



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

**FLÁVIA BRANDÃO RAMALHO DE BRITO**

**ESTUDO DA TEMPERATURA DE GLOBO EM RELAÇÃO À TEMPERATURA DO AR  
DURANTE ATIVIDADES COGNITIVAS EM AMBIENTES DE ENSINO COM ALTERAÇÕES  
CLIMÁTICAS EM ÁREAS DAS REGIÕES BRASILEIRAS**

JOÃO PESSOA

2017

**FLÁVIA BRANDÃO RAMALHO DE BRITO**

**ESTUDO DA TEMPERATURA DE GLOBO EM RELAÇÃO À TEMPERATURA DO AR  
DURANTE ATIVIDADES COGNITIVAS EM AMBIENTES DE ENSINO COM ALTERAÇÕES  
CLIMÁTICAS EM ÁREAS DAS REGIÕES BRASILEIRAS**

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

**Área de Concentração:** Trabalho, Tecnologia e Organizações

**Orientador:** Luiz Bueno da Silva, Dr.

JOÃO PESSOA

2017

B862e Brito, Flávia Brandão Ramalho de.  
Estudo da temperatura de globo em relação à temperatura do ar durante atividades cognitivas em ambientes de ensino com alterações climáticas em áreas das regiões brasileiras / Flávia Brandão Ramalho de Brito.- João Pessoa, 2017.  
194f. : il.  
Orientador: Luiz Bueno da Silva  
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT  
1. Engenharia de produção. 2. Radiação térmica.  
3. Temperatura de globo. 4. Temperatura radiante média.  
5. Desempenho de estudantes.

UFPB/BC

CDU: 62:658.5(043)

**FLÁVIA BRANDÃO RAMALHO DE BRITO**

**ESTUDO DA TEMPERATURA DE GLOBO EM RELAÇÃO À TEMPERATURA DO AR  
DURANTE ATIVIDADES COGNITIVAS EM AMBIENTES DE ENSINO COM ALTERAÇÕES  
CLIMÁTICAS EM ÁREAS DAS REGIÕES BRASILEIRAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção – Área de concentração: Tecnologia, Trabalho e Organizações.

**Aprovada em 16 de fevereiro de 2017**

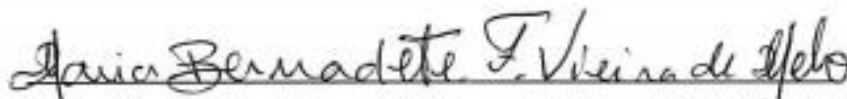
**LOCAL: UFPB – Campus I – Centro de Tecnologia –  
Departamento de Engenharia de Produção**

**BANCA EXAMINADORA**



---

Orientador – Prof. Luiz Bueno da Silva (Dr.) - UFPB



Examinador Interno – Maria Bernadete Fernandes Vieira de Melo (Dra.) - UFPB

---

Examinador Externo – Solange Maria Leder (Dra.) - UFPB

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer inicialmente ao professor Luiz Bueno da Silva que considero um ótimo professor e orientador e, acima de tudo, um amigo, sempre auxiliando nas incontáveis dúvidas que surgiram durante a realização deste trabalho. Agradeço a ele também por toda confiança, disponibilidade e atenção mesmo com as dificuldades de eu estar morando e trabalhando em outra cidade.

Agradeço também ao professor Antônio Souto Coutinho que sempre se mostrou disposto a me auxiliar quando tive dúvidas relacionadas a área térmica.

Aos meus pais, Mércia e Flávio, minhas bases, simplesmente por terem me feito existir, por tanto amor, por tudo o que sou, por cada oração, por terem me proporcionado educação e amor pelos estudos, e, apesar das inúmeras dificuldades, por sempre me estimularem a continuar.

Ao meu amigo e namorado Afrânio Jácome que sempre me incentivou para continuar seguindo em frente na constante busca pelo conhecimento.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Análise do Trabalho (LAT), em especial Adriana Gomes, Erivaldo Lopes e Thainá Santiago. Ainda agradeço as amigas sempre presentes nesta caminhada, Féfé, Allana, minha cunhada Gabriela, Alana, Ana Raquel e minhas irmãs Marina, Sylvia e Fernanda.

Aos professores que nos receberam nas diversas coletas espalhadas pelo Brasil, aos alunos que se dispuseram a participar e contribuir para a realização deste trabalho. Aos colegas de trabalho da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Enfim, a todos que contribuíram e me ajudaram direta ou indiretamente para a conclusão desta dissertação.

## RESUMO

**Introdução:** As alterações climáticas do planeta poderão elevar ainda mais a temperatura média em todas as regiões do Brasil, e como tem havido um crescimento da inserção de inovações tecnológicas de comunicação e informação (*news ICT*) em ambientes de ensino, o que pode colaborar para o aumento da radiação térmica, torna-se assim importante investigar como esse aumento nesses ambientes poderá interferir no conforto e desempenho de estudantes. Na equação formulada por Fanger (1970), o fator de radiação térmica é representado pela temperatura radiante média ( $T_{rm}$ ), mas seu impacto sobre o conforto térmico é muitas vezes ignorado. A temperatura de globo ( $T_g$ ) é uma das variáveis das equações para o cálculo da temperatura radiante média e a mesma corresponde a temperatura que permite avaliar o nível de radiação térmica das superfícies existentes em um ambiente donde uma diferença significativa entre a temperatura de globo e a temperatura do ar pode demonstrar certo aumento da radiação térmica no ambiente de trabalho. **Objetivo:** Investigar se a relação entre a temperatura de globo e a temperatura do ar ( $T_g - T_a$ ), observando a variação da temperatura radiante média, poderá ter repercussão no desempenho de estudantes em ambientes inteligentes de ensino (*News ICT*) em áreas das regiões brasileiras. **Métodos:** Os procedimentos metodológicos adotados neste trabalho consistiram nas etapas: análise das variáveis térmicas:  $t_{rm}$  e  $(t_g - t_a)$ ; análise do desempenho dos estudantes, análise dos elementos arquitetônicos e construção do modelo matemático. O estudo foi realizado em laboratórios de informática climatizados com *News ICT* nas seguintes instituições: UFPI, Teresina-Piauí (A); UFSC, Florianópolis-Santa Catarina (B); UnB, Brasília-Distrito Federal (C); UNIVASF, Petrolina-Pernambuco (D); ICMC, São Carlos-SP (E); UFAM, Manaus-Amazonas (F); CE da PM, João Pessoa, Paraíba (G). Os estudantes responderam a um questionário adaptado da Bateria de Provas de Raciocínio (BPR-5) em três dias consecutivos a diferentes temperaturas, enquanto as condições térmicas eram medidas e o projeto e elementos arquitetônicos eram analisados. **Resultados:** Constatou-se que nos três dias consecutivos só não houve troca de calor por radiação entre o estudante e seu ambiente nos laboratórios das instituições C e F, demonstrando que nos outros laboratórios das instituições A, B, D, E e G houve troca de calor por radiação. Ressalta-se que no laboratório da instituição G essa troca de calor foi mais acentuada, tal que a temperatura radiante média em dado instante superou a temperatura de globo em  $2,25 \text{ }^\circ\text{C } h_{cg} / \epsilon_g \sigma$ . Entretanto, sua análise arquitetônica sinalizou que o projeto tinha mais aspectos positivos. Logo, provavelmente as fontes de calor no interior do laboratório devem ter proporcionado aumento da radiação térmica, haja vista que o número de estudantes e laptops eram representativos. Assim, no sentido de confirmar esses achados, constatou-se através da modelagem matemática que a cada aumento de um grau na diferença entre a temperatura de globo e a temperatura do ar ( $T_g - T_a$ ), o desempenho dos estudantes no laboratório de informática da instituição G diminuía em torno de 29%, constatando que, quanto maior a temperatura radiante média, maior será a radiação térmica nesse laboratório, e esse aumento poderá comprometer o desempenho dos estudantes. **Conclusão:** Como a produtividade pode sofrer alterações devido às mudanças de temperatura do ar em ambientes de ensino climatizados, conforme já comprovado por publicações internacionais, neste caso específico, se  $T_g \gg T_a$ , possivelmente a radiação térmica poderá interferir no desempenho das pessoas presentes em ambiente providos de inovações tecnológicas de comunicação e informação (*News ICT*).

**Palavras-chave:** Radiação térmica; Temperatura de globo; temperatura radiante média; desempenho de estudantes

## ABSTRACT

**Introduction:** The planet's climate change may raise the average temperature in all regions of Brazil. As there has been an increase in the insertion of technological innovations of communication and information (news ICT) in educational institutions, which can contribute to the increase in thermal radiation, it is therefore important to investigate how this increase in these environments may interfere with the comfort and performance of students. In the equation formulated by Fanger (1970), the thermal radiation factor is represented by the mean radiant temperature ( $T_{rm}$ ), but its impact on thermal comfort is often ignored. The globe temperature ( $T_g$ ) is one of the variables of the equations for the calculation of the mean radiant temperature. It corresponds to the temperature that allows evaluating the level of thermal radiation of the existing surfaces in an environment where a significant difference between the globe temperature and the temperature of the air can demonstrate some increase of thermal radiation in the work environment. **Objective:** To investigate if the behavior of the globe temperature in relation to the air temperature ( $T_g - T_a$ ), observing the variation of the mean radiant temperature, could have repercussion in the performance of students in intelligent teaching environments in areas of the Brazil's regions. **Methods:** The methodological procedures adopted in this work consisted of the following steps: analysis of thermal variables:  $T_{rm}$  and  $(T_g - T_a)$ ; analysis of students' performance, analysis of architectural elements and construction of the mathematical model. The study was carried out in computerized laboratories with News ICT in the following institutions: UFPI, Teresina-Piauí (A); UFSC, Florianópolis-Santa Catarina (B); UnB, Brasília-Federal District (C); UNIVASF, Petrolina-Pernambuco (D); ICMC, São Carlos-SP (E); UFAM, Manaus-Amazonas (F); CE of the PM, João Pessoa, Paraíba (G). The students answered a questionnaire adapted from the Bateria de Provas de Raciocínio (BPR-5) on three consecutive days at different temperatures, while the thermal conditions were measured and the design and architectural elements were analyzed. **Results:** It was verified that in the three consecutive days, there was no heat exchange by radiation between the student and his environment in the laboratories of institutions C and F, demonstrating that in the other laboratories of institutions A, B, E and G there was heat exchange by radiation. It is noteworthy that in the laboratory of institution G this heat exchange was more pronounced, such that the mean radiant temperature at any given time exceeded the globe temperature at  $2.25^\circ\text{C} h_{cg} / \epsilon_g \sigma$ . However, their architectural analysis signaled that the design was adequate. So probably, the heat sources inside the laboratory should have provided increased thermal radiation, given that the number of students and laptops were representative. Thus, in the sense of confirming these findings, it was verified through the mathematical modeling that with each increase of one degree in the difference between the globe temperature and the air temperature ( $T_g - T_a$ ), the students' performance in the computer laboratory of the Institution G decreased by around 29%. Therefore, the higher the mean radiant temperature, the higher the thermal radiation in this laboratory, and this increase may compromise student performance. **Conclusion:** Productivity may change due to changes in air temperature in air-conditioned teaching environments, as has already been demonstrated by international publications. In this specific case, if  $T_g \gg T_a$ , the thermal radiation may possibly interfere with the performance of people present in environments equipped with technological innovations in communication and information (News ICT).

**Keywords:** Thermal radiation; Globe Temperature; Mean radiante temperature; Student Performance

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxo do Prisma .....	13
Figura 2 – Definição de Sistema .....	25
Figura 3 – Processo de Condução de calor .....	27
Figura 4 – Processo de Convecção de calor.....	28
Figura 5 – Radiação entre sólidos devido ao gradiente de temperatura .....	51
Figura 6 – Espectro da Radiação Eletromagnética .....	53
Figura 7 – Esquema neurocomportamental para avaliação da produtividade de trabalho de escritório.....	60
Figura 8 – Fatores que podem contribuir com o aumento da radiação térmica .....	70
Figura 9 – Estação microclimática BABUC A.....	73
Figura 10 – Laboratório de informática da instituição A .....	82
Figura 11 – Layout do laboratório de informática da instituição A .....	82
Figura 12 – Esquema do caminho do sol no edifício do LI – A.....	83
Figura 13 – Histograma do número de acertos nos testes de raciocínio total do LI – A .....	87
Figura 14 – Efeito da temperatura no tempo de resposta no LI – A.....	88
Figura 15 – Laboratório de informática da instituição B .....	89
Figura 16– Layout do laboratório de informática da instituição B.....	90
Figura 17 – Esquema do caminho do sol no edifício do LI – B.....	90
Figura 18 – Histograma do número de acertos nos testes de raciocínio total do LI – B .....	95
Figura 19 – Efeito da temperatura no tempo de resposta do LI –B.....	96
Figura 20 – Laboratório de informática da instituição C .....	97
Figura 21– Layout do laboratório de informática da instituição C.....	97
Figura 22– Esquema do caminho do sol no edifício do LI –C .....	98
Figura 23– Histograma do número de acertos nos testes de raciocínio total do LI – C .....	102
Figura 24– Efeito da temperatura no tempo de resposta do LI – C.....	103
Figura 25– Laboratório de informática da instituição D .....	105
Figura 26– Layout do laboratório de informática da instituição D.....	105
Figura 27– Esquema do caminho do sol no edifício do LI – D .....	106
Figura 28– Histograma do número de acertos nos testes de raciocínio total do LI – D .....	110
Figura 29– Efeito da temperatura no tempo de resposta do LI –D.....	111



Figura 30– Laboratório de informática da instituição E .....	112
Figura 31– Layout do laboratório de informática da instituição E .....	113
Figura 32– Esquema do caminho do sol no edifício do LI – E.....	113
Figura 33– Histograma do número de acertos nos testes de raciocínio total do LI – E .....	117
Figura 34– Efeito da temperatura no tempo de resposta do LI – E .....	118
Figura 35– Laboratório de informática da instituição F.....	119
Figura 36– Layout do laboratório de informática da instituição F .....	120
Figura 37– Esquema do caminho do sol no edifício da Instituição F.....	120
Figura 38– Histograma do número de acertos nos testes de raciocínio total - instituição F .....	125
Figura 39– Efeito da temperatura no tempo de resposta - instituição F .....	126
Figura 40– Laboratório de informática da instituição G .....	127
Figura 41– Layout do laboratório de informática da instituição G.....	128
Figura 42– Esquema do caminho do sol no edifício do LI – G .....	128
Figura 43– Histograma do número de acertos nos testes de raciocínio total do LI – G .....	133
Figura 44– Efeito da temperatura no tempo de resposta do LI –G.....	134
Figura 45– Representação da temperatura de globo e da temperatura do ar por LI .....	136
Figura 46– Número de acertos BPR5 por instituição .....	137
Figura 47– Tempo de resposta dos testes por instituição .....	138

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Distribuição dos estudos ao longo dos anos.....	16
Gráfico 2 – Número de artigos selecionados por periódico.....	17
Gráfico 3 – Variação da $t_{rm}$ nos três dias de coletas no LI – A.....	86
Gráfico 4 – Variação de $t_g-t_a$ nos três dias de coletas no LI – A.....	86
Gráfico 5 – Variação de $t_{rm}$ nos três dias de coletas no LI – B.....	93
Gráfico 6 – Variação de $t_g-t_a$ nos três dias de coletas no LI – B.....	94
Gráfico 7 – Variação de $t_{rm}$ nos três dias de coletas no LI –C.....	101
Gráfico 8 – Variação de $t_g-t_a$ nos três dias de coletas no LI – C.....	101
Gráfico 9 – Variação de $t_{rm}$ nos três dias de coletas no LI – D.....	109
Gráfico 10 – Variação de $t_g-t_a$ nos três dias de coletas no LI – D.....	109
Gráfico 11 – Variação de $t_{rm}$ nos três dias de coletas no LI – E.....	116
Gráfico 12 – Variação de $t_g-t_a$ nos três dias de coletas no LI – E.....	116
Gráfico 13 – Variação de $t_{rm}$ nos três dias de coletas no LI – F.....	123
Gráfico 14 – Variação de $t_g-t_a$ nos três dias de coletas no LI – F.....	124
Gráfico 15 – Variação de $t_{rm}$ nos três dias de coletas no LI – G.....	131
Gráfico 16 – Variação de $t_g-t_a$ nos três dias de coletas no LI – G.....	132
Gráfico 17– Distribuição de frequência de $D_t$ – Amostra G.....	146
Gráfico 18 – Adequação da distribuição.....	148
Gráfico 19 – Adequação da Função de Variância.....	148
Gráfico 20 – Gráfico do desvio residual padronizado em função da alavancagem.....	149
Gráfico 21 – Comportamento do desempenho em função de $(t_g-t_a)$ .....	151

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Artigos selecionados na revisão sistemática .....	14
Quadro 2 - Variáveis que influenciam o Conforto Térmico .....	41
Quadro 3 - Baterias de Prova de Raciocínio (BPR-5) e seus cinco subtestes: Raciocínio verbal, abstrato, mecânico, espacial, numérico .....	64
Quadro 4 – Variáveis e indicadores da pesquisa .....	71
Quadro 5 – Localidade, tamanho da amostra e período das coletas por instituição .	71
Quadro 6 – Subtestes de raciocínio baseados na BPR-5 .....	75
Quadro 7 – Recomendações de projeto arquitetônico segundo Roriz (1996) .....	77
Quadro 8 – Materiais construtivos e revestimento do prédio do LI – A .....	83
Quadro 9 – Materiais construtivos e revestimento do prédio do LI – B .....	91
Quadro 10 – Materiais construtivos e revestimento do prédio do LI –C .....	98
Quadro 11 – Materiais construtivos e revestimento do prédio do LI – D .....	106
Quadro 12 – Materiais construtivos e revestimento do prédio do LI – E .....	114
Quadro 13 – Materiais construtivos e revestimento do prédio do LI – F .....	121
Quadro 14 – Materiais construtivos e revestimento do prédio do LI – G .....	129
Quadro 15 – Quadro síntese da troca de calor por radiação por sessão e por instituição .....	134
Quadro 16 – Análise Arquitetônica por Ilaboratório de informática (LI) .....	139
Quadro 17 – Considerações gerais da Análise Arquitetônica .....	142
Quadro 18 – Resultado geral da análise arquitetônica por LI.....	143
Quadro 19 – Estimativa dos coeficientes do modelo.....	147
Quadro 20 – Estimativa dos coeficientes do modelo sem o ponto 42 .....	149
Quadro 21 – Estimativa dos coeficientes do modelo final .....	150

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Taxa metabólica para diferentes atividades segundo ISO 7730/2005 .....	44
Tabela 2 - Índice de isolamento térmico para vestimentas.....	45
Tabela 3 - Principais funções de ligação .....	68
Tabela 4 – Condições meteorológicas na cidade durante o período de coleta no LI –A .....	84
Tabela 5 – Condições térmicas médias do experimento no LI – A.....	85
Tabela 6–Condições meteorológicas na cidade durante o período de coleta no LI – B .....	92
Tabela 7 – Condições térmicas médias do experimento no LI – B.....	92
Tabela 8 – Condições meteorológicas na cidade durante o período de coleta no LI – .....	99
Tabela 9 – Condições térmicas médias do experimento no LI –C .....	100
Tabela 10 – Condições meteorológicas na cidade durante o período de coleta no LI – D.....	107
Tabela 11 – Condições térmicas médias do experimento no LI – D .....	108
Tabela 12 – Condições meteorológicas na cidade durante o período de coleta no LI – E.....	115
Tabela 13 – Condições térmicas médias do experimento no LI – E.....	115
Tabela 14 – Condições meteorológicas na cidade durante o período de coleta no LI – F .....	122
Tabela 15 – Condições térmicas médias do experimento no LI – F.....	122
Tabela 16 – Condições meteorológicas na cidade durante o período de coleta no LI – G .....	130
Tabela 17 – Condições térmicas médias do experimento no LI – G .....	130
Tabela 18 – Resultados dos testes de normalidade para o desvio residual.....	148
Tabela 19 – Mudança percentual para os modelos ajustados .....	150

## LISTA DE ABREVIATURAS

$\alpha$	Absortividade
$\sigma$	Constante de Stefan-Boltzmann em $W/m^2.K^4$
A	Área de transferência de calor em $m^2$
$A_{Du}$	Área Dubois em $kg.m$
ATP	Trifosfato de adenosina
BPR-5	Bateria de Prova de Raciocínio
C	Perda de calor por convecção pela pele em $W/m^2$
$C_{res}$	Perda de calor sensível na respiração, por convecção em $W/m^2$
$I_{CL}$	Resistência térmica das vestes em clo
ICT	Inovações Tecnológicas de Comunicação e Informação
E	Emissividade em $W/m^2$
$E_{evap}$	Quantidade de calor perdido por evaporação, em $W/m^2$
$E_{res}$	Perda de calor latente pela respiração, por evaporação em $W/m^2$
$E_{dif}$	Perda de calor por evaporação por difusão, nas partes enxutas do corpo em $W/m^2$
$E_s$	Perda de calor por evaporação, nas partes molhadas do corpo em $W/m^2$
EPNs	Escore-Padrão Normalizados
$F_L$	Fator de redução de calor latente, adimensional
$F_s$	Fator de redução de calor sensível, adimensional
G	Radiação incidente em uma superfície em $W/m^2$
$h_c$	Coeficiente de convecção, em $W/m^2.C$
$h_e$	Coeficiente de evaporação, em $W/m^2.kPa$
J	Radiosidade em $W/m^2$
K	Condutividade térmica, em $W/m.C$
LI	Laboratório de Informática
M	Metabolismo, em $W/m^2$
MLGs	Modelos Lineares generalizados
$\rho$	Refletividade de um material
P	Massa em kg
PMV	Predicted Mean Vote
PMPB	Polícia Militar da Paraíba
PPD	Predicted Percentage Dissatisfied em %
$P_a$	Pressão do vapor de água do ar úmido em kPa
$P_{as}$	Pressão do vapor saturado para uma mesma temperatura e mesma

	pressão atmosférica total, em kPa
$P_{vs}$	Pressão de vapor de água saturado, em kPa
$P_v$	Pressão de vapor de água contido no ar, em kPa
$q$	Energia emitida por unidade de área da superfície em $W/m^2$
$q_{cd}$	Quantidade de calor transmitida por condução em $W/m^2$
$q_{cv}$	Quantidade de calor transmitida por convecção em $W/m^2$
$R$	Perda de calor por radiação em $W/m^2$
RA	Raciocínio Abstrato
RE	Raciocínio Espacial
RI	Revisão Integrada
RM	Raciocínio Mecânico
RN	Raciocínio Numérico
RQ	Quociente respiratório, correspondente à relação entre o volume de $CO_2$ produzido e $O_2$ consumido
RS	Revisão Sistemática
RV	Raciocínio verbal
SBS	Sick Building Syndrome
$\tau$	Transmissividade
$T$	Trabalho externo em $W/m^2$
$T_a$	Temperatura do ar, em $^{\circ}C$
$T_{bs}$	Temperatura de bulbo seco em $^{\circ}C$
$T_{bu}$	Temperatura de bulbo úmido em $^{\circ}C$
$T_g$	Temperatura de globo em $^{\circ}C$
$T_{rm}$	Temperatura radiante média do ambiente, em $^{\circ}C$
$T_s$	Temperatura da superfície, em $^{\circ}C$
$T_F$	Temperatura do fluido, em $^{\circ}C$
$T_p$	Temperatura da pele, em $^{\circ}C$
$T_m$	Temperatura exterior média mensal, em $^{\circ}C$
$T_{mp}$	Temperatura exterior exponencialmente ponderada em $^{\circ}C$
$T_{op}$	Temperatura operativa em $^{\circ}C$
UR	Umidade relativa em %
UV	Ultravioleta em nm
$v$	Velocidade do ar, em m/s
$V_{O_2}$	Oxigênio consumido
$v_r$	Velocidade relativa do ar em m/s
Z	Altura em m

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1:INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1.Delimitação do tema.....	1
1.2.Justificativa.....	5
1.3.Objetivos .....	8
1.3.1. Objetivo Geral.....	8
1.3.2. Objetivos Específicos.....	8
1.4.Estrutura do projeto de dissertação.....	9
<b>CAPÍTULO 2:REVISÃO SISTEMÁTICA.....</b>	<b>10</b>
2.1.Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA).....	11
2.2.Resultados da Revisão Sistemática .....	12
<b>CAPÍTULO 3:FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>24</b>
3.1.Definição de Calor .....	24
3.1.1 Mecanismos de Transmissão de Calor .....	26
3.2.A fisiologia da termorregulação humana .....	31
3.3.Balanço Térmico .....	34
3.4.Conforto Térmico.....	37
3.4.1. Condições de Conforto Térmico .....	40
3.4.2. Variáveis que influenciam no Conforto Térmico .....	41
3.5.Radiação Térmica .....	50
3.5.1. Corpo Negro .....	54
3.6.Desempenho .....	57
3.6.1. Aprendizagem, inteligência e bateria de provas de raciocínio .....	60
3.7.Modelos Lineares Generalizados .....	65
<b>CAPÍTULO 4:PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>69</b>
4.1.Natureza e classificação da Pesquisa.....	69
4.2.Variáveis e indicadores .....	70
4.3.População e amostra .....	71
4.4.Instrumentos da coleta de dados .....	72

4.4.1. Variáveis Térmicas .....	72
4.4.2. Desempenho dos estudantes .....	75
4.4.3. Análise dos elementos arquitetônicos.....	76
4.5.Tratamento dos dados.....	78
4.6.Modelagem matemática .....	79
4.7.Considerações éticas .....	79
<b>CAPÍTULO 5:RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>80</b>
5.1.Instituição A – Teresina, Piauí.....	81
5.2.Instituição B – Florianópolis, Santa Catarina.....	88
5.3. Instituição C – Brasília, Distrito Federal.....	96
5.4. Instituição D – Petrolina, Pernambuco.....	104
5.5. Instituição E – São Carlos, São Paulo.....	111
5.6. Instituição F – Manaus, Amazonas.....	118
5.7. Instituição G – João Pessoa, Paraíba.....	126
5.8. Análise da troca de calor por radiação.....	134
5.9. Análise global do desempenho.....	137
5.10. Análise dos elementos arquitetônicos.....	138
5.11. Modelagem matemática.....	145
<b>CAPÍTULO 6:CONCLUSÕES.....</b>	<b>152</b>
6.1.Sugestões para estudos futuros.....	155
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>157</b>
<b>ANEXO 1- PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA .....</b>	<b>172</b>
<b>ANEXO 2- TABELA DE CORRELAÇÕES .....</b>	<b>174</b>
<b>APENDICE A.....</b>	<b>175</b>



## **CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO**

### **1.1. Delimitação do tema**

A preocupação do homem com seu conforto e bem-estar cresce proporcionalmente com sua evolução temporal. Quanto mais evoluídos tornam-se os indivíduos, mais exigentes eles ficam em relação ao seu bem-estar. De acordo com Arantes (2011), desde os primórdios da humanidade o ser humano buscou, ainda que de forma rudimentar, a partir da utilização de meios e elementos disponíveis em seu ambiente, proteger-se de intempéries climáticas e ambientais. Visava, em suas construções, a soluções que amenizassem as sensações de calor, frio, umidade e *secura* do ar.

Conforme Batiz (2009) a busca pelo bem-estar físico, fisiológico e psicológico humano vem de longa data, porém apenas nas últimas décadas têm se intensificado os estudos dos efeitos do conforto térmico sobre as pessoas em ambientes internos. Para Rupp et al. (2015) o campo da pesquisa em conforto térmico nos últimos anos tem atraído a atenção de muitos pesquisadores devido ao aumento da discussão pública sobre as alterações climáticas do planeta.

Para manter-se em pleno funcionamento, protegendo suas funções fisiológicas, o ser humano dispõe de um sistema termorregulador que possui mecanismos que promovem a regulação de seu equilíbrio interno como um todo. Por esta razão, as variáveis ambientais, como temperatura, umidade, velocidade e qualidade do ar, iluminação e ruído se apresentam como fatores condicionantes para proporcionar o bem-estar, a segurança e, conseqüentemente, a qualidade das atividades desempenhadas pelos indivíduos (DJONGYANG et al., 2010; VASCONCELOS,2015).

O controle do calor produzido e o liberado realizado por esse sistema termorregulador asseguram a homeotermia corporal, ou seja, que a temperatura interna do corpo permaneça constante a 37°C, protegendo assim os seus órgãos internos. Qualquer variação na temperatura do corpo aciona mecanismos de regulação de forma a garantir o equilíbrio térmico do mesmo.

As pesquisas relacionadas ao conforto térmico têm o propósito, principalmente, de analisar e estabelecer condições essenciais para a avaliação e

concepção de um ambiente térmico adequado às atividades humanas, além de estabelecer princípios e métodos para uma minuciosa análise térmica de um ambiente.

Os edifícios em geral têm como principal objetivo proporcionar um ambiente saudável e confortável para seus ocupantes. A crescente quantidade de tempo que as pessoas passam no interior de edifícios é significativa. Arquitetos e engenheiros pensam cada vez mais em maneiras de melhorar o conforto térmico do ambiente já que é imperativo considerar que as pessoas passam entre 80% e 90% do seu dia dentro de escritórios, edifícios e habitações domiciliares (RUPP et al., 2015; STESKENS e LOOMANS, 2010).

Em se tratando de escritórios e locais de trabalho em geral, avalia-se que o custo humano represente cem vezes mais que o custo energético das edificações, o que torna o desempenho das pessoas em seu trabalho significativamente importante para melhoria do fator produtividade nas organizações como um todo (OLESEN, 2005). As condições ambientais podem representar maior influência sobre a produtividade dos trabalhadores quando comparada à insatisfação e o stress no trabalho, o que justifica o custo-benefício de se investir em sua melhoria (SILVA, 2013).

O conforto térmico é um fator imprescindível para a qualidade de um ambiente interno, seja de residências, escritórios ou salas de aulas. Ele está intimamente relacionado com o consumo de energia das instalações, com a produtividade dos ocupantes e, no caso das instalações escolares, com o desempenho e aprendizagem de estudantes (WONG et al., 2014).

De acordo com Rodrigues (2009) a promoção de condições de trabalho adequadas tem sido objeto de uma ampla atuação por parte dos ergonomistas em ambientes industriais. Os ambientes de ensino/estudo, por não serem vistos como um ambiente laboral foram durante muitos tempos eximidos de qualquer preocupação maior com o estabelecimento de condições ambientais favoráveis, tendo sido apenas ponderadas obrigações legais e adotados sobre a matéria alguns conhecimentos da prática.

Uma educação de qualidade é uma necessidade primordial para garantir o progresso da humanidade através do desenvolvimento intelectual e social do ser

humano. Tal importância leva à necessidade de garantir as melhores condições possíveis de aprendizagem em todo o sistema de ensino. Nesse sentido, conforme Silva (2013), o conforto térmico propiciado pelo ambiente interior das salas de aula, laboratórios e demais ambientes de aprendizagem, ganha especial relevo, apresentando-se, segundo recentes estudos já realizados, como um parâmetro capaz de influenciar significativamente o desempenho escolar dos estudantes.

Além disso, o fato de cada estudante universitário durante 10 meses a cada ano, num período de 5 anos aproximadamente, passar grande parte do seu dia no interior de um ambiente de ensino torna esta questão também passível de uma avaliação em termos de saúde e bem-estar. Assim, para Rodrigues (2009) este ambiente deve ter condições adequadas para a promoção do conforto da comunidade educativa numa perspectiva de equidade entre os educandos.

Segundo Mueller (2007), a aprendizagem é um processo dinâmico e complexo, que ocorre em qualquer tipo de ambiente. Pesquisas, entretanto, apontam que espaços escolares com alta qualidade ambiental refletem diretamente no desempenho dos estudantes. A qualidade do ar interno é essencial para a saúde dos estudantes; a iluminação natural é importante para a melhor absorção do aprendizado; a temperatura, a umidade e os níveis de ruído interferem na concentração e no desenvolvimento da criatividade.

Em se tratando da temperatura, Monteiro et al. (2010) relata que muitas vezes um indivíduo não percebe quando o clima de um ambiente interno está confortável, mas quando ocorre o contrário, o indivíduo identifica imediatamente quando o clima do ambiente está muito quente ou muito frio. Segundo o mesmo autor, a garantia de um clima confortável no ambiente é, assim, um pré-requisito necessário para a manutenção do bem-estar, da capacidade física e psíquica. Outros fatores devem ser observados, sob outro ponto de vista, pois a temperatura do ar externa poderia influenciar nas condições internas do ambiente.

Conforme relatório do Ministério de Ciência e Tecnologia (2013) sobre mudanças climáticas há uma expectativa de que a temperatura média do ar em todo o Brasil fique pelo menos de 3 a 6°C mais elevada no ano 2100 em comparação ao final do século XX. Para Vasconcelos (2015) este aumento poderá contribuir para um esforço adicional do corpo humano para atingir a sensação de conforto térmico e para

manter a homeotermia. Dessa forma poderá ocorrer uma maior queda da produtividade em consequência da redução da atenção e disposição do trabalhador e, no caso de condições mais agravadas, poderão evoluir para a consequente perda total da capacidade de realização do trabalho e/ou problemas diversos de saúde (COUTINHO, 2011).

Apesar desta previsão, a temperatura corporal humana adapta-se ao meio ambiente, desde que não haja condições extremas. No entanto, conforme Siqueira (2015) quando há aumento da temperatura proveniente de fontes diferenciadas de calor no ambiente, geradas por equipamentos como lâmpadas, microcomputadores, laptops, ou seja, ambientes com inserção de novas tecnologias de comunicação e informação (*News ICT*), o cérebro envia ao corpo sinais que induzem reações termorregulatórias, que têm como objetivo a perda de calor para o ambiente. De acordo com Blatteis (2011), na perspectiva de ocorrerem acréscimos na temperatura e na umidade nos ambientes de ensino, os alunos poderão ser submetidos a alterações nas frequências cardíaca e respiratória, no metabolismo celular, com reflexos sensíveis na queda do desempenho cognitivo.

Como essas alterações do clima poderão elevar ainda mais a temperatura média em todas as regiões do Brasil (Pivetta, 2013), e como tem havido uma crescente inserção de inovações tecnológicas de comunicação e informação (*news ICT*) em ambientes de ensino, o que pode colaborar para o aumento da radiação térmica, torna-se assim importante investigar como esse aumento nestes ambientes poderá interferir no conforto e desempenho de alunos quando da realização de atividades cognitivas submetidos à variação da temperatura do ar.

Assim, na equação do conforto formulada por Fanger (1970), o fator de radiação térmica é representado pela temperatura radiante média ( $t_{rm}$ ), mas seu impacto sobre o conforto térmico é muitas vezes ignorado. A temperatura de globo é uma das variáveis das equações para o cálculo da temperatura radiante média e ela corresponde à temperatura que permite avaliar o nível de radiação térmica das superfícies existentes em um ambiente (COUTINHO, 2011), donde uma diferença significativa entre a temperatura de globo e a temperatura do ar pode demonstrar certo aumento da radiação térmica no ambiente de trabalho. Alfano et al. (2013) menciona que a temperatura radiante média é uma das variáveis mais importantes na avaliação

do conforto térmico, especialmente durante condições climáticas quentes e ensolaradas.

Desta forma, de acordo com o exposto, o presente trabalho busca responder ao seguinte problema de pesquisa: **“A relação entre a temperatura de globo e a temperatura do ar ( $t_g-t_a$ ), com possível efeito na elevação da temperatura radiante média ( $t_{rm}$ ), poderá ter repercussão no desempenho cognitivo de estudantes em ambientes de ensino climatizados providos de inovações tecnológicas de comunicação e informação (*News ICT*)? ”.**

## 1.2. Justificativa

Para Xavier (1999) apud Lamberts (2014), a importância do estudo de conforto térmico está baseada principalmente em três fatores: a satisfação do homem ou seu bem-estar em se sentir termicamente confortável; a performance humana, visto que, os estudos mostram uma clara tendência de que o desconforto causado por calor ou frio reduz a performance humana; a conservação de energia, pois devido à crescente mecanização e industrialização da sociedade, as pessoas passam grande parte de suas vidas em ambientes condicionados artificialmente.

A baixa qualidade e os níveis elevados de temperatura do ar têm afetado negativamente o desempenho de adultos em ambientes de trabalho (NIEMELA et. al. 2002; OLESEN, 2005; AKIMOTO et al., 2010; LAN et al., 2011). De acordo com Sas e Suarez (2013), condições de saúde e segurança no local de trabalho estão intimamente associadas com a produtividade e o desempenho das empresas, sendo um fator essencial para a competitividade.

Em condições de conforto, a produção de calor é praticamente igual a perda de calor, necessitando de poucos mecanismos de controle da temperatura. Quando este equilíbrio ocorre a concentração é alta e o corpo opera com a máxima eficiência. Portanto, ocorre produtividade máxima e redução de acidentes (LUNDGREN et al., 2013).

O ambiente de ensino é de grande importância para o aprendizado do aluno, onde o mesmo precisa ter seu nível de concentração satisfatório pois ele permanece no local, no mínimo, quatro horas, diariamente, podendo este período estender-se

ainda por mais horas. Segundo Siqueira, Oliveira e Vieira (2008), além do programa de ensino, não menos importante para a formação do aluno é a adequação ergonômica do ambiente, o que envolve determinadas condições de ordem física, como a limpeza, a organização, a conservação, a iluminação, a temperatura, o ruído e o mobiliário escolar.

Os edifícios escolares desempenham um papel preponderante dentre os equipamentos sociais, constituindo-se um dos fundamentos do desenvolvimento cívico e intelectual. Conforme Coelho (2014), tanto os jardins-de-infância que albergam a educação pré-escolar; como as escolas e universidades são espaços que necessitam de atenção especial na conservação do bem-estar e saúde dos seus alunos, permitindo que estes mantenham um elevado desempenho na sua aprendizagem.

Muitos estudos enfatizam que o desempenho e a atenção diminuem em estudantes em desconforto ambiental (SCHNEIDER, 2002 apud MUELLER,2007). Situações que causam desconforto aos seus usuários, como falta de ventilação adequada, temperaturas extremas e umidade excessiva em locais com temperaturas altas podem ser prejudiciais e causar alteração dos batimentos cardíacos, sonolência, além de outras consequências fisiológicas. Essas situações são intensamente prejudiciais para o aprendizado e podem provocar apatia e desinteresse pelos estudos (KOWALTOWSKI,2011). Dessa maneira, para que se efetive o processo de aprendizagem, o cérebro precisa receber, categorizar, armazenar e integrar as informações, sendo o espaço escolar - acadêmico o responsável por oferecer essas condições.

Em relação aos ambientes universitários, conforme Rodrigues (2009), os alunos desenvolvem tarefas, como num posto de trabalho, por isso é essencial controlar e otimizar as variáveis ambientais, de forma a evitar situações que diminuam o bom desempenho dos alunos. O aquecimento do aluno pode gerar cansaço e sonolência, bem como a redução do desempenho físico e uma maior ocorrência de erros, enquanto o arrefecimento pode reduzir o estado de alerta e a concentração (ARGOCKI et al., 2005; KROEMER e GRANDJEAN, 2005).

Desta forma, levando-se em consideração que os ambientes providos de inovações tecnológicas de comunicação e informação (*news ICT*), incluindo os de

ensino, estão proporcionando maior interação entre as pessoas em qualquer parte do mundo, contribuindo dessa forma para uma maior flexibilidade na obtenção do conhecimento, é necessária uma atenção especial para as radiações dissipadas pelas tecnologias presentes nestes ambientes.

Conforme Silva (2013), estas radiações são de baixa frequência e são transformadas em radiação térmica, que somada às do homem, do ambiente e das variáveis climáticas e pessoais, resultam na elevação total desta radiação no recinto. Logo, a temperatura do ar pode não ser, necessariamente, a variável mais representativa, mas, apenas mais um parâmetro a se levar em consideração em conjunto com todas as outras variáveis envolvidas no fenômeno. Segundo pesquisa realizada por Halawa et al. (2014), a maior parte dos trabalhos publicados atribui o nível de conforto térmico dos ambientes apenas à temperatura de bulbo seco (temperatura do ar), sem levar em consideração a influência de outras variáveis do conforto. Nas últimas revisões da literatura sobre pesquisas e práticas de conforto térmico (RUPP, 2015; DE DEAR et al., 2013; VAN HOOFF, 2008) o campo de radiação térmica tem recebido pouca atenção, o que, em grande parte, tem limitado o desenvolvimento de estudos nessa área.

De acordo com Langner et al (2013) os estudos de conforto térmico em ambientes fechados têm sido muitas vezes limitados à suposição de que a temperatura radiante média é igual à temperatura do ar. Eventuais diferenças entre a temperatura do ar e a temperatura radiante média podem influenciar na avaliação do conforto térmico daquele ambiente. Para os autores subestimar a temperatura radiante média poderia afetar a avaliação do estresse de calor do ambiente interno, através, por exemplo, das variações de índices térmicos.

Para Sas e Suarez (2013) a implantação de novas tecnologias de comunicação e informação (*news ICT*) em ambientes de ensino tem a capacidade de mudar a forma como o trabalho é realizado e o seu ambiente. Entretanto, as mudanças relacionadas a estas inovações além de trazerem grandes possibilidades de melhorias no mundo do trabalho, também trazem consigo alguns riscos para saúde e segurança do trabalhador.

A incidência e aumento da radiação térmica, com reflexos no conforto térmico, de um ambiente pode ainda estar associada ao projeto arquitetônico. Para Walikewitz

et al. (2015) diferentes características do ambiente construído (exposição das paredes, materiais de construção, tamanho do ambiente e das janelas) podem também desempenhar um papel fundamental na determinação do clima interno e na incidência de radiação térmica em um ambiente devendo-se, portanto serem levados em consideração.

Tendo em vista a subjetividade dos julgamentos sobre percepção térmica por parte dos indivíduos, e mais especificamente dos estudantes, observa-se a necessidade de quantificar os efeitos do desconforto térmico sobre o desempenho dos mesmos, principalmente quando os ambientes destes alunos são providos de inovações tecnológicas de comunicação e informação (*news ICT*), aumentando assim a carga térmica do ambiente.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo Geral**

Investigar se a relação entre a temperatura de globo e a temperatura do ar ( $T_g-T_a$ ), com possível efeito na elevação da  $T_{rm}$ , poderá ter repercussão no desempenho cognitivo de estudantes em ambientes inteligentes de ensino (*News ICT*) em áreas das regiões brasileiras.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- a) Realizar medições das variáveis térmicas em cada ambiente de ensino;
- b) Avaliar o desempenho dos alunos através de funções cognitivas utilizadas em processos de aprendizagem nos ambientes de ensino;
- c) Analisar o comportamento da temperatura radiante média e da temperatura de globo em relação à temperatura do ar em cada instituição;
- d) Analisar sucintamente os aspectos positivos e negativos dos elementos arquitetônicos de cada ambiente onde ocorreram as coletas;



e) Comparar o desempenho, os elementos arquitetônicos e a variação das diferenças entre a temperatura de globo e a temperatura do ar nos ambientes de ensino em cada região brasileira.

#### **1.4. Estrutura da Dissertação**

Esta dissertação foi estruturada em seis capítulos, além das referências. Neste primeiro capítulo introdutório, apresentou-se o contexto em que o trabalho encontra relevância, sua justificativa e seus objetivos principais.

No capítulo que se segue, o capítulo 2, denominado Revisão Sistemática, apresenta a metodologia utilizada neste trabalho para a revisão da literatura bem como seus resultados. Trata-se do levantamento de estudos relacionados ao tema da dissertação com o intuito de verificação do que vem sendo estudado e quais as lacunas que necessitam ser preenchidas, através do aprofundamento de pesquisas sobre a matéria. Este capítulo foi construído concomitantemente aos demais capítulos.

O capítulo 3 aborda o Estado da Arte do tema da dissertação que auxiliará no entendimento das questões relacionadas ao objeto de estudo deste trabalho. Para tal, estabelece-se uma síntese do conhecimento nos seus domínios específicos.

O capítulo 4, denominado Procedimentos Metodológicos, detalha a metodologia utilizada para a condução deste estudo, desde o planejamento da pesquisa até os procedimentos que serão utilizados na coleta e no tratamento dos dados que serão coletados.

O capítulo 5 apresenta os resultados adquiridos através da tabulação e análise dos dados obtidos em campo, bem como as principais análises gerais e comparativas do desempenho, dos elementos arquitetônicos, da temperatura radiante média e da variação das diferenças entre a temperatura de globo e a temperatura do ar entre todas as instituições de ensino participantes deste presente trabalho.

Por fim, o capítulo 6 apresenta as considerações finais sobre a pesquisa e propostas para futuros desdobramentos. Nas referências são listados os livros, os artigos, as obras, as leis e normas que serão utilizadas, bem como os sites consultados para construção desta dissertação.

## **CAPÍTULO 2: REVISÃO SISTEMÁTICA**

Existem diversos tipos de revisões bibliográficas na literatura científica, dentre elas as revisões integradas e sistemáticas. Essas revisões bibliográficas buscam evidências científicas e atualizações de um determinado tema de estudo. A principal característica que as distingue é a forma como estas abordam o objeto de pesquisa e a motivação que o autor tem para realizar um levantamento da literatura científica sobre determinado tema.

Segundo Oliveira (2014) enquanto as revisões sistemáticas (RS) buscam a melhor evidência, por exemplo, sobre a eficácia de intervenção para determinado problema, a revisão integrada (RI) busca toda evidência literária sobre determinado tema. Dessa forma, enquanto a revisão integrada pauta-se em uma metodologia ampla e abrangente, que permite fazer generalizações sobre uma temática, a revisão sistemática é um método específico, sistematizado e detalhado de abordagem do objeto de pesquisa, permitindo identificar, analisar e sintetizar a evidência científica a fim de se obter uma apreciação crítica a respeito do objeto pesquisado.

Devido ao grande número de produções científicas sobre diversos temas e a necessidade de sintetizar grande quantidade de informações, tem sido requerida a realização da revisão sistemática da literatura, que seja capaz de captar, reconhecer, avaliar e sintetizar as evidências científicas a fim de fundamentar as pesquisas estudadas.

Para Pereira e Bachion (2010), a revisão sistemática é uma maneira de apropriar-se das melhores evidências externas. É uma metodologia rigorosa proposta para identificar os estudos sobre um tema, avaliar a qualidade, validade e aplicabilidade dos estudos e disponibilizar sua síntese.

É necessário elaborar um protocolo de RS que detalhe as etapas metodológicas a serem percorridas, promovendo a transparência dos métodos e processos. Portanto um protocolo de RS deve contemplar o problema de estudo; objetivos; justificativa da realização da RS; detalhes sobre a busca e seleção dos estudos nas bases de dados; critérios de inclusão e seleção dos estudos; a forma de avaliação segundo critérios específicos; formas de extração e apresentação de resultados.

É recomendado que se realize uma busca preliminar relacionada à área de interesse para identificar quais são as palavras-chaves mais utilizadas pelos autores para indexar seus estudos em bases de dados. Esta pesquisa deve ser realizada utilizando os termos mais amplos e depois os específicos. Após sintetizar uma série de palavras-chaves, estes termos são compilados segundo uma lógica booleana (AND, OR, NOT) para criar um conjunto de resultados que deve conter os estudos relacionados com o tema desejado.

Na RS é importante que os estudos sejam selecionados com base em critérios de inclusão e exclusão pré-estabelecidos. Faz-se a seleção dos estudos levantados nas bases de dados pelo título e pelo resumo. Uma avaliação da qualidade de um estudo requer uma análise cuidadosa dos métodos utilizados na pesquisa. Estudos de baixa qualidade ou questionáveis devem ser excluídos, pois isto reduz o risco de erros e vieses nos resultados da revisão.

Desta forma, este capítulo apresenta a metodologia para a construção da revisão sistemática e o resultado desta revisão sobre o assunto estudado, na intenção de verificar o que vem sendo pesquisado e estudado sobre o tema e quais as lacunas que precisam ser preenchidas.

## **2.1. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA)**

Estudiosos fizeram um levantamento de metanálises realizadas durante os anos de 1980 a 2000 e chegaram a um consenso de critérios específicos que esses estudos deveriam conter (MULROW,1987). Foi desenvolvido em 1996 o QUOROM Statement (*Quality Of Reporting Of Meta-analyses*), que focava na metanálise de ensaio clínico randomizado (ECR). Posteriormente este instrumento foi renomeado de PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), em que foram atualizados critérios de caráter conceitual e práticos para a elaboração de uma RS com ou sem metanálise.

O PRISMA conforme Moher (2009) foi desenvolvido em uma reunião em Ottawa, no ano de 2005, com duração de três dias. Nesta reunião estavam presentes 29 autores de Revisões Sistemáticas, médicos, clínicos, metodólogos, editores e

leitores com a finalidade de ampliar e revisar a lista de recomendações do instrumento QUOROM. Finalizada a reunião, o PRISMA foi apresentado e avaliado por vários especialistas até chegar a um consenso definitivo. O novo instrumento metodológico de revisão sistemática consistia de uma lista de verificação de 27 itens e um diagrama de fluxo da RS composta por quatro fases. Itens considerados essenciais para uma informação transparente sobre uma revisão sistemática foram incluídos na lista de verificação. O diagrama de fluxo originalmente proposto por QUOROM também foi modificado para mostrar números de registros identificados, artigos excluídos e estudos incluídos.

O objetivo do PRISMA para Oliveira (2014) é aumentar o rigor metodológico no desenho, na realização e nas sínteses dos resultados de uma RS com ou sem metanálise. O PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) é uma diretriz que tem como objetivo ajudar autores a melhorarem a qualidade do relato dos dados da RS. Ajuda também a orientar na avaliação crítica de uma revisão e de uma metanálise já publicada.

## **2.2. Resultados da Revisão Sistemática**

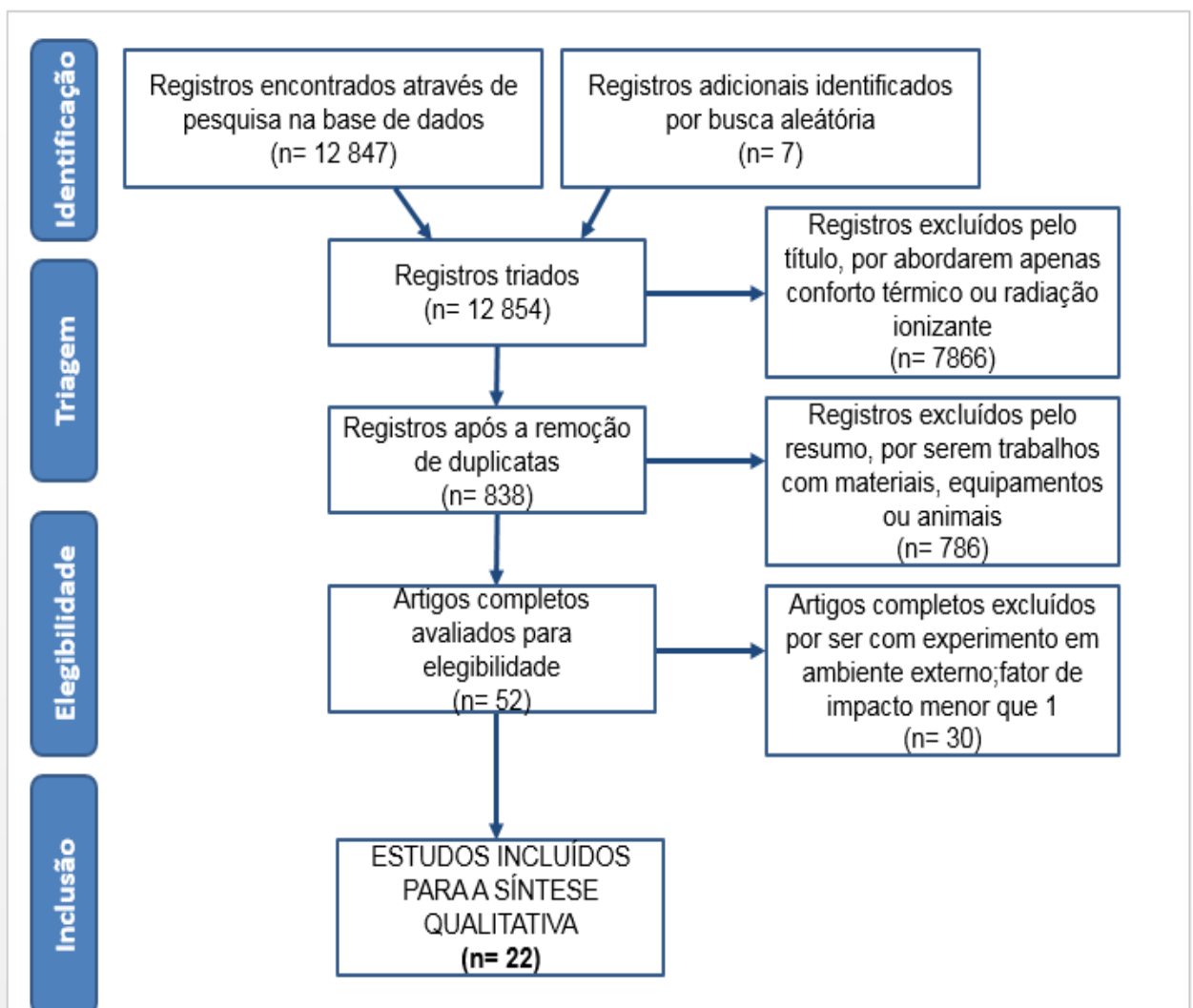
A revisão sistemática baseada no método PRISMA foi realizada durante o período de abril de 2015 a dezembro de 2016 com o propósito de identificar os estudos existentes sobre o tema utilizando-se de uma seleção de artigos para análise e identificação de informações. As bases de dados utilizadas para obtenção dos artigos foram Web of Science, Science Direct e Portal Capes. Foram utilizadas para a pesquisa a conjugação de várias palavras chaves de interesse, tais como: "thermal comfort" and "thermal radiation"; "thermal radiation" and "performance"; "mean radiant temperature" and "performance"; "thermal comfort" and "mean radiant temperature"; "air temperature" and "performance"; "globe temperature" and "air temperature"; "non-ionizing radiation" and "health"; "electromagnetic fields" and "low-frequency"; "thermal load".

A estratégia de pesquisa utilizou como filtros: idioma - artigos publicados em inglês, português, espanhol e francês - e data de publicação – artigos dos últimos 10 anos. Foram considerados como critérios de inclusão estudos realizados com

participação de seres humanos, em ambientes internos, abordando o desempenho cognitivo, radiação térmica, temperatura radiante média e temperatura de globo. Os critérios de exclusão considerados foram trabalhos realizados com equipamentos, materiais ou animais; trabalhos que abordavam apenas conforto térmico ou radiação ionizante; experimentos em ambientes externos e artigos com fator de impacto inferior a 0,8. Também foram incluídos artigos encontrados aleatoriamente.

