonomics, v. 44, p. 570-580, 2014. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169814114000936>>. Acesso em: 13/04/2017.

BRITO, F. B. R. **Estudo da temperatura de globo em relação à temperatura do ar durante atividades cognitivas em ambientes de ensino com alterações climáticas em áreas das regiões brasileiras**. João Pessoa, 2017, 194f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal da Paraíba.

BYRNE, N.M.; HILLS, A.P.; HUNTER, G.R.; WEINSIER, R.L.; SCHUTZ, Y. **Metabolic equivalent: one size does not fit all**. Journal of Applied Physiology, v.99, n. 3, p. 1112–1119, 2005. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15831804>>. Acesso em: 16/01/2019

CHOI, J. H.; LOFTNESS, V.; AZIZ, A. **Post-occupancy evaluation of 20 office buildings as basis for future IEQ standards and guidelines**. Energy and Buildings, v. 46, p. 167-175, 2012. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811003434>>. Acesso em: 20/02/2017.

CONCEIÇÃO, E. Z. E.; GOMES, J. M. M.; ANTÃO, N.H.; LÚCIO, M. M. J. R. **Application of a developed adaptive model in the evaluation of thermal comfort in ventilated kindergarten occupied spaces**. Building and Environment, v. 50, p.

190-201, 2012. Elsevier Ltd. Disponível em:  
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132311003623>>. Acesso em:  
14/02/2017.

CORDEIRO, G. M.; DEMÉTRIO, C. G. B. **Modelos lineares generalizados e extensões**. Piracicaba: 2008.

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. Elsevier Ltd. Disponível em:  
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132308001364>>. Acesso em:  
20/05/2017.

COUTINHO, A. S. **Conforto e insalubridade térmica em ambientes de trabalho**. 2ª ed. João Pessoa, Ed. Universitária. 2005.

DAGHIGH, R. **Assessing the thermal comfort and ventilation in Malaysia and the surrounding regions**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 48, p. 681-691, 2015. Disponível em: <  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115002877?via%3Dihub>>. Acesso em: 25/09/2017.

DE DEAR, R. J.; LEOW, K. G.; FOO, S. C. **Thermal comfort in the humid tropics: Field experiments in air conditioned and naturally ventilated buildings in Singapore**. International journal of biometeorology, v. 34, p. 259-265, 1991. Disponível em:< <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01041840> >. Acesso em: 16/01/2019

DE DEAR, R. J.; KIM, J.; CANDIDO, C; DEUBLE, M. **Adaptive thermal comfort in Australian school classrooms**. Building Research & Information, v. 43, n. 3, p. 383-398, 1993. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1080/09613218.2015.991627> > Acesso em: 23/01/2018.

DE DEAR, R.; AKIMOTO, T.; ARENS, E.; CANDIDO, C.; CHEONG, K.; LI, B.; ZHU, Y. **Progress in thermal comfort research over the last twenty years**. Indoor Air, v. 23, p. 442-461, 2013. Disponível em: <  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23590514> >. Acesso em: 16/01/2019.

DHAKA, S.; MATHUR, J.; BRAGER, G.; & HONNEKERI, A. **Assessment of thermal environmental conditions and quantification of thermal adaptation in naturally ventilated buildings in composite climate of India.** Building and Environment, v. 86, p.17-28, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132314003965>>. Acesso em: 16/01/2019.

DJAMILA, H. **Indoor thermal comfort predictions: Selected issues and trends.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 74, p. 569-580, 2017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211730299X?via%3Dihub>>. Acesso em: 25/09/2017.

DJONGYANG, N.; TCHINDA, R.; NJOMO, D. **Thermal comfort: a review paper.** Renewable Sustainable Energy Reviews, v. 14, n. 9, p. 2626-2640, 2010. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032110002200?via%3Dihub>>. Acesso em: 05/12/2017.

