



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

JOSEANA CELIZA FERNANDES SIQUEIRA

**AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS CARDIOVASCULARES E DESEMPENHO
COGNITIVO DE ESTUDANTES DE AMBIENTES INTELIGENTES DE ENSINO
SUBMETIDOS À VARIAÇÃO DE TEMPERATURA DO AR**

JOÃO PESSOA
2015

JOSEANA CELIZA FERNANDES SIQUEIRA

**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, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Tecnologia, trabalho e organizações

Orientador: Luiz Bueno da Silva, Dr.

JOÃO PESSOA

2015

JOSEANA CELIZA FERNANDES SIQUEIRA

**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, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção – Área de concentração: Tecnologia, trabalho e organizações.

DATA DA DEFESA: 24/02/2015

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

HORÁRIO: 18:00h

BANCA EXAMINADORA

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

Examinador interno – Prof. Antônio Souto Coutinho (Dr.) - UFPB

Examinador externo – Prof. José Felício da Silva (Dr.) – UnB

RESUMO

Introdução: Diversos institutos têm alertado sobre o aumento da temperatura do ar global nos últimos anos e a sua tendência em continuar aumentando. Este aumento tem sido associado a perda da produtividade física e cognitiva e a mortes humanas, algumas vezes relacionadas a disfunções cardiovasculares. **Objetivo:** Analisar a relação entre os parâmetros cardiovasculares (frequência cardíaca e pressão arterial) e o desempenho cognitivo de alunos submetidos à variação de temperatura do ar em ambientes de ensino. **Métodos:** Alunos universitários responderam a um questionário adaptado da Bateria de Provas de Raciocínio (BPR-5) em três dias consecutivos a diferentes temperaturas, enquanto as condições térmicas e frequência cardíaca foram medidas. Nestes dias, a pressão arterial e a frequência cardíaca foram avaliadas antes e depois do questionário. **Resultados:** A pressão arterial não foi alterada pela temperatura durante a realização de atividade cognitiva. Entretanto, tanto a frequência cardíaca média quanto a final aumentaram com o aumento da temperatura. Quanto ao desempenho, a acurácia do teste cognitivo não foi afetada pelas mudanças da temperatura. Por outro lado, houve redução no tempo de execução a altas temperaturas. Utilizando Modelos Lineares Generalizados foi observado que a acurácia no teste cognitivo foi relacionado à pressão arterial média ao início do teste, a frequência cardíaca máxima durante a atividade e a temperatura do ar. **Conclusão:** Esta pesquisa concluiu que a acurácia do desempenho cognitivo se eleva de 70% para 75% quando os alunos estão submetidos à temperatura que consideram neutra e com frequência cardíaca máxima e pressão arterial média adequadas para a atividade executada.

Palavras-chave: frequência cardíaca; pressão arterial; conforto térmico; termorregulação; atividade cognitiva; produtividade.

ABSTRACT

Introduction: Several institutions have issued alerts about the rise in global temperature in the past few years, and on its tendency to keep rising in the future. This temperature rise has been associated to human deaths, some of which related to cardiovascular dysfunctions, and to loss of physical and cognitive performance on humans. **Purpose:** To analyze the relation between cardiovascular parameters (blood pressure and heart rate) and cognitive performance of students submitted to changes of temperature in classrooms. **Methods:** The university students answered the survey adapted of Battery of Reasoning Tests (BPR-5) during three consecutive days in different temperatures, while thermal conditions and heart rate were measured. In these days, the blood pressure and the heart rate were evaluated before and after the test. **Results:** The blood pressure did not alter with different temperatures during cognitive activity. However, the average heart rate and the final increased at high temperatures. The accuracy of cognitive performance was not altered with changes of temperature, on the other hand, the execution time reduced at high temperatures. Using the analyzes by Generalized Linear Models, it was observed that the accuracy on cognitive test was related to mean blood pressure at the beginning of the test, the maximum heart rate during the test and the air temperature. **Conclusion:** This research concluded that accuracy in cognitive performance rises from 70% to 75%.when the students are submitted to temperatures which them consider neutral and maximum heart rate and mean blood pressure are compatible with activity.

Keywords: Heart rate; Blood Pressure; Thermal Comfort; Thermoregulation; Cognitive activity; Productivity

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Definição de Sistema	27
Figura 2 - Balanço térmico aplicado em um sistema	32
Figura 3 - Equilíbrio do calor no corpo	33
Figura 4 - Sistemas de controle fisiológico para a homeostase	36
Figura 5 - Reflexos termorregulatórios	37
Figura 6 - Mecanismos de regulação da temperatura corporal	38
Figura 7 - Respostas homeostáticas para extremos de temperatura	40
Figura 8 - Representação esquemática da disponibilidade, dos reservatórios e dos tipos de energia.....	48
Figura 9 - Relação entre os índices PMV e PPD.....	53
Figura 10 - Resposta ao estresse fisiológico.....	58
Figura 11 - Centro cardiovascular	60
Figura 12 - Complexo estimulante do coração	62
Figura 13 – Estresse como fator de risco para doenças cardíacas e mortalidade	65
Figura 14 – Esquema da associação do estresse com vulnerabilidade a doenças cardiovasculares	65
Figura 15 - Alterações da pressão sanguínea sistêmica.....	68
Figura 16 - Esquema neurocomportamental para avaliação da produtividade de trabalho de escritório.....	73
Figura 17 - Fluxo do PRISMA.....	84
Figura 18 - Influência do calor no sistema cardiovascular.....	133