Os resultados de cada etapa da pesquisa por meio do método PRISMA, bem como as justificativas de exclusão estão sumarizados na figura 1.

Figura 1- Fluxo do Prisma



Fonte: Adaptado de Moher et al. (2009)

Pela análise da figura 1 percebe-se que muitos dos artigos realizados na área de conforto térmico não dão tanta ênfase à temperatura radiante média e à radiação

térmica. Obteve-se assim uma amostra final de 22 artigos, que estão catalogados, em ordem cronológica no quadro 1, apresentando autor, título, ano, periódico e fator de impacto quando houver.

Quadro 1 – Artigos selecionados na revisão sistemática

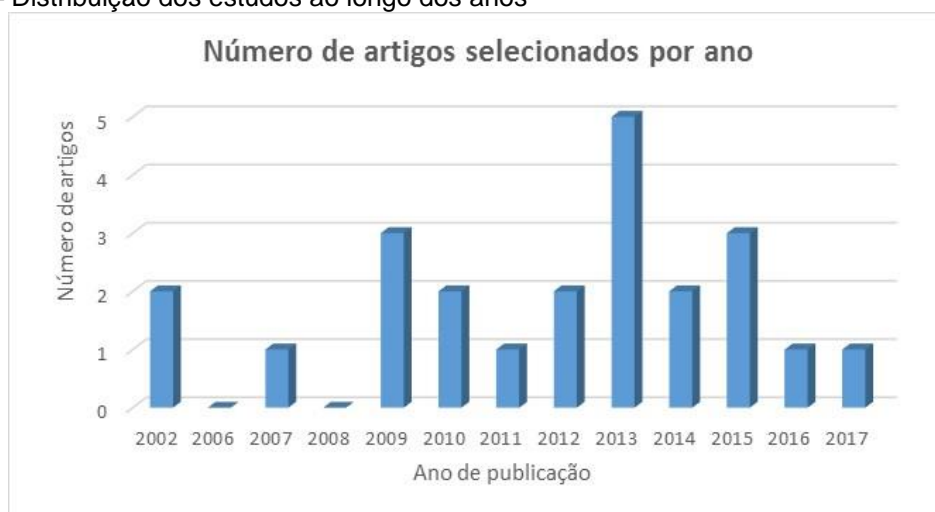
<b>Autor</b>	<b>Título</b>	<b>Ano</b>	<b>Periódico</b>	<b>Fator de Impacto</b>
Sorensen, D. N.	Radiation between segments of the seated human body.	2002	The 8th international conference on air distribution in rooms	-----
OLESEN, B.W.; PARSONS, K.C.	Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730	2002	Energy and Buildings	2.97
ATMACA et al.	Effects of radiant temperature on thermal comfort.	2007	Building and Environment	1.19
LAN et al.	Neurobehavioral approach for evaluation of office workers' productivity: The effects of room temperature	2009	Building and Environment	3.39
SAGE, C.; CARPENTER, D.O.	Public health implications of wireless technologies.	2009	Pathophysiology	1.87
KANG et al.	Effect of MRT variation on the energy consumption in a PMV-controlled office.	2010	Building and Environment	2.12
AKIMOTO et al.	Thermal comfort and productivity- Evaluation of workplace environment in a task conditioned office	2010	Building and Environment	2.12
HWANG,R.L.; SHU,S.Y.	Building envelope regulations on thermal comfort in glass facade buildings and energy-saving potential for PMV-based comfort control	2011	Building and Environment	2.40
MULLER et al.	Acute cold exposure and cognitive function: evidence for sustained impairment.	2012	Ergonomics	1.44

KALMÁR, F.;KALMÁR, T.	Interrelation between mean radiant temperature and room geometry	2012	Energy and Buildings	2.97
ALFANO et al.	On the measurement of the mean radiant temperature and its influence on the indoor thermal environment assessment. Building and Environment.	2013	Building and Environment.	2.70
SARBU, I.; SEBARCHIEVICI, C.	Aspects of indoor environmental quality assessment in buildings. Energy and building	2013	Energy and Buildings	2.97
CUI et al.	Influence of indoor air temperature on human thermal comfort, motivation and performance	2013	Building and Environment	2.70
LUNDGREN et al.	Effects of Heat Stress on Working Populations when Facing Climate Change.	2013	Industrial Health	1.53
WARGOCKI, P.; WYON, D. P	Providing better thermal and air quality conditions in school classrooms would be cost-effective	2013	Building and Environment	2.70
THORSSON et al.	Mean radiant temperature- A predictor of heat related mortality	2014	Urban Climate	3.15
HALAWA et al.	The impacts of the thermal radiation field on thermal comfort, energy consumption and control—A critical overview.	2014	Renewable and Sustainable Energy Reviews	6.79
VASCONCELOS et al.	Relação entre variáveis térmicas e desempenho. Um estudo com estudantes da Academia de Polícia Militar do Estado da Paraíba.	2015	Editora Novas Edições Acadêmicas	-----

WALIKEWITZ et al.	The difference between the mean radiante temperature and the air temperature within indoor environments: A case study during summer conditions	2015	Building and Environment	3.39
AHN at al.	Effect of LED lighting on the cooling and heating loads in office buildings	2015	Applied Energy	5.74
ARSLANOGLU, N.; YIGIT,A.	Experimental and theoretical investigation of the effect of radiation heat flux on human thermal comfort	2016	Energy and Buildings	2.97
SHIMAZAKI at al.	The effect of solar radiation on temperature distribution in outdoor human–clothing–environment systems	2017	International Journal of Heat and Mass Transfer	2.85

O gráfico 1 apresenta a distribuição dos artigos seleccionados ao longo dos anos de 2006 a 2017. Nota-se que foram incluídos no gráfico dois artigos aleatórios encontrados do ano de 2002. Dessa forma, percebe-se que o ano que mais houve artigos publicados na área foi o ano de 2013, constatando-se assim o interesse maior nos últimos 5 anos pelo tema proposto.

Gráfico 1 – Distribuição dos estudos ao longo dos anos



Fonte: Autora (2016)



O gráfico 2 mostra o número de artigos por periódicos que mais publicaram sobre o tema. Observa-se que os periódicos com maior número de artigos selecionados na presente dissertação foram o Building and Environment e Energy and Buildings.

Gráfico 2 – Número de artigos selecionados por periódicos



Fonte: Autora (2016)

O conforto térmico é determinado pelo efeito combinado de seis parâmetros: temperatura, umidade do ar, radiação térmica, velocidade relativa do ar, atividades pessoais e nível de vestimenta tal como formulado por Fanger (1970) através de sua equação de conservação de calor. No entanto, segundo pesquisa realizada por Halawa et al. (2014), a maior parte dos trabalhos publicados atribui o nível de conforto térmico dos ambientes apenas à temperatura de bulbo seco do ar, sem levar em consideração a influência de outras variáveis do conforto. Conforme esse autor, na equação formulada por Fanger (1970), o fator de radiação térmica aparece como a temperatura radiante média ( $t_{rm}$ ), mas seu impacto sobre o conforto térmico é muitas vezes ignorado.

Os padrões de conforto existentes, que são geralmente interpretados e servem de orientação principal para a construção de projetos, não mencionam claramente o efeito da temperatura radiante média. Apesar da importância de considerar os efeitos de radiação térmica, existem representações gráficas de conforto térmico em normas tais como ASHRAE 55(2010) que não mostram claramente o efeito da temperatura radiante média, o que corrobora que ela é muitas

vezes negligenciada devido à sua complexidade e limitações práticas (HALAWA, 2014).

O estudo realizado por Halawa et al. (2014) proporcionou uma visão crítica dos impactos da presença do campo da radiação térmica no conforto térmico, no controle e no consumo de energia dos edifícios. Esta visão crítica mostrou que o campo da radiação térmica é um parâmetro essencial do conforto térmico. Em períodos de temperaturas mais altas, a temperatura radiante média impõe uma carga de refrigeração adicional para um espaço com ar condicionado, a fim de manter os ocupantes termicamente confortáveis.

A temperatura radiante média é um significativo fator de escala, especialmente em edifícios cujos envelopes construtivos são expostos a uma forte radiação solar no qual o controle de temperatura e umidade interna convencional não podem garantir o conforto térmico interior. Os envelopes construtivos são os principais fatores de uma eficiência energética do ambiente construído e do conforto térmico dos que ali se encontram, uma vez que eles representam uma espécie de “pele” no corpo do edifício. (ATMACA et al., 2007; ALFANO et al., 2013).

Kang et al. (2010) investigou a potencial economia de energia em um ambiente de escritório controlado. Um estudo de simulação comparativo entre o conforto térmico controlado e um termostato convencional foi realizado em um prédio com fachadas de vidro onde as mudanças na temperatura externa e a radiação solar ao longo do dia afetavam a temperatura radiante e o conforto térmico do ambiente. Para avaliar o desempenho térmico no espaço controlado foi utilizado um controlador de conforto térmico com base no Predicted Mean Vote (PMV). Os resultados mostraram que o consumo de energia em um espaço de conforto térmico controlado é mais afetado por uma alteração na temperatura radiante média do que no espaço controlado por um termostato convencional. A potencial economia de energia no ambiente de conforto térmico controlado aumenta com condições de temperatura radiante média baixa.

Na investigação realizada por Arslanoglu e Yigit (2016) foi apresentado um estudo teórico e experimental sobre o conforto térmico no interior de uma câmara climática sob o efeito da radiação advinda de lâmpadas de iluminação de centros comerciais. Os experimentos foram realizados em uma sala de laboratório com ar

condicionado em ambos os períodos de verão e outono. Os resultados experimentais e de simulação mostraram que o fluxo de calor por radiação advinda dessas lâmpadas causa diferenças locais na temperatura da pele e estas diferenças causam desconforto térmico. Os resultados também mostraram que as áreas do corpo mais afetadas pela radiação foram os segmentos superiores do corpo, especialmente a cabeça, que estava mais próxima das lâmpadas. Como resultado deste estudo, o modelo de simulação pode ser usado para examinar o efeito de lâmpadas de iluminação no conforto térmico e contribuir para a determinação do conforto térmico e eficiência energética em centros comerciais.

Ainda em relação à carga térmica advinda de lâmpadas tem-se que a iluminação por LED tem o potencial de proporcionar economia de energia, maior eficiência e maior duração em comparação com outras fontes de iluminação. No entanto, uma vez que 75-85% da luz da energia elétrica em luzes LED ainda é gerado como calor, o uso exclusivo de iluminação LED em um edifício pode ter um efeito negativo sobre a carga térmica do ambiente (BING, 2012). No estudo realizado por Ahn et al. (2015) foi analisado as propriedades de aquecimento da iluminação LED e estabeleceu-se uma estratégia de gestão para explorar propriedades para reduzir a energia utilizada para aquecimento e resfriamento de edifícios. Usando um programa de simulação, o consumo de energia de três edifícios foi calculado de acordo com diferentes fontes de luz. Uma estratégia de controle foi mais aplicável à iluminação LED do que à iluminação geral fluorescente, especialmente para o resfriamento de um edifício, porque o uso de um duto de retorno de ar e o dissipador de calor nas lâmpadas LEDs permitiu que o calor fosse reduzido.

Conforme Sarbu e Sebarchievici (2013), as pessoas passam a maioria do seu tempo dentro de edifícios. Dessa forma nos edifícios existentes e futuros haverá cada vez mais um foco crescente na utilização de energia e na qualidade interna do ambiente. Ambientes internos também afetam a saúde, o desempenho e o conforto dos seus ocupantes. Também tem sido mostrado que a boa qualidade do ambiente interior pode melhorar globalmente o trabalho, a produtividade, a capacidade de aprendizagem e reduzir o absentismo. Estudos recentes (PEREIRA et al. 2014; OLESEN, 2012) têm mostrado que os custos da baixa qualidade do ambiente interno para o empregador, para o proprietário do edifício e para a sociedade como um todo,

são muitas vezes consideravelmente mais elevados do que o custo da energia utilizada no mesmo edifício.

Um detalhamento das propriedades da radiação para um manequim térmico foi previsto numericamente por Sorensen (2002). No estudo, os aspectos relacionados à radiação entre os segmentos individuais (pescoço, rosto, costas, tórax, ombros, pélvica, braços, mãos e pernas) de um corpo sentado e entre os segmentos de forma geral do corpo humano (superfícies externas) foram determinadas e assinalou-se que a radiação entre os segmentos individuais do corpo é muito importante.

O estudo de Shimazaki et al. (2017) investigou a transferência de calor do sistema homem – vestimenta – ambiente sob efeito da radiação solar. A transferência de calor neste sistema foi explicada com base na equação de condução de calor e a transferência de calor relacionada à radiação solar foi adicionada como a fonte de geração de calor na superfície da roupa. As distribuições da temperatura dentro da vestimenta foram previstas com variações na quantidade de radiação solar, temperatura ambiente, profundidade do espaçamento livre de ar e propriedades radiativas. Foi constatado que as distribuições da temperatura diferem dependendo da incidência da radiação solar e também das propriedades radiativas, particularmente a absorção, indicando que a transferência de calor por radiação deve ser incluída na avaliação da transferência de calor da roupa, pois a mesma poderá vir a interferir no conforto térmico e eficiência de desempenho do indivíduo.

Olesen e Parsons (2002) descreveram as normas ISO existentes e atividades atuais relacionadas ao conforto térmico incluindo projeto, diferença vertical de temperatura do ar, temperatura do piso e assimetria radiante que causam desconforto térmico. Vários estudos foram realizados sobre conforto térmico, mas, em grande parte desses estudos, a temperatura radiante média era assumida como sendo igual à temperatura do ar do ambiente (Langner et al., 2013; HALAWA et al., 2014; WALIKIEWITZ et al., 2015).

O estudo realizado por Walikewitz et al. (2015), em quatro salas do Departamento de Geografia da Universidade Humboldt em Berlim, investigou se existia diferenças significativas entre a temperatura do ar e temperatura radiante média especialmente em temperaturas mais elevadas de ar e quais seriam as causas dessas diferenças. Foi constatado que com o aumento da temperatura do ar a

temperatura radiante média excedia a primeira em até 1,3 Kelvins. O estudo baseou-se no pressuposto de que as paredes circundantes não eram uniformes e as diferenças de temperaturas destas superfícies poderiam influenciar a temperatura radiante média. A análise das temperaturas da superfície indicou que as salas com janelas localizadas nas paredes voltadas para o sudeste e o sudoeste mostraram as maiores disparidades entre  $T_a$  e  $T_{rm}$ . Dessa forma as análises das razões para ocorrerem estas diferenças indicaram as características das salas (tamanho e exposição ao sol das janelas), bem como a incidência de radiação solar como os principais impulsionadores. Os resultados deste estudo são válidos apenas para condições de verão, com temperaturas externas altas e radiação solar intensa.

Em dias quentes de verão a transferência de calor por radiação é uma fonte importante na carga de calor em seres humanos quer seja em ambientes fechados quer seja em ambientes abertos. Quando o ambiente é fechado parte da radiação solar absorvida pelas superfícies da construção arquitetônica é conduzida através das paredes e telhados e transmitida através de janelas aumentando assim a temperatura do ar interno. Assim a resposta ao fluxo de radiação é em função da construção de concepção, dos envelopes construtivos do ambiente, das propriedades radiantes e térmicas dos materiais, do seu isolamento e do sombreamento externo (THORSSON et al., 2014).

Hwang e Shu (2011) realizaram um estudo sobre as propriedades dos envelopes dos componentes de construção de edifícios de fachadas de vidro e sua influência no conforto térmico usando um sistema de controle baseado no PMV. Eles constataram que o tipo de vidro, as áreas das janelas e os dispositivos de sombreamento efetivamente contribuíam para o conforto térmico na região de clima quente e úmido como Taiwan.

Estudo realizado por Kalmar (2012) na Hungria objetivou analisar qual a influência da geometria de uma sala na temperatura radiante média assumindo sistemas de aquecimento semelhantes e as propriedades térmicas da envolvente do edifício. Verificou-se que a temperatura radiante média tem uma variação parabólica com a altura e comprimento da sala, assim, para uma dada geometria de sala, há uma dada altura para que a temperatura radiante média seja mínima. Medições realizadas

em salas com alturas semelhantes e largura e comprimento diferente validou os valores calculados.

Para Halawa et al. (2014) as normas existentes de conforto térmico não têm abordado de forma adequada as questões decorrentes da forte presença do campo da radiação térmica. O que ocorre quando da construção dos gráficos das normas é a hipótese simplificadora em que temperatura radiante média é igual à temperatura do ar.

Em um estudo realizado nos EUA, os indivíduos foram expostos a condições de frio (10°C) e depois à temperatura de 25 °C. Os autores concluíram que a função cognitiva foi reduzida durante a exposição ao frio e que essa redução persistiu durante uma hora, durante o período de reaquecimento (MULLER et al.,2012). Na China, outro estudo envolvendo dois grupos de indivíduos (um exposto a variações de temperatura e outro exposto a um ambiente a 26 °C) concluiu que quando a situação térmica do ambiente se encontrava em desconforto térmico (temperaturas maiores que 28°C) houve um efeito negativo sobre o desempenho. O estudo recomendou uma faixa ótima de temperatura para o desempenho de 22°C a 26°C (CUI et al., 2013).

Segundo Lundgren et al. (2013), a variação de poucos graus na temperatura do ar pode influenciar diversas tarefas, tais como digitação, fabricação, reconhecimento de sinais, tempo de resposta, aprendizagem, velocidade e compreensão da leitura, velocidade matemática e memorização, pois altas temperaturas podem gerar distrações, pelo desconforto, pela fadiga e pela tensão psicológica.

Para Wargoki e Wyon (2013), a motivação também pode ser um fator importante de explicação para a ocorrência de um maior efeito negativo no desempenho em ambientes escolares por razões de desconforto ambiental, do que o comprometimento do desempenho em escritórios ou outros ambientes profissionais, em razão das diferenças motivacionais normais entre adultos e crianças. Lan et al. (2009) observou em seu estudo que pessoas motivadas conseguem manter um nível de produtividade mais elevado por certo período de tempo quando submetidas a condições ambientais adversas (calor ou frio).

A elevação da temperatura radiante média de um ambiente interno pode causar redução da produtividade dos que ali se encontram, visto que, o conforto

térmico tem uma significativa influência sobre a produtividade e satisfação dos ocupantes em um ambiente (AKIMOTO et al., 2010). Em estudo realizado por Vasconcelos (2015), com cadetes da Polícia Militar da Paraíba (PMPB), ficou evidenciado que além da temperatura do ar, a temperatura de globo e umidade relativa do ar também exercem influência no desempenho cognitivo geral.

É imprescindível ainda relatar que a exposição a campos eletromagnéticos de baixa frequência, como os presentes nos ambientes providos de inovações tecnológicas de comunicação e informação (*News ICT*), tem sido associada a uma variedade de resultados adversos para a saúde que podem ter significativas consequências na vida dos indivíduos. Os mais graves pontos com reflexos na saúde que foram relatados associados com a exposição à radiação de frequência extremamente baixa incluem crianças e adultos acometidos com leucemia, tumores cerebrais em crianças e adultas, aumento do risco das doenças neurodegenerativas, doença de Alzheimer e esclerose lateral amiotrófica (SAGE, 2009).

Conforme a presente revisão da literatura verificou-se que, apesar de constatada a importância da influência da radiação térmica, há poucos trabalhos acadêmicos (principalmente em ambientes internos) envolvendo a relação entre as variáveis ambientais, desempenho cognitivo e radiação térmica. Por facilidade ou pelo fato de muitas vezes a temperatura de globo ser igual à de bulbo seco, a grande parte dos estudos relacionam o conforto térmico apenas à temperatura de bulbo seco do ar, sem levar em consideração outros fatores, como a radiação térmica.

## **CAPÍTULO 3: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Esta fundamentação teórica, bem como a revisão sistemática presente no capítulo anterior, busca demonstrar resultados e teorias sobre a relação entre o conforto térmico, o desempenho e a radiação térmica. Dessa forma, inicialmente serão abordados o calor e o processo de troca com o meio, bem como os processos do corpo para manter a homeostase e o conforto térmico, focando as variáveis que o influenciam e as formas de avaliação. Também será abordado em detalhes a definição de balanço térmico e o que o corpo humano precisa para estar em equilíbrio térmico. Estes tópicos são importantes para entender como as mudanças climáticas podem afetar a saúde e o desempenho do indivíduo.

Em seguida, serão abordados itens relativos à radiação térmica e suas propriedades, no intuito de entender os seus parâmetros, os efeitos da mudança de temperatura do ar e a influência da realização de atividades. Dentre as atividades, serão abordadas mais detalhadamente as funções utilizadas no processo de aprendizagem, bem como a forma de avaliação do seu desempenho. Por fim será apresentado uma breve discussão sobre a classe de modelos estatísticos que será aplicado na dissertação que tem por objetivo principal estudar a relação entre as variáveis. Isto é, que influência uma ou mais variáveis explicativas obtidas em indivíduos, terá sobre uma variável de interesse.

### **3.1. DEFINIÇÃO DE CALOR**

O calor é representado pelo trânsito de energia provocado por uma diferença de temperatura sendo o sentido do fluxo de calor da região de maior temperatura para a região de menor temperatura. De acordo com Verdussen (1978) apud Santos (2005), o calor é um parâmetro de grande importância quando se busca criar adequadas condições ambientais de trabalho. Dessa forma, ter conhecimento dos processos de transmissão de calor e suas definições é imprescindível para realização das análises térmicas entre o homem e o ambiente. Neste caso, deve-se, inicialmente, definir o sistema estudado.

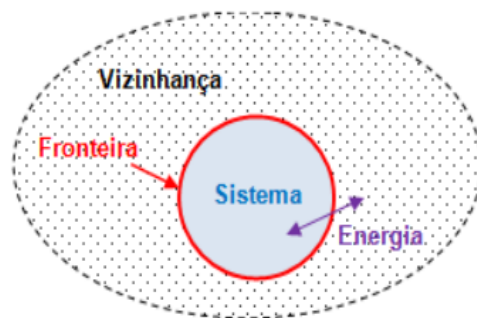
Conforme Vasconcelos (2015) sistema pode ser definido como uma



quantidade de matéria delimitada para um estudo, não sendo necessário que sua forma ou o volume seja essencialmente constante. Uma vez que o sistema está definido, as interações com outros sistemas relevantes podem ser identificadas.

Demarcamos um sistema em função daquilo que desejamos calcular. Tudo que se situa fora do sistema é chamado meio ou vizinhança. O sistema a ser estudado é demarcado através de uma fronteira ou superfície de controle a qual pode ser móvel, fixa, real ou imaginária (figura 2). Como as interações entre sistema e vizinhança ocorrem através da fronteira, estas devem ser cuidadosamente delineadas, conforme a conveniência do estudo.

Figura 2 - Definição de Sistema



Fonte: Medeiros (2014)

De acordo com Siqueira (2015) a interação térmica entre o sistema e os arredores ocorre através da energia que flui de um ponto com maior para outro com menor temperatura através da fronteira. A taxa de calor é proporcional à diferença de temperatura entre duas regiões. A temperatura, por sua vez, expressa a agitação molecular da matéria. No sistema internacional, a temperatura é medida em Grau Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) ou Kelvin (K), enquanto o calor é medido em Joule (J). O fluxo de calor é medido em Joules por segundo ou Watts (W) (BRADSHAW, 2006; COUTINHO, 2011).

Portanto, o calor é definido como a energia que atravessa a fronteira de um sistema devido a uma diferença de temperatura entre este e seus arredores, fluindo no sentido da temperatura mais baixa (BAERHR e STEPHAN, 2011). Dessa forma, sempre que existir diferença de temperaturas entre um ou mais corpos, os quais estejam em contato ou quando não estão em contato existirá um fator de forma de um sobre o outro, deverá ocorrer uma transferência de calor.

Arantes (2013), explica que a quantidade de calor liberado pelo organismo humano varia de acordo com a atividade desenvolvida pelo homem. A dissipação de calor para o meio ambiente pode ocorrer por trocas secas que são aquelas que ocorrem em função da diferença de temperaturas entre o corpo e o meio ambiente por calor sensível, através da condução, convecção e radiação; ou úmidas quando há mudança de fase através da evaporação onde o suor passa do estado líquido para o gasoso. Esta classificação também é dada por Bradshaw (2006) onde ele afirma que existem duas formas de calor: latente e sensível. O calor latente refere-se ao calor necessário para a mudança de estado físico da matéria (sólido, líquido, gasoso) já o calor sensível é a expressão da excitação molecular do corpo e é devido exclusivamente à diferença de temperatura.

### **3.1.1 Mecanismos de transmissão de calor**

A transferência de energia entre a instalação, seus ocupantes e o ambiente, ocorre por condução, radiação, convecção e evaporação. Os processos térmicos em seu interior dependem das propriedades dos materiais- absorvidade, refletividade, transmissividade (CASTRO, 2012). Para Bradshaw (2006), a forma como ocorrerão estes mecanismos no corpo será determinada por variáveis individuais (metabolismo e vestimenta) e variáveis do ambiente ao redor (radiação, umidade, temperatura e velocidade do ar).

#### **3.1.1.1 Condução**

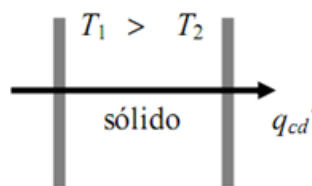
Conforme Lamberts et al. (2008) a condução esta relacionada ao transporte de energia térmica (calor) em um meio sólido devido ao gradiente de temperatura. Lida (2001) descreve o fenômeno da condução como a troca de calor entre corpos que estejam em contato e a diferentes temperaturas. Este processo ocorre em sólidos, líquidos e gases, mas como nos fluidos há processos convectivos, a condução refere-se somente aos sólidos, pois ocorre sem deslocamento das moléculas, que é a condição inicial para que haja o processo de condução de energia (CASTRO, 2012).

Logo, a transmissão de calor por condução ocorre quando corpos em

diferentes temperaturas estão literalmente encostados um no outro. Segundo Reis (2008), a energia do corpo de temperatura mais alta agita as moléculas do corpo de temperatura mais baixa, fazendo com que a energia cinética média das moléculas deste último se eleve, aumentando assim, sua energia interna. Em consequência, a temperatura do corpo que está recebendo a energia em forma de calor se eleva até o estado de equilíbrio.

Este processo de transmissão de calor é diretamente proporcional à área de transferência e à diferença de temperatura entre as duas regiões do referido corpo e inversamente proporcional à distância entre elas (figura 3). Também depende da condutividade térmica que é uma propriedade de cada material. No ser humano, essa transferência de calor ocorre através das vestimentas, dos calçados e em contato direto com algum equipamento ou superfície (COUTINHO, 2011; SIQUEIRA, 2015).

Figura 3 – Processo de Condução de calor



Fonte: Lamberts et al. (2008)

A equação da taxa de transferência de calor por condução é descrita como “Lei de Fourier” (REYNOLDS, 1986) que relaciona as grandezas envolvidas na transferência de calor por condução (equação 1).

$$q_{cd} = -kA \frac{dt}{dx} \quad (1)$$

Onde:

$q_{cd}$  = quantidade de calor transmitida por condução, em  $W/m^2$

$k$  = condutividade térmica, em  $W/m^{\circ}C$

$A$  = área da seção através da qual o calor flui por condução, em  $m^2$

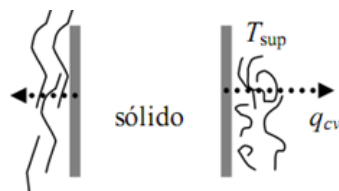
$dt/dx$  = gradiente de temperatura na seção em  $^{\circ}C/m$

### 3.1.1.2 Convecção

A troca de calor por convecção ocorre a partir do movimento da camada de ar próxima à pele, que contribui para o afastamento do ar quente e sua substituição pelo ar frio. Conforme Castro (2012) a convecção é um processo pelo qual o calor é transferido entre a superfície sólida e um fluido em movimento. Essas trocas de calor envolvem o ar ou um líquido e uma superfície sólida. A transmissão de energia acontece também das partes quentes para as partes frias de um fluido através da ação combinada da condução de calor, armazenamento de energia e movimento e mistura (KREITH, 1973).

Conforme Coutinho (2011) é o processo de transferência de calor entre um fluido e um sólido que estejam em contato e apresentem diferença de temperatura (figura 4). A eficiência deste processo está relacionada à diferença de temperatura e velocidade do ar. Em um fluido, onde a mobilidade das partículas é grande, as partículas aquecidas pelo contato direto com a superfície sólida tendem a migrar para locais onde as temperaturas são mais baixas. Essa movimentação de partículas acarreta a transmissão de energia de uma posição para outra caracterizando a transferência de calor por convecção (REIS, 2008).

Figura 4 – Processo de Convecção de calor



Fonte: Lamberts et al. (2008)

A transferência acontece tanto pelo movimento molecular aleatório quanto pelo movimento global do fluido. De acordo com Vasconcelos (2015) a transferência convectiva pode ser classificada como: forçada, quando o escoamento for provocado por meios externos; ou livre (natural), quando o mesmo se origina pelas forças de empuxo originadas das diferenças de densidade devido às variações de temperatura do fluido.

De uma forma geral, a transferência de calor por convecção pode ser representada pela equação (2):

$$q_{cv} = h_c A (T_s - T_f) \quad (2)$$

Onde:

$q_{cv}$  = quantidade de calor transmitida por convecção, em W/m<sup>2</sup>

$h_c$  = coeficiente de convecção, em W/m<sup>2</sup>°C

$A$  = área de transmissão de calor, em m<sup>2</sup>

$T_s$  = temperatura da superfície, em °C

$T_f$  = temperatura do fluido, em °C

Conforme Lamberts et al. (2008) o coeficiente de convecção é uma constante de proporcionalidade que resume as condições nas camadas mais próximas à superfície, considerando a geometria da superfície, a natureza do escoamento (laminar ou turbulento) e propriedades do fluido (densidade, viscosidade, condutividade térmica e calor específico).

Coutinho (2011) afirma que o coeficiente  $h_c$  varia diretamente com a velocidade do ar e segundo Djongyang et al. (2010), é dado pelas equações 3 ou 4, dependendo da velocidade do ar.

$$h_c = 3,5 + 5,2 \times v_r, \text{ se } v \leq 1 \text{ m/s} \quad (3)$$

$$h_c = 8,7 \times v_r^{0,6}, \text{ se } v \geq 1 \text{ m/s} \quad (4)$$

Onde:

$v$  = velocidade do ar, em m/s

$v_r$  = velocidade relativa do ar, dada pela equação 5.

$$v_r = v + 0,0052 \times (M - 58) \quad (5)$$

Onde:

$M$  = Metabolismo, em W/m<sup>2</sup>

### 3.1.1.3 Radiação

Segundo Comiran (2014) radiação é a transferência de energia radiante

através de ondas eletromagnéticas, não dependendo de nenhum meio para se propagar. Esta energia é emitida continuamente por todos os corpos com temperatura acima do zero absoluto. Esta capacidade está relacionada à emissividade do material, ou seja, sua capacidade de emitir calor.

De acordo com Arantes (2013) as trocas de calor por radiação ocorrem continuamente entre os corpos e/ou meio ambiente, através da irradiação de calor por ondas eletromagnéticas dos corpos de maior para os de menor temperatura. Dessa forma, quando um corpo recebe energia radiante, há um aumento de sua temperatura e também há emissão de energia para as superfícies adjacentes, que é proporcional à temperatura do corpo (CASTRO,2012). A radiação térmica será abordada em mais detalhes em tópico posterior.

#### **3.1.1.4 Evaporação**

Segundo Frota e Schiffer (2003) a evaporação, troca úmida de calor entre o meio ambiente e o corpo humano, é a troca térmica ocorrida através da mudança do estado líquido para o gasoso. Esse fenômeno de troca de calor entre o corpo humano e o meio ambiente é conhecido como transpiração e, necessita de dispêndio de energia para ocorrer. Para Padilha (2010), a evaporação é a maneira mais eficiente de perda de calor do corpo para o meio ambiente, já que a dissipação de calor através da evaporação de suor retira calor da superfície do corpo.

A evaporação é diretamente proporcional à velocidade do ar e inversamente proporcional à umidade do ar e do nível de impermeabilidade. Este processo não desempenha um papel significativo no balanço térmico do corpo a baixas temperaturas, entretanto, torna-se predominante em altas temperaturas, onde convecção e radiação não são suficientes para manter as condições de conforto ou de salubridade térmica (SIQUEIRA, 2015).

Segundo Coutinho (2011) a evaporação é a principal defesa do corpo contra o calor, pois através da intensificação da produção de suor o corpo permite a perda de 580 kcal por quilograma de líquido. As perdas por evaporação fazem com que o corpo se refresque, através da retirada de calor da superfície de onde o líquido é evaporado (entalpia). Segundo Coutinho (2011), a taxa máxima de evaporação

proporcionada por um ambiente pode ser representada pela equação 6.

$$E = h_e \times (P_{vs} - P_v) \quad (6)$$

Onde:

E = quantidade de calor perdido por evaporação, em W/m<sup>2</sup>

h<sub>e</sub> = coeficiente de evaporação, em W/m<sup>2</sup>kPa

P<sub>vs</sub> = pressão de vapor de água saturado, em kPa

P<sub>v</sub> = pressão de vapor de água contido no ar, em kPa

### **3.2. A FISILOGIA DA TERMORREGULAÇÃO HUMANA**

O homem é um animal homeotérmico cujo organismo é mantido a uma temperatura interna sensivelmente constante. Em um organismo saudável, essa temperatura é mantida entre 36,1 e 37,2°C. Em caso de enfermidade, para sobrevivência, a temperatura interna do organismo tem como limite inferior 32°C e como superior 42°C (ANDREASI, 2009; ARANTES, 2013).

Para Blazejczyk et al. (2013) esta propriedade de manutenção da temperatura corporal é característica de animais homeotérmicos, para assegurar o funcionamento dos órgãos internos, incluindo o cérebro, otimizando assim o conforto, a saúde e o desempenho. De acordo com Kroemer e Grandjean (2005), a temperatura do corpo humano não é uniformemente distribuída. Apesar de a temperatura interna ser mantida constante, a temperatura da pele pode variar entre 4° a 41°C, de acordo com a temperatura, umidade e velocidade do ar ao redor.

De acordo com Lamberts (2014) o bom funcionamento do organismo humano é a condição na qual o mesmo se encontra para que esteja apto a realizar suas atividades, que podem ser divididas em 2 tipos: atividades basais internas, aquelas independentes de nossa vontade e suficientes para fazer com que os órgãos de nosso corpo funcionem, e as atividades externas, que são aquelas realizadas conscientemente pelo homem através de seu trabalho ou atividade desenvolvida. Ainda conforme Lamberts (2014), nosso organismo precisa do calor que é oriundo do metabolismo dos alimentos ingeridos para poder ter condições de

desempenhar suas atividades.

O corpo é um sistema que ao receber uma quantidade de calor transforma parte em trabalho e rejeita o restante (COUTINHO,2011). Assim, a eficiência térmica do corpo humano é a relação entre a energia transformada em trabalho e o metabolismo. Portanto uma quantidade de calor tenderia a se acumular no corpo, transformando-se em energia interna e elevando a temperatura corporal. Todavia, normalmente isto não ocorre devido aos mecanismos de defesa do organismo.

A maior parte do calor produzido pelo corpo é oriunda de órgãos profundos como fígado, cérebro e coração, e músculos esqueléticos, sendo transferido destes para a pele, onde é perdido para o ar e o meio ambiente. A condução do calor para a pele através do 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 na pele (Vasconcelos,2015).

Para Andreasi (2009) esse calor é transferido à pele e da pele para o meio ambiente, onde a intensidade da perda é determinada pela rapidez com que o calor pode ser conduzido das partes centrais para a pele e dela para o meio ambiente. Para isso o fluxo térmico deve vencer o isolamento formado pelos tecidos subcutâneos e pela gordura neles existente.

Devido ao fato de gerar calor durante a realização de trabalho, o corpo humano é comparado a uma “máquina térmica”. Dessa forma, segundo Vasconcelos (2015), 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 no segundo provocaria a redução dessa temperatura, podendo em ambos os casos acarretar danos aos órgãos vitais do corpo humano. Para Siqueira (2015) se a temperatura interna aumenta ou cai além dos limites aceitáveis, ocorre redução das operações mentais e físicas; se a temperatura vai a extremos, disfunções fisiológicas severas, até morte, podem acontecer.

O organismo humano reage de diferentes formas às variações bruscas de temperatura. Sempre que isto ocorre o corpo humano procura se autorregular para manter o equilíbrio da sua temperatura interna. Mecanismos de termorregulação mantêm estável a temperatura interna do organismo, visto que, o ganho ou a perda de calor pode acarretar um desequilíbrio térmico no corpo, provocando danos à saúde



ou até mesmo a morte do indivíduo (GOBO ET AL.,2008; MORAIS, 2015).

O responsável pela manutenção da temperatura corpórea normal é o hipotálamo, uma porção extremamente sensível do cérebro que é estimulado por mudanças captadas por receptores térmicos em diversas partes do corpo (RUAS, 2001; BRADSHAW, 2006). Nele, encontra-se o sistema de controle central, que regula a temperatura do corpo ao integrar os impulsos térmicos provenientes de quase todos os tecidos do organismo. Quando o impulso integrado excede ou fica abaixo da faixa limiar de temperatura, ocorrem respostas termorreguladoras autonômicas, que mantêm a temperatura do corpo em valor adequado. Tais impulsos são provenientes de receptores periféricos existentes na pele e em alguns tecidos profundos específicos do corpo, encontrados principalmente na medula espinhal, nas vísceras abdominais e em torno de grandes veias, no abdômen superior e tórax (VASCONCELOS, 2015).

De acordo com Andreasi (2009) experimentos mostraram que a área do hipotálamo apresenta um número considerável de neurônios sensíveis ao calor, e cerca de um terço de neurônios sensíveis ao frio, que parecem funcionar como sensores térmicos no controle da temperatura corporal. Quando o centro de termorregulação do hipotálamo constata que a temperatura corporal se encontra muito alta ou muito baixa, aciona mecanismos fisiológicos de controle que vão propiciar o aumento ou diminuição da mesma, a fim de manter um saldo nulo de calor no corpo (COUTINHO,2011; BERTON 2013).

Quando o corpo está excessivamente quente, ocorrem a vasodilatação, a sudorese e a diminuição da produção de calor (GRZYBOWSKI (2004); GUTTON E HALL, 2011; COUTINHO, 2011; VASCONCELOS, 2015):

- **Vasodilatação** - Em quase todas as áreas do corpo, os vasos sanguíneos da pele tornam-se intensamente dilatados, aumentando a vazão de sangue, conduzindo maior quantidade de calor do interior para a superfície, onde será perdido por convecção e/ou radiação. Esse mecanismo é capaz de aumentar a taxa de transferência de calor para a pele em até oito vezes.
- **Transpiração** - Quando a temperatura do núcleo do corpo se eleva acima do nível crítico de 37 °C, as glândulas sudoríparas são acionadas, desta forma, a sudorese permite um aumento da taxa de evaporação corporal, que é adicionada à perda por convecção provocada pela vasodilatação. Um aumento

adicional de 1°C da temperatura corporal provoca sudorese suficiente para remover 10 vezes a taxa basal de produção de calor corporal.

- **Diminuição da produção de calor.** Os mecanismos que causam a produção de calor em excesso, como tremores e termogênese química, são fortemente inibidos.

Já ao contrário, quando o corpo fica excessivamente frio, há a vasoconstrição cutânea em todo o corpo, a piloereção e o aumento da produção de calor (GUTTON E HALL, 2011; COUTINHO, 2011, VASCONCELOS, 2015):

- **Vasoconstrição** - Os diâmetros dos vasos sanguíneos passam a ser reduzidos, diminuindo, assim, a vazão sanguínea do interior para a superfície e, conseqüentemente, as perdas de calor por convecção e/ou radiação.
- **Piloereção** - Também conhecido como cabelos "em pé", consiste em uma estimulação simpática que traz os cabelos para uma postura ereta. Não é importante para os seres humanos, mas nos demais animais permitem-lhes prender uma espessa camada de "ar isolante" sobre a pele, de modo a diminuir a transferência de calor para o ambiente.
- **Aumento da termogênese (produção de calor)** - A produção de calor pelo sistema metabólico é aumentada através da promoção de tremores (tiritar), da produção de calor simpático, e secreção de tiroxina. Durante esse processo observa-se um aumento no metabolismo.

### 3.3. BALANÇO TÉRMICO

Conforme Nedel et al. (2009), uma pessoa encontra-se termicamente confortável quando o total de calor produzido, ou ganho pelo corpo, for igual à quantidade de calor dissipado para o meio, pelo mesmo corpo e mesma proporção para que o corpo mantenha um balanço de energia. Além disso deve ter evaporação e temperatura da pele compatíveis com a taxa metabólica. Quando isto é alcançado sem reações fisiológicas significativas, é dito que o corpo está em neutralidade térmica (CROITORU ET AL., 2015; VASCONCELOS, 2015).

Conforme Lamberts (2014), a teoria assume que um organismo exposto por longo tempo a um ambiente térmico constante, moderado, tenderá a um equilíbrio

térmico de acordo com esse ambiente, isto é, a produção de calor pelo organismo através de seu metabolismo, será igual à perda de calor do mesmo para o ambiente, através das diversas formas de transferência de calor.

Portanto, as atividades realizadas pelo homem provocam calor no corpo, o qual deve ser dissipado ao ambiente para que não ocorra um aumento exacerbado da temperatura interna e que se mantenha o equilíbrio térmico do corpo. Esta perda de calor para o ambiente se dá através de mecanismos de trocas térmicas. O calor pode ser transferido através da superfície da pele por radiação, condução, convecção e no aparelho respiratório por evaporação.

Para manter o equilíbrio térmico, o calor metabólico produzido pelo organismo, o trabalho mecânico e as transferências de calor por condução, evaporação, radiação e convecção devem se anular. Conforme Buriol et al. (2015) a condição térmica do ambiente é determinada pelo balanço de radiação e a velocidade de evaporação em resposta à umidade relativa do ar, velocidade do vento e exposição a ele, exposição da superfície corporal à radiação solar e à radiação térmica das superfícies do entorno.

Devido ao organismo humano ser um sistema térmico, produzindo calor e interagindo continuamente com o meio externo para alcançar o balanço térmico, deve existir uma troca de calor constante entre o corpo e o meio, regida pelas leis da física e influenciada pelos mecanismos de adaptação fisiológica, condições ambientais e fatores individuais. Deve-se considerar também que os seres humanos geram calor através do metabolismo, perdem calor na realização de tarefas e descartam o excesso de calor para manter a temperatura interna em aproximadamente 37°C. Para Lamberts (2014) a sensação de conforto térmico está diretamente relacionada ao esforço realizado pelo organismo para manter o balanço térmico.

Para a ASHRAE Fundamentals (2009) o equilíbrio térmico necessário entre o corpo humano e o ambiente envolvente deve ser tal que permita conservar a temperatura corporal de forma aproximadamente constante, independentemente das vicissitudes ambientais. Conforme Andreasi (2009) deve-se considerar que o conforto térmico é alcançado quando o fluxo de calor no ambiente e pelo corpo são equilibrados, e a temperatura de pele e a taxa de suor estão dentro de uma faixa de conforto que dependem unicamente do metabolismo.

Segundo Comiran (2014) a equação de balanço térmico deve ser satisfeita como primeiro requisito para o conforto térmico. Esta exigência é uma expressão do objetivo do sistema termorregulador humano para manter uma temperatura corporal interna razoavelmente constante. A Norma ISO 7730/2005 utiliza uma equação de balanço térmico que leva em consideração, o metabolismo, a atividade física e as perdas de calor através da pele e da respiração. As perdas através da pele levam em conta a resistência térmica e permeabilidade das vestimentas utilizadas, a temperatura do ar, a temperatura média radiante, a umidade, a velocidade do ar e a atividade exercida (equação 7).

$$M - T = C_{res} + E_{res} + (E_s + E_{dif} + C + R)_{pele} \quad (7)$$

Onde:

M= Taxa metabólica de produção de calor (W/m<sup>2</sup>);

T = Trabalho externo (W/m<sup>2</sup>);

C<sub>res</sub>= Perda de calor sensível na respiração, por convecção (W/m<sup>2</sup>);

E<sub>res</sub>= Perda de calor latente pela respiração, por evaporação (W/m<sup>2</sup>);

E<sub>dif</sub> = Perda de calor por evaporação por difusão, nas partes enxutas do corpo (W/m<sup>2</sup>);

E<sub>s</sub> = Perda de calor por evaporação, nas partes molhadas do corpo (W/m<sup>2</sup>);

C = Perda de calor por convecção pela pele (W/m<sup>2</sup>);

R = perda de calor por radiação (W/m<sup>2</sup>).

Quando a igualdade da equação 7 não é verificada é um indício de que existe uma carga térmica atuando sobre a pessoa, a qual será positiva se estiver ocorrendo acúmulo de calor no corpo humano e negativa se estiver ocorrendo uma perda excessiva de calor do corpo para o ambiente. Se houver essa carga térmica fica caracterizado o desconforto térmico, quer seja desconforto por frio ou desconforto por calor (XAVIER,2000).

Hirashima (2014) enfatiza que se os termos individuais da equação do balanço térmico têm sinais positivos há ganho de energia no corpo, do contrário, há perda de energia. Segundo Vasconcelos (2015), estas trocas de calor pela pele, respiração e por condução através das roupas, podem ser expressas como as

equações 8 a 13:

$$C_{res} = 0,0014M(35 - t) \quad (8)$$

$$E_{res} = 0,0173M(5,628 - p_v) \quad (9)$$

$$E_{dif} = 3,05 \times 10^{-3}(256t_p - 3373 - p_v) \quad (10)$$

$$E_s = w_s 16,7 h_c F_l (P_{vsp} - P_v) \quad (11)$$

$$C = h_c F_s (t_p - t) \quad (12)$$

$$R = h_r F_s (t_p - t_{rm}) \quad (13)$$

Onde:

$t$  = temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ )

$p_v$  = pressão parcial de vapor de água (kPa)

$t_p$  = temperatura da pele ( $^{\circ}\text{C}$ )

$F_s$  = fator de redução de calor sensível, adimensional

$F_l$  = fator de redução de calor latente, adimensional

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

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

$P_{vsp}$  = pressão de vapor saturado à temperatura da pele (kPa)

$t_{rm}$  = temperatura radiante média ( $^{\circ}\text{C}$ )

$M$  = taxa metabólica de produção de calor ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

O modelo humano do balanço térmico não deve ser analisado somente como um problema físico de transferência de calor, deve-se também considerar os mecanismos termorreguladores, pois eles interferem ativamente e podem alterar as condições de troca de calor (ANTONELLI, 2012).

### 3.4. CONFORTO TÉRMICO

A norma ASHRAE (2005) define o conforto térmico como “um estado da mente que reflete satisfação com o ambiente térmico”. Com isso, o conforto térmico pode ser considerado um estado de espírito, estando sujeito a diferenças fisiológicas, de humor, culturais, fatores organizacionais e sociais de cada indivíduo. Frota e Schiffer (2003) complementam que o “homem tem melhores condições de vida e de saúde

quando seu organismo pode funcionar sem ser submetido à fadiga ou estresse, inclusive térmico”.

De acordo com Bradshaw (2006) o conforto térmico é afetado por muitas variáveis como: saúde, idade, atividade, vestimenta, gênero, alimentação e aclimação. Como estes fatores não são iguais para todas as pessoas, considera-se que a condição ideal de conforto de um ambiente é proporcionada quando a maioria dos ocupantes estiverem se sentindo confortáveis.

Viana (2013) ressalta também que os organismos humanos se diferenciam entre si, pois cada indivíduo tem uma capacidade sensitiva diferente. Ou seja, uma sensibilidade térmica ambiental diferenciada em virtude de diferenças no metabolismo associadas às outras variáveis, tais como: hábitos, trabalho, vestimentas, etc. Deste modo, não se pode generalizar as sensações de conforto ou desconforto térmico. Evidenciar a interação existente entre os seres humanos e o ambiente habitado demonstra que a análise do clima local tem sua importância nos mecanismos que condicionam o conforto térmico, a partir das análises das variáveis climáticas, fisiológicas e psíquicas.

O conforto térmico situa-se no campo subjetivo e depende de fatores físicos, fisiológicos e psicológicos. Os fatores físicos determinam as trocas de calor do corpo com o meio; os fatores fisiológicos referem-se a alterações na resposta fisiológica do organismo, resultantes da exposição contínua a determinada condição térmica; e finalmente os fatores psicológicos, que são aqueles que se relacionam às diferenças na percepção e na resposta a estímulos sensoriais, frutos da experiência passada e da expectativa do indivíduo (LAMBERTS, 2014).

Conforme Gobo, Montebalco e Sartori (2008), o conforto térmico pode ser considerado como a sensação de bem-estar experimentada por uma pessoa, como resultado da combinação satisfatória da temperatura radiante média (trm), umidade relativa (UR), temperatura do ar do ambiente (ta) e velocidade relativa do ar (vr), com a atividade desenvolvida e com a vestimenta usada no momento pelos ocupantes do ambiente.

A norma ISO 7730 (2005) avalia o conforto térmico como o estado de espírito que exprime satisfação com o ambiente térmico e considera que a insatisfação pode ocorrer em razão do aquecimento ou resfriamento do corpo como um todo ou de

partes determinadas, o que recebe a designação de desconforto localizado. O calor cada vez mais intenso afeta o conforto e a eficiência dos ocupantes de determinado ambiente. O calor excessivo provoca efeitos sobre o indivíduo, deixando-o cansado, reduzindo sua atenção e aumentando as tendências a incorrer em erros ou acidentes, além de poder causar as chamadas doenças do calor (GRZYBOWSKI, 2004).

De acordo com Nince (2013) o estudo do conforto térmico surgiu com a necessidade de condicionamento de ambientes fechados para um melhor rendimento das atividades humanas, especialmente no trabalho. O estudo do conforto térmico tem como objetivo diagnosticar e analisar as condições de um ambiente e diagnosticá-lo termicamente, podendo-se obter subsídios para a obtenção de condições térmicas adequadas à ocupação humana e às atividades desempenhadas (VASCONCELOS, 2015).

O conforto térmico é um aspecto importante em relação à satisfação dos seus ocupantes com o ambiente e dessa forma é considerado como um importante indicador de desempenho de uma edificação. O conforto térmico é um fenômeno complexo e, portanto, é difícil conseguir satisfazer a todos no mesmo ambiente. Isto acontece devido as diferenças existentes entre as pessoas, tanto relacionadas a aspectos fisiológicos como psicológicos (SCHELLEN et al., 2012).

Vasconcelos (2015) explica que a energia proveniente dos alimentos possibilita a realização de todas as funções biológicas do corpo humano, e é em sua grande parte dissipada em forma de calor nas reações celulares, e por diversos órgãos, sendo transferido para a pele onde é transferido para o ambiente. Sabe-se que, para a manutenção do equilíbrio térmico, é exigido um dispêndio extra de energia por parte do corpo humano, sendo, as variáveis térmicas ambientais, vestimentas e a natureza da atividade fatores determinantes para o estabelecimento do mesmo. Dessa forma, quanto mais desfavorável se encontrar um ambiente, em relação às condições térmicas oferecidas, maior o esforço do sistema de termorregulação para manter o balanço térmico do corpo humano. Enquanto o esforço fisiológico (sem o acionamento dos controles comportamentais) for suficiente para a manutenção do equilíbrio, existirá uma condição favorável ao conforto térmico. Arantes (2013) constata que a obtenção de conforto térmico se processa quando o organismo perde para o ambiente calor produzido compatível com sua atividade, sem recorrer a

nenhum mecanismo de termorregulação.

O conforto térmico tem grande importância no desempenho de alunos. De acordo com Soares, Xavier e Michaloski (2013), um ambiente escolar com calor excessivo leva ao cansaço e à sonolência. Mas um ambiente com pouco calor acaba diminuindo a concentração e atenção do aluno, devido ao corpo precisar de calor e aumentar assim a atividade metabólica para se aquecer. Segundo Fanger (1970) a razão de criarem-se condições de conforto térmico, reside no desejo do homem de sentir-se termicamente confortável. Assim, o conforto térmico pode ser justificado do ponto de vista da performance humana.

### **3.4.1 Condições de conforto térmico**

A neutralidade térmica, isto é, o balanço térmico, é uma condição necessária, mas não suficiente para considerar que um indivíduo se encontre em conforto térmico. Segundo Lamberts (2014) pode ocorrer neutralidade térmica e o indivíduo estar sujeito a algum tipo de desconforto localizado. Para Gobo (2008) não se pode tratar de conforto térmico sem que a questão do desconforto térmico não seja abordada. Vários fatores podem causar desconforto localizado em indivíduos no desempenho de quaisquer atividades. Esses fatores não atingem o corpo todo, porém apenas uma parte, e embora a pessoa possa estar satisfeita com a temperatura corporal, não se encontrará em conforto devido a essa insatisfação localizada.

Ainda conforme Lamberts (2014), se uma pessoa estiver desempenhando determinada atividade e estiver suando muito acima do que os estudos realizados mostraram que deveria estar, ou a temperatura de sua pele estiver acima ou abaixo de valores que esses mesmos estudos demonstraram, a pessoa não estará certamente em conforto térmico, mesmo que ela esteja em neutralidade térmica, e não esteja sujeita a algum tipo de desconforto localizado.

Portanto, para uma pessoa se sentir confortável, três condições devem ser atendidas, conforme Camargo (2011):

- Estar em neutralidade térmica;
- Possuir a temperatura da pele e a taxa de secreção de suor dentro de limites aceitáveis de acordo com a atividade;



- Não estar sujeito a nenhum tipo de desconforto térmico localizado, tais, como assimetria de radiação térmica, correntes de ar indesejáveis, diferenças na temperatura do ar no sentido vertical, horizontal e contato com pisos aquecidos ou resfriados

### 3.4.2 Variáveis que influenciam no Conforto Térmico

De acordo com Hirashima (2014) o ambiente térmico e seu impacto sobre o organismo humano não podem ser representados apenas por uma única variável, como por exemplo a temperatura do ar, visto que o organismo humano não possui sensores individuais para cada variável e dessa forma perceber e sentir o ambiente térmico como todo.

As mais importantes variáveis que influenciam no conforto térmico (quadro 2) podem ser divididas em variáveis ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar, umidade relativa do ar) e variáveis pessoais (taxa metabólica e isolamento térmico da vestimenta) (BRODAY, 2015).