ECKEL-MAHAN, K.; SASSONE-CORSI, P. **Metabolism and the Circadian Clock Converge.** Physiological Review, v. 93, n. 1, p. 107–135, 2013. Disponível em: <<https://www.physiology.org/doi/full/10.1152/physrev.00016.2012>>. Acesso em: 26/07/2018.

EN 15251. **Indoor Environment Input Parameters for Design of Energy Performance of Buildings Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics.** Brussels, 2005

EN 15251. **Indoor Environment Input Parameters for Design of Energy Performance of Buildings Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics.** Brussels, 2007.

ENESCU, D. **A review of thermal comfort models and indicators for indoor environments.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 79, p. 1353-1379, 2017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117308109?via%3Dihub>>. Acesso em: 25/09/2017.

FABBRI, K. **A Brief History of Thermal Comfort: From Effective Temperature to Adaptive Thermal Comfort.** Springer International Publishing Switzerland, 2015.

Disponível em: <[https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-18651-1\\_2](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-18651-1_2)>. Acesso em: 15/12/2016.

FANGER, P. O.; TOFTUM, J. **Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates**. Energy and Buildings, v. 34, p. 533-536, 2012. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778802000038>>. Acesso em: 25/05/2017

FANGER, P. O. **Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering**. Danish Technical Press, 1970.

FANGER, P. O. **Assessment of Man's Thermal Comfort in Practice**. British Journal of Industrial Medicine, v. 30, n. 4, p. 313-324, 1973. BMJ. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/27722846>>. Acesso em: 03/01/2017.

FRANK, S. M.; RAJA, S. N.; BULCAO, C. F.; GOLDSTEIN, D. S. **Relative contribution of core and cutaneous temperatures to thermal comfort and autonomic responses in humans**. Journal of Applied Physiology. V. 86, n.5. p. 1588–1593, 1999. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?scp=0032944883&partnerID=8YFLogxK>>. Acesso em: 03/05/2017.

FROY, O. **Metabolism and Circadian Rhythms—Implications for Obesity**. Endocrine Reviews, v. 31, n.1, p.1–24, 2010. Disponível em: <<https://academic.oup.com/edrv/article-abstract/31/1/1/2354749>>. Acesso em: 26/07/2018.

FUNDACENTRO. **NHO06: Avaliação da Exposição Ocupacional ao Calor**. 2001.

GARCÍA, J. A. O. **A review of general and local thermal comfort models for controlling indoor ambiances**. Air Quality, p. 309-326, 2010. Ashok Kumar InTech, Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/air-quality/a-review-of-general-and-local-thermal-comfort-models-forcontrolling-indoor-ambiances>>. Acesso em: 05/06/2017.

GILANI, S. I.; KHAN, M. H.; ALI, M. **Revisiting Fanger's thermal comfort model using mean blood pressure as a bio-marker: An experimental investigation**.

Applied Thermal Engineering, v. 109, p. 35-43, 2016. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431116313965>>. Acesso em: 14/12/2016.

GUYTON, A. C.; HALL, J.E. **Tratado de Fisiologia Médica**. Tradução por: Barbara de Alencar Martins. 11ed. P. 829-904. Rio de Janeiro, Elsevier. 2006.

HAVENITH, G; HOLMÉR, I.; PARSONS, K. **Personal factors in thermal comfort assessment: clothing properties and metabolic heat production**. Energy and Buildings, v. 34, p. 581-591, 2002. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778802000087>>. Acesso em: 21/02/2017.

HASAN, M. H.; ALSALEEM, F.; RAFAIE, M. **Sensitivity study for the PMV thermal comfort model and the use of wearable devices biometric data for metabolic rate estimation**. Building and Environment, v. 110, p. 173-183, 2016. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132316304000>>. Acesso em: 13/04/2017.

HOYT T.; LEE K. H.; ZHANG H.; ARENS E.; WEBSTER T. **Energy savings from extended air temperature *setpoints* and reductions in room air mixing**. International Conference on Environmental Ergonomics. August 2-7, Boston, 2009. Disponível em <<https://escholarship.org/uc/item/28x9d7xj>>. Acesso em: 05/07/2017.

