



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB
CENTRO DE TECNOLOGIA – CT
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - PPGE

MANOEL GERONIMO LINO TORRES

**CONFORTO TÉRMICO E DESEMPENHO NOS AMBIENTES DE
ENSINO COM INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS - ESTUDO DE
MULTICASOS NO NORDESTE BRASILEIRO**

João Pessoa
2016

MANOEL GERONIMO LINO TORRES

**CONFORTO TÉRMICO E DESEMPENHO NOS AMBIENTES DE
ENSINO COM INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS - ESTUDO DE
MULTICASOS NO NORDESTE BRASILEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) do Centro de Tecnologia (CT) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), como requisito para grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Engenharia de Produção (Engenharias III).

Subárea: Trabalho, Tecnologia e Organizações.

Orientador: Luiz Bueno da Silva, Dr.

João Pessoa
2016

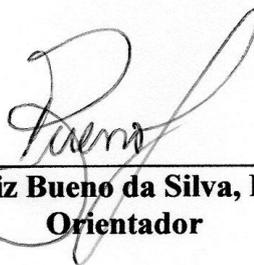
MANOEL GERONIMO LINO TORRES

**CONFORTO TÉRMICO E DESEMPENHO NOS AMBIENTES DE
ENSINO COM INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS - ESTUDO DE
MULTICASOS NO NORDESTE BRASILEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Aprovada em 06 de abril de 2016

BANCA EXAMINADORA



Luiz Bueno da Silva, Dr.
Orientador



Antonio Souto Coutinho, Dr.
Examinador Interno – UFPB

Antônio Augusto de Paula Xavier, Dr.
Examinador Externo – UTFPR

T693c Torres, Manoel Geronimo Lino.
Conforto térmico e desempenho nos ambientes de ensino
com inovações tecnológicas - estudo de multicasos no
nordeste brasileiro / Manoel Geronimo Lino Torres.- João
Pessoa, 2016.
162f. : il.
Orientador: Luiz Bueno da Silva
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT
1. Engenharia de produção. 2. Conforto térmico.
3. Desempenho. 4. Salas de aula. 5. Modelos Lineares
Generalizados (MLG).

UFPB/BC

CDU: 62:658.5(043)

Dedico a minha mãe Carmina
Patrício de Oliveira Leão e meu
pai Ivan Lino Leão por me
apoiarem na busca desse meu
sonho acadêmico.

AGRADECIMENTOS

Ao grande arquiteto do universo, por me guiar nessa árdua caminhada.

Aos meus pais Ivan Lino Leão e Carmina Patrício de Oliveira Leão, pelo apoio emocional e incondicional.

Ao meu orientador Prof. Luiz Bueno da Silva por toda ajuda e paciência oferecidas.

A todos meus amigos do mestrado e do laboratório em especial Jonhatan Magno, Elamara Marama, Wilza Karla, Nayara Medeiros, Claudio Falcão, Juliana Peixoto, Ana Isabele e Rafaela Martins que me ajudaram na concretização dessa etapa de minha vida.

A Erivaldo Lopes, técnico do Laboratório de Análise do Trabalho (LAT), por todas as conversas instrutivas, materiais disponibilizados, auxílio e ensinamentos prestados e toda ajuda oferecida os meus sinceros agradecimentos.

A CAPES pelo auxílio oferecido através da bolsa.

A todos meus amigos não citados que de forma direta e indireta me apoiaram.

*“Errar é humano, perdoar é divino.
Mas incluir o erro na modelagem é ESTATÍSTICA.”*

Leslie Kish

TORRES, Manoel Geronimo Lino. **Conforto térmico e desempenho nos ambientes de ensino com inovações tecnológicas - estudo de multicasos no nordeste brasileiro**. 2016. 162 páginas. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – PB.

RESUMO

Introdução: O aquecimento global recente tem impactos ambientais intensos e atingirá diversas áreas e localidades, em especial, os países menos desenvolvidos situados na região tropical. No Brasil, as regiões que mais sofrerão impactos, com tais mudanças, serão a Amazônia e o Nordeste. Com o desenvolvimento da sociedade moderna, observa-se que os indivíduos estão consumindo grande parte do seu tempo em ambientes fechados, e por isso, numerosas pesquisas vêm buscando estudar condições de conforto ambiental que auxiliem na execução das atividades e maximização do desempenho humano. Uma das diversas mudanças que ocorreram, encontra-se no ambiente de ensino, o qual é diferente quando comparado ao de anos atrás. Recursos tecnológicos em sala de aula têm tornado este ambiente mais versátil, permitindo que alunos e professores interajam com outras instituições, conferindo maior flexibilidade na utilização de ferramentas que estendem suas habilidades cognitivas. Nesse sentido, torna-se importante investigar como as variáveis do conforto térmico afetam o desempenho dos alunos em ambientes de ensino climatizados providos destas tecnologias.

Objetivo: Analisar a relação entre conforto térmico e o desempenho de estudantes nos ambientes com inovações tecnológicas em áreas do nordeste brasileiro. **Materiais e Métodos:** Os dados foram obtidos durante a realização dos experimentos nas salas de aula de duas instituições (A e B) de ensino superior localizadas no Nordeste brasileiro. A instituição A é uma universidade privada e encontra-se na cidade de João Pessoa- e a instituição B é uma universidade pública e encontra-se na cidade de Teresina. No total de 103 alunos dos cursos de exatas das duas instituições participaram, sendo uma sessão por dia, por turma, em três dias consecutivos. A temperatura do ar, através do ar condicionado, foi ajustada para 20°C e 24°C; no último dia desligou-se o aparelho para tentar se chegar ao valor de 30°C. Através do medidor de estresse térmico *TGD400* e estação microclimática *Babuc A*, posicionados no centro da sala, registraram-se os parâmetros do ambiente térmico. As habilidades cognitivas foram avaliadas pelas cinco provas que compõem o instrumento do BPR-5, decomposto para os três dias de experimento. As variáveis subjetivas e pessoais foram avaliadas de acordo com ISO7730/2005, através de *check list* (resistência térmica das vestimentas) e escalas de 4 pontos (Conforto) e 7 pontos (Sensação e Desejo). Com os resultados e dados obtidos realizaram-se simulações através dos Modelos Lineares Generalizados (MLG) para se verificar a relação entre conforto térmico e desempenho. **Resultados:** Na instituição A 42,9% dos alunos no primeiro dia de coleta, onde a temperatura encontrava-se a 21,49°C, indicaram estar sentindo o ambiente levemente quente (+1) e 51,9% avaliaram que o local estava confortável (1). O índice PMV da ISO7730/2005 indicou que o ambiente estava frio, com 57% dos votos entre -1,5 e -2,5. No segundo dia, cuja temperatura média foi de 23,24°C, cerca de 58,1% dos alunos sentiram o ambiente termicamente neutro (0) e 55,4% classificaram-no como confortável (1). O índice PMV, no segundo dia, indicou que o ambiente estava levemente frio, com 87,8% dos votos entre -0,5 e -1,5. No terceiro dia a temperatura média foi de 27,49°C e 41,9% dos alunos classificaram o ambiente como quente (+2) e por fim, 35,1% dos avaliados classificaram o local como levemente desconfortável (2).

O Voto Médio Predito indicou que o ambiente estava levemente quente no terceiro dia, com 60,8% dos votos variando de +0,5 a +1,5. Na instituição B, no primeiro dia de coleta cuja temperatura média foi de 20,07°C, cerca de 50% dos estudantes indicaram sentir que o ambiente estava levemente frio (-1) e 61,5% dos alunos classificaram o ambiente como confortável (1). O índice PMV indicou que o ambiente estava frio com 92% dos resultados obtidos dos votos estavam entre -1,5 a -2,5. No segundo dia a temperatura média foi de 33,72°C e 59,3% dos alunos afirmaram que sentiam o ambiente quente (+2) e 66,7% classificaram-no como desconfortável (3). Em relação ao PMV 100% da frequência dos votos indicaram que o ambiente foi classificado como muito quente ($PMV > +2,5$). No terceiro dia com a temperatura média de 22,95°C, cerca de 73,3% dos estudantes indicaram que a sensação térmica era neutra (0) e o local foi classificado por 96,2% dos alunos como confortável (1). O índice PMV mostrou que 88,5% dos votos calculados dos alunos, indicaram que o local estava levemente frio ($-0,5 < PMV < -1,5$). Utilizando Modelos Lineares Generalizados, em especial a Regressão Linear Ordinal, observou-se através dos dados das duas instituições, que o desempenho está ligado aos parâmetros subjetivos, em especial a sensação térmica e a temperatura de globo. Foi observado que ao se elevar a temperatura de globo em 1°C aumenta-se a chance dos estudantes passarem de uma faixa de desempenho inferior para uma superior em 34%, para situações onde a sensação térmica é indicada como muito quente. **Considerações finais:** Este estudo mostrou que existe uma diferença entre o que a norma ISO7730/2005 prediz com o que realmente é relatado pelos estudantes, de áreas da região do nordeste brasileiro, ou seja, situações em que a norma indica desconforto os estudantes relatam estar confortáveis. Observou-se também que as variáveis subjetivas são fatores importantes para um bom desempenho cognitivo dos estudantes.

Palavras-chave: Conforto térmico; Desempenho; Salas de aula; Estudantes; Modelos Lineares Generalizados (MLG).

TORRES, Manoel Geronimo Lino. **Thermal comfort and performance in educational environments with Technological Innovations - multicases study in the Northeast Brazil.** 2016. 162 pages. Dissertation (Master in Production Engineering) – Postgraduate Program in Production Engineering, Federal University of Paraíba, João Pessoa – PB.

ABSTRACT

Introduction: The global warming has severe environmental impacts and reach different areas and localities, in particular the least developed countries in the tropical region. In Brazil, the regions that suffer most impacts, with such changes will be the Amazon and Northeast. With the development of modern society, it is observed that individuals are consuming much of their time indoors, so, numerous studies have sought to study environmental comfort conditions to assist in the execution of activities and maximize human performance. One of the many changes that took place is in the learning environment, which is different compared to years ago. Technological resources in the classroom have made this a more versatile environment, allowing students and teachers to interact with other institutions, providing greater flexibility in the use of tools that extend their cognitive abilities. However, these tools can both facilitate communication and versatility of teaching and learning as increase the thermal load in the environment that already suffers direct influence of the external environment. In this sense, important to investigate how it is the variables of thermal comfort affect students' performance in climate-controlled learning environments provided these technologies. **Objective:** We analyzed the relationship between thermal comfort and performance of students in environments with technological innovations in areas of northeastern Brazil. **Materials and Methods:** Data were obtained during the experiments in the two institutions classrooms (A and B) of higher education located in Northeast Brazil. The Institution A is a private university in the city of João Pessoa- PB and the institution B is a public university in city of Teresina-PI. A total of 103 students of the engineering course participated, with one session per day, per class, on three consecutive days. The air temperature through the air conditioning was adjusted to 20°C and 24°C; the last day and is turned off the device to try to reach the value of 30 ° C. By heat stress meter TGD400 and microclimate station Babuc A, positioned in the center of the room recorded the parameters of the thermal environment. Cognitive abilities were assessed by the five events that make up the BPR-5 instrument, broken down for the three days of the experiment. Subjective and personal variables were evaluated in accordance with ISO7730/2005, through check list (thermal resistance of clothing) and scales of 4 points (Comfort) and 7 points (Sensation and Desire). With the results and data obtained were carried out simulations using the Generalized Linear Models (GLM) to verify the relationship between thermal comfort and performance. **Results:** At the institution A 42,9% of the first day of collection, where the temperature was in it 21,49°C, indicated to be feeling slightly warm environment (+1) and 51,9% said that the place was comfortable (1). The PMV index of ISO7730/2005 indicated that the room was cold, with 57% of the vote between -1,5 and -2,5. On the second day, with an average temperature was 23,24°C, about 58,1% of the students felt the thermally neutral environment (0) and 55,4% rated it as comfortable (1). The PMV index, on the second day, indicated that the room was slightly cold, with 87,8% of the vote between -0,5 and -1,5. On the third day the mean temperature was 27,49°C and 41,9% of the rated as hot environment (+2) and finally, 35,1%

of the evaluated local rated as slightly uncomfortable (2). The Middle Foretold vote indicated that the room was slightly hot on the third day, with 60.8% of votes ranging from +0,5 to +1,5. The institution B, on the first day of collection whose average temperature was 20,07°C, about 50% of students reported feeling that the environment was slightly cold (-1) and 61.5% of students rated the environment as comfortable (1). The PMV index indicated that the environment was cold with 92% of the vote results were between -1,5 and -2,5. On the second day the average temperature was 33,72°C and 59,3% of students said they felt the warm environment (+2) and 66,7% rated it as uncomfortable (3). Regarding the PMV 100% of the frequency of the votes indicated that the environment was rated as very hot ($PMV > +2.5$). On the third day with the average temperature 22,95°C, about 73,3% of the students indicated that the thermal sensation was neutral (0) and the place was rated by 96,2% of the students as comfortable (1). The PMV index showed that 88,5% of the calculated votes of the students indicated that the site was slightly cold ($-0,5 < PMV < -1,5$). Using Generalized Linear Models, in particular the Ordinal Regression, was observed from the data of the two institutions, the performance is linked to subjective criteria, in particular the thermal sensation and the globe temperature. It was observed that the rise globe temperature in 1 ° C increases the chance of students pass a performance range lower to a higher 34% for situations where the wind chill is indicated as very hot. **Final considerations:** This study showed that there is a difference between what the standard ISO7730/2005 predicts what is actually reported by students in areas of the Brazilian Northeast, ie situations where the standard indicates discomfort students report being comfortable. It was also observed that subjective variables are important factors for a good cognitive performance of students.

Keywords: thermal comfort; Performance; Classrooms; Students; Generalized Linear Models (GLM).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Balanço térmico aplicado a um sistema. S – Sistema; Q_g – Energia Ganha; Q_p – Energia perdida.	11
Figura 2 - Exercício e controle da temperatura corporal: produção de calor, transferência de calor e fatores ambientais.	15
Figura 3 - Etapas da pesquisa sistemática.	50
Figura 4 - Resultado quantitativo das etapas da revisão sistemática.	51
Figura 5 - Processo de produção de conhecimento.	53
Figura 6 - Enquadramento metodológico da pesquisa.	56
Figura 7 - Layout do ambiente de ensino da instituição A.	58
Figura 8 - Layout do ambiente de ensino da instituição B.	59
Figura 9 - Equipamentos para coleta: (a) Medidor de Estresse Térmico TGD400 (b) Estação microclimática BABUC.	64
Figura 10 - Posicionamento dos aparelhos para coleta de dados.	65
Figura 11 - Diagrama de relações entre os grupos de variáveis.	69
Figura 12 – (a) Gênero e (b) faixa etária dos participantes da instituição A.	73
Figura 13 - Dados climatológicos da cidade de João Pessoa em 2014.	73
Figura 14 - Histogramas da (a) sensação, (b) desejo e (c) conforto dos alunos da instituição A para os dias 18/09 e 25/09.	77
Figura 15 - Histogramas do (a) PMV e (b) PPD da instituição “A” nos dias 18 e 25 de setembro.	79
Figura 16 - Histogramas da (a) sensação e do (b) desejo (c) conforto dos dias 19 e 26 de setembro.	80
Figura 17 - Histogramas do (a) PMV e (b) PPD da instituição “A” nos dias 19 e 26 de setembro.	81
Figura 18 - Histogramas da (a) sensação, do (b) desejo e (c) conforto dos dias 20 e 27 de setembro.	82
Figura 19 - Histogramas do (a) PMV e (b) PPD da instituição “A” nos dias 20 e 27 de setembro.	83
Figura 20 - Curvas da Sensação e PMV da instituição A.	85

Figura 21 - Histogramas do resultado da bateria de provas de raciocínio BPR5 nos dias (a) 18/09 e 25/09 (b) 19/09 e 26/09 (c) 20/09 e 27/09.....	86
Figura 22 - (a) Gênero e (b) faixa etária dos participantes da instituição B.....	91
Figura 23 - Dados climatológicos da cidade de Teresina.....	92
Figura 24 - Histogramas da (a) sensação, (b) desejo e (c) conforto dos alunos da instituição B para os dias 15/09.....	95
Figura 25 - Histogramas do (a) PMV e (b) PPD da instituição “B” no dia 15/09.....	96
Figura 26 - Histogramas da (a) sensação e do (b) desejo (c) conforto dos dias 16 de setembro de 2015.....	97
Figura 27 - Histogramas do (a) PMV e (b) PPD da instituição “B” no dia 16 de setembro.....	98
Figura 28 - Histogramas da (a) sensação, do (b) desejo e (c) conforto do dia 17 de setembro.....	99
Figura 29 - Histogramas do (a) PMV e (b) PPD da instituição “B” no dia 17 de setembro.....	100
Figura 30 - Curvas da Sensação, PMV e Desejo na instituição B.....	102
Figura 31 - Sensação e desejo em função da Temperatura do Ar na instituição B	103
Figura 32 - Histogramas do resultado da bateria de provas de raciocínio BPR5 nos dias (a) 15/09 (b) 16/09 (c) 17/09.....	104
Figura 33 – (a) Composição da amostra por instituição e (b) gênero dos participantes.....	106
Figura 34 - Curvas da Sensação e PMV de duas cidades da região Nordeste.....	107
Figura 35 - Box-plot do desempenho por instituição.....	107
Figura 36 - Sensação e desejo em função da Temperatura do Ar.....	109
Figura 37 - Fluxograma da iteração entre as variáveis através dos resultados da razão de verossimilhança dos modelos desenvolvidos.....	117

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais conceitos sobre calor	12
Quadro 2 - Principais mecanismos físicos termorreguladores no ser humano.....	15
Quadro 3 - Escala de sensação térmica.....	20
Quadro 4 - Bateria de Provas de Raciocínio (BPR-5) e seus cinco subtestes: Raciocínio verbal, abstrato, mecânico, espacial e numérico.	32
Quadro 5 - Modelos Lineares Generalizados	36
Quadro 6 - Variáveis e indicadores da pesquisa	59
Quadro 7 – Variáveis utilizadas nas simulações e suas descrições	60
Quadro 8 - Etapas utilizadas na obtenção dos dados da pesquisa.	63
Quadro 9 - Organização do BPR-5	67
Quadro 10 - Quadro síntese dos parâmetros obtidos em função dos ajustes das temperaturas para os dias de coleta da instituição A.....	84
Quadro 11 - Quadro síntese dos parâmetros obtidos em função dos ajustes das temperaturas para os dias de coleta da instituição B	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variáveis térmicas obtidas através do TGD 400 nos dias 18 e 25 de setembro.	74
Tabela 2 - Variáveis térmicas obtidas através do TGD 400 nos dias 19 e 26 de setembro.	75
Tabela 3 - Variáveis térmicas obtidas através do TGD 400 nos dias 20 e 27 de setembro.	75
Tabela 4 - Teste de normalidade da temperatura do ar (T_a) para a instituição A.....	76
Tabela 5 – Resultado da regressão linear da sensação e do desejo em função da temperatura do ar.	85
Tabela 6 - Estimativas dos parâmetros do modelo 1A	88
Tabela 7 - Equações obtida com o modelo 1A	89
Tabela 8 - Variáveis térmicas obtidas através do TGD 400 no dia 15 de setembro de 2015 em Teresina-PI.....	92
Tabela 9 - Variáveis térmicas obtidas através do TGD 400 no dia 16 de setembro de 2015 em Teresina-PI.....	93
Tabela 10 - Variáveis térmicas obtidas através do TGD 400 no dia 17 de setembro de 2015 em Teresina-PI.....	93
Tabela 11 - Características do modelo matemático 3 da instituição B.....	102
Tabela 12 - Características do modelo matemático 4 da instituição B.....	103
Tabela 13 - Características do modelo matemático 5.....	108
Tabela 14 - Características do modelo matemático 6.....	108
Tabela 15 - Estimativas dos parâmetros do modelo 1AB.....	111
Tabela 16 - Equações obtidas com o modelo 16AB.....	111
Tabela 17 - Estimativas dos parâmetros do modelo 2AB.....	113
Tabela 18 - Equações obtidas com o modelo 2AB.....	114
Tabela 19 - Estimativas dos parâmetros do modelo 3AB.....	115
Tabela 20 - Equações obtidas com o modelo 3AB.....	116

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>ISO</i>	International Standart Oraganization
<i>ASHRAE</i>	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
<i>PMV</i>	Voto Médio Estimado (Predicted Mean Vote)
<i>PPD</i>	Porcentagem Estimada de Insatisfeitos (Predicted Percentage of Dissatisfied)
<i>LAT</i>	Laboratório de Análise do Trabalho
<i>t_g</i>	Temperatura de Globo (°C)
<i>IBUTG</i>	Índice de Bulbo Seco e Temperatura de Globo
<i>TIC's</i>	Tecnologias de Informação e Comunicação
<i>AT</i>	Ambiente de Trabalho
<i>t_a</i>	Temperatura do ar (°C)
<i>t_{bu}</i>	Temperatura de bulbo úmido (°C)
<i>t_r</i>	Temperatura radiante Média (°C)
<i>v_a</i>	Velocidade do ar (m/s)
<i>p_a</i>	Pressão de vapor parcial da água (Pa)
<i>HR</i>	Umidade relativa (%)
<i>icl</i>	Isolamento de vestuário (m ² K/W)
<i>M</i>	Taxa metabólica (W/m ²)
<i>K</i>	Quantidade de calor (W)
<i>k</i>	Condutividade térmica (W/m°C)
<i>A</i>	Área da superfície transversal ao fluxo de calor (m ²)
<i>t₁</i>	Temperatura do ponto 1 (°C)
<i>t₂</i>	Temperatura do ponto 2 (°C)
<i>Δx</i>	Distância entre as regiões 1 e 2 (m).
<i>C</i>	Quantidade de calor por convecção (W)
<i>h_c</i>	Coefficiente de convecção (W/m ² .°C).
<i>A</i>	Área da superfície solida em (m ²).
<i>t_s</i>	Temperatura da superfície (°C).
<i>t_f</i>	Temperatura final (°C).
<i>G_f</i>	Inteligência Fluida

<i>Gq</i>	Conhecimento Quantitativo
<i>Gc</i>	Inteligência Cristalizada
<i>Grw</i>	Leitura e Escrita
<i>Gsm</i>	Memória de Curto Prazo
<i>Gv</i>	Processamento Visual
<i>Ga</i>	Processamento Auditivo
<i>Glr</i>	Armazenamento e Recuperação da Memória de Longo Prazo
<i>Gs</i>	Velocidade de Processamento
<i>Gt</i>	Rapidez de Decisão
<i>SBS</i>	Síndrome do Edifício Doente (Sick Building Syndrome)
<i>EPN</i>	Escore Padrão Normalizado

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	II
RESUMO	IV
ABSTRACT	VI
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE QUADROS	X
LISTA DE TABELAS	XI
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	XII
SUMÁRIO.....	I
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	4
1.1. DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	4
1.2. JUSTIFICATIVA	5
1.3. OBJETIVOS E HIPÓTESES.....	9
1.3.1. Objetivo Geral	9
1.3.2. Objetivos Específicos	9
1.3.3. Hipóteses	9
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO	10
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1. NOÇÕES SOBRE CALOR	11
2.2. FISIOLOGIA DA TERMORREGULAÇÃO	12
2.3. CONFORTO TÉRMICO	16
2.3.1. Variáveis do conforto térmico	18
2.3.2. O modelo de Fanger	19
2.4. PRODUTIVIDADE E CONFORTO TÉRMICO.....	25
2.5. APRENDIZAGEM, INTELIGÊNCIA E A BATERIAS DE PROVAS DE RACIOCÍNIO	29
2.6. MODELOS LINEARES GENERALIZADOS	33
CAPÍTULO 3: REVISÃO SISTEMÁTICA	37
3.1. CONFORTO TÉRMICO E DESEMPENHO EM AMBIENTES DE ENSINO COM INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS.....	37
3.2. CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO SISTEMÁTICA.....	48

3.3. PROCEDIMENTOS E RESULTADOS QUANTITATIVOS DA REVISÃO SISTEMÁTICA	50
CAPÍTULO 4: METODOLOGIA	52
4.1. PRODUÇÃO DE CONHECIMENTO	52
4.2. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	53
4.3. POPULAÇÃO E AMOSTRA	57
4.3.1. Instituição A	57
4.3.2. Instituição B.....	58
4.4. VARIÁVEIS E INDICADORES	59
4.5. COLETA DE DADOS.....	63
4.5.1. Variáveis do ambiente térmico	64
4.5.2. Variáveis pessoais	65
4.5.3. Parâmetros Subjetivos	66
4.5.4. Desempenho dos estudantes	66
4.6. TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS.....	68
4.7. ASPECTOS ÉTICOS	70
CAPITULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	72
5.1. INSTITUIÇÃO A	72
5.1.1. Clima e condições climáticas	73
5.1.2. Variáveis térmicas	74
5.1.3. Variáveis subjetivas e índices de conforto	77
5.1.4. Variável desempenho	86
5.1.5. Modelagem	87
5.2. INSTITUIÇÃO B	90
5.2.1. Clima e condições climáticas	91
5.2.2. Variáveis térmicas	92
5.2.3. Variáveis subjetivas e índices de conforto	94
5.2.4. Variável desempenho	104
5.2.5. Modelagem	105
5.3. ANÁLISE DOS DADOS INSTITUIÇÃO A E B	106
5.3.1. Modelagem	109
CAPITULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	118
REFERÊNCIAS	122
ANEXO 1 - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.....	129

ANEXO 2 - QUESTIONARIO DE AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO (Adptado da ASHRAE 55, 2010).....	131
ANEXO 3 – CORRELAÇÕES INSTITUIÇÃO A	133
ANEXO 4 – CORRELAÇÕES INSTITUIÇÃO B	135
ANEXO 5 – rESUMO DAS NORMAS SOBRE AMBIENTE TÉRMICO	137
APENDICE A – IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA DA ISO 7730 (2005) EM LINGUAGEM C.	139

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1.DELIMITAÇÃO DO TEMA

O aquecimento global recente tem impactos ambientais intensos e atingirá diversas áreas e localidades, em especial, os países menos desenvolvidos situados na região tropical (IPCC, 2007). No Brasil, as regiões que mais sofrerão impactos, com tais mudanças, serão a Amazônia e o Nordeste (INPE, 2010).

O Nordeste brasileiro está situado logo abaixo da linha do Equador, ocupando a posição norte-oriental do País e possuindo 18,3% do território brasileiro, abrangendo um total de 1.793 municípios, distribuídos por nove estados. A região apresenta elevadas temperaturas na maior parte do ano, atingindo mais de 30°C, no verão. Ela apresenta 4 climas predominantes: Tropical Úmido ou Tropical Litorâneo, Tropical Semiárido, Tropical e Equatorial Úmido (INPE, 2010). Nesse sentido as mudanças climáticas e seus impactos já podem ser sentidos atualmente na região e deverão se tornar ainda mais acentuados no futuro, gerando a necessidade de se projetar ambientes que proporcionem condições de conforto para o desenvolvimento das atividades humanas (laborais, recreativas, ensino/aprendizagem, etc). E com o desenvolvimento da sociedade moderna, observa-se que os indivíduos estão na maior parte do seu tempo em ambientes cobertos ou fechados, o que vem tornando uma preocupação de diversos pesquisadores na busca de investigar as condições de conforto ambiental durante as atividades dos trabalhadores nos seus espaços de trabalho (FRONTCZAK; ANDERSEN; WARGOCKI, 2012; FRONTCZAK; WARGOCKI, 2011).

Uma das preocupações nos ambientes fechados são as condições térmicas, e se não controladas podem gerar um certo esforço, sobrecarregando assim o organismo humano e, conseqüentemente, interferindo no desempenho (SILVA, 2001). E esses ambientes quando climatizados, provido de novas tecnologias, possibilitam que trabalhadores permaneçam por mais tempo na realização de suas atividades, sejam elas administrativas, operativas, pedagógicas, dentre outras.

Diante da expansão e desenvolvimento da educação e conseqüentemente dos ambientes de aprendizagem, observa-se que os espaços escolares vêm ganhando diversos

dispositivos e instrumentos tecnológicos que ofertam e possibilitam novas condições de ensino, implementando e ampliando as ações da prática educativa, tais como aparelhos multimídia, computadores, acesso à internet, entre outros que viabilizam o processo de aprendizagem por meio de uma metodologia dialética, ou seja, que favorece o desenvolvimento de ações cognitivas como a observação, a confrontação, a elaboração de hipóteses, a análise e a sintetização, entre outras, realizadas pelo aluno ao aprender (BELUCE; OLIVEIRA, 2012).

Segundo Wang et al. (2014a), recursos de tecnologia em sala de aula têm tornado esse ambiente mais versátil, permitindo que alunos e professores interajam com outras instituições, o que permite maior flexibilidade para a utilização de ferramentas para estender suas habilidades cognitivas. Porém, estas ferramentas podem de um lado favorecer a comunicação e a versatilidade do ensino-aprendizagem, mas por outro poderão elevar a carga térmica no ambiente. Nesse sentido, torna-se importante investigar como as variáveis do conforto térmico afetam o desempenho dos alunos em ambientes de ensino climatizados em regiões brasileiras onde a temperatura do ar é elevada.

Assim, esta dissertação apresenta uma avaliação da influência do conforto térmico no desempenho de estudantes em ambientes de ensino com inovações tecnológicas de instituições públicas e/ou privadas, e estas estão localizadas em áreas da região do nordeste brasileiro.

1.2.JUSTIFICATIVA

Diferentes fatores, como o conforto térmico, qualidade do ar e ruído têm efeitos combinados notáveis sobre a aceitabilidade dos ocupantes e desempenho no trabalho. (HUANG et al., 2012). Dentre os fatores citados, as condições térmicas têm um papel chave para o bem-estar e conforto dos ocupantes de um determinado local. Neste sentido, desde o século XVIII já existia uma preocupação em realizar pesquisas de cunho científico, acerca do conforto térmico. Bernan (1845) em sua obra “History and Art of Warming and Ventilation Rooms and Buildings” já previu o desenvolvimento e controle de ambientes climáticos artificiais e suas futuras contribuições para preservar a saúde do ser humano bem com auxiliar no seu desenvolvimento.

Atualmente o tema mudanças climáticas e seus impactos têm sido constantemente discutidos e ressaltados através da mídia escrita e televisiva. No quarto relatório científico de

avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas “*International Panel on Climate Change*” (IPCC, 2007), mostra-se que houve um aumento na temperatura média da atmosfera durante o século XX. Segundo os modelos demonstrados pelo relatório há uma previsão de aquecimento da temperatura global em até 5,8°C entre os anos de 1900 e 2100.

Mesmo sendo atual e ganhando grandes projeções na mídia os impactos de tais mudanças climáticas já vinham sendo pesquisadas por diferentes enfoques de forma direta e indireta. Tem-se, por exemplo, as pesquisas de Fanger em 1970 sobre conforto térmico do ser humano que é uma das bases que orientou o desenvolvimento da Norma Internacional ISO 7730/2005 sobre “Ergonomia do ambiente térmico - determinação analítica e interpretação de conforto térmico pelo método de cálculo dos índices PMV e PPD e critérios de conforto térmico locais”. O seu livro sobre “*Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering*” é uma das bases para análise de conforto térmico. Diante do caráter subjetivo na percepção da sensação térmica a norma supracitada apresenta o método para prever a sensação térmica geral e o nível de desconforto (insatisfação térmica) de pessoas expostas a ambientes térmicos moderados. Ela permite a determinação analítica e interpretação do conforto térmico usando os índices do PMV (Voto Médio Preditado) e PPD (Porcentagem Preditada de Insatisfeitos).

Segundo Revel e Arnesano (2014) a ISO 7730/2005 fornece a sensação térmica de um ser humano que está relacionada principalmente com o equilíbrio térmico do seu corpo como um todo. Este equilíbrio é influenciado pela atividade física e de vestuário, bem como pelos parâmetros ambientais: temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade do ar. Em um ambiente com temperatura elevada, o sistema termorregulador humano tentará automaticamente ajustar a temperatura através do suor para manter o equilíbrio térmico.

Yau et al. (2011) questiona a aplicabilidade daquela norma, pois, diversos estudos mostraram que as pessoas que ocupavam o ambiente do foco de análise, não aceitaram termicamente tal ambiente, mesmo que esse local tenha cumprido os critérios estabelecidos pela mesma. Para Schellen et al. (2013) o modelo PMV pode ser adequado para prever a sensação térmica.

Com base no modelo de Fanger (1970) e na ISO 7730 (2005) diversos estudiosos elaboraram pesquisas que analisaram as sensações térmicas relatadas pelas pessoas em diversos ambientes, entre elas, Singh et al. (2015), Siqueira (2015), Fadeyi (2014), Broday, Xavier e Oliveira (2014), Giridharan (2013), Humphreys (2013), Vasconcelos (2013), de Dear

et al. (2013), Pourshaghaghly e Omidvari (2012), Lomas e Giridharan (2012), Mors et al. (2011), Corgnati et al. (2007), Silva (2001).

Os pesquisadores Lan et al (2011) avaliaram as implicações do desconforto térmico na performance de pessoas que exerciam atividades laborais de cunho administrativo, em escritório, como digitação de textos e resolução de problemas matemáticos de adição e multiplicação; aplicaram-se testes neurocomportamentais enquanto elas eram expostas a diferentes sensações térmicas. No estudo os pesquisadores tomaram como parâmetros temperaturas do ar para avaliação da sensação, uma classificada como neutra (22°C) e outra como quente (30°C). Os resultados obtidos convergiram para a premissa que o desempenho decaiu quando as pessoas são submetidas a ambientes quentes. Eles observaram que as reduções chegaram a 10% do tempo de reação à tarefa (Stroop effect); 11% em problemas de adição e a 25% de raciocínio gramatical.

Silva (2001) verificou a relação entre a produtividade e as variáveis de conforto térmico em dois ambientes de compensação e cobrança do Centro de Processamento de Dados da Caixa Econômica Federal do Estado de Pernambuco, sendo um ambiente (A) termicamente desconfortável, e outro (B), confortável. Os seus resultados apontaram que há relação entre a produtividade e as variáveis de conforto térmico e que a temperatura operativa foi a variável que mais contribuiu para a queda da produtividade.

A exposição ao calor afeta o desempenho das pessoas, causando inquietação, perda de concentração e diversos outros fatores. Essa afirmação vem sendo credenciada nas pesquisas desenvolvidas por Kofler et al. (2015), Li et al. (2015), Siqueira (2015), Maiti (2014), Zhou et al. (2014), Lai et al. (2014), Indraganti et al. (2013), Kim et al. (2013), Vasconcelos (2013), Chen e Chang (2012), Ng e Cheng (2012), Pérez-Alonso et al. (2011), Lan et al. (2010), Rijal et al. (2009), Li e Tsang (2008), Corgnati et al. (2007), Amai et al. (2007), Wong et al. (2005), Silva (2001).

No campo educacional o impacto das mudanças climáticas e alterações térmicas podem vir a contribuir para a diminuição do desempenho dos estudantes, neste sentido, os estudos de Fadeyi et al., (2014), Wang et al. (2014), Gwen et al. (2014), Dias Pereira et al. (2014), Hamzah et al. (2015), De Dear et al. (2015), Wang et al. (2015), Nico et al. (2015), entre outros, tem aplicado a norma ISO 7730/2005 para avaliação do conforto térmico em ambientes de ensino e seus impactos.

Lee et al. (2012) investigou a relação entre qualidade do ambiente interno (conforto térmico, qualidade do ar, iluminação e ruído) e o desempenho na aprendizagem de estudantes

de engenharias. O estudo concluiu que as variáveis ambientais tinham correlação com as queixas relacionadas ao desempenho na aprendizagem. As médias no desempenho para o cálculo, leitura, compreensão e escrita foram de 58% (DP = 20%), 58% (DP = 18%), 60% (DP = 18%) e 52% (DP = 22%), respectivamente, havendo diferença significativa no desempenho em digitação. Em relação ao conforto térmico, o ambiente apresentou temperatura operativa média de 22,1°C (DP=1,5). Dos 312 alunos participantes, 261 demonstraram aceitação ao ambiente térmico, ficando 88% dos votos entre -1 e 1 (de levemente frio a levemente quente).

Os autores Mendell e Heath (2005) descobriram que as temperaturas mais altas (acima de 24° C) tendem a reduzir o desempenho, enquanto temperaturas mais baixas (abaixo de 22° C) reduzem a destreza manual e velocidade dos estudantes. Mas vale salientar que a depender da região e conseqüentemente do clima da área em que o estudo é desenvolvido, as faixas de temperatura para o conforto podem se modificar como pode ser observado nas pesquisas de Teli, Jentsch e James (2012) na Inglaterra e Hwang et al. (2009) em Taiwan e Cingapura. Isso vem a corroborar com a premissa de que para cada região a ser analisada, seja desenvolvido um modelo que leve em consideração as características locais de clima e características da população.

Ressalta-se que o ambiente de ensino hoje difere dos antigos ambientes, o que pode estar vinculado às diversas mudanças geradas pelo desenvolvimento da sociedade aliada ao avanço tecnológico. Durante a última década a tecnologia tornou-se um componente central de muitas salas de aula na forma de equipamentos de audiovisual, computadores pessoais e acesso à Internet (YANG et al., 2013). E, com a inserção de inovações tecnológicas nos ambientes de trabalho (AT), como a tecnologia wireless, espera-se um aumento da temperatura do ar que circunda as superfícies dos AT, podendo afetar o conforto térmico dos ocupantes (HALAWA; VAN HOOFF; SOEBARTO, 2014; PASUT et al., 2014).

Com a implantação de novas tecnologias no ambiente de ensino e com as mudanças climáticas acentuadas em regiões tropicais nota-se, assim, a necessidade de novas investigações sobre as condições do conforto térmico nesses ambientes. Logo um questionamento se faz necessário, a saber:

Qual a relação entre conforto térmico e desempenho cognitivo de alunos em ambientes de ensino providos de inovações tecnológicas?

1.3.OBJETIVOS E HIPÓTESES

1.3.1. Objetivo Geral

Analisar a relação entre conforto térmico e desempenho de estudantes submetidos a variações de temperatura do ar em ambientes de ensino com inovações tecnológicas situados em duas cidades diferentes da região do nordeste brasileiro.

1.3.2. Objetivos Específicos

- a) Identificar quais as funções cognitivas serão utilizadas durante o processo de aprendizagem;
- b) Comparar o desempenho em função do conforto térmico em diferentes áreas do nordeste do Brasil;
- c) Implementar em C/C++ os cálculos do PMV e do PPD através da Norma ISO 7730:2005;
- d) Comparar os votos de sensação térmica dos estudantes e os determinados teoricamente através do modelo da ISO 7730:2005.

1.3.3. Hipóteses

1. O desempenho em função do conforto térmico pode variar conforme a área da região nordeste.
2. Há diferenças entre o modelo teórico da norma ISO 7730/2005 e a percepção térmica dos alunos.
3. A temperatura do ar pode não ser a única variável do conforto térmico a ter influência no desempenho

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

A organização dos tópicos abordados nesta dissertação é descrita a seguir:

- i. No Capítulo I é contextualizado o tema sobre conforto térmico e a sua relação com o desempenho de estudantes. Fazem parte deste capítulo o problema de pesquisa, objetivo principal e os objetivos específicos, hipóteses bem como a justificativa do trabalho.
- ii. No Capítulo 2 é apresentada a revisão da literatura, tendo seu início no tópico noções de calor inserindo-se conceitos de trocas de calor e termo regulação humana e os mecanismos envolvidos no controle da temperatura corporal. Em seguida são conceituadas as variáveis de conforto térmico citando os trabalhos mais recentes publicados sobre o tema. Serão abordados os aspectos teóricos do modelo de balanço térmico entre o homem e o ambiente, o Modelo do Voto Médio Estimado (PMV) e a Porcentagem Estimada de Insatisfeitos (PPD) e as variáveis ambientais e pessoais envolvidas na determinação do conforto térmico. Descreve-se também, através de estudos já publicados a relação de desempenho e conforto térmico. E por fim, contextualizam-se os Modelos Lineares Generalizados que serão a base para o desenvolvimento dos modelos propostos.
- iii. No capítulo 3 é apresentado resultado da revisão sistemática desse estudo.
- iv. A metodologia que será aplicada no presente trabalho é apresentada no Capítulo 4, através da caracterização da pesquisa, dados da amostra, critérios, instrumento de coleta de dados e operacionalização.
- v. No capítulo 5 são apresentados os resultados adquiridos através da tabulação e análise dos dados obtidos em campo, bem como os principais modelos matemáticos identificados.
- vi. Por fim, no capítulo 6, apresenta-se as considerações finais sobre a pesquisa, as limitações do estudo e propostas para futuros desdobramentos.

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O Capítulo 2 destina-se ao arcabouço teórico o qual aborda conceitos e levantamento de estudos sobre noções sobre calor, que auxiliam no entendimento acerca do conforto térmico. Posteriormente correlaciona-se produtividade e conforto térmico perpassando sobre ferramentas para avaliação do desempenho cognitivo através de bateria de provas de raciocínio, finalizando com a estruturação de Modelos Lineares Generalizados que permitirão analisar a relação entre conforto térmico e desempenho.

2.1.NOÇÕES SOBRE CALOR

Segundo Vasconcelos (2013) a análise das interações térmicas entre o homem e o ambiente, requer o estudo dos processos de transmissão de calor. Neste sentido alguns conceitos são necessários para melhor compreensão do assunto. Inicialmente, define-se temperatura como sendo um indicio do nível do movimento molecular ou de energia térmica de um sistema, que pode ser interpretado como uma porção de matéria isolada da vizinhança por uma fronteira imaginaria para efeito de análise, conforme mostra a Figura 1. Ou seja, a temperatura mensura o potencial térmico de um sistema com relação a um referencial, tendo como unidades principais o grau Celsius e o Kelvin. Neste contexto, o ser humano pode ser considerado um sistema térmico isolado do meio ambiente por uma fronteira imaginaria que pode coincidir com a roupa e a pele (MATTOS; MÁSCULO, 2011).

Figura 1 - Balanço térmico aplicado a um sistema. S – Sistema; Q_g – Energia Ganha; Q_p – Energia perdida.



Fonte: Adaptado de Coutinho (2005), Mattos e Másculo (2011).

O calor é definido como a energia que atravessa a fronteira de um sistema devido a um gradiente de temperatura, que flui de uma região de alta temperatura para uma de baixa temperatura (INCROPERA; LAVINE, 2011; KREITH; MANGLIK; BOHN, 2012; MATTOS; MÁSCULO, 2011). Dessa forma, sempre que exista um gradiente de temperatura em um sistema, e quando põe-se em contato sistemas com temperaturas diferentes, haverá transferência de energia. (KREITH; MANGLIK; BOHN, 2012).

A base do estudo da interação térmica entre o homem e o ambiente é o balanço térmico - aplicação da primeira lei da termodinâmica expresso graficamente pela figura 1. Neste contexto o Quadro 1, abaixo, representa o resumo de alguns conceitos.

Quadro 1 - Principais conceitos sobre calor

Sistema	É uma porção limitada de matéria que isolamos para efeito de análise. É separado por meio da fronteira de uma vizinhança e escolhida de acordo com a conveniência do analista.
Calor específico	É a quantidade de calor necessária para elevar em 1 K ou 1 °C a unidade de massa de uma substância considerada.
Regime Transitório	É o processo em que as propriedades de um sistema, inclusive a temperatura, variam a cada instante.
Regime Permanente	É o processo em que as propriedades de um sistema, inclusive a temperatura, mantêm-se constantes com o tempo.
Balanço de energia	Durante certo intervalo de tempo (Δt), a quantidade de calor (Q_e) que entra num sistema menos a quantidade de calor que sai (Q_s) do mesmo é igual a um saldo de energia (S).

Fonte: Adaptado de Coutinho (2005).

Com todos esses conceitos em mente, consegue-se compreender melhor os processos de transmissão de calor, que são essenciais para o estudo da avaliação do conforto térmico em diversos ambientes. Tem-se como exemplo o estudo de Zhang et al. (2014b) que avaliaram o impacto de mudanças de temperatura e umidade nas respostas fisiológicas e psicológicas de estudantes na China. Assim, a próxima sessão retrata como funciona a fisiologia da termorregulação e como ela influencia o ser humano no desenvolvimento de suas atividades.

2.2.FISIOLOGIA DA TERMORREGULAÇÃO

As condições térmicas podem gerar, um esforço que pode vir a sobrecarregar o organismo e conseqüentemente acarretar queda de desempenho na atividade que o trabalhador desenvolve (Silva, 2001). A execução de um trabalho, por exemplo, requer que o ser humano gere calor e para que se garanta a homeotermia, o sistema termorregulador irá agir dissipando o saldo de energia (COUTINHO, 2005). A homeotermia é uma função que nosso corpo apresenta para manter a temperatura interna em aproximadamente 37°C, com a finalidade de proteção dos órgãos internos (DOUGLAS, 2002; HALL; GUYTON, 2011). Quanto mais o ambiente apresentar características termicamente desfavoráveis, o organismo humano irá necessitar de maior esforço dos seus diversos sistemas, principalmente, do sistema termorregulador, para equilibrá-lo e, conseqüentemente, maior atividade, gerando portanto, uma maior impressão de desconforto (SIQUEIRA, 2015).

Um dos parâmetros fisiológicos controlados por mecanismos nervosos que operam a partir do hipotálamo é a temperatura corporal. Essa região do cérebro trabalha para assegurar que a temperatura no interior do organismo se mantenha em aproximadamente 37°C, independente das condições climáticas do ambiente ou da produção de calor metabólico (BLATTEIS, 2011a; HALL; GUYTON, 2011). Em virtude dessa característica segundo, Iida (2005), o homem pode ser considerado um animal homeotérmico, ou seja, sua temperatura corporal interna se mantém constante. Segundo Coutinho (2005), para que não existam riscos de morte ou sequelas, a variação da temperatura interna não pode ultrapassar 4°C.