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição dos estudos ao longo dos anos de 2004 a 2014.....	85
Gráfico 2 - Variáveis estudadas pelo artigo.....	86
Gráfico 3 - Distribuição dos cursos.....	107
Gráfico 4 - Categorização do IMC	108
Gráfico 5 - Conforto e desconforto a cada dia de pesquisa (ISO 10551/95)	112
Gráfico 6 - Sensação térmica a cada dia de pesquisa (ISO 10551/95).....	113
Gráfico 7 - Desejo de mudança térmica do ambiente em cada dia (ISO 10551/95).....	114
Gráfico 8 - Histograma da PAS inicial em cada dia de pesquisa.....	116
Gráfico 9 - Histograma da PAS final em cada dia de pesquisa	116
Gráfico 10 - Histograma da variação da PAS em cada dia de pesquisa	117
Gráfico 11 - Variação da PA sistólica conforme a variação da temperatura do ar ..	118
Gráfico 12 - Histograma da PAD inicial em cada dia de pesquisa	119
Gráfico 13 - Histograma da PAD final em cada dia de pesquisa.....	120
Gráfico 14 - Histograma da variação da PAD em cada dia de pesquisa.....	120
Gráfico 15 - Variação da PA diastólica conforme a variação da temperatura do ar	121
Gráfico 16 - Histograma da PAM inicial em cada dia de pesquisa	122
Gráfico 17 - Histograma da PAM final em cada dia de pesquisa	123
Gráfico 18 - Histograma da variação da PAM em cada dia de pesquisa	123
Gráfico 19 - Variação da PAM conforme a variação da temperatura do ar	124
Gráfico 20 - Histograma da FC inicial em cada dia de pesquisa	126
Gráfico 21 - Histograma da FC final em cada dia de pesquisa	126
Gráfico 22 - Histograma da variação da FC em cada dia de pesquisa	127
Gráfico 23 - Variação da FC conforme a variação da temperatura do ar	127
Gráfico 24 - Histograma da FC média em cada dia de pesquisa	129
Gráfico 25 - Histograma da FC máxima em cada dia de pesquisa	129
Gráfico 26 - Relação entre FC média, Sensação térmica e Temperatura do ar.....	131
Gráfico 27 - Relação entre FC final, Sensação térmica e Temperatura do ar	131
Gráfico 28 - Distribuição dos acertos em raciocínio verbal a cada dia	134
Gráfico 29 - Distribuição dos acertos em raciocínio abstrato a cada dia	134
Gráfico 30 - Distribuição dos acertos em raciocínio espacial a cada dia.....	135
Gráfico 31 - Distribuição dos acertos em raciocínio mecânico a cada dia	135

Gráfico 32 - Distribuição dos acertos em raciocínio numérico a cada dia	136
Gráfico 33 - Distribuição dos acertos totais a cada dia	137
Gráfico 34 - Relação entre Tempo gasto na realização do BPR, Sensação térmica e Temperatura do ar.....	140
Gráfico 35 - Distribuição de frequência BPR, com representação da distribuição Beta	149
Gráfico 36 - Distribuição de frequência BPRERRO, com representação da distribuição Weibull	149
Gráfico 37 - Exemplo de ponto de alavancagem.....	151
Gráfico 38 - Adequação da Distribuição	153
Gráfico 39 - Adequação da função de ligação.....	153
Gráfico 40 - Adequação da Função de Variância.....	154
Gráfico 41 - Pontos de Alavancagem	154
Gráfico 42 - Distância de Cook.....	155

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fatores que influenciam a equação de balanço térmico	34
Quadro 2 - Reações fisiológicas a diferentes temperaturas	39
Quadro 3 - Métodos de estimacão da producao metabólica de calor, ISO 8996/89 ..	50
Quadro 4 - Efeitos do sistema nervoso autônomo no coracão	60
Quadro 5 - Parâmetros da atividade baseados na avaliacao de pulso	64
Quadro 6 - Principais funcoes testadas e seus correspondentes testes	73
Quadro 7 - Definicao dos dez fatores amplos da teoria Cattell-Horn-Carroll (CHC) ..	77
Quadro 8 - Baterias de Prova de Raciocínio (BPR-5) e seus cinco subtestes: Raciocínio verbal, abstrato, mecânico, espacial e numérico	78
Quadro 9 – Características dos artigos selecionados	85
Quadro 10 – Resultados das pesquisas na relacao entre as variáveis térmicas, o desempenho e parâmetros cardiovasculares	89
Quadro 11 - Variáveis e indicadores da pesquisa	98
Quadro 12 - Protocolo para afericao da PA	100
Quadro 13 - Subtestes de Raciocínio baseados na BPR-5	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índice de resistência térmica para vestimentas.....	47
Tabela 2 - Classificação da taxa metabólica pela atividade (exemplo método 1)	50
Tabela 3 - Classificação da taxa metabólica pela ocupação (exemplo método 2)	50
Tabela 4 – Taxa metabólica por grupo de avaliações (exemplo método 3)	50
Tabela 5 – Estimação da taxa metabólica usando a frequência cardíaca (exemplo método 5)	50
Tabela 6 - Taxas metabólicas para diferentes atividades segundo a ISO 7730/94 ...	51
Tabela 7 - Escala de sete pontos da sensação térmica, ISO 7730/2005	53
Tabela 8 - Variações da pressão arterial (mmHg), de acordo com várias situações e atividades	69
Tabela 9 – Principais funções de ligação	80
Tabela 10 - Modelos Lineares Generalizados	81
Tabela 11 - Turmas e horários de coletas	98
Tabela 12 - Condições meteorológicas na cidade durante o período de coleta	109
Tabela 13 - Dados das condições térmicas médias dos ambientes de ensino	110
Tabela 14 - Média e mediana de PMV e PPD a cada dia de pesquisa	111
Tabela 15 - Porcentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico	112
Tabela 16 - Intervalos livres de distribuição para a comparação da FC final	128
Tabela 17 - Intervalos livres de distribuição para a comparação da FC média	130
Tabela 18 - Média e desvio padrão do número de acertos obtidos em cada subteste e geral	137
Tabela 19 - Média do tempo, em segundos, para resposta dos testes	138
Tabela 20 - Intervalos livres de distribuição para a comparação do tempo gasto no Raciocínio Espacial	139
Tabela 21 - Intervalos livres de distribuição para a comparação do tempo gasto no Raciocínio Numérico	139
Tabela 22 - Intervalos livres de distribuição para a comparação do tempo total gasto em cada dia.....	139
Tabela 23 - Correlações entre variáveis do desempenho cognitivo e dos parâmetros cardiovasculares e térmicos	142
Tabela 24 - Correlações entre variáveis do desempenho cognitivo e características dos alunos	143
Tabela 25 - Correlações entre parâmetros cardiovasculares e variáveis térmicas .	143
Tabela 26 - Correlações entre parâmetros cardiovasculares e características dos	

alunos.....	144
Tabela 27 - Correlação entre os parâmetros térmicos	145
Tabela 28 - Correlação entre os parâmetros cardiovasculares.....	146
Tabela 29 - Correlação entre as medidas de desempenho cognitivo.....	147
Tabela 30 – Distribuições e funções de ligação testadas e seus desvios residuais	152
Tabela 31 - Estimativa dos coeficientes do modelo	152