HUANG, L.; ZHU, Y.; OUYANG, Q.; CAO, B. **A study on the effects of thermal, luminous, and acoustic environments on indoor environmental comfort in offices**. Building and Environment, v. 49, p. 304–309, 2012. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132311002368>>. Acesso em: 22/12/2013.

HUMPHREYS, M. A.; NICOL, J. F. **The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments**. Energy and Buildings, v. 34, p. 667-684, 2002. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877880200018X>>. Acesso em: 21/02/2017.

ISO 7726. **Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities**. Genebra, 2002.

ISO 7730. **Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort.** Genebra, 2005.

ISO 8996. **Ergonomics of the thermal environment -- Determination of metabolic rate.** Genebra, 2004.

KATAVOUTAS, G.; THEOHARATOS, G.; FLOCAS, H.A.; ASIMAKOPOULOS, D. N. **Measuring the effects of heat wave episodes on the human body's thermal balance.** International Journal Biometeorology, v. 53, p. 177-187, 2009. Disponível em < <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00484-008-0202-3>>. Acesso em: 04/12/2017.

KHAN, F.; SPENCE, V. A.; BELCH, J. J. F. **Cutaneous vascular responses and thermoregulation in relation to age.** Clinical Science, v. 82, p. 521-528, 1992. Disponível em: < <http://www.clinsci.org/content/ppclinsci/82/5/521.full.pdf>>. Acesso em: 22/03/2017.

KIM, J.H.; MIN, Y.K.; KIM, B. **Is the PMV Index an Indicator of Human Thermal Comfort Sensation?** International Journal of *Smart Home*, Vol. 7, No. 1, P. 27-34, 2013. Disponível em: <[http://www.sersc.org/journals/IJSH/vol7\\_no1\\_2013/4.pdf](http://www.sersc.org/journals/IJSH/vol7_no1_2013/4.pdf)>. Acesso em: 16/12/2016.

KIM, J. T.; LIM, J.H.; CHO, S. H.; YUN, G. Y. **Development of the adaptive PMV model for improving prediction performances.** Energy and Buildings, v. 98, p. 100-105, 2015. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814007981>>. Acesso em: 24/02/2017.

KINGMA, B.; VAN MARKEN LICHTENBELT, W. **Energy consumption in buildings and female thermal demand.** Nature Climate Change, v. 5, p. 1054-1056, 2015. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/nclimate2741>>. Acesso em: 25/09/2017.

KUMAR, A.; SINGH, P. ; SUD I. K. **An approach towards development of pmv based thermal comfort smart sensor.** International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, v. 3, n. 4. Disponível em:< [https://www.researchgate.net/publication/228546508\\_AN\\_APPROACH\\_TOWARDS\\_DEVELOPMENT\\_OF\\_PMV\\_BASED\\_THERMAL\\_COMFORT\\_SMART\\_SENSOR](https://www.researchgate.net/publication/228546508_AN_APPROACH_TOWARDS_DEVELOPMENT_OF_PMV_BASED_THERMAL_COMFORT_SMART_SENSOR)>. Acesso em: 16/01/2019.

LAN, L.; LIAN, Z.; PAN, L.; YE, Q. **Neurobehavioral approach for evaluation of office workers' productivity: The effects of room temperature.** Building and Environment, v. 44, p. 1578-1588, 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132308002394>>. Acesso em: 05/12/2017.

LINDBERG, U.; FAHLÉN, P.; AXELL M.; FRANSSON N. **Thermal comfort in the Supermarket environment – multiple enquiry methods and simultaneous measurements of the thermal environment.** International Journal of Refrigeration. 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.ijrefrig.2017.06.020>>. Acesso em: 29/01/2018.

LOPEZ, M.; SESSLER, D. I.; WALTER, K.; EMERICK, T.; VALDES, M.; OZAKI, M. **Rate and Gender Dependence of the sweating vasoconstriction, and shivering thresholds in humans.** Anesthesiology, v. 80, p. 780-788, 1994. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8024131>>. Acesso em: 22/03/2017.