Segundo Biazotto et al. (2006) a distribuição de calor dentro do corpo humano, pode ser dividida em dois grandes compartimentos térmicos:

- I. Central - formada pelos tecidos em que a temperatura permanece relativamente constante e mais alta (vísceras, órgãos internos e o SNC). Constitui 50% a 60% da massa corporal total e é responsável pela produção de toda a energia convertida em calor do organismo
- II. Periférico - formado pelos tecidos cuja temperatura não é homogênea e sofre variação conforme o ambiente em que se encontra (membros superiores e inferiores, pele e tecido celular subcutâneo). É o maior compartimento e apresenta temperaturas geralmente 3 a 4 °C abaixo da temperatura central. No entanto, essa diferença pode se tornar maior ou menor em condições térmicas extremas ou condições patológicas.

Grande parte do calor produzido pelo corpo é oriunda de órgãos profundos, sendo transferido dos mesmos para a pele, onde é perdido para o ar e para superfícies do meio ambiente (BLATTEIS, 2011b; HALL; GUYTON, 2011).

Antonelli (2012) diz que para o sistema de termorregulação funcionar se faz necessária a existência de receptores de temperatura ou células nervosas especializadas capazes de responder a estímulos específicos. Essas células são denominadas termorreceptoras, pois, recebem, transformam e transmitem para o sistema nervoso um grande número de informações existentes na superfície da pele e no interior do organismo. Assim em resposta a condições termicamente desfavoráveis o corpo humano utiliza três mecanismos fisiológicos: tremor dos músculos para produção de calor em condições de frio; sudorese; e, controle do fluxo sanguíneo para aumentar ou reduzir o transporte de calor através dos processos de vasoconstrição e vasodilatação em condições de frio e calor, respectivamente. (BLATTEIS, 2011b; HALL; GUYTON, 2011; SILVA, 2001).

Biazotto et al. (2006) dizem que em ambientes frios o organismo ativa a produção de calor no tecido adiposo marrom e caso a capacidade termogênica não seja suficiente ele ativará tremores musculares para gerar calor.

A condução do calor para a pele pelo sangue é controlada pelo grau de vasoconstrição das arteríolas e das anastomoses arteriovenosas que irrigam a pele, em resposta a alterações na temperatura central do corpo ou no meio ambiente. O calor pode ser transferido pela pele através da radiação, condução e evaporação (BLATTEIS, 2011b).

Devido ao fato de gerar calor durante a realização de trabalho, o corpo humano é comparado a uma “máquina térmica”. O corpo não pode apresentar saldo positivo ou negativo em seu balanço térmico. Isto porque, o primeiro caso implicaria no aumento da temperatura interna, e o segundo implicaria na redução dessa temperatura, podendo em ambos os casos acarretar em danos aos órgãos vitais (COUTINHO, 2005).

Segundo Xavier (2000) existem seis variáveis que são a base para o modelo físico de balanço de calor e que caracterizam os mecanismos de transferência de calor entre o ser humano e o ambiente, bem como a interação entre eles, são elas:

- Taxa de produção de calor pelo organismo (taxa metabólica);
- Taxa de perda de calor por convecção pela respiração;
- Taxa de perda de calor por evaporação pela respiração;
- Taxa de perda de calor por convecção pela pele;

- Taxa de perda de calor por radiação pela pele;
- Taxa de perda de calor por evaporação do suor e difusão pela pele.

Neste contexto pode-se observar através do quadro 2 os principais mecanismos físicos e suas características, que estão diretamente ligados à transferência de calor entre o ser humano e o ambiente em que ele se encontra.

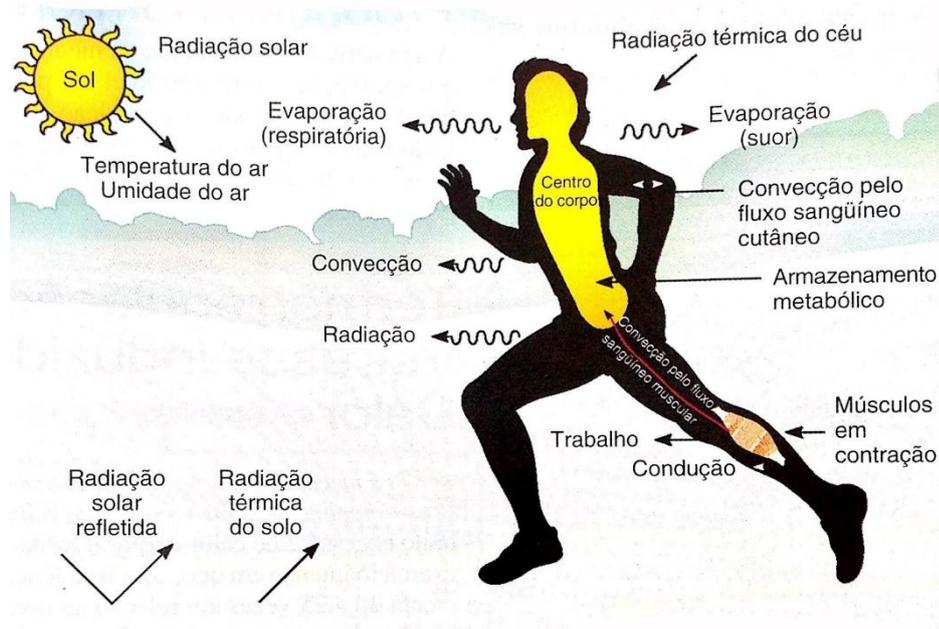
Quadro 2 - Principais mecanismos físicos termorreguladores no ser humano.

Mecanismo	Característica
Condução	Quando o corpo humano entra em contato com algum objeto e existe diferença de temperatura há a troca de calor por condução, entre a pele e o objeto,. Vale ressaltar que a condução tem grande influencia na passagem do fluxo de calor através da vestimenta.
Convecção	Quando há diferença de temperatura entre a pele e o ar há troca de calor por convecção. Essa troca depende da velocidade e da temperatura do ar, bem como da vestimenta.
Radiação	Quaisquer corpos com temperatura superior a zero absoluto emitem calor por radiação através de ondas eletromagnéticas. Tais ondas são emitidas entre o corpo humano e as superfícies orientadas para ele. A emissividade das superfícies tem grande influência neste fenômeno.
Evaporação	É um fenômeno de transferência de calor e massa provocado pela diferença de pressão de vapor saturado na superfície de um líquido e da pressão parcial acima dessa superfície. Tem grande influência na homeotermia haja vista a grande quantidade de calor fornecida pelo corpo para a mudança de fase. Em virtude da necessidade do corpo humano manter uma temperatura constante, as moléculas de água que se encontram na pele, em virtude da transpiração, evaporam dissipando o calor. A intensidade da perda de calor por evaporação será proporcional à fração da superfície corporal molhada, da umidade do ar, da vestimenta e da velocidade do ar.

Fonte: Adaptado de Biazotto et al. (2006), Coutinho (2005), Xavier (2000).

Através da figura 2 podem-se observar as trocas de calor do corpo humano com o ambiente. Na atividade física o organismo (em virtude do metabolismo e produção de energia para os órgãos e músculos) gera calor e sua produção excede a energia gasta com o trabalho mecânico. Ocorre então seu armazenamento e a elevação da temperatura corporal que requer o acionamento, através do controle fisiológico, dos mecanismos de dissipação de calor como por exemplo, o aumento do fluxo e volume sanguíneo cutâneo, como também o aumento da taxa de sudorese (BLATTEIS, 2011b).

Figura 2 - Exercício e controle da temperatura corporal: produção de calor, transferência de calor e fatores ambientais.



Fonte: <http://goo.gl/7nQck2>

O ser humano possui a capacidade de se adaptar a diferentes situações, e conseqüentemente se aclimatizar a novos ambientes, aprendendo a controlar as atividades desenvolvidas no trabalho com a inserção de descanso ou pausas para diminuir o desconforto (COUTINHO, 2005; SILVA, 2001). Estudos recentes sobre conforto térmico vêm enfatizando a abordagem adaptativa e são dirigidos para investigar as respostas de conforto térmico e seus impactos sobre a atividade humana (MORS et al., 2011). Neste contexto a próxima sessão apresenta algumas informações teóricas acerca do conforto térmico e seu impacto sobre a atividade humana.

2.3.CONFORTO TÉRMICO

Para que um local possa ser considerado termicamente confortável, há a necessidade de que o sistema termorregulador exerça o mínimo de esforço no desenvolvimento de suas funções e o calor oriundo do processo metabólico esteja em equilíbrio com as trocas de calor entre o homem e o ambiente (COUTINHO, 2005). Contudo, existem outras variáveis que influenciam na sensação de conforto térmico como fatores emocionais, gênero e fatores físicos, que geram diferentes percepções sobre o ambiente, por exemplo, mulheres possuem maior sensibilidade para temperaturas mais baixas que os homens(NG; CHENG, 2012).

Através de normas, pode-se julgar se determinado ambiente oferece ou não conforto para as pessoas que ali se encontram, diminuindo essa variação acerca da percepção térmica entre diferentes indivíduos (REVEL; ARNESANO, 2014). Contudo, em virtude das complexas respostas fisiológicas e psicológicas, considerando-se a sensação térmica e o conforto humano, faz-se necessário que os modelos de conforto térmico contenham concomitantemente fatores psicológicos, físicos e fisiológicos (CHENG; NIU; GAO, 2012; CHENG et al., 2013; NG; CHENG, 2012). Neste sentido a norma ISO 7730 (2005) através de seus indicadores, auxilia a avaliar a sensação térmica em ambientes que não apresentem ou proporcionem sensações de muito frio a muito quente, passando pela sensação de conforto calor/frio, levando em consideração a percentagem de indivíduos que estão insatisfeitos.

Segundo Fanger (1970) o conforto térmico está intrinsecamente ligado ao anseio do ser humano de se sentir bem no meio ao qual está inserido. Assim, várias pesquisas foram realizadas em laboratórios ou em campo para avaliar a relação entre o desempenho do ser humano no desenvolvimento de alguma atividade e o conforto térmico. Tem-se como exemplo autores como Silva (2001) que investigou a relação de produtividade e conforto termico em digitadores de bancos, Chen e Chang (2012) que investigaram a saúde humana e o conforto térmico de trabalhadores de escritório em Cingapura, Dias Pereira et. al. (2014) que avaliou a qualidade do ar e o conforto térmico em salas de aula de cursos secundários portugueses.

Os estudos de conforto térmico têm por premissa estabelecer métodos de avaliação das condições necessárias para um ambiente térmico adequado às atividades e ocupação humanas, baseados principalmente, na busca da satisfação térmica do homem com o ambiente, no aumento de sua performance e na conservação de energia (VERGARA, 2001).

Portanto o conforto térmico pode ser interpretado como um parâmetro que está intrinsecamente ligado ao conforto em ambientes construídos e relacionados à qualidade, higiene e salubridade para usuários, pois, afetam as condições laborais, a saúde, a segurança e o bem estar, a depender das condições que são oferecidas no contexto pessoal e em função da atividade que é executada (KHODAKARAMI E NASROLLAHI, 2012).

Neste sentido, a Norma ISO 7730 (2005) e a ASHRAE 55 (2013) auxiliam na avaliação das condições de conforto, fundamentando-se no balanço térmico entre o corpo humano e o meio ambiente, através da inserção da teoria e dos modelos de troca de calor ocorridas na pele e na respiração humana.

O balanço térmico é obtido quando todo calor produzido pelo corpo é dissipado. Assim, segundo o modelo de Fanger (1970) existem 3 condições para se alcançar o conforto térmico que são: neutralidade térmica; temperatura da pele e a taxa de secreção de suor compatíveis com a atividade; e, que o indivíduo não esteja sujeito ao desconforto localizado (correntes de ar, piso quente ou frio, radiação térmica distribuída de forma heterogênea no ambiente).

2.3.1. Variáveis do conforto térmico

De acordo com as normas ISO 7730 (2005) e ASHRAE 55 (2013), pode-se identificar alguns fatores que devem ser abordados ao definirem-se as condições de conforto térmico. Ainda segundo essas normas, pode-se verificar que esses fatores são ligados às variáveis de naturezas ambientais e pessoais.

As variáveis pessoais referem-se a:

- Metabolismo;
- Isolamento térmico das vestes;

Enquanto as variáveis ambientais englobam a:

- Temperatura do ar ou de bulbo seco;
- Temperatura radiante média;
- Velocidade do ar relativa;
- Umidade relativa do ar.

O metabolismo corporal representa a taxa de energia liberada pela reação química entre o oxigênio e o alimento, a qual é proporcional ao esforço realizado pelos músculos (COUTINHO, 2005).

Segundo Guyton e Hall (2011) e Blatteis (BLATTEIS, 2011b), para que a energia presente nos alimentos chegue até as células é necessária a presença de um composto rico em energia, o trifosfato de adenosina (ATP). O ATP é obtido a partir da combustão dos carboidratos, gorduras e proteínas encontrados nos alimentos. A quebra de cada uma de suas ligações libera energia suficiente para desencadear a ocorrência de qualquer etapa de qualquer reação química no organismo. Sua energia pode ser usada por diferentes sistemas funcionais

celulares como: síntese e crescimento, contração muscular, secreção glandular, condução nervosa, absorção ativa, etc.

As vestimentas exercem um papel importante em se tratando do controle da temperatura interna da pessoa, tendo em vista que são capazes de aprisionar ar próximo a pele nas fibras dos tecidos, diminuindo o fluxo das correntes de ar, e conseqüentemente a perda de calor por condução e convecção. Dessa forma, aliadas à possibilidade de acionamento de equipamentos como ventiladores, etc., podem se tornar uma ferramenta mais potente que os próprios mecanismos inconscientes para o controle de temperatura corporal (SILVA, 2001; SIQUEIRA, 2015; VASCONCELOS, 2013)

De acordo com Coutinho (2005), para facilitar o cálculo das taxas de transferência de calor, considerando o uso de roupas, aplica-se um fator de área da vestimenta f_{cl} que é a relação entre a área superficial do corpo vestido e a do corpo nu. Esse fator depende do número de peças de roupas que estão sendo usadas, assim como do material das mesmas. A temperatura do ar considerada é a temperatura ao redor do corpo humano, estando diretamente ligada às trocas de calor sensível realizada entre o corpo humano e o ambiente ao redor. Em psicometria é denominada temperatura de bulbo seco (ISO7730, 2005).

A temperatura radiante média consiste na temperatura uniforme de um ambiente imaginário, no qual a transferência de calor radiante do corpo humano é igual à transferência de calor radiante no ambiente real não-uniforme (COUTINHO, 2005). A velocidade do ar consiste na média da velocidade do ar instantânea sobre um intervalo de tempo, tendo papel importante na transferência de calor por convecção e evaporação. A velocidade relativa do ar consiste na resultante da velocidade do ar e da velocidade do corpo ou de seus membros em relação ao solo seco (ISO7730, 2005).

Segundo a Norma ISO 7726 (1996) a umidade relativa é definida como a relação entre a massa de vapor de água nas condições reais e a massa de vapor de água no estado de saturação, à mesma temperatura, podendo ser expressa como a relação entre a pressão de vapor de água nas condições reais (P_v) e a pressão de vapor de água nas condições de saturação (P_{vs}), na mesma temperatura. A umidade relativa está relacionada às perdas de calor por evaporação. Pode ser medida através do psicrômetro, equipamento que mede simultaneamente a temperatura de bulbo seco e a temperatura do bulbo úmido.

2.3.2. O modelo de Fanger

Em um dos seus estudos sobre conforto térmico Fanger (1970) avaliou 1296 pessoas colocando-as em câmara climática controlada. Nesta câmara, as variáveis pessoais e climáticas foram pré-definidas e acompanhadas de perto. Os participantes utilizavam uma combinação padronizada de vestimentas e desenvolviam atividades também padronizadas em diferentes temperaturas, indicando em seguida a sensação térmica, utilizando a escala de sete pontos, de acordo com o quadro 3, onde cada sensação é descrita por um valor.

Quadro 3 - Escala de sensação térmica

Escala	Sensação
(-3)	Muito frio
(-2)	Frio
(-1)	Levemente frio
(0)	Neutro
(1)	Levemente quente
(2)	Quente
(3)	Muito quente

Fonte: (ASHRAE55, 2013; ISO7730, 2005)

Este estudo resultou no desenvolvimento do modelo de balanço térmico do corpo humano. O modelo combina a teoria de equilíbrio térmico com a fisiologia da regulação térmica para determinar a gama de condições de conforto em que os ocupantes de um ambiente irão se sentir confortáveis. O modelo é descrito como uma função das quatro variáveis ambientais e das duas pessoais, citadas anteriormente e é representado através de dois índices o PMV (Predicted Mean Vote, também chamado Voto Médio Estimado) e PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied ou Percentual de Pessoas Insatisfeitas) (PEREIRA; COUTINHO; SILVA, 2009). O modelo proposto por Fanger (1970) e os seus índices são utilizados em todo o mundo para prever e avaliar o conforto térmico e são reconhecidos como padrão internacional através de duas normas a ISO 7730/2005 e a ASHRAE 55 (2010).

Neste contexto para compreender o modelo proposto por Fanger (1970) é necessário entender o balanço de energia entre o ambiente e o corpo humano. Assim, segundo Fanger (1970), ASHRAE 55 (2013) e ISO7730 (2005) a equação do balanço térmico é representada da seguinte forma:

$$M - W = Q_{SK} + Q_{RES} = (C + R + E_{SK}) + (C_{RES} + E_{RES}) \quad (1)$$

Onde:

M = Taxa metabólica de produção de calor (W/m^2)

W = Trabalho mecânico desenvolvido pelo corpo (W/m^2), em geral, nas atividades humanas considera-se esse trabalho como valor nulo.

Q_{sk} = Taxa total de perda de calor pela pele (W/m^2).

Q_{res} = Taxa total de perda de calor pela respiração (W/m^2)

$C + R$ = Perda de calor sensível pela pele (W/m^2) - Convecção e radiação. Considerando seu valor é igual a perda de calor por condução até a superfície externa das roupas.

C_{res} = Perda de calor sensível pela respiração, por convecção (W/m^2)

E_{sk} = Perda de calor latente pela pele, através da evaporação (W/m^2)

E_{res} = Perda de calor latente pela respiração, por evaporação (W/m^2).

Neste sentido as perdas parciais de calor advindas da pele, da respiração e das vestimentas (por condução), podem ser expressas através das equações a seguir:

$$E_{SK} = 3,05 * [5,73 - 0,007 * (M - W) - P_a] + 0,42 * [(M - W) - 58,15] \quad (2)$$

$$E_{RES} = 0,0173 * M * (5,87 - P_a) \quad (3)$$

$$C_{RES} = 0,0014 * M * (34 - T_a) \quad (4)$$

$$K_{cl} = \frac{[35,7 - 0,28 * (M - W)] - t_{cl}}{0,155 * I_{cl}} \quad (5)$$

$$R = 3,96 * 10^{-8} * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] \quad (6)$$

$$C = f_{cl} * h_c * (t_{cl} - T_a) \quad (7)$$

Substituindo 2, 3, 4, 5, 6 e 7 em 1 que é a equação do balanço térmico tem-se a seguinte expressão:

$$(M - W) - 3,05 * [5,73 - 0,007 * (M - W) - P_a] - 0,42 * [(M - W) - 58,15] - 0,0173 * M * (5,87 - P_a) - 0,0014 * M * (34 - T_a) = \frac{[35,7 - 0,28 * (M - W)] - t_{cl}}{0,155 * I_{cl}} = 3,96 * 10^{-8} * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{cl} * h_c * (t_{cl} - T_a) \quad (8)$$

Onde:

M = taxa metabólica, produção orgânica de calor (W/m²)

W = Trabalho ou eficiência mecânica (W/m²)

P_a = Pressão de vapor no ar (kPa)

T_a = Temperatura do ar (°C)

t_{cl} = temperatura superficial das roupas (°C)

I_{cl} = Isolamento térmico das roupas (Clo)

f_{cl} = Razão de área do corpo vestido e corpo nu (adimensional)

t_r = Temperatura radiante média (°C)

h_c = Coeficiente de convecção entre ar e roupas (W/m² .°C)

Através da equação anterior a temperatura superficial das roupas é obtida por iteração comparando-se a parte central com a direita da equação.

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 * M - 0,155 * I_{cl} * \{3,96 * 10^{-8} * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{cl} * h_c * (t_{cl} - T_a)\} \quad (9)$$

Considerando:

$$h_c = 2,38 * (t_{cl} - T_a)^{0,25} \text{ ou } h_c = 12,1 * \sqrt{v_{ar}} \text{ (Utiliza-se o maior)}$$

$$v_{ar} = v_a + 0,0052 * (M - 58)$$

$$f_{cl} = 1,0 + 0,2 * I_{cl} \quad \text{para } I_{cl} \leq 0,5clo$$

$$f_{cl} = 1,05 + 0,1 * I_{cl} \quad \text{para } I_{cl} > 0,5clo$$

O experimento de Fanger concluiu que o nível de atividade é o único processo fisiológico que determina a taxa de suor e temperatura da pele e, portanto, influencia o equilíbrio térmico do corpo (ASHRAE55, 2013; ISO7730, 2005). Assim através das análises estatísticas obtidas por Fanger e o uso da escala de 7 pontos foi gerada a equação que

representa o índice PMV que representa a sensação de conforto predita, ou seja, a sensação real sentida no ambiente analisado. Assim o PMV definido por Fanger, é recomendado pela Norma ISO7730 (2005) conforme a equação 6.

$$PMV = \{0,303 * e^{-0,036 * M} + 0,028\} * L \quad (10)$$

Onde L é a carga térmica sobre o corpo humano e M é a taxa metabólica. A carga térmica (L) é a diferença entre o ganho e a perda de calor da pessoa, mantida hipoteticamente confortável, para o ambiente (NICOL; HUMPHREYS, 2002). Assim o PMV pode ser dado pela seguinte equação:

$$PMV = \{0,303 * e^{-0,036 * M} + 0,028\} \\ * \{(M - W) - 3,05 * [5,73 - 0,007 * (M - W) - P_a] - 0,42 \\ * [(M - W) - 58,15] - 0,0173 * M * (5,87 - P_a) - 0,0014 * M \\ * (34 - T_a) - 3,96 * 10^{-8} * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{cl} * h_c \\ * (t_{cl} - T_a)\}$$

Onde:

PMV = Voto médio estimado, ou sensação de conforto;

M = Taxa metabólica, em W/m² ;

W = Trabalho mecânico, em W/m², sendo nulo para a maioria das atividades;

I_{cl} = Resistência térmica das roupas, em m².°C/W;

f_{cl} = Fator de áreas das vestimentas;

T_a = Temperatura do ar, em °C;

T_r = Temperatura radiante média, em °C;

V_{ar} = Velocidade relativa do ar, em m/s;

P_a = Pressão parcial do vapor de água, em Pa;

h_c = Coeficiente de transferência de calor por convecção, em W/m².°C

t_{cl} = Temperatura superficial das roupas, em °C;

A fim de prever a percentagem de pessoas que possam se sentir termicamente desconfortáveis, foi introduzido o índice PPD, também recomendado pela Norma ISO 7730 (2005). O PPD pode ser avaliado com base no valor de PMV usando a relação expressa através da equação 11.

$$PPD = 100 - 95 * e^{-(0,03353*PMV^4+0,2179*PMV^2)} \quad (11)$$

Essas equações são amplamente utilizadas para avaliar o desempenho térmico de ambientes construídos em todo o mundo. Um exemplo de aplicação do modelo desenvolvido por Fanger foi o estudo de Corgnati (2009) que avaliou o conforto térmico em salas de aula italianas na transição de temporadas. Os levantamentos foram realizados em Turim, no noroeste da Itália e foi uma continuação de um estudo que monitorou o efeito da estação de aquecimento no conforto térmico através de observações físicas, aplicação de questionários e observações comportamentais. Com os dados obtidos calculou o PMV e o PPD e desenvolveu um modelo adaptativo para obter os limites aceitáveis para a temperatura operacional interna, em função das condições climáticas exteriores. Os resultados mostram uma tendência caracterizada por uma mudança gradual na preferência térmica a partir da estação de aquecimento para a época média e quente. Os resultados mostram uma preferência para ambientes considerados ligeiramente quentes ou mornos durante o período de aquecimento e uma preferência para ambientes neutros na estação intermediária.

Assim através de normas podem-se avaliar as condições térmicas de diferentes ambientes em que o ser humano desenvolve suas atividades. Em um contexto geral dois órgãos internacionais elaboram as principais normas que são utilizadas dentro do estudo e avaliação de conforto térmico. São eles a ISO (International Organization for Standardization) e a ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers). No Brasil não temos normas de conforto, mas possuímos a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que é o foro nacional de normalização que elabora os documentos técnicos que servem como diretrizes para diversas instituições e órgão como modelo de padronização de parâmetros básicos e requisitos mínimos de projetos. Dentre diversas normas existentes acerca de avaliação térmica as principais constam do Anexo 5.

Diversos estudos foram e estão sendo desenvolvidos para avaliar o impacto do conforto térmico e conseqüentemente de suas variáveis sobre a produtividade de diferentes trabalhadores na execução de diferentes tarefas.

2.4.PRODUTIVIDADE E CONFORTO TÉRMICO

A produtividade tem uma gama de definições de acordo com o enfoque dado. Segundo Roelofsen (2002) na ótica do ser humano a produtividade é o que as pessoas podem produzir com o mínimo de esforço. Na ótica fabril a produtividade é simplesmente definida como produção por hora do empregado considerando a qualidade, ou seja, é o aumento do desempenho funcional e organizacional, incluindo o aspecto da qualidade. Existem fatores internos e externos ao ambiente laboral que podem ter um efeito positivo ou negativo sobre o desempenho de uma pessoa. Estes fatores abrangem situações como problemas domésticos, relações pessoais ou o consumo excessivo de comida ou bebida. Vale salientar que tais fatores estão além do controle da organização. Por outro lado, os aspectos de condição de conforto no ambiente de trabalho são da responsabilidade direta da gestão.

Um dos requisitos fundamentais para o ser humano desenvolver suas atividades é um ambiente que permite às pessoas realizarem seu trabalho de forma otimizada em condições confortáveis (ROELOFSEN, 2002).

De acordo com Suzuki (2011) existe uma relação forte entre aspectos ambientais como qualidade do ar, ventilação e temperatura e a satisfação que as pessoas apresentam no desenvolvimento de suas atividades em seu trabalho.

Neste sentido, já existia uma preocupação antiga sobre o desenvolvimento de estudos para relacionar produtividade e fatores ambientais como, por exemplo, no artigo desenvolvido por Hancock e Pierce (1985) que analisaram os efeitos combinados do calor e do ruído sobre medidas comportamentais do desempenho humano. Especificamente, através de uma revisão teórica os autores correlacionaram diferentes tarefas que exigem esforços neuromusculares e mentais em relação à ação térmica e acústica, combinadas, como fatores para interferência no desempenho dos trabalhadores.

Roelofsen (2002) avaliou o efeito do nível de conforto térmico na produtividade dos trabalhadores. Sua pesquisa revelou que aspectos ambientais têm o maior efeito sobre a produtividade em relação ao estresse e insatisfação no trabalho e que sua melhoria pode incrementar de 5 a 15% no desempenho dos trabalhadores. Ele também concluiu que investir na qualidade do ambiente de trabalho é a forma mais eficaz de combater a perda de desempenho do trabalhador, pois, um investimento adicional na melhoria da temperatura do

ambiente irá gerar um menor desconforto e isso irá ser revertido em benefícios onde o impacto anual do investimento seria recompensado pelo aumento da produtividade.

Lan, Lian e Pan (2010) realizaram um estudo acerca do efeito da temperatura do ar em três faixas (17 °C, 21 °C, e 28 °C) sobre a produtividade em 21 participantes que realizaram testes computadorizados neurocomportamentais durante a exposição no laboratório. O estudo sugere que os participantes mantiveram o seu desempenho, exercendo mais esforço quando a demanda de carga de trabalho aumentou em ambiente de desconforto térmico. Os participantes tiveram menor motivação para fazer o trabalho e o resultado do eletroencefalograma mostrou uma diminuição do δ -band cuja frequência varia de 0,5 a 4 Hz no ambiente moderadamente desconfortável. O desconforto térmico causado pela alta ou baixa temperatura do ar teve influência negativa sobre a produtividade dos trabalhadores de escritório e as escalas de avaliação subjetivas foram suplementos importantes de medidas de desempenho neurocomportamental ao avaliar os efeitos da qualidade do ambiente interno na produtividade. Haneda et al. (2009) encontraram resultados semelhantes ao analisar os efeitos de desconforto térmico sobre o desempenho do trabalho em escritório.

Akimoto et al. (2010) realizaram uma investigação sobre o conforto térmico e produtividade em um ambiente de escritório além de avaliar o comportamento do trabalhador, onde foram medidos conforto térmico e sensação de fadiga dos ocupantes. Eles chegaram à conclusão que quando as tarefas são executadas sob o sistema de ar condicionado, muitos trabalhadores afirmaram uma sensação térmica neutra e confortável, informam ainda a percentagem de pessoas que se sentiram desconfortáveis era pequena. O sistema de ar condicionado aumentou a sensação de frio percebida pelos trabalhadores. No teste de sintomas, os grupos de trabalhadores apresentaram os sintomas da fadiga relacionados com padrões de trabalho gerais para a maior parte das horas de trabalho. A percentagem total de pessoas que declararam fadiga foi ligeiramente menor durante o horário de trabalho com sistemas de ar condicionado.

Harimi, Ming e Kumaresan (2015) afirmam que o conforto térmico é um dos aspectos que afetam o bem estar e a produtividade e propõe um mapa de conforto térmico a fim de estimar a energia necessária para a manutenção da temperatura ideal. A pesquisa destes autores explorou a percepção térmica de pessoas nos trópicos úmidos, na Malásia; eles utilizaram uma abordagem generalizada para prever a percepção térmica dos alunos, variando a temperatura do ar no interior de diversos ambientes, incluindo salas de aula.

Huang et al. (2012) investigaram a faixa aceitável de cada fator ambiental individual (conforto térmico, luminosidade e ruído), bem como os efeitos cumulativos de vários fatores sobre a qualidade ambiental interna de escritórios contribuindo para o desenvolvimento das atividades. Avaliaram-se 120 alunos universitários onde metade deles era do sexo masculino e a outra do sexo feminino, com média de idade de 22 anos. Os indivíduos foram avaliados durante atividade de leitura, e sua taxa metabólica média foi de 1,1 met. A isolamento térmica de suas vestimentas variaram de 0,36 a 0,61 clo, com um valor médio de 0,45 clo, estimado a partir dos checklists da ASHRAE 55. A temperatura foi estabelecida em 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, e 32 °C o nível de ruído foi estabelecido em 45, 50, 55, 60, e 65 dB; e a iluminação foi estabelecido em 100, 300, 500, 700, 900, 1100, e 1300 Lux. Usando o design ortogonal, cada combinação de parâmetros foi testada. Cada pesquisa durou 105 minutos, na sequência de um período de adaptação de 30 min. A temperatura e o ruído não se alteraram ao longo do experimento, mas o nível de iluminação foi trocado a cada 15 min, de modo que os indivíduos experimentaram todos os 7 níveis de iluminação com o mesmo nível de temperatura e ruídos. O mais alto nível de satisfação com o ambiente térmico ocorreu quando a temperatura operativa foi de 25,7 °C; em relação à iluminação, constatou-se que quanto maior a intensidade da iluminação maior era o nível de satisfação dos sujeitos do ambiente luminoso. Em relação ao o nível de ruído quando ele estava inferior a 49,6 dB, os indivíduos se sentiram satisfeitos com o ambiente acústico e acima desse limite, os indivíduos se sentiram cada vez mais desconfortáveis.

Wyon (2000) estimou os impactos de controle individual do ambiente sobre o desempenho de tarefas. Sua conclusão foi de que através de um controle individual de temperatura (± 3 K ajustada em torno de uma média do grupo em função da temperatura neutra) haverá um aumento do desempenho médio do grupo, contudo o efeito quantitativo da performance irá depende da natureza da tarefa. A melhoria do desempenho médio relacionada com o fornecimento de controle de temperatura encontrada foi de 5,4%. As melhorias de desempenho para tarefas específicas foram: pensamento + 2,7%, a digitação + 7,0%, habilidade no trabalho foi + 3,4%, e velocidade na execução do trabalho + 8,6%.

Wyon, Boerstra et al. (2015) realizaram um estudo em um laboratório para avaliar o conforto, desempenho e o impacto do controle pessoal sobre o ambiente térmico no verão. Manteve-se o laboratório a uma temperatura de 28 °C e foram avaliados 23 indivíduos, que foram expostos duas vezes a essa temperatura durante cerca de 2,5 horas. Durante a primeira sessão (A) indivíduos foram capazes de ajustar sua sensação térmica a qualquer momento

com um ventilador de mesa pessoal com controle ajustável contínuo. Durante a segunda sessão (B) indivíduos ainda tinha os ventiladores de mesa, mas desta vez estavam controlados a partir de uma sala adjacente pelos pesquisadores que ajustaram os perfis de velocidade de ar individuais para que eles fossem idênticos aos registrados durante a primeira sessão. Assim, cada sujeito foi exposto a duas condições personalizadas com exposição idêntica, só diferente de um ponto de vista psicológico. Aplicaram-se duas sessões de questionários e testes de desempenho para avaliar o conforto dos participantes, a incidência de sintomas SBS (Síndrome do Edifício Doente) e desempenho. Ambos os desempenho auto avaliado e medido objetivamente foram significativamente melhor durante a sessão B. Cerca de dois terços das pessoas indicaram preferir a situação A, quando eles mesmos controlavam o movimento do ar. Os resultados da pesquisa apontam que o desempenho de auto avaliado foi significativamente mais elevado (4,2%) durante a sessão B. Também 3 das 5 provas objetivas de desempenho mostraram significativamente maior desempenho durante a sessão B. A melhoria de desempenho médio para os 5 parâmetros de testes combinados foi de 4,8%.

Em pesquisas mais recentes Wyon e Wargocki (2013) afirmam que a temperatura do ar não é um indicador confiável no sentido absoluto, porque o desempenho é uma função do balanço térmico do corpo; mas de uma dada situação de trabalho é uma base muito útil para efeitos de comparação. No frio, destreza manual é prejudicada progressivamente à medida que o corpo reduz ativamente a temperatura dos dedos para conservar o calor, e em condições ligeiramente quentes, o desempenho mental diminui. Por fim eles concluem que a temperaturas de dedo no intervalo 30-34°C é um indicador confiável de que as condições térmicas são ideais para a maioria dos tipos de performance.

Neste contexto Silva (2001) avaliou em seu trabalho a relação que existe entre a produtividade e as variáveis de conforto térmico dos digitadores do Centro de Processamento de Dados de uma agência bancária no estado da Pernambuco. Ele avaliou dois ambientes, um termicamente confortável e outro termicamente desconfortável. A produtividade dos digitadores foi calculada através da quantidade de toques por hora, tendo constatado que 66% da variação da mesma estavam relacionadas à temperatura operativa do ambiente.

Lan, Wargocki e Lian (2011) analisaram as consequências do desconforto térmico na performance de pessoas através da simulação de atividades do trabalho em escritório como digitação de textos, problemas de adição e multiplicação, assim como em testes neurocomportamentais, enquanto eram submetidas a duas sensações térmicas, neutra (22°C) e quente (30°C). O estudo demonstrou um decréscimo no desempenho quando aquelas pessoas

eram submetidas ao ambiente quente. As reduções chegaram a 10% do tempo de reação à tarefa (Stroop effect), 11% em problemas de adição e a 25% de raciocínio gramatical.

Um estudo realizado por Lee et. al. (2012), mediu a relação entre a qualidade do ambiente interno através de parâmetros como temperatura do ar, umidade, velocidade do ar, temperatura radiante média, concentração de CO₂, nível de pressão sonora, nível de iluminação, atividade desenvolvida e nível de isolamento das vestimentas em 4 salas de aula universitárias em relação ao desempenho na aprendizagem de estudantes de engenharia.

Estudos sobre desempenho de estudantes em função de variáveis ambientais como calor e ruído começaram a se desenvolver entre as décadas de 60 e 70. Um dos estudiosos dessa área foi Wyon (1970) que avaliou o desempenho de crianças em salas de aula submetidas a estresse térmico. Em seus estudos o autor avaliou sobre as temperaturas de 20°C e 27°C a velocidade de leitura e compreensão de textos em crianças e comprovou que a performance diminui quando a temperatura aumenta.

Wargocki e Wyon (2006) mostram através de sua pesquisa que ao se aumentar a taxa de fornecimento de ar exterior e se reduzir de forma moderada a temperatura das salas de aula, que antes se encontravam com temperatura elevada, haverá uma melhora no desempenho de muitas tarefas desenvolvidas pelas crianças, principalmente em termos de quanto rápido cada aluno trabalha (velocidade), mas também em termos de quantos erros foram cometidos no desenvolvimento das tarefas.

Assim, observou-se através desses estudos que os fatores ambientais influenciam as ações do ser humano e, conseqüentemente, sua produtividade e desempenho no ambiente laboral. Neste sentido, pode-se observar que diferentes métodos são empregados para mensurar e avaliar o desempenho no trabalho, contudo há uma grande variação do tipo de instrumento em virtude da tarefa desenvolvida pelo trabalhador. Assim, dentre os diversos instrumentos existentes na literatura o BPR (Baterias de Provas de Raciocínio) é uma das ferramentas válidas, prática e aplicada para avaliar o desempenho de estudante. Diferentes autores utilizaram-na em diversas pesquisas, como Almeida e Primi (2004b), Baumgartl e Nascimento (2004), Baumgartl e Primi (2006), e Vasconcelos (2013).

2.5. APRENDIZAGEM, INTELIGÊNCIA E A BATERIAS DE PROVAS DE RACIOCÍNIO

Boruchovitch e Bzuneck (2005) afirmam que a aprendizagem consiste em uma alteração relativamente duradoura de comportamento e conhecimento envolvendo processos mentais, que ocorre como resultado da experiência externa ou interna dos indivíduos.

Tinoco (2007), define a inteligência como as diferentes habilidades mentais que operam independentemente. Atualmente, nove tipos de inteligência estão sendo adotadas, são elas: linguística, lógico-matemática, musical, espacial, cinestésico-corporal, interpessoal, subjetiva ou intrapessoal, naturalística, existencial. A inteligência bem sucedida compreende três tipos distintos de habilidades mentais: analítica, processos mentais utilizados na aprendizagem de como solucionar problemas, como escolher uma estratégia de solução de problema e aplicá-la; criativa, habilidade de lidar com situações novas usando habilidades e conhecimentos existentes; e prática, envolve habilidade de adaptar-se ao meio e em geral.

Em seus estudos Shaughnessy (2008) utilizou para avaliação da performance acadêmica de estudantes, testes nas áreas de leitura, escrita, matemática, ciências e estudos sociais. Para o autor a avaliação de performance consiste no nível de conhecimento ou habilidade adquirido ou aprendido pelos estudantes durante o período de estudos anuais, demonstrado por provas e refletindo no desempenho total deles.

Neste sentido Lan et al. (2011) endossa, através de seu estudo, o efeito do ambiente sobre o desempenho das pessoas além de demonstrar que testes psicométricos podem ser utilizados para avaliar de forma sistemática tal desempenho como, por exemplo, a cognição e processamento de informações.

A Bateria de Provas de raciocínio BPR-5 (Anexo 4) é uma ferramenta que usualmente é utilizada para ajudar diversos profissionais no psicodiagnóstico, seleção profissional, orientação profissional, avaliação escolar, entre outras áreas, para verificar as habilidades cognitivas. Ela é composta por 5 subteste: Raciocínio Abstrato (RA), Raciocínio Verbal (RV), Raciocínio Mecânico (RM), Raciocínio Espacial (RE) e Raciocínio Numérico (RN). (ALMEIDA; PRIMI, 2004b; BAUMGARTL; NASCIMENTO, 2004; BAUMGARTL; PRIMI, 2006; PRIMI; ALMEIDA, 2000). O BPR-5 teve origem da Bateria de Provas de Raciocínio Diferencial (BPRD) desenvolvida por Almeida (1982), que, por sua vez, se originou dos Testes de Raciocínio Diferencial de Meuris. O BPR-5 fundamenta-se em concepções fatoriais recentes sobre a inteligência possibilitando a avaliação simultânea do fator g e de fatores mais específicos (BAUMGARTL; NASCIMENTO, 2004; RODRIGUES; SIQUEIRA; SOUZA, 2015) .

Baumgartl e Nascimento (2004) em seu trabalho relatam os resultados de uma pesquisa para de estabelecimento de normas para a Bateria de provas de Raciocínio (BPR-5). Rodrigues et al. (2015) em seu estudo utiliza a bateria de testes BPR-5 para avaliar em que medida os diferentes tipos de raciocínios estão associados com o tipo de curso escolhido por estudantes universitário e se o tipo de instituição (pública e privada) influência no resultado dos testes de desempenho. Diversos outros autores vem utilizando o BPR-5 para avaliar desempenho como Primi, Bueno e Muniz (2006) avaliando a inteligência emocional, Primi et al. (2012) correlacionando inteligência, idade e escolaridade, Lemos et al. (2008) avaliando rendimento escolar e inteligência, Almeida e Primi (2004b) estudando os perfis de capacidades cognitivas, Cobêro, Primi e Muniz (2006) correlacionando a inteligência emocional e o desempenho no trabalho, Baumgartl e Primi (2006) validando o uso das baterias de prova de raciocínio na seleção de pessoal.

Segundo Almeida e Primi (2004b) e Primi et. al. (2012) de acordo com os modelos mais recentes sobre a estrutura da inteligência, as capacidades humanas se organizam hierarquicamente em pelo menos dez áreas amplas de raciocínio além do fator g, sendo estas:

- a) **Inteligência Fluida (Gf)** - ligada às operações mentais de raciocínio em situações novas minimamente dependentes de conhecimentos adquiridos;
- b) **Conhecimento Quantitativo (Gq)** - ligada ao estoque de conhecimentos declarativos e de procedimentos quantitativos e à habilidade de uso da informação quantitativa e manipular símbolos numéricos;
- c) **Inteligência Cristalizada (Gc)** - ligada à extensão e profundidade dos conhecimentos adquiridos de uma determinada cultura;
- d) **Leitura e Escrita (Grw)** – ligada ao conhecimento adquirido em habilidades básicas requeridas na compreensão de textos e expressão escrita;
- e) **Memória de Curto Prazo (Gsm)** - ligada à habilidade associada à manutenção de informações na consciência por um curto espaço de tempo;
- f) **Processamento Visual (Gv)** - ligado à habilidade de gerar, perceber, armazenar, analisar, manipular e transformar imagens visuais;
- g) **Processamento Auditivo (Ga)** - ligada à habilidade associada à percepção, análise e síntese de padrões sonoros;

- h) **Armazenamento e Recuperação da Memória de Longo Prazo (Glr)** - definido como a extensão e fluência que itens de informação ou conceitos são recuperados por associação da memória de longo prazo;
- i) **Velocidade de Processamento (Gs)** - relacionado à habilidade de manter a atenção e realizar rapidamente tarefas simples automatizadas em situações que pressionam o foco da atenção; e,
- j) **Rapidez de Decisão (Gt)** - ligada à rapidez em reagir ou tomar decisões envolvendo processamentos mais complexos.

Assim Baterias de Prova de Raciocínio (BPR-5) oferecem estimativas do funcionamento cognitivo geral e das forças e fraquezas em cinco áreas específicas, analisadas por meio de cinco subtestes, detalhados no Quadro 5.

Quadro 4 - Bateria de Provas de Raciocínio (BPR-5) e seus cinco subtestes: Raciocínio verbal, abstrato, mecânico, espacial e numérico.

Prova	Descrição	Capacidade específica
Raciocínio Verbal (RV)	Prova composta por 25 itens envolvendo analogia entre palavras (Duração: 10 min)	<ul style="list-style-type: none"> • Extensão do vocabulário • Capacidade de estabelecer relações abstratas entre conceitos verbais.
Raciocínio Abstrato (RA)	Prova composta por dia 25 itens de conteúdo abstrato, envolvendo analogia com figuras geométricas (Duração: 12 minutos)	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade de estabelecer relações abstratas em situações novas para as quais se possui pouco conhecimento previamente aprendido
Raciocínio Mecânico (RM)	Prova composta por 25 itens constituídos por gravuras que retratam um problema físico mecânico e opção de resposta, (Duração: 15 minutos)	<ul style="list-style-type: none"> • Conhecimento prático de mecânica e física • Capacidade de integrar as informações em textos com a figura descritiva da situação problema
Raciocínio Espacial (RE)	Prova composta por 20 itens envolvendo os movimentos tridimensionais de uma série de cubos (duração: 18 minutos)	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade de visualização, isto é, em formar representações mentais visuais e manipula-las transformando-as em novas representações.
Raciocínio Numérico (RN)	Prova composta por 20 itens envolvendo a relação aritmética de uma serie linear ou alternada de números (Duração de 18 minutos)	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade de raciocínio com símbolos numéricos em problemas quantitativos • Conhecimento de operações aritméticas básicas

Fonte: Adaptado de Almeida et al.(2010) apud Vasconcelos (2013)

Assim segundo Vasconcelos (2013) e Siqueira (2015) para pontuação dos raciocínios, os escores brutos, constituídos pela soma dos acertos em cada subteste, são convertidos em EPNs (Escore-Padrão Normalizados), com média 100 e desvio padrão 15. Também é convertido em EPN o total de acertos em todos os subtestes da bateria. Além da pontuação em EPN, o manual do teste também fornece os valores em percentuais para que seja possível a comparação de acertos dos sujeitos em relação ao grupo original de padronização da bateria, tanto para os cinco subtestes, quanto para o escore do total de acertos. Portanto, o BPR-5, através da configuração das cinco notas, indica as capacidades mais e menos desenvolvidas da pessoa para cada uma das habilidades avaliadas.