Para Mohamed et al. (2005), conhecer todas as variáveis ambientais de determinado ambiente muito importante visto que as mesmas afetam a eficiência do trabalho e podem reduzir a produtividade. Em relação às variáveis pessoais, Broday (2014) afirma que conhecendo-se a demanda metabólica para determinada atividade, torna-se possível para os empregadores não só planejar as atividades de modo que o gasto metabólico não gere calor excessivo para os trabalhadores, mas também fornecer roupas e instrumentos adequados para determinada função.

Quadro 2 – Variáveis que influenciam o Conforto Térmico

Variáveis pessoais/subjectivas	Atividade desempenhada, $M$ ( $W/m^2$ ) Isolamento térmico das roupas utilizadas, $I_{cl}$ (clo)
Variáveis ambientais	Temperatura do ar ( $^{\circ}C$ ) Temperatura radiante média, $t_{rm}$ ( $^{\circ}C$ ) Velocidade do ar, $V_a$ (m/s) Umidade Relativa do ar (UR)

Fonte: Elaborado pela autora

Conforme Broday (2015) as variáveis ambientais são aquelas que se referem

às condições climáticas do ambiente em questão, enquanto que as variáveis pessoais são aquelas que dizem respeito aos indivíduos no momento da avaliação do ambiente, em relação ao tipo de atividade sendo desenvolvida e como o indivíduo está vestido.

### **3.4.2.1 Variáveis pessoais**

As variáveis pessoais referem-se às atividades desempenhadas pela pessoa (indicativa da quantidade de calor produzida pelo organismo, e apresentada sob forma de taxa metabólica) e vestimentas (indicativa da resistência térmica oferecida às trocas de calor entre o corpo e o ambiente, apresentada sob a forma de isolamento térmico das roupas) (GOBO,2013).

#### **3.4.2.1.1 Taxa metabólica da atividade desempenhada**

O processo metabólico começa com a alimentação, ocorrendo transformação de energia química em mecânica e térmica. O corpo utiliza comida e oxigênio para produção de energia. A taxa com a qual isto ocorre é denominada taxa metabólica (BRODAY, 2015).

Conforme Vasconcelos (2015), para que a energia presente nos alimentos chegue até as células a presença de um composto rico em energia é necessária. Este composto é chamado de 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 moléculas de trifosfato de adenosina (ATP) guardam a energia liberada pelos nutrientes em forma de energia utilizada por todas as células do organismo. O consumo de ATP cresce à medida que se aumenta a magnitude e frequência de contração muscular. Se o consumo de ATP é realizado através de respiração aeróbica, os níveis de oxigênio aumentam (GREEN, 2011).

O organismo humano ganha energia através do metabolismo que representa o “processo de produção de energia interna a partir de elementos combustíveis orgânicos”. Cerca de 20% (valor máximo) dessa energia é transformada em potencialidade de trabalho, os 80% restantes transformam-se em calor, que deve ser dissipado para que o organismo se mantenha em equilíbrio (FROTA e SCHIFFER, 2003).

De acordo com Carvalho (2006) toda atividade desenvolvida consome uma quantidade de energia proveniente do metabolismo. Dessa forma, a liberação de calor pelo organismo humano dependerá da intensidade e do tempo que uma determinada atividade provoca. Assim, quanto maior é o esforço despendido, maiores serão as necessidades de perda de calor para que o corpo consiga manter a sua temperatura constante.

A unidade mais comum do metabolismo é o “met” que corresponde a uma produção de 58,15 W/m<sup>2</sup>. A área superficial do corpo de uma pessoa média pode ser considerada 1,8m<sup>2</sup>. Dessa forma, a taxa metabólica representa a taxa de liberação de calor durante a realização das diferentes atividades realizadas pelo homem padrão (COUTINHO, 2011).

As inúmeras atividades realizadas pelo homem implicam em taxas metabólicas diferentes, ou seja, demandam quantidades distintas de energia. Esta taxa pode ser obtida conforme equação 14:

$$M = 5,88(0,23RQ + 0,77) \frac{V_{O_2}}{A_{Du}} \quad (14)$$

Onde:

M = Taxa metabólica (W/m<sup>2</sup> ou met)

RQ= quociente respiratório, correspondente à relação entre o volume de CO<sub>2</sub> produzido e O<sub>2</sub> consumido;

V<sub>O<sub>2</sub></sub> = oxigênio consumido (l/h)

A<sub>Du</sub> =Área Dubois (m<sup>2</sup>) representada pela equação 15:

$$A_{Du} = 0,202p^{0,425}z^{0,725} \quad (15)$$

p=massa (kg)

z=altura (m)

Estas taxas podem ser calculadas em laboratórios de fisiologia e a norma ISO 7730:2005 apresenta algumas destas taxas (tabela 1):

Tabela 1 – Taxa metabólica para diferentes atividades segundo ISO 7730/2005

Atividade	Taxa Metabólica	
	W/m <sup>2</sup>	met
Em repouso	46	0,8
Sentado, relaxado	58	1,0
Atividade sedentária (escritório, escola, laboratório)	70	1,2
Em pé, atividade leve (compras, indústria leve)	93	1,6
Em pé, atividade moderada (trabalho doméstico, indústria pesada)	116	2,0
Caminhar em local plano:		
2 km/h	110	1,9
3 km/h	140	2,4
4 km/h	165	2,8
5 km/h	200	3,4

Fonte – ISO 7730/2005

#### 3.4.2.1.2 Isolamento Térmico das vestimentas utilizadas

O Isolamento térmico da vestimenta é uma propriedade das roupas, que representa a resistência que a vestimenta impõe às trocas de calor entre o homem e o ambiente (FANGER, 1970). Para Broday (2015), manequins térmicos têm sido utilizados por pesquisadores para medir a resistência térmica (isolamento) e resistência evaporativa da roupa. Estes valores de resistência são utilizados em modelos biofísicos para prever o conforto e/ou estresse térmico em determinado ambiente, em função da atividade realizada.

A roupa é uma barreira térmica do corpo humano, servindo de resistência às trocas de calor entre o corpo e o ambiente devido à sua capacidade de isolamento térmico. A resistência térmica do vestuário caracteriza, portanto, a resistência oferecida pela roupa utilizada por uma pessoa. É expressa pela unidade clo, em que 1 clo = 0,155 m<sup>2</sup>· °C W corresponde a um homem. As propriedades térmicas dos

materiais das roupas, que refletem o conforto térmico do utilizador, relaciona a transferência de calor e massa entre um corpo vestido e o ambiente (COELHO, 2014).

Para facilitar o cálculo das taxas de transferência de calor, considerando o uso de roupas, Coutinho (2011) explana que deve-se aplicar um fator de redução de calor sensível ( $F_s$ ), para os processos de convecção e radiação, assim como um fator de redução de calor latente ( $F_l$ ), nos processos de evaporação na pele. Ambos são calculados de acordo com a resistência térmica das vestes ( $I_{cl}$ ), que por sua vez depende do número de peças de roupas que estão sendo usadas, assim como do material das mesmas. A resistência térmica varia de zero, com o corpo totalmente despido, até 3 ou 4, com roupas pesadas para regiões polares. O isolamento de um conjunto de roupas pode ser estimado adicionando os valores clo dos itens utilizados, conforme tabela 2 (SIQUEIRA, 2015).

Tabela 2 – Índice de Isolamento térmico

Vestimenta	Isolamento Térmico	
	clo	m <sup>2</sup> .°C/W
Calcinhas	0,03	0,005
Cueca com pernas longas	0,1	0,016
Camiseta	0,09	0,014
Camisa com mangas compridas	0,12	0,019
Calcinha e sutiã	0,03	0,005
Mangas curtas	0,15	0,023
Bermudas	0,06	0,009
Calça normal	0,25	0,039
Saias leves (Verão)	0,15	0,023
Vestido leve, mangas curtas	0,2	0,031
Macacão	0,55	0,085
Suéter grosso	0,35	0,054
Jaqueta leve de verão	0,25	0,039
Jaqueta	0,35	0,054
Bata	0,3	0,047
Meias	0,02	0,003
Calçados com sola fina	0,02	0,003
Calçados com sola grossa	0,04	0,006
Botas	0,1	0,016
Luvras	0,05	0,008

Fonte – Siqueira (2015)

### 3.4.2.2 Variáveis ambientais

#### 3.4.2.2.1 Temperatura do ar (° C)

A temperatura do ar ( $t_a$ ) ou temperatura de bulbo seco ( $t_{bs}$ ) é a temperatura do ar que circunda o corpo humano. Conforme Coutinho (2011), está diretamente ligada às trocas de calor realizadas entre o corpo humano e o ambiente como todo. Influencia o conforto térmico na medida em que está intrinsecamente ligada às taxas de transferência de calor por convecção que ocorrem entre o homem, através do sistema

respiratório e da pele, e o ambiente que o cerca (MEDEIROS, 2014).

Tanto a temperatura do ar, tomada a certa distância do corpo, pode não representar verdadeiramente o fluxo de calor existente como também sua verificação muito próxima do corpo vestido pode ser influenciada pela superfície coberta, onde normalmente se apresenta uma fina camada levemente mais aquecida (ANDREASI, 2009).

A temperatura do ar pode ser medida com termômetros de mercúrio, de resistência ou termopares. Para tanto sugere-se um equipamento com escala mínima de 0 a 50°C, precisão mínima de  $\pm 0,1$  °C, exatidão de  $\pm 0,5$ °C e com tempo de resposta adequado ao número de medidas a serem executadas. Um fator importante a ser considerado na medição da temperatura é o efeito de radiação das superfícies sobre o sensor, assim sendo deve-se colocar um anteparo de modo a evitar a interferência da radiação (COMIRAN, 2014).

#### **3.4.2.2.2 Temperatura de bulbo úmido (°C)**

Conforme Dopheide, Neto e Ramanzini (2013), no processo psicrométrico para qualquer estado do ar úmido, há uma temperatura  $T_{bu}$  na qual a água líquida evapora no ar para levá-lo à saturação nesta mesma temperatura e pressão. Quando o ar não está saturado, ocorre evaporação da água devido à diferença entre a pressão de vapor saturado junto ao tecido e pressão de vapor parcial do ar. O bulbo fornece o calor para a evaporação e assim registra uma temperatura menor. Esse valor diminui com a umidade relativa. A temperatura do ar e a temperatura de bulbo úmido permitem calcular a umidade relativa através de equações ou da carta psicrométrica (COUTINHO, 2011).

O psicrômetro, consiste em dois termômetros, sendo que o bulbo de um deles é coberto por um tecido hidrófilo embebido em água. Quando esse bulbo é colocado numa corrente de ar a água evapora do tecido causando uma temperatura de equilíbrio chamada de temperatura de bulbo úmido ( $T_{bu}$ ).

#### **3.4.2.2.3 Temperatura de Globo (°C)**

A temperatura de globo ( $t_g$ ) é mensurada através de um termômetro inserido em uma esfera negra oca de cobre pintada externamente com tinta preta fosca, promovendo maior absorção da radiação e assim permitindo avaliar o nível de radiação térmica das superfícies existentes no ambiente analisado (COUTINHO, 2011). A esfera deve ter aproximadamente 1 mm de espessura e teoricamente qualquer diâmetro. Quanto menor ele for, contudo, maiores serão as influências da temperatura e da velocidade do ar. Recomenda-se um globo com 0,15m de diâmetro (RUAS, 1999).

#### **3.4.2.2.4 Temperatura radiante média (°C)**

O conceito de temperatura radiante média ( $t_{rm}$ ) pressupõe que os efeitos sobre o homem, de um ambiente real, geralmente heterogêneo, e de um ambiente imaginário, homogêneo, são idênticos. É a temperatura uniforme de um ambiente imaginário no qual a transferência de calor por radiação do corpo humano é igual à transferência de calor por radiação em um ambiente real não uniforme. Pode ser medida por instrumentos que permitam que a radiação, geralmente heterogênea das paredes de um ambiente real, seja integrada em um valor médio (ANDREASI, 2009; LAMBERTS, 2014).

De acordo com Medeiros (2014) esta variável está relacionada com as trocas de calor em forma de radiação entre o indivíduo e as superfícies circunvizinhas. Caso a temperatura média da superfície externa à das vestimentas utilizadas seja maior que as das superfícies ao seu redor, ocorrerá a perda de calor através de radiação pelo organismo. Em caso contrário, ocorrerá ganho de calor. Alfano et al. (2013) menciona que esta é uma das variáveis mais importantes na avaliação do conforto térmico, especialmente durante condições climáticas quentes e ensolaradas. Em ambientes moderados, onde o objetivo é manter condições de conforto para os ocupantes, a temperatura radiante média é um fator muito importante, especialmente em edifícios que são expostos a radiação solar intensa.

Conforme Broday (2015) vários equipamentos estão disponíveis para o cálculo da temperatura radiante média. O instrumento mais popular é o termômetro de globo negro, devido ao seu baixo custo. Pode ser determinado um valor

aproximado da temperatura radiante média através de valores observados da temperatura de globo ( $t_g$ ) e da temperatura ( $t_a$ ) e velocidade do ar ( $v$ ) ao redor do globo. Para Lamberts (2014) como a temperatura radiante média é medida em relação ao corpo humano, o termômetro de globo tipo esférico o representa bem na posição sentado, porém um sensor do tipo elipsoide representa melhor o corpo humano quer seja na posição em pé, como na sentado.

O princípio do cálculo da  $t_{rm}$  é o de que estando o globo em equilíbrio térmico com o ambiente, então o calor trocado por radiação entre o globo e as superfícies circundantes é igual ao calor trocado por convecção entre o globo e o ar. Como a espessura do globo é pequena, a temperatura do ar confinado nele é aproximadamente igual à temperatura da superfície do globo. Conhecendo-se a temperatura superficial do globo é possível determinar a  $t_{rm}$  (RUAS, 1999).

Seu valor pode ser obtido, em função das temperaturas de globo e de bulbo seco (temperatura do ar) e/ou velocidade absoluta do ar, por meio da equação 16 ou 17 (COUTINHO, 2011):

- Para convecção natural

$$T_{rm} = [ (t_g + 273)^4 + 0,4 \times 10^8 | t_g - t_a |^{0,25} \times (t_g - t_a) ]^{0,25} - 273 \quad (16)$$

- Para convecção forçada

$$T_{rm} = [ (t_g + 273)^4 + 2,5 \times 10^8 \times v^{0,6} \times (t_g - t_a) ]^{0,25} - 273 \quad (17)$$

Onde:

$T_{rm}$ = temperatura radiante média (°C)

$T_g$ = temperatura do termômetro de globo (°C)

$T_a$ = temperatura de bulbo seco do ambiente (°C)

$v$ = velocidade do ar na altura do globo (m/s)



#### **3.4.2.2.5 Velocidade do ar, $v$ (m/s)**

A velocidade do ar ( $v$ ) é uma variável de grande influência no conforto térmico, visto que ajuda os processos de troca de calor do corpo com o ar ambiente através da convecção e da evaporação na pele. Dessa forma, a sensação térmica é obtida pela intensidade da ventilação. Especialmente para o clima quente-úmido, a ventilação pode representar um fator imprescindível, visto que representa o fator climático que ajuda a diminuir a sensação térmica desconfortável provocada pelo calor e favorece o processo de evaporação do suor. Além de possuir uma influência direta na percepção do conforto térmico global, também pode provocar desconforto localizado, devido a possíveis existências de correntes de ar (ANTONELLI, 2012).

De acordo com Siqueira (2015) não existe uma velocidade mínima necessária quando o ambiente já está confortável. Vale ressaltar, que ausência de movimento pode gerar a sensação de congestão do ar e o ar muito rápido pode gerar correntes, que são desagradáveis para os indivíduos. O limite aceito como confortável para a velocidade do ar na zona ocupada é função das condições gerais do ambiente (temperatura, umidade e trm), das condições do ar em movimento (temperatura e umidade), da presença de transpiração e da região do corpo exposta, sendo o pescoço, tórax e tornozelos as regiões mais sensíveis.

Os equipamentos mais comuns para a medição desta variável são os anemômetros de fio quente e os anemômetros de esfera aquecida. A ISO 7726 (2002) afirma que três características dos instrumentos de medição devem ser consideradas: a sensibilidade à direção do fluxo de ar, a sensibilidade às flutuações de velocidade e a possibilidade de se obter um valor de velocidade média e desvio-padrão após certo período de medição (BRODAY, 2015).

#### **3.4.2.2.6 Umidade relativa do ar**

Para Gobo (2013) a umidade relativa (UR) é definida como a relação entre o teor em vapor d'água que o ar contém e o teor máximo que poderia conter, a temperatura do ambiente. Representa a porcentagem de vapor d'água existente no ar em relação ao máximo que poderia existir aquela temperatura. Conforme Vasconcelos

(2015) pode ser medida através do psicrômetro, equipamento que mede simultaneamente a temperatura de bulbo seco, ou do ar e a temperatura do bulbo úmido. Com essas duas leituras, o valor da umidade do ar é obtido pela utilização das relações psicrométricas constantes da norma ISO 7726/2002.

Está relacionada com os processos de perda por evaporação. Para ambientes térmicos que sejam moderados nota-se que a influência da umidade relativa é irrelevante. Porém quando a temperatura do ar é elevada, o organismo ganha calor através de radiação e convecção, ficando a evaporação para eliminar este calor em excesso. Levando em consideração que a eficiência dessa evaporação decresce na medida em que aumenta a umidade relativa, é necessária uma boa ventilação para manter o conforto térmico (MEDEIROS, 2014).

A umidade relativa, é a razão entre a pressão parcial do vapor de água do ar úmido, e a pressão de vapor saturado para uma mesma temperatura e mesma pressão atmosférica total, conforme equação 18 (LAMBERTS, 2014):

$$e = \frac{p_a}{p_{as}} \quad (18)$$

Onde:

e= umidade relativa

$P_a$  = pressão parcial do vapor de água do ar úmido

$P_{as}$  = pressão do vapor saturado para uma mesma temperatura e mesma pressão atmosférica total

Como a umidade relativa é geralmente expressa em porcentagem, escreve-se:

$$UR = 100e \quad (19)$$

### 3.5. RADIAÇÃO TÉRMICA

O presente trabalho tem como foco a investigação do comportamento da temperatura radiante média ( $t_{rm}$ ) e da diferença da temperatura de globo em relação à temperatura do ar ( $t_g - t_a$ ) – indicadores da radiação térmica - em ambientes de ensino

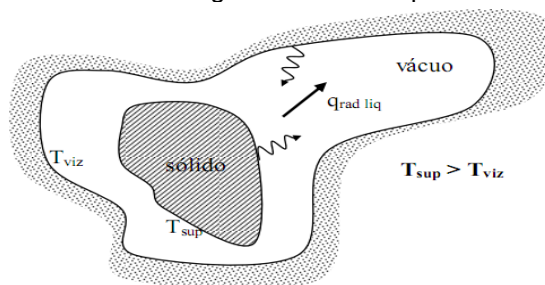
inteligente (*News ICT*) em diversas áreas das regiões brasileiras bem como a influência destes indicadores no desempenho de estudantes. Por conseguinte se faz necessário um tópico à parte do item 3.1.1.3 sobre o tema supracitado.

A radiação térmica tem esse nome devido a sua alta influência na temperatura do corpo, mas se diferencia dos outros dois tipos (condução e convecção) de transmissão porque não depende de matéria para se propagar. Ao contrário, propaga-se melhor no vácuo, porque num meio material, translúcido, por exemplo, ela é parcialmente transmitida. O transporte de energia tem eficiência máxima através do vácuo absoluto. Todo material que possua uma temperatura superficial positiva na escala Kelvin, estará emitindo radiação térmica independente do seu estado - sólido, líquido ou gasoso. (LIVI, 2004; HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009).

Conforme Libardi e Moraes (2015) se o planeta Terra estivesse isolado no espaço, emitiria radiação, perdendo energia térmica e resfriando-se. Como a Terra está perto do Sol, o que o planeta perde para o espaço é compensado pela radiação solar que é absorvida do Sol, e a Terra possui uma temperatura mais ou menos constante. Se não existisse emissão de radiação térmica, a Terra acumularia uma quantidade cada vez maior de radiação solar, aquecendo-se até temperaturas altíssimas.

A figura 5 apresenta uma situação teórica em que um sólido encontra-se inicialmente a uma temperatura  $T_s$ , mais alta do que a de sua vizinhança e entre eles só existe o vácuo. O sólido começará a diminuir sua temperatura até atingir o equilíbrio térmico com sua vizinhança. Esse resfriamento é associado a uma perda de calor através de uma radiação emitida pela superfície do sólido. Por sua vez, a vizinhança recebe a radiação emitida pelo sólido, produzindo-se um aumento na temperatura de sua superfície (LAMBERTS, ORDENES, GUTHS, 2008).

Figura 5 – Radiação entre sólidos devido ao gradiente de temperatura



Fonte – Lamberts, Ordenes e Guths (2008)

Conforme Nussenzveig (2002) a radiação térmica é emitida por um corpo aquecido, e ao ser absorvida por outro corpo, pode aquecê-lo, convertendo-se em calor. A radiação é função da cor e acabamento das superfícies. Superfícies escuras ou foscas absorvem mais radiação do que as claras e polidas (COUTINHO,2011). De acordo com Bradshaw (2006) e Coutinho (2011), todos os corpos emitem radiação, apesar de o ar ser praticamente neutro. A radiação térmica é a troca de energia radiante entre dois corpos através de um espaço aberto, quando estão voltadas entre si, pois a energia radiante não pode circular obstáculos ou ser afetada pelo movimento do ar (BRADSHAW, 2006).

Os átomos da matéria é quem criam a radiação térmica. Ela é produzida pelos constituintes dos átomos e moléculas e depende, portanto, de sua estrutura. Essa radiação engloba tanto as ondas de rádio e televisão como a radiação infravermelha, a luz visível, a ultravioleta, os raios-x e os raios gamas. Quando o átomo está em seu estado natural (de menor energia), os elétrons movimentam-se nas órbitas possíveis que correspondem à mais baixa energia. Entretanto, quando se fornece energia ao átomo em quantidade suficiente, o elétron “pula” da sua órbita para uma órbita permitida, mas de maior energia. Diz-se que o átomo então ficou excitado (ACIOLI, 1994).

Entretanto, ainda segundo o autor, o átomo não fica nesse estado de excitação por muito tempo. Ele volta quase imediatamente para seu estado normal, de menor energia. Ao voltar para o estado normal, a diferença de energia entre o estado excitado e o estado normal é utilizada pelo átomo para enviar um dos possíveis tipos de radiação eletromagnética, na forma de uma pequeníssima partícula sem massa, chamada fóton. Quando essa diferença de energia é muito grande, os fótons são raios-x; quando é um pouco menor, a radiação é ultravioleta; um pouco menor ainda é o violeta e depois a luz visível.

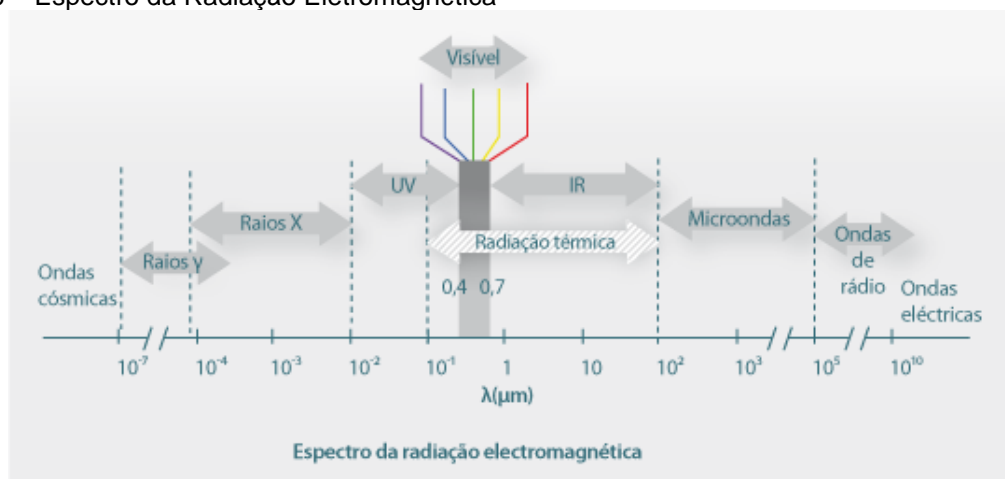
O mecanismo de emissão de radiação térmica está relacionado à energia liberada como um resultado de oscilações dos muitos elétrons que constituem a matéria. Essas oscilações são por sua vez, sustentadas pela energia interna e conseqüentemente pela temperatura da matéria. Dessa forma, a associação da emissão de radiação térmica está atrelada às condições excitadas termicamente no interior da matéria (INCROPERA, 2008).

Para Halliday (2009) todos os corpos emitem continuamente radiação térmica de suas superfícies para o meio que os cercam. Quando atinge um corpo, interage com seus átomos, fazendo com que eles vibrem mais depressa, aquecendo o corpo, ou que elétrons mudem para órbitas mais energéticas. Nesse último caso os elétrons voltam para suas órbitas de menor energia, emitindo fótons, dando continuidade ao processo de emissão de radiação. Quanto maior a temperatura, maior a intensidade de emissão de radiação e maior a probabilidade de se encontrar átomos com alta energia e, conseqüentemente, maior a probabilidade de emissão de fótons de alta energia/freqüência (LIBARDI & MORAES, 2015).

Dessa forma, a radiação térmica é a energia eletromagnética propagada na velocidade da luz, emitida pelos corpos em virtude de sua temperatura. Os átomos, moléculas ou elétrons são excitados e retornam espontaneamente para os estados de menor energia. Neste processo, emitem energia na forma de radiação eletromagnética. Uma vez que a emissão resulta de variações nos estados eletrônicos, rotacional e vibracional dos átomos e moléculas, a radiação emitida é usualmente distribuída sobre uma faixa de comprimentos de onda (REIS, 2008; WELTY et al., 2008).

Estas faixas e os comprimentos de onda representando os limites aproximados são mostrados na Figura 6.

Figura 6 – Espectro da Radiação Eletromagnética



Fonte– Adaptado de Incropera (2008)

A radiação térmica emitida por uma superfície inclui uma faixa de

comprimento de onda. Como mostrado na figura 6, a magnitude da radiação varia com o comprimento de onda e o termo espectral é usado para se referir à natureza dessa dependência (INCROPERA, 2008). A unidade de comprimento de onda é o micron ( $1 \mu\text{m}=10^{-6} \text{ m}$ ) e a faixa pertinente à radiação térmica ( $0,1 - 100 \mu\text{m}$ ) inclui uma parcela da radiação ultravioleta (UV) e toda a parte visível e infravermelha. O tipo de radiação varia conforme o comprimento de onda, que depende da temperatura da superfície emissora. Quanto menor for o comprimento de onda maior será a quantidade de energia emitida. Logo percebe-se o perigo que representam os raios-X e os raios gama, pois têm alto poder destrutivo (LAMBERTS et al, 2008; WELTY et al., 2008).

A radiação também pode ser classificada em duas categorias: não-ionizante e ionizante. A não-ionizante é aquela cujas ondas não possuem energia suficiente para alterar os átomos da matéria, ou seja, não é capaz de ionizar a matéria. A radiação não ionizante não tem energia capaz de extrair elétrons; no máximo “abala” a estrutura molecular. Ela é transmitida desde os grandes comprimentos de onda como redes de transmissão, ondas de rádio, de micro-ondas, radiação solar com suas composições infravermelho, visível em ultravioleta, etc. Já a radiação ionizante é aquela que tem energia suficiente para extrair elétrons da matéria formando íons, sendo, assim, muito perigosa. Como exemplos, temos os raios-X, raios gama etc. A radiação ionizante é transmitida em comprimentos de onda muito pequenos (REAL, 2008; COUTINHO, 2015).

### **3.5.1 Corpo Negro**

Todo corpo com temperatura superior a  $0\text{K}$  absorve e emite radiação, em frequências características, definindo seus espectros de absorção e emissão, que são funções da composição, da temperatura e do acabamento superficial do objeto. Assim, um corpo negro é um corpo ideal que absorve toda a radiação incidente, seja qual for a frequência da radiação. Por outro lado, o corpo negro também emite a maior quantidade possível de energia por radiação na forma de ondas eletromagnéticas. Deste modo, há um equilíbrio entre a energia absorvida e a emitida. O espectro de emissão de um corpo negro é característico, e depende apenas da temperatura. Em outras palavras, a intensidade da radiação emitida em função do seu comprimento de

onda (ou seja, o seu espectro) será função apenas da temperatura, não importando o material de que um corpo negro específico seja feito (ELENO, 2014).

Conforme Lia e Quites (2013) corpo negro, ou irradiador ideal, é um corpo que emite e absorve, a qualquer temperatura, a máxima quantidade possível de radiação em qualquer comprimento de onda. O irradiador ideal é um conceito teórico que estabelece um limite superior de radiação de acordo com a segunda lei da termodinâmica. É um conceito teórico padrão com o qual as características de radiação dos outros meios são comparadas. Embora a radiação emitida de um corpo negro seja função do comprimento de onda e da temperatura, ela é independente da direção. Isto é, o corpo negro é um emissor difuso.

Nenhuma superfície possui exatamente as propriedades de um corpo negro. No entanto, uma boa aproximação para a radiação de corpo negro pode ser obtida considerando um objeto oco, cujas paredes, sendo isolantes, não permitem grandes perdas de calor por condução para o meio externo. Se, neste objeto oco (que chamamos de cavidade), fizermos uma pequena abertura, pela qual a radiação da cavidade possa escapar, teremos uma boa aproximação de um corpo negro (VALADEZ, 2002; INCROPERA, 2008).

O corpo negro absorve toda radiação que nele incide, isto é, sua absorvidade é igual a 1 e sua refletividade é nula, decorrendo deste último fato seu nome (negro). O corpo negro não tem cor à reflexão mas pode ter cor à emissão. Todo absorvente é bom emissor. Logo, o corpo negro, além de absorvedor ideal, é também um emissor ideal. Sua emissividade é igual a 1 (AMORIM, 2011).

O fluxo máximo de calor emitido por uma superfície é obtido em função da comparação deste a um corpo negro, ideal (equação 20):

$$\dot{q} = \sigma T_s^4 \quad (20)$$

Onde:

$q$ = Energia emitida por unidade de área da superfície (W/m<sup>2</sup>)

$T_s$ = temperatura absoluta (K) da superfície

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

Essa equação simples, porém, importante, é conhecido como Lei de Stefan-Boltzmann. Ela permite calcular a quantidade de radiação emitida em todas as direções e ao longo de todos os comprimentos de onda simplesmente a partir do conhecimento da temperatura do corpo negro (INCROPERA, 2008).

O fluxo de calor emitido por uma superfície real é menor do que aquele emitido por um corpo negro à mesma temperatura. Neste caso, uma propriedade radiativa  $\epsilon$ , emissividade, dentro do intervalo  $0 < \epsilon < 1$  (esta propriedade indica a eficiência de emissão da superfície em relação a um corpo negro), é multiplicado ao fluxo máximo ( $W/m^2$ ) emissível por uma superfície ideal, resultando na equação (21):

$$q'' = \epsilon \sigma T_s^4 \quad (21)$$

Considerando o caso frequente em que uma pequena superfície se encontra envolvida por outra muito maior, a taxa líquida de troca de radiação entre a superfície e a sua vizinhança pode ser expressa de acordo com a equação (22):

$$q_{rad} = \epsilon \sigma A (T_s^4 - T_v^4) \quad (22)$$

Onde:

A = área da superfície envolvida, em  $m^2$

$\epsilon$  = emissividade, adimensional

$T_v$  = temperatura da vizinhança, em K

No balanço térmico a radiação térmica é caracterizada pela temperatura radiante média. Esta temperatura, como já explanada, é a temperatura uniforme de um ambiente imaginário em que a transferência de calor radiante a partir do corpo humano é igual a transferência de calor radiante no recinto não uniforme real (HALAWA, 2014).



### 3.6. DESEMPENHO

A Ergonomia é definida de um modo simples como a ciência que estuda a interação Homem-Máquina, sendo o seu principal objetivo a adaptação do trabalho ao Homem. O termo Ergonomia deriva dos termos gregos *ergon* (trabalho) e *nomos* (leis) e consiste em uma disciplina de orientação sistêmica que se aplica a todos os aspectos de atividade humana, levando em consideração fatores físicos, cognitivos, sociais, organizacionais e ambientais (MÁSCULO,2011).

Hedge (2006) na *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors* cita várias definições de Ergonomia, entre as quais a da *Ergonomics Association Executive Council* (2000) que a caracteriza a ergonomia como “a disciplina científica interessada na compreensão das interações entre o homem e outros elementos de um sistema, e a profissão que aplica a teoria, princípios, dados e métodos de projeto com vista a otimizar o bem-estar humano e a performance de um sistema global”. Esta última definição, apesar de extensa, engloba várias das ideias associadas à ergonomia, mostrando que esta tem em vista a concepção de sistemas seguros e eficientes, bem como o conforto do indivíduo (RODRIGUES, 2009).

A Ergonomia promove uma abordagem holística do trabalho centrada na concepção no ser humano, que considera os sistemas físicos, cognitivos, sociais, organizacionais, ambientais e outros fatores relevantes, tendo como domínios de especialização dentro dos fatores humanos a *Ergonomia Física*, *Cognitiva* e *Organizacional* (VASCONCELOS, 2015; IEA,2000):

- *Ergonomia Física*: relaciona-se com as características da anatomia humana, antropometria, fisiologia e biomecânica em sua relação à atividade física. As áreas relevantes incluem o estudo da postura no trabalho, manuseio de materiais, distúrbios musculares esqueléticos relacionados ao trabalho, movimentos repetitivos, saúde e segurança.
- *Ergonomia Cognitiva*: refere-se aos processos mentais, tais como percepção, raciocínio e resposta motora, memória, conforme afetam as interações entre seres humanos e outros elementos de um sistema. As áreas relevantes incluem tomada de decisão, estudo da carga mental do trabalho, desempenho

especializado, estresse, interação homem- computador conforme esses se relacionem a projetos envolvendo seres humanos e sistemas.

- Ergonomia Organizacional: Concerne à otimização dos sistemas sociotécnicos, incluindo suas estruturas organizacionais, políticas e processos. As áreas relevantes incluem comunicação, gerenciamento de recursos de tripulações, projeto de trabalho, trabalho em grupo, trabalho cooperativo e cultura organizacional.

Conforme Ximenes (2014) geralmente são considerados três tipos de efeitos do ambiente físico sobre as pessoas: os que afetam a saúde, os que afetam o conforto e os que afetam o desempenho. O corpo humano não é um sistema passivo, por conseguinte cada resposta depende de um grande número de fatores, nomeadamente das características próprias de cada corpo, da natureza dos estímulos, da forma como os estímulos são percebidos, de experiências passadas das pessoas, do estado emocional e das diferenças individuais. É tendo em atenção os fatores físicos, fisiológicos e psicológicos, que a Ergonomia consegue fornecer soluções práticas para os problemas relacionados com a forma como as pessoas respondem ao ambiente.

A Ergonomia Cognitiva, que se refere aos processos mentais, busca compreender como o indivíduo gerencia a situação de trabalho e as informações que recebe. Atualmente se intensificaram as pesquisas com foco na situação de trabalho e as informações que recebe, através da utilização de percepção, memória, raciocínio e resposta motora, incluindo tópicos como o estudo da carga mental de trabalho, tomada de decisão, desempenho especializado e estresse (AYAZ et al., 2010; ABERGO, 2015).

Conforme Beber et al. (2006) a neuropsicologia é a ciência que tem por objeto o estudo das relações entre as funções do sistema nervoso e o comportamento humano. É através dela que pode-se compreender os processos mnêmicos, perceptivos, de aprendizado e de solução de problemas, dentre outras atividades cognitivas. Com relação a neuropsicologia cognitiva, refere-se fundamentalmente ao estudo do processamento da informação obtida, ou seja, das diferentes operações mentais necessárias para a execução de determinadas tarefas. Estas operações são processos que manipulam as representações mentais, ou seja, tomam uma representação como um dado de entrada, executam algum tipo de processamento

sobre esse dado, e então produzem uma nova representação, o dado de saída (GAZZANIGA, 2009).

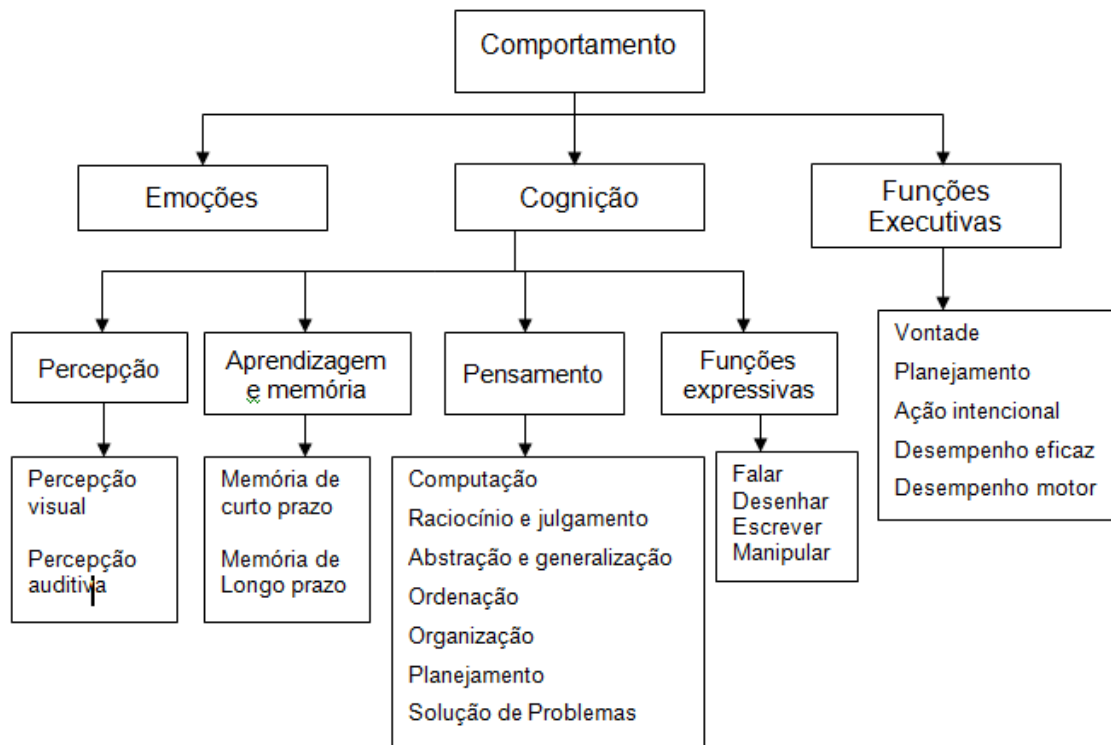
O comportamento segundo Capovilla (2007) pode ser dividido em três grandes sistemas funcionais:

- Funções cognitivas: envolvem os aspectos do comportamento relacionados ao processamento de informação. Dividem-se em quatro classes, por analogia às operações computacionais de input, estocagem, processamento e output, que são: funções receptivas (percepção), memória, pensamento e funções expressivas, além de variáveis como nível de alerta, atenção e taxa de atividade ou velocidade.
- Aspectos emocionais: incluem as variáveis de personalidade e emoção.
- Funções executivas: refletem a capacidade do sujeito de engajar-se em comportamento independente, proposital e auto-regulado. Ou seja, como uma pessoa faz algo, diferindo das funções cognitivas que representam o que e quanto uma pessoa consegue fazer.

A avaliação psicológica baseada na neuropsicologia cognitiva tem por objetivo explicar os processos relacionados às atividades mentais superiores do ser humano, correlacionando-os com o funcionamento neurológico. Com este fim, diferentes testes abordando áreas como atenção, processamento visoespacial, linguagem oral, linguagem escrita, funções executivas e habilidades aritméticas foram desenvolvidos, sendo diversos deles informatizados, facilitando o registro de parâmetros como tempo de reação e duração da resposta.

Lan *et. al.* (2011) associaram as funções cognitivas solicitadas em cada processo a variáveis mensuráveis (figura 7). Com isso, os autores puderam avaliar sistematicamente o efeito do ambiente sobre o desempenho dos indivíduos através de testes psicométricos sobre as funções neurocomportamentais.

Figura 7 – Esquema neurocomportamental para avaliação da produtividade de trabalho de escritório



Fonte: Adaptado de Lan (2011) por Vasconcelos (2015)

Com base em estudos como de Lan et al (2011) e Vasconcelos (2015) entende-se que é possível avaliar a produtividade de trabalhos não repetitivos, através das funções cognitivas solicitadas para a realização do trabalho, com o auxílio de testes psicométricos associados às funções cognitivas.

### 3.6.1 Aprendizagem, inteligência e bateria de provas de raciocínio

A aprendizagem é um processo contínuo, que opera sobre todos os dados que alcançam um umbral de significação, dependendo essencialmente, da memória e da atenção. A capacidade de especialização cerebral em armazenar dados para sua utilização posterior permite através da memória, codificar e decodificar informações. Este fenômeno resulta da recepção e da troca de informações entre o meio ambiente e os diferentes centros nervosos. Assim, a aprendizagem inicia com um estímulo de natureza físico-química advindo do ambiente que é transformado em impulso nervoso pelos órgãos dos sentidos (BEBER et al., 2006).

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. A psicologia aborda o processo nas diferentes áreas: behaviorismo, cognitivismo, psicanálise e humanismo. (TINOCO, 2007; VASCONCELOS, 2015).

Conforme Inácio (2007), existem fatores internos ao indivíduo que fazem parte integrante da sua personalidade e da sua vivência, enquanto seres sociais, e que condicionam a aprendizagem. Estes podem ser de natureza cognitiva como a atenção, concentração, memória, associação, compreensão, abstração, intuição, criatividade; como de natureza psicossocial como a responsabilidade, conhecimentos prévios e referências, pragmatismo, resistência à mudança, medo de errar e preocupação com a imagem, relação com o poder/autoridade.

Um dos processos mentais relacionados que nos permitem adquirir, reter e recuperar informações é a memória. A memória pode ser definida como a capacidade de um organismo alterar seu comportamento em decorrência de experiências prévias. É um processo cognitivo que consiste na retenção e recuperação da informação (PINTO, 2001). A aprendizagem é o processo através do qual se adquire conhecimento, já a memória é o processo pela qual essa aprendizagem é codificada, retida e posteriormente recuperada. Assim, a aprendizagem é um processo pelo qual se adquire novos conhecimentos, por sua vez a memória é o processo pelo qual os conhecimentos aprendidos são retidos.

Conforme Albuquerque (2001), o conceito de memória pode ser orientado por três perspectivas diferentes. Primeiro a memória foi referida como uma representação interna do que foi aprendido, sendo neste caso, autobiográfica, uma vez que estaria referenciada no episódio de processamento. Logo em seguida a memória é considerada como um processo que conduz à recordação. Pode ser então definida como o conjunto dos processos de codificação, retenção e recuperação da informação. Na última perspectiva, a memória consiste na sua interpretação como uma estrutura, permitindo assim, a distinção em memórias sensorial, memória de curto prazo e memória de longo prazo.

Costa (2012), descreve que os psicólogos cognitivos identificam três operações comuns da memória: codificação, armazenamento e recuperação.

- Codificação: processo de transformar a informação de forma que possa ser introduzida e retida pelo sistema da memória
- Armazenamento: retenção de informação na memória podendo ser utilizado posteriormente. A retenção pode permanecer por períodos mais ou menos longos. Para que seja recordada, a experiência codificada tem de deixar algum registo no sistema nervoso.
- Recuperação: consiste em resgatar informação armazenada tornando-a consciente.

Ainda segundo a autora, os principais sistemas de memória são a memória sensorial, a memória de curto prazo e a memória de longo prazo, estes são processos sequenciais e operam de modo diferente.

O sistema de memória sensorial envolve a associação entre um significado e um padrão sensorial. Trata-se de um sistema de memória que, por meio da percepção da realidade pelos sentidos, retém por alguns segundos a imagem detalhada da informação sensorial recebida por algum dos órgãos dos sentidos. É responsável pelo processamento inicial da informação sensorial e da sua codificação.

A memória de curto prazo recebe as informações anteriormente codificadas pelos mecanismos de reconhecimento de padrões da memória Sensorial-Motora e retém as informações por alguns segundos, talvez alguns minutos, para que sejam utilizadas, eliminadas ou até mesmo armazenadas e a memória de Longo Prazo, que obtém as informações da memória de curto prazo e armazena-as. A sua capacidade de armazenamento é ilimitada e as informações ficam armazenadas por períodos de tempo muito longos.

Para solucionar problemas o ser humano direciona o pensamento e o comportamento para atingir um objetivo que ainda não está disponível. Ao utilizar a aprendizagem e a memória, o indivíduo adquire e lembra o conteúdo de acordo com a percepção que é subjetiva. Todas as habilidades cognitivas estão envolvidas na compreensão e na produção da linguagem. A linguagem é usada para raciocinar, representar e solucionar problemas, tomar decisões, podendo influenciar no pensamento de várias formas (VASCONCELOS, 2015).

Já a inteligência permanece assumida como um conjunto de habilidades cognitivas dos indivíduos necessárias à sua adaptação, no fundo, à sua sobrevivência.

Nesta linha, inteligência tem a ver com a capacidade de julgamento, aptidão para formar associações complexas, planejar, resolver problemas e aprender com as situações (ALMEIDA et al., 2010).

Os modelos teóricos sobre a inteligência são variados, mas é importante destacar aqueles que tiveram maior contribuição para a elaboração da Bateria de Provas de Raciocínio (BPR-5), instrumento utilizado nesta dissertação. O modelo bifatorial de inteligência de Spearman (COHEN et al., 2014) postula que existe um fator de capacidade intelectual geral ( $g$ ) que representa a variância comum a todos os testes de Inteligência. Essa teoria foi formulada a partir de métodos que mensuram a correlação entre testes, através dos quais observou-se que as medidas de inteligência se correlacionam em muitos graus.

O modelo Cattell-Horn-Carroll (CHC) é uma articulação entre a Teoria Hierárquica da Inteligência Fluída e Inteligência Cristalizada de Cattell-Horn com a Teoria dos Três Estratos das Habilidades Cognitivas de Carroll (COHEN et al., 2014). Campos (2005) afirma a existência do fator  $g$  no terceiro estrato do modelo CHC. No segundo estrato são encontradas as chamadas habilidades amplas, dentre as quais estão incluídas a inteligência fluída ( $G_f$ ) e inteligência cristalizada ( $G_c$ ) (CAMPOS, 2005). No primeiro estrato desse modelo existem aproximadamente 65 habilidades específicas que derivam do estrato anterior.

A Bateria de Provas de Raciocínio (BPR-5) , segundo Primi e Almeida (2000), é constituída por 5 subtestes que medem a capacidade cognitiva dos indivíduos, a saber: Prova de Raciocínio abstrato (RA), Prova de Raciocínio Verbal (RV), Prova de Raciocínio numérico (RN), Prova de Raciocínio espacial (RE) e Prova de Raciocínio mecânico (RM). Esses testes possibilitam avaliar aptidões específicas, além do fator  $g$  (BAUMGARTL, 2004). No entanto, não é dada ênfase ao fator  $g$  devido a sua pouca contribuição para fins pedagógicos. A BRP-5 se propõe medir a Inteligência Cristalizada ( $G_c$ ) e Inteligência Fluída ( $G_f$ ), no qual ambas são fatores do segundo estrato da teoria CHC (CAMPOS, 2005).

A Bateria de Prova de Raciocínio (BPR-5) consiste em um instrumento de avaliação das habilidades cognitivas que oferece estimativas do funcionamento cognitivo geral e das forças e fraquezas em cinco áreas específicas, analisadas por

meio de cinco subtestes, detalhados no quadro 3.

Quadro 3 – Baterias de Prova de Raciocínio (BPR-5) e seus cinco subtestes: Raciocínio verbal, abstrato, mecânico, espacial, numérico

Prova	Descrição	Capacidade Específica	Associação à teoria CHC
<b>Raciocínio verbal (RV)</b>	Prova composta por 25 itens envolvendo analogia entre palavras. (Duração: 10 minutos)	Extensão do vocabulário; Capacidade de estabelecer relações abstratas entre conceitos verbais	- Inteligência fluida  -Inteligência cristalizada
<b>Raciocínio Abstrato (RA)</b>	Prova composta por 25 itens de conteúdo abstrato, envolvendo analogia com figuras geométricas. (Duração: 12 minutos)	Capacidade de estabelecer relações abstratas em situações novas para as quais se possui pouco conhecimento previamente aprendido;	- Inteligência fluida
<b>Raciocínio Mecânico (RM)</b>	Prova composta por 25 itens constituídos por gravuras que retratam um problema físico-mecânico e opção de resposta. (Duração: 15 minutos)	Conhecimento prático de mecânica e física; Capacidade de integrar as informações em textos com a figura descritiva da situação-problema	- Inteligência fluida  -Conhecimentos práticos mecânicos
<b>Raciocínio Espacial (RE)</b>	Prova composta por 20 itens envolvendo os movimentos tridimensionais de uma série de cubos. (Duração: 18 minutos)	Capacidade de visualização, isto é, em formar representações mentais visuais e manipulá-las, transformando-as em novas representações;	- Capacidade de processamento visual  - Inteligência fluida
<b>Raciocínio Numérico (RN)</b>	Prova comporta por 20 itens envolvendo a relação aritmética de uma série linear ou alternada de números. (Duração: 18 minutos)	Capacidade de raciocínio com símbolos numéricos em problemas quantitativos Conhecimento de operações aritméticas básicas.	- Inteligência fluida  -Conhecimento quantitativo

Fonte: Siqueira (2015)

A BPR-5 (versão brasileira) é dividida nas formas A e B, na qual a primeira foi desenvolvida especialmente para alunos entre a 7ª e 9ª série do ensino fundamental, enquanto que a segunda se destina a alunos a partir do ensino médio (BAUMGARTL, 2004).

De acordo com Vasconcelos (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.

Dessa forma o BPR-5 através da configuração das cinco notas, indica as capacidades mais e menos desenvolvidas da pessoa para cada uma das habilidades avaliadas. O Escore Geral (EG), obtido com a somatória dos acertos nos subtestes, fornece dados sobre a capacidade geral de raciocínio analítico para resolver problemas relativamente novos nos quais a solução depende minimamente de estratégias automáticas anteriormente aprendidas; a capacidade de manusear mentalmente um grande número de elementos de informação; e a capacidade de planejar e executar efetivamente uma estratégia analítica-sintética de raciocínio (SIQUEIRA, 2015).

### **3.7. MODELOS LINEARES GENERALIZADOS**

Os Modelos Lineares generalizados (MLGs) correspondem a uma grande classe de modelos estatísticos, todos com o objetivo de relacionar a variável resposta com a combinação linear de variáveis explicativas. Estes modelos permitem, além de modelos de regressão para variáveis resposta contínuas, modelos de regressão para taxas e proporções, para dados binários, para dados ordinais, para variáveis multinomiais e contagens, entre outros (ALLENDER et al., 2008).

Pesquisas de natureza experimental, entre as quais se insere esta dissertação, normalmente enfrentam problemas em que o objetivo principal é estudar a relação entre variáveis. Ou seja, que influência uma ou mais variáveis explicativas, obtidas em indivíduos ou objetos, tem sobre uma variável de interesse. O problema é abordado geralmente através do estudo de um modelo de regressão que relacione essa variável de interesse com variáveis ditas explicativas. Porém, as relações entre as diversas variáveis podem não apresentar o mesmo comportamento ao longo de todos os valores do seu domínio e, mesmo se o apresentarem, a intensidade da

associação pode não ser constante (TURKMAN, 2000; VASCONCELOS, 2015).

Conforme Pereira (2006) o modelo linear generalizado é definido por uma distribuição de probabilidade, membro da família exponencial de distribuições, para variável resposta, um conjunto de variáveis independentes descrevendo a estrutura linear do modelo e uma função de ligação entre a média da variável resposta e a estrutura linear. Várias distribuições de probabilidade importantes (discretas ou contínuas) como normal, gama, poisson, binomial, normal inversa, etc., são membros da família exponencial e os seguintes modelos são casos especiais dos MLGs: modelo logístico; modelo log-linear; modelo probit; modelo normal linear; modelos estruturais com erro gama e outros modelos familiares.

De acordo com Abreu (2013) uma abordagem de modelo matemático feita através de um MLG oferece várias vantagens tais como:

- Fornecer uma estrutura teórica geral para a maioria dos modelos estatísticos usados na prática;
- Simplificar a implementação destes diferentes modelos nos diferentes softwares estatísticos, uma vez que essencialmente o mesmo algoritmo pode ser utilizado para estimação, inferência e avaliação da adequação do modelo para todos os MLGs

Portanto os MLGs são uma extensão dos modelos lineares que englobam os modelos com variável resposta de distribuição não normal. Esta extensão só foi alcançada após o reconhecimento de que muitas das propriedades da distribuição normal eram também partilhadas pelas distribuições de família exponencial, nas quais se encontram incluídas distribuições como a Bernoulli, a binomial, a Poisson, a exponencial, a gama, a binomial negativa, a multinomial (VENABLES, 2002).

De acordo com Cordeiro e Demétrio (2008), os MLG foram propostos para aplicações onde a variável de resposta pode ser representada por alguma distribuição da família de exponenciais, cujas funções densidade de probabilidades podem ser expressas de acordo com a equação (23).

$$f(y; \theta, \phi) = \exp \left\{ \frac{y\theta - b(\theta)}{a(\phi)} + c(y, \phi) \right\} \quad (23)$$

Onde:

$a(\theta)$ ,  $b(\theta)$  e  $c(y, \theta)$  são funções específicas

Parâmetro  $\theta$  = parâmetro de localização

$\theta$  = Parâmetro de dispersão (muitas vezes denominado  $\sigma^2$ )

A estrutura de um MLG consiste em três componentes: a primeira trata-se de uma componente aleatória composta de uma variável aleatória  $Y$  com  $n$  observações independentes, um vetor de médias  $\mu$  e uma distribuição pertencente à família exponencial; a segunda trata-se de uma componente sistemática composta por covariáveis, ou variáveis independentes  $x_1, \dots, x_p$  tais que produzam um preditor linear  $\eta$  e por fim uma função de ligação, que relaciona as duas componentes citadas anteriormente (CORDEIRO e DEMÉTRIO, 2008). Para Fox (2008), as componentes do MLG são assim representadas:

- a) Componente aleatória: representado pelo conjunto de observações da variável resposta, que pode ser de natureza contínua, discreta, qualitativa ordinal ou dicotômica e que deverá possuir distribuição pertencente à família exponencial; de acordo com a natureza da variável resposta, considera-se uma distribuição da família exponencial: para dados contínuos as distribuições normal, gama e normal inversa; para as proporções a binomial; e para as contagens Poisson ou binomial negativa.
- b) Componente Sistemática: também chamada de preditor linear, corresponde à soma dos efeitos das variáveis explanatórias que se apresentam de forma linear (equação 24)

$$n = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k \quad (24)$$

- c) Componente Função de ligação: faz a ligação entre a componente aleatória e a componente sistemática por meio de uma função conhecida, monótona e diferenciável. Conforme Turkman e Silva (2000) as principais funções de ligação são os presentes na tabela 3.