LUO, M.; ZHOUC, X.; ZHUA, Y.; SUNDELL, J. **Revisiting an overlooked parameter in thermal comfort studies, the metabolic rate.** Energy and Buildings, v. 118, p. 152-159, 2016a. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778816300998>>. Acesso em: 19/04/2017.

LUO, M.; JI, W.; CAO, B.; OUYANG, Q.; ZHU, Y. **Indoor climate and thermal physiological adaptation: Evidences from migrants with different cold indoor exposures.** Building and Environment, v. 98, p. 30-38, 2016b. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132315302134>>. Acesso em: 02/05/2017.

LUO M.; WANG Z.; KE K.; CAO B.; ZHAI Y.; ZHOU X. **Human metabolic rate and thermal comfort in buildings: The problem and challenge.** Building and Environment, v.131, p. 34-52, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132318300052>>. Acesso em: 28/05/2018.

MAITI, R. **PMV model is insufficient to capture subjective thermal response from Indians.** International Journal of Industrial Ergonomics, v. 44, p. 349-361. 2014. Disponível em <

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169814114000328?via%3Dihub>. Acesso em: 04/10/2017.

MARCHEVA, B.; RAMSEY K. M.; PEEK C. B.; AFFINATI A.; MAURY E.; BASS J. **Circadian Clocks and Metabolism**. Handb Exp Pharmacology, n. 217, p. 127-155. 2013. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4089089/>>. Acesso em: 26/07/2018.

MOREIRA, C.; MONTEIRO, P. R. R.; GÓIS, J.; MIGUEL, A. R. **Comparative analysis of methods for determining the metabolic rate in order to provide a balance between man and the environment**. In: Segurança e Higiene Ocupacionais – SHO 2012. – Livro de Resumos, p. 297-299, 212. Sociedade Portuguesa de Segurança e Higiene Ocupacionais (SPOSHO). Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169814114000936>>. Acesso em: 11/04/2017.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR15: Atividades e operações insalubres**. 2008.

NAIMI, B.; HAMM, N.A.S.; GROEN, T.A.; SKIDMORE, A.K.; TOXOPEUS, A.G. **Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling?** Ecography, v. 37, n. 2, p. 191-203, 2014. Disponível em:< <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1600-0587.2013.00205.x>>. Acesso em: 16/01/2019.

NOH K.C.; JANG J.S.; OH M. D. **Thermal comfort and indoor air quality in the lecture room with 4-way cassette air-conditioner and mixing ventilation system**. Building and Environment, v. 42, p. 689-698, 2007. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132305004609?via%3Dihub>> . Acesso em: 04/12/2017.

OLESEND, B.W.; PARSONS, K.C. **Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730**. Energy and Buildings, v. 34, p. 537-548, 2002. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877880200004X>>. Acesso em: 05/12/2017.

RAJA, I. A.; NICOL, F. **A technique for recording and analysis of postural changes associated with thermal comfort**. Applied Ergonomics, v. 28, n. 3. p. 221-225. 1997. Disponível em

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003687096000361>>. Acesso em: 03/05/2017.

RICCIARDI, P.; BURATTI, C. **Thermal comfort in open plan offices in northern Italy: An adaptive approach.** Building and Environment, v. 56, p. 314-320, 2012. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132312001114>>. Acesso em: 14/02/2017.

RICCIARDI, P.; BURATTI, C. **Thermal comfort in the Fraschini theatre (Pavia, Italy): Correlation between data from questionnaires, measurements, and mathematical model.** Energy and Buildings, v. 99, p. 243-252, 2015. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877881500273X>>. Acesso em: 13/04/2017.

RUAS, A. C. **Avaliação de conforto térmico: contribuição a aplicação pratica das normas interacionais.** Campinas, 1999. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas.