Assim, com o intuito de analisar o impacto das variáveis do conforto térmico sobre desempenho obtido através da aplicação do BPR, necessita-se do uso de modelagem estatística para avaliar as possíveis interações entre as variáveis. Dentre as diversas ferramentas existentes para se modelar matematicamente um fenômeno, os Modelos Lineares Generalizados (MLG) tem uma grande importância de caráter prático e teórico pois, sua metodologia constitui uma abordagem unificada de muitos procedimentos estatísticos comumente utilizados para promover o papel central da verossimilhança na teoria da inferência.

2.6.MODELOS LINEARES GENERALIZADOS

Com o intuito de estudar e estabelecer relações entre uma variável de interesse que se pode denominar de variável resposta ou dependente, e um conjunto de fatores ou atributos que se pode chamar de variáveis de entrada, variáveis explicativas, variáveis preditoras, variáveis explanatórias ou covariáveis, pode-se utilizar os diversos modelos de regressão. O modelo linear normal, por exemplo, foi desenvolvido no início do século XIX por Legendre e Gauss e dominou a modelagem estatística até meados do século XX, embora vários modelos não lineares ou não normais tenham entretanto sido desenvolvidos para fazer face a situações que não eram adequadamente explicadas pelo modelo linear normal (LARA, 2007; PAULA, 2013).

No início da década de 70 do século XX, a modelagem por regressão foi impulsionada com o desenvolvimento dos Modelos Lineares Generalizados (MLG) propostos por Nelder e Wedderburn (1972) tendo um impacto muito grande no desenvolvimento da estatística

aplicada. Seu uso inicialmente era restrito a um pequeno grupo de pesquisadores em virtude da escassa bibliografia e dada a complexidade do GLMI que foi o primeiro software voltado a aplicação da metodologia. Sua importância é oriunda do fato que a metodologia destes modelos ser baseada em uma abordagem unificada de muitos procedimentos estatísticos que são correntemente utilizados em diversas aplicações além de se promover dentro da teoria da inferência estatística o papel da verossimilhança (TURKMAN; SILVA, 2000)

A teoria dos MLG's pode ser interpretada como uma generalização do modelo de regressão Linear tradicional, em que a variável resposta não precisa necessariamente assumir a distribuição normal, e sim, qualquer distribuição pertencente a família exponencial de distribuições (PAULA, 2013).

Segundo Nelder e Wedderburn (1972) os modelos lineares generalizados possuem três componentes principais, aos quais são:

i. Componente aleatório – É composto de um conjunto de variáveis resposta, ou seja, um conjunto de variáveis aleatórias independentes, Y_1, Y_2, \dots, Y_n , oriundos de uma mesma distribuição pertencente à família exponencial na forma canônica, com médias $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$, isto é,

$$f(y_i, \theta_i, \phi) = \exp \left\{ \frac{1}{a_i(\phi)} [y_i \theta_i - b(\theta_i)] + c(y_i, \phi) \right\}$$

Em que $b(\cdot)$ e $c(\cdot)$ são funções conhecidas e θ_i é o parâmetro canônico. Em geral, $a_i(\phi) = \frac{\phi}{w_i}$, sendo w_i pesos a priori e $\phi > 0$, um parâmetro de escala conhecido. Além disso, demonstra-se que:

$$E(Y_i) = b'(\theta_i) = \mu_i \quad \text{e} \quad \text{Var}(Y_i) = a_i(\phi) b''(\theta_i) = a_i(\phi) V(\mu_i)$$

Sendo $V(\mu_i) = \frac{\partial \mu_i}{\partial \theta_i}$ a função de variância, uma função que depende unicamente da média. Tal função é imprescindível dentro dos MLG's, pois é ela que caracteriza a distribuição.

ii. Componente sistemático – Constituído por um conjunto de p variáveis explicativas, isto é, $x_i = (x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{pi})$, para $i = 1, 2, \dots, n$, que entram no modelo na forma de uma soma linear

de seus efeitos, constituindo o vetor dos preditores lineares, η , de dimensão $n \times 1$, ou seja, com elementos:

$$\eta_i = \sum_{j=1}^p x_{ij}\beta_j$$

Ou sob a forma matricial

$$\eta = X\beta$$

em que X é a matriz do modelo de dimensões $n \times p$ e β , o vetor de p parâmetros desconhecidos.

iii. Função de ligação – Uma função que faz a ligação entre os componentes aleatórios e sistemático do modelos, relacionando a média ao preditor linear, isto é,

$$\eta_i = g(\mu_i)$$

Sendo $g(\cdot)$ uma função monótona e derivável.

Ainda segundo os autores para se estimar o vetor de parâmetros do modelo linear generalizado deve-se utilizar o método de estimação de máxima verossimilhança que a partir de um conjunto de dados estima-se os valores para os diferentes parâmetros do modelo de forma a maximizar a probabilidade dos dados observados.

Assim segundo Paula (2013) e Lara (2007) quando se escolhe um modelo linear generalizado devem-se observar com atenção três características:

- A distribuição da variável resposta;
- A matriz do modelo; e,
- A função de ligação.

Turkman e Silva (2000) citam em seu trabalho os modelos lineares generalizados mais comuns de acordo com o quadro 5 e listam alguns casos particulares de MLG que são: Modelos de análise de variância e covariância; Modelo de regressão logística; Modelo de

regressão de Poisson; Modelos log-lineares para tabelas de contingência multidimensionais; Modelo *probit* para estudos de proporções.

Quadro 5 - Modelos Lineares Generalizados

Modelo	Componente Aleatório	Componente estrutural	
		Função de Ligação	Covariáveis
Regressão Linear	Normal	Identidade	Contínuas
Análise de Variância	Normal	Identidade	Categorizados
Análise de Covariância	Normal	Identidade	Mistas
Regressão Logística	Binomial	Logit	Mistas
Log-linear	Poisson	Logarítmica	Mistas

Fonte: Adaptado de Turkman e Silva (2000)

Tem-se como exemplo da aplicação de MLG o trabalho desenvolvido por Harimi et al. (2015) que se utiliza de MLG para construir um mapa de avaliação do conforto térmico em edifícios na região dos trópicos úmidos da Malásia. Manshahia e Das (2013) utilizam o MLG para avaliar o conforto termofisiológico do tecido de poliéster banhado em elastano através do filamento de poliéster, da evaporação e da resistência térmica. Schwarz e Zimmermann (2005) utilizam o MLG para realizar uma modelagem para processos ecológicos e ambientais em campos contínuos com cobertura arbórea. Fahrmeir et al. (1994) utiliza os MLG's para modelagem estatística multivariada.

Assim, os MLG's abrangem um grande número de modelos que podem ser aplicados em diversos campos de estudos, pois, apresentam certa facilidade ao analisa-los e em virtude do desenvolvimento computacional que o apoia na resolução de seus problemas tem desempenhado cada vez mais um importante papel na análise estatística. Existem algumas limitações como, por exemplo, a necessidade de se manter a estrutura de linearidade, pela restrição enquanto a família exponencial e em virtude da exigência da independência das respostas, contudo ainda é uma ferramenta bem aceita para determinadas análises (TURKMAN; SILVA, 2000).

CAPÍTULO 3: REVISÃO SISTEMÁTICA

O presente capítulo revisa as pesquisas acerca do conforto térmico em ambientes de ensino e seu impacto no desempenho dos estudantes. A contribuição deste capítulo é fornecer uma revisão atual do estado da arte, apresentando parâmetros propostos e possíveis novas abordagens sobre o tema.

3.1.CONFORTO TÉRMICO E DESEMPENHO EM AMBIENTES DE ENSINO COM INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS

Muitos estudos têm demonstrado que, se as pessoas trabalham em boas condições ambientais a sua produtividade e bem-estar melhoram (DE GIULI; DA POS; DE CARLI, 2012). Assim, há uma extensa pesquisa sobre conforto térmico ao longo de várias décadas, o que levou a duas abordagens principais, a termo-fisiológica e a abordagem do conforto adaptativo. Ambas as abordagens têm sido desenvolvidas a partir dos resultados dos estudos com indivíduos adultos e formam a base para os padrões de conforto térmico, que incluem ISO 7730, ASHRAE Standard-55 e a nível europeu a EN 15251 (TELI; JENTSCH; JAMES, 2012).

Estudos recentes sobre conforto térmico vêm enfatizando a abordagem adaptativa e são dirigidos para investigar as respostas de conforto térmico e seus impactos sobre a atividade humana (MORS et al., 2011). A necessidade de alcançar um bom nível de conforto em edifícios comerciais e educacionais é devido ao fato de que as pessoas gastam mais de 90% do seu tempo dentro de suas casas e alunos em torno de 30% de sua vida nas escolas (DE GIULI; DA POS; DE CARLI, 2012).

Neste contexto, as condições térmicas insatisfatórias em salas de aulas tem sido fonte de pesquisas em virtude da sua influencia negativa sobre a aprendizagem e desempenho dos estudantes. Enquanto em ambientes como casa ou escritórios os ocupantes tem a liberdade de ajustar suas vestimentas e suas atividades como resposta a estresse térmico em seu ambiente, a liberdade de estudantes é limitada nas escolas, pois, de uma forma geral eles têm de permanecer sentados em suas carteiras e passar uma boa quantidade de tempo a ouvir e entender lições. Além disso, no período de aula não há uma liberdade para modificar ou

ajustar o nível de atividade de acordo com o ambiente térmico (CORGNATI; FILIPPI; VIAZZO, 2007).

Contudo a literatura sobre os impactos do ambiente térmico sobre o desempenho escolar da criança é inconsistente. Além disso, a maioria das pesquisas vem de zonas climáticas frias. No entanto, a literatura demonstra que o aumento da temperatura da sala de aula pode ter um efeito negativo sobre o conforto das crianças e desempenho acadêmico e que o desconforto diminui o tempo de atenção das crianças quando a temperatura e a umidade excedem sua zona de conforto. Por extensão lógica, portanto, salas de aula com ar-condicionado no verão potencialmente faz com que as crianças ajustem a temperatura, ou seja, mudem artificialmente as condições internas da sala para temperaturas mais frias (DE DEAR et al., 2015a).

Neste contexto Wong e Khoo (2003) avaliaram em Singapura, cujo clima é tropical, o conforto térmico em salas onde a maioria possui uma combinação de ventilação cruzada e ventilação mecânica para atingir o conforto térmico. A pesquisa foi realizada em uma escola secundária onde cada sala de aula possuía ventiladores de teto. Parâmetros de conforto ambiental foram coletados além de parâmetros de caráter subjetivos. Um total de 506 entrevistados participaram da pesquisa, dos quais 493 eram estudantes e 13 eram professores. Os resultados mostraram que de acordo com a ASHRAE 55 nenhuma das salas encontravam-se dentro da zona de conforto, contudo pela percepção dos estudantes o conforto se dava numa faixa acima da identificada pela norma. Através dos questionários respondidos e por regressão foi identificado que a temperatura neutra para os ocupantes desse ambiente era de 28,8 °C.

Corgnati, Filippi e Viazzo (2007) avaliaram a relação entre as percepções térmicas subjetivas e os parâmetros ambientais medidos em salas de aulas na cidade de Turim que possui um clima continental, caracterizado pelo inverno frio seco e um verão quente-úmido. A época de desenvolvimento da pesquisa foi entre estações no período de aquecimento e o estudo foi realizado com um total de 427 estudantes, sendo 256 do ensino médio e 171 universitários. As salas de aulas foram divididas em dois tipos, com e sem ventilação mecânica. Os PPD foram comparados com o percentual de insatisfeitos dos questionários aplicados. Por pessoas insatisfeitas os autores consideraram as que indicaram sensação de calor (+2;+3) ou frio (-3;-2) altos de acordo com a escala de sete pontos de sensação térmica, por conseguinte, dividiu-se esse quantitativo pelo total de pessoas que se encontravam na sala de aula avaliada. Os resultados mostraram que o Percentual de Insatisfeitos é sensivelmente

sempre maior do que o indicado pelo índice do PPD da norma ISO 7730/1994. Além disso, ambientes térmicos que são julgados como neutros ou pouco quentes são aceitos e preferidos pelos alunos. Em ambientes classificados como um pouco frio observa-se que o voto de querer o ambiente mais quente prevalece, e em ambientes classificados como pouco quente, o voto de nenhuma mudança prevalece entre os estudantes. Assim as pessoas de climas quentes podem preferir um ambiente "um pouco mais frio" e as pessoas de climas frios podem preferir um ambiente "um pouco mais quente". Além disso, as pessoas em ambiente interno ventilados naturalmente estão confortáveis dentro de uma gama de valores de microclima que é maior do que num ambiente totalmente condicionado.

Hwang et al. (2009a) investigaram o conforto térmico, através da norma ASHRAE55 em edifícios escolares naturalmente ventilados em Taiwan, cujo clima é quente e úmido. O estudo foi realizado em 14 escolas de ensino fundamental e médio nos meses de setembro a janeiro com um total de participantes de $n=1614$. O estudo avaliou o comportamento adaptativo, a neutralidade térmica e as zonas de conforto dos estudantes comparando os resultados obtidos com a norma e os indicados pelos estudantes através de uma análise de regressão Probit. Os resultados mostram que os limites das zonas de conforto para 90% e 80% de aceitabilidade dos estudantes são consecutivamente $20,1^{\circ}\text{C}$ a $28,4^{\circ}\text{C}$ e $17,6^{\circ}\text{C}$ a 30°C , ou seja, as zonas de conforto recomendadas pela norma ASHRAE 55 diferem das observadas no estudo.

Zeiler e Boxem (2009) avaliaram a influencia e os efeitos do sistema de edifícios termicamente ativados (ETA) nas escolas sobre o conforto dos estudantes no inverno. Eles utilizaram um levantamento da literatura para discorrer sobre a importância de um bom ambiente térmico nas escolas para os alunos. Os resultados mostraram que comparar os resultados obtidos com as medições e aplicação de questionários oferece uma boa perspectiva para avaliar e comparar a percepção de conforto térmico dos estudantes e o ambiente térmico apresentado das salas. ETA pode garantir uma temperatura interna aceitável durante o inverno em comparação com outras soluções tradicionais de sistemas de aquecimento. A aplicação da ETA pode levar a uma pequena melhoria do conforto térmico percebido para os ocupantes de edifícios escolares no inverno.

Mors et al. (2011) avaliaram o conforto térmico para salas de aula de escolas primárias na Holanda abrangendo condições climáticas de inverno, primavera e verão no ano de 2010, com foco na adaptação comportamental. A pesquisa de campo foi realizada em 3 salas de aula sem ar-condicionado em três escolas diferentes, com 79 crianças de 9 a 11 anos de idade. Os

resultados mostram que as crianças adaptam as suas roupas durante o ano a partir de valores médios em torno de 0,9 clo no inverno para 0,3 clo no verão, com as maiores mudanças no meio da temporada. Há uma pequena diferença na adaptação das roupas entre crianças do sexo masculino e do sexo feminino. Comparando o voto médio real com o PMV calculado, com base nos dados medidos, percebe-se uma diferença clara. A conclusão é que o modelo de PMV não prever a sensação térmica dessas crianças com precisão; subestima a Sensação Térmica Média em até 1,5 pontos na escala. Quando os votos de Sensação Térmica Reais são comparados para confortar previsões com base em limites de temperatura adaptativas, percebe-se que as crianças preferem temperaturas mais baixas a o previsto pelos métodos das normas internacionais.

Teli, Jentsch e James (2012) investigaram em seu estudo a aplicabilidade de modelos de conforto térmico existentes para prever a sensação térmica e temperatura de conforto em salas de aula através de um estudo de campo em uma escola naturalmente ventilada. Foram avaliados 230 alunos com idades de 7 a 11 anos. Os resultados mostram que os votos de sensação térmica indicado pelas crianças são mais elevados dos que indicados pelo PMV, ou seja, as crianças se sentem mais quentes do que é previsto pela norma ISO 7730. Esta discrepância pode chegar a até 2,5 pontos de escala. De acordo com o modelo de regressão baseado na média do Voto de Sensação Térmica a temperatura neutra é $20,8^{\circ}\text{C}$, que é $4,2^{\circ}\text{C}$ mais baixa do que a temperatura neutra prevista a partir da linha de regressão PMV. Os resultados também mostram que o modelo do PMV não expressa de forma fidedigna os dados em sala de aula, pois subestima a sensação térmica das crianças. O estudo sugere que as crianças podem ser mais sensíveis a temperaturas mais elevadas do que os adultos. Através do Voto de Preferência Térmica e de Sensação Térmica averiguou-se que a temperatura operativa preferida pelos alunos é de $22,4^{\circ}\text{C}$ o que é $1,6^{\circ}\text{C}$ mais elevada que a temperatura neutra calculada ($20,8^{\circ}\text{C}$). Isto sugere que os alunos, em geral, preferem um ambiente térmico ligeiramente mais quente, do que o neutro. Os autores concluíram que em climas quentes e úmidos a temperatura preferida é menor em relação o valor considerado neutro e isso indica uma potencial influência de aclimação a diferentes climas e variações no contexto cultural da sensação e preferência térmica.

De Giuli, Da Pos e De Carli (2012) avaliaram a qualidade do ambiente interno e a percepção dos alunos em sete escolas primárias perto de Veneza, na Itália. Medições pontuais foram registradas em 28 salas de aula sem ar condicionado, na primavera, enquanto que 614 crianças, com idade de 9 a 11 anos preencheram um questionário sobre a avaliação das

condições ambientais internas, seu comportamento para com desconforto e se o seu nível de interação com o ambiente (abrindo uma janela, desligar a luz etc.). Os resultados revelaram níveis de concentração de CO₂ muito elevados, o que confirma a troca de ar insuficiente, através de janelas abertas. Os níveis de iluminação são insuficientes sobre as mesas e, em geral, não uniforme, provavelmente devido ao uso de proteção solar inadequada. Os alunos queixaram-se principalmente sobre as condições de aquecimento térmico, má qualidade do ar e do ruído. Outro dado identificado é que as condições ambientais das salas de aula dependiam fortemente das preferências dos professores.

Lee et al. (2012) em seu estudo desenvolvido na Universidade Politécnica de Hong Kong avaliaram a relação entre qualidade do ambiente interno (conforto térmico, qualidade do ar, iluminação e ruído) e o desempenho na aprendizagem de estudantes de engenharias. A quantidade de alunos participantes foi de 312, contudo somente 298 tiveram os dados coletados válidos sobre a autoavaliação de desempenho. Para isso os autores utilizaram uma escala de classificação que variou, do desempenho mínimo para o máximo, em valores percentuais: 0%, 15%, 30%, 50%, 70%, 85% e 100%. Os entrevistados preenchem um percentual que melhor descrevia seu próprio desempenho. A avaliação de desempenho foi mensurada através de aspectos ligados a leitura, a compreensão de textos, a escrita e a resolução de cálculos. Os resultados apontam que todas as reclamações acerca dos aspectos de conforto ambiental tem impacto semelhante sobre o desempenho da aprendizagem. As médias no desempenho para o cálculo, leitura, compreensão e escrita foram de 58% (DP = 20%), 58% (DP = 18%), 60% (DP = 18%) e 52% (DP = 22%), respectivamente, havendo diferença significativa no desempenho em digitação. Em relação ao conforto térmico, o ambiente apresentou temperatura operativa média de 22,1°C (DP=1,5). Dos 312 alunos participantes, 261 demonstraram aceitação ao ambiente térmico, ficando 88% dos votos entre -1 e 1 (de levemente frio a levemente quente). O estudo também revela que todas as queixas IEQ têm impacto semelhante sobre a aprendizagem desempenho e há uma boa correlação entre o desempenho de aprendizagem e o número de reclamações dos estudantes.

Liang, Lin e Hwang (2012) correlacionaram a percepção térmica dos ocupantes e a performance térmica dos prédios com ventilação natural em edifícios escolares. O estudo foi desenvolvido em diferentes escolas primárias e secundária, em salas de aula Naturalmente Ventiladas (NV), localizadas em áreas urbanas e suburbanas da cidade de Taichung, Taiwan. Os avaliados foram crianças e adolescentes totalizando de 1614 participantes, onde 823 eram meninas e 791 eram meninos, divididos em 48 salas de aula. O estudo de campo foi realizado

em setembro de 2005 a fevereiro de 2006. A pesquisa foi realizada de forma contínua a cada semana em 2-5 aulas ao longo do semestre. Aproximadamente um terço das classes participantes foi visitado mensalmente, ao passo que as outras classes foram visitadas uma ou duas vezes durante o estudo. Os resultados mostraram que a temperatura neutra para os estudantes no mês mais quente foi de 29,2°C que é 2,3°C maior que o nível sugerido pela norma ASHRAE 55. A temperatura neutra no mês mais frio foi de 22,4° C, a qual se aproxima bastante da sugerida pela ASHRAE 55. Os autores identificaram também uma forte relação entre a temperatura neutra e a temperatura média mensal externa.

Yang, Becerik-Gerber e Mino (2013) analisaram em seu estudo de forma sistemática as percepções de estudantes e o impacto de diferentes atributos de sala de aula sobre a satisfação e desempenho dos alunos. Dez atributos foram avaliados (temperatura, qualidade do ar, iluminação natural e artificial, acústica, visibilidade, o layout da sala de aula, móveis, hardwares como projetor, computador, câmera e software, incluindo software instalado em computadores em sala de aula). Os autores investigaram como os alunos perceberam esses atributos individualmente, bem como a forma como eles percebiam a relação e interação entre esses diferentes atributos. A pesquisa teve duas etapas e foi realizada de forma on-line com estudantes universitários em seis salas de aula com um total de 29 cursos durante os dois períodos com início da primavera final do outono. Um total de 627 respostas válidas foram utilizadas. Os resultados mostram que os votos dos alunos para os atributos de qualidade do ar, visibilidade, moveis, hardware e iluminação artificial foram muito satisfatórios, já a iluminação natural e acústica das salas de aula tiveram uma menor quantidade de satisfeitos. Enquanto isso, eles classificaram visibilidade e hardware como tendo impacto muito grande sobre sua profissão. Estudantes acreditam que a temperatura, iluminação artificial, acústica, móveis e software afetam seu desempenho. Estes resultados ilustram o valor potencial do esforço para melhorar a concepção, gestão e manutenção para salas de aula de ensino superior, além de fornecer orientações sobre mudanças benéficas para posterior implementação. Em particular, a temperatura foi provada ser o atributo mais influente, na avaliação dos alunos em relação a aprendizagem. Atributos tecnológicos receberam alta satisfação dos votos dos estudantes e não variou muito entre as salas de aula.

Fadeyi et al. (2014) avaliaram as condições da qualidade do ambiente interno (IEQ) em salas de aula das escolas elementares nos Emirados Árabes Unidos. Os dados para este estudo foram coletados em dezesseis (16) escolas primárias com ar-condicionado (públicas e privadas) em dois Emiratos (Estados) nos Emirados Árabes Unidos. Escolas em Dubai foram

escolhidas para representar as escolas típicas nas áreas urbanas do país. Escolas escolhidas na parte da aldeia de Fujairah representam escolas típicas das áreas rurais do país. O resultado mostra que compostos orgânicos voláteis totais (TVOCs), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), o ozono (O₃), e as concentrações médias de partícula medidas nas salas de aula foram 815 µg/m³, 1605 ppm, 0.05 ppm, 1.16 ppm, e 1730 µg/m³, respectivamente. Considerando que, autoridade local conhecido como Municipalidade de Dubai recomenda 300 µg/m³, 800 ppm, 0.06 ppm, 9 ppm e 150-300 µg/m³ para TVOC, CO₂, O₃, CO e partículas, respectivamente os valores estão acima do recomendado. Temperatura média e níveis de umidade relativa medido nas salas de aula foram 24,5 ° C e 40,4%, respectivamente. Nível médio de ruído nas salas de aula foi de 24 dB maior do que o limite de som de 35 dB recomendado. Em relação a iluminação 6 salas de aula tinham níveis médios na faixa de 400-800 lux, duas salas tinham níveis médios na faixa de 100-200 lux. Os restantes das salas de aula tinham níveis recomendados de 300 lux. Alta densidade de ocupação foi observada em maioria das salas de aula estudadas. Assim as condições pobres de IEQ nas salas de aula podem vir a reduzir a capacidade de aprendizagem dos alunos, desempenho e aumentar o absentismo.

Wang et al. (2014b) investigaram a influência do microclima interior nos edifícios na adaptação térmica das pessoas em salas de aulas universitárias e em escritórios em Harbin, localizado no nordeste da China, durante o período de aquecimento no inverno e na primavera. O total da amostra avaliada foi de 488 sujeitos, incluindo professores e alunos avaliando o ambiente térmico, sendo que 200 questionários foram obtidos no inverno e 200 na primavera, somente em salas de aula, e 88 questionários foram coletados a partir do estudo em escritórios somente no inverno. Os resultados mostram que a média da temperatura externa, ou seja, a temperatura da região no inverno foi de -19,7° C, com umidade relativa média de 74,1% e com média da velocidade do ar de 1,79 m/s. Na temporada de aquecimento, ou seja, na primavera a média de temperatura foi de 12,2°C, umidade 39% e velocidade do ar de 1,92 m/s. Em relação a temperatura interna das salas de aula e escritório observou-se que a média da temperatura no inverno nas salas de aula foi de 22,8° C e na primavera 25,5° C, com umidade variando de 10 a 30% e a velocidade do ar variando de 0,12 a 0,17 m/s. A média da isolamento térmica das vestes encontrou-se entre 0,77 clo e 1,04 clo. Em relação aos parâmetros internos os resultados mostram que a temperatura neutra no inverno para salas de aula é de 22,6° C e nos escritórios foi de 19,7° C. Na primavera a temperatura neutra nas salas de aula foi de 21,7° C. Assim o clima interno têm influências sobre adaptabilidade humana; as

temperaturas neutras térmicas são quase iguais às temperaturas do ar interior médios quando as pessoas são expostas a um ambiente de conforto térmico durante um longo período de tempo.

Marchand et al. (2014) examinaram os efeitos do ambiente de sala de aula simulada com parâmetros de som, temperatura e iluminação de duas formas dentro de uma faixa normal para conforto e com condições estabelecidas acima dos limites da zona de conforto normal (ZCN), na compreensão do aluno, no humor, na percepção do ambiente, na sequência de uma leitura e na compreensão. Os participantes eram estudantes de graduação da Faculdade de Educação e Engenharia do sudoeste americano. Houve um total de 158 participantes. Os resultados indicaram que os participantes na condição acima do limite da ZCN tiveram menor pontuação em um teste de compreensão do que aqueles na condição de faixa normal de conforto, contudo, não foi detectada nenhuma diferença entre as condições para a modalidade de leitura. Estudantes na condição acima ZCN relataram maior resultado negativo e acreditava que o som e temperatura do local teve um impacto mais negativo sobre seu desempenho do que aqueles na condição normal.

Dias Pereira et al. (2014) avaliaram o conforto térmico e a qualidade interna do ar em uma escola com ventilação natural durante a primavera, por duas semanas, durante os períodos de aula de escolas secundárias portuguesas. As pesquisas foram realizadas em uma escola na cidade de Beja, no Sudeste de Portugal. A amostra foi de 45 alunos com idade entre 16 e 19 anos e níveis escolares entre 10 e 11 ° ano (ensino médio). A sala de aula 1, avaliada durante a aplicação dos questionários, apresentava as seguintes condições ambientais: $T_a = 22.1^\circ \text{C}$, $\text{RH} = 55.2\%$ e $\text{CO}_2 = 924 \text{ ppm}$, sendo a temperatura externa a sala de 25.8°C . 96,2% dos alunos responderam considerar as condições térmicas do ambiente aceitáveis e 69% se sentiram termicamente confortáveis. A sala de aula 2 apresentou uma temperatura do ar de $25,2^\circ \text{C}$, sendo que 94,7% dos estudantes consideraram aceitáveis as condições térmicas do ambiente. Além disso 58% dos alunos consideram a temperatura neutra, 35% consideraram que a temperatura estava levemente quente. Os resultados mostram que os estudantes encontraram faixa de temperatura acima da zona de conforto aceitável. Eles declararam aceitar T_a até 25.2°C . Observou-se também que através do voto de sensação térmica os alunos expressaram que não deveria ser feita nenhuma mudança no ambiente, e por fim, confirmaram que a neutralidade térmica não é o estado preferido.

Segundo Hamzah et al. (2014) dentre os diferentes fatores que influenciam no conforto ambiental a mais dominante no conforto físico humano dentro dos edifícios é o

conforto térmico, que inclui parâmetros como temperatura do ar (T), umidade do ar (UR) e velocidade do ar (V). A zona de conforto térmico, em trópicos úmidos, pode ser conseguida com os limites de temperatura entre 24°C a 26°C, limites de umidade relativa entre 40% a 60%, e limites de velocidade do ar entre 0,6 m/s a 1,5 m/s, com atividades de lazer, roupas leves e um casaco.

Zhang et al. (2014a) realizaram um estudo experimental da resposta humana ao em função de mudanças de temperatura e umidade em áreas quentes e úmidas da China. Trinta estudantes universitários participaram do experimento. As condições aceitáveis para espaços de transição na área quente-úmido da China são recomendados como os limites máximos de temperatura do ar de 29,2°C a 50% de umidade relativa (UR) e 28,0°C em 70% UR para 90% percentual de pessoas satisfeitas, e 31 ° C em 50% UR e 29,5 ° C em 70% de UR para 73% percentual de pessoas satisfeitas.

O estudo de Hamzah et al. (2014) usou um método experimental para avaliação dos efeitos do conforto térmico sobre os indivíduos em sala de aula. Foram avaliados dois tipos de salas: Uma com ventilação natural e outra com ar condicionado. Para a sala com ventilação natural foram dados 4 tipos de tratamento com diferentes velocidades do ar: (1) Sem o apoio de ventilador; (2) Ventilador com velocidade baixa; (3) Ventilador com velocidade média; (4) Ventilador com alta velocidade. Para a sala com ar condicionado quatro tratamentos com diferentes temperaturas foram conduzidos: (i) 18°C; (ii) 21°C; (iii) 24°C; (iv) 27°C. Foram totalizados 150 conjuntos de dados com 29 entrevistados. A amostra é composta por alunos do curso de arquitetura de diferentes regiões da Indonésia. Um *survey* foi aplicado e as variáveis mensuradas foram: Pessoais (roupas e atividade); e, Ambientais (temperatura do ar, humidade, velocidade do ar, e temperatura radiante média). As condições térmicas ambientais foram divididas em duas partes para análise: Condição térmica externa a sala de aula; e, Condição térmica interna a sala de aula. Os resultados da ventilação no conforto térmico mostram que 67% dos entrevistados sentiram-se confortáveis (-1 a +1) quando a temperatura variou entre 31 a 32°C, 23% se sentiram com frio e 10% sentiram calor. Em relação a velocidade do ar e o conforto, 49% preferiram a atual velocidade do ar que corresponde a variação de 0 a 0,25 m/s. 36% preferem que a velocidade do ar seja aumentada e 15% sentem que a velocidade do ar é muito forte necessitando sua redução. A análise na sala com ar condicionado mostrou que quando a temperatura varia entre 25°C e 28°C, 43% das pessoas sentem-se confortáveis, 54% sentem-se com frio ou levemente com frio e 3% sentem calor. O estudo veio a corroborar que em diferentes regiões há diferenças de preferência e sensação

térmica. Esse trabalho mostrou que as pessoas de diferentes locais da Indonésia têm em sua maioria preferência por ambientes mais quentes em virtude do costume de conviver com um clima também mais quente.

No estudo realizado por De Dear et al. (2015a) foram aplicados questionários de sensação e preferência térmica e foram aferidos parâmetros ambientais de conforto térmico simultaneamente em 9 escolas australianas durante o verão de 2013. Um total de 2850 questionários foram respondidos por estudantes de 10 a 18 anos. Os questionários foram aplicados duas vezes por dia pela manhã e pela tarde em salas de aula com e sem sistema mecânico de refrigeração: AC (Ar Condicionado) e NV (Naturalmente Ventilado). Assim, verificou-se que nas mesmas condições térmicas comparando adultos e crianças, as crianças preferem temperaturas mais frias aos adultos. Os alunos demonstraram uma maior adaptabilidade a variações de temperatura do ambiente, com uma variação da sensação a cerca de 4° C de temperatura operativa. O estudo demonstrou que o intervalo de temperatura, no verão, aceitável pelos estudantes australianos são de 19,5° C a 26,6° C. As análises também revelaram que existem diferenças de sensibilidade térmica entre os estudantes, ou seja, alunos expostos a variações climáticas com maior amplitude apresentam uma adaptabilidade térmica maior do que os alunos que permanecem em temperaturas mais uniformes.

Wang et al. (2015) avaliaram as mudanças na qualidade subjetiva do ar interno (SIAQ) entre crianças em idade escolar e relaciona estes dados com medições da exposição durante um período de dois anos consecutivos. Os dados sobre SIAQ e informações demográficas foram coletados por um questionário enviado a 1.476 alunos de escolas primárias e secundárias em 39 escolas, selecionadas aleatoriamente, no início do estudo e após dois anos (acompanhamento). Medidas de exposição foram coletadas. Foram aplicados questionários e houve um acompanhamento em aproximadamente 100 salas de aula. Os valores da média aritmética para a linha de base e acompanhamento realizado, foram: para a temperatura do ar interior de 23,6 ° C e 21,8 ° C e para a taxa de fluxo de ar ao ar livre 5,4 L / s e 7,9 L / s. As crianças mais velhas, aqueles com atopia (tendências hereditárias a reações alérgicas) no início do estudo, e aqueles em grandes escolas, relataram SIAQ prejudicada durante o acompanhamento. Instalação de novos sistemas de ventilação, maior taxa de fluxo de ar pessoal e taxa de câmbio de ar, e uma melhor iluminação foram associados com melhoras da SIAQ. Níveis mais elevados de CO₂ foram associados com SIAQ prejudicada. Em conclusão, a ventilação e a iluminação suficiente nas salas de aula são essenciais para a percepção de boa qualidade do ar interior.

Nico, Luizzi e Stefanizzi (2015) realizaram uma avaliação do conforto térmico nas salas de aula universitárias por meio de abordagem objetiva e análise subjetiva de preferência na Universidade Politécnica de Bari que é uma cidade situada no sul da Itália e tem um clima mediterrânico, caracterizado por verões quentes e úmidos e invernos moderados. O Mar Adriático atenua temperaturas ao ar livre: em janeiro, o mês mais frio, a temperatura média é de 8,6° C, enquanto em julho, o mês mais quente, a temperatura média é de 24,7° C. A análise foi dividida da seguinte forma: a primeira análise envolveu uma comparação do modelo de Fanger e a abordagem adaptativa e uma comparação destes resultados com os votos reais expressos através de questionários; uma segunda análise envolveu a sensação dos ocupantes e um estudo final da correlação entre os indivíduos com a possibilidade de controlar os parâmetros ambientais e a sensação térmica. Verificou-se também se existia diferença entre homens e mulheres e se isso influenciava o julgamento acerca do ambiente térmico. Os autores concluíram que a geometria do ambiente tem uma grande influência sobre as condições térmicas, devido às diferentes zonas térmicas. As diferentes condições térmicas entre as diferentes zonas térmicas influenciam o voto do aluno. Os valores de PMV e PPD são semelhantes aos votos reais relatados nos questionários, contudo houve uma ligeira subestimação dos dados entre os modelos.

Haverinen-Shaughnessy et al. (2015) realizaram uma avaliação da qualidade ambiente interno em escolas e sua associação com a saúde e o desempenho. O estudo foi desenvolvido nos Estados Unidos, em 70 escolas durante dois anos letivos consecutivos. Dados de absentismo e da saúde dos estudantes também foram coletados com a finalidade de averiguar as associações entre diferentes indicadores de qualidade do ambiente interno e o desempenho dos estudantes. Os resultados mostraram que não há significativa correlação entre o absentismo e os parâmetros de IEQ (Qualidade do Ambiente Interno). Significantes correlações foram observadas entre a porcentagem de alunos que tiveram bom desempenho em provas de matemática e provas de leitura e ambos temperatura interna da sala e taxa de ventilação. Os resultados sobre as partículas de poeira mostram que não houve correlação entre elas com os parâmetros de IEQ, saúde e desempenho dos estudantes. Além disso, a taxa de ventilação foi associado com número médio de visitas a enfermeira da escola devido a sintomas respiratórios. Assim o estudo concluiu que a taxa de ventilação da sala de aula, temperatura como também a higiene do alto contacto superfícies parecem ser importantes parâmetros para IEQ e potencialmente relacionadas com a saúde e / ou o desempenho do aluno.

3.2. CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO SISTEMÁTICA

Observa-se que existem diversas diferenças entre os estudos no que tange o clima, a geografia e demografia, contudo podem-se notar algumas semelhanças. Em todos os estudos os entrevistados, em sua maioria crianças, optaram por um ambiente térmico que se encontra em uma das três categorias centrais de sensação da escala térmica da ASHRAE 55, ou seja, os participantes (no mínimo 50% deles) optaram por ambientes que estavam classificados como “um pouco frio”, “neutro” e “um pouco quente”, e isso sugere que há uma alta adaptabilidade dos entrevistados. Quando a temperatura externa das salas de aulas encontrava-se quente, como observado em Taiwan (HWANG et al., 2009b; LIANG; LIN; HWANG, 2012) e na Austrália (DE DEAR et al., 2015b), ou fria (CORGNATI; FILIPPI; VIAZZO, 2007; DE GIULI; DA POS; DE CARLI, 2012), as sensações térmicas dos estudantes ainda estavam dentro do estado neutro de percepção.

Pode-se observar que alguns estudos realizaram a construção de modelos para o cálculo da temperatura neutra da população pesquisada, contudo, a maioria não realizou tal análise gerando uma lacuna para identificação de qual seria a temperatura a qual os entrevistados consideravam ideal para o desenvolvimento de suas atividades. Como pode ser observado, através da revisão, a depender da localidade a temperatura neutra difere, ou seja, há indícios que a depender do clima da região e da temperatura externa os indivíduos adaptam suas preferências. Isso vem a corroborar a premissa que diferentes climas e diferentes regiões podem alterar, na percepção dos indivíduos a temperatura de conforto.

Em ambientes mais frios como na Inglaterra (TELI; JENTSCH; JAMES, 2012) a temperatura neutra foi de 20,5 °C em contrapartida em ambientes mais quentes com clima subtropical como na Austrália a temperatura neutra foi de 22,5°C. Dentre os climas mais quentes como Taiwan e Cingapura a temperatura neutra foi de 28,8°C (HWANG et al., 2009a). Isso vem a corroborar com a teoria do conforto adaptativo desenvolvido por Fanger (1970).

Assim há indícios que diferenças na neutralidade térmica dos estudantes estão correlacionados com a adaptação e a tolerância a temperaturas do ambiente em que eles vivem, contudo, não são claros os mecanismos dessa associação. Os autores Wong e Khoo

(2003) sugerem que aspectos fisiológicos (aclimatação), psicológicos (habito) e físicos (ajustes no vestuário do dia) poderiam explicar tais considerações, contudo o estudo deles foi aplicado em adultos.

Neste sentido, através do modelo proposto por Fanger (1970) a qual foi a base para o desenvolvimento das normas internacionais atuais ISO 7730 (2005) e ASHRAE 55 (2013), pode-se definir os valores para as temperaturas de conforto para ambientes fechados levando em consideração o balanço térmico humano e o modelo térmico adaptativo. Contudo, o modelo criado não garante que o resultado obtido irá refletir com precisão a sensação térmica e preferência de crianças (MORS et al., 2011; TELI; JENTSCH; JAMES, 2012). Assim, observou-se nos estudos que a sensação térmica real é subestimada em crianças, que demonstram sensações mais quentes do que a prevista pelo modelo de PMV e PPD proposto por Fanger (MORS et al., 2011; WONG; KHOO, 2003; ZEILER; BOXEM, 2009). Na pesquisa realizada por Teli, Jentsch e James (2012), observa-se que as crianças têm preferência térmica para ambientes mais frios do que o relatado pelo modelo de adaptação.

Neste contexto, através da revisão sistemática, ainda pode-se observar os efeitos da temperatura da sala de aula sobre o desempenho escolar. Os autores Mendell e Heath (2005) descobriram que as temperaturas mais altas (acima de 24° C) tendem a reduzir o desempenho, enquanto temperaturas mais baixas (abaixo de 22° C) reduzem a destreza manual e velocidade. Mas vale salientar que a depender da região e conseqüentemente do clima da área em que o estudo está sendo desenvolvido, as faixas de temperatura podem se modificar. Isso vem a corroborar a necessidade que para cada região a ser analisada, seja desenvolvido um modelo que leve em consideração as características locais de clima e características da população.

No estudo de Wargocki e Wyon (2006) em salas de aulas dinamarquesas observou-se a influência de temperaturas moderadamente quentes sobre o desempenho dos alunos. Eles constataram que reduzir a temperatura de 25° C a 20° C gerou um efeito positivo sobre o desempenho dos estudantes dinamarqueses, pois a velocidade do desenvolvimento das tarefas aumentou em 2 %, entretanto a diminuição da temperatura não apresentou nenhum efeito direto sobre a quantidade de erros cometidos (WARGOCKI; WYON, 2006)

Embora Mendell e Heath (2005) forneçam uma revisão abrangente dos efeitos da temperatura sobre o desempenho do aluno em sala de aula vale ressaltar que a literatura sobre os impactos do ambiente térmico sobre o desempenho escolar de crianças é inconsistente. Além disso, a maioria das pesquisas vem de zonas climáticas com temperaturas baixas, assim

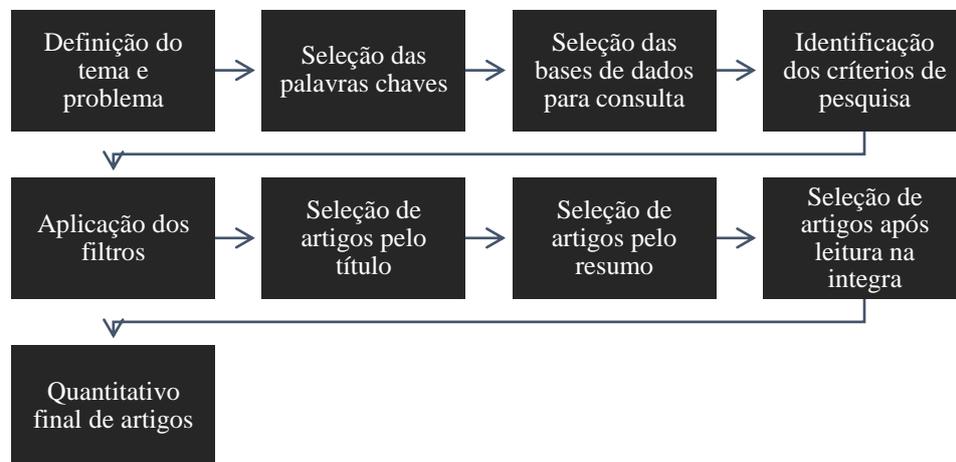
os efeitos da aclimatação em regiões com altas temperaturas é ignorado por essas generalizações. No entanto, a literatura demonstra que o aumento da temperatura da sala de aula pode ter um efeito negativo sobre o conforto das crianças e desempenho acadêmico; desconforto diminui tempo de atenção das crianças quando a temperatura e a umidade exceder sua zona de conforto (MENDELL; HEATH, 2005; ZEILER; BOXEM, 2009).

3.3.PROCEDIMENTOS E RESULTADOS QUANTITATIVOS DA REVISÃO SISTEMÁTICA

Para a construção da revisão foram adotadas etapas baseada na metodologia PRISMA de revisão sistemática que foi criada por um grupo de 29 autores. Eles desenvolveram uma lista de verificação de 27 itens considerados essenciais para uma informação transparente sobre uma revisão sistemática (LIBERATI et al., 2009).

Pode-se observar através da figura 3 as etapas da pesquisa adotada nesta revisão.

Figura 3 - Etapas da pesquisa sistemática



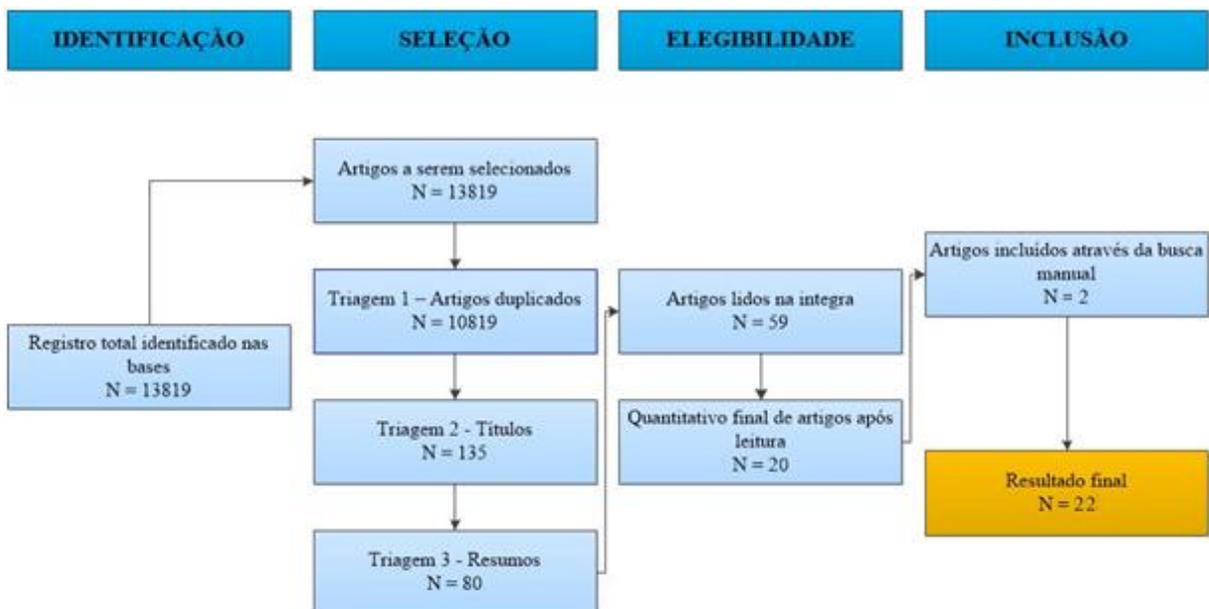
Fonte: Elaborado pelo autor

As bases de dados consultadas no período de novembro de 2014 a abril de 2015 foram: Scielo, Web of Science, Science Direct. Utilizaram-se as seguintes palavras chaves: Thermal Comfort; Performance; Students Performance; Classroom; Reasoning Tests Battery; Inteligents; Classroom Environment; Information and Communication Technology; Technological innovations.