LISTA DE ABREVIATURAS

AD	Átrio direito
AE	Átrio esquerdo
bpm	Batimentos por minuto
BPR	Número de acertos na Bateria de Testes de Raciocínio (BPR-5)_
BPR-5	Bateria de Prova de Raciocínio
BPRERRO	Número de erros na Bateria de Testes de Raciocínio (BPR-5)
C	Fluxo de calor transferido por convecção (W/m^2)
CHC	Teoria de Cattell-Horn-Carroll
C_{res}	Perda de calor sensível na respiração, por convecção (W/m^2)
CT	Centro de Tecnologia
DC	Débito cardíaco (litros/segundo)
dP/dT	Variação de pressão no tempo
ECG	Eletrocardiograma
E_{dif}	Perda de calor por evaporação por difusão, nas partes enxutas do corpo (W/m^2)
EG	Escore Geral
$E_{máx}$	Quantidade máxima de calor perdida por evaporação (W/m^2)
E_{res}	Perda de calor latente pela respiração, por evaporação (W/m^2)
E_s	Perda de calor por evaporação, nas partes molhadas do corpo (W/m^2);
FC	Frequência Cardíaca (bpm)
FCidade	Frequência Cardíaca Máxima para idade (bpm)
FCmax	Frequência Cardíaca Máxima (bpm)
FCmed	Frequência Cardíaca Média (bpm)
F_l	Fator de redução do calor latente, adimensional
F_s	Fator de redução do calor sensível, adimensional
h_c	Coeficiente de convecção ($W/m^2\text{°C}$)
HF	Espectro de alta frequência (0,15-0,40Hz)
h_r	Coeficiente de radiação ($W/m^2\text{°C}$)
IBUTG	Índice de bulbo úmido temperatura de globo ($^{\circ}C$)
ICT	Inovações Tecnológicas de Comunicação e Informação
IMC	Índice de Massa Corporal
K	Quantidade de calor transmitida por condução (W/m^2)
k	Condutividade térmica ($W/m^{\circ}C$)

L	Carga térmica atuante no corpo (W/m^2)
LF	Espectro de baixa frequência (0,04-0,15Hz)
M	Taxa metabólica de produção de calor (W/m^2)
MAPA	Monitorização ambulatorial da pressão arterial
MLG	Modelos Lineares Generalizados
NASA-TLX	National Aeronautics and Space Administration - Task Load Index
OMS	Organização Mundial de Saúde
PA	Pressão Arterial (mmHg)
PAD	Pressão Arterial Diastólica (mmHg)
PAM	Pressão Arterial Média (mmHg)
PAS	Pressão Arterial Sistólica (mmHg)
PMV	Voto médio estimado
PPD	Porcentagem de pessoas insatisfeitas com as condições ambientais (%)
P_v	Pressão de vapor de água contido no ar (kPa)
P_{vsp}	Pressão de vapor de água saturado à temperatura da pele (kPa)
Q	Calor (W)
Q_g	Calor gerado (W)
Q_p	Calor perdido (W)
R	Fluxo de calor transferido por radiação (W/m^2)
RA	Raciocínio Abstrato
RE	Raciocínio Espacial
RM	Raciocínio Mecânico
RN	Raciocínio Numérico
R_p	Resistência periférica
R-R	Intervalo entre as ondas R do eletrocardiograma
RV	Raciocínio verbal
S	Saldo (W)
SA	Nódulo sinusal ou sinoatrial
SBC	Sociedade Brasileira de Cardiologia
SBS	Síndrome do Edifício Doente (Sick Building Syndrome)
SNA	Sistema nervoso autônomo
T	Trabalho externo (W/m^2)
t_a	Temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$)
t_{bu}	Temperatura de bulbo úmido ($^{\circ}\text{C}$)
TCLE	Termo de consentimento livre e esclarecido

t_g	Temperatura de globo (°C)
t_p	Temperatura média da pele (°C)
t_{rm}	Temperatura radiante média do ambiente (°C)
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
v_a	Velocidade do ar (m/s)
v_{ar}	Velocidade relativa do ar (m/s)
VD	Ventrículo direito
VE	Ventrículo esquerdo
VFC	Variabilidade da frequência cardíaca (bpm)
W	Trabalho (W)
η	Rendimento

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....	18
1.1.Delimitação do tema.....	19
1.2.Justificativa.....	21
1.3.Objetivos	25
1.3.1. Objetivo Geral.....	25
1.3.2. Objetivos Específicos.....	25
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	26
2.1.Calor.....	26
2.1.1. Mecanismos de transmissão de calor.....	27
2.2.Balço térmico.....	31
2.3.Termorregulação	34
2.4.Conforto.....	41
2.4.1. Conforto térmico	41
2.5.Saúde.....	55
2.5.1. Sistema cardiovascular.....	59
2.6.Desempenho	70
2.6.1. Aprendizagem, inteligência e bateria de prova de raciocínio.....	74
2.7.Modelos Lineares Generalizados	79
CAPÍTULO 3: REVISÃO SISTEMÁTICA.....	82
3.1.Parâmetros cardiovasculares e desempenho cognitivo na alternância de temperatura	82
CAPÍTULO 4: PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	96
4.1.Classificação da pesquisa	96
4.2.População e amostra	97
4.3.Variáveis e indicadores da pesquisa	97
4.4.Instrumentos de coleta de dados	98
4.4.1. Variáveis pessoais.....	99
4.4.2. Variáveis Ambientais	102

4.4.3. Parâmetros Subjetivos.....	102
4.4.4. Desempenho dos estudantes	102
4.5. Análise dos dados	104
4.6. Considerações éticas	105
CAPÍTULO 5: RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	106
5.1. Caracterização da amostra	107
5.2. Caracterização do ambiente.....	108
5.3. Análise dos votos de conforto e sensação térmica dos alunos	111
5.4. Análise dos parâmetros cardiovasculares	115
5.4.1. Pressão arterial sistólica	115
5.4.2. Pressão arterial diastólica.....	119
5.4.3. Pressão arterial média.....	122
5.4.4. Frequência cardíaca	125
5.5. Análise dos testes de raciocínio	133
5.6. Correlações	141
5.7. Modelagem matemática	148
CAPÍTULO 6: CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	157
6.1. Sugestões para estudos futuros.....	159
REFERÊNCIAS	161
ANEXO 1 – PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA	175
APÊNDICE 1 – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.....	176
APÊNDICE 2 – MODELO DE PLANILHA DE COLETA DE DADOS PRÉ E PÓS- TESTE	178

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

A Ergonomia é uma disciplina científica relacionada ao entendimento das interações entre os seres humanos e outros elementos ou sistemas, e à aplicação de teorias, princípios, dados e métodos a projetos a fim de aperfeiçoar o bem estar humano e o desempenho global deste conjunto. Os ergonomistas contribuem para o planejamento, concepção e avaliação de tarefas, trabalhos, produtos, organizações e ambientes, a fim de torná-los compatíveis com as necessidades e limitações das pessoas (GUÉRIN et al., 2001; VASCONCELOS, 2013).