Tabela 3 – Principais funções de ligação

Função	Representação
Expoente	$(\mu_i + c_1)^{c_2}$
Recíproca	$1/\mu_i$
Canônica	$1/\mu_i^2$
Identidade	$\mu_i$
Logaritma	$\ln(\mu_i)$
Complementar log-log	$\ln[-\ln(1-\mu)]$
Logit	$\ln(\mu/1-\mu)$
Inversa	$\mu_i^{-1}$

Fonte: Turkman e Silva (2000)

Segundo Turkman (2000) e Pereira (2006), existem três etapas essenciais para modelagem de dados através de uma MLG:

1. Formulação dos modelos: nesta fase deve-se ocorrer a escolha da Distribuição para a variável resposta, de acordo com a natureza dos dados; as covariáveis e formulação apropriada da matriz de especificação; e a função de ligação, que deve ser compatível com a distribuição de erro proposto para os dados e com o problema investigado
2. Ajustamento dos modelos: através da estimação dos parâmetros, ou seja, os coeficientes  $\beta$ 's associados às covariáveis e do parâmetro de dispersão  $\phi$  caso ele esteja presente, ao estabelecimento de intervalos de confiança e testes de ajustamento. Para se estimar os valores do vetor de parâmetros  $\beta$  de um MLG, podem ser usados diversos métodos, dentre eles: Bayesiano, qui-quadrado mínimo, estimação – M e o método de máxima verossimilhança. Este último apresenta muitas propriedades ótimas, tais como, consistência e eficiência assintótica, sendo este mais preferido e freqüentemente utilizado nos programas computacionais
3. Seleção e validação dos modelos: tem como objetivo encontrar submodelos com um número moderado de parâmetros que ainda sejam adequados aos dados, detectar discrepâncias entre os dados e valores preditos, avaliar a presença de *outliers* ou observações influentes, etc.

## **CAPÍTULO 4: PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Neste capítulo estão descritos os procedimentos metodológicos adotados para a realização desta pesquisa. Assim, será abordada a caracterização da pesquisa e sua tipologia em função da sua natureza, dos seus objetivos e dos procedimentos técnicos. O capítulo é composto de alguns aspectos do estudo, como classificação, amostra, procedimentos e instrumentos utilizados para coletar e analisar os dados.

### **4.1. Natureza e Classificação da Pesquisa**

De acordo com Kauark (2010), o estudo se caracteriza, quanto a sua natureza, como uma pesquisa aplicada, tendo em vista que objetiva gerar conhecimentos sobre a influência da radiação térmica no desempenho de alunos para aplicação prática dirigida à melhoria do conforto e da aprendizagem.

Quanto à abordagem, ela se classifica como quantitativa, pois tenta traduzir em números, opiniões e informações classificando-as e analisando-as, usando de técnicas estatísticas e recursos computacionais.

Quanto aos objetivos, a pesquisa é classificada como explicativa experimental, devido ao intuito de explicar os efeitos dos fenômenos observados, por meio do registro, da análise, da classificação e da interpretação dos dados.

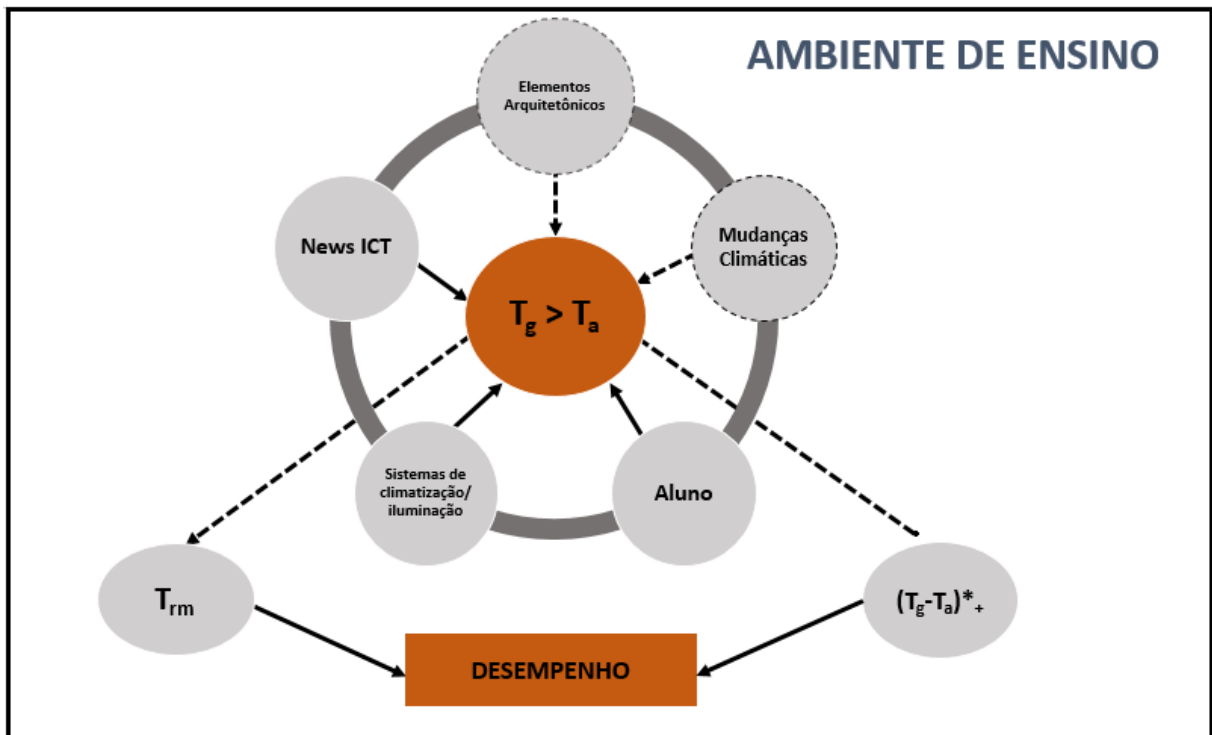
Caracteriza-se, ainda quanto aos objetivos, como exploratória, porque visa proporcionar maior entendimento sobre a radiação térmica, o conforto térmico e o desempenho de estudantes; descritiva, porque descreve o conforto térmico e a radiação térmica em relação ao desempenho de estudantes; assim como, explicativa, porque procura verificar se a radiação térmica pode ter relação com o desempenho dos estudantes, em situações de desconforto térmico.

Quanto aos meios, classifica-se como bibliográfica, porque utiliza material já publicado como livros, teses, dissertações, artigos de periódicos, etc; e como experimental, porque ao se desejar identificar a relação entre a radiação térmica e o desempenho, faz-se necessário definir formas de controle dos parâmetros envolvidos.

## 4.2. Variáveis e indicadores

A figura 8 representa os fatores que podem contribuir para o aumento da radiação térmica em ambientes de ensino providos de *News ICT*. Dentre eles pode-se considerar: as condições térmicas externas - mudanças climáticas; o projeto arquitetônico e os materiais que revestem a edificação; as tecnologias de comunicação e informação do ambiente; sistemas de climatização e iluminação; e o homem. Segundo Fanger (1972) o fator de área de radiação efetiva para os ambos os sexos na posição sentada está no entorno de  $0,696 \pm 0,017$ , o qual independe do sexo, peso, da altura, da área de superfície e da característica do corpo humano, além de se levar em consideração que o fator de área da roupa utilizada pelo homem é próximo de  $1,11 \pm 0,03$  para pessoas sentadas, como as deste estudo, pois o aluno realizava suas atividades na posição sentada. Logo, ao se investigar a troca de calor por radiação e o ambiente deve se levar em consideração os fatores urbanos e humanos (PARK, 2011).

Figura 8 – Fatores que podem contribuir com o aumento da radiação térmica



Assim, todos esses parâmetros mencionados podem contribuir para o

aumento da radiação térmica em um ambiente climatizado. Neste trabalho, os ambientes de referência foram laboratórios de informática instituições de ensino brasileira, onde foi investigada a radiação térmica através da relação entre a temperatura de globo e a temperatura do ar, observando-se a variação da temperatura radiante média, quando alunos desempenhavam atividades cognitivas.

Desta forma, o aumento da temperatura de globo em relação à temperatura do ar ( $T_g > T_a$ ) com possível efeito na elevação da temperatura radiante média ( $T_{rm}$ ) pode estar associado a esses fatores ou ao conjunto destes. Quando houver registro em que a temperatura de globo for significativamente superior à do ar, esta ocorrência implicará no aumento da temperatura radiante média, a qual será superior à temperatura de globo. Por conseguinte, torna-se importante investigar se este aumento pode vir a interferir no desempenho cognitivo dos alunos.

O quadro 4 apresenta as variáveis que foram analisadas no presente estudo bem como seus respectivos indicadores.

Quadro 4 - Variáveis e indicadores da pesquisa

	VARIÁVEIS	INDICADORES
Parâmetros de conforto	Térmicas	Temperatura de bulbo seco, $t_a$ (°C); Temperatura de globo, $t_g$ (°C) Temperatura radiante média, $t_{rm}$ (°C); Umidade relativa, UR (%); Velocidade do ar, $v$ , (m/s);
Desempenho dos estudantes	Raciocínio	Desempenho Total
Arquitetura do ambiente	Elementos arquitetônicos	Recomendações de projeto arquitetônico segundo Roriz (1996)

#### 4.3. População e amostra

O estudo foi realizado no Brasil em laboratórios de informática (LIs) climatizados com *News ICT* (sistemas multimídia, wireless, climatização e de iluminação; personal computers, laptops, impressoras on-line) nas seguintes instituições: Universidade Federal do Piauí (UFPI), Teresina-Piauí (A); Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis – Santa Catarina (B); Universidade de Brasília (UnB)-Campus Gama, Brasília- Distrito Federal (C); Universidade Federal

do Vale do São Francisco (UNIVASF), Petrolina-Pernambuco (D); Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC) da Universidade de São Paulo (USP), São Carlos- SP (E); Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus – Amazonas (F); Centro de Educação da Academia de Polícia Militar da Paraíba, João Pessoa, Paraíba (G). O número de participantes por instituição, localidade e os dados relacionados ao período das coletas realizadas durante três dias consecutivos estão sumarizados no quadro 5.

Quadro 5 – Localidade, tamanho da amostra e período das coletas por Instituição

Instituição	Localidade	Tamanho da amostra	Período
A – UFPI	Teresina- PI	28 estudantes	15 a 17/09/2015
B- UFSC	Florianópolis- SC	19 estudantes	21a 23/03/2016
C- UnB	Brasília -DF	18 estudantes	26 a 28/04/2016
D- UNIVASF	Petrolina- PE	15 estudantes	23 a 25/05/2016
E- ICMC	São Carlos- SP	15 estudantes	17 a 19/11/2014
F – UFAM	Manaus -AM	28 estudantes	01 a 03/08/2016
G – CE da PM	João Pessoa -PB	40 estudantes	18 a 20/07/2012

#### 4.4. Instrumentos de coleta de dados

Os dados foram obtidos durante a realização das medições nos LIs, sendo uma sessão por dia. Em cada LI as medições foram efetuadas a três níveis de temperatura de bulbo seco do ar ( $t_a$ ), 20°C, 24°C e 30°C, conforme os preceitos das normas ASHRAE 55-2010, ISO 7726/2002 e ISO 7730/2005. Todos os dados foram medidos em períodos contínuos ao longo de toda a coleta, com intervalo de 1 minuto, no sentido de verificar a constância das condições do ambiente térmico.

Em uma sessão prévia, os alunos foram orientados sobre a finalidade da pesquisa e quais os tipos de questionários e testes que seriam utilizados. Além disso, foi feita uma explanação sobre a natureza das questões dos testes de raciocínio. Os alunos que mostraram interesse em participar da pesquisa assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (anexo 1). As atividades realizadas pelos alunos durante as medições ocorreram por meio de Personal Computers (PCs) e/ou laptops (Instituição G) para acessar o endereço eletrônico (link) contendo uma bateria de testes de raciocínios. O link para cada dia de testes só foi disponibilizado no momento



de sua realização, evitando assim que os participantes tomassem conhecimento das questões previamente.

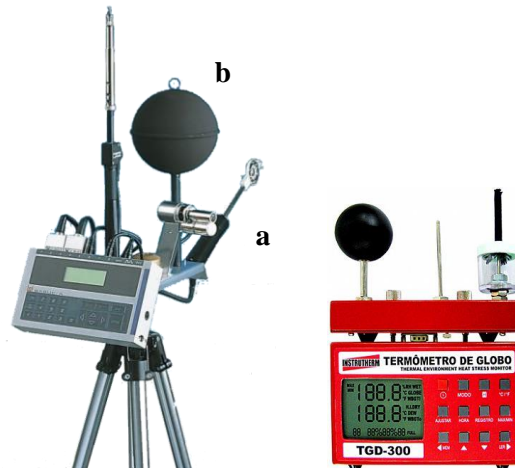
Os estudantes foram orientados a utilizar roupas similares nos três dias de coleta. Ressalta-se que antes dos alunos serem submetidos aos testes de raciocínio nos laboratórios de informática, eles foram conduzidos a uma sala com condições climáticas favoráveis, proporcionando um período de descanso para estabilização de seus organismos, a qual foi constatada através de suas pressões arteriais, avaliadas pelo monitor de pressão arterial automático modelo HEM-7220 e tensiômetro Polar FT7. Após a realização das medições, as atividades dos alunos seguiram normalmente, e a temperatura foi novamente ajustada, de acordo com o habitual.

#### **4.4.1 Variáveis Térmicas**

As medições das variáveis térmicas temperatura de bulbo seco ( $T_a$ ), temperatura radiante média ( $T_{rm}$ ), temperatura de globo ( $T_g$ ) e umidade relativa (UR) foram coletadas por meio da estação microclimática BABUC A e do medidor de estresse térmico TGD300 (figura 9), que permitem a gravação dos dados mediante a criação de um arquivo local, assim como transferência dos mesmos para um computador, onde podem ser processados através de aplicativos especializados ou com o auxílio de planilhas eletrônicas. O equipamento atende às exigências da Norma ISO 7726 (2002). A velocidade do ar foi considerada constante,  $V = 0,1$  m/s, estimativa para ambientes fechados (COUTINHO,2005; ASHRAE 55-2010).

Seguindo o que estabelece a norma ISO 7726 (2002), e tendo em vista que os ambientes apresentavam uniformidade na distribuição das temperaturas, a estação microclimática foi instalada nos centros dos laboratórios, a 0,6m de altura em relação ao solo, tendo em vista que os alunos se encontravam sentados. Estas medidas para cada dia e instituição foram feitas de forma individualizada, através da média dos dados registrados no período dos testes de cada aluno. Os equipamentos foram programados para registrar as medidas a cada 1 minuto, a partir da entrada dos alunos na sala de aula. Para estabilização, os equipamentos foram instalados nos laboratórios 30 minutos antes de iniciar a coleta.

Figura 9 - Estação microclimática BABUC-A e TGD-300



a) Psicrômetro; b) Termômetro de globo.  
Fonte: Vasconcelos (2015)

Os transdutores conectados ao equipamento efetuam as medições das variáveis ambientais e possuem as seguintes características:

- a) Psicrômetro de aspiração:** o psicrômetro efetua a medição da temperatura do ar ou temperatura de bulbo seco,  $T_{bs}$ , bem como a medição da temperatura de bulbo úmido,  $T_{bu}$ , com resolução de 0,03 K, precisão de  $\pm 0,13$  K, tempo de resposta de 90 s, campo de medição de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $60^{\circ}\text{C}$ , fornece o valor da umidade relativa do ar com resolução de 0,1%, precisão de  $\pm 0,5\%$  de 70 a 98%,  $\pm 1\%$  de 40 a 70% e  $\pm 2\%$  de 15 a 40%, campo de medição de 0 a 100%.
- b) Termômetro de Globo:** a temperatura de globo, juntamente com a temperatura de bulbo seco e velocidade do ar, é necessária para a obtenção da temperatura média radiante. O termômetro de globo possui um globo pintado de negro, com emissividade  $\epsilon$  igual a 0,95, e diâmetro externo de 0,15 m, tendo resolução de  $0,03^{\circ}\text{C}$ , precisão de  $\pm 0,15^{\circ}\text{C}$ , tempo de resposta de 20 min, campo de medição de  $10^{\circ}\text{C}$  a  $100^{\circ}\text{C}$ .

#### 4.4.1.1 Análise dos parâmetros térmicos $T_g$ , $T_a$ e $T_{rm}$

No sentido de verificar se há ou não troca de calor por radiação entre o aluno e seu ambiente de ensino, hipóteses foram testadas à luz da equação da temperatura radiante média (equação 25), de acordo com a ISO 7726 (2002), a saber:

- a. Se  $T_g = T_a$ , então  $T_{rm} = T_g$ , donde não há troca de calor por radiação
- b. Se  $T_g > T_a$ , então  $T_{rm}$  aumenta proporcionalmente à elevação da  $T_g$ , caracterizando assim troca de calor por radiação
- c. Se  $T_g < T_a$ , então  $T_{rm}$  decresce proporcionalmente à diminuição da  $T_g$ , constatando assim não haver troca de calor por radiação

$$T_{rm} = \sqrt[4]{T_g^4 + \frac{h_{cg}}{\varepsilon_g \sigma} \cdot (T_g - T_a)} \quad (25)$$

As demonstrações das três hipóteses acima estão apresentadas no Apêndice A.

#### 4.4.2 Desempenho dos estudantes

Concomitantemente à realização das medições térmicas nos LIs, avaliando principalmente o comportamento da temperatura de globo em relação à temperatura do ar ( $T_g - T_a$ ), os alunos realizaram atividades vinculadas à Bateria de Provas de Raciocínio (BPR-5) com o propósito de determinar o desempenho cognitivo geral ao longo das variações climáticas nos LIs. Conforme Almeida e Primi (2004), a BPR-5 é um instrumento para auxiliar os profissionais no psicodiagnóstico, seleção profissional, orientação profissional, avaliação escolar, entre outras áreas, para verificar o funcionamento cognitivo geral. As aptidões que podem ser avaliadas pelas cinco provas que compõem o instrumento são: Raciocínio Abstrato (RA), Raciocínio Verbal (RV), Raciocínio Espacial (RE), Raciocínio Numérico (RN) e Raciocínio Mecânico (RM).

Optou-se por decompor a BPR-5 e reorganizá-lo em 3 testes resumidos de mesmo nível de dificuldade, a serem aplicados a cada dia. Para este fim, Siqueira (2015) elaborou um survey na plataforma Qualtrics.com, que possibilitou a aplicação e medição do tempo de resposta de cada questão. O valor do número de acertos pôde variar de 0 a 20, visto que o teste de raciocínio total consistia no somatório das notas

nos 5 subtestes, dos quais cada subteste era composto de 4 questões, sendo 1 o valor de cada questão. Cada bateria de testes foi composta de 4 questões referentes a cada teste de raciocínio, como apresentado no quadro 6.

Quadro 6- Subtestes de Raciocínio baseados na 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. Descobrimo-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: Vasconcelos (2015)

Quanto à dificuldade dos testes, Campos (2005) apresenta uma classificação de cada item em categorias: 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 a prova de Raciocínio mecânico (RM).

A partir desta classificação e categorização, os itens similares foram distribuídos aleatoriamente entre os testes. Os testes foram distribuídos randomicamente, de forma que cada aluno respondesse a um teste a cada dia e ao final do período da pesquisa tivesse respondido o total de três testes de raciocínio.

Segundo Almeida e Primi (2004) o desempenho pode ser classificado em 3 faixas: capacidade abaixo da média com resultados de acertos até 25%; capacidade média com resultado total de acertos acima de 25% e até 75%; capacidade acima da média com resultado de acertos superior a 75%.

Através da razão entre as notas obtidas em cada teste e o tempo de respostas das mesmas, obteve-se o desempenho dos estudantes para cada teste nas três faixas de temperatura. O Desempenho total ( $D_t$ ), portanto, levou em consideração a nota obtida em cada teste, com o respectivo tempo de resposta.

#### **4.4.3 Análise dos elementos arquitetônicos**

Uma sucinta análise arquitetônica foi realizada por meio da NBR 15220 - Desempenho Térmico das Edificações (2003), dos envelopes construtivos e seus materiais constituintes; bem como do projeto arquitetônico por meio de algumas recomendações de Roriz (1996), pois estes fatores podem estar associados ao possível aumento da  $T_g$  em relação à  $T_a$  com repercussão na elevação da temperatura radiante média ( $T_{rm}$ ). A análise arquitetônica foi realizada para compreender melhor os possíveis comportamentos térmicos da edificação, principalmente no tocante às diferenças de temperaturas do ar e do globo com possível aumento da  $T_{rm}$ . Através de uma breve avaliação do envelope construtivo e de seus materiais constituintes, bem como do projeto arquitetônico é possível examinar o desempenho térmico de uma edificação, pois um projeto adequado aliado ao uso correto dos materiais pode contribuir para o conforto térmico, com reflexos no conforto e na produtividade.

Assim, caso o projeto arquitetônico tenham mais aspectos negativos em relação aos seus elementos arquitetônicos e  $t_g > t_a$  é provável que o aumento da radiação térmica no ambiente esteja associado às fontes internas de calor. Mas se o projeto arquitetônico tiver mais aspectos positivos e  $t_g > t_a$  é provável que algum elemento arquitetônico aliado às fontes de calor internas contribuam para o aumento da temperatura de globo, aumentando assim a carga térmica do ambiente.

O quadro 7 apresenta as recomendações do projeto arquitetônico segundo Roriz (1996):

Quadro 7- Recomendações de projeto arquitetônico segundo Roriz (1996)

<b>Implantação</b>	As edificações devem ser alongadas, com as fachadas maiores voltadas para Norte e Sul para reduzir as cargas térmicas devidas à radiação solar. Pode haver um ligeiro desvio nessa orientação para facilitar a captação das brisas dominantes nos meses mais úmidos ou para permitir um aquecimento por ação solar durante o período mais frio.
<b>Espaçamentos entre as edificações</b>	Deverão ser acentuadas as distâncias entre edificações, para permitir a passagem livre das brisas. De modo geral, para serem realmente eficientes, essas distâncias devem ser, no mínimo, cinco vezes maiores que as alturas dos edifícios. Nesse mesmo sentido, edifícios sobre pilotis também podem contribuir.
<b>Ventilação</b>	Os projetos devem otimizar a ventilação cruzada. Para tanto, é preferível que as habitações, ou seus aposentos, sejam dispostos em "filas simples" ao longo dos edifícios.
<b>Tamanho das aberturas</b>	As aberturas devem ser grandes, ocupando entre 40 e 80% das fachadas Norte e Sul e permitindo que a ventilação atravessasse os ambientes ao nível dos corpos dos ocupantes.
<b>Posição das aberturas</b>	Nas fachadas Norte e Sul, permitindo que a ventilação atravessasse os ambientes ao nível dos corpos dos ocupantes. Para otimizar a velocidade do ar no interior dos ambientes, as aberturas de saída devem ser ligeiramente maiores e mais altas que as de entrada.
<b>Proteção das aberturas</b>	Os ambientes deverão ser protegidos contra a radiação solar direta; proteger cuidadosamente as aberturas contra as chuvas.
<b>Paredes</b>	Paredes leves (pouca inércia térmica) e com superfícies externas de cores claras para refletirem a radiação solar: Transmitância Térmica ( $U$ ) $\leq$ a 2,8 W/m <sup>2</sup> °C; Retardamento ( $\varphi$ ) $\leq$ 3 horas e Fator de Calor Solar ( $F_{so}$ ) $\leq$ a 4%. Considerando: $F_{so}=4.U.\alpha$ , sendo $U$ , transmitância térmica e $\alpha$ , absorvância à radiação solar.
<b>Coberturas</b>	As coberturas devem ser leves, mas deverão apresentar maior resistência térmica. Este maior isolamento será especialmente importante para evitar que a face inferior da cobertura (forro) se aqueça excessivamente. Adotar Transmitância Térmica ( $U$ ) $\leq$ a 0,85 W/m <sup>2</sup> .°C, Retardamento $\leq$ 3 horas e ( $F_{so}$ ) $\leq$ a 3%.

Fonte: Adaptado de Roriz (1996)

A NBR 15220 (2003) apresenta recomendações de desempenho térmico das edificações, bem como dados de transmitância térmica ( $U$ ), capacidade térmica ( $CT$ ) e atraso térmico ( $\varphi$ ) de paredes e coberturas. Dessa forma, para a obtenção dos dados relativos as vedações laterais e à cobertura presentes no quadro 7 foi utilizado dados de referência da NBR supracitada.

#### **4.5. Tratamento dos dados**

Após as coletas de dados, estes foram tabulados no software Microsoft Excel® e preparados para serem utilizados nos softwares R, SPSS®, STATISTICA, com a finalidade de realizar análise descritiva dos dados, elaboração de gráficos, correlações entre as variáveis e a modelagem matemática. Foram utilizados os testes não paramétricos de Kruskal-Wallis para testar a hipótese de que as distribuições dos parâmetros avaliados eram similares em todos os dias do experimento. Para verificar as correlações entre as variáveis de interesse foi utilizada a correlação de Spearman. Com o tratamento dos dados busca-se descrever, analisar e prever relações entre as variáveis.

#### **4.6. Modelagem matemática**

Foi construído um modelo matemático através das classes de Modelo Linear Generalizado (MLG) para investigar o comportamento de  $(T_g - T_a)$  e da  $T_{rm}$  no desempenho cognitivo (índice  $D_t$  - desempenho total em relação ao tempo) dos estudantes, pois  $(t_g - t_a) > 0$  poderá caracterizar aumento da  $t_{rm}$  com reflexos na elevação da carga térmica interna, e tais características precisam ser analisadas sob o ponto de vista de seus efeitos na variabilidade do desempenho cognitivo dos alunos. Os MLGs correspondem a uma grande classe de modelos estatísticos definidos em termos de um conjunto de variáveis aleatórias independentes, onde cada uma delas possuem alguma distribuição da família exponencial (DOBSON & BARNETT, 2008).

#### **4.7. Considerações éticas**

A presente pesquisa foi avaliada e acompanhada, 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). Assim a pesquisa foi submetida, reconhecida e aprovada como eticamente adequada sob o número CAAE 57408416.3.0000.5188.

## CAPÍTULO 5: RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo reserva-se à apresentação e discussão dos resultados encontrados na pesquisa a partir dos procedimentos metodológicos mencionados no capítulo anterior com foco em alcançar o objetivo principal e os objetivos específicos deste trabalho.

Com o objetivo de caracterizar as amostras, inicialmente foi realizada uma análise das características dos participantes da pesquisa presente nos questionários. Esta análise foi seguida pela caracterização dos ambientes de pesquisa bem como por uma breve descrição dos seus elementos arquitetônicos. Foi analisado também as condições climáticas externas dos laboratórios de informática. Em seguida foi realizada a análise descritiva das variáveis térmicas dando destaque à temperatura radiante média ( $t_{rm}$ ) e à diferença da temperatura de globo em relação à temperatura do ar ( $t_g-t_a$ ) do ambiente estudado.

Posteriormente, analisou-se como o desempenho dos estudantes se comportou de acordo com as faixas de temperatura do ar. Para esta investigação utilizou-se a acurácia no teste (número de acertos) e o tempo gasto para resolução dos testes visando a entender o desempenho na variação da temperatura ocorrida nas três sessões.

O roteiro supracitado foi realizado de forma individual para todas as amostras. Em um segundo momento foi realizado a análise da troca de calor por radiação térmica de todas as instituições, a análise global do desempenho bem como a análise dos elementos arquitetônicos. Esta última análise teve o propósito de compreender melhor os possíveis comportamentos térmicos da edificação, principalmente no tocante às diferenças de temperaturas do ar e do globo com possível aumento da temperatura radiante média.

Por fim foi construído um modelo matemático através das classes de Modelo Linear Generalizado para explicar o desempenho dos estudantes em função da temperatura radiante média ( $t_{rm}$ ) e da diferença da temperatura de globo em relação à temperatura do ar ( $t_g-t_a$ ), pois  $(t_g-t_a)>0$  poderá caracterizar aumento da  $t_{rm}$  com reflexos na elevação da carga térmica interna, e tais características precisam ser



analisadas sob o ponto de vista de seus efeitos na variabilidade do desempenho cognitivo.

## **5.1. INSTITUIÇÃO A - Teresina, Piauí**

### **5.1.1 Caracterização da amostra A**

Foram coletados dados de 28 estudantes de cursos de nível superior (área de engenharia) da Universidade Federal do Piauí- UFPI, na cidade de Teresina, PI. A amostra foi composta de 21 homens e 7 mulheres, com idade média de  $22 \pm 2$  anos. Em relação ao estado civil, 96% eram solteiros e 4% casados. O peso médio declarado da amostra foi de  $64,8 \pm 7,8$  Kg para os homens e  $64,5 \pm 8,1$  Kg para as mulheres. A altura média foi de  $1,74 \pm 0,06$  m para os homens e  $1,67 \pm 0,02$  m para as mulheres.

Quanto à resistência térmica das roupas, a média foi de  $0,42 \pm 0,05$  clo. Tendo em vista a orientação de utilizar roupas similares nos diferentes dias de pesquisa, a média nos três dias foi similar: 0,43 clo no primeiro dia; 0,42 clo no segundo dia; e 0,42 clo no último dia da pesquisa.

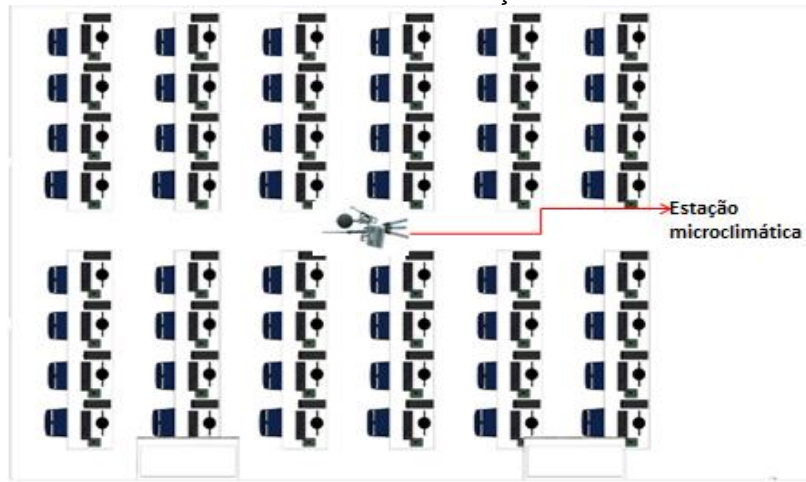
### **5.1.2 Caracterização do ambiente e dos elementos arquitetônicos**

O laboratório de informática (LI) da Instituição A possuía uma área de aproximadamente 112 m<sup>2</sup> onde estavam inseridos 48 computadores com monitores com tela de cristal líquido-LCD (figuras 10 e 11). A sala era climatizada com dois aparelhos de ar-condicionados do tipo Split, apresentava iluminação artificial e natural com as janelas dispostas posteriormente com película de 50% de transparência e espelhada na parte de fora da sala, que diminuía a incidência da radiação advinda do meio externo.

Figura 10 - Laboratório de informática da Instituição A

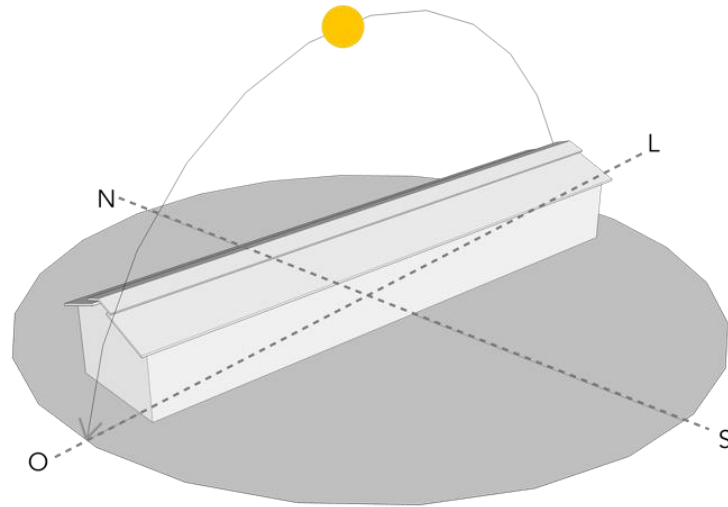


Figura 11 – Layout do laboratório de informática da Instituição A



A maior fachada do prédio está voltada para Nordeste (figura 12), mas a forma alongada das edificações reduz a exposição à radiação solar e expõe as fachadas maiores aos ventos dominantes. A edificação possui dois pavimentos e o laboratório em estudo está localizado no térreo e na parcela mais oeste do edifício, desta forma recebe radiação solar na parede noroeste no período da tarde. Com relação às aberturas, localizadas na fachada sudoeste do edifício, não há a preocupação com a colocação de elementos de proteção nas janelas, desta forma recebem radiação solar direta. Elas ocupam uma área de  $10,43\text{m}^2$ , ou 41,68% do laboratório.

Figura 12 – Esquema do caminho do sol no edifício do LI – A



Os materiais predominantes no projeto, de acordo com quadro 8, são o concreto e a alvenaria. A cobertura de telhas de barro é sustentada por uma estrutura de madeira, esse tipo de material contribui para a redução do fluxo de calor para o interior da edificação, pela sua porosidade.

Quadro 8- Materiais construtivos e revestimento do LI – A

<b>COMPONENTE DO EDIFÍCIO</b>	<b>MATERIAL</b>
<b>Cobertura</b>	Telhas de barro
<b>Estrutura da coberta</b>	Madeira
<b>Forro</b>	Painéis de PVC
<b>Vedação da sala</b>	Tijolo cerâmico vazado
<b>Esquadrias</b>	Aço e vidro incolor comum
<b>Revestimento externo da vedação</b>	Tijolinho
<b>Revestimento interno da vedação</b>	Argamassa, pintada de branco

### 5.1.3 Caracterização das condições climáticas externas

Em relação às condições climáticas, segundo a classificação de Köppen, o clima de Teresina é tropical megatérmico (AW), isto é, caracteriza-se por ser um clima tropical continental, com duas estações bem definidas: uma chuvosa, no 1º semestre

(de janeiro a maio) e outra seca, no 2º semestre (de julho a novembro). Teresina é tida como uma das cidades mais quentes do Brasil, chegando a apresentar temperaturas de até 40°C nos períodos mais quentes (ALBUQUERQUE, 2012). Conforme o mesmo autor, devido a proximidade da cidade de Teresina com a linha do Equador, os raios solares atingem à cidade com o ângulo muito próximo a 90°, permitindo que a localidade receba intensa radiação e apresente temperaturas elevadas, na maior parte do ano.

As condições climáticas externas no período de coleta foram obtidas através dos dados disponíveis no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) das estações automáticas existentes e são apresentadas na tabela 4.

Tabela 4 – Condições meteorológicas na cidade durante o período de coleta no LI – A

Data	Hora	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Radiação (kJ/m <sup>2</sup> )	Chuva (mm)
		Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média		
15/09/15	14-15	37	33	35	37	26	32	2473	0,00
16/09/15	14-15	37	35	36	30	24	27	2610	0,00
17/09/15	14-15	37	34	35,6	32	24	28	2661,6	0,00
Média		37	34	35,5	33	24,6	29	2581,53	0,00

Fonte: Adaptado de INMET (2016)

Observa-se que a temperatura do ar e a quantidade de chuva apresentaram valores similares em todos os dias da pesquisa. A temperatura máxima obtida no período foi de 37°C e a mínima foi de 33°C. A temperatura média dos três dias ficou em torno de 35,5°C. Ao verificar a umidade percebe-se que ela obteve o maior valor no dia 15/09 com 37% e a mínima de 24% nos dias 16 e 17/09. A umidade média dos três dias ficou em torno 29%. A radiação teve seu maior valor no último dia da coleta com 2661,6 kJ/m<sup>2</sup> e seu menor valor no primeiro dia de coleta com 2473kJ/m<sup>2</sup>.

#### 5.1.4 Análise das variáveis térmicas

A tabela 5 apresenta as médias relativas a cada variável térmica medida nas três sessões do experimento no interior do laboratório de informática, bem como seus respectivos desvios padrões.

Tabela 5 – Condições térmicas médias das coletas de dados no Laboratório de informática A

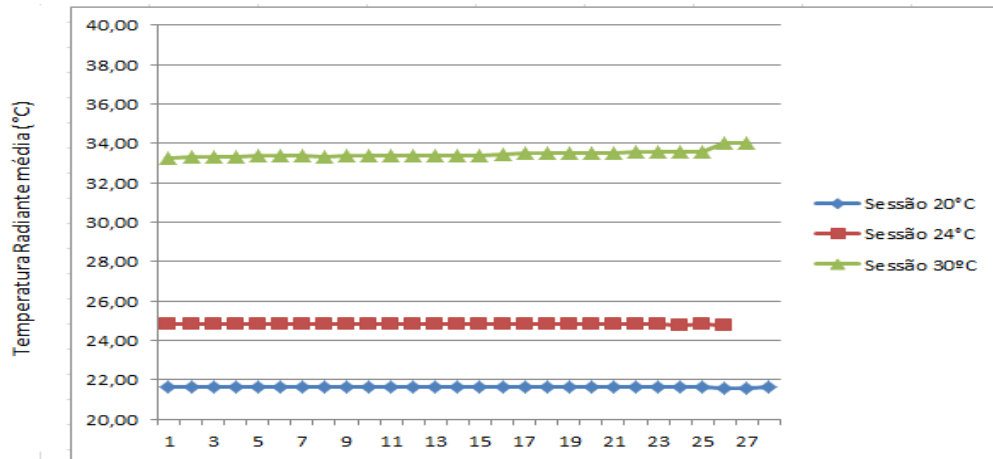
Sessão	Data	Ta (°C)		Tg (°C)		Trm (°C)		Tg-ta(°C)		UR(%)		v (m/s)	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	MD	DP	MD	DP
20°C	15/09/15	20,07	0,014	21,03	0,011	21,66	0,013	0,97	0,008	69,20	0,163	0,1	0,00
24°C	17/09/15	22,95	0,019	24,12	0,015	24,82	0,012	1,17	0,008	67,57	0,240	0,1	0,00
30°C	16/09/15	33,74	0,154	33,55	0,174	33,46	0,186	-,17	0,019	64,63	0,859	0,1	0,00

Fonte: Elaborado pela autora (2016)

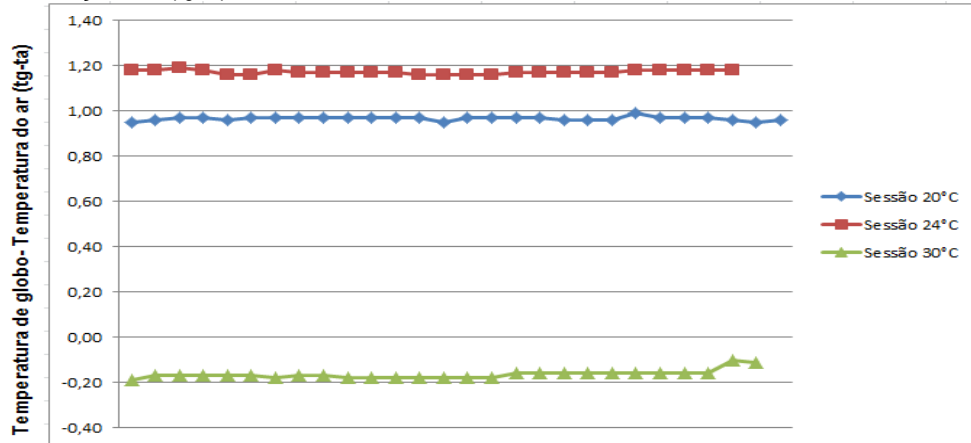
Na primeira sessão, observa-se que a média da temperatura do ar ( $T_a$ ) alcançada foi de 20,07°C. Já a média da temperatura de globo ( $T_g$ ) foi de 21,03°C e a temperatura radiante média ( $T_{rm}$ ) ficou em torno de 21,66°C. Na segunda sessão a média da  $T_a$  na sala atingiu o valor de 22,95°C, a  $T_{rm}$  ficou em torno de 24,82°C e a média da  $T_g$  foi de 24,12°C. Na última sessão a média da temperatura do ar alcançada foi de 33,74°C, considerando uma temperatura externa em torno de 36°C. A temperatura média de globo e a temperatura radiante média nesta sessão foram respectivamente 33,55°C e 33,46°C.

Observa-se que houve diferença em média de 1°C e 1,2°C entre a temperatura de globo e a temperatura do ar ( $t_g-t_a$ ) nas sessões de 20°C e 24°C respectivamente; esta diferença foi relativamente menor e negativa (devido a temperatura de globo ter sido menor do que a temperatura do ar) na sessão de 30°C. Assim, de acordo com os gráficos 3 e 4 percebe-se que houve diferenças significativas na temperatura radiante média ( $T_{rm}$ ) e na diferença entre a temperatura de globo e a temperatura do ar ( $t_g-t_a$ ) nos três dias de coletas. Pode-se constatar dessa forma que houve troca de calor por radiação entre o ambiente e os estudantes que ali se encontravam.

Em relação à umidade relativa, considerando que em Teresina esta variável térmica é geralmente baixa percebe-se que em todas as sessões a umidade relativa aproximadamente dobrou de valor em relação à umidade relativa externa apresentada pelo INMET (tabela 4).

Gráfico 3– Variação da temperatura radiante média ( $T_{rm}$ ) nos três dias de coletas no LI – A

Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Gráfico 4– Variação de ( $t_g-t_a$ ) nos três dias de coletas no LI – A

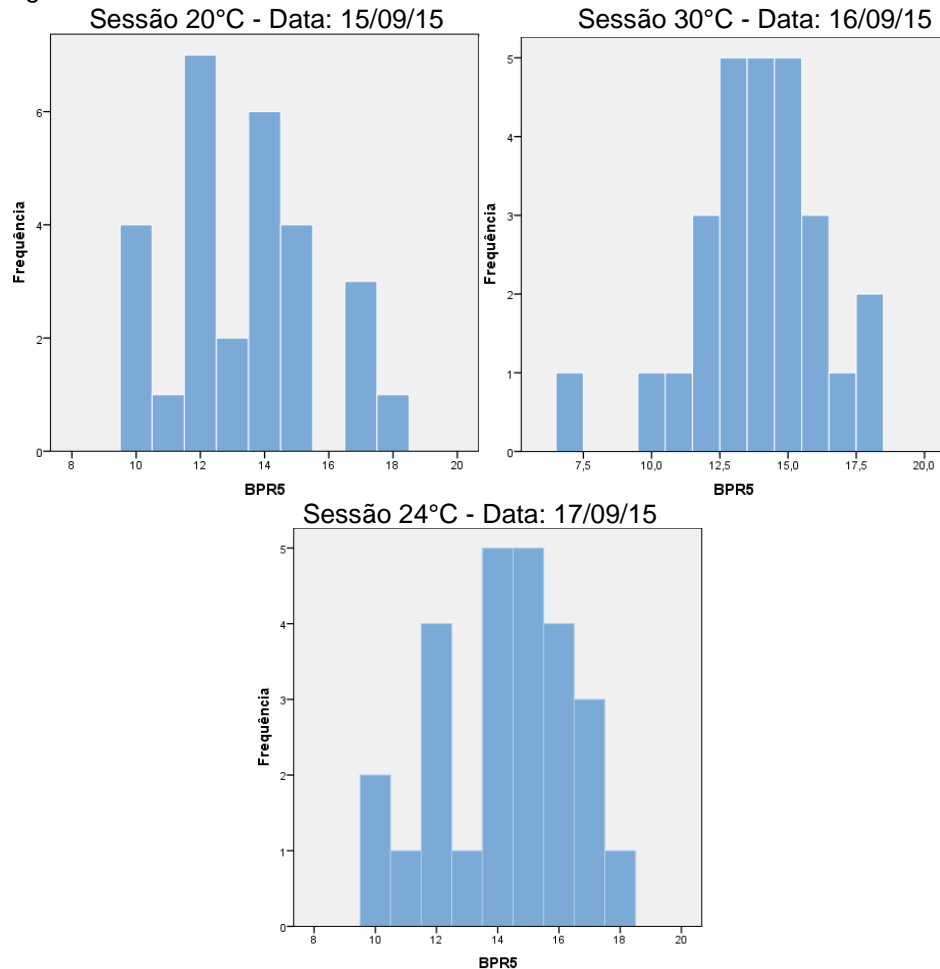
Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Para ratificar as análises descritivas realizou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para amostras independentes para testar se existiam diferenças significativas da temperatura radiante média ( $t_{rm}$ ) e também da diferença entre a temperatura do ar e da temperatura do globo ( $t_g-t_a$ ) entre os três dias de coleta. Com  $p$ -valor  $< 0,05$ , aceita-se a hipótese alternativa de que houve diferenças significativas das variáveis supracitadas entre os três dias de coletas corroborando assim com os resultados das análises descritivas.

### 5.1.5 Análise do desempenho dos estudantes

Aliado às características térmicas observou-se o desempenho dos alunos. Foi observado o comportamento através do número de acertos (BPR-5) e sua frequência de acordo com o dia de coleta (figura 13).

Figura 13– Histograma do número de acertos nos testes de raciocínio total no LI – A



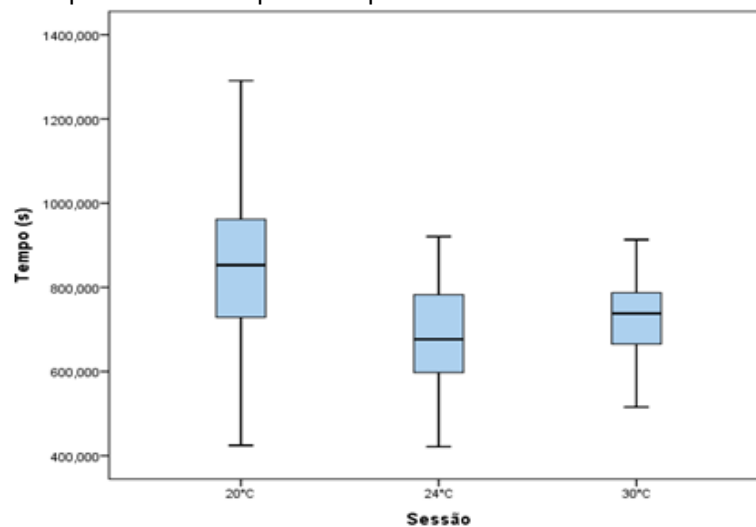
Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Considerando a classificação de Almeida e Primi (2004), apresentada na metodologia, observou-se que no primeiro dia de coleta, com a temperatura radiante média em torno dos 21,66°C, nenhum estudante apresentou um desempenho cognitivo abaixo da média. Em relação aos alunos que apresentaram seu desempenho cognitivo na média constatou-se o percentual de 85,71% e acima da média 14,29%. No segundo dia de coleta, com a temperatura radiante média em torno de 33,46°C, observou-se que nenhum estudante apresentou desempenho cognitivo abaixo da média; 77,78% dos estudantes apresentaram um desempenho na média e 22,2% apresentaram um desempenho acima da média. No terceiro dia de coleta, com

a temperatura radiante média em torno de 24,82°C, nenhum dos estudantes obteve um desempenho abaixo da média, 69,23% obtiveram um desempenho na média e 30,77% obtiveram um desempenho acima da média.

Em relação ao tempo despendido nos testes de raciocínio total observa-se, de acordo com a figura 14, que em geral os estudantes levaram mais tempo ao responder os testes na sessão de temperatura a 20°C, o que pode ter acontecido por se tratar do primeiro dia de coleta, e os mesmos terem desenvolvido uma forma mais acelerada de resolver as questões durante as demais sessões. Foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis o que resultou com 5% de significância que o tempo de resposta apresentou variação significativa com  $p\text{-valor} = 0,001 < 0,05$  levando menor tempo para a realização dos testes na temperatura mais crítica (30°C).

Figura 14– Efeito da temperatura no tempo de resposta no LI – A



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

## **5.2 INSTITUIÇÃO B - Florianópolis, Santa Catarina**

### **5.2.1 Caracterização da amostra B**

Foram coletados dados de 19 estudantes de cursos de nível superior (área de engenharia) da Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC, na cidade de Florianópolis, SC. A amostra foi composta de 13 homens e 6 mulheres, com idade média de  $26 \pm 6$  anos. Em relação ao estado civil, 84% eram solteiros, 10% casados e



6% tinham uma união estável. O peso médio declarado da amostra foi de  $79,4 \pm 19,61$  Kg para os homens e  $63,93 \pm 13$  Kg para as mulheres. A altura média foi de  $1,79 \pm 0,04$  m para os homens e  $1,62 \pm 0,03$  m para as mulheres. Quanto à resistência térmica das roupas, a média foi de  $0,37 \pm 0,07$  clo. A média nos três dias foi similar: 0,37 clo no primeiro dia; 0,38 clo no segundo dia; e 0,36 clo no último dia da pesquisa.

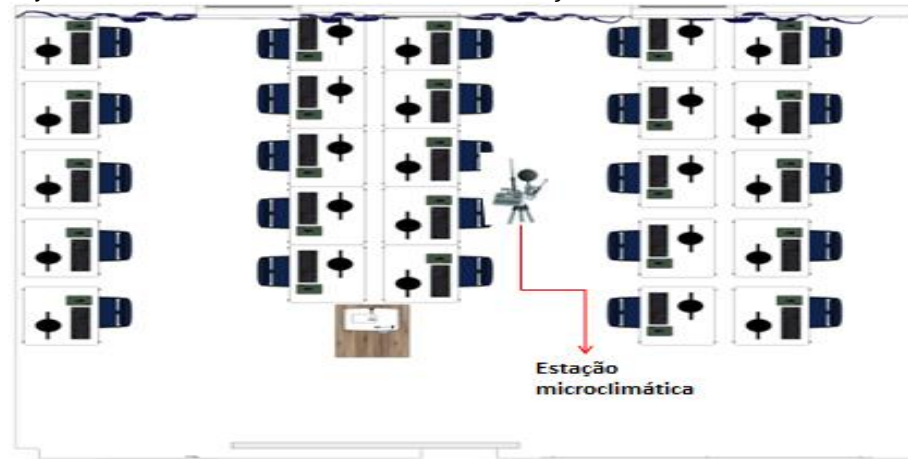
### 5.2.2 Caracterização do ambiente e dos elementos arquitetônicos

O laboratório de informática (LI) onde ocorreram as coletas possuía uma área de aproximadamente 100 m<sup>2</sup> onde se encontravam 25 computadores com monitores com tela de cristal líquido-LCD (Liquid Cristal Display) dispostos em 5 bancadas, onde os periféricos de entrada e saída encontravam-se sobre a bancada e o gabinete e estabilizador encontrava-se abaixo da bancada (figura 15). As janelas eram de vidro e situavam-se na parte posterior da sala. As partes superiores das janelas eram encobertas com proteção fumê e haviam cortinas. A sala era climatizada com dois aparelhos de ar-condicionados do tipo Split e apresentava iluminação artificial e natural (figuras 15 e 16).

Figura 15 - Laboratório de informática da Instituição B

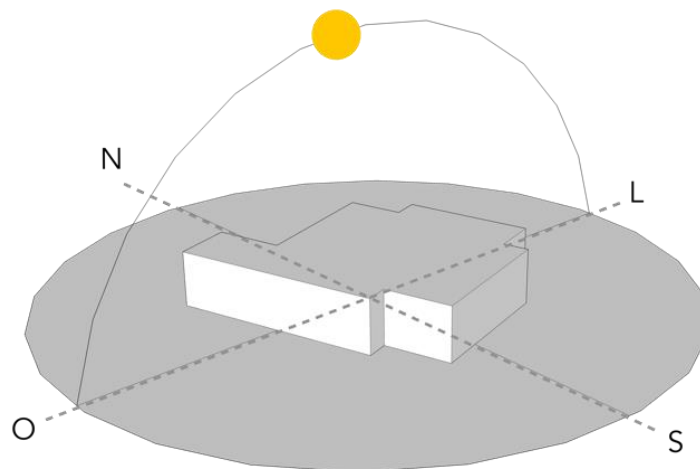


Figura 16 – Layout do laboratório de informática da Instituição B



O edifício tem suas fachadas com praticamente a mesma dimensão e possui três pavimentos (figura 17). O laboratório em estudo está localizado no primeiro pavimento e suas aberturas estão localizadas na fachada Sudoeste, ocupando uma área de  $10,35\text{m}^2$ , ou 47% do laboratório. A presença de vegetação ajuda a resfriar o fluxo de ar que penetra na edificação. Foi observado o uso de cortinas, elemento de proteção solar interno, porém esse mecanismo não impede a penetração da radiação solar direta, que é obstruída pela cortina após ter passado pelo vidro, sendo refletida na forma de calor que permanece presa no interior da edificação.

Figura 17 – Esquema do caminho do sol no edifício do LI – B



Os materiais predominantes no projeto, de acordo com o quadro 9, são o concreto e a alvenaria, a cobertura tem como material as telhas de fibrocimento esse material contribui para ganho de calor para o interior da edificação, pela sua transmitância térmica e fator de calor solar elevados.

Quadro 9- Materiais construtivos e revestimento do LI – B

<b>COMPONENTE DO EDIFÍCIO</b>	<b>MATERIAL</b>
<b>Cobertura</b>	Telhas de fibrocimento
<b>Estrutura da coberta</b>	Madeira
<b>Forro</b>	Laje de concreto
<b>Vedação da sala</b>	Tijolo cerâmico vazado e tijolo maciço
<b>Esquadrias</b>	Aço e vidro incolor comum, com revestimento fumê
<b>Revestimento externo da vedação</b>	Tijolo aparente
<b>Revestimento interno da vedação</b>	Argamassa e tijolo aparente, pintados de amarelo

### 5.2.3 Caracterização das condições climáticas externas

Em relação às condições climáticas, segundo a classificação de Köppen, o clima de Florianópolis é definido como mesotérmico úmido, com chuvas distribuídas durante todo o ano. Florianópolis está sujeita à trajetória de sistemas atmosféricos estáveis e instáveis oriundos do sul e oeste do continente. De acordo com Murara et al. (2013) o clima da cidade pode ser caracterizado por distribuição pluviométrica anual média de 1.734 mm/ano, caracterizando como chuvosa no verão e diminuição das chuvas na primavera, outono e menores registros no inverno, não sendo possível identificar um período seco. A temperatura máxima situa-se em 24,5°C (média) e mínima 17,5°C (média). Devido a sua localização geográfica e a significativa distribuição das precipitações pluviais ao longo do ano, Florianópolis apresenta elevada umidade cuja distribuição média apresenta valores superiores a 60%.