RUPP, R.F.; VÁSQUEZ, N.G.; LAMBERTS, R. **A review of human thermal comfort in the built environment,** Energy and Buildings, n. 105, p.178–205, 2015. Disponível em:< [https://www.researchgate.net/publication/280555319\\_A\\_review\\_of\\_human\\_thermal\\_comfort\\_in\\_the\\_built\\_environment](https://www.researchgate.net/publication/280555319_A_review_of_human_thermal_comfort_in_the_built_environment)>. Acesso em: 16/01/2019

RUPP, R.F.; KIM, J.; DE DEAR, R. J.; GHISI, E. **Associations of occupant demographics, thermal history and obesity variables with their thermal comfort in air-conditioned and mixed-mode ventilation office buildings.** Building and Environment, v. 135, p. 1-9, 2018. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132318301215>>. Acesso em: 07/11/2018.

SATTAYAKORN, S.; ICHINOSE, M.; SASAKI, R. **Clarifying thermal comfort of healthcare occupants in tropical region: A case of indoor environment in Thai hospitals.** Energy and Buildings, 2017. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.025>>. Acesso em: 05/02/2018

SIQUEIRA, J. C. F.; SILVA, L. B. **Ambientes de ensino inteligentes: conforto térmico, desempenho cognitivo e parâmetros cardiovasculares de alunos universitários**. 1ª ed. João Pessoa, Novas Edições Acadêmicas. 2015

SNODGRASS, J. J.; LEONARD, W. R.; SORENSEN, M. V.; TARSKAIA, L. A.; MOSHER, M. J. **The Influence of Basal Metabolic Rate on Blood Pressure Among Indigenous Siberians**. American Journal of Physical Anthropology. 2008. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18470897>>. Acesso em: 15/12/2016.

STRAUB, K. W.; LEÃO, E. F. T. B.; KUCHEN, E.; LEÃO, M. **Determinação da temperatura de neutralidade e determinação da temperatura de neutralidade em sala de aula do ensino superior para as zonas bioclimáticas do estado de Mato Grosso**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 97-109, 2017. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212017000100097&script=sci\\_abstract&lng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212017000100097&script=sci_abstract&lng=pt)>. Acesso em: 05/06/2017.

Taelman, J.; Vandeput, S.; Vlemingx, E.; Spaepen, A.; Van Huffel, S. **Instantaneous changes in heart rate regulation due to mental load in simulated office work**. European Journal of Applied Physiology, v. 111, n. 7, p. 1497-1505, 2011. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21188414>>. Acesso em: 05/12/2017.

Taleghani, M.; Tenpierik, M.; Kurvers, S.; Van den Dobbelsteen, A. **A review into thermal comfort in buildings**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 26, p. 201-215, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113003535>>. Acesso em: 13/05/2017.

Torres, M. G. L. **Conforto térmico e desempenho nos ambientes de ensino com inovações tecnológicas – estudo de multicascos no nordeste brasileiro**. João Pessoa, 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal da Paraíba.

Van Hoof, J. **Forty years of Fanger's model of thermal comfort: comfort for all?** Indoor Air, v 18, p.182-201, 2008. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/5488139\\_Forty\\_years\\_of\\_Fanger's\\_model\\_of\\_thermal\\_comfort\\_Comfort\\_for\\_all](https://www.researchgate.net/publication/5488139_Forty_years_of_Fanger's_model_of_thermal_comfort_Comfort_for_all)>. Acesso em: 06/06/2017.

VESELY, M.; ZEILER, W. **Personalized conditioning and its impact on thermal comfort and energy performance – A review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, n. 34, p. 401-408, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114001853?via%3Dihub>>. Acesso em: 28/05/2018.

VIMALANATHAN, K.; BABU, T. R. **The effect of indoor office environment on the work performance, health and well-being of office workers**. Journal of environmental health science and engineering, v. 12, n. 1, p. 113, 2014. Disponível em:< <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4591743/> >. Acesso em: 16/01/2019.

WANG, Z.; DE DEAR R. J.; LUO, M.; LIN B.; HEA Y.; Ghahramania A.; Zhu Y. **Individual difference in thermal comfort: A literature review**. Building and Environment, n. 138, p. 181-193, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132318302518?via%3Dihub>>. Acesso em: 07/11/2018.