Para o aprimoramento e delimitação da quantidade de artigos que compõe a pesquisa foram utilizados conjugação de palavras-chave (ex: Thermal comfort & Students Performance) e alguns artifícios, tais como: idioma (apenas artigos publicados em inglês ou em português); e, data de publicação (artigos dos últimos 10 anos). Foram considerados como critérios de inclusão: estudos realizados em ambiente interno, abordando o desempenho cognitivo em salas de aula com inovações tecnológicas e publicados na íntegra. Os critérios de exclusão inicialmente considerados foram: Alinhamento do título e do resumo com o que se propõe a pesquisa. Também foram incluídos artigos obtidos através de busca manual.

Todas as pesquisas das bases foram exportadas para o programa Mendeley® que é um gerenciador de referência gratuito. Através desta ferramenta os artigos foram organizados e avaliados para compor ou não a presente revisão sistemática. A partir da figura 4 pode ser observado o resultado das pesquisas, nas bases de dados, bem como o quantitativo final de artigos selecionados para a presente revisão.

Figura 4 - Resultado quantitativo das etapas da revisão sistemática



Fonte: Elaborado pelo autor.

CAPÍTULO 4: METODOLOGIA

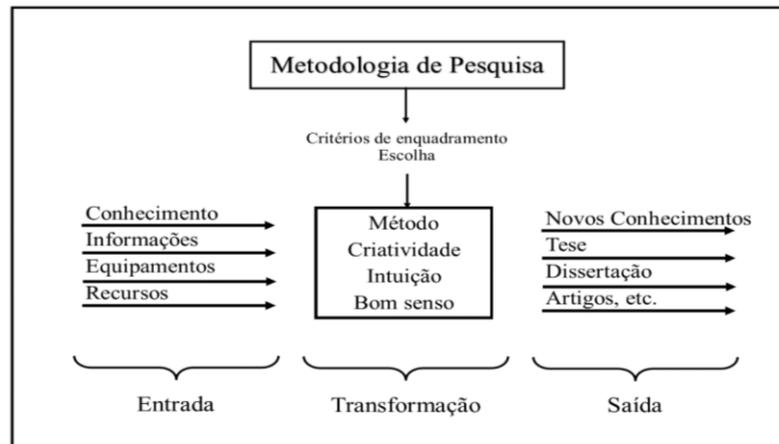
Este capítulo retrata os procedimentos metodológicos adotados, ou seja, o enquadramento, os métodos, as ferramentas utilizadas e as variáveis investigadas para a construção desta dissertação. Inicialmente faz-se uma breve análise sobre a produção do conhecimento e sua correlação dentro da engenharia de produção. Em seguida classifica-se a presente pesquisa, define-se a amostra utilizada, as variáveis e indicadores adotados.

Posteriormente descrevem-se todas as etapas realizadas para a coleta de dados, contudo para melhor compreensão optou-se por dividir tal análise de acordo com o tipo de parâmetro avaliado. Por fim finaliza-se o capítulo com os procedimentos adotados para o tratamento e análise dos dados obtidos em campo.

4.1.PRODUÇÃO DE CONHECIMENTO

Segundo Cauchick Miguel et al. (2012) o processo de geração de conhecimento científico ou acadêmico tem de seguir uma série de regras e procedimentos, que pode ser denominada como método de pesquisa. O método pode ser correlacionado dentro da Engenharia de Produção como o processo de produção de um bem ou serviço que possui entrada, processamento e uma saída. Neste caso, a saída será o conhecimento científico. A figura 5 elucidada de forma visual como o processo de produção do conhecimento é semelhante ao processo genérico de produção de bens ou serviços.

Figura 5 - Processo de produção de conhecimento



Fonte: Adaptado de Cauchick Miguel et al. (2012)

Assim, tal processo necessita de um planejamento e de etapas concisas para que a posteriori qualquer pesquisador possa replicar o estudo, para obter os mesmos resultados. Neste contexto insere-se a metodologia da pesquisa que segundo Prodanov e Freitas (2013), Matias Pereira (2010), Gil (2010) e Marconi e Lakatos (2004) é uma disciplina utilizada como instrumento dentro do meio científico para gerar e resolver problemas de aquisição objetiva do conhecimento, através de uma abordagem sistemática baseada em raciocínio lógico, ou seja, é uma disciplina que através de um conjunto de ferramentas, técnicas e abordagens aplica procedimentos sistemáticos que visam encontrar soluções para problemas através da abordagem científica.

Dentro o contexto metodológico, com o intuito de formatar esse projeto, utilizou-se a NBR 14724 sobre “Informação e documentação — Trabalhos acadêmicos - Apresentação” (BRASIL, 2011) para padronizar a estrutura deste trabalho de acordo com o que é exigido pela Associação Brasileira de Normas e Técnicas (ABNT). Na sessão a seguir, com base no que a literatura indica, é apresentado a classificação e enquadramento da presente pesquisa.

4.2.CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Quanto à abordagem, o mesmo se classifica como quantitativa, pois tenta traduzir em números opiniões e informações sobre conforto térmico e sensação térmica, para classificá-las e analisá-las, usando de técnicas estatísticas e recursos computacionais. Segundo Cauchick

Miguel et al. (2012) o ato de mensurar as variáveis com o intuito de capturar as evidências da pesquisa é a característica primordial da abordagem quantitativa, contudo características como a casualidade, que procura evidenciar o relacionamento de causa e efeito entre as variáveis dependentes e independentes, a generalização que trata da possibilidade dos resultados obtidos serem generalizados para além dos limites da pesquisa, e a replicação que trata da possibilidade de outro pesquisador repetir a pesquisa e encontrar os mesmo resultados, são aspectos importantes dentro da abordagem quantitativa que também serão levadas em consideração dentro desta pesquisa.

De acordo com os objetivos, classifica-se esta pesquisa como experimental já que busca identificar os fatores relacionados ao conforto térmico no desempenho dos estudantes em ambientes inteligentes. Para Gil (2010) a pesquisa experimental para o autor consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz.

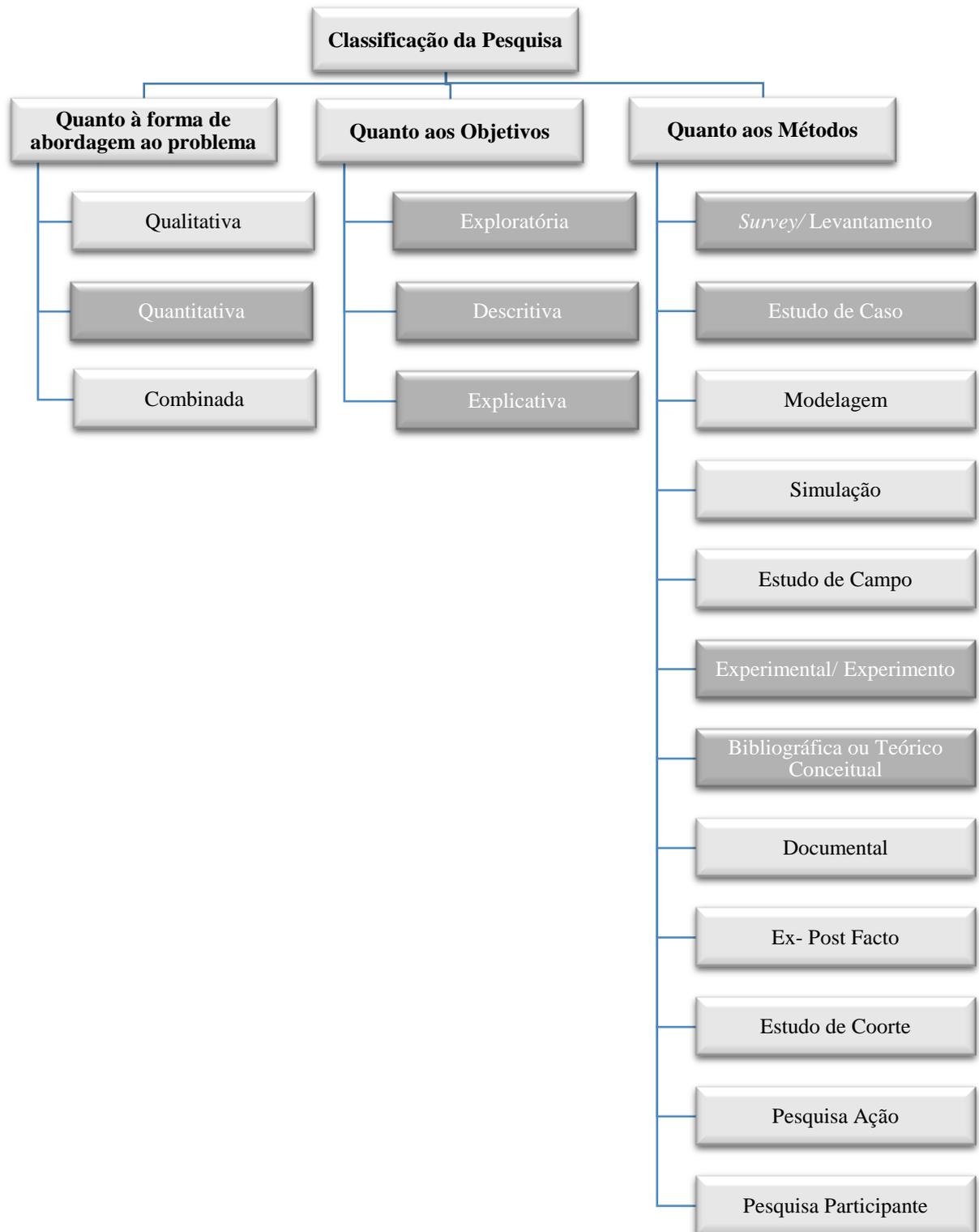
Ainda quanto aos objetivos, se caracteriza como: Exploratória, porque visa proporcionar maior entendimento sobre a influência do conforto térmico no desempenho dos estudantes em ambientes que possuem inovações tecnológicas; Descritiva, porque descreve o conforto térmico e a relação com suas principais variáveis; assim como, explicativa, porque procura verificar se o conforto térmico pode ser considerado um fator condicionante para o desempenho dos estudantes. Segundo Prodanov e Freitas (2013) a pesquisa exploratória visa proporcionar mais informações sobre o assunto investigado possibilitando sua definição e delineamento, a pesquisa descritiva visa descrever as características de determinada população ou fenômeno ou estabelecimento de relações entre variáveis, e a pesquisa explicativa segundo Gil (2010) tem como preocupação central identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos, ou seja, ela busca aprofundar o conhecimento da realidade, porque explica a razão, o porquê das coisas.

Quanto aos meios, baseado nas definições de Matias Pereira (2010) classifica-se como: Bibliográfica, porque utiliza material já publicado como livros, teses, dissertações, artigos de periódicos para fundamentar através da teoria o estudo; Levantamento, pois os participantes serão interrogados de forma direta quanto a sua percepção térmica através, de modo que mediante análise quantitativa, se possa chegar a conclusões referentes à relação entre a sensação térmica analiticamente calculada pelas diversas normas e o realmente observado e descrito pelos participantes; e como experimental, porque ao se desejar identificar a relação entre o conforto térmico e o desempenho, será necessário definir formas

de controle dos parâmetros envolvidos. Ainda pode-se classificar a pesquisa como estudo de caso pois de acordo com Gil (2010) pois ela explorar situações da vida real, o estudo está descrito e delineado de acordo com a situação do contexto, há a formulação de hipóteses e tenta-se explicar as variáveis causais de determinado fenômeno em situações muito complexas.

Assim através da figura 6 pode-se observar de forma sintética e ilustrativa o enquadramento metodológico a qual este projeto está inserido.

Figura 6 - Enquadramento metodológico da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor

Na próxima sessão são definidos os locais onde a pesquisa foi desenvolvida bem como a amostra e suas limitações.

4.3.POPULAÇÃO E AMOSTRA

O estudo realizou-se em duas cidades da região Nordeste do Brasil, cujo clima é quente na maior parte do ano (INPE, 2007), garantindo assim, a homogeneidade de algumas variáveis climáticas.

Os dados foram coletados em duas instituições de ensino superior com alunos graduandos do curso de exatas, em salas de aulas climatizadas. Assim as instituições foram classificadas como “A” e “B” e os experimentos foram realizados em ambientes de ensino com computadores de mesa e que apresentassem equipamentos de vídeo conferencia como *Datashow*, *Wireless*, entre outros.

Ressalta-se que antes de os alunos serem submetidos aos testes cognitivos no laboratório de informática, os mesmos foram conduzidos a uma sala com condições climáticas favoráveis, proporcionando um período de descanso para seus organismos, verificando e avaliando suas pressão arterial e frequência cardíaca.

Optou-se nesse estudo, por selecionar uma amostra de estudantes de exatas, em cursos superiores em duas áreas distintas do nordeste brasileiro, que estivessem acessíveis e dispostos a participar da pesquisa durante os três dias consecutivos. Neste sentido para melhor compreender esse estudo dividiu-se por cada instituição a análise, como pode ser observado a seguir.

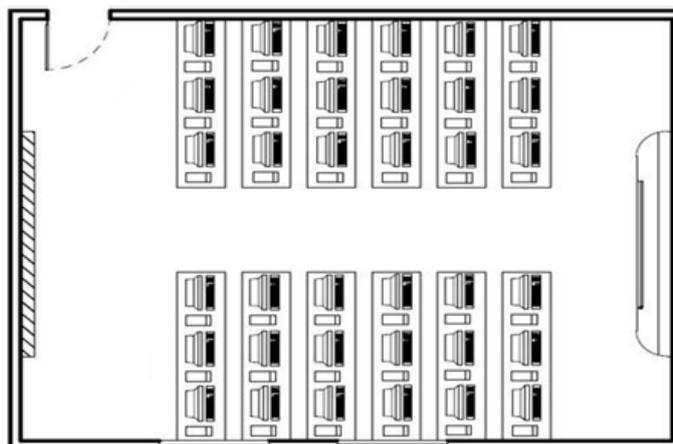
4.3.1. Instituição A

A instituição “A” é uma universidade privada e localiza-se na cidade de João Pessoa no estado da Paraíba. Ela possui em seu ambiente de ensino 35 computadores com monitores de raio catódico-CRT (Cathodic Ray Tube) distribuídos em 8 bancadas, onde o monitor, teclado e mouse estavam posicionados sobre a bancada e o gabinete e estabilizador encontravam-se na parte de baixo.

O local apresenta uma área de 76,44m², é servido por iluminação artificial e possuía duas janelas pintadas com material fosco preto, que impedia a entrada de iluminação natural.

O ambiente possui um aparelho de ar condicionado, posicionado de forma centralizada na parede posterior ao quadro, como pode ser observado através da figura 7 que representa o layout da instituição A.

Figura 7 - Layout do ambiente de ensino da instituição A.



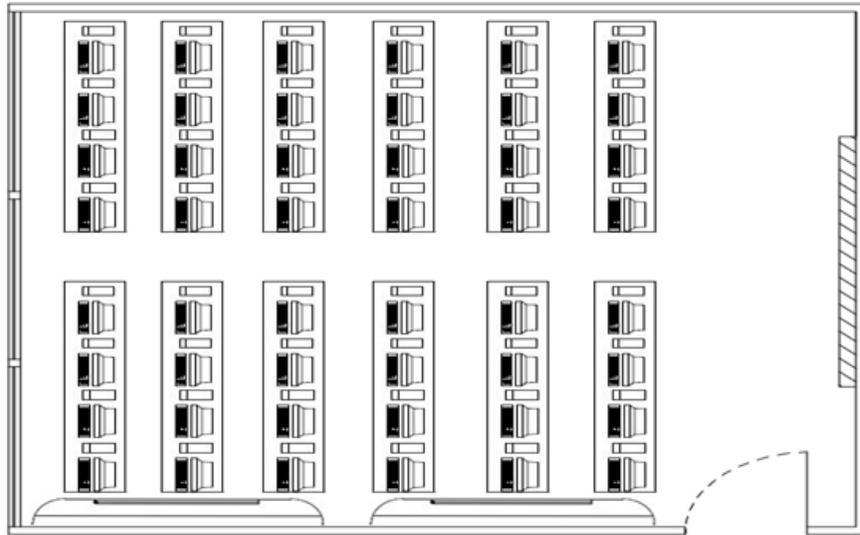
Fonte: Elaborado pelo próprio autor

A amostra de alunos participantes foi de $N=77$ que gerou um total de 231 formulários preenchidos.

4.3.2. Instituição B

A instituição “B” é uma universidade pública e localiza-se na cidade de Teresina no estado do Piauí. O experimento foi realizado no laboratório de informática, dessa instituição, que possui uma área de aproximadamente 112 m^2 onde estavam inseridos 48 computadores com monitores com tela de cristal líquido-LCD (Liquid Cristal Display) dispostos em 10 bancadas, onde os periféricos de entrada e saída encontravam-se sobre a bancada e o gabinete e estabilizador encontrava-se abaixo da bancada. A sala era climatizada com dois aparelhos de ar-condicionados do tipo *split*, apresentava iluminação artificial e natural com as janelas dispostas de forma lateral e com película com 50% de transparência e espelhada na parte de fora da sala, que diminui a incidência da radiação advinda do meio externo. A figura 8 mostra o *layout* da sala e a distribuição dos equipamentos.

Figura 8 - Layout do ambiente de ensino da instituição B.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A amostra de alunos participantes foi de $N=26$ com um total de 78 formulários respondidos. Na sessão a seguir são apresentados as variáveis e indicadores obtidos com as coletas.

4.4.VARIÁVEIS E INDICADORES

O quadro 6, abaixo, apresenta as variáveis analisadas no presente estudo bem como seus respectivos indicadores. Vale salientar que algumas variáveis são calculadas a partir de outras como a Temperatura Radiante Média e a Temperatura de Ponto de Orvalho, contudo para uma melhor visualização dos parâmetros e indicadores utilizados nesse estudo, optou-se por inserir tais variáveis no quadro.

Quadro 6 - Variáveis e indicadores da pesquisa

	Variáveis	Indicadores
Parâmetro de conforto	Pessoais	Atividade desempenhada Isolamento térmico das vestes Genero
	Ambientais	Temperatura do ar

		Temperatura de Globo Temperatura Radiante Media Temperatura de bulbo úmido Temperatura de ponto de orvalho Temperatura operativa Velocidade do ar Pressão Parcial do Vapor d'água no ar ambiente
Parametros Subjetivos	Avaliação Térmica (Anexo 5)	Sensação e Desejo através da escala de sete pontos de percepção e preferencias da ISO 7730/2005. O conforto através de uma escala Likert de 4 pontos.
Desempenho	Raciocínio	Raciocínio Verbal Raciocínio Abstrato Raciocínio Mecânico Raciocínio Espacial Raciocínio Numérico Raciocínio Total

Fonte: Adaptado de Vasconcelos (2013) e Siqueira (2015).

Os parâmetros de conforto são baseados na norma ISO 7730 (2005), os parâmetros subjetivos são baseados na ISO 10551 (1995). Em relação aos parâmetros de desempenho, estes foram fundamentados na BPR5 (PRIME; ALMEIDA, 2000).

Algumas das variáveis estudadas necessitaram de alguns tratamentos para realizar a modelagem matemática. No quadro 10 são apresentadas todas as variáveis utilizadas na modelagem estudo bem como sua descrição.

Quadro 7 – Variáveis utilizadas nas simulações e suas descrições

Variável	Sigla	Descrição
Metabolismo	M	Taxa metabólica dos estudantes. Segundo Coutinho (2005) para a atividade de estudo ou utilizar o computador adota-se $M=1,2$ met.
Isolamento térmico das vestes	ICL	Soma da resistência térmica das vestimentas indicada por cada individuo, de acordo com a roupa que estavam utilizando no dia.
Gênero	SX	Gênero do participante. $SX=1$ sexo masculino; $SX=2$ sexo feminino.
Temperatura do ar (temperatura de bulbo seco)	Ta	Temperatura do ar, por dia de coleta, de acordo com o tempo de permanência de cada aluno e de acordo com o horário de inicio e termino na realização da bateria de provas.
Temperatura	Trm	Calculada através da norma ISO 7730/2005, por dia de coleta, de acordo

Radiante Media		com o tempo de permanência de cada aluno e de acordo com o horário de início e término na realização da bateria de provas.
Temperatura Operativa	Top	Calculada através da norma ISO 7730/2005, por dia de coleta, de acordo com o tempo de permanência de cada aluno e de acordo com o horário de início e término na realização da bateria de provas.
Temperatura de Bulbo Umido	Tw	Temperatura de Bulbo Úmido, por dia de coleta, de acordo com o tempo de permanência de cada aluno e de acordo com o horário de início e término na realização da bateria de provas.
Temperatura de Ponto de Orvalho	To	Temperatura de ponto de orvalho, por dia de coleta, de acordo com o tempo de permanência de cada aluno de acordo com o horário de início e término na realização da bateria de provas.
Temperatura de Globo	Tg	Temperatura do termômetro de globo, por dia de coleta, de acordo com o tempo de permanência de cada aluno e de acordo com o horário de início e término na realização da bateria de provas.
Velocidade do ar	Var	Velocidade relativa do ar. Foi adotado nesse estudo o valor de Var= 0,1 m/s de acordo com Coutinho (2005) para ambientes fechados
Pressão Parcial do Vapor d'água no ar ambiente	UR	Umidade relativa do ar em porcentagem, por dia de coleta, de acordo com o tempo de permanência de cada aluno de acordo com o horário de início e término na realização da bateria de provas.
Percepção térmica	Sens	Sensação térmica do ambiente indicada pelo estudante em cada dia de coleta através da adaptação da escala de 7 pontos da ISO 7730/2005, em virtude da inserção do questionários na plataforma on line. Sens=1 ambiente muito quente; Sens=2 ambiente quente; Sens=3 ambiente levemente quente; Sens=4 ambiente nem quente nem frio (neutro); Sense=5 ambiente levemente frio; Sens=6 ambiente frio; Sens=7 ambiente muito frio.
Preferencias térmica	Des	Como os estudantes prefeririam que o ambiente estivesse. Adapatação da escala de 7 pontos da ISO 7730/2005. Des=1 que o ambiente ficasse muito quente; Des=2 que o ambiente ficasse quente; Des=3 que o ambiente ficasse levemente quente; Des=4 que o ambiente ficasse nem quente nem frio (neutro); Des=5 que o ambiente ficasse levemente frio; Des=6 que o ambiente ficasse frio; Des=7 que o ambiente ficasse muito frio.
Conforto térmico	Conf	Como os estudantes sentiam-se em relação ao ambiente. Conf=1 confortáveis; Conf=2 levemente desconfortáveis; Conf=3 desconfortáveis; Conf=4 muito desconfortáveis.
Voto Médio Predito	PMV	Calculado através da norma ISO 7730/2005
Porcentagem de	PPD	Calculado através da norma ISO 7730/2005

Pessoas Insatisfeitas		
Raciocínio Verbal	RV	Número de acertos na prova de Raciocínio Verbal
Raciocínio Abstrato	RA	Número de acertos na prova de Raciocínio Abstrato
Raciocínio Mecânico	RM	Número de acertos na prova de Raciocínio Mecânico
Raciocínio Espacial	RE	Número de acertos na prova de Raciocínio Espacial
Raciocínio Numérico	RN	Número de acertos na prova de Raciocínio Numérico
Número de acertos total por dia	BPR5	Soma de total de acertos de todas as provas de raciocínio por dia de coleta, ou seja, a quantidade de acertos por aluno por dia.
Categorização do BPR5	BPRTOT	Categorização realizada com base no trabalho de Primi e Almeida (2000). BPRTOT=1 desempenho abaixo da média ($BPR5 < 5$); BPRTOT=2 desempenho na média ($5 \leq BPR5 \leq 15$); BPRTOT=3 desempenho acima da média ($BPR5 > 15$).
Categorização do ICL	ICLTOT	Categorização da resistência térmica das vestimentas dos alunos, baseada no resultado das simulações realizadas. ICLTOT=1 quando o valor do $ICL \leq 0,39$; ICLTOT=2 quando o valor de $ICL > 0,39$.
Categorização da Sensação	SENSTOT	Categorização da sensação onde: SENSTOT=0 se o ambiente for classificado como neutro $Sens=4$; SENSTOT=1 se o ambiente for classificado como frio $Sens < 4$; SENSTOT=2 se o ambiente for classificado como quente $Sens > 4$.
Categorização do desejo	DESTOT	Categorização do desejo onde: DESTOT=0 se os alunos desejaram que o ambiente permanecesse como estava, ou seja, nem aumentasse nem diminuísse a temperatura $Des=4$; DESTOT=1 se os alunos desejaram que o ambiente ficasse frio $Des < 4$; DESTOT =2 se os alunos desejaram que o ambiente ficasse quente $Des > 4$.
Categorização do PMV	PMVTOT	Com base em Coutinho (2005) o ambiente pode ser classificado de três formas de acordo com o valor do PMV. PMVTOT=1 o ambiente é classificado como confortável se $-0,5 \leq PMV \leq +0,5$; PMVTOT=2 o ambiente é classificado como desconfortável para o frio se $PMV < -0,5$; PMVTOT=3 o ambiente é classificado como desconfortável para o calor se $PMV > +0,5$.

Fonte: Elaborado pelo autor

Vale salientar que as variáveis de Sensação e Desejo necessitaram passar por uma conversão de códigos para as simulações dos dados e construção dos modelos, inicialmente foi utilizado a escala de 7 pontos da ISO7730 que vai de -3 a +3 para construção dos gráficos e algumas tabelas e posteriormente foi convertida para 1 a 7. Tal Conversão de códigos não alterou os resultados e somente foi usado em virtude da necessidade do Software R Project para regressão linear ordinal e para formulação dos modelos estatísticos.

4.5. COLETA DE DADOS

Os dados foram obtidos em três dias consecutivos. A temperatura dos aparelhos de ar-condicionado foi ajustada para as seguintes temperaturas 20°C e 24°C e no último dia foi desligado para tentar atingir 30°C. De acordo com a ISO 7730(2005) a temperatura de 22°C a 24°C é considerada dentro da faixa de conforto enquanto, por exemplo, os valores de 20°C e 30°C são consideradas temperaturas de desconforto térmico, para frio e para o calor, respectivamente. Vale salientar que tais faixas também foram utilizadas por diversos autores em seus experimentos como, por exemplo, no estudo de Lan, Lian e Pan (2010), Lan, Wargocki e Lian (2011) e Siqueira (2015).

As etapas adotadas para coleta e obtenção dos dados da pesquisa estão representadas de acordo com o quadro 8.

Quadro 8 - Etapas utilizadas na obtenção dos dados da pesquisa.

Etapas	Descrição
1 – Objetivos da pesquisa	Houve uma orientação acerca dos objetivos da pesquisa. Posteriormente explicou-se sobre o preenchimento dos questionários de percepção, desejo e conforto térmico. Por fim, foi informada aos participantes a natureza das questões dos testes de raciocínio, através de exemplos.
2 – Aplicação do TCLE	Entregou-se o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) de acordo com o Anexo 1 e foram coletadas as assinaturas dos alunos que se dispuserem a participar da pesquisa.
3 – Aplicação dos questionários	Os alunos utilizaram desktops com internet para acessar, através da ferramenta on-line para <i>Survey</i> “QUALTRICS”, os questionários contendo a bateria de testes de raciocínio (Anexo 4) e os questionários subjetivos de sensação, desejo e conforto térmico. A senha para cada dia de testes foi disponibilizada no momento de sua

	realização, evitando assim que os participantes tivessem conhecimento das questões que iriam resolver. Vale ressaltar que os questionários de percepção e sensação térmica foram aplicados sempre após a bateria de provas de raciocínio.
--	---

Fonte: Elaborado pelo autor

Nas próximas sessões são apresentados, de forma detalhada, os procedimentos adotados bem como suas especificações para obtenção dos parâmetros desse estudo.

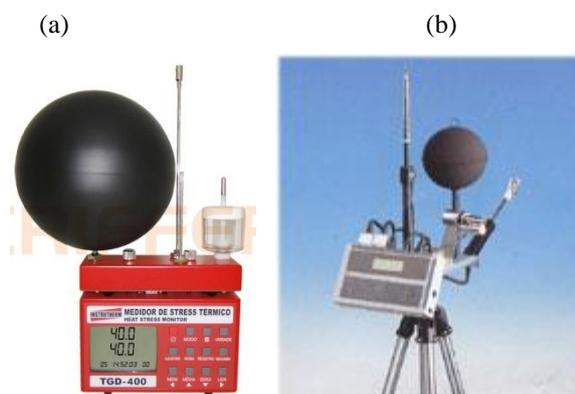
4.5.1. Variáveis do ambiente térmico

Com o intuito de se construir os indicadores definidos no quadro 7 foram coletadas as seguintes variáveis:

- Temperatura do ar (t_a);
- Temperatura de Bulbo Úmido (t_w);
- Temperatura de Ponto de Orvalho (t_o);
- Umidade Relativa (UR)
- Temperatura de Globo (t_g); e,
- Velocidade do ar (v_a).

Os equipamentos utilizados nas coletas, foram o Medidor de Estresse Térmico TGD300 e estação microclimática BABUC A que podem ser observados através da figura 9.

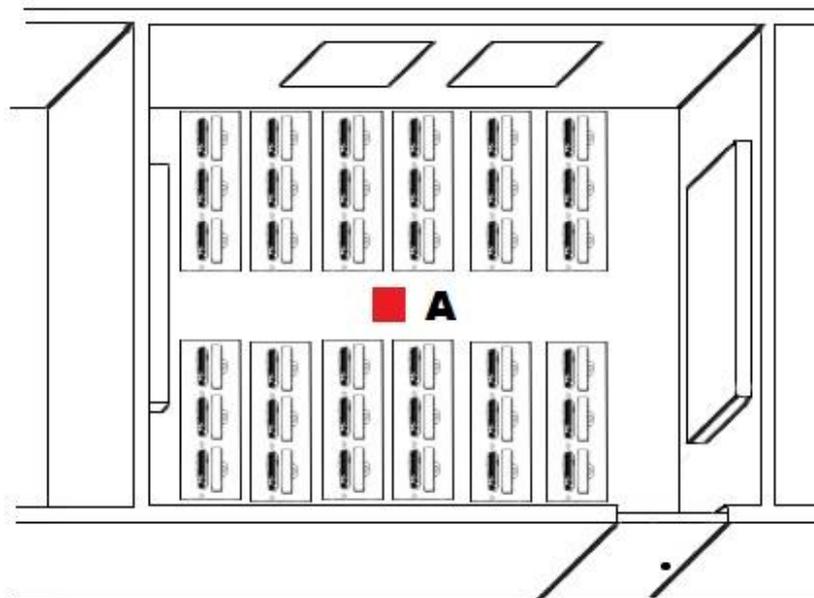
Figura 9 - Equipamentos para coleta: (a) Medidor de Estresse Térmico TGD400 (b) Estação microclimática BABUC.



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

Todos os equipamentos citados estão devidamente calibrados e certificados pelo INPE do Rio Grande do Norte. O posicionamento do equipamento, para coleta, foi definido de acordo com a norma 7726/1998, ou seja, ele foi posicionado no centro da sala (Ponto A, considerando o ambiente uniforme) de acordo com a figura 10, na altura do tronco (0,6m de altura) dos participantes que encontravam-se na posição sentada. Os dispositivos foram programados para coletar dados a cada minuto desde a entrada dos alunos, durante a aplicação dos testes e dos questionários, até a saída do último aluno da sala. Todos os aparelhos foram ligados 30 minutos antes do início da bateria das provas onde se realizou a programação e estabilização do sensor dos equipamentos para as medições com o intuito de se coletar os dados no dia.

Figura 10 - Posicionamento dos aparelhos para coleta de dados



Fonte: Elaborado pelo autor

Assim, ao fim do dia, os dados foram transferidos para planilhas eletrônicas, onde foram tratados e analisados.

4.5.2. Variáveis pessoais

As variáveis pessoais foram avaliadas através da Norma ISO 9920/1995 que auxilia no desenvolvimento da estimativa do isolamento térmico e resistência evaporativa das vestimentas. Assim todos os estudantes que participaram do presente estudo foram questionados acerca dos trajes que estavam utilizando no respectivo dia de coleta, ou seja, identificaram no questionário eletrônico as peças de roupas que estavam utilizando.

Após a identificação das peças de roupas calculou-se a resistência térmica da vestimenta (ICL) de cada aluno por dia. Em relação ao metabolismo dos alunos foi adotado o valor de $69,8\text{W/m}^2$ ou 1,2 Met, que equivale ao desenvolvimento de uma atividade sem grande esforço físico, onde a pessoa encontra-se sentada. Neste sentido de acordo com Coutinho (2005), considera-se a atividade como sendo sentada com trabalho leve das mãos quando se escreve se faz anotações no papel ou se digita em algum aparelho eletrônico como, por exemplo, notebook ou computador.

Dentro do questionário preenchido, também foi identificado o gênero (SX) e faixa etária (Id) dos participantes.

4.5.3. Parâmetros Subjetivos

Com o intuito de avaliar os parâmetros subjetivos, conexos ao posicionamento dos estudantes, acerca da sensação térmica (Sens), preferência térmica (Des) e conforto (Conf) de cada dia de análise, foram aplicados questionários sobre percepção, avaliação e preferência térmica (ANEXO 2), que já estão validados dentro da literatura, pois são baseados nas escalas de 7 pontos de percepção e preferência da norma ISO 10551 (1995) e ASHRAE 55 (2013). Vale ressaltar que o questionário foi explicado aos estudantes antes de sua aplicação, com o intuito de retirar quaisquer dúvidas antes de seu preenchimento.

4.5.4. Desempenho dos estudantes

As habilidades cognitivas foram avaliadas pelas cinco provas que compõem o instrumento do BPR-5. Assim, com o intuito de se comparar o desempenho dos alunos em

todas as faixas de temperatura, optou-se por decompor o BPR-5 e reorganizá-lo em 3 testes resumidos de mesmo nível de dificuldade, que foram aplicados a cada dia

Cada bateria foi composta de 4 questões referentes a cada teste de raciocínio, como mostra o quadro 9.

Quadro 9 - Organização do BPR-5

Teste	Descrição
Raciocínio verbal (RV)	Consiste em 4 itens em que a relação analógica existente entre um primeiro par de palavras deverá ser descoberta e aplicada de forma que identifique a quarta palavra entre as cinco alternativas de resposta que mantenha a mesma relação com uma terceira apresentada. (Duração: 4 minutos)
Raciocínio Abstrato (RA)	Prova composta por 4 itens em que é necessário que se descubra a relação existente entre os dois primeiros termos e aplicá-la ao terceiro, para se identificar a quarta figura entre as cinco alternativas de resposta. (Duração: 8 minutos)
Raciocínio Mecânico (RM)	Prova composta por 4 itens constituídos por gravuras que retratam um problema e opção de resposta. As questões são compostas por problemas práticos que envolvem conteúdos físico-mecânicos. A resposta é dada escolhendo-se entre as alternativas de resposta aquela que melhor responde à questão proposta pelo problema. (Duração: 8 minutos)
Raciocínio Espacial (RE)	Prova composta por 4 itens nos quais existem séries de cubos tridimensionais em movimento. Os movimentos podem ser constantes, por exemplo, sempre para a direita, ou alternados, por exemplo, para esquerda e para cima. Descobrendo-se o movimento, por meio da análise das diferentes faces, deve escolher-se entre as alternativas de resposta a representação do cubo que se seguiria se o movimento descoberto fosse aplicado ao último cubo da série. (Duração: 10 minutos)
Raciocínio Numérico (RN)	Prova composta por 4 itens na forma de séries de números lineares ou alternadas, em que o sujeito deve descobrir qual a relação aritmética que rege as progressões nas séries e aplicá-la respondendo quais seriam os dois últimos números que completariam a série. (Duração: 10 minutos)

Fonte: Adaptado de Almeida e Primi (2000) e Vasconcelos (2013).

Para selecionar as questões empregadas para cada dia em cada sessão da coleta, foi utilizada a classificação proposta por Campos (2005) que categoriza as questões da seguinte forma: classe gramatical e tipo de relação entre as palavras para raciocínio verbal (RV); tamanho da sequência numérica, operações matemáticas utilizadas, número de sequências lógicas utilizadas e complexidade das sequências lógicas para prova de raciocínio numérico (RN); tipos de regras de modificação e número de tipos de regras de modificação para prova

de raciocínio abstrato (RA); número de eixos de rotação, sentidos de rotação, faces visíveis dos cubos e presença de estímulos visuais nas bordas das faces dos cubos para raciocínio espacial (RE); e, tipo de conhecimento em física referente à prova de raciocínio mecânico (RM).

Assim, a partir dessa classificação o teste foi estruturado para ser aplicado, a cada dia de coleta, selecionando-se questões similares de cada raciocínio de forma aleatória sem reposição.

4.6. TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

Com o tratamento dos dados buscou-se delinear, ponderar e prever relações entre as variáveis. Como procedimento, após as coletas em campo, foram tabulados os dados através do programa Microsoft Excel® e, em seguida, os dados foram transferidos para outros *softwares* como R Project e SPSS®.

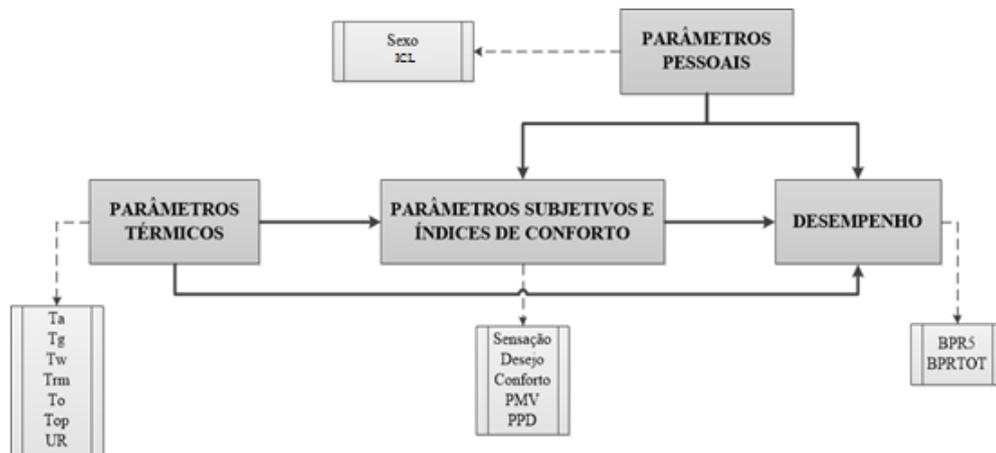
Com Excel® tabulou-se os resultados, criou-se gráficos, e organizou-se as variáveis obtidas, bem como através dele, realizou-se procedimentos de categorização de algumas variáveis de interesse. Com o SPSS® realizou-se os testes de normalidade de Kolmogorov Smirnov e Shapiro Wilk, além dos testes Mann Whitney e Kruskal Wallis para verificar se existia diferenças significativas entre algumas das variáveis térmicas. Através do R Project foi realizada a modelagem linear generalizada com os dados obtidos em campo para verificar a relação entre o conforto térmico e desempenho. Assim, o procedimento adotado para analisar os dados foi composto pelas seguintes etapas:

- 1) Descrição da instituição;
- 2) Descrição das condições climáticas da região;
- 3) Descrição das variáveis térmicas;
- 4) Descrição das variáveis subjetivas e índices de conforto;
- 5) Análise térmica geral
- 6) Descrição do Desempenho;
- 7) Modelagem.

Com as etapas, buscou-se observar os perfis de cada instituição bem como o comportamento dos parâmetros obtidos. Aplicaram-se testes de correlação para identificação de quais variáveis poderiam influenciar no desenvolvimento dos modelos (Apêndices A e B). Em seguida aplicaram-se alguns testes para identificar se havia normalidade dos parâmetros e assim definir os testes estatísticos mais adequados para verificar se existiam diferenças significativas nos parâmetros térmicos por dia, do presente estudo.

A partir da realização dessas análises desenvolveram-se modelos lineares com o intuito de compreender algumas interações entre variáveis independentes e dependentes, observando o efeito das primeiras (variáveis independentes) e o comportamento da relação entre elas. Por fim criaram-se Modelos Lineares Generalizados, considerando os dados das duas instituições conjuntamente, com a finalidade de avaliar a relação entre conforto térmico e o desempenho em ambientes de ensino inteligente em diferentes áreas da região nordestina. Contudo antes de realizar tal procedimento construiu-se um diagrama de relações entre os grupos de variáveis (ver figura 11) para utilizar como base para a busca dos modelos regressivos propostos.

Figura 11 - Diagrama de relações entre os grupos de variáveis.



Fonte: Elaborado pelo autor

O procedimento aqui adotado, para a modelagem, seguiu as seguintes etapas:

- 1) As variáveis de desempenho são as variáveis dependentes e todas as outras foram consideradas independentes já que se admite, de acordo com o diagrama de relações

da figura 11, que estas possuem efeitos diretos ou indiretos sobre a variável dependente.

- 2) No primeiro momento buscou-se investigar os efeitos de todos os parâmetros térmicos, de conforto e pessoais perante as variáveis de desempenho, acrescentando todas de forma simultânea no modelo ajustado e retirando a cada etapa do ajuste dos modelos a variável que se apresentava menos significativa (procedimento conhecido como *stepwise backward*). O objetivo dessa etapa foi investigar os efeitos daquelas variáveis, admitindo-se que agem conjuntamente sobre o desempenho (seja direta ou indiretamente).
- 3) Após os resultados da primeira análise e observando o valor do teste de Wald dos parâmetros, simulou-se o desempenho em função de cada parâmetro de conforto isoladamente, realizando todas as combinações par a par possíveis.
- 4) Em seguida, investigou-se exaustivamente a presença de efeitos da combinação de cada parâmetro de conforto com um único parâmetro térmico, observando sempre a significância dos parâmetros do modelo regressivo ajustado. O objetivo nessa etapa foi investigar os efeitos daquelas variáveis admitindo a ausência de efeitos das variáveis pessoais.
- 5) Após tal análise, e em virtude dos resultados obtidos das etapas anteriores, buscou-se realizar interações com as variáveis de conforto e as demais, par a par. A busca de efeitos de interação novamente foi realizada através de exaustivas combinações entre as variáveis. O objetivo dessa etapa foi investigar a ocorrência de efeitos de interação entre as variáveis de conforto e as demais.

Através destes procedimentos apresentaram-se resultados do presente estudo, salientando que o mesmo está de acordo com os aspectos éticos de pesquisas com seres humanos, como pode ser observado na sessão subsequente.

4.7.ASPECTOS ÉTICOS

O presente estudo foi avaliado e acompanhado, de acordo com os aspectos éticos cabíveis a todas as pesquisas envolvendo seres humanos, baseado nas diretrizes éticas

brasileiras (Res. CNS 466/12 e complementares) que afirma que toda pesquisa envolvendo seres humanos deverá ser submetida à apreciação de um CEP. (Comitê de Ética em Pesquisas)

O presente trabalho foi submetido, reconhecido e aprovado no CEP como eticamente adequado sob o número CAAE 46749415.5.0000.5188.

CAPITULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

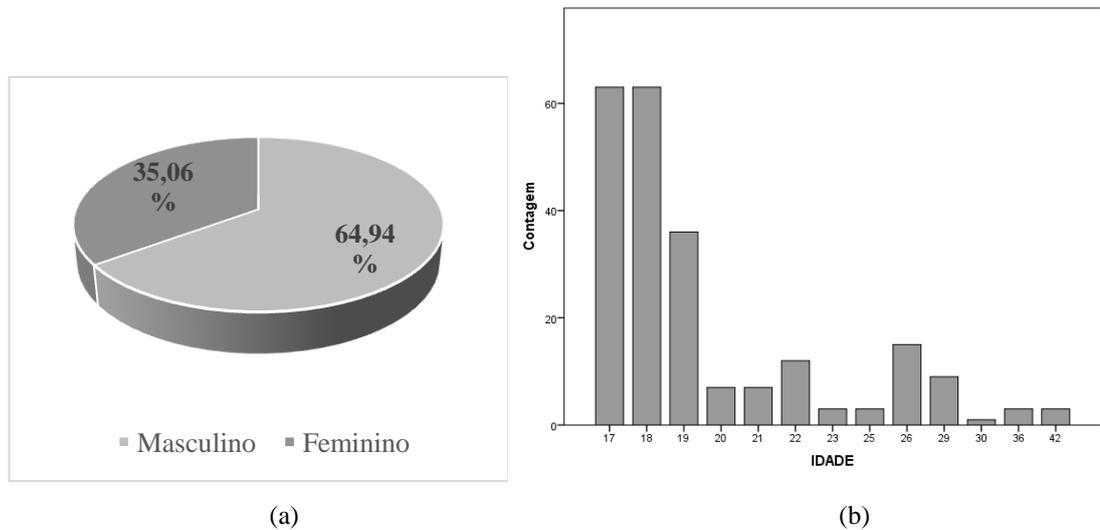
Este capítulo retrata a análise e discussão dos dados obtidos em campo os quais respondem aos objetivos geral e específicos propostos pela pesquisa. A priori, para melhor compreensão e contextualização dos resultados optou-se por dividir a análise de forma individual, por localidade de coleta, para posteriormente na construção e discussão dos modelos, poder-se desenvolver um entendimento consubstanciado.