As condições climáticas externas no período de coleta foram obtidas através dos dados disponíveis no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) das estações automáticas existentes e são apresentadas na tabela 6.

Tabela 6 – Condições meteorológicas na cidade durante o período de coleta no LI – B

Data	Hora	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Radiação (kJ/m <sup>2</sup> )	Chuva (mm)
		Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média		
21/03/16	19-20	27	24	26	80	70	73,67	81	0,00
22/03/16	19-20	26	25	25,6	78	73	76	383	0,00
23/03/16	14-15	28	26	27	59	57	58	2957	0,00
Média		27	25	26,2	72,3	66,7	69,2	1140	0,00

Fonte: Adaptado de INMET (2016)

Observa-se que a temperatura máxima do ar (28°C) ocorreu no dia 23/03 e a temperatura mínima do ar (24°C) ocorreu no primeiro dia de coleta. A temperatura média dos três dias ficou em torno de 26,2°C. Ao verificar a umidade percebe-se que ela obteve o maior valor no dia 21/03 com 80% e a mínima de 57% no dia 23/03. A umidade relativa média nos dois primeiros dias foi similar com exceção do último dia de coleta onde a umidade relativa ficou em torno de 58%. Já a umidade média dos três dias ficou em torno 69,2%. A incidência de radiação teve seu maior valor no último dia da coleta com 2957 kJ/m<sup>2</sup> e seu menor valor no primeiro dia de coleta com 81 kJ/m<sup>2</sup>. A quantidade de chuva apresentou valores similares em todos os dias da pesquisa.

#### 5.2.4 Análise das variáveis térmicas

A tabela 7 apresenta as médias relativas a cada variável térmica medida nas três sessões do experimento no interior do laboratório de informática, bem como seus respectivos desvios padrões.

Tabela 7 – Condições térmicas médias das coletas de dados no Laboratório de informática B

Sessão	Data	Ta (°C)		Tg (°C)		Trm (°C)		Tg-ta(°C)		UR(%)		v(m/s)	
		MD	DP	MD	DP	MD	DP	MD	DP	MD	DP	MD	DP
20°C	21/03/16	22,64	0,011	23,28	0,011	23,66	0,015	0,64	0,010	65,51	0,055	0,1	0,00
24°C	22/03/16	24,21	0,037	24,72	0,022	25,02	0,024	0,51	0,025	66,67	0,151	0,1	0,00
30°C	23/03/16	29,08	0,043	28,72	0,045	28,51	0,046	-,36	0,007	82,67	0,331	0,1	0,00

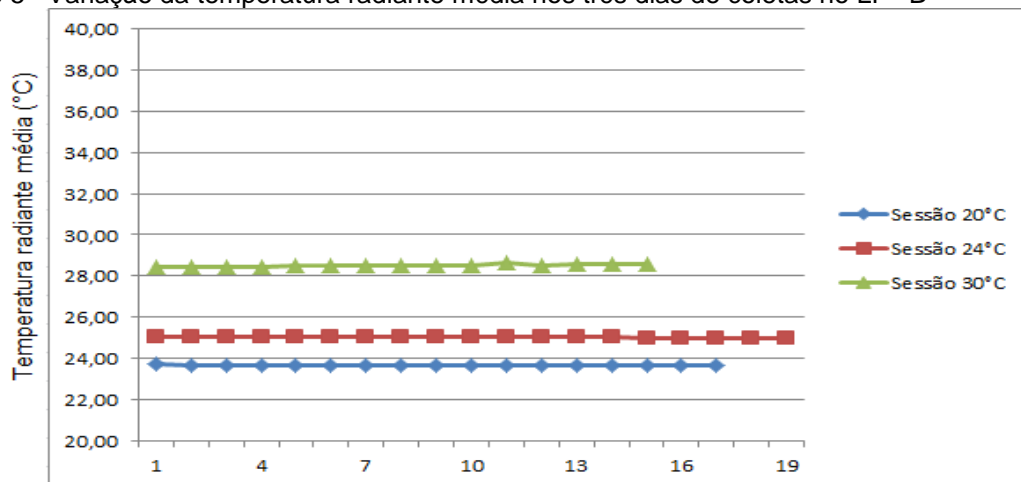
Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Averiguou-se na primeira sessão que a média da temperatura do ar ( $T_a$ ) alcançada foi de 22,64°C. Já a temperatura média de globo ( $T_g$ ) foi de 23,28°C e a temperatura radiante média ( $T_{rm}$ ) ficou em torno de 23,66°C. Na segunda sessão a  $T_a$  na sala atingiu o valor de 24,21°C, a  $T_{rm}$  ficou em torno de 25,02°C e  $T_g$  alcançada foi de 24,72°C. Na última sessão a média da  $T_a$  alcançada foi de 29,08°C, considerando uma temperatura externa em torno de 28°C. A média da  $T_g$  e da  $T_{rm}$  nesta sessão foram respectivamente 33,55°C e 33,46°C.

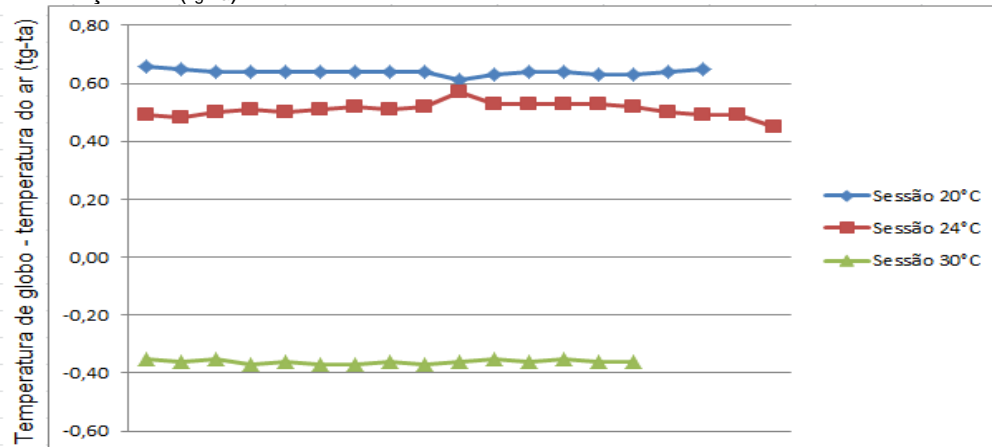
Observa-se que houve uma diferença em média de 0,64°C entre a temperatura de globo e a temperatura do ar ( $t_g-t_a$ ) nas sessões de 20°C, 0,51°C na sessão de 24°C e na sessão de 30°C esta diferença foi relativamente menor e negativa (devido a temperatura de globo ter sido menor do que a temperatura do ar). Assim, de acordo com os gráficos 5 e 6 percebe-se que houve diferenças significativas na temperatura radiante média ( $T_{rm}$ ) e na diferença entre a temperatura de globo e a temperatura do ar ( $t_g-t_a$ ) nos três dias de coletas. Pode-se constatar dessa forma que houve troca de calor por radiação entre o ambiente e os alunos que ali se encontravam.

Em relação a umidade relativa esta foi similar aos dados externos nos dois primeiros dias de coletas e na sessão de 30 °C teve um aumento significativo comparado aos dados do ambiente externo apresentado pelo INMET (tabela 6).

Gráfico 5– Variação da temperatura radiante média nos três dias de coletas no LI – B



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Gráfico 6– Variação de  $(t_g-t_a)$  nos três dias de coletas no LI– B

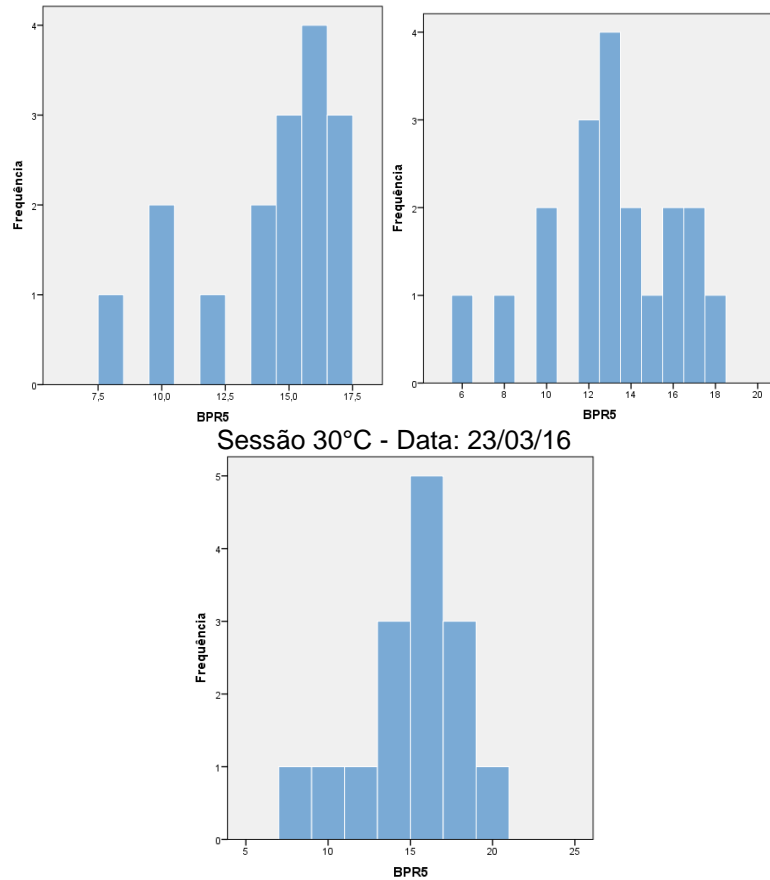
Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Para ratificar as análises descritivas realizou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para amostras independentes para testar se existiam diferenças significativas da temperatura radiante média ( $t_m$ ) e também da diferença entre a temperatura do ar e da temperatura do globo ( $t_g-t_a$ ) entre os três dias de coleta. Com  $p$ -valor  $< 0,05$ , aceita-se a hipótese alternativa de que houve diferenças significativas das variáveis supracitadas entre os três dias de coletas corroborando assim com os resultados das análises descritivas.

### 5.2.5 Análise do desempenho dos estudantes

Considerando a classificação dos autores Almeida e Primi (2004), apresentada na metodologia, observa-se, de acordo com a figura 18, que no primeiro dia de coleta, com a temperatura radiante média em torno dos  $23,66^{\circ}\text{C}$ , que nenhum estudante apresentou desempenho cognitivo abaixo da média; 58,82% dos estudantes apresentaram um desempenho na média e 41,18% apresentaram um desempenho acima da média. No segundo dia de coleta, com a temperatura radiante média em torno de  $25,02^{\circ}\text{C}$ , nenhum estudante apresentou um desempenho cognitivo abaixo da média. Em relação aos alunos que apresentaram seu desempenho cognitivo na média e acima da média obtivemos respectivamente 73,68% e 26,32%. No terceiro dia, com a temperatura radiante média em torno de  $28,51^{\circ}\text{C}$ , nenhum dos estudantes obteve um desempenho abaixo da média, 60% obtiveram um desempenho na média e 40% obtiveram um desempenho acima da média.

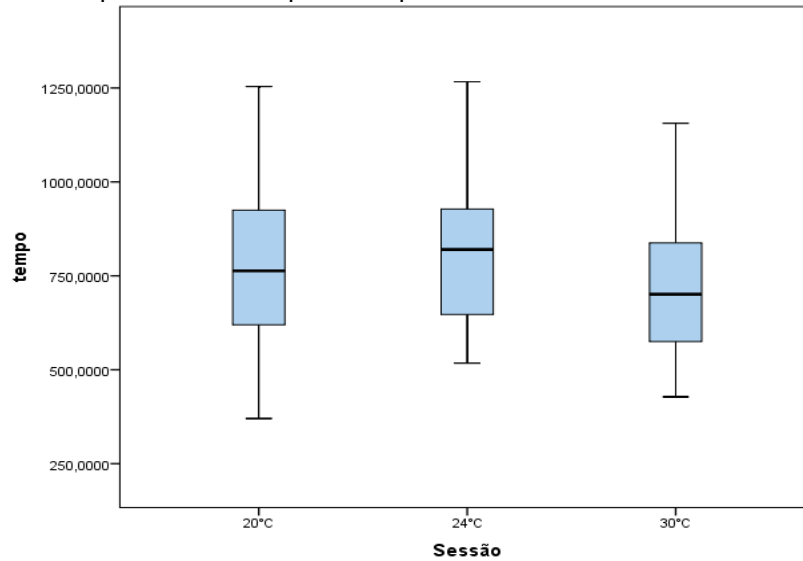
Figura 18– Histograma do número de acertos nos testes de raciocínio total no LI– B  
 Sessão 20°C - Data: 21/03/16 Sessão 24°C - Data: 22/03/16



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Em relação ao tempo despendido nos testes de raciocínio total observa-se, de acordo com a figura 19, que em geral as variações dos tempos gasto nas três sessões foram semelhantes. Entretanto, nota-se que os estudantes, assim como os estudantes da Instituição A, levaram um menor tempo para conclusão dos testes na sessão de 30°C. A disposição gráfica do efeito da temperatura no tempo de resposta não é suficiente para assegurar que não houve variações no desempenho a partir de mudanças de temperatura. Com isso, para a avaliação da distribuição estatística dos dados foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis o que resultou com 5% de significância que o tempo de resposta não apresentou variação significativa com  $p\text{-valor}=0,58 > 0,05$ .

Figura 19– Efeito da temperatura no tempo de resposta no LI– B



### 5.3 INSTITUIÇÃO C - Brasília, Distrito Federal

#### 5.3.1 Caracterização da amostra C

Foram coletados dados de 18 alunos de cursos de nível superior (área de engenharia) da Universidade de Brasília, na cidade de Brasília, DF. A amostra foi composta apenas de homens, com idade média de  $19 \pm 2$  anos. Em relação ao estado civil, todos eram solteiros. O peso médio declarado da amostra foi de  $73,2 \pm 10,2$ kg e a altura média foi de  $1,80 \pm 0,1$  m. Quanto à resistência térmica das roupas, a média foi de  $0,44 \pm 0,18$ .

#### 5.3.2 Caracterização do ambiente e dos elementos arquitetônicos

O laboratório de informática (LI) onde ocorreram as coletas possuía uma área de aproximadamente  $186,93 \text{ m}^2$  onde se encontravam 80 computadores com monitores com tela de cristal líquido-LCD (Liquid Cristal Display) distribuídos em 10 bancadas, onde os periféricos de entrada e saída encontravam-se sobre a bancada juntamente com o gabinete e o estabilizador encontrava-se na parte de baixo das bancadas (figuras 20 e 21). As janelas eram de vidro e situavam-se na parte lateral

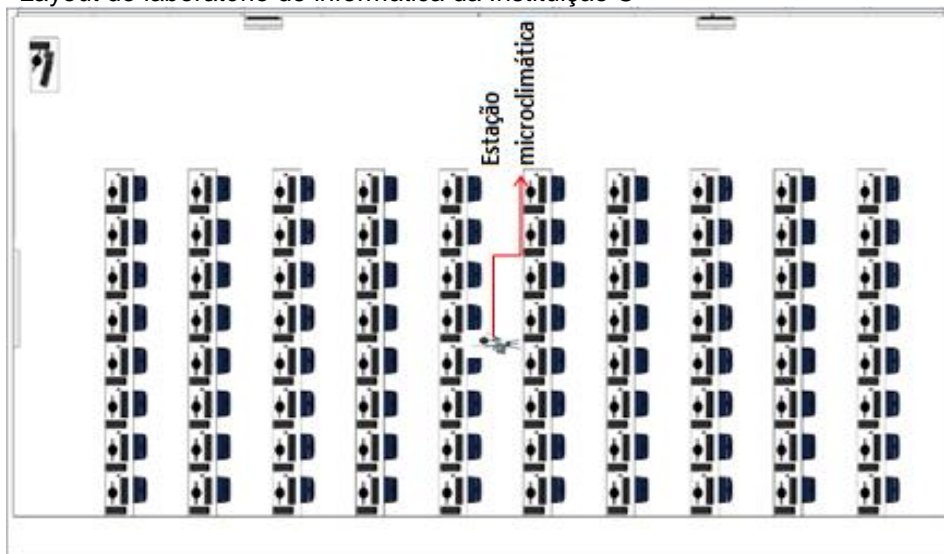


do laboratório. A sala era climatizada com dois aparelhos de ar-condicionados do tipo Split. A sala apresentava iluminação artificial e natural.

Figura 20–Laboratório de informática da Instituição C



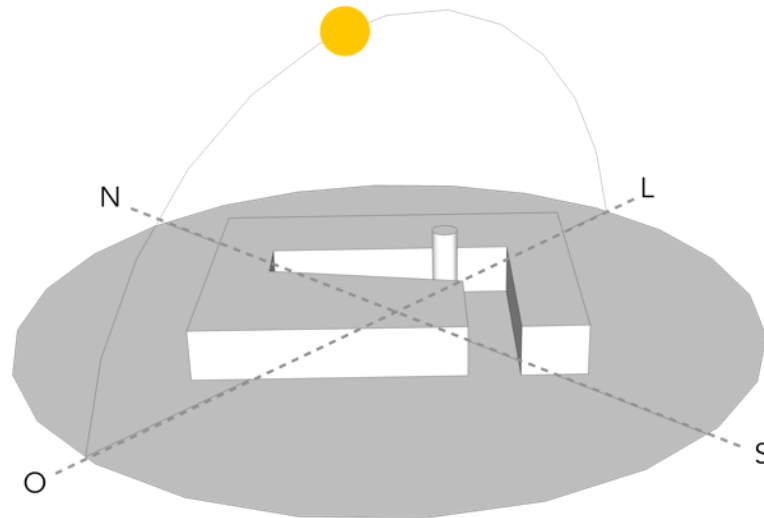
Figura 21 – Layout do laboratório de informática da Instituição C



A maior fachada do edifício está voltada para nordeste (figura 22) e sua implantação gera um pátio central. O mesmo possui dois pavimentos e o laboratório se encontra no térreo e na porção mais leste do edifício, desta forma não recebe incidência solar direta no período da tarde. As aberturas estão localizadas na fachada sudeste do edifício, ocupando uma área de 33,83m<sup>2</sup>, ou 59,22% do laboratório e

possuem brises, elemento de proteção solar externo, que reduz as transferências térmicas para o interior.

Figura 22 – Esquema do caminho do sol no edifício do LI – C



Os materiais predominantes no projeto, de acordo com o quadro 10, são o concreto e a alvenaria e a cobertura tem como material as telhas de fibrocimento.

Quadro 10- Materiais construtivos e revestimento do LI – C

<b>COMPONENTE DO EDIFÍCIO</b>	<b>MATERIAL</b>
<b>Cobertura</b>	Telhas de fibrocimento
<b>Estrutura da coberta</b>	Madeira
<b>Forro</b>	Placas de PVC
<b>Vedação da sala</b>	Tijolo cerâmico vazado
<b>Esquadrias</b>	Aço e vidro incolor comum
<b>Revestimento externo da vedação</b>	Argamassa pintada de branco
<b>Revestimento interno da vedação</b>	Argamassa pintada de branco

### 5.3.3 Caracterização das condições climáticas externas

Em relação às condições climáticas, segundo a classificação de Köppen, o clima de Brasília é definido como subtropical de altitude, com inverno seco e verão ameno. Segundo Natal (2015) Brasília tem duas estações distintas: quente-úmida (verão chuvoso de outubro a abril), quente-seca (inverno seco de maio a setembro) com ausência de chuvas e diminuição da umidade relativa do ar a partir de junho, variando de 70% a 20% ou abaixo. A temperatura média anual é de cerca de 20°C, podendo chegar aos 29,7°C de média nas máximas em setembro, e aos 12,5°C de média nas mínimas nas madrugadas de inverno em julho.

De acordo com Braga e Amorim (2004) a forte incidência de radiação solar ofusca as estações intermediárias, assim, a primavera e o outono mal são notadas na região. A insolação alcança 2.600 horas anuais, sendo a média no verão de 160 horas mensais e no período seco de 290 horas mensais. A radiação solar apresenta valores elevados durante quase o ano todo. A radiação difusa é intensa no verão e menos intensa no inverno. A radiação direta é acentuada no inverno, sendo mais forte que a radiação direta em igual latitude, ao nível do mar.

As condições climáticas externas no período de coleta foram obtidas através dos dados disponíveis no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) das estações automáticas existentes e são apresentadas na tabela 8.

Tabela 8 – Condições meteorológicas na cidade durante o período de coleta no LI – C

Data	Hora	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Radiação (kJ/m <sup>2</sup> )	Chuva (mm)
		Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média		
26/04/16	13-14	25	24	24,33	61	57	58,33	1221	0,00
27/04/16	13-14	23	22	22,66	77	70	72,66	1531	0,00
28/04/16	13-14	20	17	18,66	85	74	79,33	3036	0,00
Média		22,66	21	21,88	74,33	67	70,11	1929	0,00

Fonte: Adaptado de INMET (2016)

A temperatura máxima do ar (25°C) ocorreu no dia 26/04 e a temperatura mínima do ar (17°C) ocorreu no último dia de coleta. Observa-se que a temperatura média dos três dias ficou em torno de 21,88°C, relativamente baixa em comparação as outras duas instituições. Ao verificar a umidade percebe-se que ela obteve o maior valor no dia 28/04 com 85% e a mínima de 57% no dia 26/04. A umidade relativa média nos dois últimos dias foi similar com exceção do primeiro dia de coleta onde a umidade relativa ficou em torno de 58,33%. Já a umidade média dos três dias ficou

em torno 70,11%. A incidência de radiação teve seu maior valor no último dia da coleta com 3036 kJ/m<sup>2</sup> e seu menor valor no primeiro dia de coleta com 1221 kJ/m<sup>2</sup>. Não houve registro de chuvas durante a coleta de dados.

### 5.3.4 Análise das variáveis térmicas

A tabela 9 apresenta as médias relativas a cada variável térmica medida nas três sessões do experimento no interior do laboratório de informática, bem como seus respectivos desvios padrões.

Tabela 9 – Condições térmicas médias das coletas de dados no Laboratório de informática C

Sessão	Data	T <sub>a</sub> (°C)		T <sub>g</sub> (°C)		T <sub>rm</sub> (°C)		T <sub>g</sub> -t <sub>a</sub> (°C)		UR(%)		V(m/s)	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	MD	DP	Média	DP
20°C	26/04/16	24,53	0,01	24,37	0,01	24,27	0,01	-0,16	0,01	66,12	0,21	0,1	0,00
24°C	27/04/16	24,58	0,01	24,47	0,01	24,41	0,00	-0,11	0,01	58,04	0,07	0,1	0,00
30°C	28/04/16	24,79	0,01	24,48	0,01	24,50	0,01	-0,32	0,02	71,70	0,18	0,1	0,00

Fonte: Elaborado pela autora (2016)

De acordo com a tabela 9 observa-se que nas três sessões a temperatura do ar foi semelhante, possivelmente devido ao tamanho da sala, impossibilitando o resfriamento da mesma, e ainda devido à sala de aula apresentar um aparelho de ar condicionado funcionando apenas na função ventilação.

Dessa forma averiguou-se na primeira sessão que a média da T<sub>a</sub> alcançada foi de 24,53°C. Já a média de T<sub>g</sub> foi de 24,37°C e a média da T<sub>rm</sub> ficou em torno de 24,27°C. Na segunda sessão a temperatura média do ar na sala atingiu o valor de 24,58°C, a temperatura radiante média ficou em torno de 24,41°C e a temperatura média de globo alcançada foi de 24,47 °C. Na última sessão a média da temperatura do ar alcançada foi de 24,79°C, considerando uma temperatura externa em torno de 18,66°C. A temperatura média de globo e a temperatura radiante média nesta sessão foram respectivamente 24,48°C e 24,50°C.

Observa-se que houve uma diferença em média de -0,16°C entre a temperatura de globo (T<sub>g</sub>) e a temperatura do ar (t<sub>g</sub>-t<sub>a</sub>) na sessão de 20°C; -0,11°C na sessão de 24°C e -0,32°C na sessão de 30°C. Estas diferenças foram relativamente menores e negativas devido à temperatura de globo ter sido menor do que a temperatura do ar e devido possivelmente também à temperatura externa nos dias

das coletas. Assim constata-se que tanto a temperatura de globo como a temperatura radiante média (gráficos 7 e 8) atingiram valores menores do que a temperatura do ar significando que não houve troca de calor por radiação no ambiente.

Em relação à umidade relativa esta foi maior que a externa no primeiro dia de coleta e nos outros dois últimos dias apresentou valores menores de umidade comparados aos dados do ambiente externo apresentado pelo INMET (tabela 8).

Gráfico 7– Variação da temperatura radiante média nos três dias de coletas no LI – C

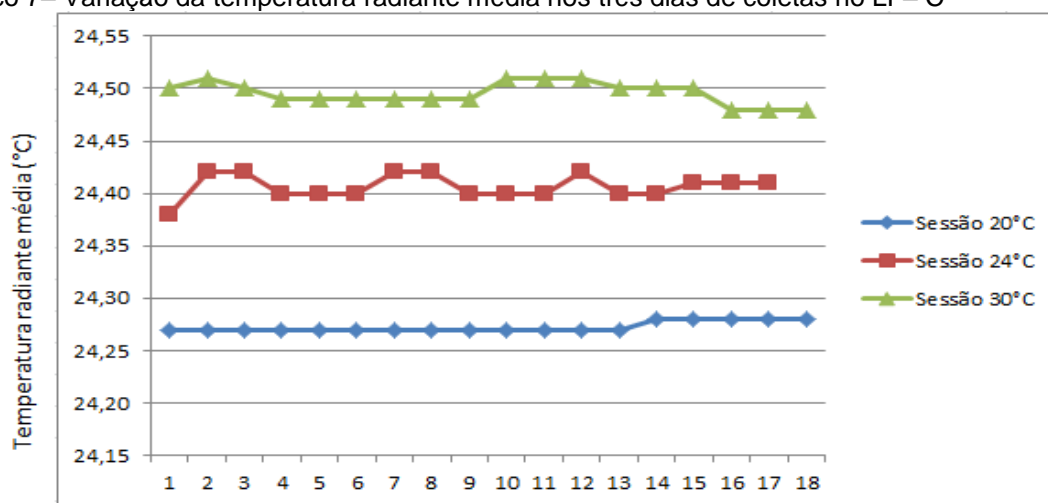
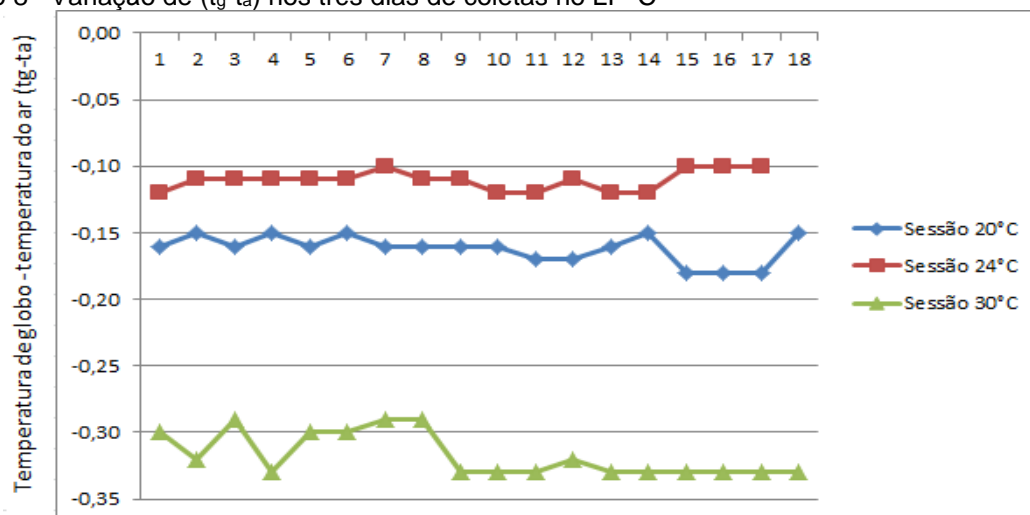


Gráfico 8– Variação de  $(t_g - t_a)$  nos três dias de coletas no LI– C



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

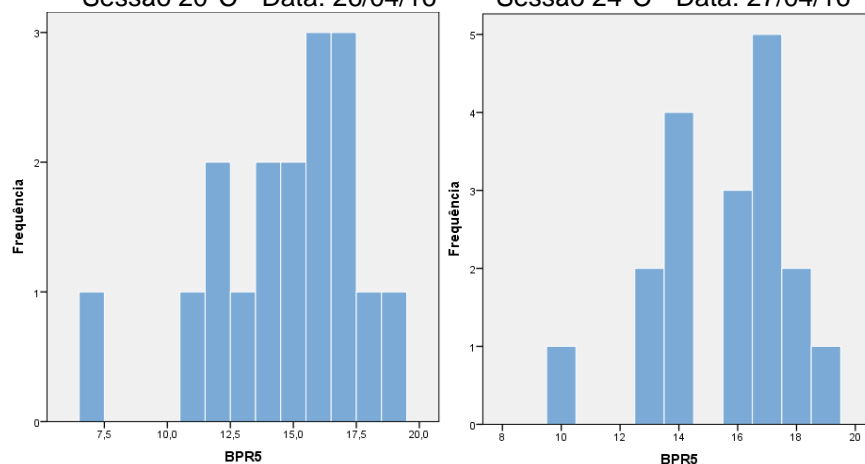
Para ratificar as análises descritivas realizou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para amostras independentes para testar se existiam diferenças

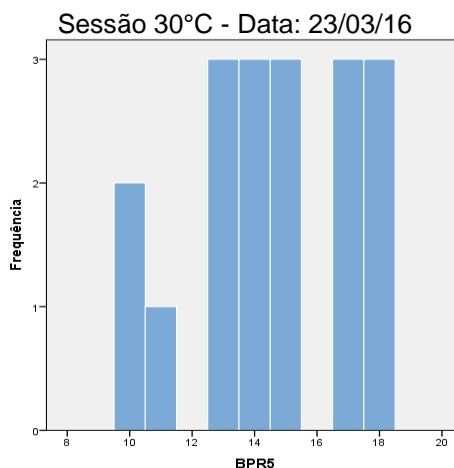
significativas da temperatura radiante média ( $t_{rm}$ ) e também da diferença entre a temperatura do ar e da temperatura do globo ( $t_g-t_a$ ) entre os três dias de coleta. Com  $p$ -valor  $< 0,05$ , aceita-se a hipótese alternativa de que houve diferenças significativas das variáveis supracitadas entre os três dias de coletas corroborando assim com os resultados das análises descritivas.

### 5.3.5 Análise do desempenho dos estudantes

Considerando a classificação dos autores Almeida e Primi (2004), apresentada na metodologia, observa-se de acordo com a figura 23 que no primeiro dia de coleta, com a temperatura radiante média em torno dos  $24,27^\circ\text{C}$  nenhum estudante apresentou um desempenho cognitivo abaixo da média. Em relação aos alunos que apresentaram seu desempenho cognitivo na média e acima da média obtivemos respectivamente 38,88% e 61,12%. No segundo dia de coleta, com a temperatura radiante média em torno de  $24,41^\circ\text{C}$ , novamente observou-se que nenhum estudante apresentou desempenho cognitivo abaixo da média; 52,94% dos estudantes apresentaram um desempenho na média e 47,06% apresentaram um desempenho acima da média. No terceiro dia, com a temperatura radiante média em torno de  $24,50^\circ\text{C}$ , nenhum dos estudantes obteve um desempenho abaixo da média, 66,67% obtiveram um desempenho na média e 33,33% obtiveram um desempenho acima da média.

Figura 23– Histograma do número de acertos nos testes de raciocínio total no LI– C  
Sessão  $20^\circ\text{C}$  - Data: 26/04/16      Sessão  $24^\circ\text{C}$  - Data: 27/04/16

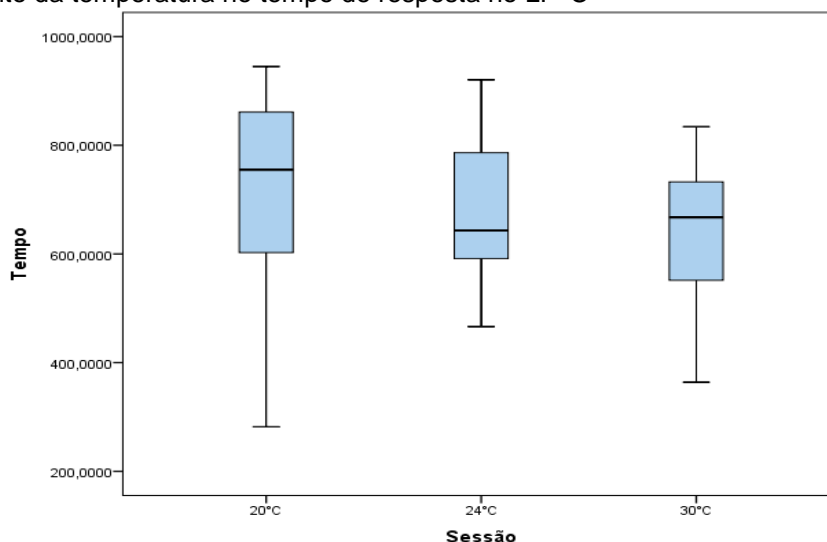




Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Em relação ao tempo despendido nos testes de raciocínio total observa-se, de acordo com a figura 24, que em geral, assim como as instituições anteriores, os estudantes levaram mais tempo ao responder os testes na sessão de temperatura a 20°C, o que pode ter acontecido por se tratar do primeiro dia de coleta, e os mesmos terem desenvolvido uma forma mais acelerada de resolver as questões durante as demais sessões. Foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis o que resultou com 5% de significância que o tempo de resposta apresentou variação significativa com  $p\text{-valor} = 0,001 < 0,05$  levando menor tempo para a realização dos testes na temperatura mais crítica (30°C).

Figura 24– Efeito da temperatura no tempo de resposta no LI– C



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

## **5.4 INSTITUIÇÃO D - Petrolina, Pernambuco**

### **5.4.1 Caracterização da amostra D**

Foram coletados dados de 15 alunos de cursos de nível superior (área de engenharia) da Universidade Federal do Vale do São Francisco, na cidade de Petrolina, PE. A amostra foi composta de 10 homens e de 5 mulheres, com idade média de  $22 \pm 2$  anos. Em relação ao estado civil, todos eram solteiros. O peso médio declarado e a altura média declarada da amostra para os homens foram respectivamente  $78,5 \pm 9,80$ kg e  $1,82 \pm 0,02$  m. Para as mulheres, o peso médio declarado foi de  $68,1 \pm 18,35$ kg e a altura média declarada foi de  $1,69 \pm 0,05$  m.

Quanto à resistência térmica das roupas, a média foi de  $0,37 \pm 0,18$  clo. Tendo em vista a orientação de utilizar roupas similares nos diferentes dias de pesquisa, a média nos três dias foi similar: 0,36 clo no primeiro dia; 0,34 clo no segundo dia; e 0,37 clo no último dia da pesquisa.

### **5.4.2 Caracterização do ambiente e dos elementos arquitetônicos**

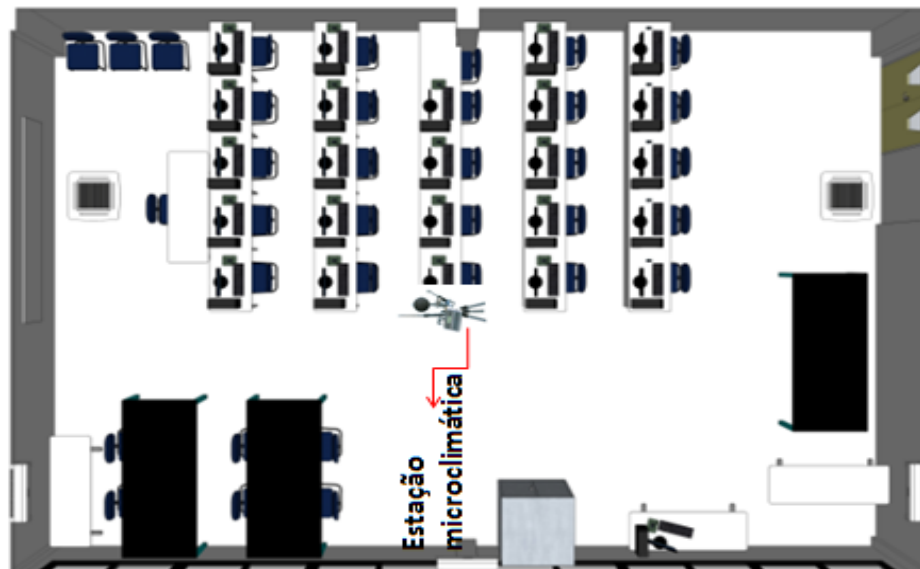
O laboratório de informática (LI) onde ocorreram as coletas possuía uma área de aproximadamente  $100,24$  m<sup>2</sup> onde se encontravam 24 computadores com monitores com tela de cristal líquido-LCD (Liquid Cristal Display) dispostos em 5 bancadas, onde os periféricos de entrada e saída encontravam-se sobre a bancada juntamente com o gabinete e o estabilizador encontrava-se na parte de baixo das bancadas (figura 25). O laboratório possuía cinco aparelhos de ar condicionado no total, sendo três splits e dois de teto, posicionados de acordo com o layout da figura 26.



Figura 25–Laboratório de informática da Instituição D



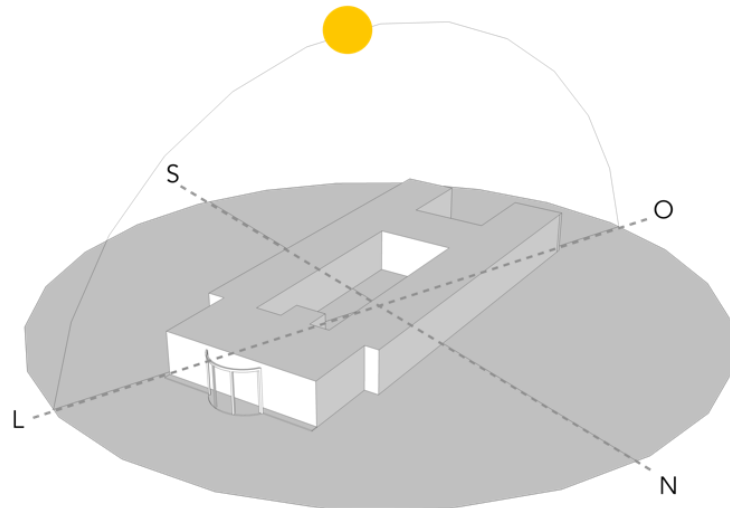
Figura 26 – Layout do laboratório de informática da Instituição D



A maior fachada do edifício está voltada para noroeste (figura 27), a forma alongada da edificação, neste caso, aumenta a radiação solar que incide no edifício, devido a sua orientação. Possui três pavimentos e o laboratório em estudo está localizado no primeiro pavimento e na parcela mais norte do edifício, recebendo radiação solar na fachada noroeste no período da tarde. As aberturas - compostas por janelas de vidro com acabamento fosco, onde um conjunto dessas janelas estava coberto por papel pardo- estão localizadas justamente nessa fachada, ocupando uma área de 15,21m<sup>2</sup>, ou 43,89% do laboratório e não há a preocupação com a proteção dessas aberturas. As janelas estavam bem quentes e era desconfortável permanecer

próximo às mesmas. Os pilares dispostos externamente à edificação auxiliam na proteção das aberturas, porém de forma ineficaz, sendo assim elas recebem radiação solar direta, resultando em um grande ganho de calor para o ambiente.

Figura 27 – Esquema do caminho do sol no edifício do LI – D



Os materiais predominantes no projeto, de acordo com o quadro 12, são o concreto e a alvenaria, a cobertura tem como material as telhas de fibrocimento esse material contribui para ganho de calor para o interior da edificação, pela sua transmitância térmica e fator de calor solar elevados.

Quadro 12- Materiais construtivos e revestimento do LI – D

COMPONENTE DO EDIFÍCIO	MATERIAL
<b>Cobertura</b>	Telhas de fibrocimento
<b>Estrutura da coberta</b>	Madeira
<b>Forro</b>	Laje de concreto, pintada de branco
<b>Vedação da sala</b>	Tijolo cerâmico vazado
<b>Esquadrias</b>	Aço e vidro incolor comum, revestida com papel pardo
<b>Revestimento externo da vedação</b>	Argamassa pintada de amarela
<b>Revestimento interno da vedação</b>	Argamassa pintada de branco

#### 5.4.3 Caracterização das condições climáticas externas

O município de Petrolina-PE está localizado na mesorregião São Francisco e na Microrregião Petrolina do Estado de Pernambuco, limitando-se a norte com Dormentes, a sul com Estado da Bahia, a leste com Lagoa Grande, e a oeste com Estado da Bahia e Afrânio. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Bswb – semiárido (quente e seco), com a ocorrência de duas estações bem diferenciadas: estação seca entre os meses de maio e outubro e a estação chuvosa entre os meses de novembro e abril, com precipitação pluviométrica média de 431,8 mm/ano; sendo as chuvas caracterizadas por baixos índices, concentradas em um único período do ano e mal distribuídas espacialmente.

As condições climáticas externas no período de coleta foram obtidas através dos dados disponíveis no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) das estações automáticas existentes e são apresentadas na tabela 10.

Tabela 10 – Condições meteorológicas na cidade durante o período de coleta no LI – D

Data	Hora	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Radiação (kJ/m <sup>2</sup> )	Chuva (mm)
		Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média		
23/05/16	13-14	30	27	28,5	54	47	50,5	2123	0,00
24/05/16	13-14	31	28	29,5	55	48	51,5	1777	0,00
25/05/16	13-14	27	25	26	77	62	69,5	850	0,00
Média		29,5	26,5	28	62	52,33	51,16	1583,33	0,00

Fonte: Adaptado de INMET (2016)

Observa-se que a temperatura máxima do ar (31°C) ocorreu no segundo dia de coleta, no dia 24/05 e a temperatura mínima do ar (25°C) ocorreu no último dia de coleta dia 25/05. A temperatura média dos três dias ficou em torno de 28°C. Ao verificar a umidade percebe-se que ela obteve o maior valor no dia 25/05 com 77% e a mínima de 47% no dia 23/05. A umidade relativa média nos dois primeiros dias foi similar com exceção do último dia de coleta onde a umidade relativa ficou em torno de 69,5%. Já a umidade média dos três dias ficou em torno 69,2%. A incidência de radiação teve seu maior valor no primeiro dia da coleta com 2123 kJ/m<sup>2</sup> e seu menor valor no último dia de coleta com 850 kJ/m<sup>2</sup>. A quantidade de chuva apresentou valores similares em todos os dias da pesquisa.

#### 5.4.4 Análise das variáveis térmicas

A tabela 11 apresenta as médias relativas a cada variável térmica medida nas três sessões do experimento no interior do laboratório de informática, bem como seus respectivos desvios padrões.

Tabela 11 – Condições térmicas médias das coletas de dados no Laboratório de informática D

Sessão	Data	Ta (°C)		Tg (°C)		Trm (°C)		Tg-ta(°C)		UR(%)		v(m/s)	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	MD	DP	Média	DP
20°C	23/05/16	22,43	0,00	23,27	0,00	23,71	0,01	0,83	0,00	64,95	0,16	0,1	0,00
24°C	24/05/16	23,04	0,01	24,04	0,02	24,64	0,03	1,00	0,02	64,53	0,03	0,1	0,00
30°C	25/05/16	28,52	0,04	28,64	0,05	28,70	0,05	0,12	0,01	71,83	0,16	0,1	0,00

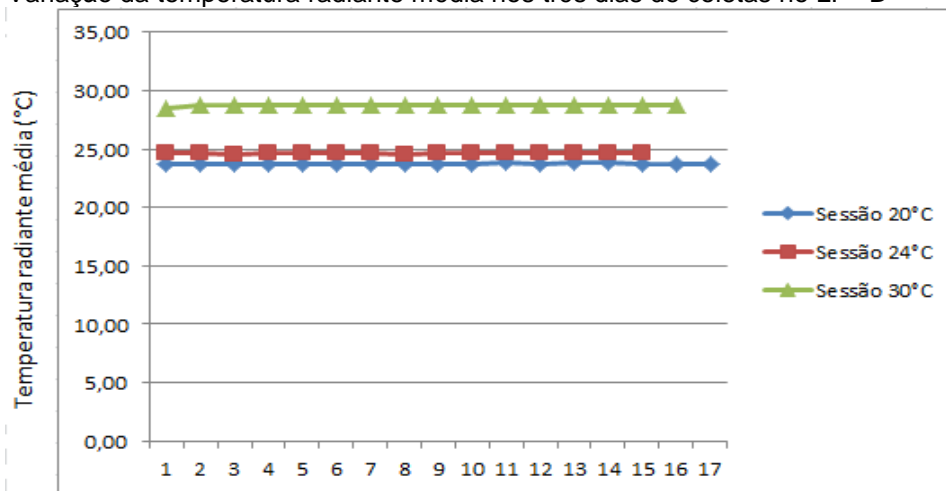
Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Averiguou-se que na primeira sessão a média da temperatura do ar alcançada foi de 22,43°C. Já a temperatura média de globo foi de 23,27°C e a temperatura radiante média ficou em torno de 23,71°C. Na segunda sessão a temperatura média do ar na sala atingiu o valor de 23,04°C; a temperatura radiante média ficou em torno de 24,64°C e a temperatura média de globo alcançada foi de 24,04°C Na última sessão a média da temperatura do ar alcançada foi de 28,52°C, considerando uma temperatura externa em torno de 28°C. A temperatura média de globo e a temperatura radiante média nesta sessão foram respectivamente 28,64°C e 28,70°C.

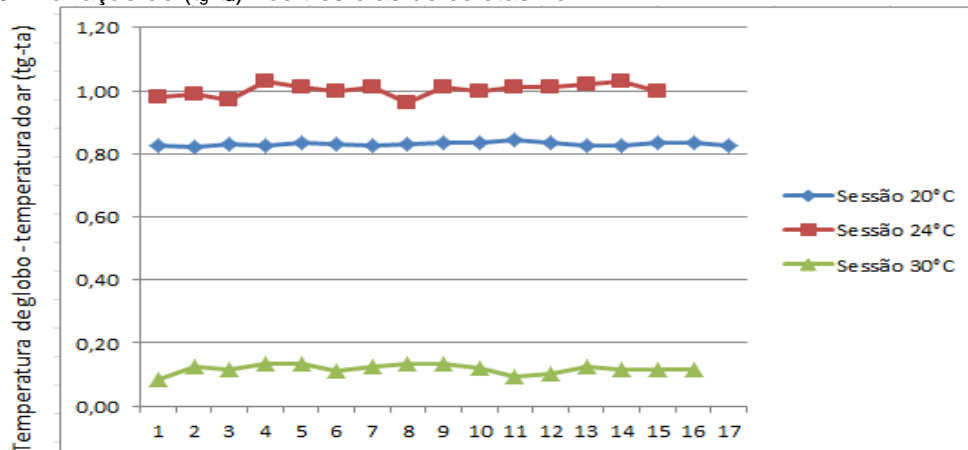
Observa-se que houve uma diferença em média de 0,83°C entre a temperatura de globo e a temperatura do ar ( $t_g-t_a$ ) nas sessões de 20°C, de 1°C na sessão de 24°C e na sessão de 30°C esta diferença foi relativamente menor com o valor de 0,12°C. De acordo com o gráfico 9 percebe-se que a variação da temperatura radiante média nas sessões de 20°C e 24°C foi praticamente igual. Comparando as duas sessões citadas com a sessão de 30°C observa-se que houve entre elas uma variação na temperatura radiante média em torno de 5°C. Pelo gráfico 10 observa-se em relação à ( $t_g-t_a$ ) que ela foi maior nas sessões 24°C e 20°C, constatando assim troca de calor por radiação entre o ambiente e os alunos.

Em relação à umidade relativa esta apresentou valores maiores do que os dados externos nos dois primeiros dias de coletas e na sessão de 30°C apresentou também um valor maior, porém próximo a umidade externa apresentada pelo INMET (tabela 10).

Gráfico 9– Variação da temperatura radiante média nos três dias de coletas no LI – D



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Gráfico 10– Variação de  $(t_g - t_a)$  nos três dias de coletas no LI– D

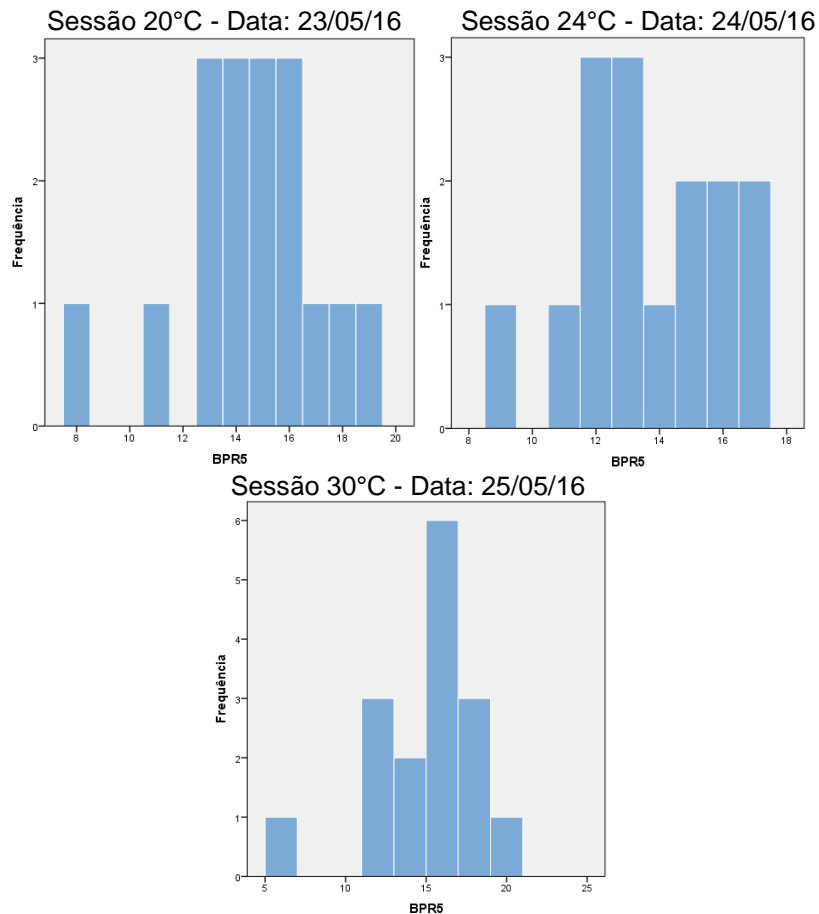
Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Para ratificar as análises descritivas realizou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para amostras independentes para testar se existiam diferenças significativas da temperatura radiante média ( $t_m$ ) e também da diferença entre a temperatura do ar e da temperatura do globo ( $t_g - t_a$ ) entre os três dias de coleta. Com  $p$ -valor  $< 0,05$ , aceita-se a hipótese alternativa de que houve diferenças significativas das variáveis supracitadas entre os três dias de coletas corroborando assim com os resultados das análises descritivas.

#### 5.4.5 Análise do desempenho dos estudantes

Considerando a classificação dos autores Almeida e Primi (2004), apresentada na metodologia, observa-se de acordo com a figura 28 que no primeiro dia de coleta, com a temperatura radiante média em torno dos 23,71°C, nenhum estudante apresentou um desempenho cognitivo abaixo da média. Em relação aos alunos que apresentaram seu desempenho cognitivo na média e acima da média obtivemos respectivamente 73,33% e 26,66%. No segundo dia de coleta, com a temperatura radiante média em torno de 24,64°C, novamente observou-se que nenhum estudante apresentou desempenho cognitivo abaixo da média; 64,70% dos estudantes apresentaram um desempenho na média e 35,29% apresentaram um desempenho acima da média. No terceiro dia, com a temperatura radiante média em torno de 28,70°C, nenhum dos estudantes obteve um desempenho abaixo da média, 50% obtiveram um desempenho na média e 50% obtiveram um desempenho acima da média.

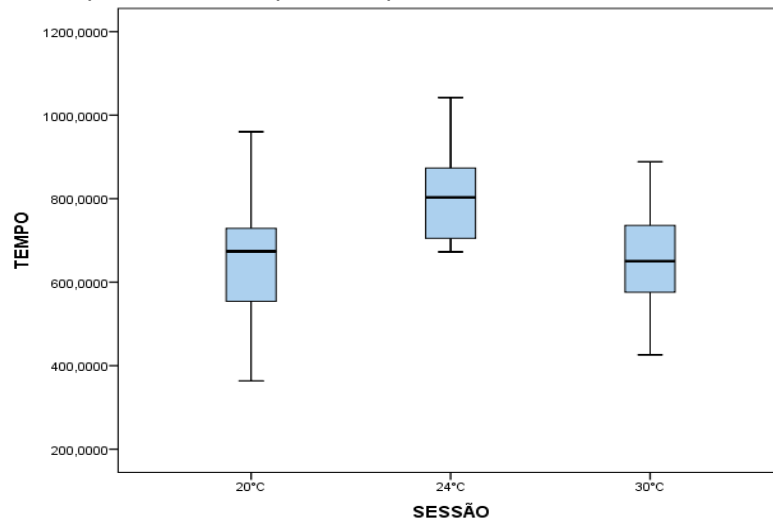
Figura 28– Histograma do número de acertos nos testes de raciocínio total no LI– D



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Em relação ao tempo despendido nos testes de raciocínio total observa-se, de acordo com a figura 29, que em geral, assim como as instituições anteriores, os estudantes levaram mais tempo ao responder os testes na sessão de temperatura a 20°C, o que pode ter acontecido por se tratar do primeiro dia de coleta, e os mesmos terem desenvolvido uma forma mais acelerada de resolver as questões durante as demais sessões. Foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis o que resultou com 5% de significância que o tempo de resposta apresentou variação significativa com  $p\text{-valor} = 0,001 < 0,05$  levando menor tempo para a realização dos testes na temperatura mais crítica (30°C).