Inicialmente, esta disciplina era vista apenas associada às características da anatomia, da antropometria, da fisiologia e da biomecânica do corpo humano em relação à atividade desempenhada, verificando itens relacionados à adaptação ao posto de trabalho e a tarefa, ou seja, o domínio da Ergonomia Física. No entanto, a influência de outros fatores foi identificada como essencial na relação indivíduo-atividade (GUÉRIN et al., 2001; HARRIS; STANTON, 2010; ABERGO, 2013).

O domínio da Ergonomia Cognitiva, que se refere aos processos mentais, começou a ganhar cada vez mais força e mais pesquisas que focam a percepção, memória, raciocínio e resposta motora, inclusive estudos da carga mental de trabalho, tomada de decisão, desempenho especializado e estresse (AYAZ et al., 2010; ABERGO, 2013).

A despeito da divisão didática dos dois domínios, na prática existe a interação entre eles. A inadequação do ambiente de trabalho pode levar a distúrbios de saúde, tais como a Síndrome do Edifício Doente, e queda na produtividade (FANG et al., 2004; BRADSHAW, 2006; HOOFF, 2008; LAN; WARGOCKI; WYON; et al., 2011). Tal fato ressalta a ideia de que a adequação do ambiente físico proporciona melhores condições para o desenvolvimento das atividades cognitivas e menor sobrecarga dos sistemas regulatórios do corpo. Entre as condições ambientais, o conforto térmico desempenha um papel importante a ser estudado, especialmente com a previsão de aumento da temperatura do planeta.

Apesar desta previsão, a temperatura corporal humana adapta-se ao meio ambiente, desde que não haja condições extremas. No entanto, quando há aumento da temperatura proveniente de fontes diferenciadas de calor no ambiente, geradas pelo próprio homem ou por equipamentos como lâmpadas, microcomputadores,

laptops, ou seja, ambientes com novas tecnologias de comunicação e informação (*News ICT*), o cérebro envia ao corpo sinais que induzem reações termorregulatórias, que tem como objetivo a perda de calor para o ambiente. Se houver aumento da temperatura e da umidade nos ambientes de ensino, os alunos poderão ter alterações nas frequências cardíaca e respiratória, no metabolismo celular e no processo de digestão, com reflexos na queda do desempenho cognitivo (BLATTEIS, 2011; VASCONCELOS, 2013). Assim, há necessidade de se investigar o quanto as variações térmicas nos ambientes de ensino inteligentes (*News ICT*) poderão interferir na frequência cardíaca dos alunos, com repercussão em seu desempenho.

1.1.Delimitação do tema

O ser humano está constantemente submetido às ações oriundas do meio em que vive. Para manter-se em pleno funcionamento, protegendo suas funções fisiológicas, possui mecanismos que promovem a regulação de seu equilíbrio interno como um todo. Por esta razão, as variáveis ambientais, como temperatura, umidade, radiação, 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 (RUAS, 1999; BRADSHAW, 2006; DJONGYANG et al., 2010; VASCONCELOS, 2013).

Em estudo realizado por Huang et al. (2012), os autores concluíram que dentre os fatores ambientais, o conforto térmico e o acústico são os que mais influenciam a aceitabilidade do ambiente. Assim também, Vimalanathan e Babu (2014), concluíram que a temperatura do ar influencia mais do que a iluminação no desempenho em escritórios.

O aumento crescente de áreas construídas e a conseqüente redução de vegetação natural geram alteração das condições climáticas em virtude das mudanças da absorção e reflexão da radiação solar e dos ventos. Associada às mudanças climáticas oriundas da alteração do ambiente pela humanidade de modo mais permanente, a atividade humana rotineira também afeta as condições ambientais, através da produção industrial e do tráfego de automóveis, por exemplo.

Este efeito, de ilha de calor urbano, é perceptível principalmente como um fenômeno noturno, pois durante o dia a diferença de temperatura entre as zonas urbana e rural é muito pequena. Depois que o sol se põe, no entanto, a energia térmica que foi armazenada nos materiais da superfície urbana durante o dia é liberada e dificulta o resfriamento natural, resultando em temperaturas que podem chegar a ser até 12° acima da temperatura normal para o período em áreas sem edificações. Este efeito tem sido pior em ambientes de rápida urbanização (VANOS et al., 2010; ARAÚJO, 2012; KJELLSTROM et al., 2013).

As condições térmicas em um espaço fechado são geralmente controladas para assegurar o adequado funcionamento dos equipamentos, bem como a saúde e o conforto dos ocupantes (BRADSHAW, 2006). Os edifícios em geral têm como principal objetivo proporcionar um ambiente saudável e confortável para seus ocupantes. Segundo Steskens e Loomans (2010), estima-se que as pessoas passam em média 90% do seu tempo dentro de algum edifício, seja ele, casa, local de trabalho, lojas, meios de transporte, entre outros. Desta forma, a qualidade do ambiente interno, como combinação complexa de variáveis como condições térmicas, visuais, acústicas, qualidade do ar interior, campos eletromagnéticos, eletricidade estática e vibração, caracteriza-se como fator importante para garantir a segurança e a qualidade de vida dos seus usuários.

Conjuntamente, as condições ambientais podem ter influência sobre a produtividade dos trabalhadores, podendo levar à insatisfação e ao estresse no trabalho. Tal fato justifica economicamente o investimento para obtenção do conforto, pela vantajosa relação custo-benefício que pode ser quantificada. A baixa qualidade do ar e os níveis elevados de temperatura e umidade do ar têm demonstrado afetar negativamente o desempenho de adultos em ambientes de trabalho (NIEMELÄ et al., 2002; OLESEN, 2005; AKIMOTO et al., 2010; LAN; WARGOCKI; LIAN, 2011).

Segundo relatório do Ministério de Ciência e Tecnologia sobre mudanças climáticas há uma expectativa de que a temperatura do ar média em todo o Brasil fique pelo menos de 3°C a 6°C mais elevada no ano 2100 em comparação ao final do século XX. Este aumento irá demandar um esforço adicional do corpo humano para atingir a sensação de conforto térmico e para manter a homeotermia, podendo gerar uma sobrecarga fisiológica. Esta sobrecarga pode acarretar uma queda da produtividade em consequência da redução da atenção e disposição do indivíduo e,

no caso de condições mais exacerbadas, pode evoluir para a perda total da capacidade de realização do trabalho e/ou problemas de saúde, estes especialmente relacionados ao sistema cardiocirculatório, tais como incapacidade de manter a circulação sanguínea adequada e presença de arritmias e hipovolemia decorrente de desidratação (BLATTEIS, 2011; COUTINHO, 2011; VASCONCELOS, 2013).