XAVIER, A. A. P. **Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividades sedentárias – Teoria física aliada a estudos de campo**. Florianópolis, 2000. 251 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina.

YANG, L.; YAN, H.; LAM, J. C. **Thermal comfort and building energy consumption implications – A review**. Applied Energy, n. 115, p. 164-173, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261913008921?via%3Dihub>>. Acesso em: 07/11/2018.

YANG, C.; YIN, T.; FU, M. **Study on the allowable fluctuation ranges of human metabolic rate and thermal environment parameters under the condition of thermal comfort**. Building and Environment, v. 103, p. 155-164, 2016. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132316301226>>. Acesso em: 13/04/2017.

YAU, Y. H.; CHEW, B. T. **A review on predicted mean vote and adaptive thermal comfort models**. Building Services Engineering Research and Technology, v. 35, n. 1, p. 23-35, 2014. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0143624412465200>>. Acesso em: 04/10/2017.

## APÊNDICE A – Código em linguagem R para calcular o metabolismo pelo método da bissecção

```
#definindo variáveis para a função
FCL=ifelse(CLO<0.5,(1+0.2*CLO),(1.05+0.1*CLO))
TCLA=(TA+273)+(35.5-TA)/(3.5*0.155*CLO+0.1)
P1=0.155*CLO*FCL
P2=P1*3.96
P3=P1*100
P4=P1*(TA+273)
P5=308.7-0.028*(58.15*1.2)+P2*((TR+273)/100)^4

#alocando resultados do loop
XF=c(0)
XN=c(0)
tcl=0
TCL=c(0)
N=0
EPS=0.05

#loop
for(i in 1:length(TA)){
  while(EPS[i]>0.00015){

    XF=(XF+XN)/2
    hc=ifelse((2.38*(abs(100*XF-
(TA[i]+273)))^0.25)>(12.1*(VEL[i])^(1/2))),(2.38*(abs(100*XF-
(TA[i]+273)))^0.25),(12.1*(VEL[i])^(1/2)))
    N=N+1
    XN=(P5+P4*hc-P2*XF^4)/(100+P3*hc)
    EPS=abs(XN-XF)
    tcl=100*XN-273
  }
  TCL<-tcl
  HC<-hc
  XN[i]=TCLA[i]/100
  XF[i]=XN[i]
}

#Criando uma função para estimação do metabolismo pelo método da bissecção
bi=function (f, a, b, num = 10, eps = 1e-05)
{
  h = abs(b - a)/num
  i = 0
  j = 0
```

```

a1 = b1 = 0
while (i <= num) {
  a1 = a + i * h
  b1 = a1 + h
  if (f(a1) == 0) {
    return(a1)
  }
  else if (f(b1) == 0) {
    return(b1)
  }
  else if (f(a1) * f(b1) < 0) {
    repeat {
      if (abs(b1 - a1) < eps)
        break
      x <- (a1 + b1)/2
      if (f(a1) * f(x) < 0)
        b1 <- x
      else a1 <- x
    }
    j = j + 1
    return((a1 + b1)/2)
  }
  i = i + 1
}
}

```

#Criando um vetor com valores iniciais onde serão armazenados os valores calculados para o metabolismo  
m.est=c(0)

#Calculando os valores do metabolismo para cada um dos indivíduos  
for(i in 1:length(TA)){

```

  f<- function(met){
    (0.303*exp(-0.036*met*58.15)+0.028)*((met)*58.15-3.05*10^(-3))*(5733-
    6.99*(met)*58.15-PA[i])-0.42*((met)*58.15-58.15)-1.7*10^(-5)*met*58.15*(5867-
    PA[i])-0.0014*met*58.15*(34-TA[i])-3.96*FCL[i]*(((TCL[i]+273)/100)^4-
    ((TR[i]+273)/100)^4)-FCL[i]*HC[i]*(TCL[i]-TA[i]))- SENT[i]
  }