Figura 29– Efeito da temperatura no tempo de resposta no LI– D



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

## 5.5 INSTITUIÇÃO E – São Carlos, São Paulo

### 5.5.1 Caracterização da amostra E

Foram coletados dados de 15 alunos de cursos de nível superior do Instituto de Ciências Matemáticas e da Computação (ICMC) da Universidade de São Paulo, na cidade de São Carlos, SP. A amostra foi composta de 11 homens e 4 mulheres, com idade média de  $23 \pm 2$  anos. Em relação ao estado civil, 87% eram solteiros e 13% casados. O peso médio declarado da amostra foi de  $78,75 \pm 13$  Kg para os

homens e  $57,73 \pm 7,5$  Kg para as mulheres. A altura média foi de  $1,82 \pm 0,08$  m para os homens e  $1,65 \pm 0,02$  m para as mulheres.

Quanto à resistência térmica das roupas, a média foi de  $0,39 \pm 0,12$  clo. Tendo em vista a orientação de utilizar roupas similares nos diferentes dias de pesquisa, a média nos três dias foi similar: 0,39 clo no primeiro dia; 0,38 clo no segundo dia; e 0,39 clo no último dia da pesquisa.

### 5.5.2 Caracterização do ambiente e dos elementos arquitetônicos

O laboratório de informática (LI) onde ocorreram as coletas possuía uma área de aproximadamente  $61,68\text{m}^2$  onde se encontravam 40 computadores com monitores com tela de cristal líquido-LCD (Liquid Cristal Display) dispostos em 4 bancadas, onde os periféricos de entrada e saída encontravam-se sobre a bancada juntamente com o gabinete e o estabilizador encontrava-se na parte de baixo das bancadas (figuras 30 e 31) As salas eram climatizadas através de 2 ar condicionados do tipo Split e possuíam iluminação artificial distribuída no teto.

Figura 30–Laboratório de informática da Instituição E

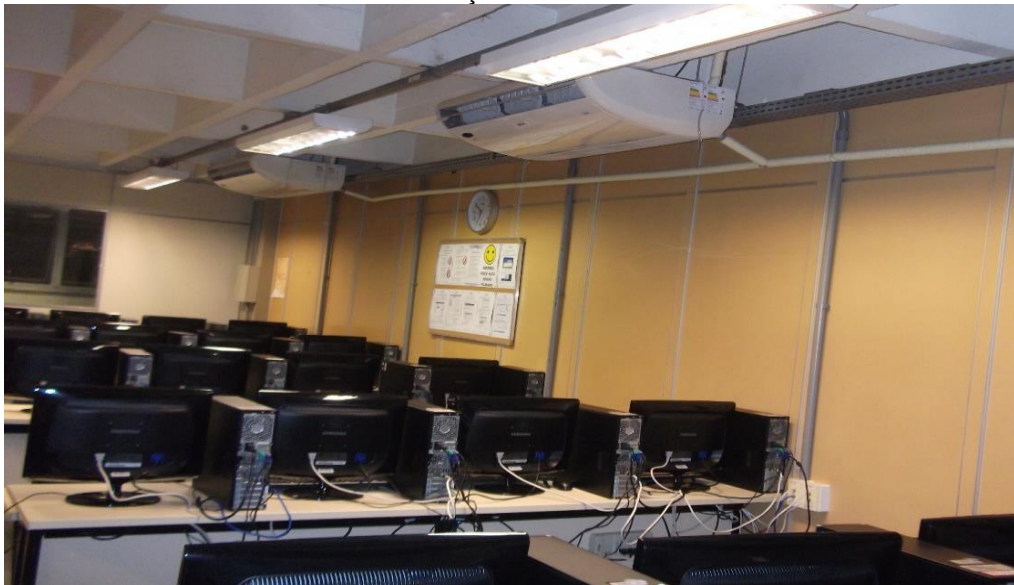
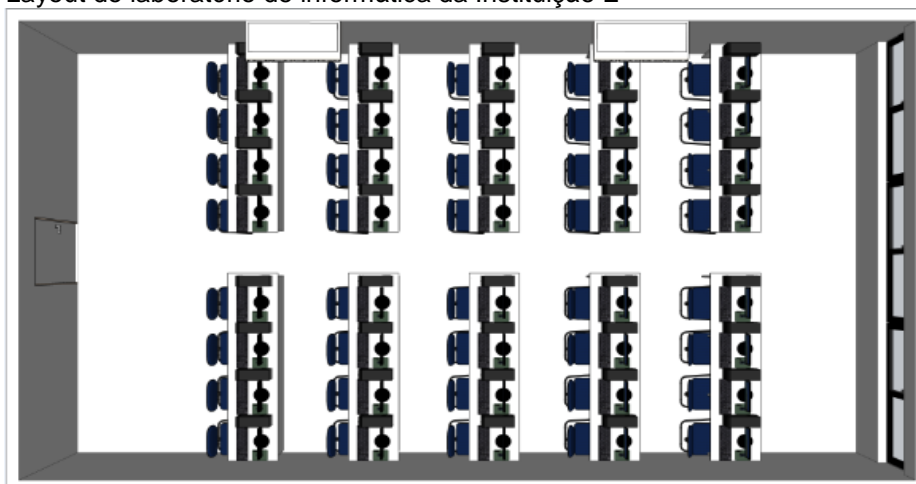


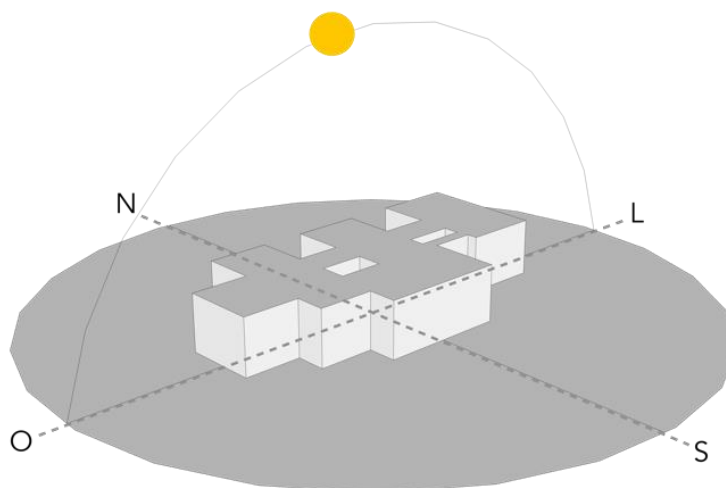


Figura 31— Layout do laboratório de informática da Instituição E



A edificação é alongada e sua maior fachada está orientada para norte (figura 32), diminuindo assim a exposição do edifício à radiação solar, as aberturas ocupam uma área de  $7\text{m}^2$ , ou 40,79% do laboratório. A vegetação existente no entorno ajuda a resfriar o fluxo de ar que penetra na edificação e funciona também como proteção à radiação solar.

Figura 32 – Esquema do caminho do sol no edifício do LI – E



Os materiais predominantes no projeto, de acordo com o quadro 12, são o concreto e a alvenaria, a cobertura tem como material as telhas de fibrocimento, porém seu fator de calor solar é bem reduzido, quando comparado com outros locais, pois o mesmo não se encontra enegrecido. As vedações laterais são compostas de

divisórias em PVC.

Quadro 12- Materiais construtivos e revestimento do LI – E

<b>COMPONENTE DO EDIFÍCIO</b>	<b>MATERIAL</b>
<b>Cobertura</b>	Telhas de fibrocimento
<b>Estrutura da coberta</b>	Madeira
<b>Forro</b>	Laje de concreto, pintada de branco
<b>Vedação da sala</b>	Divisórias em PVC
<b>Esquadrias</b>	Aço e vidro incolor comum
<b>Revestimento externo da vedação</b>	Argamassa pintada de branco

### 5.5.3 Caracterização das condições climáticas externas

O município de São Carlos encontra-se na região Centro-Norte do Estado de São Paulo. Dista aproximadamente 240km da capital do estado e limita-se ao norte com os municípios de Rincão, Luis Antônio e Santa Lúcia; ao sul com Ribeirão Bonito, Brotas e Itirapina; a oeste com Ibaté, Araraquara e Américo Brasiliense e a leste com Descalvado e Analândia.

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa - clima subtropical/clima tropical de altitude. Os índices pluviométricos definem a existência de duas estações bem distintas, definidas pelos seus índices pluviométricos: uma seca e uma chuvosa. A estação seca estende-se de abril a setembro, caracterizada por precipitações escassas, baixa umidade do ar, reduzida nebulosidade e menor temperatura do ar. A estação chuvosa ocorre nos meses de outubro a março e caracteriza-se por elevadas temperaturas do ar, alta umidade do ar e precipitações abundantes (BARBOSA, 2009).

As condições climáticas externas no período de coleta foram obtidas através dos dados disponíveis no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) das estações automáticas existentes e são apresentadas na tabela 12.

Tabela 12 – Condições meteorológicas na cidade durante o período de coleta no LI – E

Data	Hora	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Radiação (kJ/m <sup>2</sup> )	Chuva (mm)
		Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média		
17/11/14	17-18	28	27	27,5	33	32	32,5	1477,03	0,00
18/11/14	17-18	29	28	28,5	34	30	32	2040,50	0,00
19/11/14	17-18	30	28	29	30	29	29,5	2012,33	0,00
Média		29	27,6	28,3	32	30,6	31,3	1843,28	0,00

Fonte: Adaptado de INMET (2016)

Observa-se que a temperatura máxima do ar (30°C) ocorreu no último dia de coleta, no dia 19 e a temperatura mínima do ar (27°C) ocorreu no primeiro dia de coleta dia 17. A temperatura média dos três dias ficou em torno de 28,3°C. Ao verificar a umidade percebe-se que ela obteve o maior valor no dia 18 com 34% e a mínima de 29% no dia 19. De forma geral, a umidade relativa média foi semelhante nos três dias de coletas. A incidência de radiação teve seu maior valor no segundo dia da coleta com 2040,50 kJ/m<sup>2</sup> e seu menor valor no primeiro dia de coleta com 1477,03 kJ/m<sup>2</sup>. Não houve registro de chuvas durante a coleta.

#### 5.5.4 Análise das variáveis térmicas

A tabela 13 apresenta as médias relativas a cada variável térmica medida nas três sessões do experimento no interior do laboratório de informática, bem como seus respectivos desvios padrões.

Tabela 13 – Condições térmicas médias das coletas de dados no Laboratório de informática E

Sessão	Data	Ta (°C)		Tg (°C)		Trm (°C)		Tg-ta(°C)		UR(%)		v (m/s)	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	MD	DP	Média	DP
20°C	18/11/14	23,09	0,07	23,72	0,03	24,10	0,06	0,631	0,07	48,16	0,73	0,1	0,00
24°C	17/11/14	23,30	0,03	23,94	0,01	24,33	0,02	0,651	0,03	53,90	0,59	0,1	0,00
30°C	19/11/14	28,80	0,01	27,78	0,05	27,19	0,08	-1,018	0,04	45,37	0,33	0,1	0,00

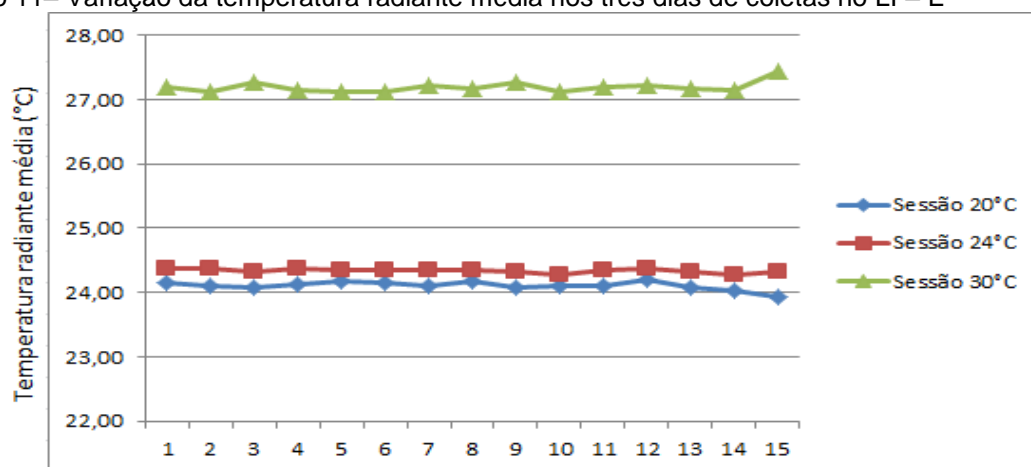
Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Observa-se que as temperaturas do ar nas duas primeiras sessões foram semelhantes, variando menos de 1°C, o que pode ter ocorrido devido a apenas um ar condicionado estar em condições de uso nos dias de coleta. Nota-se que os valores também foram semelhantes nas duas primeiras sessões para as variáveis temperatura radiante média ( $t_{rm}$ ) e ( $t_g-t_a$ ), constatando troca de calor por radiação no

ambiente. Na sessão de 30°C houve uma diferença em média de  $-1,02^{\circ}\text{C}$  entre  $(t_g-t_a)$ , ressaltando assim que não houve troca de calor por radiação no ambiente.

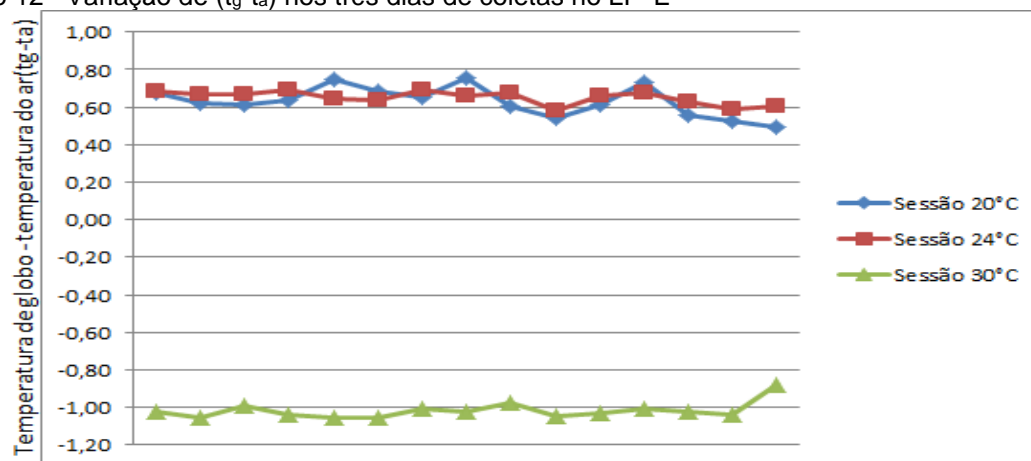
De acordo com os gráficos 11 e 12 percebe-se assim que a variação da temperatura radiante média nas sessões de 20°C e 24°C foi, de fato, bastante semelhante. Comparando as duas sessões citadas com a sessão de 30°C observa-se que houve entre elas uma variação na temperatura radiante média em torno de  $3^{\circ}\text{C}$ . Observa-se em relação à  $(t_g-t_a)$  que ela também foi semelhante nas sessões 24°C e 20°C (variando aproximadamente entre  $0,5^{\circ}\text{C}$  a  $0,7^{\circ}\text{C}$ ).

Gráfico 11– Variação da temperatura radiante média nos três dias de coletas no LI – E



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Gráfico 12– Variação de  $(t_g-t_a)$  nos três dias de coletas no LI– E



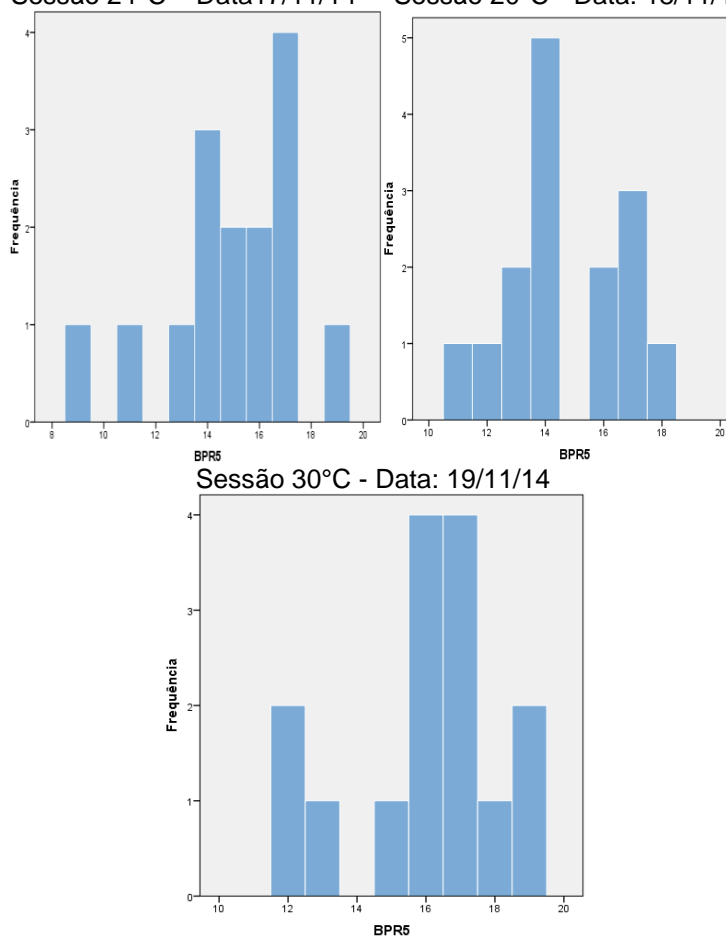
Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Em relação à umidade relativa percebe-se que em todas as sessões esta variável apresentou valores maiores do que os dados externos nos três dias de coletas apresentadas pelo INMET (tabela 24).

### 5.5.5 Análise do desempenho dos estudantes

Observa-se de acordo com a figura 33 que no primeiro dia de coleta, com a temperatura radiante média em torno dos 24,33°C, nenhum estudante apresentou um desempenho cognitivo abaixo da média. Em relação aos alunos que apresentaram seu desempenho cognitivo na média e acima da média obtivemos respectivamente 53,33% e 46,66%. No segundo dia de coleta, com a temperatura radiante média em torno de 24,10°C, novamente observou-se que nenhum estudante apresentou desempenho cognitivo abaixo da média; 60% dos estudantes apresentaram um desempenho na média e 40% apresentaram um desempenho acima da média. No terceiro dia de coleta, com a temperatura radiante média em torno de 27,19°C, nenhum dos estudantes obteve um desempenho abaixo da média, 27% obtiveram um desempenho na média e 73% obtiveram um desempenho acima da média.

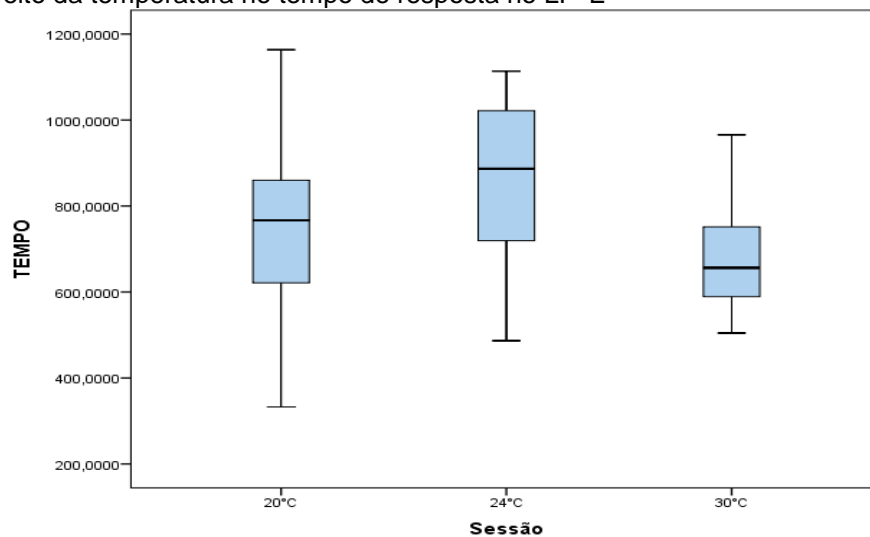
Figura 33– Histograma do número de acertos nos testes de raciocínio total no LI– E  
Sessão 24°C – Data 17/11/14 Sessão 20°C - Data: 18/11/14



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Em relação ao tempo despendido nos testes de raciocínio total observa-se, de acordo com a figura 34, assim como nas demais instituições, que os estudantes levaram mais tempo ao responder os testes na sessão de temperatura a 20°C, o que pode ter acontecido por se tratar do primeiro dia de coleta, e os mesmos terem desenvolvido uma forma mais acelerada de resolver as questões durante as demais sessões. Foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis o que resultou com 5% de significância que o tempo de resposta apresentou variação significativa com  $p\text{-valor} = 0,001 < 0,05$  levando menor tempo para a realização dos testes na temperatura mais crítica (30°C).

Figura 34– Efeito da temperatura no tempo de resposta no LI– E



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

## 5.6 INSTITUIÇÃO F - Manaus, Amazonas

### 5.6.1 Caracterização da amostra F

Foram coletados dados de 28 alunos de cursos de nível superior (área de engenharia) da Universidade Federal do Amazonas - UFAM, na cidade de Manaus, AM. A amostra foi composta de 16 homens e 12 mulheres, com idade média de  $19 \pm 1$  ano. O peso médio declarado da amostra foi de  $75,1 \pm 9,5$  Kg para os homens e  $60,1 \pm 8,1$  Kg para as mulheres. A altura média foi de  $1,72 \pm 0,07$  m para os homens

e  $1,61 \pm 0,04$  m para as mulheres. Quanto à resistência térmica das roupas, a média foi de  $0,40 \pm 0,10$  clo.

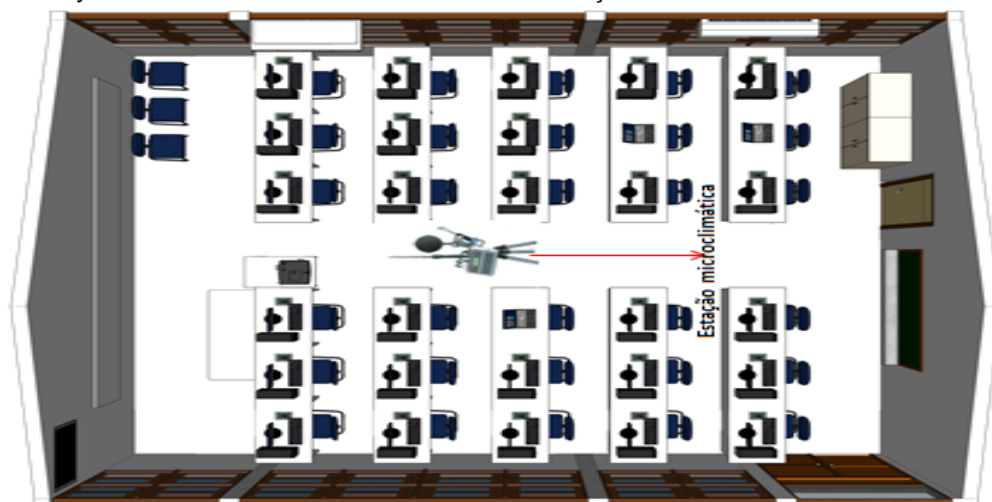
### 5.6.2 Caracterização do ambiente e dos elementos arquitetônicos

O laboratório de informática (LI) onde ocorreram as coletas possuía uma área de aproximadamente  $69,42 \text{ m}^2$  onde estavam inseridos 30 computadores com monitores com tela de cristal líquido-LCD (Liquid Cristal Display), onde os periféricos de entrada e saída e gabinete encontravam-se sobre a bancada e o estabilizador encontrava-se abaixo da bancada (figuras 35 e 36). O laboratório possuía dois aparelhos de ar condicionado Split, localizados na parede Norte e nas fachadas Norte e Sul havia janelas de madeira e vidro.

Figura 35 - Laboratório de informática da Instituição F

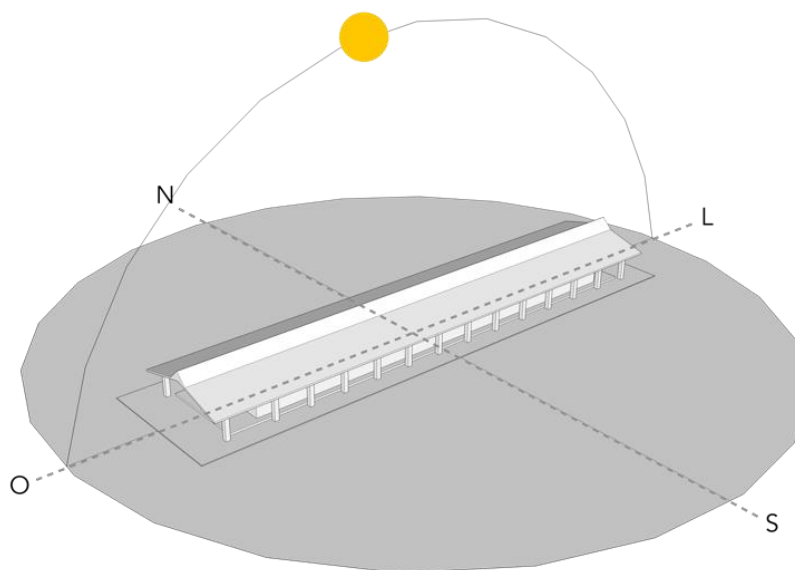


Figura 36 – Layout do laboratório de informática da Instituição F



A maior fachada do edifício está voltada para Norte-Sul (figura 37), a forma alongada das edificações reduz a exposição a radiação solar e expõe as fachadas maiores aos ventos dominantes. As aberturas estão bem dimensionadas e localizadas na fachada Norte e Sul, ocupando uma área de  $17,85\text{m}^2$ , ou  $61,78\%$ , na fachada Norte e uma área de  $14,5\text{m}^2$ , ou  $42,37\%$ , na fachada Sul, do laboratório. Com relação ao entorno, os jardins existentes ajudam a resfriar o fluxo de ar que penetra na edificação e funcionam também como proteção à radiação solar.

Figura 37 – Esquema do caminho do sol no edifício do LI – F





Os materiais predominantes no projeto, de acordo com o quadro 13, são estrutura metálica, concreto e alvenaria, a cobertura tem como material as telhas de fibrocimento e por ser independente funciona como uma ampla proteção para o edifício e sua circulação, através dos seus beirais e, por ser acima da laje dos ambientes, forma um colchão de ar ventilado entre as telhas de fibrocimento e o forro de concreto.

Quadro 13- Materiais construtivos e revestimento do LI – F

<b>COMPONENTE DO EDIFÍCIO</b>	<b>MATERIAL</b>
<b>Cobertura</b>	Telhas de fibrocimento
<b>Estrutura da coberta</b>	Metálica, pintada de verde
<b>Forro</b>	Laje de concreto, revestida com cortiça
<b>Vedação da sala</b>	Tijolo cerâmico vazado
<b>Esquadrias</b>	Madeira e vidro incolor comum
<b>Revestimento externo da vedação</b>	Pastilha cerâmica
<b>Revestimento interno da vedação</b>	Argamassa pintada de branco e fórmica bege até altura de 1,80m

### 5.6.3 Caracterização das condições climáticas externas

A cidade de Manaus, capital do estado do Amazonas está situada no centro geográfico da Amazônia, na sub-região dos Rios Negro e Solimões. Em relação às condições climáticas, segundo a classificação de Köppen, o clima de Manaus é equatorial úmido (Af), isto é, quente e úmido com temperatura média anual entre 23,2°C a 31,4°C. A variação sazonal limita-se a duas estações: inverno (janeiro a abril) com maior precipitação pluvial e verão (junho a novembro) período mais seco. A umidade relativa do ar gira em torno de 80% e a média anual de precipitação é de 2.286mm.

Segundo o relatório de Vulnerabilidade e efeitos das mudanças climáticas na saúde pública em Manaus (2010), em virtude de a cidade estar situada no encontro entre o rio Negro e o Solimões, a constante evaporação de suas águas causa um aumento da umidade atmosférica, mas por outro lado se obtém o benefício de uma diminuição direta da radiação solar.

As condições climáticas externas no período de coleta foram obtidas através dos dados disponíveis no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) das estações automáticas existentes e são apresentadas na tabela 14.

Tabela 14 – Condições meteorológicas na cidade durante o período de coleta no LI – F

Data	Hora	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Radiação (kJ/m <sup>2</sup> )	Chuva (mm)
		Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média		
01/08/16	17-18	33	33	33	52	44	48	2503	0,00
02/08/16	17-18	34	33	33,3	45	44	44,5	2455	0,00
03/08/16	17-18	35	34	34,5	39	35	37	2985	0,00
Média		34	33,3	33,6	45,3	41	43,1	2647,6	0,00

Fonte: Adaptado de INMET (2016)

Observa-se que a temperatura do ar e a quantidade de chuva apresentaram valores similares em todos os dias da pesquisa. A temperatura máxima obtida no período foi de 35°C e a mínima foi de 33°C. A temperatura média dos três dias ficou em torno de 33,6°C. Ao verificar a umidade percebe-se que ela obteve o maior valor no dia 01/08 com 52% e a mínima de 35% no dia 03/08. A umidade média dos três dias ficou em torno 43,1%. Em relação à incidência de radiação obteve-se seu maior valor no último dia da coleta com 2985kJ/m<sup>2</sup> e seu menor valor no segundo dia de coleta com 2455kJ/m<sup>2</sup>.

#### 5.6.4 Análise das variáveis térmicas

A tabela 15 apresenta as médias relativas a cada variável térmica medida nas três sessões do experimento no interior do laboratório de informática, bem como seus respectivos desvios padrões.

Tabela 15 – Condições térmicas médias das coletas de dados no Laboratório de informática F

Sessão	Data	Ta (°C)		Tg (°C)		Trm (°C)		Tg-ta(°C)		UR(%)		v(m/s)	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	MD	DP	Média	DP
20°C	01/08/16	23,58	0,12	22,94	0,03	22,55	0,07	-0,64	0,11	51,33	1,04	0,1	0,00
24°C	02/08/16	25,93	0,12	25,33	0,01	24,98	0,06	-0,60	0,11	55,36	1,16	0,1	0,00
30°C	03/08/16	30,85	0,12	29,92	0,00	29,39	0,06	-0,93	0,11	69,30	0,47	0,1	0,00

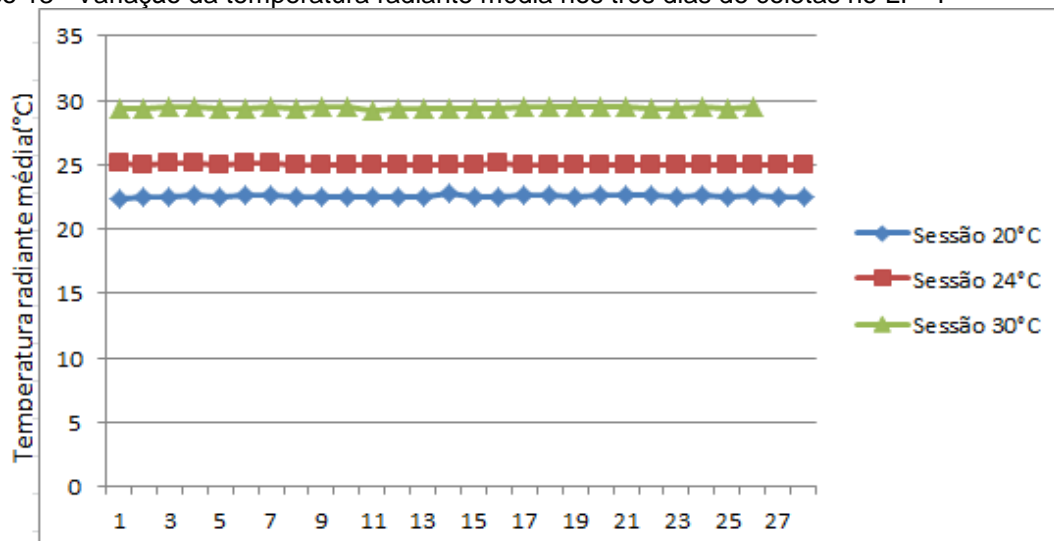
Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Na primeira sessão observa-se que a média da temperatura do ar alcançada foi de 23,58°C. Já a média da temperatura de globo foi de 22,94°C e a temperatura radiante média ficou em torno de 22,55°C. Na segunda sessão a temperatura média do ar na sala atingiu o valor de 25,93°C; a temperatura radiante média ficou em torno de 24,98°C e a temperatura média de globo alcançada foi de 25,33 °C. Na última sessão a média da temperatura do ar alcançada foi de 30,85°C, considerando uma temperatura externa em torno de 34,5°C. A temperatura radiante média e a temperatura de globo ficaram em torno, respectivamente, de 29,39°C e 29,92°C.

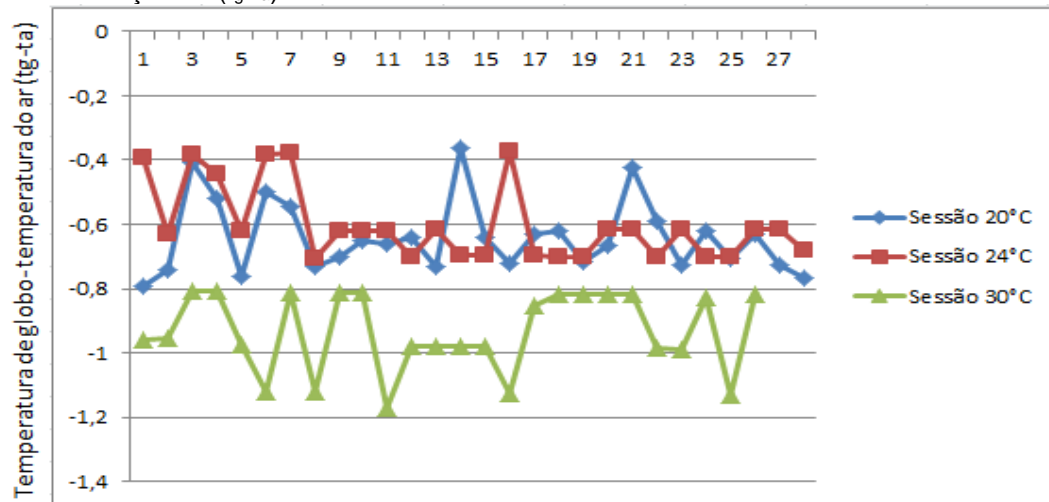
Observa-se que, em se tratando de ( $t_g-t_a$ ), houve diferença em média de -0,64°C na primeira sessão, -0,60°C na segunda sessão e -0,93°C no último dia de coleta, ou seja, em todo o experimento a temperatura de globo permaneceu menor que a do ar o que significa dizer que não houve troca de calor por radiação em nenhum dia de coleta. Este fato ocorreu possivelmente devido à adequação dos elementos arquitetônicos e dos materiais constituintes da sala que a isolassem da incidência de radiação solar. O gráfico 13 mostra a variação da temperatura radiante média e o gráfico 14 mostra a variação de ( $t_g-t_a$ ) durante os três dias de coleta.

Em relação à umidade relativa, percebe-se que em todas as sessões a umidade relativa foi maior do que a umidade externa apresentada pelo INMET (tabela 14).

Gráfico 13– Variação da temperatura radiante média nos três dias de coletas no LI – F



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Gráfico 14– Variação de  $(t_g-t_a)$  nos três dias de coletas no LI– F

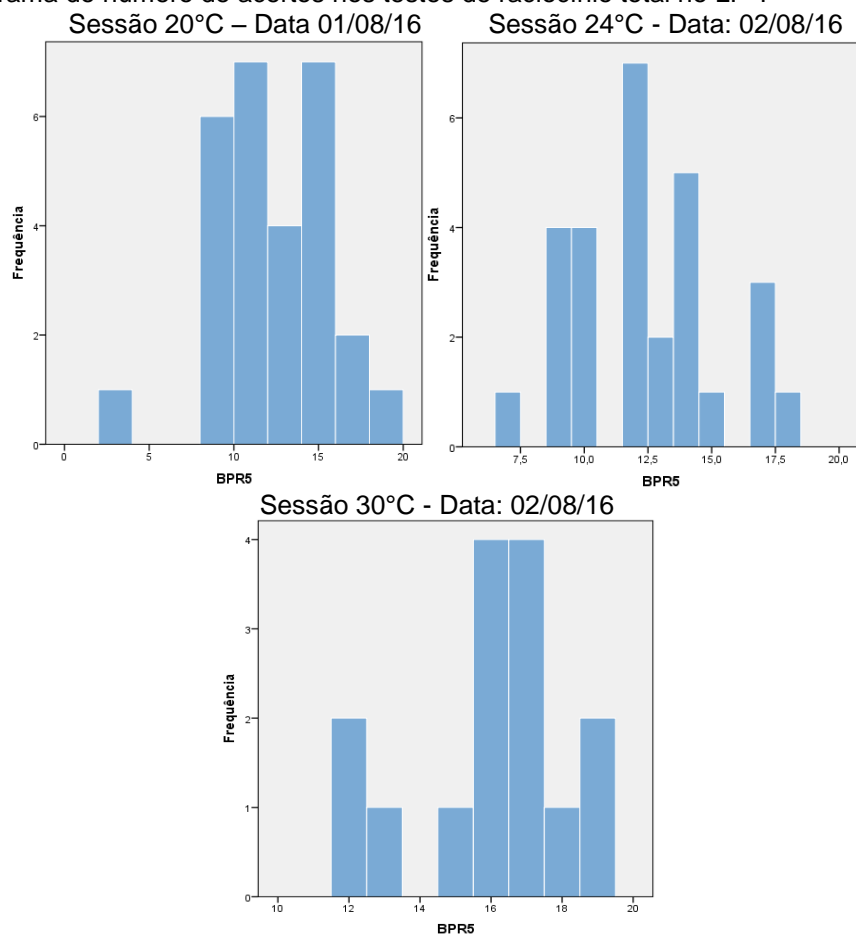
Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Para ratificar as análises descritivas realizou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para amostras independentes para testar se existem diferenças significativas da temperatura radiante média e também da diferença entre a temperatura do ar e da temperatura do globo ( $t_g - t_a$ ) entre os três dias de análise, e com p-valor menor que 0,05 rejeita-se a hipótese nula de que as duas variáveis são iguais nos três dias e consequentemente aceitando a hipótese alternativa de que há diferenças significativas das variáveis supracitadas entre os três dias de coletas.

### 5.6.5 Análise do desempenho dos estudantes

Percebe-se de acordo com a figura 38, considerando a classificação dos autores Almeida e Primi (2004), que no primeiro dia de coleta 3,57% de estudantes apresentaram um desempenho cognitivo abaixo da média. Em relação aos alunos que apresentaram seu desempenho cognitivo na média e acima da média obtivemos respectivamente 85,71% e 10,72%. No segundo dia de coleta, com a temperatura radiante média em torno de 25,81°C, observou-se que nenhum estudante apresentou desempenho cognitivo abaixo da média; 85,71% dos estudantes apresentaram um desempenho na média e 12,9% apresentaram um desempenho acima da média. No terceiro dia de coleta com a temperatura radiante média em torno de 29,95°C nenhum dos estudantes obteve um desempenho abaixo da média, 92,30% obtiveram um desempenho na média e 7,7% obtiveram um desempenho acima da média.

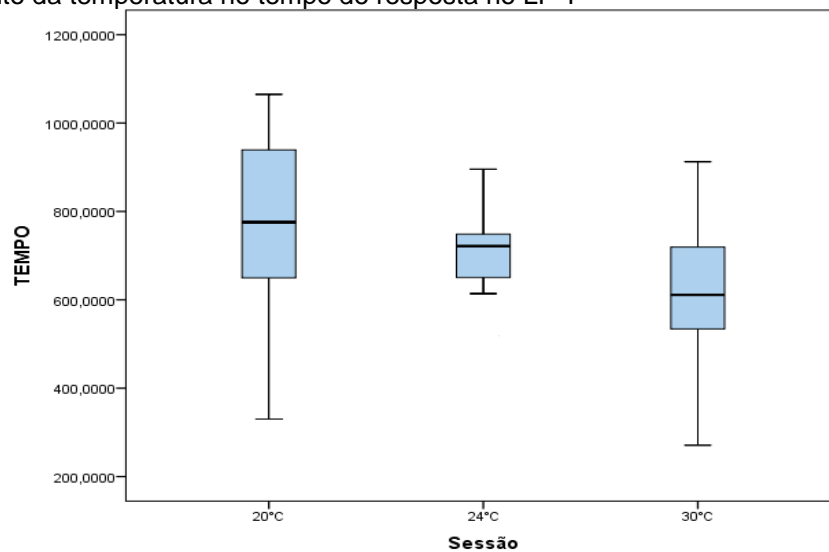
Figura 38– Histograma do número de acertos nos testes de raciocínio total no LI– F



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Em relação ao tempo despendido nos testes de raciocínio total observa-se, de acordo com a figura 39, que em geral, assim como as instituições anteriores, os estudantes levaram mais tempo ao responder os testes na sessão de temperatura a 20°C. Nota-se que na sessão 24°C ocorreu a menor variabilidade de tempo de resposta. Foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis o que resultou com 5% de significância que o tempo de resposta apresentou variação significativa com  $p\text{-valor} = 0,001 < 0,05$  levando menor tempo para a realização dos testes na temperatura mais crítica (30°C).

Figura 39– Efeito da temperatura no tempo de resposta no LI– F



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

## 5.7 INSTITUIÇÃO G – João Pessoa, Paraíba

### 5.7.1 Caracterização da amostra G

A turma selecionada para a coleta de dados era composta de 40 estudantes do 3º ano do curso de nível superior de Formação de Oficiais (CFO) do Centro de Educação da Academia de Polícia Militar da Paraíba. A amostra foi composta de 34 homens, com idade média de  $26 \pm 3$  anos e de 6 mulheres, com idade média de  $22 \pm 2$  anos. O peso médio declarado foi de  $59,3 \pm 4,72$  kg para mulheres e  $76,6 \pm 5,54$  kg para os homens. A altura média encontrada foi de  $1,63 \pm 0,01$  m para mulheres e  $1,72 \pm 0,05$  m para homens.

A resistência térmica das vestes adotada foi de 0,56 clo, de acordo com a Norma ISO 9920/95, correspondente ao fardamento oficial para oficiais e praças em escolas de formação em atividades de sala de aula.

Considerando que os alunos participantes da pesquisa usavam vestimentas padronizadas (resistência térmica da roupa constante); idade, peso e altura uniformes; residiam e realizavam tarefas no mesmo ambiente construído, e a quantidade diária de calorias dos alimentos consumida era adequada às atividades exercidas nos ambientes militar, tem-se que as variáveis pessoais não interferiram no experimento.

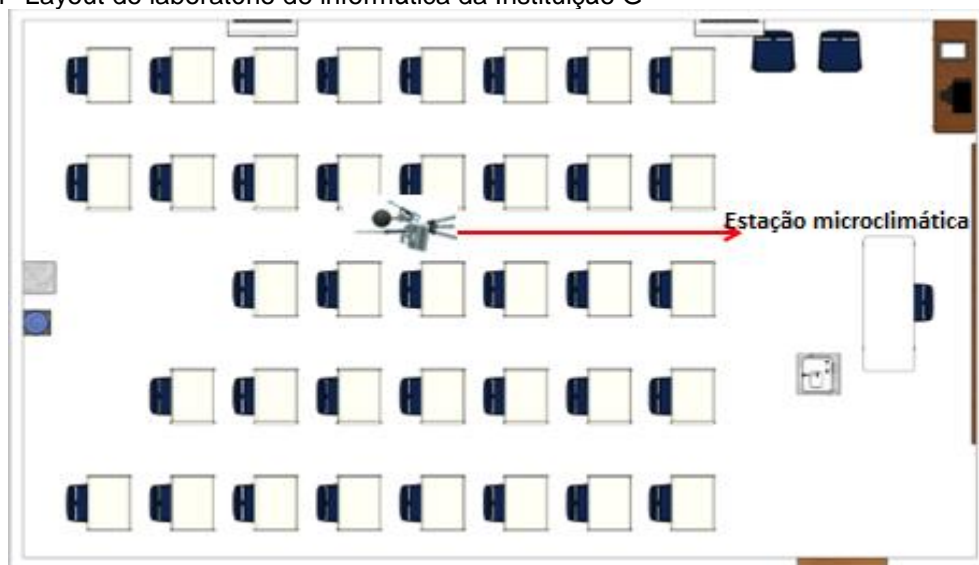
### 5.7.2 Caracterização do ambiente e dos elementos arquitetônicos

O laboratório de informática (LI) onde ocorreram as coletas possuía uma área de aproximadamente 76,38m<sup>2</sup> (figura 41). A sala era climatizada com dois aparelhos de ar-condicionado do tipo Split, apresentava iluminação artificial e um pouco de luz natural advindas das pequenas frestas das janelas posteriores como se observa na figura 40. As janelas eram compostas de madeira e de vidro, e eram voltadas para o sul, impossibilitando a vista para o exterior. A parede orientada para o norte recebia incidência solar. Os estudantes portavam seus laptops pessoais durante toda coleta de dados.

Figura 40- Laboratório de informática da Instituição G

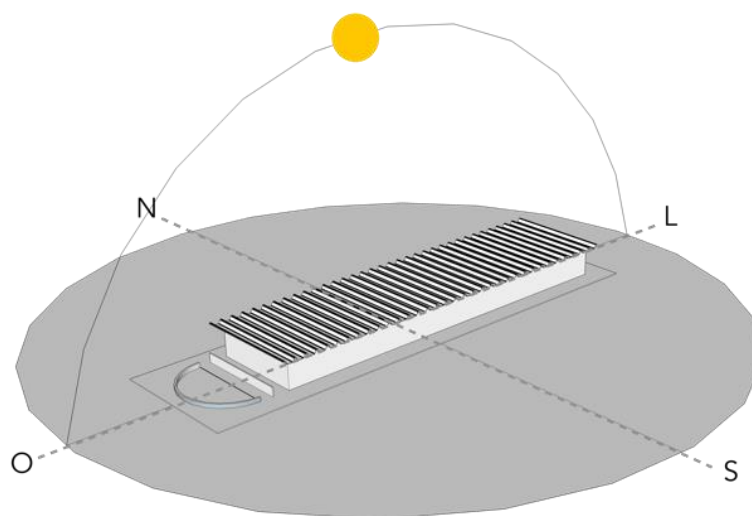


Figura 41- Layout do laboratório de informática da Instituição G



As maiores fachadas estão voltadas para Norte-Sul (figura 42), reduzindo assim a exposição à radiação solar, a forma alongada da edificação também contribui nesse aspecto. A edificação em estudo está afastada em relação às outras do seu entorno, permitindo a passagem de brisas. O LI em estudo está localizado na parcela mais oeste do edifício, desta forma recebe radiação solar no período da tarde, porém a presença de vegetação e um muro baixo protege esta fachada. As aberturas estão localizadas na fachada Sul, ocupando uma área de  $3,81\text{m}^2$ , ou 20,19%.

Figura 42 – Esquema do caminho do sol no edifício do LI – G





Os materiais predominantes no projeto, de acordo com o quadro 14, são o concreto e a alvenaria e a cobertura tem como material as telhas de fibrocimento, essa coberta, por ser acima da laje dos ambientes e estar apoiada sob elementos vazados, forma um colchão de ar ventilado entre as telhas de fibrocimento e o forro de concreto.

Quadro 14- Materiais construtivos e revestimento do LI – G

<b>COMPONENTE DO EDIFÍCIO</b>	<b>MATERIAL</b>
<b>Cobertura</b>	Telhas de fibrocimento
<b>Estrutura da coberta</b>	Madeira
<b>Forro</b>	Laje de concreto, pintada de branco
<b>Vedação da sala</b>	Tijolo cerâmico vazado
<b>Esquadrias</b>	Madeira e vidro incolor comum, pintado de preto
<b>Revestimento externo da vedação</b>	Argamassa pintada de branco
<b>Revestimento interno da vedação</b>	Argamassa pintada de branco

### 5.7.3 Caracterização das condições climáticas externas

João Pessoa está localizada na zona costeira do Estado da Paraíba limitando-se ao norte com o município de Cabedelo; a leste com o Oceano Atlântico; a oeste com os municípios de Bayeux e Santa Rita, banhada pelos rios Sanhauá, Mambaba e Paraíba; e ao Sul com o município do Conde. A cidade está localizada próxima a linha do Equador, recebendo radiação solar próxima das 3000 horas anuais o que determina um clima quente, caracterizado por uma temperatura média anual de 26°C (SOUZA, 2010).

Segundo a classificação climática de Köppen, João Pessoa encontra-se na faixa climática As' e bioclima Mediterrâneo ou Nordeste Sub-seco. A faixa As' é descrita como clima quente e úmido e é caracterizada por apresentar chuvas de outono, com média térmica anual acima dos 20°C e amplitude térmica anual em torno de 5°C.

As condições climáticas externas no período de coleta foram obtidas através dos dados disponíveis no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) das estações automáticas existentes e são apresentadas na tabela 16.

Tabela 16 – Condições meteorológicas na cidade durante o período de coleta no LI – G

Data	Hora	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Radiação (kJ/m <sup>2</sup> )	Chuva (mm)
		Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média		
18/07/12	12-14	28	26	27	87	77	83,3	2715	0,00
19/07/12	12-14	29	28	28,5	71	70	70,6	2640	0,00
20/07/12	12-14	29	28	28,5	90	87	88,5	1340	0,00
Média		28,6	27,3	28	82,6	78	80,8	2231,6	0,00

Fonte: Adaptado de INMET (2016)

Observa-se que a temperatura máxima do ar (29°C) ocorreu nos dias 19 e 20 e a temperatura mínima do ar (26°C) ocorreu no primeiro dia de coleta. A temperatura média dos três dias ficou em torno de 28°C. Ao verificar a umidade percebe-se que ela obteve o maior valor médio no dia 20/07 com 88,5% e o mínimo valor médio de 70,6% no dia 19/07. A umidade média dos três dias ficou em torno 80,8%. A incidência de radiação teve seu maior valor no primeiro dia da coleta com 2715kJ/m<sup>2</sup> e seu menor valor no último dia de coleta com 1340kJ/m<sup>2</sup>. Não houve registros de chuvas durante as coletas de dados.

### 5.7.3 Análise das variáveis térmicas

A tabela 17 apresenta as médias relativas a cada variável térmica medida nas três sessões do experimento no interior da sala de aula/laboratório de informática, bem como seus respectivos desvios padrões para cada amostra.

Tabela 17 – Condições térmicas médias das coletas de dados no Laboratório de informática G

Sessão	Data	Ta (°C)		Tg (°C)		Trm (°C)		Tg-ta(°C)		UR(%)		v(m/s)	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	MD	DP	Média	DP
20°C	18/07/12	20,28	0,30	22,13	0,08	23,26	0,15	1,86	0,26	43,59	1,64	0,1	0,00
24°C	19/07/12	23,00	0,20	25,24	0,31	26,56	0,38	2,25	0,17	49,27	2,53	0,1	0,00
30°C	20/07/12	29,50	0,44	29,59	0,59	29,64	1,16	0,09	1,03	62,87	9,31	0,1	0,00

Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Na primeira sessão observa-se que a média da temperatura do ar alcançada foi de 20,28°C; a média da temperatura de globo foi de 22,13°C e a média da

temperatura radiante média foi de 23,26°C. Na segunda sessão a temperatura média do ar e a temperatura de globo na sala atingiram os valores respectivamente de 23°C e 25,24°C. Em relação à temperatura radiante média os valores ficaram em torno de 26,56°C. Na última sessão a média da temperatura do ar alcançada foi de 29,50°C; a temperatura radiante média e a temperatura de globo ficaram em torno, respectivamente, de 29,64°C e 29,54°C.

Observa-se que houve uma diferença em média de 1,86°C e 2,25°C entre a temperatura de globo e a temperatura do ar ( $t_g-t_a$ ) nas sessões de 20°C e 24°C respectivamente. Na sessão de 30°C esta diferença foi em média de 0,09°C. Nesta instituição percebe-se que houve uma maior troca de radiação entre os alunos e o ambiente. Assim, de acordo com os gráficos 15 e 16 percebe-se que houve diferenças significativas na temperatura radiante média ( $T_{rm}$ ) e na diferença entre a temperatura de globo e a temperatura do ar ( $t_g-t_a$ ) nos três dias de coletas. Pode-se constatar dessa forma que houve troca de calor por radiação entre o ambiente e os alunos que ali se encontravam.

A umidade relativa interna na coleta da amostra para todos os dias apresentou valores menores do que os valores apresentados da umidade externa mostrada através da tabela 16, já as outras duas coletas os valores foram próximos aos apresentados pelo INMET.