Diante da suposição de que alterações do clima poderão elevar ainda mais a temperatura média em todas as regiões do Brasil (PIVETTA, 2013), associada à escassa informação sobre a influência da temperatura e da umidade do ar em ambiente de ensino, principalmente quando este é provido dos aparelhos necessários ao uso de inovações tecnológicas de comunicação e informação (*news ICT*) que são, em si mesmos, fontes de calor e, em razão do pouco conhecimento sistematizado relativo à forma de interação entre desempenho mental e parâmetros cardiovasculares, considera-se de importância fundamental a investigação dos efeitos gerados por situações de conforto e desconforto térmico sobre o desempenho de alunos no exercício de suas atividades e relacioná-los com a variação da frequência cardíaca e pressão arterial..

Tomando como base o exposto, o presente trabalho busca responder ao seguinte problema de pesquisa: **“Em ambientes de ensino inteligentes, os parâmetros cardiovasculares poderão influenciar no desempenho cognitivo dos alunos em diferentes temperaturas do ar?”**

1.2. Justificativa

Desde a década de 1930, com a aceleração do processo de urbanização, houve um impulso nos estudos sobre clima e saúde, pois o crescimento desordenado das cidades acarretou impactos socioambientais diversos, inclusive com o ressurgimento de doenças sob controle e o aparecimento de outras patologias. Sabe-se que alterações na atmosfera impactam nos agravos da saúde, aumentando morbi-mortalidade de doenças cardiovasculares, no entanto, apesar dos avanços tecnológicos, ainda hoje, existe uma lacuna nos estudos de campo sobre a influência do clima na saúde humana, particularmente na incidência de doenças (ARAÚJO, 2012; WU et al., 2013).

A temperatura da terra está alterando e a expectativa é um aumento de 0,2°C nas próximas duas décadas. Com esta mudança espera-se que as pessoas se aclimatem em algum grau gerando aumento na temperatura ótima de conforto. No entanto atenção deve ser dada às ondas de calor, ou seja, períodos longos de estresse térmico anormalmente alto relacionado à atmosfera, que causam modificação temporária no estilo de vida e que podem ter consequências para a saúde da população. Deve-se considerar também que, apesar de o ser humano ter uma grande capacidade de adaptação a mudanças graduais do clima, mudanças súbitas podem gerar impacto na fisiologia do corpo, e, portanto, em sua saúde. (LUNDGREN et al., 2013).

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. Estas condições são asseguradas de diversas formas, sendo a promoção do conforto térmico do ambiente uma delas. Considera-se que o ambiente está termicamente confortável quando não há esforço para o sistema de termorregulação, ou seja, quando a produção de calor gerada pelo metabolismo está em equilíbrio com as trocas de calor com o ar e com as superfícies ao seu redor. Entretanto, além dos fatores fisiológicos, a sensação de conforto térmico depende também de fatores físicos, comportamentais e emocionais dos indivíduos.

Em geral, os estudos sobre as condições térmicas em ambientes escolares tratam da relação entre os resultados obtidos através da percepção dos usuários com aqueles calculados analiticamente através das normas internacionais (VASCONCELOS, 2013). Pouco é abordado sobre a relação entre o desempenho acadêmico e a saúde, bem como sobre a influência do conforto térmico nesta relação. Segundo Ickovics et al. (2014), a associação entre saúde e desempenho é complexa e pode ser bidirecional, visto que identificaram que crianças com deficiência e doenças crônicas atingem desempenho acadêmico inferior, e aqueles com baixo desempenho escolar provavelmente tenham morbi-mortalidade prematura.

Entre as doenças, devem ser investigadas as relacionadas ao sistema cardiovascular, pois o seu funcionamento é afetado diretamente pelas mudanças climáticas e pelas atividades exercidas. A relação entre atividade cardiovascular, esforço e gasto energético é clara durante a realização de atividade física. Já para

explicar a responsividade cardiovascular durante a realização de tarefas mentais ainda há questionamentos, pois não é despendido esforço físico direto e há pouca alteração na taxa metabólica.

Referindo-se à monitorização do sistema cardiovascular pode-se avaliá-lo indiretamente, através da presença de fatores de risco, tais como tabagismo, etilismo, sedentarismo, obesidade, idade, etc.; fatores associados a outros sistemas, como respiratório, renal e nervoso, ou diretamente, através de parâmetros relacionados ao trabalho do coração e às condições dos vasos sanguíneos.

Com relação aos parâmetros diretos, pode-se verificar débito cardíaco, volume de ejeção, retorno venoso, resistência periférica, velocidade do fluxo, pré-carga e pós-carga cardíaca, pressão venosa central, consumo de oxigênio pelo miocárdio, entre outros. Estes, porém, são parâmetros de difícil acesso ou trazem riscos maiores ao indivíduo (AMIB, 2004; DIEGO; GALHARDO JR, 2008).

Entre os parâmetros considerados de fácil acesso (por serem não invasivos) e de baixo risco, estão a frequência cardíaca e a pressão arterial, que de acordo com Sosnowski et al. (2012), podem ser utilizadas para mensurar a responsividade cardíaca. Ainda, a partir destes dados, outros podem ser calculados como a pressão arterial média e duplo-produto. De acordo com Zanetti et al. (2013), o duplo-produto, apesar de pouco utilizado, possui grande nível de significância para analisar a sobrecarga miocárdica.

Segundo Másculo e Vidal (2011), a frequência cardíaca (FC) tem relação com a carga de trabalho e se eleva com o aumento da temperatura do ar, do trabalho estático e com pequeno número de músculos envolvidos no trabalho. Segundo Choi et al. (2012), a FC tem potencial para ser um indicador da estimativa da sensação térmica em humanos, pois já foi demonstrada a existência de relação entre a FC e as variações de temperatura do ar (LAN; WARGOCKI; WYON; et al., 2011) e o conforto térmico em ambientes de 21 a 30°C, com velocidade do ar de 0,02m/s e umidade relativa entre 42 e 71% (LIU et al., 2008).