Inicialmente buscou-se descrever as características de cada instituição separadamente. Logo após optou-se por descrever as condições climáticas da área da região nordeste onde o estudo foi realizado. Em seguida avaliaram-se os parâmetros térmicos realizando uma análise descritiva. Todo o procedimento descrito na sessão 4.6 foi necessário para investigar indícios das relações descritas no diagrama de relações da figura 11. A seguir está o resultado e discussão dos dados obtidos através da caracterização individual de cada instituição, a análise descritiva dos dados obtidos por dia e da modelagem estatística.

5.1. INSTITUIÇÃO A

A instituição “A” é uma universidade privada e localiza-se na cidade de João Pessoa no estado da Paraíba. O total de estudantes participantes foi de $n=77$. Através da figura 12 pode-se observar que há a predominância de alunos do sexo masculino com 64,94% contra 35,06% do sexo feminino e 72% dos estudantes tem idade entre 17 e 19 anos.

Figura 12 – (a) Gênero e (b) faixa etária dos participantes da instituição A.



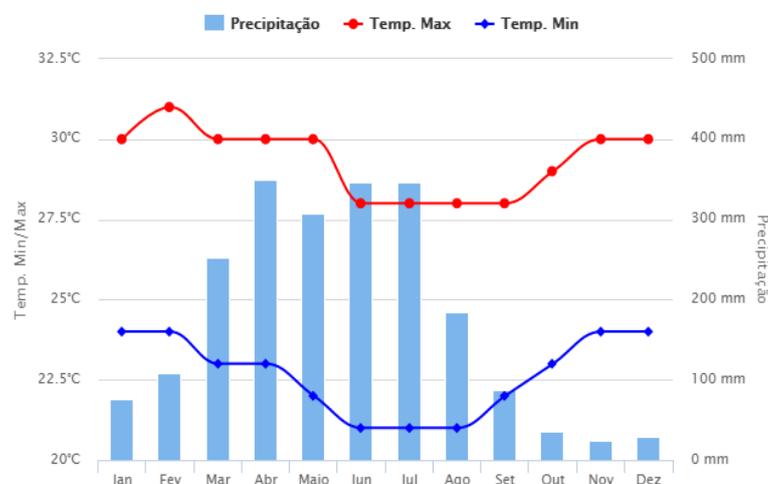
Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Na sessão seguinte são apresentados os dados climáticos gerais da localidade de coleta bem como as condições térmicas externas, obtidas nos dias de coleta.

5.1.1. Clima e condições climáticas

João Pessoa é uma cidade de clima tropical e úmido cuja temperatura é predominantemente quente como pode ser observado através da figura 13.

Figura 13 - Dados climatológicos da cidade de João Pessoa em 2014.



Fonte: <http://www.climatempo.com.br/climatologia/256/joaopessoa-pb>

Segundo o INPE (2015) a cidade de João Pessoa apresenta uma temperatura média anual em torno dos 26 °C. Tais condições climáticas decorrem da grande arborização presente na cidade além de características geográficas e de relevo, como por exemplo, estar a 40 m acima do nível do mar e ser uma cidade litorânea com cerca de 30 km de praias (IBGE, 2015).

Vale observar que no mês de setembro, mês de realização das coletas, através da figura 13, a temperatura máxima foi de 31,5 °C e mínima de 22 °C. Neste contexto os experimentos na instituição A foram desenvolvidos nos dias 18, 19, 20, 25, 26, 27 de setembro de 2014, no turno da tarde e sempre com duas turmas por dia. A primeira turma sempre iniciando as 14 horas e a segunda turma iniciando as 16 horas. As turmas foram compostas por estudantes universitários de diferentes cursos de exatas.

A seguir são apresentadas as análises dos parâmetros térmicos obtidos nos dias de coleta bem como alguns tratamentos estatísticos realizados para melhor compreender o comportamento das variáveis estudadas. Vale salientar que se agruparam os dias de coleta de acordo com o ajuste nos aparelhos de ar condicionado, ou seja, nos dias 18 e 25 a temperatura foi ajustada para 20°C assim a análise foi realizada com a junção dos dados referentes a esses dois dias. Por fim estendeu-se esse procedimento para os dias 19 e 26 e os dias 20 e 27.

5.1.2. Variáveis térmicas

Na coleta dos dias 18 e 25 de setembro ajustou-se o ar condicionado para a temperatura de 20°C. Após a entrada dos alunos houve uma oscilação dos parâmetros térmicos, porém, tal oscilação foi pequena como pode ser observado através da tabela 1 que sumariza os dados das variáveis do ambiente térmico.

Tabela 1 - Variáveis térmicas obtidas através do TGD 400 nos dias 18 e 25 de setembro.

Variável	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
UR(%)	42,31	42,31	42,31	10 ⁻⁷
Tg (°C)	20,52	23,65	21,89	1,3343
Tw (°C)	14,91	18,71	16,67	0,4988
Ta (°C)	19,27	23,3	21,49	1,3837
To (°C)	10,11	18,09	13,71	1,5487
Trm (°C)	20,62	23,75	22,02	1,3189
Top (°C)	20,29	23,53	21,75	1,3451

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Na coleta dos dias 19 e 26 de setembro ajustou-se o ar condicionado para a temperatura de 24° C. Houve uma oscilação mínima em virtude da entrada dos estudantes no ambiente. Em média a temperatura do ar ficou no entorno de 23,24° C com um desvio padrão de 0,14° C (ver tabela 2). Todos os parâmetros térmicos também sofreram baixas oscilações como pode ser observado de acordo com a tabela 2.

Tabela 2 - Variáveis térmicas obtidas através do TGD 400 nos dias 19 e 26 de setembro.

Variável	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
UR(%)	49,03	49,03	49,03	10 ⁻⁷
Tg	23,3	23,7	23,54	0,1110
Tw	19,4	20,7	20,17	0,3309
Ta	22,9	23,5	23,24	0,1412
To	17,7	19,5	18,72	0,4685
Trm	23,38	23,83	23,62	0,1085
Top	23,20	23,62	23,43	0,1137

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Nos últimos dias de experimentos (20/09 e 27/09) desligou-se o ar condicionado para tentar obter a temperatura de 30 °C, visto que os aparelhos de ar condicionado não possuíam a função de aquecimento. Assim, mesmo com os computadores ligados e a entrada dos estudantes na sala, a temperatura do ar média, como mostra a tabela 3, foi de 27,49 °C e desvio padrão de 1,06 °C aproximadamente.

Tabela 3 - Variáveis térmicas obtidas através do TGD 400 nos dias 20 e 27 de setembro.

Variável	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
UR(%)	58,22	58,22	58,22	10 ⁻⁷
Tg	26,89	29,03	27,68	0,6532
Tw	23,50	26,43	24,87	0,7052
Ta	25,83	29,15	27,49	1,0561
To	22,09	26,14	23,88	1,0445
Trm	26,85	29,01	27,77	0,5756
Top	26,56	29,08	27,63	0,7603

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

As tabelas 1, 2 e 3 corroboram com a ideia de que não houve grandes mudanças dos parâmetros avaliados dentro da sala de aula durante o experimento. Tem-se como exemplo a Temperatura do ar (Ta) cuja média foi em torno dos 21,49° C (DP=1,38° C) nos dias 18/09 e 25/09, 23,24° C (DP=0,14° C) nos dias 19/09 e 26/09 e 27,49° C (DP= 1,06° C) nos dias 20/09 e 27/09, ou seja, pode-se inferir que mesmo realizando os ajustes dentro da sala de aula antes da entrada dos estudantes, os parâmetros térmicos não sofreram grandes mudanças.

Mesmo existindo diversos aparelhos eletrônicos dentro do local de estudo e mesmo a coleta sendo realizada pelo turno da tarde houve ausência de fontes significativas de radiação no ambiente, pois, os valores da temperatura do ar, temperatura radiante média e temperatura de globo em média foram bastante similares, assim, esse é um aspecto que deverá ser observado, pois pode gerar futuros desdobramentos de pesquisas acerca da influência da radiação térmica no desempenho dos estudantes.

Através do teste Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk, buscou-se verificar se há normalidade na variável Ta nos dias de coleta. Através do resultado da tabela 4 observa-se que a variável Ta não possui normalidade assim faz-se necessário aplicar testes não paramétricos para realizar análises.

Tabela 4 - Teste de normalidade da temperatura do ar (Ta) para a instituição A

DATA	Kolmogorov-Smirnov		Shapiro-Wilk		
	Statistic	Sig.	Statistic	Sig.	
Ta (20° C)	18/09	0,423	0,000	0,466	0,000
	25/09	0,271	0,000	0,581	0,000
Ta (24° C)	19/09	0,320	0,000	0,826	0,000
	26/09	0,256	0,000	0,889	0,000
Ta (30° C)	20/09	0,327	0,000	0,748	0,000
	27/09	0,239	0,000	0,821	0,000

Fonte: Dados da pesquisa (2016).

Através do teste de Mann Whitney para amostras independentes, verificou-se que existe diferença significativa entre a temperatura do ar dos dias 18/09 e 25/09, 19/09 e 26/09 e 20/09 e 27/09 com p-valor menor que 0,0001. Tal fenômeno pode ter ocorrido em virtude da diferença na quantidade de estudantes por dia de experimento, ou seja, a diferença pode ter gerado uma oscilação na temperatura interna da sala, pois, uma maior quantidade de pessoas dentro de um ambiente irá gerar mais calor que uma quantidade menor, em virtude do balanço térmico do corpo humano. Assim mesmo ajustando-se a temperatura das salas de aula e em virtude da homeotermia do homem que cede ou recebe calor do ambiente, houve mudança na temperatura do ambiente em consequência a quantidade de pessoas presentes e isso gerou uma diferença dos valores dos parâmetros térmicos nos diferentes dias de coleta.

Assim na próxima sessão pode-se observar como se comportou a avaliação subjetiva dos estudantes nos dias de coleta e o impacto das mudanças térmicas, entre os dias, na avaliação do ambiente.

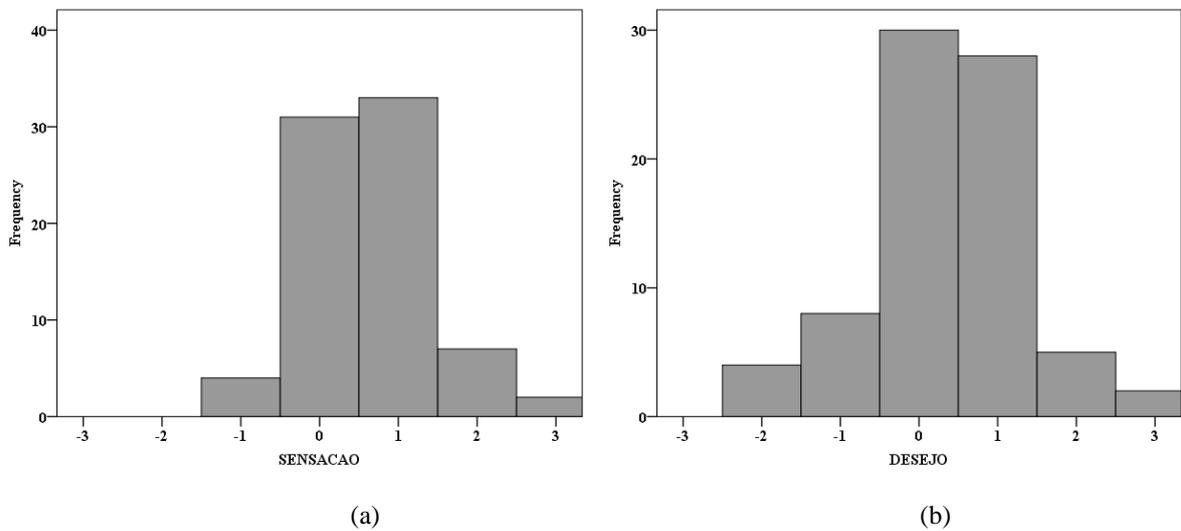
5.1.3. Variáveis subjetivas e índices de conforto

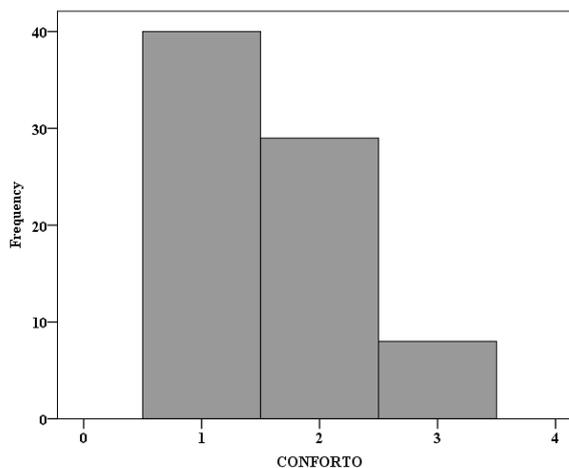
Nesta sessão dividiram-se as análises de acordo com o ajuste de temperatura nos dias de coleta, ou seja, descreveu-se o comportamento da sensação, desejo, conforto e dos índices de PMV e PPD por ajuste de temperatura. Assim obtiveram-se os seguintes resultados das análises.

5.1.3.1. Ajuste 1

Em relação aos parâmetros subjetivos, através da figura 14 pode-se observar o comportamento da sensação, desejo e do conforto indicados pelos alunos nos dias 18 e 25 de setembro quando a temperatura se encontrava em média a 21,49° C.

Figura 14 - Histogramas da (a) sensação, (b) desejo e (c) conforto dos alunos da instituição A para os dias 18/09 e 25/09.





(c)

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Em relação a sensação térmica 5,2% indicaram que o ambiente estava levemente frio (-1), 40,3% indicaram estar se sentido neutros (0), 42,9% indicaram sentir um leve calor (+1), 9,1% sentiram que o ambiente estava quente (+2) e 2,6% indicaram que o ambiente estava muito quente (+3).

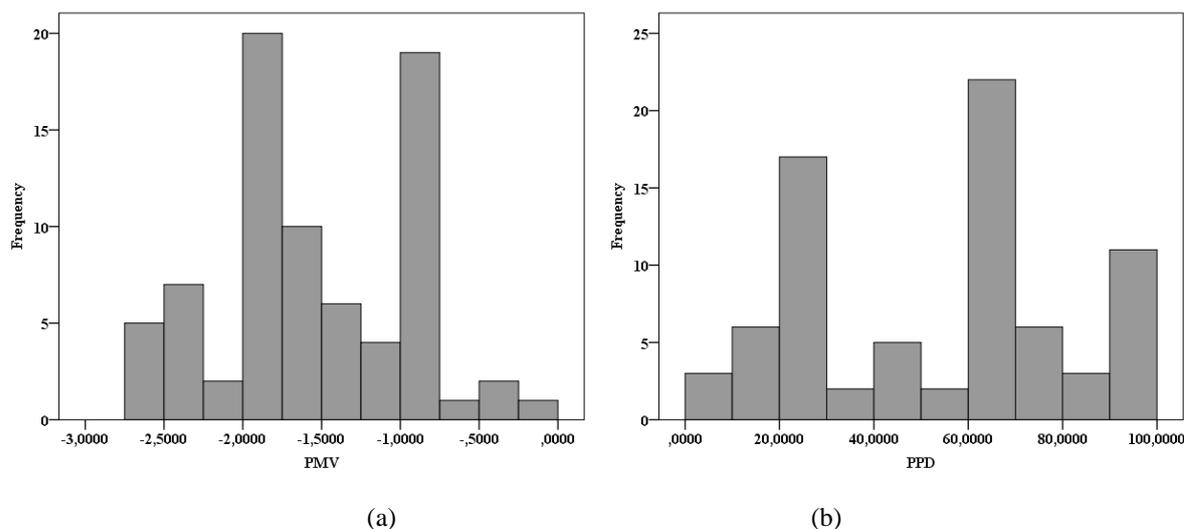
Em relação ao desejo 5,2% indicaram que o ambiente deveria ficar frio (-2), 10,4% levemente frio (-1), 39% que permanecesse como estava (0), 36,4% que o ambiente estivesse levemente mais quente (+1), 6,5% que o ambiente estivesse quente (+2) e 2,6% que o ambiente estivesse bem mais quente (+3).

Em relação ao conforto 51,9% dos participantes indicaram estar confortáveis (1) com a temperatura média de 21,49° C, 37,7% indicaram estar levemente desconfortáveis (2) e 10,4% indicaram estar desconfortáveis (3).

Pode-se observar ainda que os alunos estavam sentindo, em sua maioria, que o ambiente estava levemente quente (+1), contudo, optaram que a temperatura continuasse a mesma (0) ou que estivesse levemente mais quente (+1) como pode ser observado na figura 14 (a e b). Acredita-se que tal resultado seja oriundo das vestimentas que os alunos estavam se utilizando e conseqüentemente da resistência térmica que elas proporcionavam.

Acredita-se também que isso seja efeito da subjetividade do homem. É difícil quando se esta em um ambiente aproximadamente confortável definir com precisão se o ambiente é levemente frio ou quente. Essa imprecisão pode fazer a pessoa informar que o ambiente esta levemente quente e preferir um aumento de temperatura.

Figura 15 - Histogramas do (a) PMV e (b) PPD da instituição “A” nos dias 18 e 25 de setembro.



Fonte: Dados da pesquisa (2016)

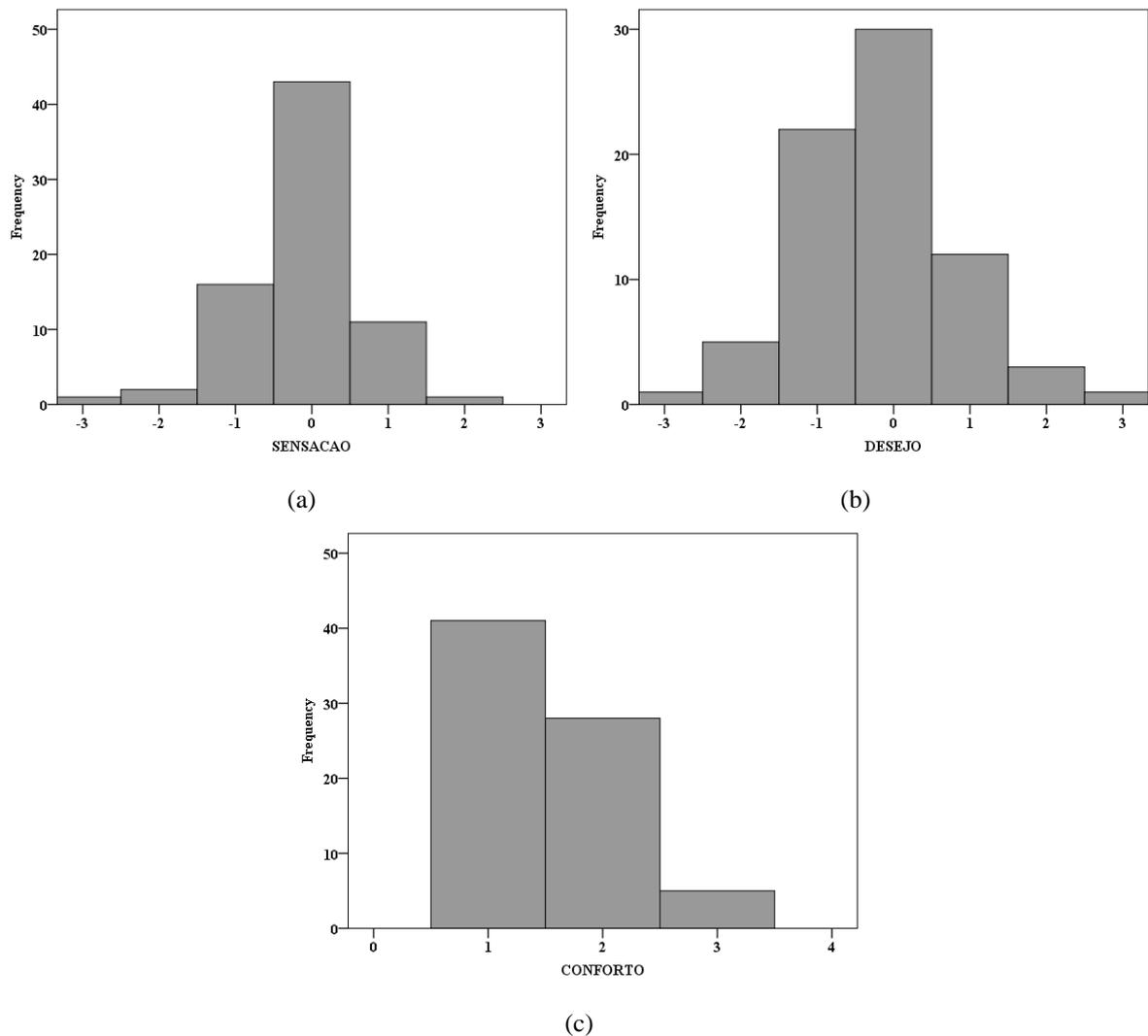
Comparando a figura 15(a) e a figura 14(a) pode-se observar que a percepção do ambiente, indicado pelos estudantes, é que a sala de aula se encontrava levemente quente (+1), contudo o modelo da ISO 7730 (2005) identificou, através do índice do PMV, que o ambiente se encontrava, segundo 39% dos votos calculados encontravam-se no intervalo cuja classificação para o ambiente é levemente frio ($-1,5 < \text{PMV} < -0,5$) e cerca de 57% dos votos calculados encontravam-se no intervalo cuja classificação do índice é frio ($-1,5 < \text{PMV} < -2,5$).

Isso corrobora com o resultados dos autores Teli et al. (2012) e De Guile et al. (2012), que diferentes climas geram diferentes formas de aclimatação que consequentemente geram diferentes sensações e preferências térmicas que não condizem com os valores sugeridos por índices gerados por normas internacionais. O índice PPD nos mostra que 96,1% da frequência total de porcentagens de insatisfeitos estava acima do valor tolerado pela norma ($\text{PPD} > 10\%$).

5.1.3.2. Ajuste 2

Os parâmetros subjetivos dos dias 19/09 e 26/09 cuja temperatura média encontrava-se em $23,24^\circ \text{C}$ (tabela 2) estão representados através da figura 16.

Figura 16 - Histogramas da (a) sensação e do (b) desejo (c) conforto dos dias 19 e 26 de setembro.



Fonte: Dados da pesquisa (2016)

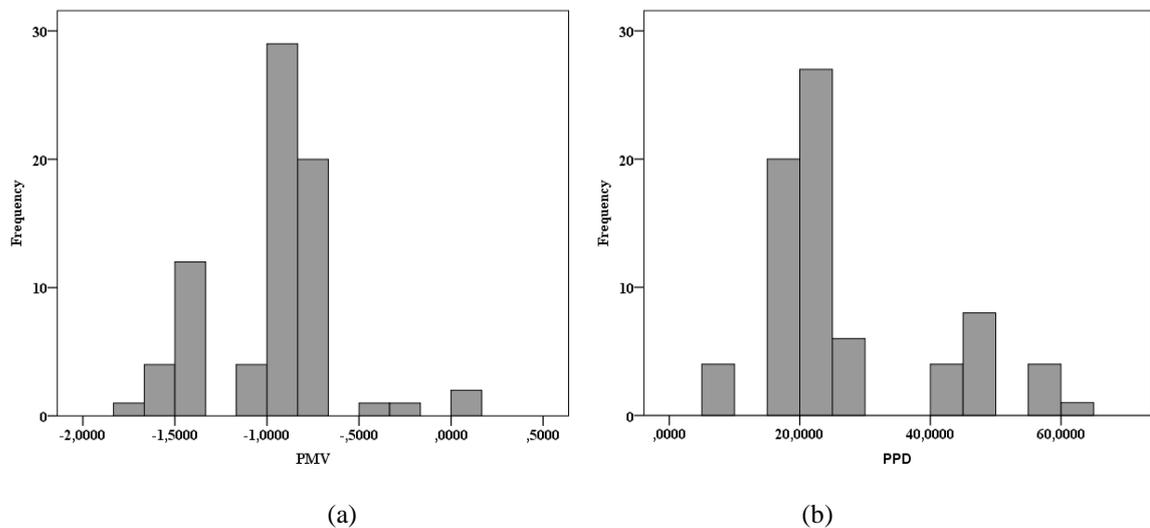
Analisando os dados relacionados, a sensação observa-se que 1,4% dos estudantes relataram estar sentindo muito frio (-3), 2,7% sentiam frio (-2), 21,6% relataram estar sentido um leve frio (-1), 58,1% dos estudantes não estavam sentindo nem frio e nem calor (0), 14,9% sentiam o ambiente levemente quente (+1) e 1,4% relataram que estavam sentindo calor (+2).

Com relação ao desejo, 1,4% dos estudantes desejaram que o ambiente estivesse bem mais frio (-3), 6,8% que o ambiente estivesse frio (-2), 29,7% que o ambiente estivesse levemente frio (-1), 40,5% que o ambiente não mudasse (0) nem para mais frio nem para mais quente, 16,2% que o ambiente estivesse levemente mais quente (+1), 4,1% que o ambiente estivesse quente e 1,4% que o ambiente estivesse bem mais quente (+3).

Levando em consideração o conforto 55,4% dos estudantes relataram estar confortáveis (1) na temperatura de 23,24° C, 37,8% sentiram-se levemente desconfortáveis (2) e 6,8% sentiram-se muito desconfortáveis (3).

De acordo com a norma ISO 7730 (2005) e através da figura 17 observa-se que o PMV indicou que o ambiente se encontrava frio com 6,8% dos votos ($-1,5 < PMV < -2,5$) e levemente frio ($-1,5 < PMV < -0,5$) com 87,8% dos votos, novamente diferindo do que foi apontado pelos estudantes nos dias 19/09 e 26/09.

Figura 17 - Histogramas do (a) PMV e (b) PPD da instituição “A” nos dias 19 e 26 de setembro.



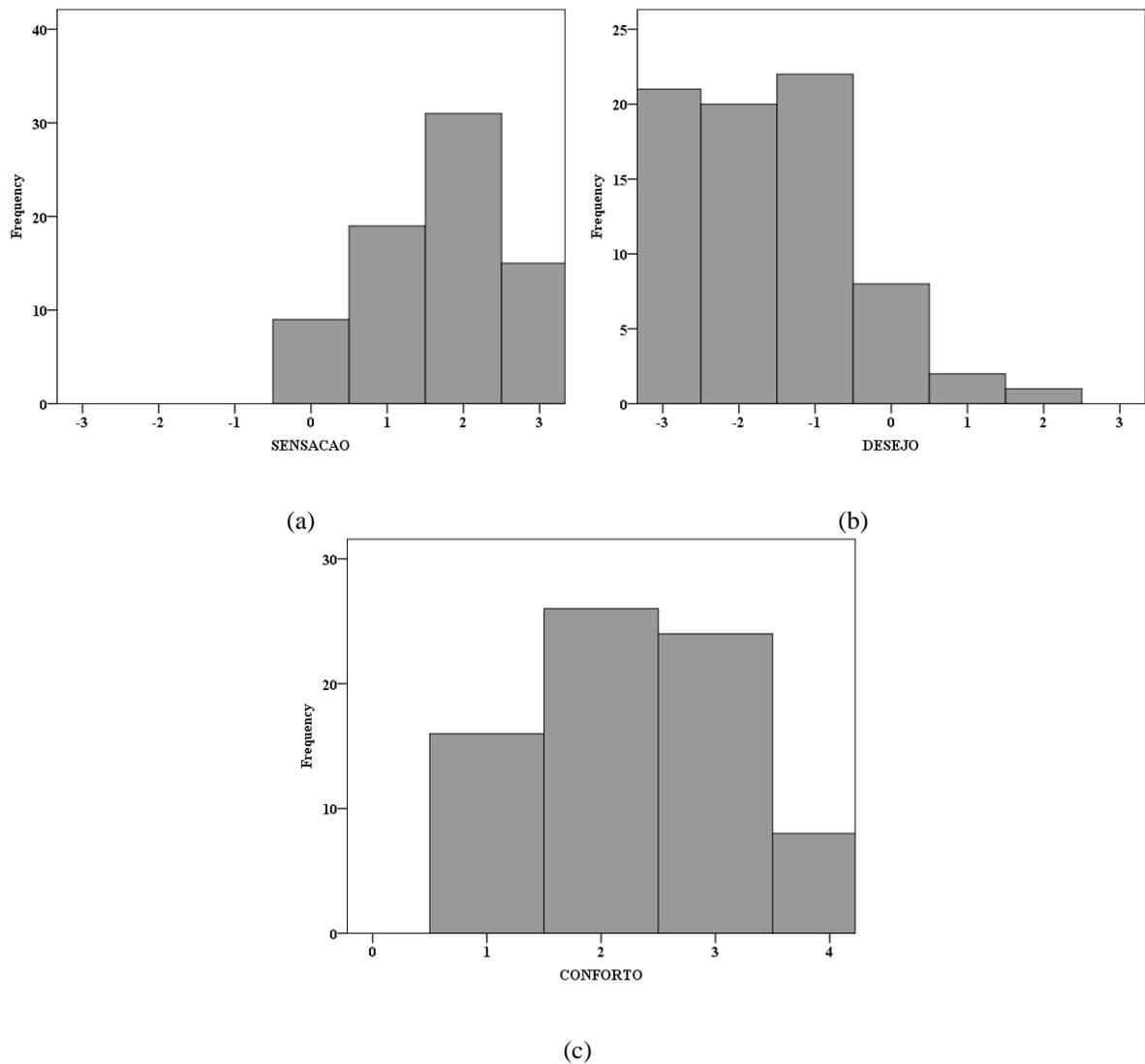
Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Observa-se também somente 5,4% dos votos estavam abaixo dos 10% de insatisfeitos de acordo com o índice PPD o que pode ser observado através da figura 17(b).

5.1.3.3. Ajuste 3

Em relação aos últimos dias de coleta, os parâmetros subjetivos obtidos nos dias 20/09 e 27/09 cuja temperatura média do ar era de 27,49° C (ver tabela 3) estão representados através da figura 18.

Figura 18 - Histogramas da (a) sensação, do (b) desejo e (c) conforto dos dias 20 e 27 de setembro.



Fonte: Dados da pesquisa (2016).

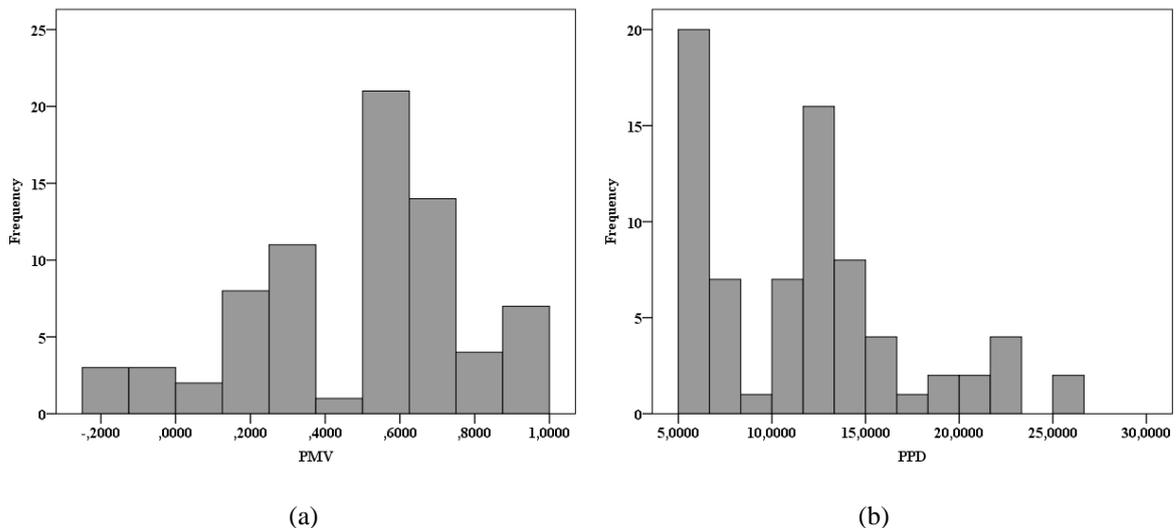
Em relação à sensação 12,2% afirmaram estar neutros (0) nem com frio nem com calor, 25,7% indicaram que o ambiente estava levemente quente (+1), 41,9% disseram que o ambiente estava quente (+2) e 20,3% relataram que o ambiente estava muito quente (+3).

No parâmetro desejo 28,4% indicaram que o ambiente deveria estar muito mais frio (-3), 27% indicaram que o ambiente deveria estar frio (-2), 29,7% desejaram que o ambiente ficasse levemente mais frio (-1), 10,8% preferiram que o ambiente continuasse da forma que estava nem diminuísse nem aumentasse sua temperatura (0), 2,7% dos alunos indicaram que o ambiente deveria ficar levemente mais quente (+1) e 1,4% indicaram que o ambiente deveria ficar quente (+2).

Com relação ao conforto 21,6% dos estudantes indicaram estar confortáveis (1) com a temperatura do ar de 27,49° C, 35,1% indicaram estar levemente desconfortáveis (2), 32,4% indicaram estar desconfortáveis (2) com o ambiente e 10,8% relataram estar sentido muito desconforto com o ambiente.

Através da figura 19 observa-se o comportamento do índice PMV de acordo com a norma ISO 7730 (2005) e pode-se identificar que 9,7% dos votos foram para neutralidade ($-0,5 < PMV < +0,5$) e 60,8% de votos que o ambiente estava levemente quente ($+0,5 < PMV < +1,5$). Comparando a figura 18 (a) com a figura 19 (a) observa-se novamente que o que é proposto pela norma não condiz com a sensação relatada pelos estudantes.

Figura 19 - Histogramas do (a) PMV e (b) PPD da instituição “A” nos dias 20 e 27 de setembro.



Fonte: Dados da pesquisa (2016).

A figura 19 evidencia também que através do índice PPD que 37,8% dos votos para ambiente está abaixo dos 10% de insatisfeitos (frequência de valores de $PPD < 10\%$).

5.1.3.4. Análise geral

O quadro 10 representa de forma resumida os valores obtidos dos parâmetros subjetivos e do índice PMV para os três dias de ajustes.

Quadro 10 - Quadro síntese dos parâmetros obtidos em função dos ajustes das temperaturas para os dias de coleta da instituição A.

PARÂMETRO	Ajuste1 (20°C)	Ajuste2 (24°C)	Ajuste3 (30°C)
Temperatura do ar	21,49°C ± 1,3°C	23,24°C ± 0,14°C	27,49°C ± 1,05°C
Sensação	42,9% (+1) 40,3% (0)	21,6% (-1) 58,1% (0)	25,7% (+1) 41,9% (+2)
Desejo	39% (0) 36,4% (+1)	29,7% (-1) 40,5% (0)	28,4% (-3) / 27% (-2) 29,7% (-1)
Conforto	51,9% (1) 37,7% (2)	55,4% (1) 37,8% (2)	21,6%(1) / 35,1%(2) 32,4% (3)
PMV	39% [-0,5;-1,5] 57% [-1,5;-2,5]	87,8% [-0,5;-1,5] 6,8% [-1,5;-2,5]	60,8% [+0,5;+1,5]

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

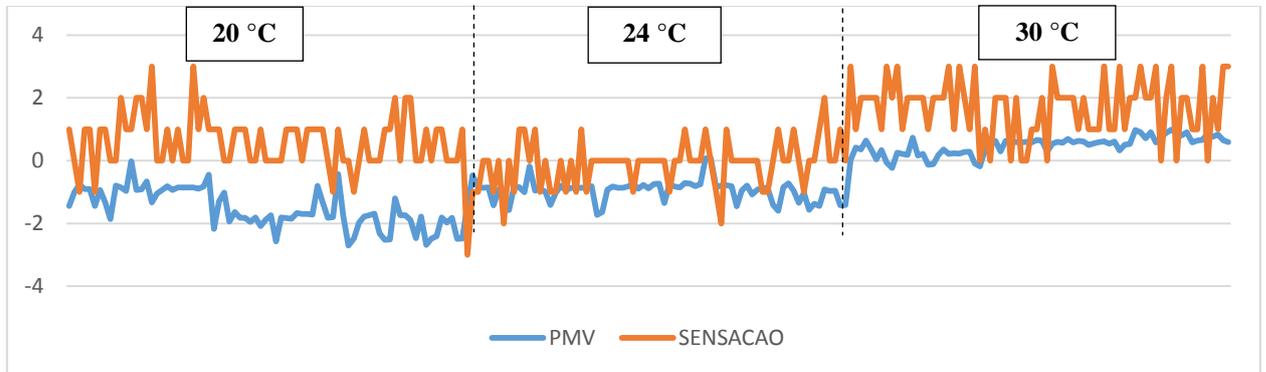
Pode-se observar (quadro 10) que a norma ISO7730(2005) classifica o ambiente como predominantemente frio, no primeiro ajuste, e os estudantes classificam o ambiente como levemente quente. No segundo ajuste a norma classifica o ambiente como levemente frio e os estudantes como neutro. No terceiro ajuste a norma classifica o ambiente como levemente quente e os estudantes como quente. Pode-se inferir através desses resultados que a norma pode não refletir de forma fidedigna as preferências térmicas dos estudantes. Através da figura 20 pode-se observar de forma visual que existe defasagem entre o PMVe a sensação dos estudantes, durante os dias de coleta. Contudo é nítido que essa defasagem é mais acentuada no primeiro e no ultimo dia onde as temperaturas foram ajustadas para estarem em torno de 20°C e 30°C. Quando a temperatura foi ajustada para estar em torno de 24° C, observou-se que existe uma diminuição da defasagem entre a sensação e o que indica o índice do PMV.

Acredita-se também que os resultados apresentados no quadro 10 tenham sofrido o efeito da subjetividade humana. É difícil quando se esta em um ambiente aproximadamente confortável definir com precisão se o ambiente é levemente frio ou quente. Essa imprecisão pode ter feito com que os estudantes informassem que o ambiente esta levemente quente e preferir um aumento de temperatura.

Os autores Wong e Khoo (2003) sugerem que aspectos fisiológicos (aclimatação), psicológicos (habito) e físicos (ajustes no vestuário do dia) poderiam explicar tais

considerações. Assim há indícios que diferenças nos valores obtidos estão correlacionados com a adaptação e a tolerância a temperaturas do ambiente dos estudantes daquela região.

Figura 20 - Curvas da Sensação e PMV da instituição A.



Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Vale salientar que o índice PMV é obtido através da avaliação das propriedades termo fisiológico dos seres humanos e seu equilíbrio térmico com o meio ambiente e leva em consideração diversos parâmetros. Então, pode-se inferir que é mais plausível existir uma defasagem entre os parâmetros subjetivos e a norma, porém ao se avaliar e projetar um ambiente de ensino que gere um maior conforto para aos estudantes, deve-se levar em consideração, de forma ponderada, não somente a norma, mas a avaliação subjetiva para melhor representar as melhores condições para os estudantes.

Neste contexto, com o intuito de identificar uma temperatura do ar que pode ser considerada neutra pelos estudantes, houve a necessidade de se modelar, através de regressão linear simples, equações que representassem e identificassem tal neutralidade na instituição A. Contudo, apesar dos modelos obtidos possuírem confiabilidade, a sensação e o desejo não possuem relação linear significativa com a temperatura do ar, tendo em vista que o R^2 é baixo, conforme se pode observar na tabela 5.

Tabela 5 – Resultado da regressão linear da sensação e do desejo em função da temperatura do ar.

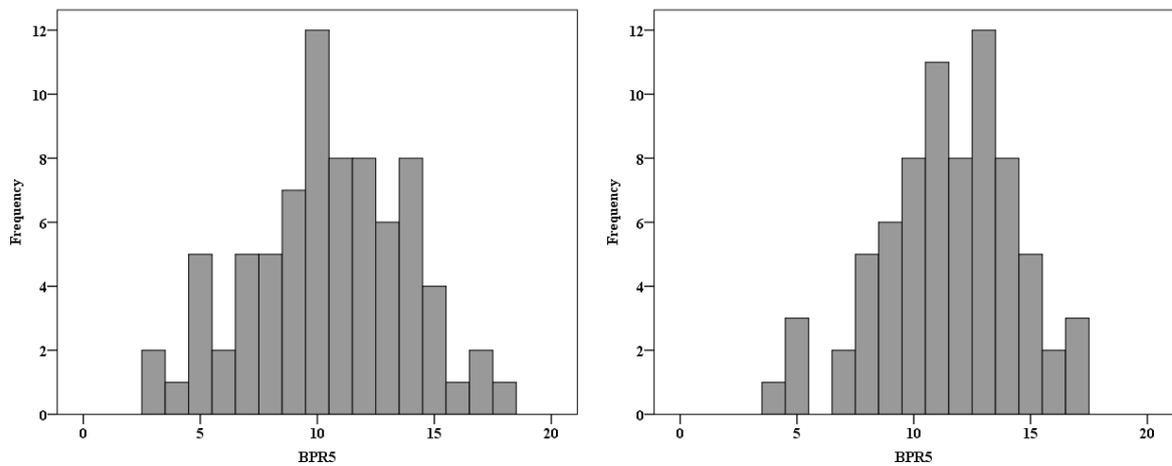
Equação	Tipo	R ²	Estatística F	P-valor
$Sens = -4,027 + 0,198 * Ta$	Linear	24,39	61,11	$3,05 * 10^{-15}$
$Des = 6,266 - 0,280 * Ta$	Linear	31,07	100,5	$< 2,2 * 10^{-16}$

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

5.1.4. Variável desempenho

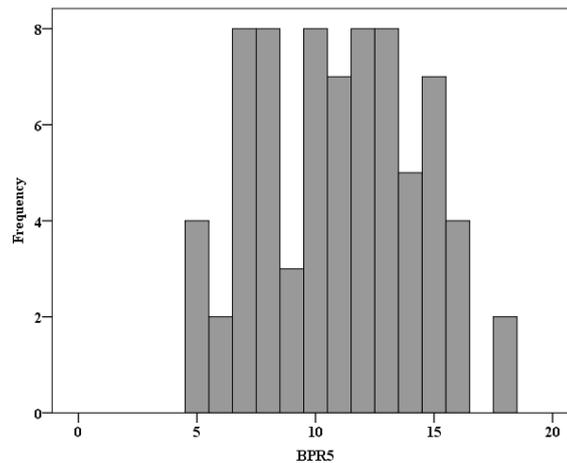
Em relação ao parâmetro desempenho pode observar, através da figura 21, o seu comportamento (frequência de acertos) de acordo com o dia de coleta.

Figura 21 - Histogramas do resultado da bateria de provas de raciocínio BPR5 nos dias (a) 18/09 e 25/09 (b) 19/09 e 26/09 (c) 20/09 e 27/09.



(a) Dias 18/09 e 25/09

(b) Dias 19/09 e 26/09



(c) Dias 20/09 e 27/09

Fontes: Dados da pesquisa (2014)

Os autores Almeida e Primi (2004) definiram 3 faixas de classificação de desempenho:

- Capacidade abaixo da média com resultados de acertos até 25%;
- Capacidade média com resultado total de acertos acima de 25% e até 75%; e,
- Capacidade acima da média com resultado de acertos superior a 75%.

Assim os dados mostraram que nos dias 18 e 25 de setembro, quando a temperatura média foi de 21,49° C, 10,4% dos estudantes obtiveram um desempenho abaixo da média, 84,4% obtiveram um desempenho médio e 5,2% obtiveram um desempenho acima da média. Nos dias 19 e 26 de setembro quando a temperatura média foi de 23,24° C observou-se que 5,4% dos alunos obtiveram um desempenho abaixo da média, 87,8% apresentaram um desempenho na média e 6,8% apresentaram um desempenho acima da média. Nos dias 20 e 27 de setembro, com a temperatura média de 27,49° C observou-se que 5,4% dos alunos obtiveram um desempenho abaixo da média, 86,5% obtiveram um desempenho na média e 8,1% apresentaram um desempenho acima da média.

Posteriormente a análise dos dados de forma individual por dia, realizou-se a junção de toda a informação coletada que está representada através da sessão a seguir.

5.1.5. Modelagem

Com o intuito de quantificar a influência dos parâmetros térmicos, subjetivos e pessoais no desempenho dos estudantes, cujo procedimento está representado na sessão 4.6 do presente estudo, realizou-se simulações por meio do banco de dados e assim através dos modelos lineares generalizados em especial os de regressão logística ordinal obteve-se alguns resultados. Contudo dos resultados apresentados apenas um foi estatisticamente significativo e que correlacionou o desempenho com um parâmetro subjetivo. Vale ressaltar que diversos modelos foram construídos correlacionando as variáveis térmicas com os parâmetros subjetivos e pessoais, contudo como não é de interesse desse estudo verificar tais relações optou-se por trabalhar somente com os modelos em que o parâmetro desempenho encontrava-se.