Gráfico 15– Variação da temperatura radiante média nos três dias de coletas no LI – G

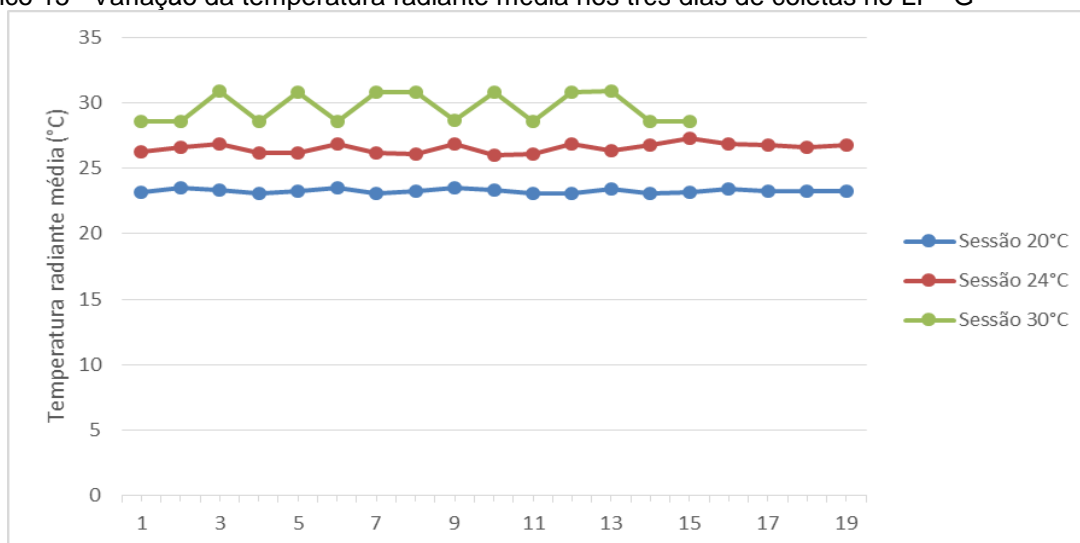
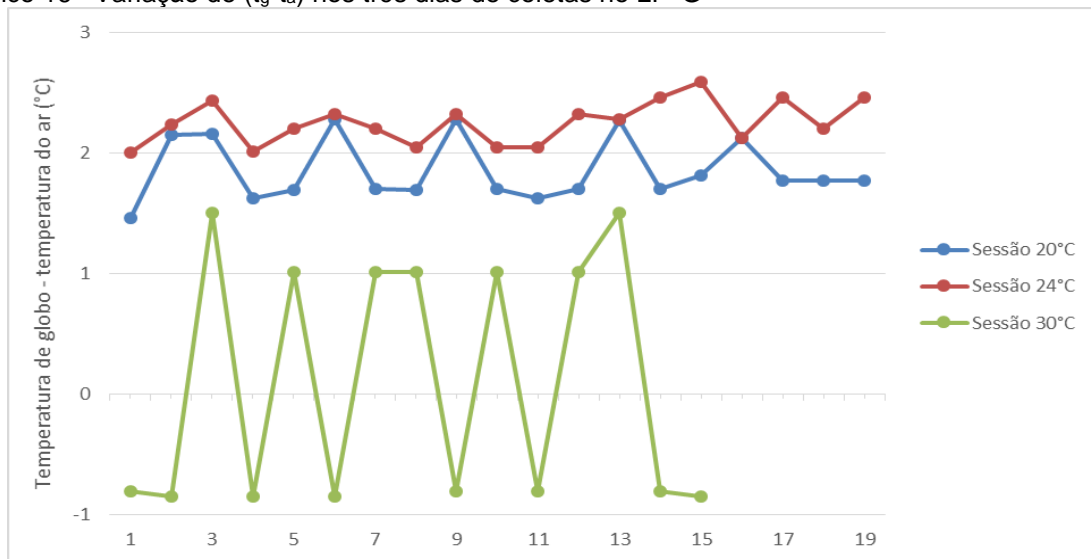


Gráfico 16– Variação de  $(t_g-t_a)$  nos três dias de coletas no LI– G

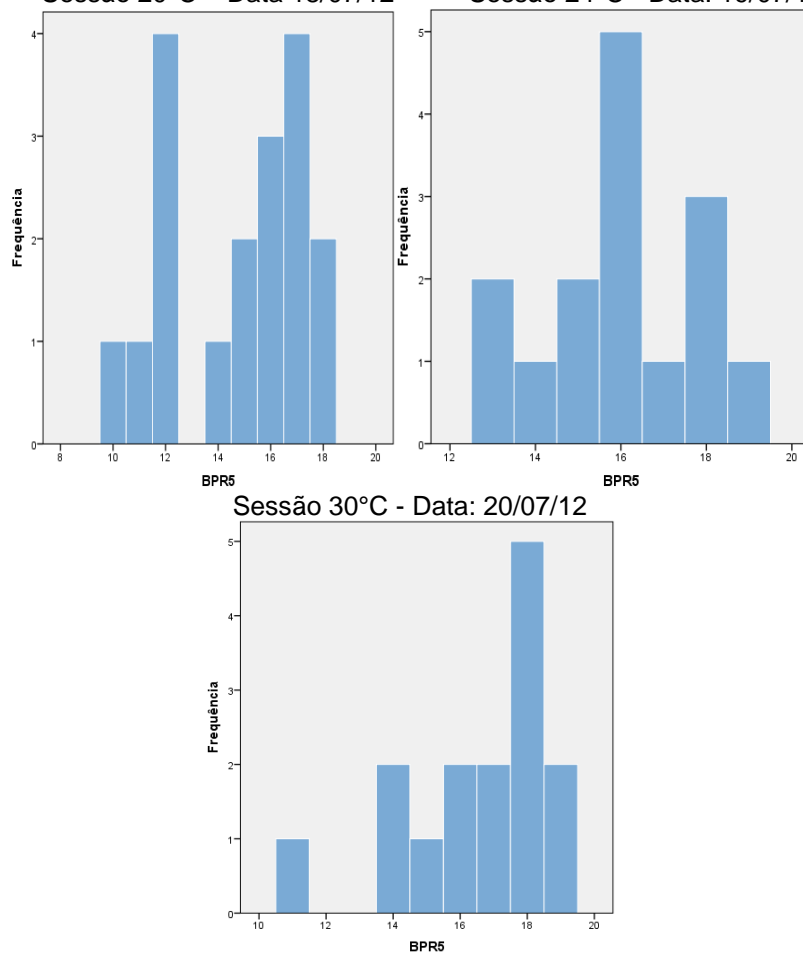
Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Para ratificar as análises descritivas realizou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para amostras independentes para testar se existem diferenças significativas da temperatura radiante média e também da diferença entre a temperatura do ar e da temperatura do globo ( $t_g-t_a$ ) entre as três coletas. Com  $p$ -valor  $< 0,05$ , aceita-se a hipótese alternativa de que há diferenças significativas das variáveis supracitadas entre os três dias de coleta corroborando assim com os resultados das análises descritivas.

#### 5.7.4 Análise do desempenho dos estudantes

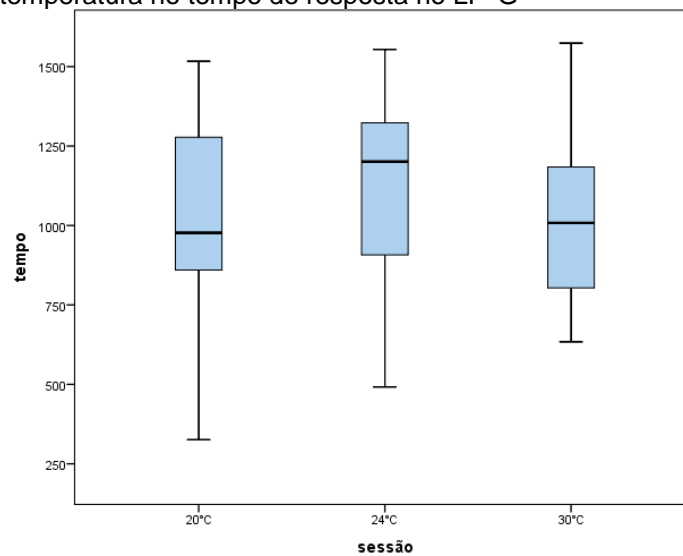
Percebe-se de acordo com a figura 43, considerando a classificação dos autores Almeida e Primi (2004), que para a amostra G, no primeiro dia de coleta, nenhum estudante apresentou um desempenho cognitivo abaixo da média. Em relação aos alunos que apresentaram seu desempenho cognitivo na média e acima da média obtivemos respectivamente 50% e 50%. No segundo dia de coleta observou-se que nenhum estudante apresentou desempenho cognitivo abaixo da média; 33,33% dos estudantes apresentaram um desempenho na média e 66,67% apresentaram um desempenho acima da média. No terceiro dia nenhum dos estudantes obteve um desempenho abaixo da média, 26,66% obtiveram um desempenho na média e 73,34% obtiveram um desempenho acima da média.

Figura 43– Histograma do número de acertos nos testes de raciocínio total no LI– G  
 Sessão 20°C – Data 18/07/12 Sessão 24°C - Data: 19/07/12



Em relação ao tempo despendido nos testes de raciocínio total observa-se, de acordo com a figura 44, que em geral, assim como as instituições anteriores, os estudantes levaram mais tempo ao responder os testes na sessão de temperatura a 20°C. Foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis o que resultou com 5% de significância que o tempo de resposta apresentou variação significativa com  $p\text{-valor} = 0,001 < 0,05$ .

Figura 44– Efeito da temperatura no tempo de resposta no LI- G



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

## 5.8 ANÁLISE DA TROCA DE CALOR POR RADIAÇÃO

Após as análises individuais, uniram-se os dados coletados da diferença entre a temperatura de globo e a temperatura do ar ( $t_g - t_a$ ) por LI para uma análise mais holística das trocas de calor por radiação entre o ambiente e o indivíduo. Através do quadro 15 observa-se o resultado dos valores obtidos do parâmetro supracitado para os três dias de ajustes.

Quadro 15– Quadro síntese da troca de calor por radiação por sessão e por LI

LI	SESSÃO 20°C	SESSÃO 24°C	SESSÃO 30°C
A	$T_g > T_a$ 0,97 °C ± 0,0 Houve troca de calor por radiação	$T_g > T_a$ 1,17 °C ± 0,0 Houve troca de calor por radiação	$T_g < T_a$ -0,17 °C ± 0,0 Não houve troca de calor por radiação
	$T_g > T_a$ 0,64 °C ± 0,0 Houve troca de calor por radiação	$T_g > T_a$ 0,51 °C ± 0,0 Houve troca de calor por radiação	$T_g < T_a$ -0,36 °C ± 0,0 Não houve troca de calor por radiação
C	$T_g < T_a$ -0,11 °C ± 0,0	$T_g < T_a$ -0,16 °C ± 0,0	$T_g < T_a$ -0,32 °C ± 0,0

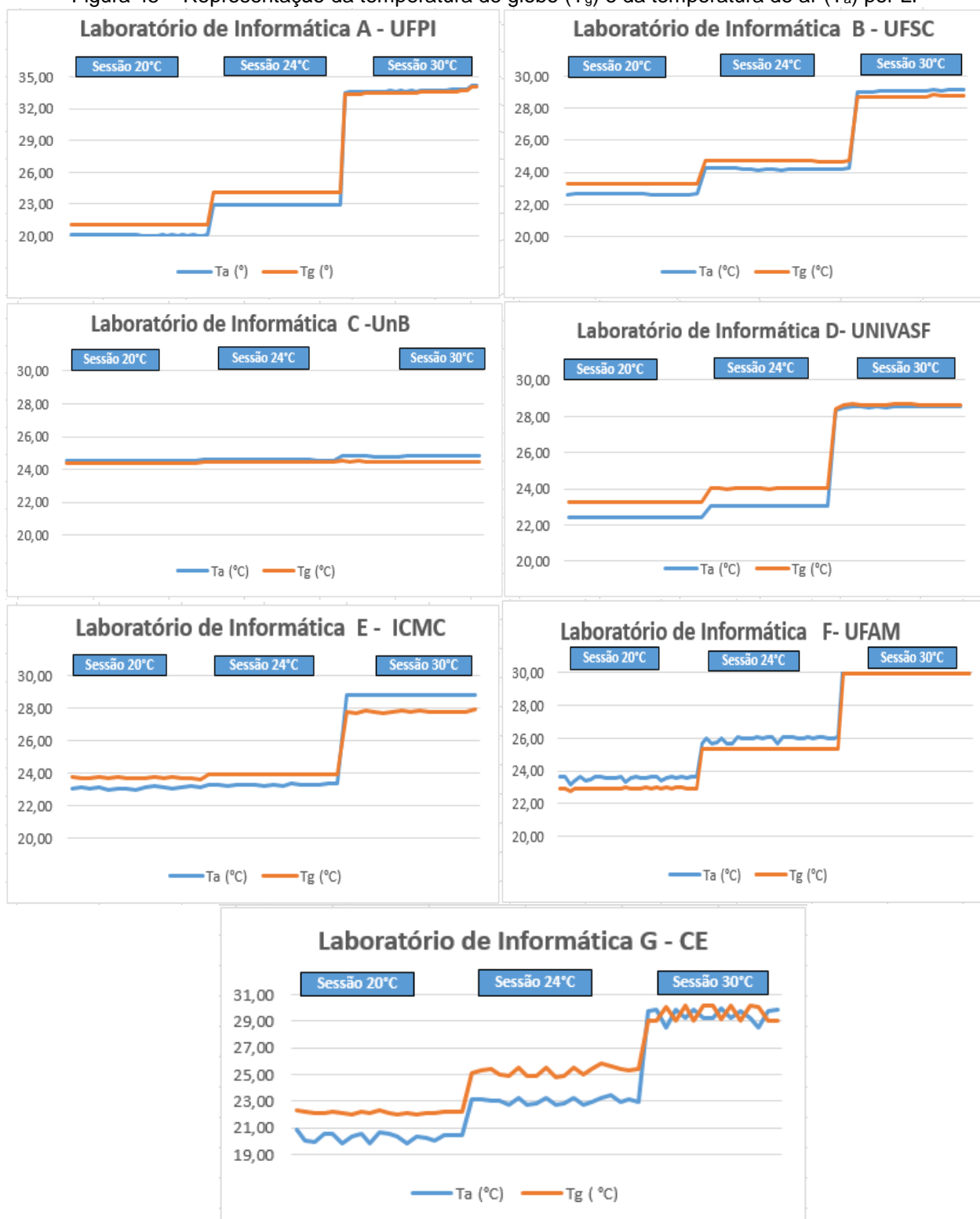
D	Não houve troca de calor por radiação	Não houve troca de calor por radiação	Não houve troca de calor por radiação
	$T_g > T_a$ 0,83 °C ± 0,0	$T_g > T_a$ 1,00 °C ± 0,0	$T_g > T_a$ 0,12 °C ± 0,0
E	Houve troca de calor por radiação	Houve troca de calor por radiação	Houve troca de calor por radiação
	$T_g > T_a$ 0,63 °C ± 0,0	$T_g > T_a$ 0,65 °C ± 0,0	$T_g < T_a$ -1,00 °C ± 0,0
F	Não houve troca de calor por radiação	Não houve troca de calor por radiação	Não houve troca de calor por radiação
	$T_g < T_a$ -0,64 °C ± 0,0	$T_g < T_a$ -0,60 °C ± 0,0	$T_g < T_a$ -0,93 °C ± 0,0
G	Houve troca de calor por radiação	Houve troca de calor por radiação	Houve troca de calor por radiação
	$T_g > T_a$ 1,86 °C ± 0,2	$T_g > T_a$ 2,25 °C ± 0,0	$T_g > T_a$ 0,09 °C ± 1,0

Observa-se que a maior troca de calor por radiação térmica ocorreu no laboratório de informática G, referente à cidade de João Pessoa. Este resultado pode ter ocorrido devido à quantidade de laptops presentes no ambiente (40 laptops), pois estes emitem mais radiação do que os personal computers, e/ou devido às características arquitetônicas da sala que podem ter ocasionado uma maior incidência de radiação térmica no recinto. Não houve troca de calor por radiação nos laboratórios de informática C (Brasília) e F (Manaus). Estes resultados ocorreram possivelmente devido a temperatura externa ter sido baixa ou aos elementos arquitetônicos e envelopes constituintes da sala favorecendo a não incidência de radiação térmica no ambiente.

Para melhor visualizar esses achados, através da figura 45, observa-se que a elevação da temperatura de globo em relação à temperatura do ar foi mais acentuada no laboratório de informática G, nas sessões à 20 e 24°C e à 30°C, a elevação da  $T_g$  foi alternada ao longo do tempo. Dessa forma é provável que em um ambiente

climatizado provido de diversas fontes de calor interna como *news ICT*, alunos, revestimentos de paredes e superfícies, onde  $T_g > T_a$ , esses fatores podem influenciar em termos de troca de calor por radiação entre o aluno e seu ambiente.

Figura 45 – Representação da temperatura de globo ( $T_g$ ) e da temperatura do ar ( $T_a$ ) por LI

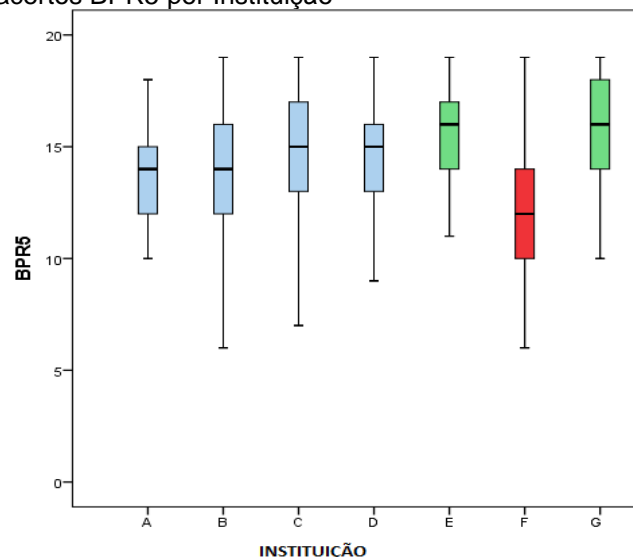




## 5.9. ANÁLISE GLOBAL DO DESEMPENHO

Em relação ao desempenho pôde-se observar, através da figura 46, que existiu uma variabilidade dos resultados e conseqüentemente da capacidade cognitiva dos estudantes quando comparamos o resultado do desempenho levando-se em consideração o número de acertos em cada instituição. Nota-se que as instituições E e G apresentaram um resultado em média mais satisfatório do que as demais. Já a instituição F apresentou em média um resultado menos satisfatório se comparada com as outras instituições. Nota-se ainda que a instituição A apresentou resultados mais homogêneos.

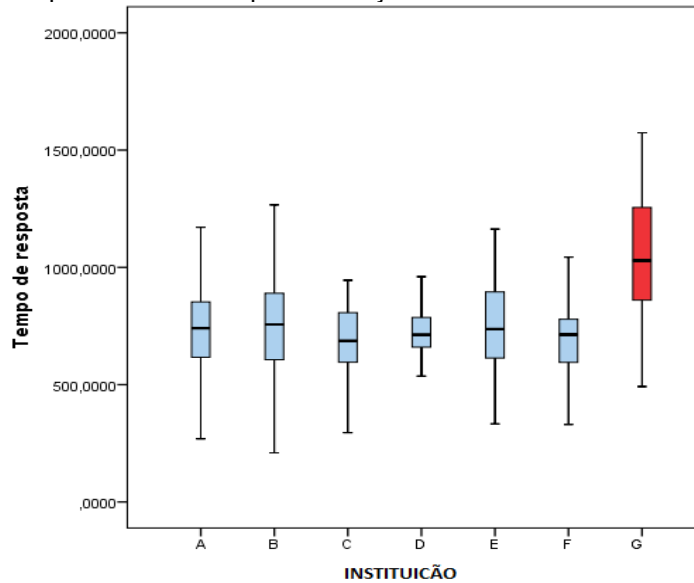
Figura 46– Número de acertos BPR5 por Instituição



Instituição A=UFPI; Instituição B= UFSC; Instituição C =UnB; Instituição D =UNIVASF; Instituição E=USP; Instituição F= UFAM; Instituição G= Centro de Educação da PM da PB

Em relação ao tempo médio de resposta dos testes pôde-se observar, através da figura 47, que apesar da instituição G ter tido um maior desempenho médio, esta foi a que obteve o maior tempo médio de resposta dos testes. Já a instituição C foi a que obteve o menor tempo médio de resposta. Nota-se ainda que a instituição D apresentou resultados mais homogêneos. De acordo com Lan et al. (2011), o indivíduo pode conseguir manter o número de acertos, mas alterar o tempo de resposta devido a condições de desconforto térmico.

Figura 47– Tempo de resposta dos testes por Instituição



Instituição A=UFPI; Instituição B= UFSC; Instituição C =UnB; Instituição D =UNIVASF; Instituição E=USP; Instituição F= UFAM; Instituição G= Centro de Educação da PM da PB

## 5.10 ANÁLISE DOS ELEMENTOS ARQUITETÔNICOS

Em uma edificação as trocas de calor entre os meios exterior e interior têm como meio o envelope construtivo. O envelope pode ser dividido em duas partes: os fechamentos opacos e os transparentes – a sua principal diferença é a sua capacidade ou incapacidade de transmitir radiação solar para o ambiente interno (LAMBERTS et al, 1997), por essa razão é tão importante a orientação geográfica do edifício e de suas aberturas, as proteções contra o sol, a organização do espaço (OLIVEIRA, 2015) bem como seus materiais constituintes, pois os mesmos têm uma relação direta com o desempenho térmico das edificações. Para tanto deve-se considerar a transmitância térmica (U) de cada material, ela representa o fluxo de calor transmitido por unidade de área e por unidade de diferença de temperatura (ANSI/ASHRAE 55-2010).

Na concepção do projeto arquitetônico muitas variáveis ambientais externas influenciam no mesmo, por exemplo, a oscilação diária e anual de temperatura, umidade relativa, quantidade de radiação solar incidente, nebulosidade, época do ano, sentido dos ventos e índices pluviométricos (Frota, 2003 apud OLIVEIRA, 2015).

Dessa forma, de acordo com a metodologia estabelecida, o quadro 16 apresenta os resultados das análises arquitetônicas por LI de sua respectiva instituição e o quadro 17 algumas considerações gerais das análises.

Quadro 16- Análise Arquitetônica por Laboratório de Informática (LI)

Edificação	Implantação / Espaçamentos entre as edificações	Ventilação	Posição, tamanho e proteção das aberturas	Paredes	Coberturas
LI - A	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maior fachada voltada para Nordeste</li> <li>- Edificações alongadas e afastadas, reduzindo a exposição à radiação solar e expondo as fachadas maiores aos ventos dominantes</li> <li>- A edificação possui dois pavimentos e o laboratório em estudo está localizado no térreo e na parcela mais Oeste do edifício, desta forma recebe radiação solar na parede Noroeste no período da tarde</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não há preocupação com a ventilação cruzada dentro do laboratório, as janelas estão localizadas apenas em uma fachada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aberturas localizadas na fachada Sudoeste do edifício, ocupando uma área de 10,43m<sup>2</sup>, ou 41,68% do laboratório</li> <li>- Não há a preocupação com a proteção das aberturas, porém os pilares são dispostos externamente à edificação auxiliando na proteção das mesmas, porém de forma ineficaz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os materiais de vedação laterais são compostos por paredes de tijolos de 6 furos rebocado com transmitância térmica de 2,48W/m<sup>2</sup>.°C</li> <li>- Como o revestimento externo é de tijolinho (<math>\alpha=0,5</math>), seu fator de calor solar é de 4,96%</li> <li>- O atraso térmico da parede é de 3,3 horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coberta de telha cerâmica com estrutura de madeira, para uma coberta de telhas de barro e laje mista (espessura de 12 cm) a transmitância térmica é de 1,92W/m<sup>2</sup>.°C</li> <li>- O fator solar é de 3,84% (<math>\alpha=0,5</math>)</li> <li>- O atraso térmico da coberta de telha de barro com forro de laje mista é de 3,6 horas</li> </ul>
LI - B	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A edificação não é alongada</li> <li>- As fachadas tem praticamente a mesma dimensão</li> <li>- Possui três pavimentos e o laboratório em estudo está localizado no primeiro pavimento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não há preocupação com a ventilação cruzada dentro do laboratório, as janelas estão localizadas apenas em uma fachada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aberturas localizadas na fachada Sudoeste, ocupando uma área de 10,35m<sup>2</sup>, ou 47% do laboratório</li> <li>- Utilização de elemento de proteção solar interno, cortinas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os materiais de vedação laterais são compostos por paredes de tijolo maciços aparentes, transmitância térmica de 3,70W/m<sup>2</sup>.°C; e paredes de tijolos de 6 furos rebocado com transmitância térmica de 2,48W/m<sup>2</sup>.°C</li> <li>- Como a parede é de tijolo aparente (<math>\alpha=0,5</math>), seu fator de calor solar é de 4,96%</li> <li>- O atraso térmico da parede de tijolos maciços é de 2,4 horas, enquanto que da parede de tijolos de 6 furos rebocado é de 3,3 horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O valor da transmitância térmica para uma coberta de fibrocimento é de 1,93W/m<sup>2</sup>.°C</li> <li>-Fator de calor solar é de 5,4% (<math>\alpha= 0,7</math>; pois o fibrocimento se encontra enegrecido)</li> <li>- O atraso térmico da coberta de fibrocimento com forro de laje mista é de 3,6 horas</li> </ul>
LI - C	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A maior fachada do edifício está voltada para Nordeste</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não há preocupação com a ventilação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aberturas localizadas na fachada sudeste do</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os materiais de vedação laterais são compostos por paredes de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O valor da transmitância térmica para uma coberta de</li> </ul>

	<p>- A implantação do edifício gera um pátio central, o prédio possui dois pavimentos e o laboratório se encontra no térreo e na porção mais leste do edifício, desta forma o mesmo não recebe incidência solar direta no período da tarde</p>	<p>cruzada dentro do laboratório, as janelas estão localizadas apenas em uma fachada</p>	<p>edifício, ocupando uma área de 33,83m<sup>2</sup>, ou 59,22% do laboratório</p> <p>- Utilização de elemento de proteção solar externo, brises</p>	<p>tijolos de 6 furos rebocado com transmitância térmica de 2,48W/m<sup>2</sup>.°C</p> <p>- Como a cor utilizada é a branca (<math>\alpha = 0,2</math>), seu fator de calor solar é de 1,5%</p> <p>- O atraso térmico da parede é de 3,3 horas</p>	<p>fibrocimento é de 1,93W/m<sup>2</sup>.°C</p> <p>-Fator de calor solar é de 1,5% (<math>\alpha = 0,2</math>; pois o fibrocimento se encontra na cor branca)</p> <p>- O atraso térmico da cobertura de fibrocimento com forro de laje mista é de 3,6 horas</p>
<b>LI - D</b>	<p>- A maior fachada do edifício está voltada para Noroeste</p> <p>- A edificação é alongada e, neste caso, aumenta a radiação solar que incide no edifício, devido a sua orientação</p> <p>- A edificação possui três pavimentos e o laboratório em estudo está localizado no primeiro pavimento e na parcela mais norte do edifício, desta forma recebe radiação solar na parede Noroeste no período da tarde</p>	<p>- Não há preocupação com a ventilação cruzada dentro do laboratório, as janelas estão localizadas apenas em uma fachada</p>	<p>- Aberturas localizadas na fachada Noroeste do laboratório, ocupando uma área de 15,21m<sup>2</sup>, ou 43,89% do laboratório</p> <p>- Não há a preocupação com a proteção das aberturas, porém os pilares são dispostos externamente à edificação auxiliando na proteção das mesmas, porém de forma ineficaz</p> <p>- As aberturas recebem radiação solar direta</p>	<p>- Os materiais de vedação laterais são compostos por paredes de tijolos de 6 furos rebocado com transmitância térmica de 2,48W/m<sup>2</sup>.°C</p> <p>- Como a cor utilizada é a amarela (<math>\alpha = 0,3</math>), seu fator de calor solar é de 3%</p> <p>- O atraso térmico da parede é de 3,3 horas</p>	<p>- O valor da transmitância térmica para uma cobertura de fibrocimento é de 1,93W/m<sup>2</sup>.°C</p> <p>- Fator de calor solar é de 5,4% (<math>\alpha = 0,7</math>; pois o fibrocimento se encontra enegrecido)</p> <p>- O atraso térmico da cobertura de fibrocimento com forro de laje mista é de 3,6 horas</p>
<b>LI - E</b>	<p>- A edificação é alongada e sua maior fachada está orientada para norte, diminuindo assim a exposição do edifício à radiação solar</p> <p>-Área do laboratório: 61,68m<sup>2</sup></p>	<p>- Não há preocupação com a ventilação cruzada dentro do laboratório, as janelas estão localizadas apenas em uma fachada</p>	<p>- Aberturas ocupam uma área de 7m<sup>2</sup>, ou 40,79% do laboratório</p> <p>- Utilização de elemento de proteção solar externo, brises</p>	<p>- Os materiais de vedação laterais são compostos por divisórias em PVC</p>	<p>- O valor da transmitância térmica para uma cobertura de fibrocimento é de 1,93W/m<sup>2</sup>.°C</p> <p>-Fator de calor solar é de 1,5% (<math>\alpha = 0,2</math>; pois o fibrocimento se encontra na cor branca)</p> <p>- O atraso térmico da cobertura de fibrocimento com forro de laje mista é de 3,6 horas</p>

<p><b>LI - F</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maior fachada voltada para Norte-Sul</li> <li>- Edificações alongadas e afastadas, reduzindo a exposição à radiação solar e expondo as fachadas maiores aos ventos dominantes</li> <li>- Edificação térrea</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preocupação com a ventilação cruzada, possui janelas nas fachadas Norte e Sul</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aberturas estão bem dimensionadas e localizadas na fachada Norte e Sul, ocupando uma área de 17,85m<sup>2</sup>, ou 61,78%, na fachada Norte e uma área de 14,5m<sup>2</sup>, ou 42,37%, na fachada Sul, do laboratório.</li> <li>- O grande beiral da cobertura funciona como proteção para a radiação solar direta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os materiais de vedação laterais são compostos por paredes de tijolos de 8 furos, sua transmitância térmica é de 2,24W/m<sup>2</sup>.°C</li> <li>- O revestimento exterior é de pastilhas cerâmica na cor bege, que possui <math>\alpha=0,3</math>, desta forma o fator de calor solar é de 2,7%</li> <li>- O atraso térmico das paredes, porém, é de 3,7 horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O valor da transmitância térmica para uma cobertura de fibrocimento é de 1,93W/m<sup>2</sup>.°C</li> <li>-Fator de calor solar é de 1,5% (<math>\alpha= 0,2</math>; pois o fibrocimento se encontra na cor branca)</li> <li>- O atraso térmico da cobertura de fibrocimento com forro de laje mista é de 3,6 horas</li> <li>-Laje possui um isolamento térmico de cortiça, o que reduz sua transmitância térmica e melhora o desempenho térmico da mesma</li> </ul>
<p><b>LI - G</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- As maiores fachadas estão voltadas para Norte-Sul, reduzindo assim a exposição à radiação solar, a forma alongada da edificação também contribui nesse aspecto</li> <li>- Edificação em estudo está afastado em relação às outras do seu entorno, permitindo a passagem de brisas</li> <li>- Edificação térrea, laboratório em estudo localizado na parcela mais oeste do edifício, desta forma a parede recebe radiação solar no período da tarde, a presença de vegetação e um muro baixo ajuda a protegê-la da radiação solar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não há preocupação com a ventilação cruzada dentro do laboratório, as janelas estão localizadas apenas em uma fachada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- As aberturas estão localizadas na fachada Sul, ocupando uma área de 3,81m<sup>2</sup>, ou 20,19%, nessa fachada do laboratório</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os materiais de vedação laterais são compostos por paredes de tijolos de 6 furos rebocado com transmitância térmica de 2,48W/m<sup>2</sup>.°C</li> <li>- Como a cor utilizada é a branca (<math>\alpha =0,2</math>), seu fator de calor solar é de 1,5%</li> <li>- O atraso térmico da parede é de 3,3 horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O valor da transmitância térmica para uma cobertura de fibrocimento é de 1,93W/m<sup>2</sup>.°C</li> <li>--Fator de calor solar é de 1,5% (<math>\alpha= 0,2</math>; pois o fibrocimento se encontra na cor branca)</li> <li>- O atraso térmico da cobertura de fibrocimento com forro de laje mista é de 3,6 horas</li> </ul>

LI - A=UFPI; LI - B= UFSC; LI - C =UnB; LI - D =UNIVASF; LI - E=USP; LI - F= UFAM; LI - G= Centro de Educação da PM da PB

Quadro 17- Considerações gerais da Análise Arquitetônica

<b>CONSIDERAÇÕES GERAIS – ANÁLISE ARQUITETÔNICA</b>
<p>- Quanto à cobertura, a maior parte dos ambientes utilizam o fibrocimento com laje de concreto. Ao analisar as propriedades térmicas desse material pode-se observar que é um material leve e possui uma elevada condutividade térmica, <math>CT=451(KJ/m^2.K)</math>, e baixa capacidade térmica (ABNT NBR 15220, 2003), ou seja, ele transmite grande quantidade de calor. Isso se agrava com o enegrecimento que o material sofre com o passar do tempo, processo esse que ocorre mais rápido devido a umidade elevada. Sua utilização não é indicada em lugares onde o ganho térmico não é desejado, quando da sua utilização deve-se ser associado com algum material reflexivo sobre o mesmo, ou material isolante na laje, pois essas estratégias ajudam a diminuir o ganho térmico dentro da edificação através da cobertura.</p>
<p>- De acordo com a NBR 15220 (2003), as telhas de barro são porosas e permitem a absorção de água, o que contribui para a redução do fluxo de calor para o interior da edificação, pois deste calor será dissipado no aquecimento e evaporação da água contida nos poros da telha, para isso é importante que a mesma não possua tratamento que impeça a absorção dessa água, essa característica a torna uma melhor opção para as coberturas; apesar de possuir uma transmitância térmica praticamente igual à do fibrocimento o seu fator solar é inferior.</p>
<p>- A cobertura é um fator importante a ser considerado quando se pensa no desempenho térmico dessas edificações, a mesma pode estar contribuindo para o aumento da temperatura de globo em relação a temperatura do ar dentro dos ambientes, principalmente nas edificações que utilizam o fibrocimento.</p>
<p>- As cores também são importantes quando da análise do desempenho térmico das edificações, visto que cores mais claras tem um valor de absorvância (<math>\alpha</math>) bem inferior às cores mais escuras, isso significa que o uso de cores claras diminui a quantidade de calor absorvida pelo material, esse dado, mais o da transmitância térmica do material são essenciais para o cálculo do fator solar, isso vale tanto para a cobertura quanto para as vedações laterais.</p>
<p>- Quanto às vedações laterais observa-se que as paredes de tijolos de 6 furos rebocado possui uma transmitância térmica inferior (<math>U=2,48W/m^2.^{\circ}C</math>) às paredes de tijolo maciço aparente (<math>U=3,70W/m^2.^{\circ}C</math>). As paredes com revestimento de tijolinho também têm um aumento no fator de calor solar, devido a sua cor.</p>
<p>- Os fechamentos transparentes, as janelas, são os maiores responsáveis pela entrada de radiação solar no ambiente, por isso o uso de elementos de proteção solar é tão importante para impedir essa entrada.</p>

A partir da análise arquitetônica construiu-se o resultado geral por laboratório de informática (LI) (quadro 18). Com este resultado foi possível constatar se o projeto arquitetônico e os materiais constituintes dos LIs tinham mais aspectos positivos do que negativos, não contribuindo desta forma com a incidência de radiação proveniente de fontes externas de calor. Assim, podê-se observar que as fontes externas de calor poderiam estar colaborando com o aumento da radiação térmica no ambiente.

Quadro 18- Resultado geral da análise arquitetônica por Laboratório de Informática (LI)

LI	Resultado Geral	Aspectos do projeto
A	O laboratório em estudo está localizado na posição mais desfavorável da edificação, recebendo radiação solar em uma das paredes por toda a tarde. As aberturas na edificação também estão na mesma situação, como não há a preocupação com a colocação de elementos de proteção nessas janelas elas recebem radiação solar direta, contribuindo para a entrada de radiação térmica no ambiente.	<b>NEGATIVO</b>
B	As aberturas são generosas, quanto as vedações laterais são utilizados dois materiais distintos, a parede de tijolos aparentes possui uma transmitância térmica e um fator solar elevados. A utilização de cortinas pressupõe que a radiação solar que entra no ambiente pelas aberturas é desfavorável, sua localização na fachada sudoeste favorece a entrada dessa radiação.	<b>NEGATIVO</b>
C	O laboratório está localizado na porção mais leste do edifício, desta forma não recebe incidência solar no período da tarde, a localização das aberturas também é favorável, recebendo radiação solar apenas pela manhã, porém o uso de proteção solar externa ajuda a diminuir sua entrada. Quanto a coberta de fibrocimento o fator de calor solar é bem reduzido, quando comparado com outros locais, pois o mesmo não se encontra enegrecido, devido à baixa umidade da cidade	<b>POSITIVO</b>
D	A má orientação do edifício causa sua maior exposição à radiação solar; as aberturas do laboratório, localizadas à noroeste, recebem radiação solar direta sendo a maior fonte de entrada de calor no ambiente. O uso de proteção solar externa é de extrema importância nessa edificação, porém não há nenhuma preocupação nesse sentido, o uso de papel pardo para cobrir as janelas na parte interna do laboratório mostra o desconforto causado por essas janelas. Quanto a coberta de fibrocimento o fator de calor solar é elevado, quando comparado com outros locais, pois o mesmo se encontra enegrecido.	<b>NEGATIVO</b>
E	Sua orientação no sentido Norte-Sul, reduz sua exposição à radiação solar, as aberturas são protegidas por brises e a presença de vegetação também contribui para diminuir a incidência de radiação nas mesmas. A coberta de fibrocimento pode estar facilitando a entrada de calor no ambiente, porém seu fator de calor solar é bem reduzido, quando comparado com outros locais, pois o mesmo não se encontra enegrecido.	<b>POSITIVO</b>

<b>F</b>	Sua orientação no sentido Norte-Sul, reduz sua exposição à radiação solar, os materiais possuem um bom desempenho térmico, havendo manutenção da pintura da telha de fibrocimento e da cortiça utilizada internamente à laje como isolante térmico. As aberturas são protegidas da radiação solar direta pelo grande beiral da cobertura, o edifício foi projetado com a preocupação com a ventilação natural, com janelas nas fachadas norte e sul.	<b>POSITIVO</b>
<b>G</b>	Sua orientação Norte-Sul minimiza a sua exposição à radiação solar, o laboratório em estudo está localizado na porção mais oeste do edifício, porém a presença de vegetação e um muro baixo ajudam a proteger sua fachada oeste. Os materiais possuem um bom desempenho térmico. Deve-se observar ao que diz respeito à cobertura pois a transmitância térmica do material sinaliza que este pode estar facilitando a entrada de calor no ambiente, porém o colchão de ar ventilado entre as telhas de fibrocimento e o forro de concreto diminui a quantidade de calor transmitida para dentro do ambiente.	<b>POSITIVO</b>

De acordo com o quadro 15 referente à troca de calor por radiação, verificou-se nos laboratórios de informática A e B que nos dois primeiros dias de coleta a temperatura de globo foi maior que a temperatura do ar, ocorrendo trocas de calor por radiação térmica. Considerando que em ambos os laboratórios de informática destas instituições o projeto e seus elementos constituintes foram considerados negativos (quadro 18) percebe-se que tanto as condições térmicas internas como as externas poderão ter sido responsáveis por essa diferença entre as temperaturas. Observou-se no laboratório de informática D, que a temperatura de globo foi superior à temperatura do ar nos três dias de coleta. Como o projeto e os materiais constituintes deste laboratório também foram considerados negativos, há fatores internos e externos proporcionando aumento de radiação térmica no ambiente. Para Atmaca et al. (2007) edifícios onde os envelopes construtivos não possuem isolamento e materiais adequados a temperatura da superfície interna das paredes do edifício será afetada pelas condições ambientais externas, especialmente pela radiação solar. Conseqüentemente a temperatura na superfície interna dessas paredes irá aumentar consideravelmente, contribuindo para o aumento da radiação térmica no recinto.

No laboratório de informática E ficou constatado que houve troca de calor por radiação, mas pela análise arquitetônica, o seu projeto sinalizou mais pontos positivos, implicando que a maior parte desta troca de calor foi provavelmente proveniente de fontes internas de calor. Verificou-se nos laboratórios C e F que em todas as coletas de dados a temperatura de globo se manteve abaixo da temperatura



do ar, inexistindo, por conseguinte, trocas de calor por radiação. Essa característica, aliada aos dados obtidos do bom desempenho dos materiais sinalizou que os projetos tinham mais características positivas em ambos os LIs. Desta forma não houve incidência de radiação térmica proveniente dos ambientes interno e externo nestes laboratórios de informática.

A instituição onde houve uma maior troca de calor por radiação no ambiente foi o laboratório de informática da Instituição G, observando no quadro 16 que  $(t_g - t_a)$  superou  $2^\circ\text{C}$  quando a temperatura do ar no laboratório estava no entorno de  $24^\circ\text{C}$ . Entretanto, sua análise arquitetônica sinalizou que o projeto tinha mais aspectos positivos. Sua orientação Norte-Sul minimizava a sua exposição à radiação solar e o bom desempenho térmico dos seus materiais minimizava a incidência da radiação advinda do ambiente externo. Segundo Atmaca et al. (2007), quando no edifício os envelopes incluem isolamentos e materiais adequados, tais fatores possibilitam pequenos ganhos de calor internos e externos advindos da radiação solar, visto que a temperatura da superfície interna das paredes do edifício auxilia na defesa das condições ambientais exteriores. Desta forma, neste caso especificamente, é provável que o número (40) representativo de laptops e as outras fontes de calor internas no ambiente do laboratório de informática da instituição G poderiam estar colaborando para o aumento da temperatura de globo em relação à temperatura do ar, visto que, a temperatura radiante média superou a temperatura de globo em  $2,25^\circ\text{C} \frac{h_{cg}}{\varepsilon_g \sigma}$ .

## 5.11 MODELAGEM MATEMÁTICA

À luz dos resultados das trocas de calor por radiação e da análise arquitetônica foi constatada que a maior incidência de radiação térmica ocorreu no laboratório de informática da instituição G no Centro de Educação da Academia de Polícia Militar da Paraíba, em João Pessoa. Assim, foi proposto um modelo matemático a fim de avaliar se a  $(T_g - T_a)$  e  $T_{rm}$  poderiam ter relação com o desempenho total dos estudantes ( $D_t$ ).

Desta forma, baseado no objetivo geral deste trabalho e nos dados coletados, para verificar a influência da temperatura radiante média ( $T_{rm}$ ) e da diferença da temperatura de globo em relação à temperatura do ar ( $t_g - t_a$ ) no desempenho dos estudantes selecionou-se como variável dependente, para análise da acurácia do

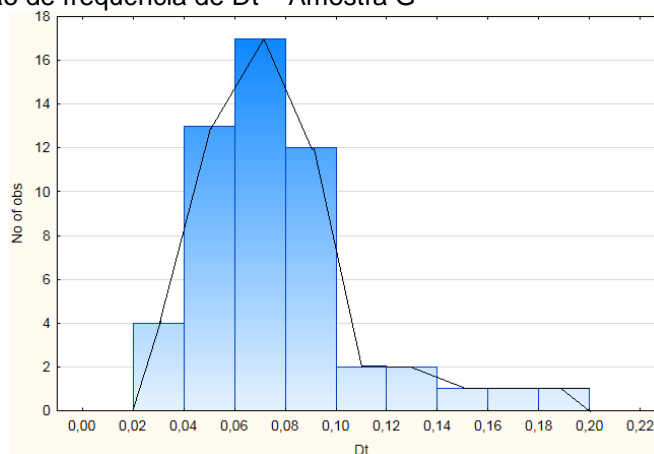
desempenho cognitivo global, o índice  $D_t$ , relativo ao desempenho total dos estudantes em função do tempo.

Foram calculados os coeficientes de correlação de Spearman (anexo 2) e verificado sua significância para analisar a correlação entre as variáveis  $D_t$ ,  $T_{rm}$  e  $(t_g - t_a)$ . A tabela do anexo também mostra as correlações encontradas para cada instituição entre todas as outras variáveis térmicas obtidas no presente trabalho que apresentaram  $p\text{-valor} < 0,05$ , utilizando o software SPSS®.

A princípio foi necessário verificar se as variáveis independentes ( $T_{rm}$  e  $t_g - t_a$ ) não apresentavam multicolinearidade, isto é, não estavam correlacionadas. Cohen (1988) e Field (2009) apontam que um coeficiente de correlação de Spearman com valores entre 0,10 e 0,29 a correlação pode ser considerada fraca; escores entre 0,30 e 0,49 a correlação pode ser considerada como média; e valores entre 0,50 e 1 a correlação pode ser interpretada como forte. Assim observa-se (de acordo com anexo 2) que a instituição G apresentou uma correlação fraca entre as variáveis independentes, possibilitando a construção de um modelo matemático utilizando as mesmas.

Optou-se por utilizar a classe dos Modelos Lineares Generalizados (MLG) para a modelagem matemática. Porém para que MLG possa ser utilizada, é necessário que a distribuição seja da família exponencial, além de ser fundamental encontrar uma função de ligação para explicar a relação entre variáveis dependentes e independentes. O histograma apresentado no gráfico 17 propõe a visualização da distribuição dos dados referentes a  $D_t$ .

Gráfico 17– Distribuição de frequência de  $D_t$  – Amostra G



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Observa-se que a mesma se aproxima de uma distribuição da família

exponencial, o que permitiu uma abordagem a partir de Modelos Lineares Generalizados. Aplicando o teste de normalidade de Shapiro-Wilk para a variável dependente no SPSS verifica-se que (para um nível de significância igual a 0,05) a distribuição é significativamente diferente de uma distribuição normal. Assim, o modelo adequado de regressão ajustado foi o da família gaussiana inversa com função de ligação log na forma da equação 27.

$$\mu = \exp(\beta_1 \cdot trm + \beta_2 \cdot (tg - ta)) \quad (27)$$

O quadro 19 apresenta a estimativa dos coeficientes do modelo e seus respectivos erros padrões, valores t e probabilidades.

Quadro 19- Estimativa dos coeficientes do modelo

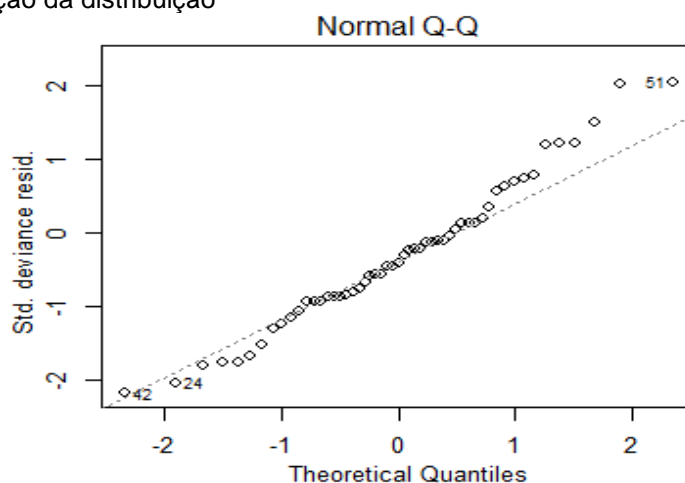
<b>Coeficiente</b>	<b>Estimativa</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Valor t</b>	<b>Pr(&gt; t )</b>
$T_{rm}$	-0,084	0,0042	-19,698	2e-16
$(t_g - t_a)$	-0,185	0,0610	-3,029	0,0038

Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Em complemento a construção do modelo foi verificado a presença de desvios sistemáticos através da análise de adequação da distribuição, da função de variância e da presença de pontos influentes inconsistentes.

A adequação da distribuição selecionada para o modelo foi analisada através do gráfico qq-plot (gráfico 18). A adequação da distribuição pode ser verificada pelo ajuste entre os pontos e a reta. Observa-se que o gráfico não deixa evidente a normalidade da distribuição dos resíduos e apresenta alguns indícios de que a distribuição pode não ser normal. Porém, o teste de Shapiro-Wilk e o teste de Lilliefors presentes na tabela 18 indicam que esses resíduos apresentam distribuição normal. Logo, a distribuição atribuída à variável resposta mostra-se adequada.

Gráfico 18 – Adequação da distribuição



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

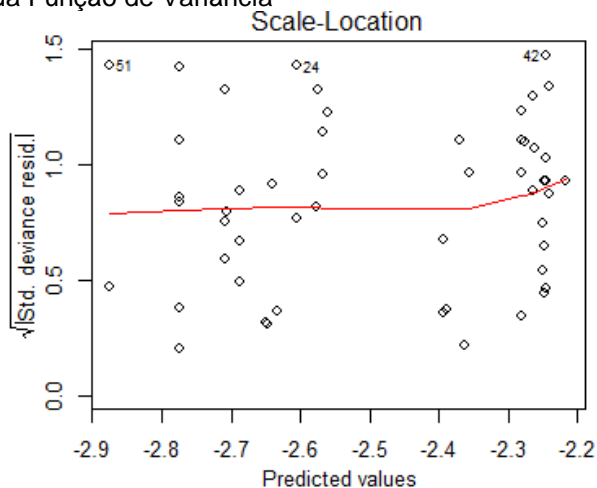
Tabela 18 – Resultados dos testes de normalidade para o desvio residual

Teste de normalidade	Valor p
Shapiro-Wilk	0,4048
Lilliefors	0,6272

Fonte: Elaborado pela autora (2016)

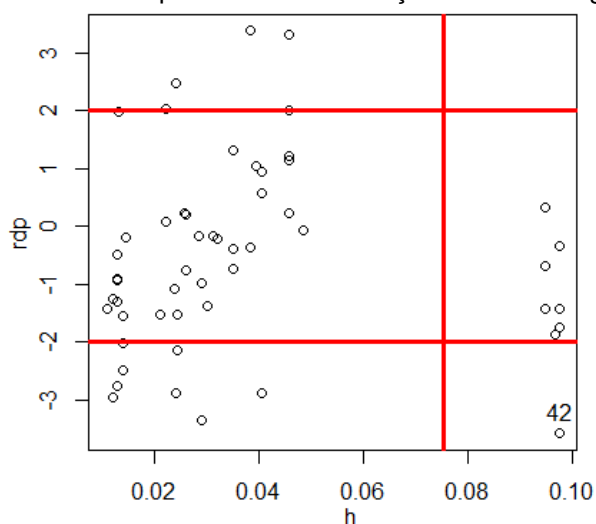
Em relação à adequação da função de variância o gráfico do desvio residual em função dos valores preditos (gráfico 19) apresenta fortes indícios de que a função de variância (determinada pela distribuição que foi escolhida) do modelo é adequada. Esses indícios consistem na distribuição uniforme dos resíduos sem apresentar qualquer padrão de mudança no espalhamento dos pontos ao longo do eixo das abscissas do gráfico.

Gráfico 19 – Adequação da Função de Variância



A análise de pontos influentes inconsistentes (gráfico 20) apresentou um ponto de influência inconsistente (ponto 42) o qual precisa ser analisado.

Gráfico 20 - Gráfico do desvio residual padronizado em função da alavancagem



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Retirando esse ponto influente inconsistente e estimando novamente os parâmetros para o mesmo modelo obtêm-se as seguintes estimativas (quadro 20):

Quadro 20- Estimativa dos coeficientes do modelo sem o ponto 42

<b>Coefficiente</b>	<b>Estimativa</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Valor t</b>	<b>Pr(&gt; t )</b>
Trm	-0,082	0,0045	-17,994	2e-16
(tg-ta)	-0,218	0,0638	-3,418	0,00126

Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Este procedimento de análise de desvios sistemáticos foi repetido até que não houvesse mais pontos influentes inconsistentes. Todas as vezes que era retirado o ponto de influência inconsistente um novo modelo era gerado e analisado novamente cada desvio sistemático. Assim para chegar ao modelo final houve a necessidade de retirada dos pontos 42, 46, 50 e 51 nos quais representavam pontos influentes inconsistentes.

Desta forma, ajustando-se o modelo final sem esses pontos obteve-se as seguintes estimativas (quadro 21):

Quadro 21- Estimativa dos coeficientes do modelo final

Coeficiente	Estimativa	Desvio Padrão	Valor t	Pr(> t )
Trm	-0,0726	0,0063	-11,421	5,04e-15
(tg-ta)	-0,341	0,0850	-4,017	0,0002

Com estas análises ratifica-se a consistência do modelo. Desta forma, com base nas informações das estimativas apresentadas no quadro 21, substituindo os respectivos coeficientes  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  tem-se:

$$Dt = e^{-0,073Trm - 0,341(tg - ta)} \quad (28)$$

Salienta-se, de acordo com o quadro 21, que os p-valores  $< 0,05$  mas o pseudo  $R^2$  (0,1548) é baixo. No entanto, sobre o ajuste de modelos lineares generalizados Cordeiro e Demétrio (2008, p.107) ressaltam que, na prática, um resultado favorável do teste da razão de verossimilhança (para um dado nível de significância) pode ser considerado uma evidência de que um modelo se ajusta razoavelmente bem aos dados. Assim, como o p-valor do teste da razão de verossimilhança foi  $< 0,001$ , então a equação 28 é bem ajustada.

A tabela 19 mostra os pontos adicionais que foram desconsiderados em cada uma das etapas de ajuste dos modelos. Nessa tabela são indicados também as mudanças percentuais esperadas no desempenho para a variação unitária ( $1^\circ\text{C}$ ) de cada uma das variáveis independentes em cada um dos modelos obtidos.

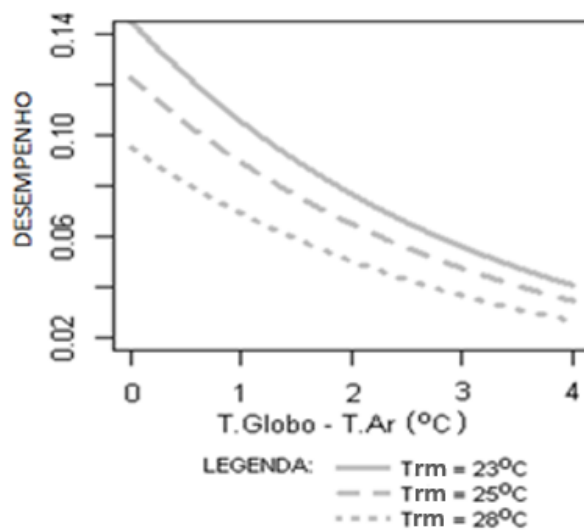
Tabela 19 – Mudança percentual para os modelos ajustados

Etapa	Pontos de alavanca excluído	Mudança percentual no desempenho por variação unitária da variável independente	
		Trm	(tg-ta)
1	-	8,06%	16,81%
2	42	7,87%	19,59%
3	46	7,69%	21,73%
4	51	7,41%	24,04%
5	50 e 43	6,95%	28,97%

A partir do modelo (28) observa-se que mantendo constante a temperatura radiante média a cada aumento de um grau na diferença da temperatura de globo em relação à temperatura do ar ( $t_g - t_a$ ) o desempenho diminui em torno de 29%. Esta afirmação pode ser constatada através do gráfico 21, pois ao fixar três valores para temperatura radiante média ( $23^\circ\text{C}$ ,  $25^\circ\text{C}$  e  $28^\circ\text{C}$ ), variando ( $t_g - t_a$ ) entre 1 a  $4^\circ\text{C}$ ,

observa-se, que o desempenho tende a diminuir com o aumento de  $(t_g-t_a)$ .

Gráfico 21 - Comportamento do desempenho em função de  $(t_g-t_a)$



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

## CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES

O campo da radiação térmica tem recebido pouca atenção, o que, em grande parte, tem limitado o desenvolvimento de estudos nessa área. A maior parte dos trabalhos publicados atribui o nível de conforto térmico dos ambientes apenas à temperatura de bulbo seco do ar, sem levar em consideração a influência de outras variáveis do conforto. Isto é observado em diversos estudos realizados em várias partes do mundo em que ocorre a hipótese simplificadora de que a temperatura radiante média é igual à temperatura do ar. A elevação da temperatura de globo e conseqüentemente da temperatura radiante média de um ambiente interno pode causar redução da produtividade dos que ali se encontram, visto que, o conforto térmico tem uma significativa influência sobre a produtividade e satisfação dos ocupantes em um ambiente.