Além da FC sofrer influência da atividade realizada, visto que está intimamente relacionada à taxa metabólica, e das condições térmicas, a variação da FC é uma ferramenta promissora para a verificação do efeito do estresse mental e também para o uso de sistema de biofeedback (TAELEMAN et al., 2011). Luque-Casado et al. (2013) e Larra et al. (2014), também consideram que a FC pode ser utilizada como preditor para a ativação adrenérgica e para consolidação da

memória. Portanto, conclui-se que se trata de uma variável a ser considerada quando se tem a intenção de avaliar o desempenho mental e o conforto ambiental.

Apesar da relação entre parâmetros cardiovasculares e a resolução de atividades mentais ter demonstrado estarem associadas, a relação entre saúde e o desempenho tem sido pouco explorada de acordo com Ickovics et al. (2014). O estudo realizado por Lan et al. (2011), mostrou que o desempenho cognitivo foi afetado negativamente devido à redução da oxigenação, demonstrando que alterações no sistema cardiovascular podem levar a alterações no desempenho.

Tendo em vista a importância do desempenho para a aprendizagem e para a formação dos profissionais, observa-se a necessidade de verificar a relação entre o desempenho cognitivo e a saúde destes, especialmente em relação ao sistema cardiovascular que fica sobrecarregado quando confrontado com condições térmicas diferentes das ideais de conforto. Ênfase deve ser dada aos ambientes providos de inovações tecnológicas de comunicação e informação, comuns em locais destinados ao aprendizado, pois fazem surgir um novo fator, além do aquecimento, as radiações não-ionizantes.

Vale salientar que havendo a elevação da temperatura em todas as regiões brasileiras, em decorrência das mudanças climáticas, aliada à inserção de novas tecnologias nos ambientes de trabalho e estudo, apresenta-se a necessidade de investigar a relação entre os parâmetros cardiovasculares e a resolução de problemas mentais, bem como os efeitos no desempenho cognitivo e a indicação de fatores de risco para a saúde do indivíduo.

Este conjunto de fatores é uma das preocupações das diretrizes para 2013-2020 da Segurança e Saúde Ocupacional da Comunidade Européia, onde consta que esta inserção de novas tecnologias e as más condições dos ambientes de trabalho, tais como fábricas, salas de controle, centro cirúrgico, salas de aula, podem expor os trabalhadores a um misto de riscos químico, físico e biológico, que repercutem na saúde e segurança do trabalhador (SAS; SUAREZ, 2013).

A implantação de novas tecnologias de comunicação e informação (news ICT) 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 (SAS; SUAREZ, 2013).

Assim, investigações sobre a influência destas novas tecnologias no ambiente de ensino sobre as condições térmicas, os parâmetros cardiovascular e no desempenho cognitivo do estudante universitário são essenciais para entender a nova realidade destes ambientes, bem como para melhorar o processo ensino-aprendizagem para estes futuros profissionais.

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

Analisar a relação entre os parâmetros cardiovasculares (frequência cardíaca e pressão arterial) e o desempenho cognitivo de alunos submetidos à variação de temperatura do ar em ambientes inteligentes de ensino.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Avaliar o desempenho dos alunos através de funções cognitivas utilizadas em processos de aprendizagem;
- Avaliar a variabilidade da pressão arterial e da frequência cardíaca durante a aplicação de testes de desempenho cognitivo em diferentes temperaturas do ar.
- Verificar as correlações entre a temperatura do ar e variabilidade da pressão arterial; variabilidade da frequência cardíaca e desempenho cognitivo nos testes.

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta revisão preliminar busca demonstrar resultados e teorias sobre a relação entre os parâmetros cardiovasculares e o desempenho, bem como a influência do conforto térmico nesta relação. Assim, inicialmente será abordado 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. Estes tópicos são importantes para entender como as mudanças climáticas podem afetar a saúde e o desempenho do indivíduo.

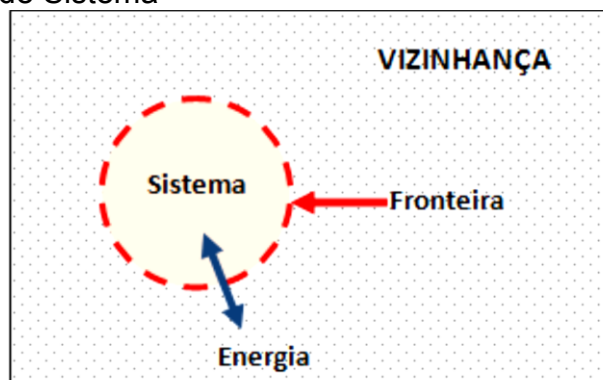
Em seguida, serão abordados itens relativos à saúde, dando ênfase ao sistema cardiovascular, no intuito de entender os seus parâmetros, os efeitos da mudança de temperatura do ar e a influência da realização de atividades. Dentre as atividades, serão abordadas mais detalhadamente as funções utilizadas no processo de aprendizagem, bem como a forma de avaliação do seu desempenho.

Integrando os fatores a serem estudados nesta pesquisa, por fim, será demonstrada a revisão sistemática de literatura com foco na relação entre condições climáticas (temperatura do ar e conforto térmico), produtividade (desempenho acadêmico) e saúde (parâmetros cardiovasculares).

2.1. Calor

Conhecer todo o processo de transmissão de calor e definições é importante para realizar a análise das interações térmicas entre o homem e o ambiente. Neste caso, deve-se inicialmente definir o sistema a ser estudado. Segundo Vasconcelos (2013), este sistema pode ser definido como uma quantidade delimitada de matéria, sem necessidade de forma e volume constante, e após definido, a relação com outros sistemas podem ser identificadas. Este sistema é isolado das adjacências, ou vizinhança, por uma limitação especificada, ou fronteira (figura 1). Como as interações entre sistema e vizinhança ocorrem através da fronteira, esta deve ser cuidadosamente delineada, conforme a conveniência do estudo.

Figura 1 - Definição de Sistema



Fonte: Vasconcelos (2013, p. 6)

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. Esta energia em trânsito devido à diferenças de temperatura é definida como Calor. A taxa de calor é proporcional a 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 ($^{\circ}\text{C}$), 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).

Há 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). O calor sensível é a expressão da excitação molecular do corpo e é devido exclusivamente à diferença de temperatura (BRADSHAW, 2006).

Sempre que houver diferença de temperatura entre dois corpos ocorrerá diversas formas de transmissão de calor do lugar mais quente para o mais frio, proporcionalmente à área e a diferença de temperatura (BRADSHAW, 2006; COUTINHO, 2011).