Assim se obteve para a instituição A que o desempenho está em função do conforto como pode ser observado pelo modelo abaixo.

$$BPRTOT_j = \exp(\beta_{0j}) * \left[\prod_{S=1}^4 \exp(\beta_S)^{CONF_S} \right] \quad (1A)$$

Onde:

$BPRTOT_j$ = Chance relativa ao desempenho dos estudantes;

j = Faixa de desempenho dos estudantes, onde $j=1$ (categoria de referência) indica “desempenho abaixo da média ($BPRTOT < 25\%$)”, $j=2$ indica “desempenho médio ($25\% \leq BPRTOT \leq 75\%$)” e $j=3$ indica “desempenho acima da média ($BPRTOT > 75\%$)”;

$\exp(\beta_{0j})$ = Intercepto para o desempenho j ;

$\exp(\beta_s)$ = Razão da chance (odds ratio - OR) associada a categoria s do conforto dos estudantes, que indica o quanto aumenta ou diminui a chance de haver um desempenho j quando a categoria do conforto passa de 1 para S ;

$CONF_S$ = Categoria S do fator conforto, onde $S=1$ (categoria de referência) indica que o estudante está “confortável”, $S=2$ indica que o estudante está “levemente desconfortável”, $S=3$ que o estudante está “desconfortável” e $S=4$ que o estudante está “muito desconfortável”;

Como a variável é ordinal, uma das categorias é usada como referência (considerando que se todas as variáveis *dummies* forem iguais a zero, então o nível de desconforto indicado é aquele representado pela categoria de referência). Por isso, a interpretação dos efeitos (razão da chance) das variáveis *dummies* (níveis de desconforto) no modelo é efetuada sempre comparando cada um dos níveis de conforto com aquele nível de referência. Por exemplo, fala-se que a chance de um indivíduo ter um nível de desempenho mais alto é maior para o grupo que indicou que estava levemente desconfortável ($s=2$) quando comparado aquele grupo que está no estado de conforto ($s=1$, que é a categoria de referência).

O ajuste do modelo aos dados do experimento realizado com os indivíduos na instituição A fornece as estimativas que estão representadas pela tabela 6.

Tabela 6 - Estimativas dos parâmetros do modelo 1A

j	$BPRTOT_j$	Intercepto (β_{0j})	Faixa de Conforto (S)	Razão de Chance (OR)	p-valor (Wald)	p-valor(Razão de Verossimilhança)
2	P(Y=2)	30,3644	2	3,9868	0,0448	1,792*10 ⁻²
			3	5,7892	0,0239	
			4	15,2411	0,0072	
3	P(Y=3)	0,0221	2	3,9868	0,0448	
			3	5,7892	0,0239	

4	15,2411	0,0072
---	---------	--------

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Através da tabela 7 podem-se observar as equações obtidas substituindo os parâmetros da tabela 6 no modelo 1A.

Tabela 7 - Equações obtida com o modelo 1A	
Equação	
$BPRTOT_1$	$= 1 - e^{30,3085} * (3,98)^{CONF_2} * (5,78)^{CONF_3} * (15,24)^{CONF_4}$
$BPRTOT_2$	$= e^{30,3644} * (3,98)^{CONF_2} * (5,78)^{CONF_3} * (15,24)^{CONF_4}$
$BPRTOT_3$	$= e^{0,0221} * (3,98)^{CONF_2} * (5,78)^{CONF_3} * (15,24)^{CONF_4}$

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Observações podem ser feitas do modelo:

1. Todos os parâmetros obtidos e que integram o modelo são significativos, pois o valor do teste de Wald é inferior a 0,05 e o modelo é válido em virtude do teste da razão de verossimilhança (Qui Quadrado) ser inferior a 0,05.
2. A chance de um indivíduo aumentar o seu desempenho para uma faixa mais alta depende da categoria de conforto que ele se encontra, ou seja, depende da classificação do ambiente que o indivíduo apresenta;
3. Para indivíduos que estão levemente desconfortáveis (S=2) a chance de passarem para uma faixa mais alta de desempenho aumenta em 3,98 vezes, para os que estão em situação de desconforto (S=3) a chance de passarem para uma faixa mais alta de desempenho aumenta 5,78 vezes e para os que estão se sentindo muito desconfortáveis (S=4) a chance de passarem para uma faixa mais alta de desempenho aumenta em 15,24 vezes.

Então, o modelo indica que os indivíduos da instituição A que participaram da pesquisa, tendiam a passar de uma faixa de desempenho baixa para uma faixa maior nas condições que julgavam mais desconfortáveis. Embora a conclusão esperada fosse a de que os indivíduos em estado de conforto apresentassem chances maiores de melhorar seu desempenho, é cauteloso admitir que essa observação pode não ser verdadeira em

determinadas condições, como por exemplo quando o tempo de permanência no ambiente for inferior a 60 minutos como cita o artigo de Than e Willen (2010).

Contudo vale salientar que alguns autores como Araujo (2012), Tham e Willem (2010), Lan et al. (2009) e Wyon e Wargocki (2005) mostram em seus estudos que em situações onde o ambiente esta com temperaturas moderadamente mais quentes há uma melhora do desempenho dos indivíduos.

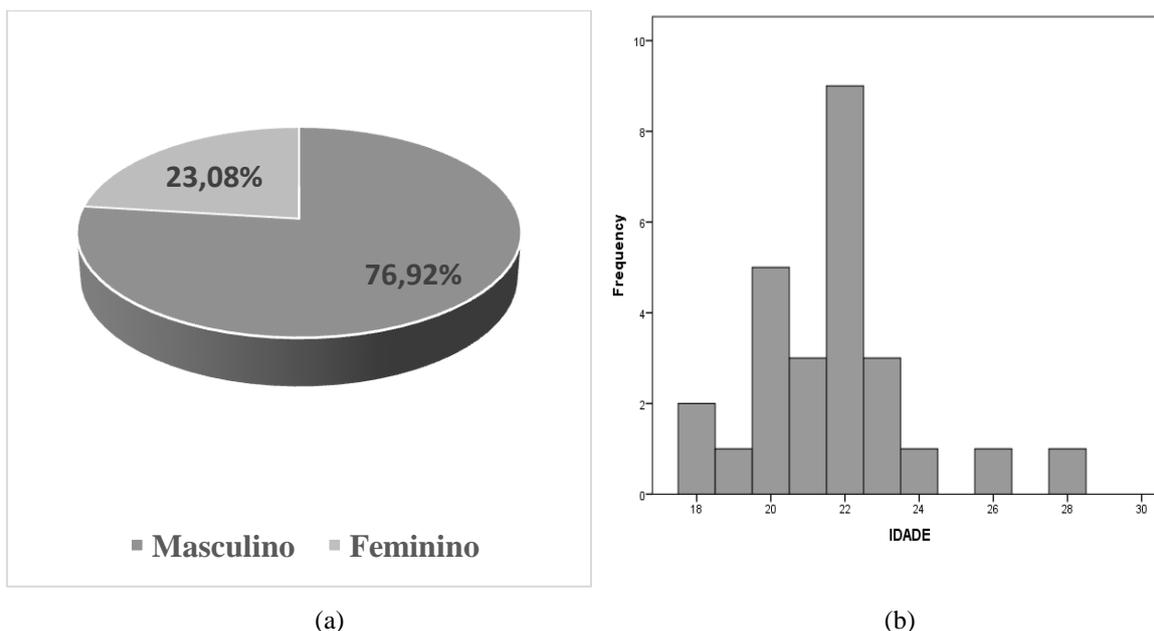
Infere-se, através dos resultados obtidos com a modelagem e através das conversas realizadas com os estudantes que participaram do experimento, que os mesmo em virtude do desconforto reagiram de forma a gerar um maior esforço cognitivo para finalizar com maior velocidade o teste sem necessariamente diminuir o seu desempenho, ou seja, um indivíduo que deseja apresentar um bom desempenho em um teste de raciocínio e é submetido a um estado de maior desconforto pode reagir a condição de maior adversidade fazendo um esforço cognitivo maior para que seu objetivo de ter um bom desempenho seja alcançado. Esse esforço cognitivo pode resultar em desempenhos de nível mais alto do que aqueles associados a uma situação de conforto.

É possível, então, que as reações cognitivas dos indivíduos às condições térmicas dos ambientes seja mais complexa do que se espera. De acordo com o modelo logístico ajustado aos dados do experimento essas condições térmicas podem alterar a atividade cognitiva dos indivíduos quando alteram suas percepções de conforto do ambiente e essas possíveis mudanças na atividade cognitiva poderiam ser refletidas pela ocorrência de desempenhos melhores nos testes de raciocínio sob condições térmicas mais adversas.

5.2. INSTITUIÇÃO B

A instituição “B” é uma universidade pública e localiza-se na cidade de Teresina no estado do Piauí. A amostra de alunos participantes foi de N=26 com um total de 78 formulários respondidos. Através da figura 22 pode-se observar que há a predominância de alunos do sexo masculino com 76,92% contra 23,08% do sexo feminino. A média de idade dos participantes foi de aproximadamente 22 anos.

Figura 22 - (a) Gênero e (b) faixa etária dos participantes da instituição B



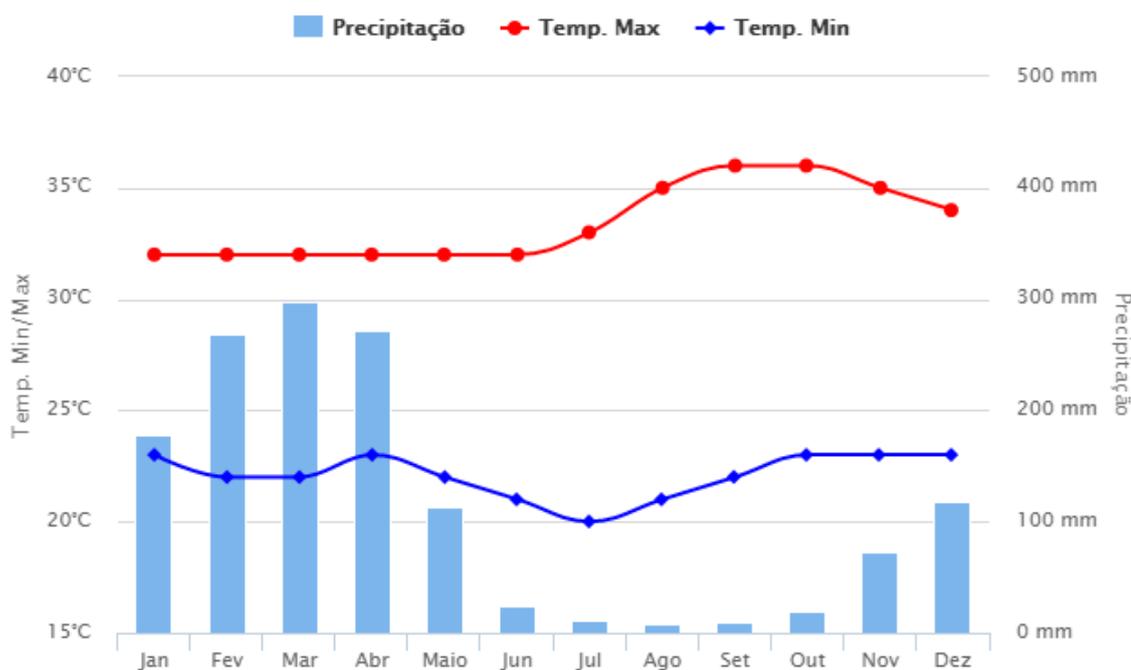
Fonte: Dados da pesquisa (2016)

A seguir são apresentados os aspectos climáticos da região onde foi desenvolvido o estudo, para elucidar o comportamento do ambiente térmico externo a sala de aula.

5.2.1. Clima e condições climáticas

A cidade de Teresina apresenta um clima tropical semiúmido, possui uma temperatura média anual de 28 °C e é considerada uma das capitais mais quentes do Brasil com temperaturas máximas que ultrapassam os 40 °C. Este fato ocorre em virtude da baixa latitude da cidade, 72 m acima do nível do mar, e da sua localização que se encontra nos limites do semiárido nordestino. O período no qual o calor é mais intenso vai de setembro a meados de dezembro, meses terminados com a sílaba “bro” (INPE, 2015; IBGE, 2015).

Figura 23 - Dados climatológicos da cidade de Teresina.



Fonte: <http://www.climatempo.com.br/climatologia/264/teresina-pi>

Pela figura 23 pode-se observar que em média a temperatura máxima para a cidade nesse mês foi de 36 °C e mínima de 22 °C. As coletas foram realizadas no mês de setembro nos dias 15, 16 e 17 e o experimento foi desenvolvido no turno da tarde iniciando às 15 horas com uma única turma de alunos composto por estudantes universitários da área de exatas.

A próxima sessão retrata o comportamento dos parâmetros térmicos obtidos nas coletas.

5.2.2. Variáveis térmicas

No primeiro dia de coleta da instituição B, no dia 15 de setembro de 2015, ajustou-se o aparelho de ar condicionado para a temperatura de 20°C. O comportamento dos parâmetros térmicos, para o dia, pode ser observado através da tabela 8.

Tabela 8 - Variáveis térmicas obtidas através do TGD 400 no dia 15 de setembro de 2015 em Teresina-PI.

Variável	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
UR(%)	68,68	69,51	69,20	0,1631
Tg (°C)	21,00	21,05	21,03	0,0119
Tw (°C)	16,33	16,46	16,42	0,0291

Ta (°C)	20,02	20,09	20,07	0,0142
To (°C)	14,13	14,34	14,27	0,0439
Trm (°C)	19,63	19,72	19,69	0,0166
Top (°C)	19,82	19,91	19,88	0,0153

Fonte: Dados da pesquisa (2016).

Observa-se, através da tabela 8, que após a entrada dos alunos, não houve quase nenhuma oscilação térmica da temperatura do ar, que em média foi de 20,07°C e desvio padrão de 0,014°C. Todas as variáveis térmicas também apresentaram mínima oscilação com desvios padrões inferior a 0,2° C (ver tabela 7).

No segundo dia de coleta, os aparelhos de ar-condicionado foram desligados, para se atingir a temperatura de aproximadamente 30° C, contudo as condições climáticas registradas no dia, segundo o INPE (2015), mostraram que a temperatura encontrava-se aproximadamente a 38,1° C no horário em que ocorreu o estudo. Assim através da tabela 9 pode-se observar o comportamento dos parâmetros térmico.

Tabela 9 - Variáveis térmicas obtidas através do TGD 400 no dia 16 de setembro de 2015 em Teresina-PI.

Variável	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
UR (%)	63,93	67,41	64,63	0,8592
Tg (°C)	33,34	34,11	33,55	0,1749
Tw (°C)	33,55	34,23	33,74	0,1542
Ta (°C)	33,53	34,22	33,74	0,1566
To (°C)	25,84	27,33	26,17	0,3692
Trm (°C)	33,57	34,24	33,76	0,1518
Top (°C)	33,55	34,23	33,74	0,1543

Fonte: Dados da pesquisa (2016).

A tabela 8 mostra que a temperatura do ar média para o segundo dia de coleta atingiu o valor de 33,74° C com desvio padrão de 0,17° C em virtude da temperatura externa a sala. Observou-se que não houve grande oscilação dos valores dos parâmetros térmicos coletados.

No último dia de coleta, 17 de setembro de 2015, os aparelhos de ar-condicionado foram ajustados para a temperatura de 24° C, contudo a temperatura média do ar da sala atingiu o valor de 22,94° C com desvio padrão de 0,019° C como pode ser observado através da tabela 10.

Tabela 10 - Variáveis térmicas obtidas através do TGD 400 no dia 17 de setembro de 2015 em Teresina-PI.

Variável	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
UR (%)	67,01	68,05	67,57	0,2401
Tg (°C)	24,08	24,13	24,12	0,0151

Tw (°C)	18,69	18,86	18,80	0,0399
Ta (°C)	22,89	22,97	22,95	0,0195
To (°C)	16,50	16,78	16,67	0,0623
Trm (°C)	22,42	22,51	22,48	0,0224
Top (°C)	22,66	22,74	22,71	0,0209

Fonte: Dados da pesquisa (2016).

A tabela 10 mostra que novamente não houve grandes oscilações nos parâmetros térmicos obtidos no experimento, contudo houve diferenças entre os valores da Temperatura do ar e temperatura de globo, que foi em média de 1° C.

Através das tabelas 8, 9 e 10 observa-se que houve diferença em média de 1° C entre a temperatura do ar e a temperatura de globo, indicando que existe alguma fonte de radiação no ambiente, contudo, não se pode afirmar que tal fonte de radiação seja oriunda dos aparelhos eletrônicos presentes na sala. Assim necessita-se investigar qual elemento está gerando radiação para o local de experimento. Possível desdobramento para tal averiguação seria avaliar se os elementos arquiteturais estão contribuindo para a elevação da radiação presente na sala visto que os resultados obtidos na instituição A corroboram com a ideia que a geração de radiação por equipamentos eletrônicos não é significativa.

Após à análise descritiva dos parâmetros térmicos, buscou-se avaliar qual o comportamento das variáveis perante a normalidade. Neste aspecto aplicaram-se, para a instituição B, os testes de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk cujo resultado para o p-valor foi superior a 0,05 que vem a indicar que a variável temperatura do ar não apresenta normalidade. Assim, aplicaram-se testes não paramétricos para realizar algumas análises.

Neste sentido, com o intuito de verificar se existem diferenças significativas da temperatura do ar entre os dias de análise aplicou-se o teste de Kruskal-Wallis para amostras independentes pequenas. O resultado do p-valor foi de 0,0001 rejeitando-se a hipótese nula que a temperatura do ar é igual nos três dias e aceitando-se a hipótese alternativa que há diferenças significativas de Ta entre os dias de coleta.

A seguir são apresentados os resultados dos questionários aplicados para verificação do comportamento das variáveis subjetivas e dos índices de conforto calculados através da norma ISO7730 (2005).

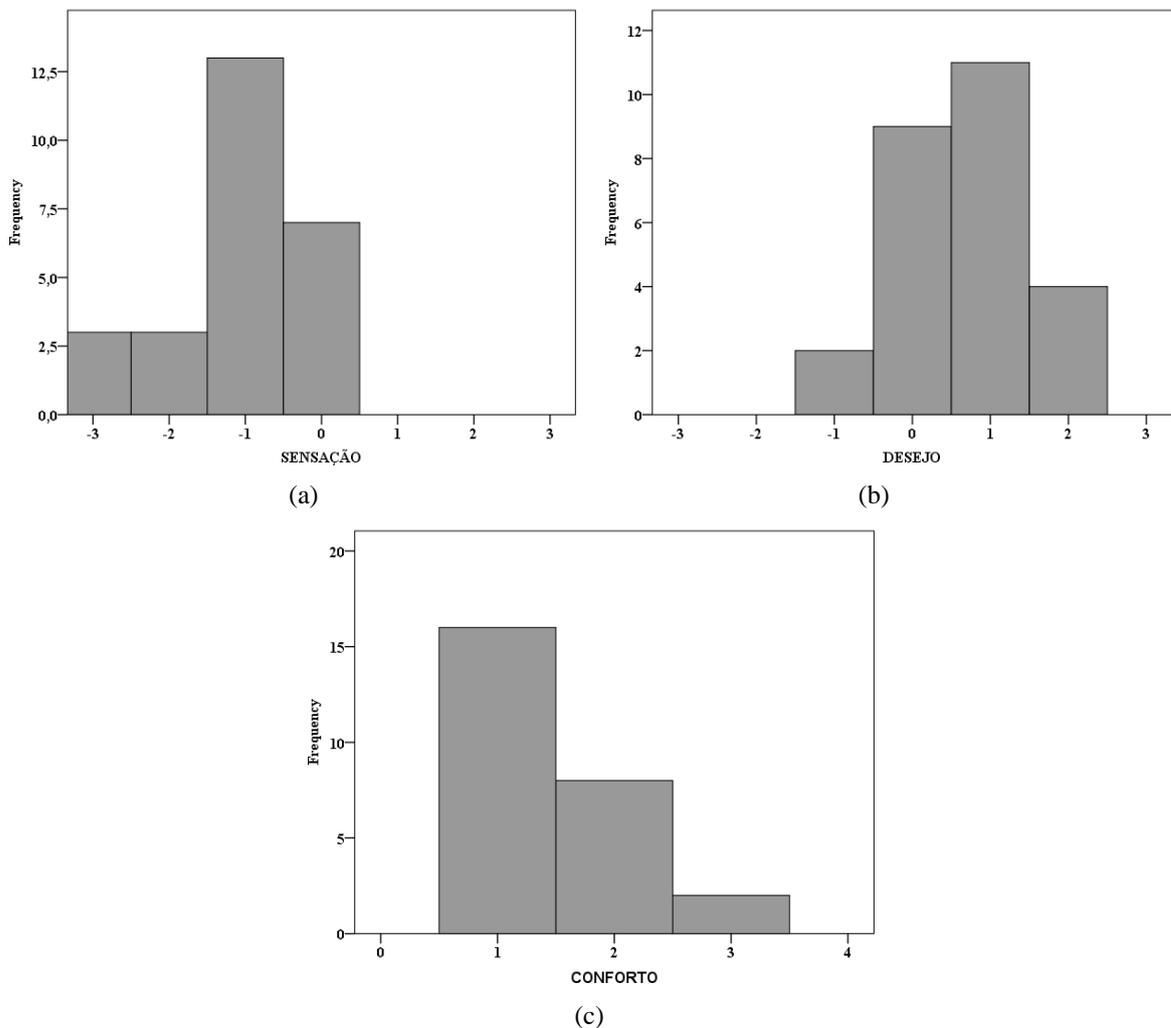
5.2.3. Variáveis subjetivas e índices de conforto

Nesta sessão descreve-se o comportamento das variáveis subjetivas e índices de conforto da instituição B. A análise realizada foi dividida de acordo com o ajuste do aparelho de ar-condicionado.

5.2.3.1. Ajuste 1

Com relação aos parâmetros subjetivos, observa-se através da figura 24 o comportamento das variáveis sensação, desejo e conforto para o dia 15 de setembro, quando a temperatura média do ar foi de 20,07°C.

Figura 24 - Histogramas da (a) sensação, (b) desejo e (c) conforto dos alunos da instituição B para os dias 15/09



Fonte: Dados da pesquisa (2016)

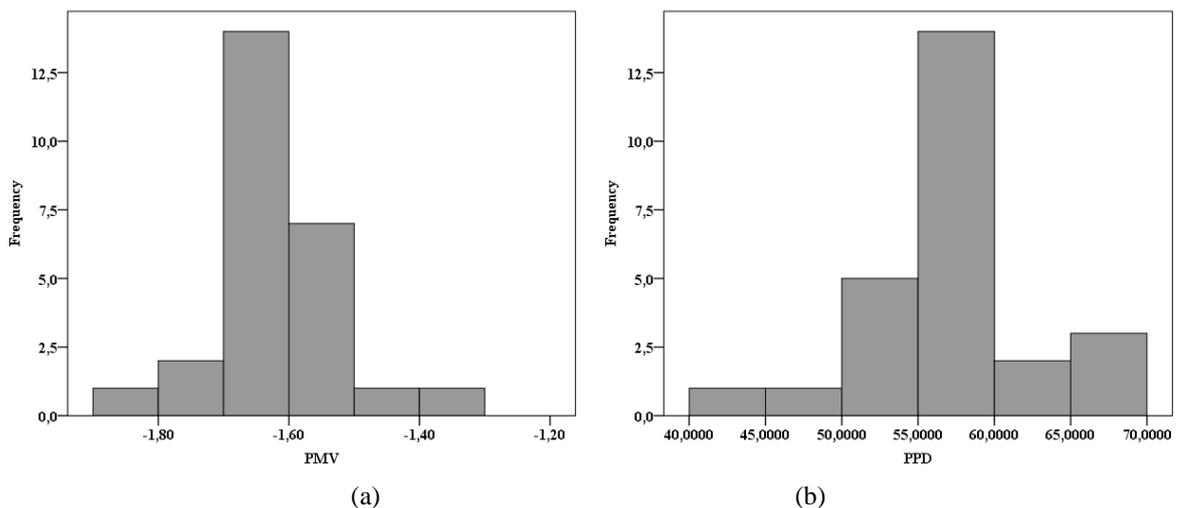
Em relação a sensação térmica do dia 15/09/2015 observou-se que 11,5% dos estudantes avaliaram que o ambiente estava muito frio (-3), 11,5% disseram que o ambiente estava frio (-2), 50% afirmaram que o ambiente estava levemente frio (-1) e 26,9% dos participantes disseram que o ambiente não estava nem quente nem frio (0).

Em relação ao desejo 7,7% preferiram que o ambiente estivesse levemente mais frio (-1), 34,6% desejaram que o ambiente continuasse com a mesma temperatura (0), 42,3% optaram que o ambiente ficasse levemente mais quente (+1) e 15,4% que o ambiente ficasse quente (+2).

Com relação ao conforto 61,5% indicaram estar confortáveis (1) com a temperatura média do ar de 20,07° C, 30,8% afirmaram estar levemente desconfortáveis (2) e 7,7% disseram estar desconfortáveis (3) com a temperatura da sala.

Através da figura 25 observa-se o comportamento dos índices PMV e PPD para o dia 15 de setembro de 2015. Através dos índices verifica-se que 7,7% da frequência dos votos obtidos que o ambiente encontra-se levemente frio ($-0,5 < PMV < -1,5$) e 92% que o ambiente está frio ($-1,5 < PMV < -2,5$). Em relação ao índice PPD verificou-se que 100% (frequência de valores de PPD) dos votos estavam acima dos 40% de insatisfeitos com o local, ou seja, todos os valores do PPD foram superiores a 40% de insatisfeitos.

Figura 25 - Histogramas do (a) PMV e (b) PPD da instituição “B” no dia 15/09.

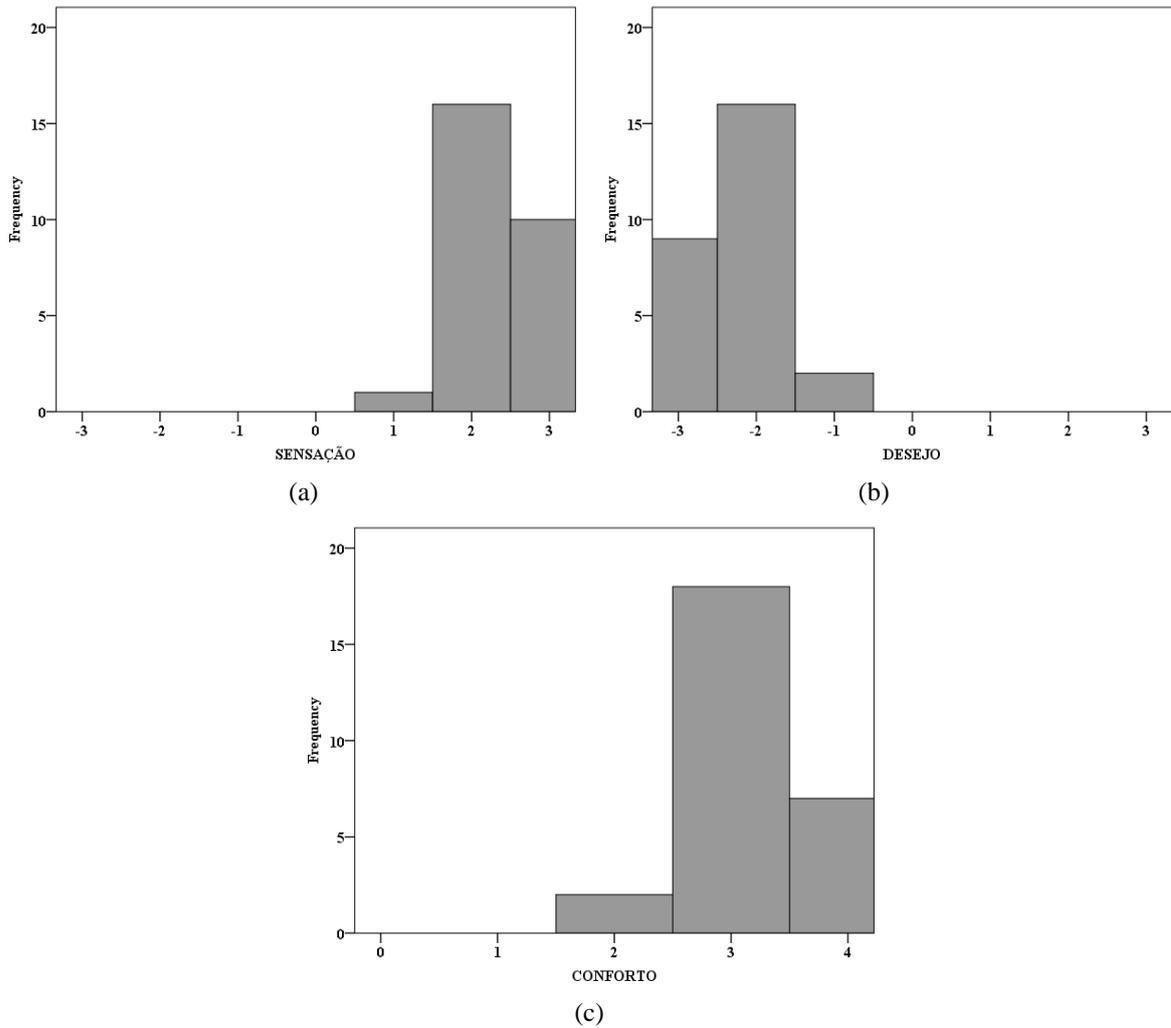


Fonte: Dados da pesquisa (2016)

5.2.3.2. Ajuste 2

O comportamento dos parâmetros de conforto do dia 16 de setembro de 2015, onde a temperatura do ar encontrava-se em média a 33,5° C podem ser observados através da figura 26.

Figura 26 - Histogramas da (a) sensação e do (b) desejo (c) conforto dos dias 16 de setembro de 2015.



Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Em relação a sensação, verificou-se, através dos dados obtidos, que 3,7% sentiram que o ambiente estava levemente quente (+1), 59,3% indicaram que o ambiente estava quente (+2) e 37% disseram que o ambiente estava muito quente (+3).

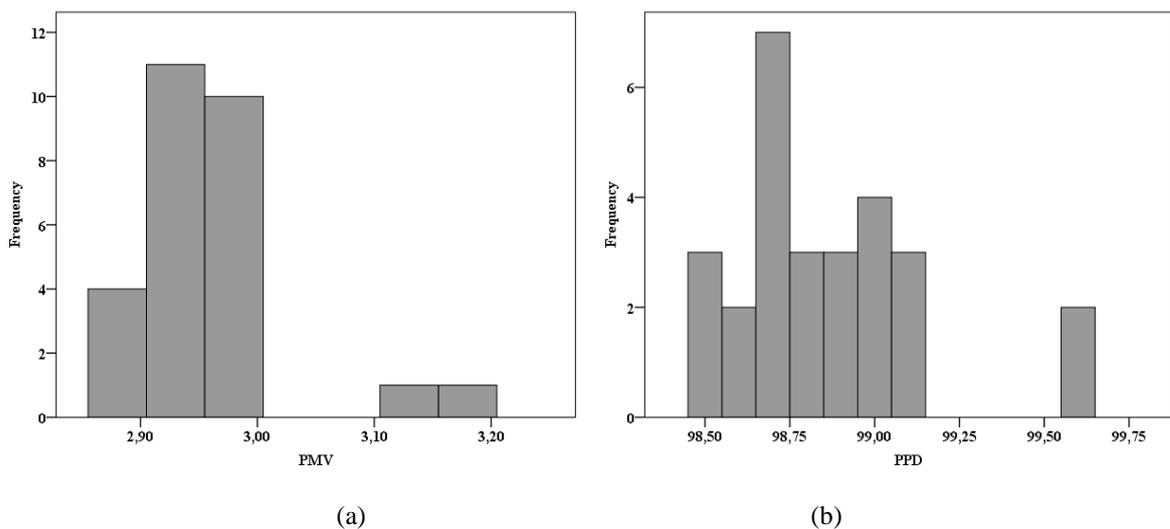
Quanto ao parâmetro desejo 33,3% indicaram que gostariam que o ambiente ficasse muito mais frio (-3), 59,3% desejaram que o ambiente ficasse frio (-2) e 7,4% indicaram que gostariam que o ambiente ficasse levemente mais frio (-1).

Com relação a variável conforto 7,4% dos estudantes relataram estar levemente desconfortáveis (2), 66,7% relataram estar desconfortáveis e 25,9% disseram estar muito desconfortáveis com o ambiente na temperatura de 33,5° C.

Questionados sobre o desconforto dentro da sala, tendo em vista que a região apresenta temperaturas médias muito mais elevadas, alguns alunos relataram que em virtude do ambiente estar fechado e sem nenhum meio de ventilação, tanto natural quanto mecânica, a sensação térmica encontrava-se pior que a apresentada na cidade nos dias de pico de calor, ou seja, para pessoas que moram em locais quentes o fator ventilação é de grande importância para se conseguir ter um ambiente mais agradável.

A figura 27 representa o comportamento dos índices PMV e PPD calculados através da ISO 7730 (2005) no dia 16 de setembro.

Figura 27 - Histogramas do (a) PMV e (b) PPD da instituição “B” no dia 16 de setembro.



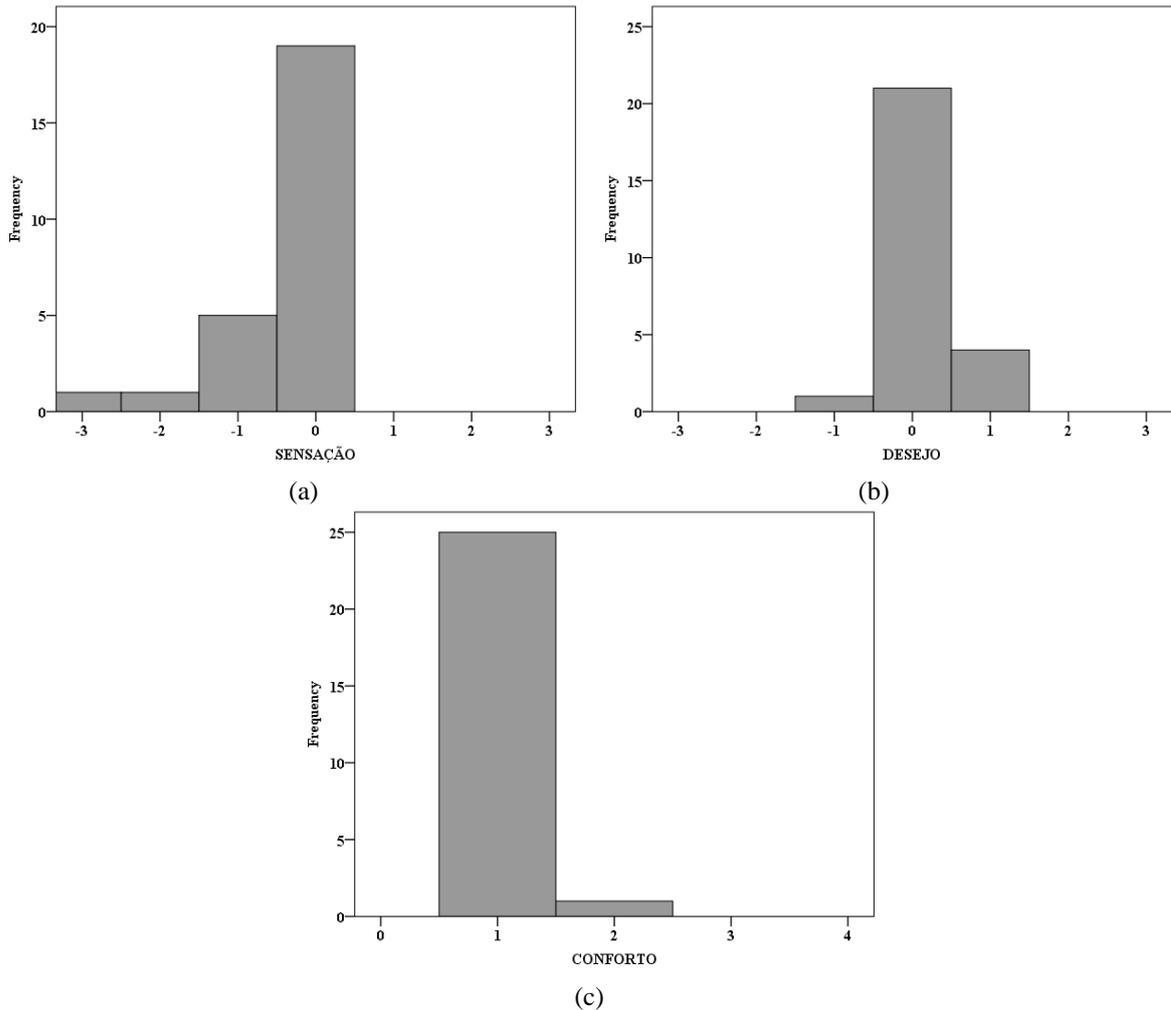
Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Observa-se através da figura 27 que 100% dos indivíduos estão sentindo muito calor ($+2,5 < PMV$) e que a frequência do percentual de pessoas insatisfeitas com o ambiente ($PPD > 10\%$) é de 100%.

5.2.3.3. Ajuste 3

Com relação aos parâmetros de conforto do dia 17 de setembro, pode-se observar o comportamento através da figura 28.

Figura 28 - Histogramas da (a) sensação, do (b) desejo e (c) conforto do dia 17 de setembro.



Fonte: Dados da pesquisa (2016).

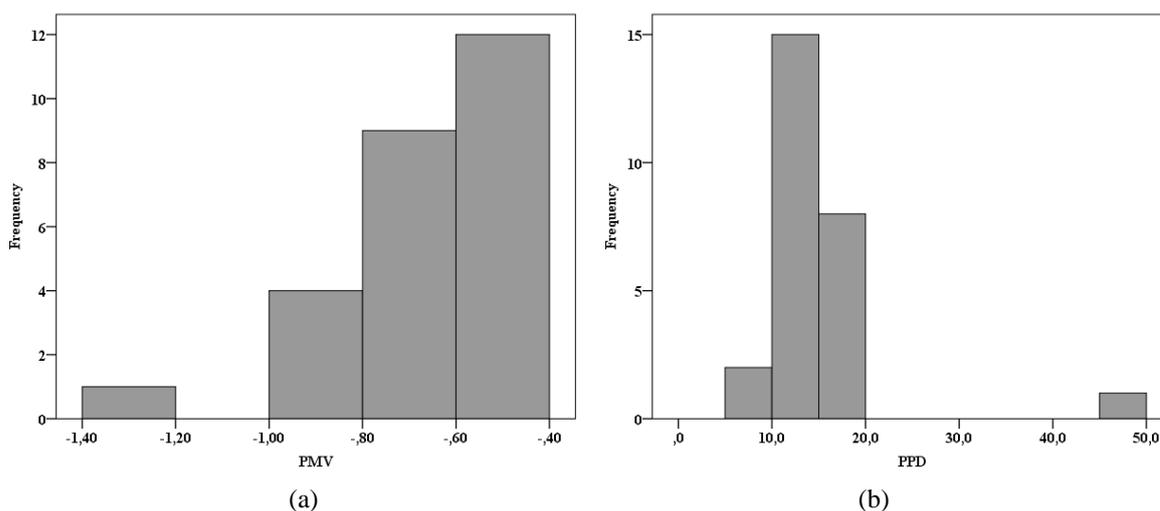
Em relação a sensação térmica, 3,8% indicaram que estavam com muito frio (-3), 3,8% indicaram estar com frio (-2), 19,2% disseram estar com um leve frio (-1) e a maioria cerca de 73,3% falaram que não estavam nem com frio nem com calor, ou seja, neutros (0).

Com relação ao desejo dos estudantes 3,8% desejaram que o ambiente estivesse um pouco mais frio (-1), a maioria 80,8% quiseram que o ambiente permanecesse como estava, nem quente e nem frio (0) e 15,4% optaram que o ambiente ficasse levemente mais quente (+1).

O parâmetro conforto mostrou que 96,2% dos alunos se sentiram confortáveis (1) com o ambiente a temperatura do ar média de 22,94° C e 3,8% sentiram que o ambiente estava levemente desconfortável (2).

Através da figura 29 pode-se observar o comportamento dos índices de conforto PMV e PPD. Verifica-se que segundo os índices da norma ISO 7730 (2005) 11,5 % dos estudantes encontram-se numa situação de conforto ($-0,5 < PMV < +0,5$) e 88,5% estão numa situação de levemente desconfortáveis para o frio ($-1,5 < PMV < -0,5$), em relação ao PPD observa-se uma frequência de 76,5% do percentual de insatisfeitos encontram-se acima do nível indicado aceitável ($PPD > 10\%$).

Figura 29 - Histogramas do (a) PMV e (b) PPD da instituição “B” no dia 17 de setembro.



Fonte: Dados da pesquisa (2016).

5.2.3.4. Análise geral

Novamente, após as análises individuais por dia uniram-se os dados coletados para uma análise mais holística. Através do quadro 11 observa-se o resultado resumido dos valores obtidos dos parâmetros subjetivos e do índice PMV para os três dias de ajustes.

Quadro 11 - Quadro síntese dos parâmetros obtidos em função dos ajustes das temperaturas para os dias de coleta da instituição B

PARÂMETRO	Ajuste1 (20°C)	Ajuste2 (24°C)	Ajuste3 (30°C)
-----------	----------------	----------------	----------------

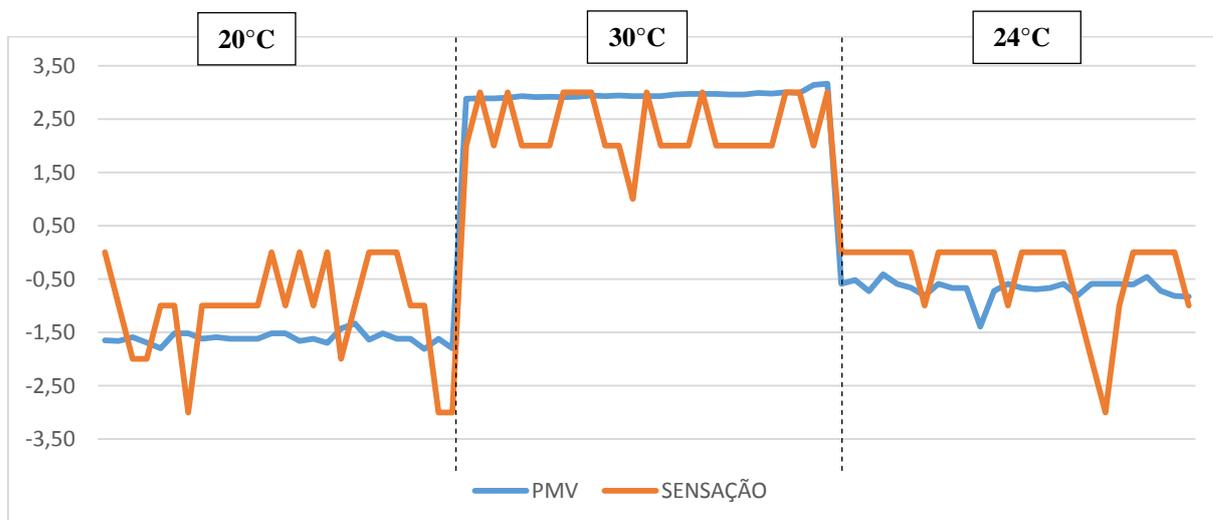
Temperatura do ar	20,07°C ± 0,01°C	22,95°C ± 0,02°C	33,72°C ± 0,16°C
Sensação	50% (-1) 26,9% (0)	19,2% (-1) 73,3% (0)	37% (+3) 59,3% (+2)
Desejo	34,6% (0) 42,3% (+1)	15,4% (+1) 80,8% (0)	33,3% (-3) 59,3% (-2)
Conforto	61,5% (1) 30,8% (2)	96,2% (1) 3,8% (2)	66,7% (3) 25,9% (4)
PMV	7,7% [-0,5;-1,5] 92% [-1,5;-2,5]	88,5% [-0,5;-1,5] 11,5% [-0,5;+0,5]	100% (+2,5<)

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Como pode ser observado no ajuste 1 o índice PMV indicou que o ambiente encontrava-se frio e os alunos classificaram como levemente frio. No segundo ajuste o ambiente foi classificado como levemente frio através do índice PMV e os alunos o classificaram como neutro. No terceiro ajuste o índice classificou o ambiente como muito quente e os alunos identificaram o ambiente como quente.

Através da figura 30 observa-se o comportamento das curvas da Sensação e do PMV, durante os três dias de coleta da instituição B. Verifica-se que existe defasagem entre as curvas da sensação e do PMV, ou seja, existe uma diferença entre o que o modelo da ISO 7730 propõe sobre o conforto e o que realmente as pessoas estão sentindo dentro do ambiente. Alguns autores como Ter Mors et al. (2011), Wong & Khoo (2003), Zeiler & Boxem (2009) já relataram em suas pesquisas essa diferença entre o modelo teórico proposto por Fanger e a situação real averiguada em campo, e justificam tal diferença devido a aspectos fisiológicos (aclimatação), psicológicos (habito) e físicos (ajustes no vestuário do dia).

Figura 30 - Curvas da Sensação, PMV e Desejo na instituição B.



Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Com o objetivo de identificar a relação entre a sensação térmica (*Sens*) dos estudantes da instituição B e a temperatura do ar (Ta), para verificação da neutralidade térmica, ou seja, a temperatura do ar a qual a maioria dos alunos sentiram-se confortáveis a ponto de não querer aumento ou diminuição da temperatura gerou-se o modelo linear 3.

$$Sens = -6,117 + 0,251 * Ta \quad (3)$$

O modelo, resultante da simulação dos dados, que é representado pela equação 3 possui algumas características como pode ser observado através da tabela 11.

Tabela 11 - Características do modelo matemático 3 da instituição B.