```

```

  m.est[i]=bi(f,-300,300)

```

```

}

```

```

err=0.05
m.est1=c(0)

```

```

for(i in 1:length(TA)){

```

```

while(err[i]>0.00015){
P5=308.7-0.028*(58.15*m.est)+P2*((TR+273)/100)^4
EPS=0.05
for(i in 1:length(TA)){
  while(EPS[i]>0.00015){

    XF=(XF+XN)/2
    hc=ifelse((2.38*(abs(100*XF-
(TA[i]+273)))^0.25)>(12.1*(VEL[i])^(1/2))),(2.38*(abs(100*XF-
(TA[i]+273)))^0.25),(12.1*(VEL[i])^(1/2)))
    N=N+1
    XN=(P5+P4*hc-P2*XF^4)/(100+P3*hc)
    EPS=abs(XN-XF)
    tcl=100*XN-273
  }
  TCL<-tcl
  HC<-hc
  XN[i]=TCLA[i]/100
  XF[i]=XN[i]

}
for(i in 1:length(TA)){

  f<- function(met){
    (0.303*exp(-0.036*met*58.15)+0.028)*((met)*58.15-3.05*10^(-3)*(5733-
6.99*(met)*58.15-PA[i])-0.42*((met)*58.15-58.15)-1.7*10^(-5)*met*58.15*(5867-
PA[i])-0.0014*met*58.15*(34-TA[i])-3.96*FCL[i]*(((TCL[i]+273)/100)^4-
((TR[i]+273)/100)^4)-FCL[i]*HC[i]*(TCL[i]-TA[i]))- SENT[i]
  }

  m.est1[i]=bi(f,-300,300)

}
err=abs(m.est1-m.est)
m.est<-m.est1

}
}

```

**ANEXO A – Parecer do comitê de ética da Universidade Federal da Paraíba n.  
664.712**



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE  
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

**CERTIDÃO**

Certifico que o Comitê de Ética em Pesquisa do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal da Paraíba – CEP/CCS aprovou por unanimidade na 6ª Reunião realizada no dia 21/07/2016, o Projeto de pesquisa intitulado: **“AVALIAÇÃO DA PRESSÃO ARTERIAL E DA FREQUÊNCIA CARDÍACA DE ALUNOS NA REALIZAÇÃO DE ATIVIDADES EM AMBIENTES CLIMATIZADOS”**, da pesquisadora Adriana Gomes Lisboa de Souza. Proc. nº 0415/16. CAAE: 57844916.9.0000.5188.

Outrossim, informo que a autorização para posterior publicação fica condicionada à apresentação do relatório final do estudo proposto à apreciação do Comitê.

  
Adriana Márcia do C. Lima  
BOL. DIAR. 1117513  
Secretária do CEP-CCS-UFPB

## **ANEXO B – Termo de consentimento livre e esclarecido**

Prezado (a) Senhor (a)

Esta pesquisa é sobre “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 das regiões brasileiras” e sob a coordenação do Prof Dr Luiz Bueno da Silva, Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Produção da Universidade Federal da Paraíba.

O objetivo do estudo é analisar variáveis térmicas, pessoais e de saúde de alunos em ambientes de ensino inteligentes (News ICT) em áreas das regiões brasileiras.

A finalidade deste trabalho é contribuir para melhor conhecimento da relação entre o conforto térmico e o desempenho de alunos universitários, de forma a prever efeitos deletérios para a aprendizagem. A preocupação com a aprendizagem de universitários é de extrema importância, visto que ela é a base para a formação de profissionais capacitados.

Solicitamos a sua colaboração para responder a questionário sobre dados gerais; realizar teste de raciocínio; como também sua autorização para apresentar os resultados deste estudo na defesa de mestrado junto ao departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal da Paraíba, em eventos da área de engenharia de produção e publicar em revista científica.