2.1.1. Mecanismos de transmissão de calor

Existem três formas de transferir o calor sensível: radiação, convecção e condução. Outra forma de o corpo perder calor é a transformação do líquido (pele e vias aéreas) em vapor, ou seja, evaporação (BRADSHAW, 2006; COUTINHO, 2011; VASCONCELOS, 2013).

A forma como ocorrerão estes mecanismos no corpo, será determinado por

variáveis individuais (metabolismo e vestimenta) e variáveis do ambiente ao redor (radiação, umidade, temperatura e velocidade do ar) (BRADSHAW, 2006).

2.1.1.1. Condução (K)

O processo de condução ocorre através de corpos sólidos ou fluidos parados. É diretamente proporcional a área de transferência e a diferença de temperatura entre as duas regiões do referido corpo e inversamente proporcional à distância entre elas. 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 (BRADSHAW, 2006; COUTINHO, 2011). Pode ser calculada através da equação 1:

$$K = kA \times \frac{(t_1 - t_2)}{\Delta x} \quad (1)$$

Onde:

K = quantidade de calor transmitida por condução, em W/m²

k = condutividade térmica, em W/m°C

t₁ = temperatura do ponto 1, em °C

t₂ = temperatura do ponto 2, em °C

Δx = distância entre os pontos 1 e 2, em metros

2.1.1.2. Convecção (C)

É o processo de transferência de calor entre um líquido e um sólido que estejam em contato e apresentem diferença de temperatura. A eficiência deste processo está relacionada a diferença de temperatura e velocidade do ar (BRADSHAW, 2006; COUTINHO, 2011).

Segundo Coutinho (2011), a convecção que ocorre na pele pode ser representada pela equação 2.

$$C = h_c \times (t_1 - t_2) \quad (2)$$

Onde:

C = fluxo de calor transferido por convecção, em W/m^2

h_c = coeficiente de convecção, em $W/m^2\text{°C}$

t_1 = temperatura do ar no ponto 1, em $^{\circ}C$

t_2 = temperatura do ar no ponto 2, em $^{\circ}C$

Ainda de acordo com Coutinho (2011), 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.

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

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

Onde:

v_a = velocidade do ar, em m/s

v_{ar} = velocidade relativa do ar, dada pela equação 5.

$$v_{ar} = v_a + 0,0052 \times (M - 58) \quad (5)$$

Onde:

M = Metabolismo, em W/m^2

2.1.1.3. Radiação (R)

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).

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. Quando a radiação encontra um corpo, três fenômenos, simultâneos ou isolados, podem ocorrer

- 1) Transmissão: é a fração da radiação que atravessa o corpo considerado, denominada transmissividade (τ). Nos corpos transparentes $\tau = 1$ e nos opacos

$$\tau = 0;$$

- 2) Reflexão: é a fração da radiação refletida pela superfície irradiada, conhecida como refletividade (ρ);
- 3) Absorção: é a fração que é absorvida pelo corpo irradiado e lhe eleva a temperatura. É conhecida como absorvidade (α).

E considera-se que:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (6)$$

Geralmente, a resposta de uma superfície a um fluxo de radiação emitida por outra será a combinação das suas formas, das características do material, como, temperatura, emissividade, absorvidade, refletividade e transmissividade, além de fatores como distância e posição relativa, cor e acabamento (BRADSHAW, 2006; COUTINHO, 2011).

Conforme Coutinho (2011), a equação 7 representa o fluxo de radiação térmica entre a pessoa e a vizinhança.

$$R = h_r \times (t_1 - t_2) \quad (7)$$

Onde:

R = fluxo de calor transferido por radiação, em W/m^2 ou $kcal/hm^2$

t_1 = temperatura média da superfície 1, em $^{\circ}C$

t_2 = temperatura média da superfície 2, em $^{\circ}C$

h_r = coeficiente de radiação, em $W/m^{\circ}C$ ou $kcal/hm^{\circ}C$, dada pela equação 8.

$$h_r = \varepsilon \times \sigma \times (T_1^2 + T_2^2)(T_1 + T_2) \quad (8)$$

Sendo:

ε = emissividade, adimensional; $0 < \varepsilon < 1$

σ = constante de Constante de Stefan-Boltzmann, em W/m^2K^4

T_1 e T_2 = temperaturas absolutas das superfícies 1 e 2 respectivamente, em K.

2.1.1.4. Evaporação (E)

É um processo de transferência de calor e massa que age como um mecanismo de resfriamento do corpo. A evaporação é diretamente proporcional a

velocidade do ar e inversamente proporcional a 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 (BRADSHAW, 2006; COUTINHO, 2011).

As perdas por evaporação representam o necessário para vaporizar o suor e evitar a elevação de temperatura interna. Este é o calor latente de vaporização da transpiração. Na superfície da pele, ocorre apenas a temperaturas moderadas ou altas, enquanto através das vias aéreas e pulmões ocorrem continuamente. 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 (BRADSHAW, 2006; COUTINHO, 2011).

Segundo Coutinho (2011), a taxa máxima de evaporação proporcionada por um ambiente pode ser representado pela equação 9.

$$E = h_e \times (P_{vs} - P_v) \quad (9)$$

Onde:

E = quantidade de calor perdido por evaporação, em W/m²

h_e = coeficiente de evaporação, em W/m²kPa

P_{vs} = pressão de vapor de água saturado, em kPa

P_v = pressão de vapor de água contido no ar, em kPa

Vários processos de troca de calor podem estar ocorrendo simultaneamente, mas vale ressaltar que a perda de calor do corpo por é maior para indivíduos com menos roupas. A convecção e a radiação reduzem com o aumento da temperatura, enquanto a perda por evaporação diminui com o aumento da umidade (BRADSHAW, 2006; COUTINHO, 2011).

2.2. Balanço térmico

O equilíbrio térmico é essencial para a manutenção da vida humana.

Segundo Coutinho (2011), o balanço térmico é aplicação da primeira lei da termodinâmica, podendo ser expresso graficamente pela figura 2, e analiticamente pela equação 10.