Modelo	Tipo	R ²	Estatística F	P-valor
3	Linear	79,75	303,2	2,2*10 ⁻¹⁶

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Igualando a variável sensação (*Sens*) a zero e isolando os termos, tem-se que a temperatura do ar (Ta) neutra para a instituição B é de aproximadamente 24,37 °C. Tal resultado corrobora com o valor proposto pela ISO 7730 (2005) de ambiente confortável.

Novamente com o intuito de identificar, ao invés de uma temperatura específica que possa ser considerada neutra, uma faixa de temperatura onde a neutralidade térmica é atingida

e levando em consideração outro parâmetro obtido com a coleta de dados, no caso o desejo, desenvolveu-se a equação 4 que representa o desejo (Des) em função da temperatura do ar (Ta).

$$Des = 5,0155 - 0,2155 * Ta \quad (4)$$

As características da equação 4, bem como os parâmetros obtidos, podem ser observado através da tabela 12.

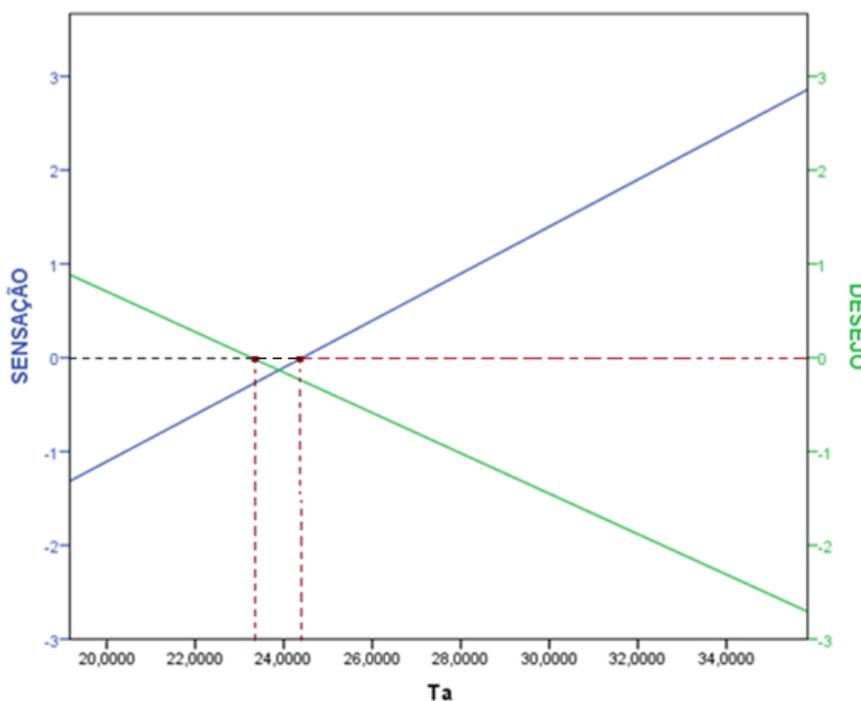
Tabela 12 - Características do modelo matemático 4 da instituição B

Modelo	Tipo	R ²	Estatística F	P-valor
4	Linear	80,21	312,1	<2*10 ⁻¹⁶

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Assim projetando as retas das equações 3 e 4, que representam a relação da sensação e do desejo em função da temperatura do ar construiu-se a figura 31 que vem auxiliar na identificação do intervalo de temperatura onde a neutralidade térmica é atingida.

Figura 31 - Sensação e desejo em função da Temperatura do Ar na instituição B



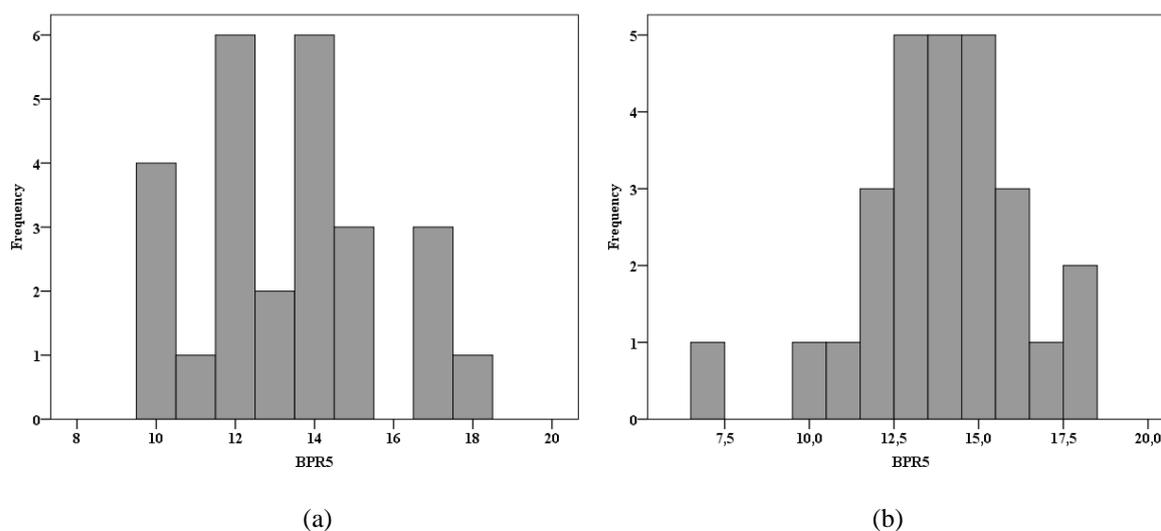
Fonte: Dados da pesquisa (2016)

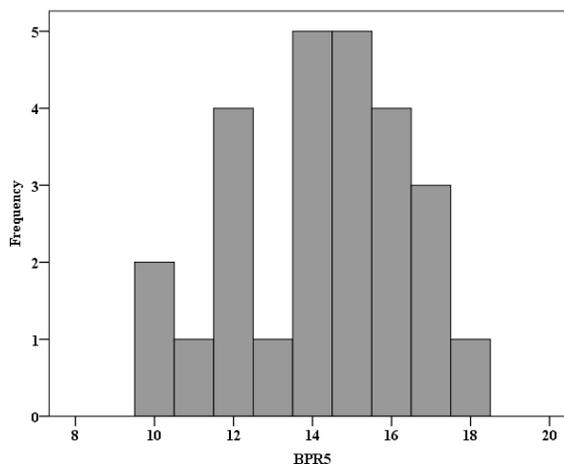
Assim, verifica-se que o intervalo de neutralidade está entre 23,27° C e 24,34° C. Em virtude do resultado do teste dos mínimos quadrados que foi $R^2 = 79,75$ (equação 3) e $R^2 = 80,21$ (equação 4), pode-se afirmar, em virtude do valor da estatística do teste aplicado, que para a instituição B o valor da temperatura em que a neutralidade térmica é atingida encontra-se no intervalo de 23,27°C a 24,34°C.

5.2.4. Variável desempenho

Em relação a variável desempenho pode-se averiguar o seu comportamento, através da figura 32, que retrata a frequência de acertos dos alunos por dia de coleta.

Figura 32 - Histogramas do resultado da bateria de provas de raciocínio BPR5 nos dias (a) 15/09 (b) 16/09 (c) 17/09.





(c)

Fonte: Dados da pesquisa (2016).

Com base na classificação de desempenho estabelecida por Almeida e Primi (2004a) que definiram faixas de desempenho observou-se que no primeiro dia de coleta (15 de setembro) com a temperatura média do ar em torno dos 20,07°C cerca de 15,4% dos estudantes apresentaram um desempenho cognitivo abaixo da média, 69,2% apresentaram seu desempenho cognitivo na média e 15,4% revelaram um desempenho acima da média. No segundo dia (16/09) 7,4% apresentaram um desempenho abaixo da média, 70,4% apresentaram um desempenho na média e 22,2% apresentaram um desempenho acima da média. No terceiro dia (17/09) 7,7% dos estudantes obtiveram um desempenho abaixo da média, 61,5% obtiveram um desempenho na média e 30,8% obtiveram um desempenho acima da média.

5.2.5. Modelagem

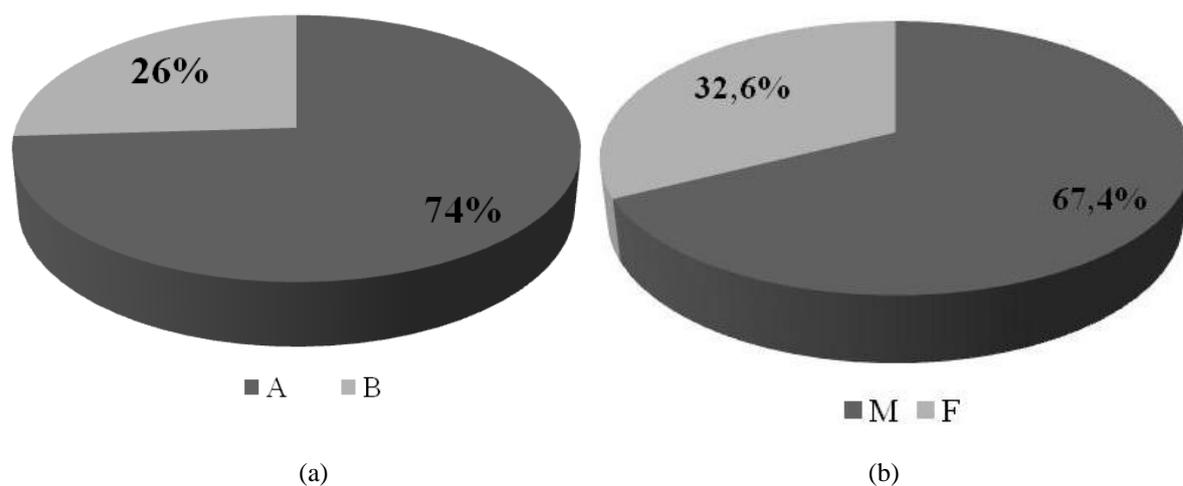
Novamente buscando quantificar a influência dos parâmetros térmicos, de conforto e pessoais no desempenho dos estudantes realizou-se simulações por meio dos resultados dos modelos de regressão logística ordinal. Mesmo utilizando todos os passos descritos na sessão 4.6 não foi possível identificar nenhuma relação estatisticamente significativa entre os parâmetros para a instituição B, observando como base o resultado do teste de Wald e do Teste da Razão de Verossimilhança (Qui Quadrado). Assim, dando continuidade a análise realizada e com o intuito de construir um modelo que represente a influencia dos parâmetros

avaliados sobre o desempenho de estudantes em áreas da região nordeste uniram-se os dados das duas instituições.

5.3. ANALISE DOS DADOS INSTITUIÇÃO A E B

Nesta sessão são abordados os resultados obtidos unindo-se os dados das duas instituições avaliadas. Assim através da figura 33 observa-se que 74% da amostra são compostas por estudantes da instituição A e 26% por estudantes da instituição B, sendo que 67,4% são do sexo masculino e 32,6% do sexo feminino.

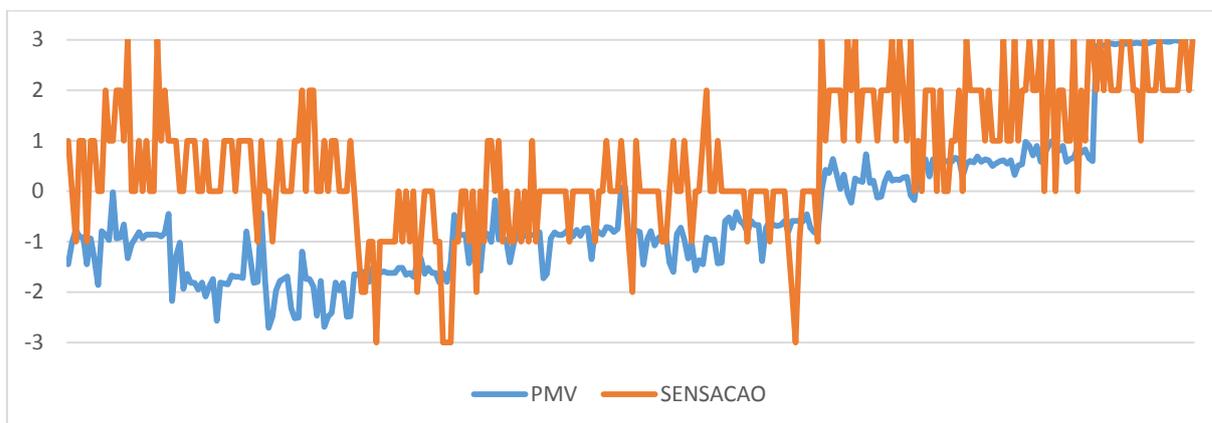
Figura 33 – (a) Composição da amostra por instituição e (b) gênero dos participantes.



Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Através da figura 34, pode-se observar o comportamento das curvas da Sensação e PMV das duas instituições avaliadas em áreas distintas da região do nordeste brasileiro.

Figura 34 - Curvas da Sensação e PMV de duas cidades da região Nordeste.

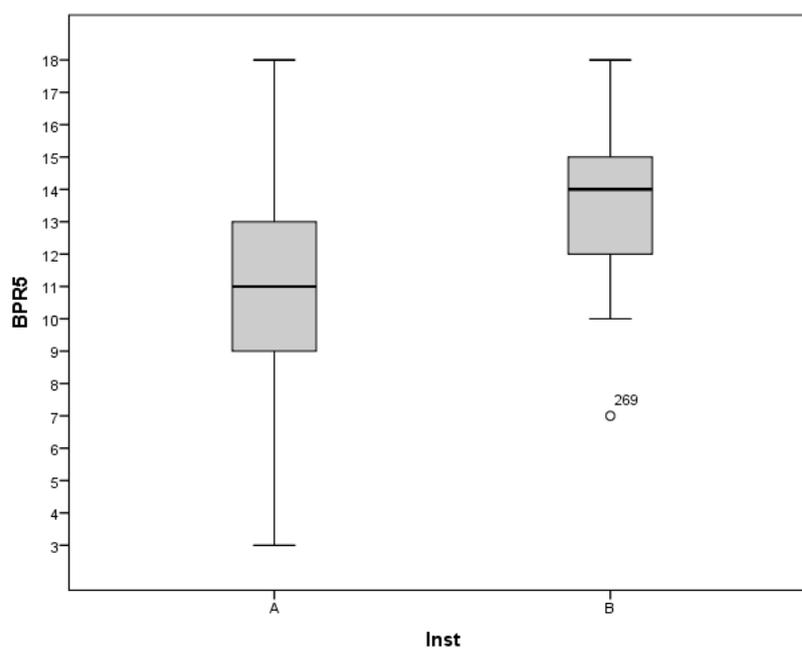


Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Observa-se que a defasagem é menor quando a temperatura é ajustada para 24° C (ver figura 34) e mais acentuada quando as temperaturas foram ajustadas para 20° C e 30° C.

Em relação ao desempenho pode-se observar, através da figura 35, que existe uma variabilidade maior dos resultados e conseqüentemente da capacidade cognitiva dos estudantes quando se compara as instituições. A instituição A, que é privada, apresenta um resultado em média menor que a instituição B que é pública, além disso, observa-se que os estudantes da instituição B obtiveram resultados mais homogêneos.

Figura 35 - Box-plot do desempenho por instituição.



Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Com o intuito de se avaliar em qual temperatura do ar existe a neutralidade de forma geral para as áreas da região nordeste, construiu-se o seguinte modelo de regressão linear (equação 5) que representa a sensação (*Sens*) em função da temperatura do ar (*Ta*).

$$\mathbf{Sens = -4,612 + 0,214 * Ta} \quad (5)$$

O modelo, resultante da simulação dos dados, que é representado pela equação 5 possui algumas características como pode ser observado através da tabela 13.

Tabela 13 - Características do modelo matemático 5

Tipo	R ²	Estatística F	P-valor
Linear	40,7	207,3	<2,2*10 ⁻¹⁶

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Igualando-se a sensação a zero tem-se que a temperatura de conforto para os estudantes das duas instituições é de 21,55 °C.

Realizando o mesmo procedimento para o parâmetro desejo em função da temperatura do ar com o intuito de se construir uma faixa de temperatura que os participantes das duas instituições poderiam considerar como neutra obteve-se a equação 6.

$$\mathbf{Des = 5,2017 - 0,2325 * Ta} \quad (6)$$

Através da tabela 14 podem ser observados os parâmetros obtidos com a regressão linear do desejo.

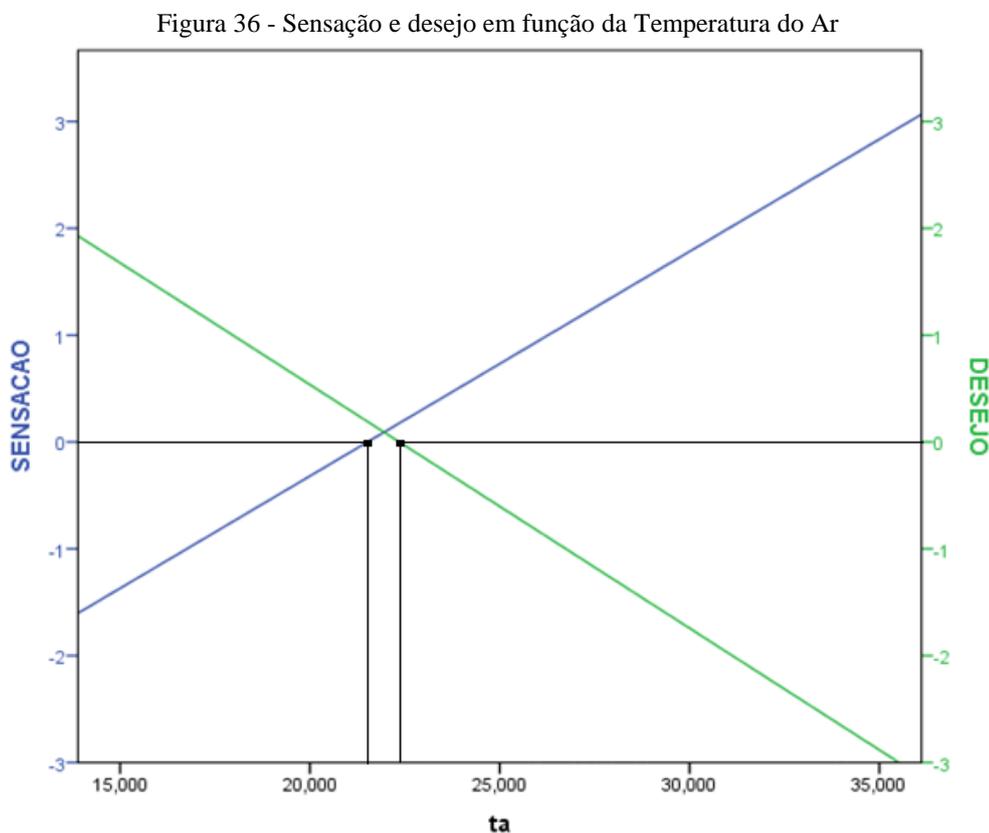
Tabela 14 - Características do modelo matemático 6

Tipo	R ²	Estatística F	P-valor
Linear	42,67	224,8	<2,2*10 ⁻¹⁶

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Novamente realizando a substituição do valor 0 na equação 6 do desejo, que significa que não há a necessidade de se mudar o valor da temperatura do ambiente, ou seja, a preferência térmica na perspectiva do parâmetro desejo, obteve-se que a temperatura de preferência foi de 22,37°C.

Através da figura 36 observa-se o comportamento das retas que representam as equações 5 e 6. Se projetarmos no valor da sensação e desejo (valor 0) se obtém o intervalo de 21,55° C a 22,37° C que é melhor visualizado através da figura 36.



Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Assim pode inferir que o intervalo onde a temperatura do ar é classificada como neutra pelos estudantes de duas cidades da região do nordeste brasileiro foi de 21,55°C a 22,61°C, contudo em virtude das estatísticas do teste dos mínimos quadrados aplicado aos dois parâmetros (desejo e sensação) serem baixas $R^2 < 70$, não se pode afirmar que esse é um intervalo representativo, contudo ele pode ser utilizado como ponto de referência para posteriores estudos e projeções térmicas do ambiente.

5.3.1. Modelagem

Nesta sessão são mostrados os resultados das simulações, na forma de modelos de regressão ordinal, bem como a sua discussão a partir da junção dos dados das duas instituições. Novamente, como já foi citado, no primeiro momento buscou-se investigar os efeitos de todos os parâmetros térmicos, de conforto e pessoais perante as variáveis de desempenho, acrescentando todas de forma simultânea no modelo ajustado e retirando a cada etapa do ajuste dos modelos a variável que se apresentava menos significativa (procedimento conhecido como stepwise backward).

Após os resultados da primeira análise e observando o comportamento dos parâmetros, simulou-se o desempenho em função de cada parâmetro de conforto isoladamente, realizando todas as combinações possíveis. Em seguida, investigou-se exaustivamente a presença de efeitos da combinação de cada parâmetro de conforto com um único parâmetro térmico.

Após tal análise buscou-se realizar interações com as variáveis de conforto e as demais, par a par. A busca de efeitos de interação novamente foi realizada através de exaustivas combinações entre as variáveis.

Assim como primeiro resultado obteve-se o desempenho em função da faixa de conforto e da umidade relativa do ar como pode ser observado através do modelo 1AB.

$$BPRTOT_j = \exp(\beta_{0j}) * \left[\prod_{s=1}^4 \exp(\beta_s)^{CONFORTO_s * UR} \right] \quad (1AB)$$

Onde:

$BPRTOT_j$ = Chance relativa ao desempenho dos estudantes;

j = Faixa de desempenho dos estudantes, onde $j=1$ (categoria de referência) indica “desempenho abaixo da média ($BPRTOT \leq 25\%$)”, $j=2$ indica “desempenho médio ($25\% < BPRTOT \leq 75\%$)” e $j=3$ indica “desempenho acima da média ($BPRTOT > 75\%$)”;

$\exp(\beta_{0j})$ = Intercepto para o desempenho j ;

$\exp(\beta_s)$ = Razão da chance (odds ratio - OR) associada a categoria s do conforto dos estudantes e em função da umidade relativa do ar;

$CONF_S$ = Categoria S do fator conforto, onde $S=1$ indica que o estudante está “confortável”, $S=2$ indica que o estudante está “levemente desconfortável”, $S=3$ que o estudante está “desconfortável” e $S=4$ que o estudante está “muito desconfortável”;

UR = Umidade relativa do ar.

O ajuste do modelo aos dados do experimento realizado com os indivíduos fornece as estimativas que estão representadas pela tabela 15.

Tabela 15 - Estimativas dos parâmetros do modelo 1AB

j	BPRTOTj	Intercepto (β_{0j})	Faixa de Conforto (S)	Razão de Chance (OR)	p-valor (Wald)	p-valor(Razão de Verossimilhança)
2	P(Y=2)	7,0074	1	1,0745	$1,17*10^{-3}$	$3,43*10^{-4}$
			2	1,0780	$1,59*10^{-3}$	
			3	1,0889	$1,6*10^{-4}$	
			4	1,0938	$1,36*10^{-4}$	
3	P(Y=3)	-6,5347	1	1,0745	$1,17*10^{-3}$	$3,43*10^{-4}$
			2	1,0780	$1,59*10^{-3}$	
			3	1,0889	$1,6*10^{-4}$	
			4	1,0938	$1,36*10^{-4}$	

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Através da tabela 16 pode observar a equação obtida substituindo os parâmetros da tabela 14 no modelo 1AB.

Tabela 16 - Equações obtidas com o modelo 16AB

Equações
$BPRTOT_1 = 1 - (e^{(0,4727)} * (1,0745)^{CONF_1*UR} * (1,078)^{CONF_2*UR} * (1,0889)^{CONF_3*UR} * (1,0938)^{CONF_4*UR})$
$BPRTOT_2 = (e^{(7,0074)} * (1,0745)^{CONF_1*UR} * (1,078)^{CONF_2*UR} * (1,0889)^{CONF_3*UR} * (1,0938)^{CONF_4*UR})$
$BPRTOT_3 = (e^{(-6,5347)} * (1,0745)^{CONF_1*UR} * (1,078)^{CONF_2*UR} * (1,0889)^{CONF_3*UR} * (1,0938)^{CONF_4*UR})$

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Observações podem ser feitas do modelo:

1. Todos os parâmetros obtidos e que integram o modelo são significativos, pois o valor do teste de Wald e do teste da razão de verossimilhança (Qui Quadrado) é inferior a 0,05.

2. A chance de um indivíduo aumentar o seu desempenho para uma faixa mais alta depende do conforto e da umidade relativa do ar.
3. O efeito do conforto sobre essa chance de aumento do desempenho, depende de como o estudante se sente em relação ao ambiente, ou seja, como ele classifica o ambiente que pode ser confortável até muito desconfortável;
4. Se aumentarmos a umidade relativa do ar em 1% observa-se que para indivíduos que indicaram que o ambiente encontra-se confortável (S=1) a chance de passarem para uma faixa mais alta de desempenho aumenta em 5,47%, para os que classificaram que o ambiente esta em situação de leve desconforto (S=2) a chance de passarem para uma faixa mais alta de desempenho aumenta 7,8%, para os que indicaram que o ambiente esta desconfortável (S=3) a chance de passarem para uma faixa mais alta de desempenho aumenta em 8,98% e para os que estão classificaram o ambiente como muito desconfortável (S=4) a chance de passarem para uma faixa mais alta de desempenho aumenta em 9,38%.

Novamente situações onde o ambiente é classificado como desconfortavel geram uma maior chance dos indivíduos passarem para uma faixa de maior desempenho. Sugere-se que o fator motivacional de realizar a prova de forma ágil e sair do ambiente desconfortável possa vir a ser mais importante que o fator conforto, e isso pode vir a ter gerado tais resultado necessitando assim de uma maior investigação.

Outra possível razão é o fator aprendizagem, as provas mesmo apresentando questões diferentes entre dias, apresentaram uma estrutura lógica de resolução similar, ou seja, os alunos podem ter identificado formas e padrões de resolução que os auxiliaram a obter melhores resultados nos últimos dias de coletas que eram os dias que representam os maiores níveis de desconforto.

Outro resultado obtido com as simulações representa o desempenho em função da sensação e da temperatura de globo como pode ser observado através do modelo 2AB.

$$BPRTOT_j = \exp(\beta_{0j}) * \left[\prod_{S=1}^7 \exp(\beta_S)^{SENS_S * Tg} \right] \quad (2AB)$$

Onde:

$BPRTOT_j$ = Chance relativa ao desempenho dos estudantes;

j = Faixa de desempenho dos estudantes, onde $j=1$ (categoria de referência) indica “desempenho abaixo da média ($BPRTOT \leq 25\%$)”, $j=2$ indica “desempenho médio ($25\% < BPRTOT \leq 75\%$)” e $j=3$ indica “desempenho acima da média ($BPRTOT > 75\%$)”;

$\exp(\beta_{0j})$ = Intercepto para o desempenho j ;

$\exp(\beta_s)$ = Razão da chance (odds ratio - OR) associada a categoria s da sensação dos estudantes e em função da temperatura de globo;

$SENS_S$ = Categoria S do fator sensação, onde $S=1$ indica que o estudante está sentindo que o ambiente está “muito quente”, $S=2$ indica que o estudante está sentindo o ambiente “quente”, $S=3$ que o local está “levemente quente”, $S=4$ que o estudante não está “nem com frio nem com calor” (neutro), $S=5$ indica que o estudante considera o ambiente “levemente frio”, $S=6$ indica que o local está “frio”, $S=7$ que o estudante está sentindo que o ambiente encontra-se “muito frio”;

Tg = Temperatura de Globo.

O ajuste do modelo aos dados do experimento realizado com os indivíduos fornece as estimativas que estão representadas pela tabela 17.

Tabela 17 - Estimativas dos parâmetros do modelo 2AB

j	BPRTOTj	Intercepto (β_{0j})	Faixa da sensação (S)	Razão de Chance (OR)	p-valor (Wald)	p-valor(Razão de Verossimilhança)
2	P(Y=2)	6,768	1	1,3482	$1,77 \cdot 10^{-3}$	1,79*10 ⁻²
			2	1,2245	$3,56 \cdot 10^{-2}$	
			3	1,2141	$2,25 \cdot 10^{-2}$	
			4	1,1754	$4,32 \cdot 10^{-2}$	
			5	1,1519	$6,54 \cdot 10^{-2}$	
			6	1,1491	$3,01 \cdot 10^{-2}$	
			7	1,1721	$1,22 \cdot 10^{-2}$	
3	P(Y=3)	-6,2236	1	1,3482	$1,77 \cdot 10^{-3}$	
			2	1,2245	$3,56 \cdot 10^{-2}$	
			3	1,2141	$2,25 \cdot 10^{-2}$	
			4	1,1754	$4,32 \cdot 10^{-2}$	
			5	1,1519	$6,54 \cdot 10^{-2}$	
			6	1,1491	$3,01 \cdot 10^{-2}$	
			7	1,1721	$1,22 \cdot 10^{-2}$	

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Através da tabela 18 pode-se observar a equação gerada substituindo-se o valor dos parâmetros obtidos no modelo regressivo ordinal.

Tabela 18 - Equações obtidas com o modelo 2AB

Equações
$BPRTOT_1 = 1 - (e^{(0,5344)} * (1,34)^{Sens_1 * Tg} * (1,22)^{Sens_2 * Tg} * (1,21)^{Sens_3 * Tg} * (1,17)^{Sens_4 * Tg} * (1,15)^{Sens_5 * Tg} * (1,14)^{Sens_6 * Tg} * (1,17)^{Sens_7 * Tg})$
$BPRTOT_2 = e^{(6,768)} * (1,34)^{Sens_1 * Tg} * (1,22)^{Sens_2 * Tg} * (1,21)^{Sens_3 * Tg} * (1,17)^{Sens_4 * Tg} * (1,15)^{Sens_5 * Tg} * (1,14)^{Sens_6 * Tg} * (1,17)^{Sens_7 * Tg}$
$BPRTOT_3 = e^{(-6,2236)} * (1,34)^{Sens_1 * Tg} * (1,22)^{Sens_2 * Tg} * (1,21)^{Sens_3 * Tg} * (1,17)^{Sens_4 * Tg} * (1,15)^{Sens_5 * Tg} * (1,14)^{Sens_6 * Tg} * (1,17)^{Sens_7 * Tg}$

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Observações podem ser feitas do modelo 2AB, através da tabela 18:

1. Os parâmetros obtidos do modelo são significativos levando-se em consideração o valor do teste de Wald e do teste da razão de verossimilhança (Qui Quadrado) ser inferior a 0,05.
2. O desempenho que o indivíduo apresenta depende da faixa de sensação que ele se encontra e da temperatura de globo no local.
3. Aumentando-se a temperatura de globo em 1°C, tem-se que a chance de um indivíduo passar de uma faixa de menor desempenho para uma maior se ele estiver sentindo o ambiente está muito quente (1) é aumentada em 34%, se ele estiver quente (2) a chance é aumentada em 22%, se ele estiver sentindo que o ambiente esta levemente quente (3) a chance aumenta em 21%, se ele estiver neutro (4) nem sentindo calor nem frio a chance de mudar de faixa de desempenho aumenta em 17%, se ele estiver sentindo que o ambiente está levemente frio (5) a chance será aumentada em 15%, se ele considerar que o ambiente está frio a chance de mudar de faixa de desempenho aumenta em 14% e se ele estiver sentindo muito frio (7) a chance de ele mudar de faixa aumenta em 17%.

Pode-se inferir novamente que em situações onde o ambiente esta desconfortável (1 e 7) a chance de um individuo passar de uma faixa inferior de desempenho para uma faixa

superior de desempenho é maior do que em situações de conforto. O modelo 2AB novamente vem a levantar o questionamento de que a motivação em sair do ambiente que gere sensações termicamente desfavoráveis possa gerar um melhor desempenho do que o estado de sensações mais amenas.

Como terceiro resultado das simulações tem-se o desempenho em função do desejo e da umidade relativa do ar como pode ser observado através do modelo 3AB.

$$BPRTOT_j = \exp(\beta_{0j}) * \left[\prod_{S=1}^3 \exp(\beta_S)^{DESTOT_S * UR} \right] \quad (3AB)$$

Onde:

$BPRTOT_j$ = Chance relativa ao desempenho dos estudantes;

j = Faixa de desempenho dos estudantes, onde $j=1$ (categoria de referência) indica “desempenho abaixo da média ($BPRTOT \leq 25\%$)”, $j=2$ indica “desempenho médio ($25\% < BPRTOT \leq 75\%$)” e $j=3$ indica “desempenho acima da média ($BPRTOT > 75\%$)”;

$\exp(\beta_{0j})$ = Intercepto para o desempenho j ;

$\exp(\beta_S)$ = Razão da chance (odds ratio - OR) associada a categoria S do desejo dos estudantes e em função da umidade relativa do ar;

$DESTOT_S$ = Categoria S do fator desejo, onde $S=1$ indica que o estudante deseja que o ambiente permaneça como está “nem quente nem frio”, $S=2$ indica que o estudante deseja que o ambiente fique “frio”, $S=3$ que o estudante deseja que o ambiente fique “quente”;

UR = Umidade relativa do ar.

O ajuste do modelo aos dados do experimento realizado com os indivíduos na instituição A fornece as estimativas que estão representadas pela tabela 19.

Tabela 19 - Estimativas dos parâmetros do modelo 3AB

j	BPRTOT_j	Intercepto (β_{0j})	Faixa de desejo (S)	Razão de Chance (OR)	p-valor (Wald)	p-valor(Razão de Verossimilhança)
			1	1,0791	$9,11*10^{-5}$	
2	P(Y≥2)	6,8826	2	1,0814	$2,22*10^{-4}$	$7,48*10^{-4}$
			3	1,0863	$2,6*10^{-4}$	
3	P(Y=3)	-6,5905	1	1,0791	$9,11*10^{-5}$	

2	1,0814	$2,22 \cdot 10^{-4}$
3	1,0863	$2,6 \cdot 10^{-4}$

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Através da tabela 20 pode-se observar a equação gerada substituindo-se o valor dos parâmetros obtidos no modelo regressivo ordinal.

Tabela 20 - Equações obtidas com o modelo 3AB

Equações
$BPRTOT_1 = 1 - (e^{(0,2921)} * (1,0791)^{DESTOT_1*UR} * (1,0814)^{DESTOT_2*UR} * (1,0863)^{DESTOT_3*UR})$
$BPRTOT_2 = e^{(6,8826)} * (1,0791)^{DESTOT_1*UR} * (1,0814)^{DESTOT_2*UR} * (1,0863)^{DESTOT_3*UR}$
$BPRTOT_3 = e^{(-6,5905)} * (1,0791)^{DESTOT_1*UR} * (1,0814)^{DESTOT_2*UR} * (1,0863)^{DESTOT_3*UR}$

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Observações podem ser feitas do modelo 3AB, através da tabela 20:

1. Todos os parâmetros obtidos do modelo são significativos levando-se em consideração o valor do teste de Wald e do teste da razão de verossimilhança (Qui Quadrado) ser inferior a 0,05.
2. A chance de um indivíduo aumentar o seu desempenho para uma faixa mais alta depende do desejo de como o ambiente deveria estar e da umidade relativa do ar.
3. O efeito do desejo sobre essa chance de aumento do desempenho, depende da classificação do ambiente que o indivíduo apresenta;
4. Se aumentarmos a umidade relativa do ar em 1% observa-se que para indivíduos que estão desejando que o ambiente permaneça como está (S=1) a chance de passarem para uma faixa mais alta de desempenho aumenta em 7,91%, para os que desejam que o ambiente esteja frio (S=2) a chance de passarem para uma faixa mais alta de desempenho aumenta 8,14% e para os que desejam que o ambiente fique quente (S=3) a chance de passarem para uma faixa mais alta de desempenho aumenta em 8,63%.

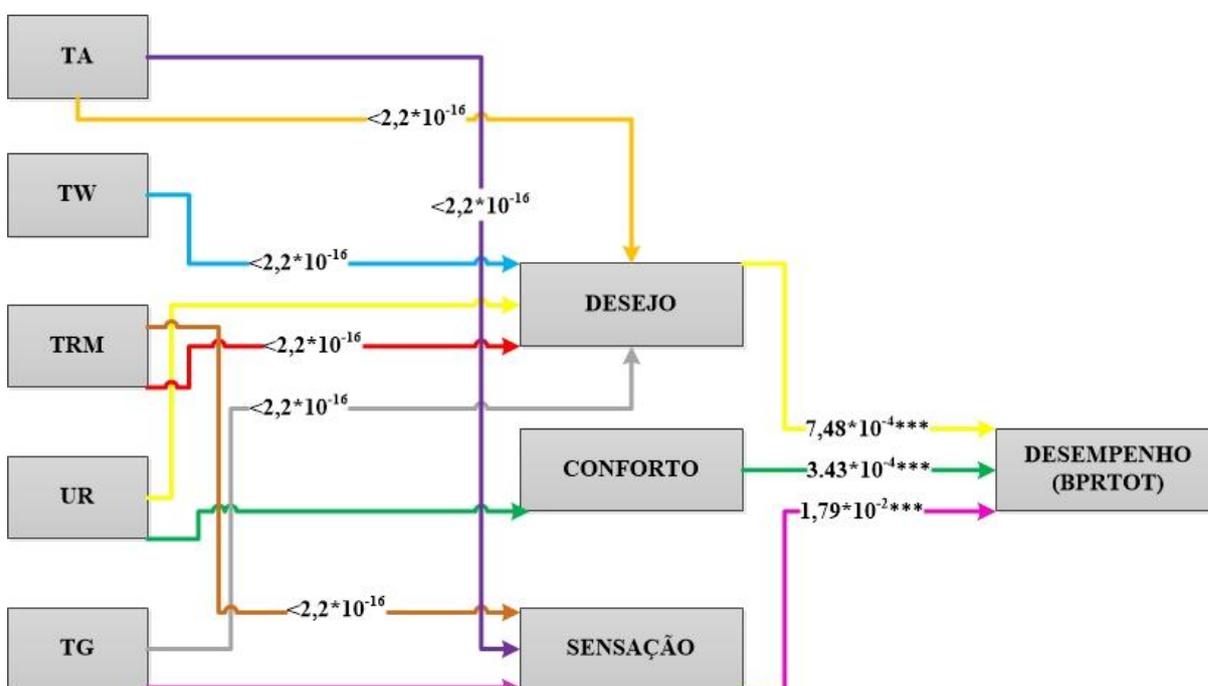
O resultado aponta que ambientes onde há a necessidade de se ajustar a temperatura para mais quente ou mais frio, aumenta as chances de se passar de uma faixa de desempenho menor para uma maior, ou seja, em situações adversas os indivíduos que querem que aquela

ambiente mude de temperatura tendem a ter uma chance de obter um melhor desempenho do que as que desejam que o ambiente permaneça como está.

5.3.1.1. Considerações sobre a modelagem

Para melhor compreender o efeito das variáveis térmicas, subjetivas e índices de conforto sobre o desempenho dos estudantes desenvolveu-se um fluxograma que apresenta, através do resultado do teste da razão de verossimilhança (RV), a relação entre as variáveis, como pode ser observado através da figura 37.

Figura 37 - Fluxograma da iteração entre as variáveis através dos resultados da razão de verossimilhança dos modelos desenvolvidos.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Destarte, através dos modelos obtidos e do resultado representado através da figura 37 verifica-se que em áreas da região nordeste o efeito das variáveis térmicas não é direto e sim combinados com as variáveis subjetivas, assim, pode-se inferir que existe um efeito em cadeia que, gera um impacto no desempenho de forma indireta.

CAPITULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo traz algumas considerações obtidas com o desenvolvimento deste estudo, pois, através dos dados coletados obtiveram-se as sensações térmicas dos estudantes e as sensações preditas através do modelo PMV/PPD. Por isso foi possível realizar os procedimentos estatísticos propostos, atingindo-se os objetivos propostos.

Algumas considerações podem ser realizadas através dos resultados obtidos:

- Através deste trabalho pode-se observar que os aparelhos eletrônicos não geram aumento térmico significativo no ambiente, pois a temperatura do ar, a temperatura de globo e a temperatura radiante média não apresentam diferenças que sejam expressivas (ver tabelas 1,2,3,7,8 e 9). Assim recomenda-se estudar os elementos arquitetônicos e seu efeito no conforto do ambiente térmico e seu impacto no desempenho dos estudantes de forma que cada elemento seja analisado em separado de forma individual e posteriormente seja avaliado suas interações, verificando também a influencia dos materiais nesses efeitos, para se obter chances relativas de cada elemento no aumento ou diminuição do desempenho cognitivo.

Comparando o PMV com o parâmetro subjetivo da sensação nas instituições A e B algumas observações podem ser feitas:

- Os dados corroboram com que os autores Teli et al. (2012) e De Guile et al. (2012) argumentam, que diferentes climas geram diferentes formas de aclimatação que consequentemente geram diferentes sensações e preferências térmicas que não condizem com os valores sugeridos por índices gerados por normas internacionais.
- Através dos dados pode inferir que existe uma defasagem significativa entre o que a norma ISO 7730 (2005) prediz e o que realmente é indicado pelos estudantes nas salas de aula. Contudo o PMV é obtido através da avaliação das propriedades termo fisiológicas dos seres humanos e seu equilíbrio térmico com o meio ambiente e leva em consideração diversos parâmetros, então, pode-se concluir que é mais do que plausível existir uma defasagem entre os parâmetros subjetivos e a norma,

- Esperava-se também que existisse uma tendência entre a curva do PMV e da sensação, o que não ocorreu quando se verifica as figura 20 e 30, assim conclui-se que ao se avaliar e projetar um ambiente de ensino que gere um maior conforto para aos estudantes, deve-se levar em consideração, de forma ponderada, não somente a norma mas a avaliação subjetiva para melhor representar as melhores condições termo ambientais e representar assim, a aclimação desenvolvida pelos indivíduos dentro da região de estudo.

Em relação à faixa de neutralidade térmica:

- Na instituição A, não foi possível identificar em virtude do resultado do R^2 .
- Na instituição B a neutralidade térmica encontra-se no intervalo da temperatura do ar entre 22,82°C a 24,34°C.
- Unindo-se os dados das duas instituições A e B também não se conseguiu identificar a neutralidade térmica dos estudantes de áreas da região nordeste, pois o valor do resultado estatístico do R^2 é inferior a 70%. Acredita-se que o desligamento dos aparelhos de ar condicionado pode ter contribuído para a diminuição do R^2 .

Os resultados dos modelos apresentados sugerem que para os estudantes de áreas da região nordeste, quando a temperatura aumenta há uma maior chance de se passar de uma faixa de desempenho inferior para uma superior. Inicialmente a temperatura do ar condicionado foi programada para 20°C e os alunos encontravam-se numa situação de desconforto para o frio de acordo com a norma ISO7730 (2005) e necessitam que o organismo gere mais energia para se ajustar as condições ambientais e conseqüentemente isso atrapalha o desempenho cognitivo na realização da prova de raciocínio, pois, eles apresentam características de aclimação para o calor em virtude das condições climáticas da região nordestina.

A partir do momento que a temperatura vai aumentando o organismo necessita de menos energia para entrar em equilíbrio e o esforço para realizar a tarefa cognitiva de resolver problemas de raciocínio diminui, e isso é mais acentuado em condições de conforto. Segundo a tabela A.5 do Anexo A da norma ISO7730 (2005), quando fixado o valor da resistência térmica das vestimentas em 0,5 clo no verão e a atividade é realizada em salas de aula a temperatura ideal de conforto está entre 22°C a 27°C. Assim, até o ponto em que a

temperatura é 27°C o desempenho continua a melhorar, pois os indivíduos já estão acostumados a tais médias de temperaturas durante o ano e em virtude do menor esforço gerado para o organismo entrar em equilíbrio. Quando a temperatura se eleva acima de 28°C, esperava-se que o desempenho fosse reduzido, contudo isso não ocorreu em virtude do acionamento de outros mecanismos.

Sugere-se que os alunos querendo sair do ambiente termicamente desconfortável, para o calor, geram um maior esforço cognitivo para realizar com maior agilidade a prova sem reduzir o seu desempenho.

Outra possível justificativa baseia-se nos estudos Tham e Willem (2010) e Lan et al. (2009) que mostram que o tempo de permanência em ambientes desconfortáveis para calor só irão gerar diminuição do desempenho cognitivo se a permanência for superior a 60 min consecutivos, como em média os estudantes responderam a bateria de provas em 15 minutos, as altas temperaturas não chegaram a gerar uma redução do desempenho.

Outro aspecto que se suspeita ter influenciado nos resultados apresentados é o fator aprendizagem. As provas mesmo apresentando questões diferentes entre dias, apresentaram uma estrutura lógica de resolução similar, ou seja, os alunos podem ter identificado formas e padrões de resolução que os auxiliaram a obter melhores resultados nos últimos dias de coletas que eram os dias cujo ajuste era feito para temperaturas mais quentes.

Atualmente é um consenso que ambientes de ensino devem ter todas as condições de conforto favoráveis. As conclusões obtidas a partir do modelo ajustado para os dados do experimento podem ser importantes porque leva a questionamentos sobre a complexidade que pode existir nas reações dos indivíduos às condições térmicas dos ambientes. Por fim, suspeita-se que há possibilidades que o fator motivacional de realizar a prova de forma ágil e sair do ambiente desconfortável possa vir a ser mais impactante que o fator conforto, e isso pode vir a ter gerado tais resultado necessitando assim de uma maior investigação.

Um dos principais entraves da presente pesquisa foi a participação dos estudantes, pois o tamanho da amostra total foi inferior a quantidade planejada para o experimento. Por fim, sugere-se aqui avaliar mais áreas da região nordeste, em virtude do seu grande espaço territorial e seus diversos climas para que os modelos consigam representar de forma mais assertiva as características dessa região. Sugere-se também que seja avaliado o conforto térmico em virtude do consumo energético, pois para obter condições iguais em ambientes fechados, há a necessidade de se utilizar aparelhos de ar condicionado. Além disso, os

coeficientes globais de transmissão de calor e outros parâmetros de inércia térmica devem ser semelhantes.