Salientamos que esta pesquisa será gravada e os dados ficarão guardados no Laboratório de Análise do Trabalho, localizado no Departamento de Engenharia de Produção do Centro de Tecnologia da UFPB por 5 anos. Após este período, será descartado conforme a resolução número 466 de 12 de novembro de 2012. Por ocasião da publicação dos resultados, os seus dados serão mantidos em sigilo.

Informamos que essa pesquisa oferece riscos mínimos, como qualquer pesquisa que apresenta questionário, mas que não são nocivos a sua saúde.

Esclarecemos que sua participação no estudo é voluntária e, portanto, o(a) senhor(a) não é obrigado(a) a fornecer as informações e/ou colaborar com as atividades solicitadas pelo Pesquisador(a). Caso decida não participar do estudo, ou resolver a qualquer momento desistir do mesmo, não sofrerá nenhum dano. Os pesquisadores estarão a sua disposição para qualquer esclarecimento que considere necessário em qualquer etapa da pesquisa.

Diante do exposto, eu, \_\_\_\_\_  
declaro que fui devidamente esclarecido (a) e dou o meu consentimento para participar da pesquisa e para publicação dos resultados. Estou ciente que receberei uma cópia desse documento. Assinatura do Participante da Pesquisa ou Responsável Legal

\_\_\_\_\_  
Assinatura da Testemunha

Contato com o Pesquisador (a) responsável:

Caso necessite de maiores informações sobre o presente estudo, favor entrar em contato com a pesquisadora Flávia Brandão Ramalho de Brito, através de e-mail: [flavia\\_britto@hotmail.com](mailto:flavia_britto@hotmail.com); de telefone: (83) 996051900 ou no Departamento de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – Cidade Universitária, Campus I.

Ou Comitê de Ética em Pesquisa do CCS/UFPB – Cidade Universitária / Campus I

Bloco Arnaldo Tavares, sala 812 – Fone: (83) 3216-7791

Obs.: O sujeito da pesquisa ou seu representante e o pesquisador responsável deverão rubricar todas as folhas do TCLE apondo suas assinaturas na última página do referido Termo.

## ANEXO C – Questionário

Torres (2016)

Nome:			
Idade:	Altura:	Peso:	Bancada:
Sexo:		Data:	

1. Marque com um X a vestimenta que está usando.

Roupas de baixo e Acessórios	Calças	
Sapato com sola fina	Bermuda	
Sapato com sola grossa	Calça tecido fino	
Botas	Calça jeans	
Sandália/Chinelo de dedos	Calça grossa de lã ou flanela	
Chinelo fechado/Mule	Calça de abrigo	
Meia soquete fina	Macacão com mangas	
Meia soquete grossa	Macacão sem mangas	
Meia até o joelho grossa	Vestidos e Saias	
Meia de nylon 3/4	Saia leve de verão	
Meia calça	Saia pesada de inverno	
Cueca	Vestido de manga curta fino	
Calcinha	Vestido de manga longa fino	
Sutiã	Vestido de manga longa grosso	
Camiseta de baixo manga curta	Casacos e Suéteres	
Camiseta de baixo manga longa	Colete fino	
Camisas e Blusas	Colete grosso	
Camisa de manga curta	Suéter de manga longa fino	
Camisa manga longa tecido fino	Suéter de manga longa grosso	
Camisa manga longa normal	Jaqueta leve	
Camisa manga longa de flanela	Jaqueta normal	
Moletom	Jaqueta grossa	
Blusa leve fina manga longa	Paletó	
Blusa leve fina manga curta	Outros	
Blusa sem manga		
Camiseta		

2. Com relação a sensação térmica como você está se sentindo neste momento  
(Assinale com um X na coluna ao lado da opção que descreve sua sensação).

1. Com muito calor	
2. Com calor	
3. Levemente com calor	
4. Neutro	
5. Levemente com frio	
6. Com frio	
7. Com muito frio	

3. Como você preferia estar se sentindo agora?

1. Bem mais quente	
2. Mais quente	
3. Um pouco mais quente	
4. Assim mesmo	
5. Um pouco mais frio	
6. Mais frio	
7. Bem mais frio	