Diversos fatores podem contribuir para o aumento da radiação térmica num ambiente de trabalho. Dentre eles pode-se considerar (1) as condições térmicas externas - mudanças climáticas; (2) o projeto arquitetônico; (3) os materiais que revestem a edificação; (4) as tecnologias de comunicação e informação do ambiente; e o (5) homem. Assim todos esses parâmetros podem contribuir para o aumento da radiação térmica em um ambiente climatizado, que neste trabalho os ambientes referidos foram laboratórios de informática de instituições de ensino brasileiras, onde se investigou a radiação térmica através do comportamento da temperatura de globo em relação à temperatura do ar, observando a variação da temperatura radiante média, quando alunos exerciam atividades cognitivas.

Em se tratando da troca de calor por radiação, foi constatado que no laboratório de informática da instituição A, em Teresina,PI, houve diferença em média de 1°C e 1,2°C entre a temperatura de globo e a temperatura do ar ( $t_g-t_a$ ) nas sessões de 20°C e 24°C respectivamente e que esta diferença foi relativamente menor e negativa na sessão de 30°C, portanto na maior parte da coleta houve troca de calor por radiação entre o ambiente e os alunos que ali se encontravam. No laboratório de informática da instituição B, em Florianópolis,SC, houve diferença em média de 0,64°C e 0,51°C entre ( $t_g-t_a$ ) nas sessões de 20°C e 24°C respectivamente e que esta diferença foi também relativamente menor e negativa na sessão de 30°C. Esta tendência se repete na instituição E, em São Carlos, SP, onde ( $t_g-t_a$ ) variou de 0,63°C (sessões 20°C e 24°C) à -1°C (sessão 30°C). Com relação ao laboratório de



informática da instituição D, em Petrolina, PE, houve troca de calor por radiação em todas as sessões, visto que, em média,  $(t_g - t_a)$  variou de  $0,83^\circ\text{C}$  à  $1^\circ\text{C}$  (respectivamente nas sessões  $20^\circ\text{C}$  e  $24^\circ\text{C}$ ) e de  $0,12^\circ\text{C}$  (sessão  $30^\circ\text{C}$ ). Nos laboratórios de informática das instituições C, em Brasília, DF, e F, em Manaus, AM, nenhuma sessão apresentou troca de calor por radiação, visto que, em todos os dias de coletas nas instituições supracitadas  $t_g < t_a$ . O laboratório de informática da instituição G, João Pessoa, PB, foi o que apresentou a maior troca de calor por radiação. Nele houve diferença em média de  $1,86^\circ\text{C}$  e  $2,25^\circ\text{C}$  entre  $(t_g - t_a)$  nas sessões de  $20^\circ\text{C}$  e  $24^\circ\text{C}$  respectivamente e de  $1^\circ\text{C}$  na sessão de  $30^\circ\text{C}$ .

Desta forma, constatou-se que nos três dias consecutivos quando a temperatura do ar era  $20$ ,  $24$  e  $30^\circ\text{C}$ , respectivamente, só não houve troca de calor por radiação entre o aluno e seu ambiente nos laboratórios das instituições C e F, demonstrando que nos outros laboratórios das instituições A, B, D, E e G houve troca de calor por radiação. Mas ressaltando que no laboratório da instituição G essa troca de calor foi mais acentuada, tal que a temperatura radiante média em dado instante superou a temperatura de globo em  $2,25^\circ\text{C} \frac{h_{cg}}{\varepsilon_g \sigma}$ .

Aliado às características térmicas foi realizada também a análise dos elementos arquitetônicos bem como dos materiais constituintes do projeto arquitetônico para verificar se a diferença entre a temperatura de globo e a temperatura do ar  $(t_g - t_a)$ , quando existente, era possivelmente causada por fontes de calor presentes no ambiente interno, por fontes de calor externas ou causada por ambas. Os resultados destas análises mostraram que, nas instituições A, B e D, os projetos tinham mais aspectos negativos, constatando assim, que algum elemento arquitetônico poderia estar contribuindo com a troca de calor por radiação no ambiente interno, além das fontes de calor internas (*news ICT*). As instituições C e F apresentaram um resultado positivo ao projeto arquitetônico. Destaca-se que em ambas as instituições não houve troca de calor por radiação entre o ambiente e os indivíduos que ali se encontravam.

Ainda em relação à análise arquitetônica, foi constatado que, no laboratório de informática da instituição E, houve troca de calor por radiação, mas a análise arquitetônica resultou em um projeto com mais aspectos positivos implicando que a maior parte desta troca de calor foi provavelmente proveniente apenas de fontes internas de calor. O laboratório de informática que apresentou a maior troca de calor

por radiação no ambiente interno foi o da Instituição G e sua análise arquitetônica sinalizou que o projeto arquitetônico estava positivo tanto pela boa orientação norte-sul como pelo bom desempenho térmico dos seus materiais. Então, provavelmente as fontes de calor no interior do laboratório devem ter proporcionado aumento da radiação térmica, haja vista que o número de alunos e laptops eram representativos.

Quanto ao desempenho nas provas de raciocínio, observou-se que em nenhuma instituição os alunos apresentaram desempenho cognitivo abaixo da média, com exceção da instituição F, na cidade de Manaus, no primeiro dia de coleta, onde em média 4% dos estudantes apresentaram desempenho insatisfatório. As instituições E e G apresentaram um resultado mais satisfatório em relação às demais e a instituição F apresentou em média um resultado menos satisfatório se comparada com as outras instituições.

Em relação ao tempo despendido nos testes de raciocínio observou-se que em geral os estudantes levaram mais tempo ao responder os testes na temperatura de 20°C, o que pode ter acontecido por se tratar da primeira sessão e os mesmos haverem desenvolvido uma forma mais rápida de resolver as questões durante as demais sessões. Apesar da instituição G ter tido um maior desempenho médio foi a que apresentou o maior tempo médio de resposta dos testes. Já a instituição C foi a que apresentou o menor tempo médio de resposta. Os estudantes, durante o experimento, demonstraram se sentir motivados para obter bons resultados nos testes, mesmo na situação de maior desconforto (30°C), o que pode estar relacionado à redução no nível de excitação e aumento do desempenho em velocidade e precisão em condições moderadamente quentes, observado por Tham et al. (2010).

Assim, os resultados apontaram que o laboratório de informática da Instituição G, em João Pessoa, com os alunos portando laptops, apresentou a maior incidência de radiação térmica no ambiente de coleta, visto que,  $t_g \gg t_a$ . Assim, no sentido de confirmar esses achados, um modelo matemático foi proposto para este laboratório com o intuito de estimar a influência das variáveis independentes, temperatura radiante média ( $t_{rm}$ ) e a diferença entre a temperatura de globo e a temperatura do ar ( $t_g - t_a$ ), sobre o desempenho total dos participantes ( $D_t$ ) durante as medições. Optou-se por utilizar Modelos Lineares Generalizados, em que o modelo mais adequado foi o da família gaussiana inversa e log como função de ligação.

Constatou-se através do modelo matemático que a cada aumento de um grau na diferença entre a temperatura de globo e a temperatura do ar ( $T_g - T_a$ ), o

desempenho cognitivo dos alunos no laboratório de informática da instituição G diminuía em torno de 29%, constatando que, quanto maior a temperatura radiante média, maior será a radiação térmica nesse laboratório, e esse aumento poderá comprometer o desempenho dos alunos. Dessa forma, assim como a produtividade pode sofrer alterações devido às mudanças de temperatura do ar em ambientes de ensino climatizados, conforme já comprovado por publicações internacionais, neste caso específico, se  $T_g \gg T_a$ , possivelmente a radiação térmica poderá interferir no desempenho das pessoas presentes em ambiente providos de inovações tecnológicas de comunicação e informação (*News ICT*).

## 6.1 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Levando-se em consideração cada vez mais a relação um tanto intrínseca entre o homem e o computador, acarretando uma utilização mais intensa dessa tecnologia e em períodos cada vez mais longos, observa-se a necessidade de se ter certos cuidados em relação ao planejamento ergonômico do ambiente de trabalho para certas atividades que exijam maior utilização destes equipamentos. Assim, dentro desse planejamento um fator destaca-se como de suma importância para ser avaliado: as condições ambientais sob o ponto de vista da ergonomia. Porém, medir apenas variáveis do conforto ambiental incluindo a qualidade do ar e a radiação não-ionizante e comparar seus resultados com os preceitos de normas nacionais e internacionais não é o suficiente.

A coleta de dados dessas variáveis e o estudo da relação de cada uma delas com o desempenho e com a saúde do trabalhador, apesar de importante, pode não traduzir resultados eficazes. Pois, com a inserção da tecnologia cada vez mais imperante nos ambientes de trabalho, maior tempo de utilização dessas tecnologias, e se levar em consideração outras variáveis externas, como as mudanças climáticas, que em países tropicais vêm demonstrando um aumento na temperatura do ar a cada ano, torna-se fundamental investigar não apenas como cada fator poderá contribuir para o aumento da radiação térmica no ambiente, mas analisar também como o conjunto de variáveis (Projeto Arquitetônico, Mudanças Climáticas, *News ICT*, Sistemas de Climatização e Iluminação e o próprio Homem) poderá contribuir para o aumento da radiação térmica no ambiente utilizando a ferramenta estatística redes bayesianas.

Esta análise do conjunto como um todo deve ser realizada principalmente quando houver registro de que a temperatura do globo foi significativamente superior à temperatura do ar, pois essa ocorrência implica no aumento da temperatura radiante média, a qual será superior a temperatura do globo, o que nos fornecerá subsídios para identificar que fator é mais preponderante na contribuição da elevação da radiação térmica, bem como saber qual é a probabilidade de cada variável e do conjunto de variáveis contribuir para o aumento da radiação térmica com reflexos no desempenho e na saúde do trabalhador.

## REFERÊNCIAS

ABERGO. O que é Ergonomia. Disponível em: <[http://www.abergo.org.br/internas.php?pg=o\\_que\\_e\\_ergonomia](http://www.abergo.org.br/internas.php?pg=o_que_e_ergonomia)>. Acesso em: 20/12/2015.

ABREU, D. A. V. **Síndrome coronário agudo: análise do impacto das variáveis sócio-demográficas, ambientais e clínicas na demora média entre o início da sintomatologia e o restabelecimento do fluxo.** Dissertação apresentada ao departamento de Estatística e Investigação Operacional da Universidade de Lisboa, Portugal, 2013.

ACIOLI, L.; **Física Básica para Arquitetura: mecânica, transmissão de calor, acústica.** Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, set. 2003.

AKIMOTO, T.; TANABE, S.; YANAI, T.; SASAKI, M. Thermal comfort and productivity-Evaluation of workplace environment in a task conditioned office. **Building and Environment.** 45: 45-50, 2010.

ALBUQUERQUE, E.P.V. **Memória Implícita e Processamento.** Centro de Estudos em Educação e Psicologia, Instituto de Educação e Psicologia, Universidade do Minho, 2001.

ALBUQUERQUE, M.M. **Relação entre o uso e ocupação do solo e variáveis climáticas: Estudo em bairros da cidade de Teresina, Piauí.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós - Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí, 2012.

ALFANO, F.R.A.; ISOLA, M.; PALELLA, B.I. On the measurement of the mean radiant temperature and its influence on the indoor thermal environment assessment. **Building and Environment.** 63: 79-88, 2013.

ALLENDER, S.P.; PETO, V. R. M.; LEAL, J. L.F. ., **European cardiovascular disease statistic**, Department of Public Health, University of Oxford,: Oxford. 2008

ALMEIDA, H.S. **Análise do conforto térmico de edifícios utilizando a abordagem analítica e adaptativa.** 192 fls. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Técnica de Lisboa, 2010.

ALMEIDA, L. S.; PRIMI, R. Perfis de capacidades cognitivas na bateria de provas de raciocínio (BPR-5): Capacidades cognitivas e BPR-5. **Psicologia Escolar e Educacional**, v. 8, n. 2, p. 135–144, 2004.

ALMEIDA, L.S.; NASCIMENTO, E.; LIMA, A. O. F.; VASCONCELOS, A.G.; AKAMA, C.T.; SANTOS, M.T. Bateria de Provas de Raciocínio (BPR-5): Estudo exploratório em alunos universitários. **Avaliação Psicológica**, v.9, pg. 155-162, 2010.

ALMEIDA, R.M.S.F. **Avaliação do Desempenho Higrotérmico do Parque Escolar Reabilitado**. Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.

AMORIM, E. P. M. **Radiação** Térmica. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, departamento de Física. 2011. Disponível em: [http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/amorim/materiais/Aula\\_3\\_FEE0001.pdf](http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/amorim/materiais/Aula_3_FEE0001.pdf)

ANDREASI, W.A. **Método para avaliação de Conforto Térmico em região de clima quente e úmido do Brasil**. Tese apresentada no Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

AHN, B.; JANG, C.Y.; LEIGH, S.B.; YOO, S.; JEONG,H. Effect of LED lighting on the cooling and heating loads in office buildings. **Applied Energy**. V .113 1484–1489,2015.

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 apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2012.

ARANTES, B. **Análise do conforto térmico e lumínico de uma oficina mecânica**. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Bauru, 2011

ARANTES, B. **Conforto térmico em habitações de interesse social- um estudo de caso**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2013.

ASHRAE - American **Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers**, 2009. ASHRAE Handbook - Fundamentals. ASHRAE, Atlanta, USA. 2009

ARSLANOGLU, N.; YIGIT,A. Experimental and theoretical investigation of the effect of radiationheat flux on human thermal comfort. **Energy and Buildings**. 113: 23-29, 2016.

ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 55-2010. **Thermal environmental conditions Refrigerating and Air-Conditioning Engineers**, Inc.; 2010.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**, Atlanta: ASHRAE, 2005.

ATMACA, I.; KAYNAKLI, O.; YIGIT, A. Effects of radiant temperature on thermal comfort. **Building and Environment**. 42: 3210-3220, 2007.

ATEF, A.; NOUREDDINE, Z.; SOUFIANE, F. SPUCAL\_mrt as a new model for estimating the mean radiant temperature in arid lands. **Energy Procedia**. 74:273-280, 2015.

AYAZ, H.; WILLEMS, B.; BUNCE, S.; et al. Cognitive workload assessment of air traffic controllers using optical brain imaging sensors. **Advances in Understanding Human Performance: Neuroergonomics, Human Factors Design, and Special Populations**, 2010.

BARBOSA, R. V.R. Estudo do campo térmico urbano de São Carlos (SP): análise da intensidade da ilha de calor urbano em episódio climático de verão. Tese apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, da Universidade de São Carlos, 2009.

BAUMGARTL, V. D. O.; NASCIMENTO, E. DO. A Bateria de Provas de Raciocínio (BPR-5) aplicada a um contexto organizacional. **Psico-USF**, v. 9, n. 1, p. 1–10, 2004.  
BATIZ, E. C.; GOEDERT, J. ; MORSCH, J. J. ; KASMIRSKI-JR, P.; VENSKE, R. Avaliação do Conforto Térmico no aprendizado: estudo de caso sobre influência na atenção e memória. **Produção**, v. 19, n. 3, p. 477-488, 2009.

BEBER, B.C.; PAULA, G.R.; BAGGIO, S.B.; PETRY, T. Neuropsicologia da aprendizagem. **Revista Psicopedagogia**, v. 72, pg. 224-231, 2006.

BERTON, M.P. **Ambiente controlado e não-controlado no desempenho, comportamento e características da carcaça de suínos**. Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias –Unesp, 2013.

BING, Liu-Yi. On the thermal structure optimization of a power LED lighting. **Procedia Engineering**, 29:2765–2769, 2012.

BLATTEIS, C. M. **Fisiologia e patofisiologia da regulação da temperatura**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2011

BLAZEJCZYK, K.; JENDRITZKY, G.; BROEDE, P.; et al. An introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *Geografia Polonica*, v. 86, n. 1, p. 5–10, 2013.

BRADSHAW, V. Human comfort and health requirements. **The Building Environment: Active and Passive Control Systems**. 3rd ed., p.3–38, 2006. New Jersey: John Wiley and sons Inc. Disponível em: <[http://courses.washington.edu/me333afe/Comfort\\_Health.pdf](http://courses.washington.edu/me333afe/Comfort_Health.pdf)>.

BRAGA, D. K.; AMORIM, C.N.D. **Conforto térmico em edifícios residenciais do plano piloto de Brasília**. I Conferência Latino-Americana de construção sustentável. X encontro Nacional de tecnologia do ambiente construído. São Paulo. ISBN 85-89478-08-4, 2004.

BRODAY, E.E.; XAVIER, A.A.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.

BRODAY, E.E. **Proposta de metodologia de predição de sensação térmica dos usuários em ambientes internos**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa, 2015.

BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; RIGHI, E.Z.; BRESSAN, V.C. Conforto térmico para os seres humanos nas condições de ambiente natural em Santa Maria, RS, Brasil. **Ciência Rural**, v. 45, p. 223-230, 2015.

CAMARGO, J.R.; JESUS, C. F. Sensação Térmica de trabalhadores de câmaras frias. **Revista Ciência Exatas**- Universidade de Taubaté (UNITAU)- vol. 17, 2011.

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

CAPOVILLA, A, G, S, **Contribuições da neuropsicologia cognitiva e da avaliação neuropsicológica à compreensão do funcionamento cognitivo humano**, 2007. Disponível em: <<http://pepsic.bvs-psi.org.br/pdf/cap/v6n11/v6n11a05.pdf>> Acesso em: 22/12/2015.

CARVALHO, V.F.M. de. **Contributos bioclimáticos para o planeamento urbano sustentável: medidas de mitigação e de adaptação enquanto resposta às alterações climáticas**. Dissertação (Mestrado em Planeamento e Projecto do Ambiente Urbano) – Faculdade de Letras da Universidade do Porto – Portugal, Porto, 2006.

CASTELO BRANCO, A. E. **Urbanização e Clima em Teresina**. Caderno de Teresina, Teresina, ano 15, n.35. mar. 2003, p. 10-15.

CASTRO,A.C. **Avaliação da eficiência térmica de materiais utilizados como sistemas de cobertura em instalações avícolas**. Dissertação apresentada para obtenção de título de mestre pela Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

CHOI, J.-H.; LOFTNESS, V.; LEE, D.-W. Investigation of the possibility of the use of heart rate as a human factor for thermal sensation models. **Building and Environment**, v. 50, n. 0, p. 165–175, 2012.

COELHO, D.A.S. **Avaliação do Conforto Térmico em salas de aula. Tese de mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação**. Instituto Politécnico de Viseu. Portugal. Junho 2014.

COHEN,J. Statistical power analysis for the behavioral sciences. Hillsdale, NJ, Erlbaum, 1988.



COHEN, R. J.; SWERDLIK, M. E.; STURMAN, E. D. **Testagem e avaliação psicológica: introdução a testes e medidas**. 8th ed. Porto Alegre/RS: Artmed, 2014.

COMIRAN, S. **Conforto e desempenho térmico em hospitais: Estudo de caso na área de internação do Hospital Unversitário de Santa Maria-RS**. Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 2014.

CORDEIRO, G. M.; DEMÉTRIO, C. G. B. **Modelos Lineares Generalizados e Extensões**. Piracicaba-SP, 2008.

COSTA, P. A memória e a sua influência no processo de aprendizagem. 2012. Disponível em: [http://www.webartigos.com/resources/files/modules/article/article\\_83381\\_201201271950056041.pdf](http://www.webartigos.com/resources/files/modules/article/article_83381_201201271950056041.pdf) Acesso: 19/12/2015

COUTINHO, A. S. **Proteção contra o calor**. In: U. A. de O. Mattos; F. S. Másculo (Eds.); Higiene e segurança do trabalho. p.209–231, 2011. Rio de Janeiro: Elsevier.

COUTINHO, A. S. **Curso Básico- Radiação Térmica**. Curso ministrado na disciplina Conforto Térmico Ambiental para o Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal da Paraíba, 2015

CROITORU, C.; NASTASE, I.; BODE, F.; MESLEM, A.; DOGEANU, A. Thermal comfort models for indoor spaces and vehicles- Current capabilities and future perspective, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 44, p. 304-318, 2015.

CUI, W.; CAO, G.; PARK, J.H.; OUYANG, Q.; ZHU, Y. Influence of indoor air temperature on human thermal comfort, motivation and performance, **Building and Environment**. 68: 114–122, 2013.

CURADO, A.J.C. **Conforto térmico e eficiência energética nos edifícios de habitação social reabilitados**. Tese submetida para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil, Faculdade de engenharia Universidade do Porto, Portugal, 2014.

DANCEY, Christine & REIDY, John. **Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows**. Porto Alegre, Artmed, 2006.

DE DEAR, R.J.; AKIMOTO, T.; AREANSN, E.A.; BRAGER, G.; CANDIDO, C.; CHEONG, K.W.D; et al. Progress in thermal comfort research over the last twenty years. **Indoor Air**; 23(6):442–61, 2013.

DJONGYANG, N.; TCHINDA, R.; NJOMO, D. Thermal comfort: A review paper. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 9, p. 2626–2640, 2010.

DOBSON, A.J.; BARNETT, A.G. An introduction to generalized linear Models. 3ª Edição. CRC Press. Taylor & Francis Group. 2008.

DOPHEIDE, K. W. M.; NETO, L. R.; RAMANZINI, R. Psicrômetro de bulbo úmido com aquisição de dados. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Mecânica- Energia e fenômenos de transporte, 2013;

ELENO, L. T. F. **Radiação do corpo negro**. Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, material de apoio para a disciplina: Fenômenos de Transporte em Engenharia de Materiais, 2014.

FANGER, P.O. **Thermal comfort— analysis and applications in environmental engineering**. New York, NY, USA: McGraw-Hill Book Company; 1970.

FIELD, A. **Descobrimos a estatística usando o SPSS**. 2ª Edição, Porto Alegre, editora Artmed, 2009.

FROTA, A.; SCHIFFER, S, **Manual de Conforto Térmico: arquitetura, urbanismo**, — 5, ed, — São Paulo : Studio Nobel, 2003.

GAZZANIGA, M. S. **The Cognitive Neurosciences**. 4th ed. Baskerville: The MIT Press, 2009.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**, 5ª Edição, São Paulo, editora Atlas, 2010.

GOBO, J.P.A.; MONTEBLANCO, F.L.; SARTORI, M.G.B. **As condições Termo-Higrométrica e o desconforto ambiental em casas noturnas de Santa Maria- RS**. Geografia. Ensino & pesquisa, v.12, p. 4721-4734,2008.

GOBO, J. P. A. **Regionalização climática do Rio Grande do Sul com base no zoneamento do conforto térmico humano**. Dissertação apresentada ao programa de Pós- Graduação em Geografia física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, 2013.

GREEN, J. A. The heart rate method for estimating metabolic rate: review and recommendations. *Comparative Biochemistry and Physiology – Part A: Molecular & Integrative Physiology*, v. 158, n. 3, p. 287-304, mar. 2011.

GRZYBOWSKY, G. T. **Conforto térmico nas escolas públicas em Cuiabá – MT: estudo de caso**. Dissertação (Mestrado em física e meio ambiente) – Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2004.

GUYTON, Arthur C., HALL, John E, **Textbook of Medical Physiology**, Philadelphia, PA: WB Saunders; pp, 899–900, 11th ed, 2011.

HALAWA, E.; HOOF, J.V.; 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, 2014.

HALLIDAY, RESNICK, WALKER. **Fundamentos de Física**. Vol. 2. 8 ed. Editora LTC, 2009.

HEYER, L. F., Manaus – **Um exemplo de clima urbano em região subequatorial**. 1997. 198 f. Tese de Doutorado – Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo

HIRASHIMA, S.Q.S. **Percepção Sonora e térmica e avaliação de conforto em espaços urbanos abertos do município de Belo Horizonte, MG**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (USP), 2014.

HOQUE, F.; HOSSAIN, S.; MOLLAH, S. A study on specific absorption rate (SAR) due to non-ionizing radiation from wireless/telecommunication in Bangladesh. **American Journal of Physics and Applications**, vol. 1 (3), p. 104-110, 2013

HWANG, R.L.; SHU, S.Y. Building envelope regulations on thermal comfort in glass facade buildings and energy-saving potential for PMV-based comfort control. **Building and Environment**. V. 46, pg. 824-834, 2011.

IEA - Internacional Ergonomics Association, Definition of Ergonomics, 2000, Disponível em: <[http://www.iea.cc/01\\_what/What%20is%20Ergonomics.html](http://www.iea.cc/01_what/What%20is%20Ergonomics.html)>, Acesso em: Dezembro de 2015.

IIDA, I. Ergonomia – Projeto e produção. 2ª Edição – São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2005.

INÁCIO, Magda. Manual do Formando - **O Processo de Aprendizagem. Manual de formação em contexto de trabalho**, Formação de Tutores. Lisboa, 2007

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A.S. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**, 6ª Edição, Editora LTC, 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas**. Disponível em : <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 15 nov. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA- INMET. Dados de Estação Automática. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas> Acesso em: 13/06/2016

KAUARK, F.S.; MANHÃES, F.C.; MEDEIROS, C.H. **Metodologia de Pesquisa: Um guia prático**. Itabuna : Via Litterarum, 2010.

ISO 7730: **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, Geneva, 2005

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

KALMÁR, F.; KALMÁR T. Interrelation between mean radiant temperature and room geometry. *Energy and building*. 55:414-421, 2012.

KANG, D.H; MO, P.H.; CHOI, D.H.; SONG, S.Y.; YEO, M.S. Effect of MRT variation on the energy consumption in a PMV- controlled office. **Building and Environment**. 45: 1914-1922, 2010.

KHALID, M.; MEE, T.; PEYMAN, A.; ADDISON, D.; CALDERON, C.; MASLANYJ, M.; MANN, S. Exposure to radio frequency electromagnetic fields from wireless computer networks: Duty factors of Wi-Fi devices operating in schools. **Progress in Biophysics and Molecular Biology**, vol. 107, p. 412-420, 2011.

KOWALTOWSKI, D.C.C.K. **Arquitetura Escolar: o projeto do ambiente de ensino**. 1 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

KROEMER, K. H. E; GRANDJEAN, E. **Manual de ergonomia** – Adaptando o trabalho ao homem. 5ª Edição – Porto Alegre: Bookman, 2005.

KUMAR, S. Pathak, P. P. Effect of electromagnetic radiation from mobile phones towers on human body. **Indian Journal Radio & Space Physics**, vol 40, p. 340-342, 2011

KREITH, F. **Princípios da Transmissão de Calor**. Ed. Edgard Blucher. Instituto Nacional do livro. 1973.

LAN, L.; LIAN, Z.; PAN, L.; YE, Q. Neurobehavioral approach for evaluation of office workers' productivity: The effects of room temperature. **Building and Environment**, v. 44, p. 1578-1588, 2009.

LAN, L.; WARGOCKI, P.; WYON, D. P.; LIAN, Z. Effects of thermal discomfort in an office on perceived air quality, SBS symptoms, physiological responses, and human performance. **Indoor air**, v. 21, n. 5, p. 376–390, 2011.

LAMBERTS, R. **Conforto e Stress Térmico**. Apostila do curso de Engenharia Civil- Universidade Federal de Santa Catarina. Laboratório de Eficiência Energética. Atualizado por: Prof. Antonio Augusto Xavier Prof. Solange Goulart Renata De Vecchi, 2014.

LAMBERTS, R.; ORDENES, M.; GUTHS, S. **Transferência de calor na envolvente da Edificação**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

LANGNER, M.; SCHERBER, K.; ENDLICHER, W. Indoor heat stress: an assessment of human bioclimate using the UTCI in different buildings in Berlin. *Die Erd*; 144:260-73, 2013.

LAZZARO, V.; CAPONE, F.; APOLLONIO, F.; BOREA, P.A.; CADOSSO, R.; FASSINA, L.; GRASSI, C.; LIBERTI, M.; PAFFI, A.; PARAZZINI, M.; VARANI, K.; RAVAZZANI, P. A Consensus Panel Review of Central Nervous System Effects of the Exposure to Low-Intensity Extremely Low-Frequency Magnetic Fields. **Brain Stimulation**, v. 6, p.469-476, 2013.

LIA, L. R. B.; QUITES, E. E. C. **Introdução à transferência de calor**. Universidade Federal do Piauí, 2013. Disponível em:

<http://www.ufpi.br/subsiteFiles/caec/arquivos/files/Introdu%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A0%20Transfer%C3%Aancia%20de%20Calor.pdf>

LIBARDI, P. L.; MORAES, S. O. **Física do Ambiente Agrícola**. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Departamento de Engenharia de Biosistemas, 2015. Disponível em: <http://www.leb.esalq.usp.br/aulas/lce200/Cap3.pdf>

LIVI, C. P. **Fundamentos de Fenômenos de transporte - Um texto para cursos básicos**. Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente. Escola Politécnica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, LTC editora, 2004.

LUNDGREN, K.; KUKLANE, K.; GAO, C.; HOLMER, I. Effects of Heat Stress on Working Populations when Facing Climate Change. **Industrial Health**, v. 51, p. 3–15, 2013.

MANZETTI, S; JOHANSSON, O. (2012) Global electromagnetic toxicity and frequency-induced diseases: Theory and short overview. **Pathophysiology**, vol. 19, p. 185–191

MARTINI, A.; BIONDI, D. Microclima e Conforto Térmico de um fragmento de Floresta Urbana em Curitiba, PR. **Floresta e Ambiente**, v. 22, p. 182-193, 2015.

MÁSCULO, F. S.; VIDAL, M. C. **Ergonomia: trabalho adequado e eficiente**. 1st ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

MATIAS, L. **Desenvolvimento de um modelo adaptativo para definição das condições de conforto térmico em Portugal**, Dissertação elaborada no Laboratório Nacional de Engenharia Civil para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, 2010.

MEDEIROS, E. G. S. **Estudo termoambiental em viaturas utilizadas nos serviços de radiopatrulhamento no Estado da Paraíba**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, 2014.

MOHAMED, S.; SRINAVIN, K. Forecasting labor productivity changes in construction using the PMV index. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 35, n. 4, p. 345-351, abr. 2005.

MOHER, D., LIBERATI, A., TETZLAFF, J., ALTMAN, D.G.; the PRISMA Group. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. **Ann Intern Med**. 2009;151:264-9

MONTEIRO, L.F.; ALSINA, O. L. S.; SILVA, F. L. H.; SANTOS, M. B. G.; SILVA, L. B. Estudos dos efeitos da iluminação e temperatura na ação humana e sua relação com a sensação térmica subjetiva. **XX Encontro Nacional de Engenharia de Produção- Maturidade e desafios da Engenharia de Produção: competitividade das empresas, condições de trabalho, meio ambiente**. São Carlos- SP, 2010.

MORAIS, P.H.F. **Avaliação de conforto acústico e térmico em área residencial no centro do município de São Carlos**. Monografia apresentada ao departamento de Engenharia Ambiental- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2015.

MOUNT, L. E. 1979. **Adaptation to thermal environment**. Man and his productive animals. Edward Arnold (Public.) Ltd, London, 272 p., 1979.

MUELLER, C.M. **Espaços de ensino-aprendizagem com qualidade ambiental: o processo metodológico para a elaboração de um anteprojeto**. Dissertação (Mestrado- Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura)- FAUUSP. São Paulo, 2007.

MULLER, M.D.; GUNSTAD, J.; ALOSCO, M.L.; MILLER, L.A.; UPDEGRAFF, J.; SPITZNAGEL, M.B. Acute cold exposure and cognitive function: evidence for sustained impairment, **Ergonomics** 55: 792-798,2012.

MULROW, C.D. The medical review article: state of the science. **Ann Intern Med**. 1987

MURARA, P.G.; MENDONÇA, M.; BONETTI, C. O clima e as doenças circulatórias e respiratórias em Florianópolis/SC. **Hygeia**. Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde, volume 9, pgs. 86-102, Junho, 2013.

NATAL, E.V. **Análise da influência das variáveis climáticas na mortalidade por doenças do aparelho circulatório no Distrito Federal**. Dissertação de Mestrado apresentada na Universidade de Brasília (UnB) no programa de pós-graduação em geografia, Março de 2015.

NEDEL, A.; GONÇALVES, F.L.T.; ALVES, M.R.C.; OYOLA, P.T. Evaluation of thermal simulation of households in the metropolitan region of São Paulo, Brazil. **Ecotoxicology** (London), v. 18, p. 1143-1149, 2009.

NIEMELÄ, R.; HANNULA, M.; RAUTIO, S.; REIJULA, K.; RAILIO, J. The effect of air temperature on labour productivity in call centres - a case study, **Energy and Buildings**, vol 34, P. 759-764, 2002.

NINCE, P. C. C. **Vegetação e revestimentos urbanos: Implicações na sensação térmica dos usuários do campus da UFMT em Cuiabá- MT**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, 2013.

NUSSENZVEIG, H.M. **Fluidos oscilações e ondas de calor**. Curso de Física Básica, editora Edgard Blucher 4ª Edição, 2002.

OLESEN, B.W.; PARSONS, K.C. Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730. **Energy and Buildings**. 34:537-48, 2002.

OLESEN, B.W. Indoor environment- heat- comfort and productivity, Proceedings of Clima 2005, Lausanne, 2005.

OLESEN, B.W. Revision of EN 15251: indoor environmental criteria, **REHVA Journal**, v. 49, pg. 6-12, 2012.

OLIVEIRA, L. B. **Efetividade das estratégias de ensino para o desenvolvimento do pensamento crítico em estudantes de graduação em enfermagem: revisão sistêmica e metanálise**. Dissertação, mestrado em Enfermagem na Saúde do adulto da Escola de Enfermagem da universidade de São Paulo. São Paulo, 2014.

OLIVEIRA, Etianne Alves Souza de. **Análise da Relação entre os Parâmetros Arquitetônicos, o Conforto Térmico e a Produtividade em Escritórios com Ventilação Natural**. 2015. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2015.

PADILHA, A. **Higiene do trabalho – Módulo: Temperaturas extremas**. Apostila do Curso de Engenharia de Segurança do Trabalho – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho. Bauru, 2010.

PARK, Sookuk. **Human-urban radiation exchange simulation model**. A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of DOCTOR OF PHILOSOPHY in the Department of Geography, University of Victoria, 220p. 2011.

PAULA, G. A. **Modelos de regressão: com apoio computacional**. São Paulo-SP: Instituto de Matemática e Estatística, 2013.

PEREIRA, F.C. **Modelos lineares generalizados aplicados à filariose bancroftiana**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biometria da Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2006.

PEREIRA, A.L, BACHION, M.M. **Atualidades em revisão sistemática da literatura, critérios de força e grau de recomendação da evidência**. Ver *Gaúcha Enferm.* 2006,27 (4):491-8

PEREIRA, L.D.; RAIMONDO, D.; CORGNATI, S.P. Energy consumption in schools: A review paper. *Renewable and sustainable energy reviews*, v. 40, pg. 911-922, 2014.

PINTO, A. C. **Memória, cognição e educação: Implicações mútuas**. In B. Detry e F. Simas (Eds.), *Educação, cognição e desenvolvimento: Textos de psicologia educacional para a formação de professores* (pp. 17-54). Lisboa: Edinova]. Faculdade de Psicologia, Universidade do Porto, 2001.

PINTO, N. M. **Condições e parâmetros para a determinação de conforto térmico em ambientes industriais do ramo metal mecânico**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011.

PIVETTA, M. **Extremos do clima**. *Pesquisa FAPESP*, v. 210, p. 16–21, 2013

PRIMI, R.; ALMEIDA, L. S. Estudo de validação da bateria de provas de raciocínio (BPR-5). **Psicologia: Teoria e Pesquisa**, v. 16, n. 2, 2000. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-37722000000200009&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-37722000000200009&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt) Acesso: 07/10/2015

REAL, L. F. O. C. **Transmissão sem fio, ondas, campos magnéticos e seus efeitos na saúde humana**, Universidade de São Paulo, 2008. Disponível em: <http://grenoble.ime.usp.br/~gold/cursos/2008/movel/grad/monografiaLuizFOCReal.pdf> Acessado em: 15/10/2015

REIS, M. N. E. Fenômenos de **Transporte**. Pontífica Universidade Católica de Minas Gerais, 2008.

REYNOLDS, W.C. **Thermodynamics**. Tokyo. International Student Edition, 1986.

RODRIGUES, M.A. **Condições de Trabalho e Conforto em Bibliotecas de Ensino Superior**. Tese de Mestrado. Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Setembro, 2009.

RORIZ, Maurício. Conforto Térmico em Edificações: Um Modelo Matemático e uma Aplicação 1996. 185 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

RUAS, Á. C. **Conforto térmico nos ambientes de trabalho**. Brasília: FUNDACENTRO, 1999.

RUAS, Á. C. **Avaliação de conforto térmico: contribuição à aplicação prática das normas internacionais**. Brasília: FUNDACENTRO, 2001.

RUPP, R. F.; VÁSQUEZ, N.G.; LAMBERTS, R. A review of human thermal comfort in the built environment. **Energy and Buildings**. 105: 178-205, 2015.

SAGE, C.; CARPENTER, D.O. Public health implications of wireless technologies. **Pathophysiology**, v. 16, p. 233-246, 2009.

SANTOS, Neri dos. Ambientes de Trabalho. Universidade Federal de Santa Catarina, 2005. Disponível em: [http://www.eps.ufsc.br/ergon/disciplinas/EPS5225/Transparencias/Aula\\_6/Aula\\_6.doc](http://www.eps.ufsc.br/ergon/disciplinas/EPS5225/Transparencias/Aula_6/Aula_6.doc). Acessado em 02/12/2015.

SAS, K.; SUAREZ, A. Priorities for occupational safety and health research in Europe: 2013-2020. Luxembourg: **European Agency for Safety and Health at Work**, 2013

SARBU, I.; SEBARCHIEVICI, C. Aspects of indoor environmental quality assessment in buildings. **Energy and building**, v. 60, p. 410-419, 2013.

SCHELLEN, L.; LOOMANS, M.G.L.C.; WIT, M.H.; OLESEN, B.W.; LICHTENBELT, W.D.M. The influence of local effects on thermal sensation under non-uniform environmental conditions — Gender differences in thermophysiology, thermal comfort and productivity during convective and radiant cooling, **Physiology & Behavior**, v. 107, p. 252-261, 2012.



SCHNEIDER, M. Do school facilities affect academic outcomes? **National Clearinghouse for Educational Facilities**, 2002.

SILVA, L.B. **Análise sobre conforto térmico e desempenho nos ambientes de ensino com video display terminals (VDT): Estudos de multicase no Nordeste do Brasil e Norte de Portugal**. Projeto de pesquisa submetido ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), vinculado ao MCTI/CNPq, 2013.

SILVA, D.X.; BARCELLOS, C.; BACURI, R. Vulnerabilidade e efeitos das mudanças climáticas na saúde pública em Manaus. Ministério da Saúde, Fundação Oswaldo Cruz, 2010.

SHIMAZAKI, Y.; GOTO, S.; YOSHIDA, A.; YAMAMOTO, T. The effect of solar radiation on temperature distribution in outdoor human–clothing–environment systems. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v.104, pg 1-6, 2017.

SILVEIRA, A. L.R. C. **Parâmetros Bioclimáticos para avaliação de conjuntos habitacionais na região tropical subúmida do Brasil**. 2007. 312 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Universidade de Brasília- UNB, Brasília, 2007

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 apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, 2015.

SIQUEIRA, G. R.; OLIVEIRA, A. B.; VIEIRA, R. A. G. **Inadequação ergonômica e desconforto das salas de aula em instituição de ensino do Recife-PE**. RBPS, vol. 21, n. 1, p. 19-28, 2008.

SOARES, A. L.; XAVIER, A. A. P.; MICHALOSKI, A. O. **Thermal comfort in school environments: analysis of the thermal conditions of the classrooms of the Federal University of Technology, Campus Ponta Grossa, Brasil**. World Engineering Education Forum, Cartagena, 2013.

SORENSEN, D.N. Radiation between segments of the seated human body. In: **The 8th international conference on air distribution in rooms**, Copenhagen, Denmark, 2002.

SOUZA, V.S. Mapa climático urbano da cidade de João Pessoa- PB. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Paraíba, 2010.

STERNBERG, R. J. **Psicologia Cognitiva**. Porto Alegre/RS: Artmed, 2000.

STESKENS, P.; LOOMANS, M. G. L. C. Performance indicators for health, comfort and safety of the indoor environment. **Clima 2010-10th REHVA World Congress**. Anais.p.9, 2010.

TINOCO, Denise Hernandes. **Psicologia da aprendizagem**. Apostila, Pós-graduação em Psicopedagogia, Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium, Lins–SP, 2007. Disponível em: [http://www.salesianolins.br/~notas/apostilas/Pos\\_Graduacao/Metodologia%20do%20Ensino%20Superior/Psicologia%20da%20Aprendizagem/PsicologiadaAprendizagem.pdf](http://www.salesianolins.br/~notas/apostilas/Pos_Graduacao/Metodologia%20do%20Ensino%20Superior/Psicologia%20da%20Aprendizagem/PsicologiadaAprendizagem.pdf) Acesso: 19/12/2015

TITTO, E. A.L.; ROSSIGNOLO, J.A.; SAVASTANO, H. Princípios de bioclimatologia. **Termorregulação**. Universidade de São Paulo, 2012. Disponível em: <https://bioclimatologia.files.wordpress.com/2012/08/zaz1022-aula-04-termorregulac3a7ao.pdf> Acesso: 08/12/2015.

TURKMAN, M. A. A.; SILVA, G. L. **Modelos Lineares Generalizados** - da teoria à prática. Lisboa, 2000.

VALADEZ, J.A.M. **Transferência de calor**. 2ª Edição. Editora Alfaomega, 2002.

VAN HOOFF, J. Forty years of Fanger's model of thermal comfort: comfort for all? **Indoor Air**. V.18, p. 182-201, 2008.

VASCONCELOS, P. E.M. **Relação entre variáveis térmicas e desempenho. Um estudo com estudantes da Academia de Polícia Militar do Estado da Paraíba**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, 2013.

VASCONCELOS, P. E.M.; SILVA, L.B.; COUTINHO, A.S. **Relação entre variáveis térmicas e desempenho. Um estudo com estudantes da Academia de Polícia Militar do Estado da Paraíba**. Editora Novas Edições Acadêmicas, ISBN: 978-3-639-83019-4. 2015.

VENABLES, W.N.; RIPLEY, B.D. **Modern applied statistics with S, in Statistics and computing**, Springer: New York. p. xi, 495 p, 2002.

VIANA, S. S. M. **Conforto Térmico nas escolas estaduais de Presidente Prudente/SP**, 2013.

XAVIER, A. A. P.; **Condições de Conforto Térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis**.1999. Dissertação, mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1999.

XAVIER, A. A. P.; **Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividades sedentárias- teoria física aliada a estudos de campo**. Tese de doutorado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2000.

XIMENES, V.J. **Influência do Ambiente térmico no desempenho cognitivo de trabalhadores do sector elétrico**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Humana, Universidade do Minho, Portugal, 2014.

WALIKEWITZ, N.; JANICKE, B.; LANGNER, M.; MEIER, F.; ENDLICHER, W. The difference between the mean radiant temperature and the air temperature within indoors environments: A case study during summer conditions. *Building and Environment*, v. 84, p. 151-161, 2015.

WARGOCKI, P.; WYON, D. P. Providing better thermal and air quality conditions in School classrooms would be cost-effective. *Building and Environment*, v. 59, p. 581–589, 2013.

WEILL-FASSINA, A. (1990). **A Análise dos Aspectos Cognitivos do Trabalho**. Tradução da Introdução do Livro “Les Analyses du Travail. Engeux et Formes. Cerea: Paris. Nº 54:193-198. Texto pedagógico do Laboratório de Ergonomia – PST/IP/UnB

Weill-Fassina, A., Rabardel, P. & Dubois, D. (1993). **Représentations pour l’action** (1ª ed.). Toulouse: Octarés Éditions

WELTY, J.R.; WICKS, C.E.; WILSON, R. E.; RORRER, G. L. **Fundamentals of Momentum, heat, and mass transfer**, 5ª Edição, John Wiley & Sons, Inc. 2008.

WILSON, J.R. (2000). Fundamentals of Ergonomics Theory and Practice. *Applied Ergonomics*, v.31. p.557-567

WISNER, A. **A Inteligência no trabalho: textos selecionados de ergonomia**. São Paulo: FUNDACENTRO, 1994.

WONG, N. H.; KHOO, S. S. Thermal comfort in classrooms in the tropics. *Energy and Buildings*, vol 35: 337–351.2003.

WONG, L.T.; MUI, K.W.; CHEUNG, C.T. Bayesian thermal comfort model. *Building and Environment*, vol. 82, p. 171-179, 2014.

## ANEXO 1 – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Prezado (a) Senhor (a)

Esta pesquisa é sobre **“Influência da temperatura de globo em relação à temperatura do ar no desempenho de estudantes em ambientes de ensino inteligentes (News ICT) nas regiões brasileiras”** e está sendo desenvolvida pela pesquisadora Flávia Brandão Ramalho de Brito, aluna do Mestrado em Engenharia de Produção, sob a orientação do Prof Dr Luiz Bueno da Silva, Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Produção da Universidade Federal da Paraíba.

Os objetivos do estudo são analisar a influência da temperatura de globo em relação à temperatura do ar no desempenho dos alunos em ambientes de ensino inteligentes (*News ICT*) em áreas das regiões brasileiras; avaliar o desempenho dos alunos através de funções cognitivas utilizadas em processos de aprendizagem; realizar medições das variáveis térmicas nos ambientes de ensino; verificar a relação entre a temperatura radiante média e a diferença entre a temperatura de globo e a temperatura do ar no desempenho de alunos; avaliar a criação de um índice de correção entre a temperatura de globo e a temperatura do ar mediante a elevação da radiação térmica; comparar o comportamento da variação das diferenças entre a temperatura de globo e a temperatura do ar nos ambientes de ensino em cada região.

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

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

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

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

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

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

Assinatura do Participante da Pesquisa ou Responsável Legal

Assinatura da Testemunha

Contato com o Pesquisador (a) responsável:

Caso necessite de maiores informações sobre o presente estudo, favor entrar em contato com a pesquisadora Flávia Brandão Ramalho de Brito, através de e-mail: [flavia\\_britto@hotmail.com](mailto:flavia_britto@hotmail.com); de telefone: (83) 996051900 ou no Departamento de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – Cidade Universitária, Campus I. Ou Comitê de Ética em Pesquisa do CCS/UFPB – Cidade Universitária / Campus I Bloco Arnaldo Tavares, sala 812 – Fone: (83) 3216-7791

Atenciosamente,

Flávia Brandão Ramalho de Brito

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

## ANEXO 2 – TABELA DE CORRELAÇÕES

Instituição	A	B	C	D	E	F	G
<b>Correlação</b>							
Dt x ta	0,163	0,100	-0,090	-0,077	0,205	0,141	-0,073
Dt x tg	0,169	0,151	-0,162	-0,111	0,152	0,145	-0,009
Dt x trm	0,177	0,126	-0,184	-0,090	0,075	0,164	0,054
Dt x (tg-ta)	0,119	-0,043	-0,077	-0,460	-0,413	0,066	-0,101
Dt x RH	-0,108	0,028	0,226	-0,408	-0,309	0,125	0,065
Ta x tg	0,979	0,964	0,785	0,952	0,930	0,998	0,945
Ta x trm	0,958	0,933	0,346	0,928	0,876	0,944	0,884
Ta x (tg-ta)	-0,459	-0,942	-0,531	-0,480	-0,724	0,406	-0,479
Ta x RH	-0,821	0,870	0,442	0,447	-0,366	0,938	0,885
Tg x trm	0,992	0,989	0,752	0,989	0,972	0,948	0,961
Tg x (tg-ta)	-0,435	-0,875	0,941	-0,400	-0,550	0,411	-0,373
Tg x RH	-0,809	0,929	-0,010	0,431	-0,401	0,938	0,958
Trm x (tg-ta)	-0,416	-0,858	0,697	-0,373	-0,463	0,464	-0,272
Trm x RH	-0,787	0,952	-0,529	0,428	-0,435	0,914	0,978
(tg-ta) x RH	0,488	-0,806	-0,851	-0,900	0,668	0,451	-0,303

## APÊNDICE A

No sentido de verificar se havia ou não troca de calor por radiação entre o aluno e seu ambiente, hipóteses foram testadas à luz da equação da temperatura radiante média de acordo com a ISO 7726 (2002). O globo situado em um ambiente tende a um balanço térmico sob os efeitos das trocas térmicas devido à radiação provinda de diferentes fontes do ambiente e devido aos efeitos da convecção. A temperatura do globo em situação de balanço térmico, permite que a  $T_{rm}$ , seja determinada. Desta forma, analisando a  $T_{rm}$ ,  $T_g$  e a  $(t_g-t_a)$  através do balanço térmico temos que:

$$R_g + C_g = 0 \quad (1)$$

Onde:

$R_g$ = transferência de calor por radiação entre as paredes do ambiente e o globo, em  $W/m^2$

$C_g$ = transferência de calor por convecção entre o ar e o globo, em  $W/m^2$

Considerando que:

$$R_g = \varepsilon_g \sigma (T_{rm}^4 - T_g^4) \quad (2)$$

$$C_g = h_{cg} (T_a - T_g) \quad (3)$$

Onde:

$\varepsilon_g$  = emissividade do globo negro (adimensional);

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

$T_{rm}$  = temperatura radiante média, em Kelvins;

$T_g$  = temperatura de globo, em Kelvins

$h_{cg} = 1,4 \left( \frac{\Delta T}{D} \right)^{1/4}$  para convecção natural, onde D é o diâmetro de globo

$h_{cg} = 6,3 \frac{v^{0,6}}{D^{0,4}}$  para convecção forçada, onde v é a velocidade do ar

Substituindo (2) e (3) em (1) tem-se que:

$$\varepsilon_g \sigma (T_{rm}^4 - T_g^4) + h_{cg} (T_a - T_g) = 0 \quad (4)$$

A partir de (4) tem-se que:

$$\varepsilon_g \sigma (T_{rm}^4 - T_g^4) = -h_{cg} (T_a - T_g) \quad (5)$$

Com o objetivo de encontrar  $T_{rm}$  tem-se a partir de (5) que:

$$T_{rm} = \sqrt[4]{T_g^4 + \frac{h_{cg}}{\varepsilon_g \sigma} \cdot (T_g - T_a)} \quad (6)$$

Diante do exposto tem-se três situações:

- Se  $T_g = T_a$ , então  $T_{rm} = T_g$ , donde não há troca de calor por radiação
- Se  $T_g > T_a$ , então  $T_{rm}$  aumenta proporcionalmente à elevação da  $T_g$ , caracterizando assim troca de calor por radiação
- Se  $T_g < T_a$ , então  $T_{rm}$  decresce proporcionalmente à diminuição da  $T_g$ , constatando assim não haver troca de calor por radiação

Considerando a primeira hipótese ( $T_g = T_a$ ) então a partir de (6),  $T_{rm}$  será igual a  $T_g$ .

Considerando a segunda hipótese ( $T_g - T_a > 0$  e  $(T_g - T_a) \in IR_+^*$ , toma-se  $(T_g - T_a) = 1$ . Então a partir de (6) tem-se que:

$$T_{rm} = \sqrt[4]{T_g^4 + \frac{h_{cg}}{\varepsilon_g \sigma}}$$

Como  $\frac{h_{cg}}{\varepsilon_g \sigma}$  é constante, então  $T_{rm}$  aumentará, pois, o valor de  $T_g$  aumentará desta constante.

Toma-se agora  $(T_g - T_a) = n$ . A partir de (6) tem-se que:



$$T_{rm} = \sqrt[4]{Tg^4 + n \frac{h_{cg}}{\varepsilon_g \sigma}}$$

Como  $\frac{h_{cg}}{\varepsilon_g \sigma}$  é constante, então  $T_{rm}$  aumentará para qualquer valor de  $n \in IR_+^*$  pois, o valor de  $T_g$  aumentará  $n$  vezes desta constante.

Toma-se por fim  $(T_g - T_a) = (n+1)$ . Então a partir de (6) tem-se que:

$$T_{rm} = \sqrt[4]{Tg^4 + (n+1) \frac{h_{cg}}{\varepsilon_g \sigma}}$$

Como  $\frac{h_{cg}}{\varepsilon_g \sigma}$  é constante, então  $T_{rm}$  aumentará para qualquer valor de  $n \in IR_+^*$  pois o valor de  $T_g$  aumentará  $(n+1)$  vezes desta constante.

Logo  $T_{rm} > T_g$ , donde:

$$(T_g - T_a) \neq T_{rm}; (T_g - T_a) \neq T_g; (T_g - T_a) \neq T_a$$

Diante dessa hipótese pode-se assim concluir que à medida que  $(T_g - T_a)$  aumenta a cada grau,  $T_{rm}$  aumenta, ou seja, há uma relação diretamente proporcional entre  $T_{rm}$  e  $(T_g - T_a)$ , com  $(T_g - T_a) \in IR_+^*$ .

Considerando a última hipótese  $(T_g - T_a) < 0$  e  $(T_g - T_a) \in IR_-^*$  toma-se  $(T_g - T_a) = -1$ . Então a partir de (6) tem-se que:

$$T_{rm} = \sqrt[4]{Tg^4 - \frac{h_{cg}}{\varepsilon_g \sigma}}$$

Como  $\frac{h_{cg}}{\varepsilon_g \sigma}$  é constante, então  $T_{rm}$  diminuirá, pois o valor de  $T_g$  será decrescida desta constante.

Toma-se agora  $(T_g - T_a) = -n$ . A partir de (6) tem-se que:

$$T_{rm} = \sqrt[4]{Tg^4 - n \frac{h_{cg}}{\varepsilon_g \sigma}}$$

Como  $\frac{h_{cg}}{\varepsilon_g \sigma}$  é constante, então  $T_{rm}$  diminuirá, pois o valor de  $T_g$  será decrescida  $n$  vezes desta constante.

Toma-se por fim  $(T_g - T_a) = -(n+1)$ . Então a partir de (6) tem-se que:

$$T_{rm} = \sqrt[4]{T_g^4 - (n+1) \frac{h_{cg}}{\varepsilon_g \sigma}}$$

Como  $\frac{h_{cg}}{\varepsilon_g \sigma}$  é constante, então  $T_{rm}$  diminuirá para qualquer valor de  $n \in \mathbb{R}_+^*$  pois o valor de  $T_g$  diminuirá  $(n+1)$  vezes desta constante.

Diante dessa hipótese pode-se assim concluir que à medida que  $(T_g - T_a)$  diminui a cada grau,  $T_{rm}$  diminui, ou seja, há também uma relação diretamente proporcional entre  $T_{rm}$  e  $(T_g - T_a)$ , com  $(T_g - T_a) \in \mathbb{R}_+^*$ .