REFERÊNCIAS

- AKIMOTO, T. et al. Thermal comfort and productivity - Evaluation of workplace environment in a task conditioned office. **Building and Environment**, v. 45, p. 45–50, 2010.
- ALMEIDA, L. S. Aferição dos teste de raciocínio diferencial de G. Meuris para a população do Ensino Secundario do grande Porto. **Psicologia**, v. 3, n. 3-4, p. 195–204, 1982.
- ALMEIDA, L. S. et al. Bateria de provas de raciocínio (BPR-5): Estudo exploratório em alunos universitários. **Avaliação Psicológica**, v. 9, n. 2, p. 155–162, 2010.
- ALMEIDA, L. S.; PRIMI, R. Perfis de capacidades cognitivas na bateria de provas de raciocínio (BPR-5). **Psicologia Escolar e Educacional (Impresso)**, v. 8, n. 2, p. 135–144, 2004a.
- ALMEIDA, L. S.; PRIMI, R. Perfis de capacidades cognitivas na bateria de provas de raciocínio (BPR-5). **Psicologia Escolar e Educacional (Impresso)**, v. 8, n. 2, p. 135–144, dez. 2004b.
- AMAI, H. et al. Thermal sensation and comfort with different task conditioning systems. **Building and Environment**, v. 42, n. 12, p. 3955–3964, dez. 2007.
- ANTONELLI, B. A. Verificação da adequabilidade do modelo normalizado de conforto térmico utilizando a taxa metabólica determinada pelas sensações térmicas reais de usuários de ambientes industriais. **Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa**, 2012.
- ARAÚJO, M. E. M. **Desempenho cognitivo em ambientes térmicos moderados**. [s.l.] Universidade do Minho, 2012.
- ASHRAE, A. S. OF H. R. AND A.-C. E. ASHRAE HANDBOOK. **ASHRAE Handbook - Refrigeration**, 2010.
- ASHRAE55. Thermal environmental conditions for human occupancy. **American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers Inc. Atlanta, GA, USA**, 2013.
- BAUMGARTL, V. DE O.; NASCIMENTO, E. DO. A Bateria de Provas de Raciocínio (BPR-5) aplicada a um contexto organizacional. **Psico-USF (Impresso)**, v. 9, n. 1, p. 1–10, jun. 2004.
- BAUMGARTL, V. DE O.; PRIMI, R. Evidências de validade da bateria de provas de raciocínio (BPR-5) para seleção de pessoal. **Psicologia: Reflexão e Crítica**, v. 19, n. 2, p. 246–251, 2006.
- BELUCE, A. C.; OLIVEIRA, K. L. DE. AMBIENTES VIRTUAIS DE APRENDIZAGEM: DAS ESTRATÉGIAS DE ENSINO ÀS ESTRATÉGIAS DE APRENDIZAGEM. **IX ANPED SUL**, p. 14, 2012.
- BERNAN, W. **History and Art of Warming and Ventilation Rooms and Buildings**. 1. ed. London: University of Michigan Libraries, 1845.
- BIAZZOTTO, C. B. et al. Hipotermia no período peri-operatório. **Revista Brasileira de Anestesiologia**, v. 56, n. 1, p. 89–106, 2006.
- BLATTEIS, C. M. **Fisiologia e Patofisiologia da regulação da Temperatura**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2011a.
- BLATTEIS, C. M. **Fisiologia e Patofisiologia da regulação da Temperatura**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2011b.
- BOERSTRA, A. C. et al. Comfort and performance impact of personal control over thermal environment in summer: results from a laboratory study. **Building and Environment**, v. 87, p. 315–326, jan. 2015.
- BORUCHOVITCH, E.; BZUNECK, J. A. PROCESSOS PSICOLÓGICOS E SOCIAIS NA APRENDIZAGEM. **Psicol. Esc. Educ. (Impr.)**, v. 9, n. 1, 2005.

BRASIL, N. Abnt nbr 14724. **Mendeley Desktop**, p. 15, 2011.

BRODAY, E. E.; XAVIER, A. A. DE P.; DE 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, n. 4, p. 570–580, jul. 2014.

CAMPOS, H. R. Análise de Conteúdo e sua Relação com a Dificuldade dos Itens da Bateria de Provas de Raciocínio (BPR-5). **Dissertação (Mestrado em Psicologia) - Universidade São Francisco. Itatiba-SP**, 2005.

CAUCHICK MIGUEL, P. A. et al. Metodologia de Pesquisa em EP ABEPRO cap 3.pdf. In: **Metodologia De Pesquisa Em Engenharia De Produção**. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2012. p. 236.

CHEN, A.; CHANG, V. W.-C. Human health and thermal comfort of office workers in Singapore. **Building and Environment**, v. 58, p. 172–178, dez. 2012.

CHENG, Y. et al. Experimental and numerical investigations on stratified air distribution systems with special configuration: Thermal comfort and energy saving. **Energy and Buildings**, v. 64, p. 154–161, set. 2013.

CHENG, Y.; NIU, J.; GAO, N. Stratified air distribution systems in a large lecture theatre: A numerical method to optimize thermal comfort and maximize energy saving. **Energy and Buildings**, v. 55, p. 515–525, dez. 2012.

COBÊRO, C.; PRIMI, R.; MUNIZ, M. Emotional intelligence and job performance: a study with MSCEIT, BPR-5 and 16PF. **Paidéia (Ribeirão Preto)**, v. 16, n. 35, p. 337–348, 2006.

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, n. 4, p. 785–792, abr. 2009.

CORGNATI, S. P.; FILIPPI, M.; VIAZZO, S. Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: Subjective preferences and thermal comfort. **Building and Environment**, v. 42, n. 2, p. 951–959, fev. 2007.

COUTINHO, A. S. **Conforto e Insalubridade Térmica em Ambientes de trabalho**. 2^a. ed. João Pessoa: Ed. Universitária, 2005.

DE DEAR, R. et al. Adaptive thermal comfort in Australian school classrooms. **Building Research and Information**, v. 43, n. 3, p. 383–398, 2015a.

DE DEAR, R. et al. Adaptive thermal comfort in Australian school classrooms. **BUILDING RESEARCH AND INFORMATION**, v. 43, n. 3, SI, p. 383–398, 2015b.

DE DEAR, R. J. et al. Progress in thermal comfort research over the last twenty years. **Indoor air**, v. 23, n. 6, p. 442–61, dez. 2013.

DE GIULI, V.; DA POS, O.; DE CARLI, M. Indoor environmental quality and pupil perception in Italian primary schools. **Building and Environment**, v. 56, p. 335–345, out. 2012.

DIAS PEREIRA, L. et al. Assessment of indoor air quality and thermal comfort in Portuguese secondary classrooms: Methodology and results. **Building and Environment**, v. 81, p. 69–80, nov. 2014.

DOUGLAS, C. R. **Tratado de Fisiologia: Aplicada à Saúde**. 5. ed. São Paulo: Robe editorial LTDA, 2002.

FADEYI, M. O. et al. Evaluation of indoor environmental quality conditions in elementary schools' classrooms in the United Arab Emirates. **Frontiers of Architectural Research**, v. 3, n. 2, p. 166–177, jun. 2014.

FAHRMEIR, L.; TUTZ, G.; SALEM, E. **Multivariate statistical modelling based on generalized linear models**. New York: Springer, 1994.

FANGER, P. O. **Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering**. New York: McGraw-Hill, 1970.

FRONTCZAK, M.; ANDERSEN, R. V.; WARGOCKI, P. Questionnaire survey on factors influencing comfort with indoor environmental quality in Danish housing. **Building and Environment**, v. 50, p. 56–64, abr. 2012.

FRONTCZAK, M.; WARGOCKI, P. Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. **Building and Environment**, v. 46, n. 4, p. 922–937, abr. 2011.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5^a ed. ed. [s.l.] Atlas, 2010.

GIRIDHARAN, R. et al. Performance of hospital spaces in summer: A case study of a “Nucleus”-type hospital in the UK Midlands. **Energy and Buildings**, v. 66, p. 315–328, nov. 2013.

HALAWA, E.; VAN HOOF, J.; SOEBARTO, V. The impacts of the thermal radiation field on thermal comfort, energy consumption and control—A critical overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 37, p. 907–918, set. 2014.

HALL, J. E.; GUYTON, A. C. **Guyton E Hall Tratado De Fisiologia Médica**. [s.l.] Elsevier Health Sciences Brazil, 2011.

HAMZAH, B. et al. **The Effect of Environmental Factors on the Thermal Comfort of Occupants in Building Interior** International Conferences on 15th SENVAR (Sustainable Environmental Architecture), Department of Architecture, Faculty of Engineering, Hasanuddin University. **Anais...Makassar**: 2014

HANCOCK, P. A.; PIERCE, J. O. Combined Effects of Heat and Noise on Human Performance: A Review. **American Industrial Hygiene Association Journal**, v. 46, n. 10, p. 555–566, 1985.

HANEDA, M. et al. The effects of thermal discomfort on task performance, fatigue and mental work load examined in a subjective experiment. **Proceedings of Healthy Buildings, Syracuse, New York. Paper 233**, 2009.

HARIMI, D.; MING, C. C.; KUMARESAN, S. A generalized thermal perception approach for indoor thermal comfort assessment in the humid tropics of Malaysia. **Energy and Buildings**, v. 88, p. 276–287, fev. 2015.

HAVERINEN-SHAUGHNESSY, U. et al. Characterization of indoor environmental quality in schools and its association with health and performance. **Building and Environment**, v. 93, p. 35–40, mar. 2015.

HUANG, L. et al. 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, mar. 2012.

HUMPHREYS, M. A.; RIJAL, H. B.; NICOL, J. F. Updating the adaptive relation between climate and comfort indoors; new insights and an extended database. **Building and Environment**, v. 68, p. 40–55, maio 2013.

HWANG, R.-L. et al. Investigating the adaptive model of thermal comfort for naturally ventilated school buildings in Taiwan. **International Journal of Biometeorology**, v. 53, n. 2, p. 189–200, 2009a.

HWANG, R.-L. et al. Additive model for thermal comfort generated by matrix experiment using orthogonal array. **Building and Environment**, v. 44, n. 8, p. 1730–1739, ago. 2009b.

IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. [s.l.] Edgard Blücher, 2005.

INCROPERA, F. P.; LAVINE, A. S. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**. [s.l.: s.n.].

INDRAGANTI, M.; OOKA, R.; RIJAL, H. B. Field investigation of comfort temperature in Indian office buildings: A case of Chennai and Hyderabad. **Building and Environment**, v. 65, p.

195–214, jul. 2013.

IPCC, I. P. ON C. C. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** United Kingdom and New York: Cambridge University Press, 2007.

ISO, I. O. FOR S. **ISO 10551: Ergonomics of the thermal environment -- Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales**, 1995.

ISO7730. Ergonomics of the thermal environment -- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. **International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland**, 2005.

KHODAKARAMI, J.; NASROLLAHI, N. Thermal comfort in hospitals – A literature review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 6, p. 4071–4077, ago. 2012.

KIM, J. et al. Gender differences in office occupant perception of indoor environmental quality (IEQ). **Building and Environment**, v. 70, p. 245–256, dez. 2013.

KOFLER, P. et al. Performance limitation and the role of core temperature when wearing light-weight workwear under moderate thermal conditions. **Journal of Thermal Biology**, v. 47, p. 83–90, jan. 2015.

KREITH, F.; MANGLIK, R. M.; BOHN, M. S. **Principios de transferencia de calor**. [s.l.] Cengage Learning Editores, 2012.

LAI, D. et al. Studies of outdoor thermal comfort in northern China. **Building and Environment**, v. 77, p. 110–118, jul. 2014.

LAN, L. et al. Neurobehavioral approach for evaluation of office workers' productivity: The effects of room temperature. **Building and Environment**, v. 44, n. 8, p. 1578–1588, ago. 2009.

LAN, L.; LIAN, Z.; PAN, L. The effects of air temperature on office workers' well-being, workload and productivity-evaluated with subjective ratings. **Applied ergonomics**, v. 42, n. 1, p. 29–36, dez. 2010.

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

LARA, I. A. R. DE. **Modelos de transição para dados binários**. [s.l.] Universidade de São paulo, 2007.

LEE, M. C. et al. Student learning performance and indoor environmental quality (IEQ) in air-conditioned university teaching rooms. **Building and Environment**, v. 49, p. 238–244, mar. 2012.

LEMOS, G. et al. Inteligência e rendimento escolar: análise da sua relação ao longo da escolaridade. **Revista Portuguesa de Educação**, v. 21, n. 1, p. 83–99, 2008.

LI, D. H. W.; TSANG, E. K. W. An analysis of daylighting performance for office buildings in Hong Kong. **Building and Environment**, v. 43, n. 9, p. 1446–1458, set. 2008.

LI, N. et al. Probability of occupant operation of windows during transition seasons in office buildings. **Renewable Energy**, v. 73, p. 84–91, jan. 2015.

LIANG, H.-H.; LIN, T.-P.; HWANG, R.-L. Linking occupants' thermal perception and building thermal performance in naturally ventilated school buildings. **Applied Energy**, v. 94, p. 355–363, jun. 2012.

LIBERATI, A. et al. Annals of Internal Medicine Academia and Clinic The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care Interventions : **Annals of Internal Medicine**, v. 151, n. 4, p. W65–W94, 2009.

LOMAS, K. J.; GIRIDHARAN, R. Thermal comfort standards, measured internal temperatures and thermal resilience to climate change of free-running buildings: A case-study of hospital wards. **Building and Environment**, v. 55, p. 57–72, set. 2012.

- MAITI, R. PMV model is insufficient to capture subjective thermal response from Indians. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 44, n. 3, p. 349–361, maio 2014.
- MANSHAHIA, M.; DAS, A. Thermophysiological comfort characteristics of plated knitted fabrics. **The Journal of The Textile Institute**, v. 105, n. 5, p. 509–519, 11 set. 2013.
- MARCHAND, G. C. et al. The impact of the classroom built environment on student perceptions and learning. **Journal of Environmental Psychology**, v. 40, p. 187–197, dez. 2014.
- MARCONI, M. DE A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia científica**. 4 ed ed. São Paulo: Atlas, 2004.
- MATIAS-PEREIRA, J. **Manual de metodologia da pesquisa científica**. São Paulo: Atlas, 2010.
- MATTOS, U.; MÁSCULO, F. **Higiene e Segurança do Trabalho**. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2011.
- MENDELL, M. J.; HEATH, G. A. Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature. **Indoor air**, v. 15, n. 1, p. 27–52, 2005.
- MORS, S. TER et al. Adaptive thermal comfort in primary school classrooms: Creating and validating PMV-based comfort charts. **Building and Environment**, v. 46, n. 12, p. 2454–2461, dez. 2011.
- NELDER, A. J. A; WEDDERBURN, R. W. M. Generalized Linear Models. **J. R. Statist. Soc. A.**, v. 135, n. 3, p. 370–384, 1972.
- NG, E.; CHENG, V. Urban human thermal comfort in hot and humid Hong Kong. **Energy and Buildings**, v. 55, p. 51–65, dez. 2012.
- NICO, M. A.; LIUZZI, S.; STEFANIZZI, P. Evaluation of thermal comfort in university classrooms through objective approach and subjective preference analysis. **Applied ergonomics**, v. 48, p. 111–20, maio 2015.
- NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 563–572, jul. 2002.
- PASUT, W. et al. Enabling energy-efficient approaches to thermal comfort using room air motion. **Building and Environment**, v. 79, p. 13–19, set. 2014.
- PAULA, M. DE. UMA FAMÍLIA DE MODELOS DE REGRESSÃO COM A DISTRIBUICAO ORIGINAL DA VARIÁVEL RESPOSTA. **Tese (Doutorado) - Universidade Federal de São Carlos. São Carlos**, 2013.
- PEREIRA, D. A. M.; COUTINHO, A. S.; SILVA, L. B. **Análise das condições de conforto térmico e da inércia térmica a que professores das escolas municipais de João Pessoa – PB estão submetidos**. XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais...** Salvador, Bahia: 2009
- PÉREZ-ALONSO, J. et al. Approach to the evaluation of the thermal work environment in the greenhouse-construction industry of SE Spain. **Building and Environment**, v. 46, n. 8, p. 1725–1734, ago. 2011.
- POURSHAGHAGHY, A.; OMIDVARI, M. Examination of thermal comfort in a hospital using PMV-PPD model. **Applied ergonomics**, v. 43, n. 6, p. 1089–95, nov. 2012.
- PRIMI, R. et al. Intelligence, age and schooling: data from the Battery of Reasoning Tests (BRT-5). **Psicologia: Reflexão e Crítica**, v. 25, n. 1, p. 79–88, 2012.
- PRIMI, R.; ALMEIDA, L. S. Estudo de validação da bateria de provas de raciocínio (BPR-5). **Psicologia: Teoria e Pesquisa**, v. 16, n. 2, p. 165–173, ago. 2000.
- PRIMI, R.; BUENO, J. M. H.; MUNIZ, M. Inteligência emocional: validade convergente e discriminante do MSCEIT com a BPR-5 e o 16PF. **Psicologia: Ciência e Profissão**, v. 26, n. 1, p. 26–

45, 2006.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. DE. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2ª Edição ed. Novo Hamburgo: Editora Feevale, 2013.

REVEL, G. M.; ARNESANO, M. Perception of the thermal environment in sports facilities through subjective approach. **Building and Environment**, v. 77, p. 12–19, jul. 2014.

RIJAL, H. B.; HUMPHREYS, M. A.; NICOL, J. F. Understanding occupant behaviour: the use of controls in mixed-mode office buildings. **Building Research & Information**, v. 37, n. 4, p. 381–396, ago. 2009.

RODRIGUES, R. M.; SIQUEIRA, J. C. F.; SOUZA, E. L. Using bpr- 5 test to analyze university students' cognitive performance. **CESET Journal**, v. 21, p. 95–103, 2015.

ROELOFSEN, P. The impact of office environments on employee performance: The design of the workplace as a strategy for productivity enhancement. **Journal of Facilities Management**, v. 1, p. 247–264, 2002.

SHELLEN, L. et al. Effects of different cooling principles on thermal sensation and physiological responses. **Energy and Buildings**, v. 62, p. 116–125, jul. 2013.

SCHWARZ, M.; ZIMMERMANN, N. E. A new GLM-based method for mapping tree cover continuous fields using regional MODIS reflectance data. **Remote Sensing of Environment**, v. 95, n. 4, p. 428–443, abr. 2005.

SHAUGHNESSY, R. Indoor Environmental Quality in Schools and Academic Performance of Students : Studies from 2004 to Present. **IAQ Conference**, p. 1–5, 2008.

SILVA, L. B. DA. ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE PRODUTIVIDADE E CONFORTO TÉRMICO : O CASO DOS DIGITADORES DO CENTRO DE PROCESSAMENTO DE DADOS E COBRANÇA DA CAIXA ECONÔMICA FEDERAL DO ESTADO DE PERNAMBUCO. **Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001.**

SINGH, M. K.; MAHAPATRA, S.; TELLER, J. Development of thermal comfort models for various climatic zones of North-East India. **Sustainable Cities and Society**, v. 14, p. 133–145, fev. 2015.

SIQUEIRA, J. C. F. AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS CARDIOVASCULARES E DESEMPENHO COGNITIVO DE ESTUDANTES DE AMBIENTES INTELIGENTES DE ENSINO SUBMETIDOS À VARIAÇÃO DE TEMPERATURA DO AR. **Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2015.**

SUZUKI, E. H. Avaliação do conforto térmico e do nível de CO₂ em edifícios de escritório com climatização artificial na cidade de São Paulo. **EPUSP (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil)**, v. 1, p. 27, 2011.

TELI, D.; JENTSCH, M. F.; JAMES, P. A. B. Naturally ventilated classrooms: An assessment of existing comfort models for predicting the thermal sensation and preference of primary school children. **Energy and Buildings**, v. 53, p. 166–182, out. 2012.

THAM, K. W.; WILLEM, H. C. Room air temperature affects occupants' physiology, perceptions and mental alertness. **Building and Environment**, v. 45, n. 1, p. 40–44, jan. 2010.

TINOCO, D. H. **Psicologia da Aprendizagem (Apostila)**. Lins-SP: Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium, 2007.

TURKMAN, M. A. A.; SILVA, G. L. **Modelos Lineares Generalizados: da teoria à prática**. VIII Congresso Anual da Sociedade Portuguesa de Estatística. **Anais...**Lisboa: 2000Disponível em: <<http://docentes.deio.fc.ul.pt/maturkman/mlg.pdf>>

VASCONCELOS, P. E. DE M. ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS TÉRMICAS E O DESEMPENHO DE ESTUDANTES DA ACADEMIA DE POLÍCIA MILITAR DO ESTADO

DA PARAÍBA. **Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2013.**

VERGARA, L. G. L. ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO DE HOSPITAL UNIVERSITÁRIO DE FLORIANÓPOLIS. **Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001.**

WANG, J. et al. Personal and demographic factors and change of subjective indoor air quality reported by school children in relation to exposure at Swedish schools: a 2-year longitudinal study. **The Science of the total environment**, v. 508, p. 288–96, 2015.

WANG, S.-K. et al. Professional development to enhance teachers' practices in using information and communication technologies (ICTs) as cognitive tools: Lessons learned from a design-based research study. **Computers & Education**, v. 79, p. 101–115, out. 2014a.

WANG, Z. et al. Thermal adaptation and thermal environment in university classrooms and offices in Harbin. **Energy and Buildings**, v. 77, p. 192–196, jul. 2014b.

WARGOCKI, P.; WYON, D. P. Effects of HVAC on student performance. **ASHRAE Journal**, v. 48, n. October, 2006.

WONG, A. S. W.; LI, Y.; YEUNG, K.-W. **Environmental Ergonomics - The Ergonomics of Human Comfort, Health and Performance in the Thermal Environment**. [s.l.] Elsevier, 2005. v. 3

WONG, N. H.; KHOO, S. S. Thermal comfort in classrooms in the tropics. **Energy and Buildings**, v. 35, n. February 2002, p. 337–351, 2003.

WYON, D. P. Studies of children under imposed noise and heat stress. **Ergonomics**, v. 13, n. December 2014, p. 598–612, 1970.

WYON, D. P. Individual control at each workplace: the means and the potential benefits. In: **Clements-Croome D, editor. London, UK: E & FN SPON; ISBN 9780415351379**, p. 192–206, 2000.

WYON, D. P.; WARGOCKI, P. How indoor environment affects performance. **ASHRAE Journal**, v. 55, n. March, p. 46–52, 2013.

XAVIER, A. A. D. P. Predição De Conforto Térmico Em Ambientes Internos Com Atividades Sedentárias – Teoria Física Aliada a Estudos De Campo. **Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Depto de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 240, 2000.**

YANG, F.-Y. et al. Tracking learners' visual attention during a multimedia presentation in a real classroom. **Computers & Education**, v. 62, p. 208–220, mar. 2013.

YANG, Z.; BECERIK-GERBER, B.; MINO, L. A study on student perceptions of higher education classrooms: Impact of classroom attributes on student satisfaction and performance. **Building and Environment**, v. 70, p. 171–188, dez. 2013.

YAU, Y. H.; CHANDRASEGARAN, D.; BADARUDIN, A. The ventilation of multiple-bed hospital wards in the tropics: A review. **Building and Environment**, v. 46, n. 5, p. 1125–1132, maio 2011.

ZEILER, W.; BOXEM, G. Effects of thermal activated building systems in schools on thermal comfort in winter. **Building and Environment**, v. 44, n. 11, p. 2308–2317, nov. 2009.

ZHANG, K. et al. Review of underfloor air distribution technology. **Energy and Buildings**, v. 85, p. 180–186, dez. 2014a.

ZHANG, Y. et al. Effects of step changes of temperature and humidity on human responses of people in hot-humid area of China. **Building and Environment**, v. 80, p. 174–183, out. 2014b.

ZHOU, X. et al. A model for predicting thermal sensation of Chinese people. **Building and Environment**, v. 82, p. 237–246, dez. 2014.

ANEXO 1 - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Prezado (a) Senhor (a) Esta pesquisa é sobre ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE CONFORTO TÉRMICO E DESEMPENHO NOS AMBIENTES DE ENSINO COM TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TIC's) - ESTUDO DE MULTICASOS NO NORDESTE BRASILEIRO e está sendo desenvolvido pelo pesquisador Manoel Gerônimo Lino Torres, aluno do Mestrado em Engenharia de Produção do Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Produção da Universidade Federal da Paraíba, sob a orientação do Prof. Dr. Luiz Bueno da Silva. Os objetivos do estudo são Analisar a relação entre os parâmetros de sensação e conforto térmico e o desempenho cognitivo de alunos submetidos à variação de temperatura do ar em ambientes de ensino com Tecnologias de Informação e Comunicação.

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 pesquisador Manoel Gerônimo Lino Torres, através de e-mail: manoel.torres@hotmail.com; de telefone: (87) 9913-6246 ou no Departamento de Pós- Graduação em Engenharia de Produção – Cidade Universitária, Campus I.

Atenciosamente,

Manoel Gerônimo Lino Torres

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

ANEXO 2 - QUESTIONARIO DE AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO (ADPTADO DA ASHRAE 55, 2010)

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 frio	
7. Bem mais frio	

ANEXO 3 – CORRELAÇÕES INSTITUIÇÃO A

Correlations

			PMV	PPD	lcl	Umidade	tg	tw	ta	to	top	SENSACAO	CONFORTO	DESEJO	BPR5	Trm	BPRTOT	
Spearman's rho	PMV	Correlation Coefficient	1,000	-,824**	,133	,851**	,898**	,766**	,898**	,751**	,899**	,468**	,364**	-,510**	-,001	,932**	,078	
		Sig. (2-tailed)	.	,000	,046	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,992	,000	,244
		N	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225
	PPD	Correlation Coefficient	-,824**	1,000	-,194**	-,748**	-,749**	-,662**	-,755**	-,687**	-,753**	-,382**	-,329**	,432**	,005	-,757**	-,080	
		Sig. (2-tailed)	,000	.	,004	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,945	,000	,233	
		N	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225
	lcl	Correlation Coefficient	,133	-,194**	1,000	-,131	-,114	-,138	-,105	-,131	-,107	,047	,065	,131	-,055	-,111	,023	
		Sig. (2-tailed)	,046	,004	.	,050	,087	,039	,116	,050	,108	,482	,330	,049	,410	,096	,732	
		N	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225
	Umidade	Correlation Coefficient	,851**	-,748**	-,131	1,000	,825**	,943**	,846**	,942**	,837**	,369**	,331**	-,607**	,055	,886**	,096	
		Sig. (2-tailed)	,000	,000	,050	.	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,409	,000	,152	
		N	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225
	tg	Correlation Coefficient	,898**	-,749**	-,114	,825**	1,000	,786**	,986**	,766**	,995**	,445**	,307**	-,505**	,025	,954**	,059	
		Sig. (2-tailed)	,000	,000	,087	,000	.	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,706	,000	,376	
		N	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225
	tw	Correlation Coefficient	,766**	-,662**	-,138	,943**	,786**	1,000	,811**	,993**	,799**	,326**	,281**	-,581**	,061	,802**	,071	
		Sig. (2-tailed)	,000	,000	,039	,000	,000	.	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,359	,000	,290	
		N	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225
ta	Correlation Coefficient	,898**	-,755**	-,105	,846**	,986**	,811**	1,000	,789**	,995**	,421**	,302**	-,524**	,039	,949**	,077		
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,116	,000	,000	,000	.	,000	,000	,000	,000	,000	,557	,000	,252		
	N	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225
to	Correlation Coefficient	,751**	-,687**	-,131	,942**	,766**	,993**	,789**	1,000	,777**	,331**	,287**	-,581**	,055	,783**	,074		
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,050	,000	,000	,000	,000	.	,000	,000	,000	,000	,409	,000	,272		
	N	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225
top	Correlation Coefficient	,899**	-,753**	-,107	,837**	,995**	,799**	,995**	,777**	1,000	,432**	,305**	-,516**	,032	,953**	,068		
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,108	,000	,000	,000	,000	,000	.	,000	,000	,000	,634	,000	,312		
	N	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225
SENSACAO	Correlation Coefficient	,468**	-,382**	,047	,369**	,445**	,326**	,421**	,331**	,432**	1,000	,428**	-,136**	-,102	,437**	,021		
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,482	,000	,000	,000	,000	,000	,000	.	,000	,041	,126	,000	,757		
	N	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225
CONFORTO	Correlation Coefficient	,364**	-,329**	,065	,331**	,307**	,281**	,302**	,287**	,305**	,428**	1,000	-,397**	-,003	,342**	,201**		
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,330	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	.	,000	,969	,000	,002		
	N	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225
DESEJO	Correlation Coefficient	-,510**	,432**	,131	-,607**	-,505**	-,581**	-,524**	-,581**	-,516**	-,136**	-,397**	1,000	-,084	-,572**	-,080		
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,049	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,041	,000	.	,211	,000	,232		
	N	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225
BPR5	Correlation Coefficient	-,001	,005	-,055	,055	,025	,061	,039	,055	,032	-,102	-,061	-,003	1,000	,035	,484**		
	Sig. (2-tailed)	,992	,945	,410	,409	,706	,359	,557	,409	,634	,126	,969	,211	.	,602	,000		
	N	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225
Trm	Correlation Coefficient	,932**	-,757**	-,111	,886**	,954**	,802**	,949**	,783**	,953**	,437**	,342**	-,572**	,035	1,000	,082		
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,096	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,602	.	,221		
	N	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225
BPRTOT	Correlation Coefficient	,078	-,080	,023	,096	,059	,071	,077	,074	,068	,021	,201**	-,080	,484**	,082	1,000		
	Sig. (2-tailed)	,244	,233	,732	,152	,376	,290	,252	,272	,312	,757	,002	,232	,000	,221	.		
	N	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225	225

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

ANEXO 4 – CORRELAÇÕES INSTITUIÇÃO B

Correlations

			UR	Seco	Orvalho	Umido	Globo	Icl	Trm	Top	PMV	PPD	BPR5	BPRCAT	SENSACAO	CONFORTO	DESEJO
Spearman's rho	UR	Correlation Coefficient	1,000	-,818**	-,777**	-,778**	-,794**	,049	-,827**	-,821**	-,833**	-,432**	-,031	,001	,802**	-,594**	-,765**
		Sig. (2-tailed)	.	,000	,000	,000	,000	,667	,000	,000	,000	,000	,000	,786	,991	,000	,000
		N	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79
	Seco	Correlation Coefficient	-,818**	1,000	,965**	,968**	,979**	,036	,995**	,999**	,930**	,496**	,177	,081	-,803**	,608**	,788**
		Sig. (2-tailed)	,000	.	,000	,000	,000	,750	,000	,000	,000	,000	,119	,479	,000	,000	,000
		N	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79
	Orvalho	Correlation Coefficient	-,777**	,965**	1,000	,999**	,986**	,057	,954**	,962**	,940**	,489**	,183	,109	-,801**	,618**	,804**
		Sig. (2-tailed)	,000	,000	.	,000	,000	,616	,000	,000	,000	,000	,106	,341	,000	,000	,000
		N	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79
	Umido	Correlation Coefficient	-,778**	,968**	,999**	1,000	,986**	,056	,957**	,965**	,939**	,490**	,186	,106	-,808**	,615**	,808**
		Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	.	,000	,624	,000	,000	,000	,000	,101	,353	,000	,000	,000
		N	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79
	Globo	Correlation Coefficient	-,794**	,979**	,986**	,986**	1,000	,031	,968**	,977**	,931**	,497**	,189	,107	-,800**	,620**	,794**
		Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	.	,788	,000	,000	,000	,000	,095	,350	,000	,000	,000
		N	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79
	Icl	Correlation Coefficient	,049	,036	,057	,056	,031	1,000	,052	,041	,237*	-,181	,036	-,026	,020	,030	-,084
		Sig. (2-tailed)	,667	,750	,616	,624	,788	.	,648	,720	,036	,111	,755	,820	,859	,795	,461
		N	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79
	Trm	Correlation Coefficient	-,827**	,995**	,954**	,957**	,968**	,052	1,000	,997**	,934**	,493**	,182	,089	-,790**	,614**	,780**
		Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,648	.	,000	,000	,000	,108	,437	,000	,000	,000
		N	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79
	Top	Correlation Coefficient	-,821**	,999**	,962**	,965**	,977**	,041	,997**	1,000	,931**	,496**	,173	,075	-,802**	,610**	,786**
		Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,720	,000	.	,000	,000	,127	,509	,000	,000	,000
		N	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79
	PMV	Correlation Coefficient	-,833**	,930**	,940**	,939**	,931**	,237*	,934**	,931**	1,000	,432**	,154	,087	-,792**	,635**	,768**
		Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,036	,000	,000	.	,000	,175	,443	,000	,000	,000
		N	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79
	PPD	Correlation Coefficient	-,432**	,496**	,489**	,490**	,497**	-,181	,493**	,496**	,432**	1,000	-,050	-,076	-,600**	,783**	,627**
		Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,111	,000	,000	,000	.	,664	,505	,000	,000	,000
		N	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79
	BPR5	Correlation Coefficient	-,031	,177	,183	,186	,189	,036	,182	,173	,154	-,050	1,000	,734**	-,035	,074	,042
		Sig. (2-tailed)	,786	,119	,106	,101	,095	,755	,108	,127	,175	,664	.	,000	,761	,519	,715
		N	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79
	BPRCAT	Correlation Coefficient	,001	,081	,109	,106	,107	-,026	,089	,075	,087	-,076	,734**	1,000	,035	,062	-,034
		Sig. (2-tailed)	,991	,479	,341	,353	,350	,820	,437	,509	,443	,505	,000	.	,756	,587	,764
		N	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79
	SENSACAO	Correlation Coefficient	,802**	-,803**	-,801**	-,808**	-,800**	,020	-,790**	-,802**	-,792**	-,600**	-,035	,035	1,000	-,614**	-,902**
		Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,859	,000	,000	,000	,000	,761	,756	.	,000	,000
		N	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79
	CONFORTO	Correlation Coefficient	-,594**	,608**	,618**	,615**	,620**	,030	,614**	,610**	,635**	,783**	,074	,062	-,614**	1,000	,581**
		Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,795	,000	,000	,000	,000	,519	,587	,000	.	,000
		N	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79
	DESEJO	Correlation Coefficient	-,765**	,788**	,804**	,808**	,794**	-,084	,780**	,786**	,768**	,627**	,042	-,034	-,902**	,581**	1,000
		Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,461	,000	,000	,000	,000	,715	,764	,000	,000	.
		N	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

ANEXO 5 – RESUMO DAS NORMAS SOBRE AMBIENTE TÉRMICO

- a) **ISO 7730/2005:** Baseada no modelo desenvolvido por Fanger (1970). Esta norma estabelece índices para prever a sensação térmica e o percentual de pessoas insatisfeitas com as condições térmicas do ambiente em que se encontram, levando em consideração que o local não apresenta grandes discrepâncias de temperatura, ou seja, o ambiente analisado é moderadamente quente ou frio.
- b) **ISO 7726/1998:** Esta norma tem por finalidade definir padrões e orientar as medições dos parâmetros físicos de ambientes térmicos que podem ser ambientes moderados (para análise de conforto) como para ambientes externos (para análise de estresse térmico), ou seja, ela tem por objetivo especificar as características mínimas dos equipamentos e os métodos de mensuração dos parâmetros físicos de um ambiente, para padronizar o registro de informações que levem à obtenção e construção de índices globais de conforto ou estresse térmico.
- c) **ISO 10551/1995:** Esta norma trata da ergonomia do ambiente térmico e avalia a influência do ambiente térmico usando escalas de julgamento subjetivo. De forma geral ela fornece elementos para o desenvolvimento e uso de escalas de julgamento, tais como escala de percepção térmica, de preferência térmica, de aceitabilidade térmica e de tolerância térmica, que tem por finalidade a obtenção de dados sobre aspectos subjetivos do conforto e estresse térmico.
- d) **ISO 9920/1995:** Esta norma trata da ergonomia de ambientes térmicos e auxilia no desenvolvimento da estimativa do isolamento térmico e resistência evaporativa de um traje de roupas, ou seja, ela especifica as características térmicas, como a resistência à perda de calor seco e à perda por evaporação, em condições de estado estacionário para um traje de roupas, baseados em valores conhecidos do isolamento das vestimentas.
- e) **ISO 7243/1989:** Esta norma estima o estresse térmico sobre o ser humano que desenvolve algum trabalho, com base no índice de IBUTG (Índice de Bulbo Umido e temperatura de Globo). Ela fornece um método, que pode ser facilmente utilizado num ambiente industrial para a avaliação das tensões sobre um indivíduo. Aplica-se à

avaliação do efeito médio de calor sobre o homem durante o período de sua atividade, mas não se aplica a períodos muito curtos, nem zonas de conforto.

- f) **ISO 7933/2004:** Esta norma trata da ergonomia do ambiente térmico, através da determinação analítica e interpretação de estresse por calor, usando cálculo da tensão provocada pelo calor previsto. Ele descreve um método para prever a taxa de suor e a temperatura do núcleo interno do corpo humano que irá desenvolver-se em resposta às condições de trabalho.
- g) **ISO 9886/2004:** Esta norma avalia a tensão térmica, através de medições fisiológicas, descrevendo métodos para medição e interpretação de dados fisiológicos de pessoas sujeitas a ambientes termicamente desfavoráveis. Os parâmetros fisiológicos medidos e interpretados através da norma são: temperatura interna do corpo, temperatura da pele, taxa cardíaca e perda de massa corporal. A norma fornece também os limites aceitáveis das respectivas variáveis, tanto em ambientes quentes, como em frios.
- h) **ASHRAE 55/2013:** Esta norma diz respeito a ambientes térmicos, condições para ocupação humana, ou seja, ela especifica as combinações dos parâmetros térmicos e pessoais de um ambiente, ela também apresenta informações sobre o isolamento das vestimentas, os períodos e localizações de medições, o desconforto devido à corrente de ar e uma bibliografia atualizada, utilizada em estudos de conforto térmico.
- i) **NR 15, Anexo nº3/1978:** Esta Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho, fixa os limites de tolerância para exposição ao calor, ou seja, ela define os limites máximos de tempos a que um trabalhador pode ficar exposto a uma condição de stress por calor, no desempenho de sua atividade. Esta norma relaciona a atividade desempenhada no posto de trabalho com os ciclos de trabalho/descanso, em função dos valores máximos de referência do IBUTG (Índice de Bulbo Úmido e Temperatura de Globo) tabelados.
- j) **NBR 16401/2008:** Estipula os parâmetros ambientais suscetíveis de produzir sensação aceitável de conforto térmico em 80% ou mais das pessoas.

**APENDICE A – IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA DA ISO 7730
(2005) EM LINGUAGEM C.**

```
#include "stdio.h"
#include "math.h"

typedef struct dados
{
    float RH;
        float TA;
        float CLO;
        float TR;
        float MET;
        float VEL;
        float PA;
        float WME;
        float PMV;
        float PPD;
} DADOS;

int quantLinhas()
{
    // nome e local do arquivo que será aberto para
    // obtermos a quantidade de linhas
    FILE *arq1;
    char url1[]="dados.txt";
    int caractere, existe_linhas = 0;
    int quant_linhas = 0;
    char info1[80];
    arq1 = fopen(url1, "r");
```

```

if(arq1 == NULL)
{
    printf("Erro, nao foi possivel abrir o arquivo\n");
}
else
{
    fgets(info1, 80, arq1);
    int cont =0;
    while((caractere = fgetc(arq1)) != EOF)
    {
        existe_linhas = 1; // há conteúdo no arquivo

        if(caractere == '\n') // é uma quebra de linha?
        {
            // vamos incrementar a quantidade de linhas
            quant_linhas++;
        }
    }
    // se não houver uma quebra de linha na última linha
    // a contagem será sempre um a menos. Assim, é melhor
    // incrementar quant_linhas mais uma vez
    if(existe_linhas)
    {
        quant_linhas++;
    }
    fclose(arq1);
    return quant_linhas;
}

```

```

float FNPS(float T) //saturated vapour pressure, kPa*/
{

```

```
T = expf(16.6536-(4030.183/(T+235)));
return T;
}

int main()
{
    int linhas = quantLinhas();
    DADOS vetDados[linhas];
    float ICL, M, W, MW, FCL, HCF, TAA, TRA, TCLA, T;
    float P1, P2, P3, P4, P5, XN, XF, EPS, HCN, HC;
    float TS, temp, TCL, HL1, HL2, HL3, HL4, HL5, HL6;
    //float PMV, PPD;
    char url2[]="dados.txt";
    char info2[80];
    FILE *arq2;
    arq2 = fopen(url2, "r");
    int i= 0;
    char url3[]="saida.txt";
    FILE *arq3;
    arq3 = fopen(url3, "w");
    int j = 0;

    printf("%d",linhas);

    if(arq2 == NULL)
    {
        printf("Erro, nao foi possivel abrir o arquivo\n");
        //exit(0);
    }
    else
    {
        fgets(info2, 80, arq2);
        int cont =0;
```

```

printf("\n");
while( fscanf(arq2,"%f %f %f %f %f %f %f %f\n", &vetDados[i].RH,
&vetDados[i].TA,    &vetDados[i].CLO,    &vetDados[i].TR,    &vetDados[i].MET,
&vetDados[i].VEL, &vetDados[i].PA, &vetDados[i].WME) != EOF)
{
    if(vetDados[i].PA==0)
    {
        T = FNPS(vetDados[i].TA);
        vetDados[i].PA = vetDados[i].RH*10*T;
    }
    ICL = vetDados[i].CLO*0.155; // thermal insulation of the clothing in
m^2K/W

    M = vetDados[i].MET*58.15; // metabolic rate in W/m^2
    W = vetDados[i].WME*58.15; // external work in W/m^2
    MW = M - W; // internal heat production in the human body
    if (ICL < 0.078)
    {
        FCL = 1 + 1.29*ICL;
    }
    else
    {
        FCL = 1.05 + 6.45*ICL; //clothing area factor
    }
    HCF = 12.1*sqrtf(vetDados[i].VEL); // heat transf. coeff. by forced
convection

    TAA = vetDados[i].TA + 273; // air temperature in Kelvin
    TRA = vetDados[i].TR + 273; // mean radiant temperature in Kelvin
    //-----CALCULATE SURFACE TEMPERATURE OF CLOTHING
    BY ITERATION---
    TCLA = TAA + (35.5 - vetDados[i].TA)/(3.5*(6.45*ICL + 0.1)); //
first guess for surface temperature of clothing
    P1 = ICL*FCL; //calculation term
    P2 = P1*3.96; //calculation term

```

```

P3 = P1*100; //calculation term
P4 = P1*TAA; //calculation term
P5 = 308.7 - (0.028*MW) + (P2*powf((TRA/100),4));
//P5 = 308.7 - (0.028*MW) + (P2*(TRA/100)*4);

XN = TCLA/100;
XF = XN;
int n = 0;
EPS = 0.00015;
do
{
    XF = (XF + XN)/2;
    HCN = 2.38*abs(powf((100*XF - TAA),0.25)); //heat transf.
coeff. by natural convection
    //if (HCF<HCN)
    if (HCF > HCN)
    {
        HC = HCF;
    }
    else
    {
        HC = HCN;
    }
    XN = (P5 + P4*HC - P2*(powf(XF,4)))/(100 + P3*HC);
    n++;
    temp = abs(XN-XF);
}while(n<=150 && temp>EPS);

TCL = (100*XN) - 273; //surface temperature of the clothing
//-----HEAT LOSS COMPONENTS -----
-----

HL1 = 3.05*0.001*(5733 - (6.99*MW) - vetDados[i].PA); //heat loss
diff. through skin

```

```

if (MW > 58.15)
{
    HL2 = 0.42*(MW - 58.15);
}
else
{
    HL2 = 0; //heat loss by sweating (comfort);
}
HL3 = 1.7*0.00001*M*(5867 - vetDados[i].PA); //latent respiration
heat loss
HL4 = 0.0014*M*(34 - vetDados[i].TA); //dry respiration heat loss
HL5 = 3.96*FCL*(powf(XN,4) - (powf((TRA/100),4))); //heat loss by
radiation
HL6 = FCL*HC*(TCL-vetDados[i].TA);
//-----CALCULATE PMV AND PPD -----
-----
TS = (0.303*expf(-0.036*M)) + 0.028; //thermal sensation trans coeff
vetDados[i].PMV = TS*(MW - HL1 - HL2 - HL3 - HL4 - HL5 - HL6);
//predicted mean vote
vetDados[i].PPD = 100 - (95*expf(-
0.03353*(powf(vetDados[i].PMV,4)) - 0.2179*(powf(vetDados[i].PMV,2)))); //predicted
percentage dissat.

printf("\n%.5f", TS);
//printf("\n%.10f",95*expf(-0.03353*(powf(vetDados[i].PMV,4)) -
0.2179*(powf(vetDados[i].PMV,2))));
i++;
//printf("\n OUTPUT");
//printf("\n 1 Predicted Mean Vote (PMV): %.2f", vetDados[i].PMV);
//printf("\t 1 Predicted Percent of Dissatisfied (PPD):: %.2f",
vetDados[i].PPD);
}
}

```

```
fclose(arq2);

fprintf(arq3, "PMV\tPPD");
if(arq3 == NULL)
{
    printf("Erro, nao foi possivel abrir o arquivo\n");
}
else
{
    for(j=0; j<linhas; j++)
    {
        fprintf(arq3, "\n%.2f \t %.2f", vetDados[j].PMV, vetDados[j].PPD);
    }
}
fclose(arq3);

return 0;
}
```