Figura 2 - Balanço térmico aplicado em um sistema



Fonte: Coutinho (2011, p. 210)

$$S = Q_G - Q_P \quad (10)$$

Onde:

S = Saldo

Q_g = Calor gerado

Q_p = Calor perdido

Quando o sistema térmico é a pessoa, deve-se considerar 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, sendo assim, o saldo S da equação 10 é igual a zero. No entanto, para a pessoa manter-se saudável o calor não deve ser perdido muito rápido ou muito lentamente, e a temperatura interna deve ser mantida (RUAS, 2001; BRADSHAW, 2006; COUTINHO, 2011). A forma como o corpo pode alcançar o equilíbrio térmico é mostrado na figura 3. Matematicamente, a relação entre a produção de calor pelo corpo e as outras perdas ou ganhos pode ser escrita na equação 11:

$$M - T = C_{res} + E_{res} + (E_s + E_{dif} + C + R)_{pele} \quad (11)$$

Onde:

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

T = Trabalho externo (W/m^2);

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

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

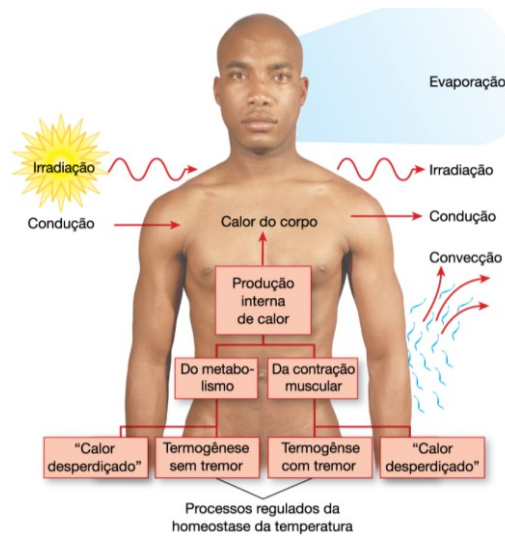
E_{dif} = Perda de calor por evaporação por difusão, nas partes enxutas do corpo (W/m^2);

E_s = Perda de calor por evaporação, nas partes molhadas do corpo (W/m^2);

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

R = perda de calor por radiação (W/m^2).

Figura 3 - Equilíbrio do calor no corpo



Fonte: Adaptado de Silverthorn (2010, p. 748)

Segundo Vasconcelos (2013), estas trocas de calor pela pele, respiração e por condução através das roupas, podem ser expressas como as equações 12 a 17:

$$C_{res} = 0,0014 \times M \times (35 - t) \quad (12)$$

$$E_{res} = 0,0173 \times M \times (5,628 - p_v) \quad (13)$$

$$E_{dif} = 3,05 \times 10^{-3} \times (256 \times t_p - 3373 - p_v) \quad (14)$$

$$E_s = 16,7 \times h_c \times Fl \times (p_{vsp} - p_v) \quad (15)$$

$$C = h_c \times F_s \times (t_p - t) \quad (16)$$

$$R = h_r \times F_s \times (t_p - trm) \quad (17)$$

Em que:

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

p_v = pressão parcial de vapor de água (kPa)

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

F_s = fator de redução de calor sensível, adimensional

FI = fator de redução de calor latente, adimensional

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

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

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

Estas equações podem ser influenciadas por fatores humanos e ambientais, conforme expostos no quadro 1:

Quadro 1 - Fatores que influenciam a equação de balanço térmico

Fator	Ambiental	Humano
Metabolismo	Pequeno efeito	Atividade Peso Área de superfície Idade Sexo
Evaporação	Umidade do ar Velocidade do ar	Habilidade para produzir suor Área de superfície Vestimenta
Radiação	Diferença de temperaturas entre os corpos Emissividade das superfícies	Área de superfície Vestimenta
Convecção	Temperatura do ar Velocidade do ar	Vestimenta Temperatura média de superfície Área de superfície

Fonte: Adaptado de Bradshaw (2006)

O corpo sempre produz calor, portanto a taxa metabólica é sempre positiva, variando com o grau de esforço. Se as condições ambientais são tais que a perda de calor é menor do que o produzido, o excesso deverá ser armazenado nos tecidos corporais. Entretanto, esta capacidade de armazenagem é limitada. Ocorrendo excesso de acúmulo ou de liberação de calor ocorrerá comprometimento da função fisiológica dos órgãos internos levando a prejuízos no desempenho humano (BRADSHAW, 2006; GONZÁLEZ-ALONSO, 2012).

2.3. Termorregulação

O corpo humano produz calor através do metabolismo e troca calor com o ambiente, através da radiação e da convecção, e perde calor através da evaporação dos fluidos corporais. Estes processos ocorrem para manter a temperatura corporal interna constante, em aproximadamente $37^\circ C$ (RUAS, 2001; DJONGYANG et al., 2010). Como uma máquina térmica, segundo Coutinho (2011), aplicando-se a

segunda lei da termodinâmica, o corpo é um sistema que ao receber uma quantidade de calor (Q_1) transforma parte em trabalho (W) e rejeita o restante (Q_2). Neste caso, a eficiência da máquina será a relação entre energia transformada em trabalho e o metabolismo, conforme a equação 18. Ou seja, a quantidade de calor Q_2 se acumula no corpo, transformando-se em energia interna, tendendo a elevar a temperatura corporal.

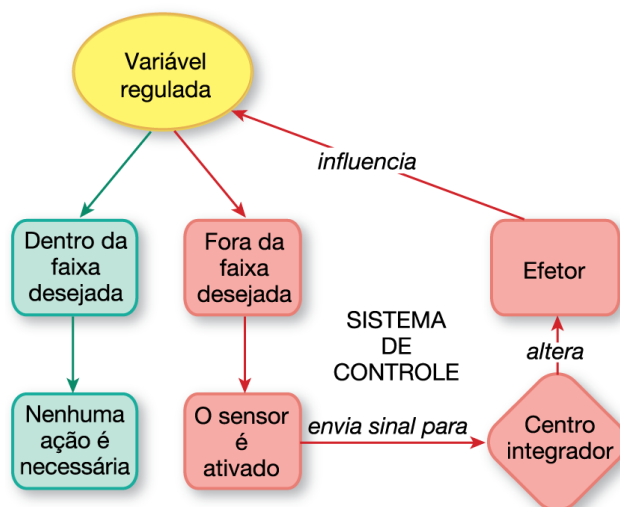
$$\eta = \frac{W}{Q} \quad (18)$$

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. 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 (BRADSHAW, 2006; BLAZEJCZYK et al., 2013).

A tolerância humana ao calor é o resultado da interação de adaptações genéticas, sistema interno especializado e complexo de termorregulação e mecanismos culturais e comportamentais. A habilidade de tolerar o calor é altamente influenciada pela capacidade física e pelo estado de saúde, além de idade, sexo, habilidade de aclimação, nível de atividade física, tamanho do corpo, vestimenta e equipamentos de proteção (LUNDGREN et al., 2013).

O sistema termorregulatório humano é muito complexo. Matematicamente se comporta de forma não-linear e contém múltiplos sensores, vias de retroalimentação e consequências. A variável dependente é um valor integrado entre as temperaturas interna e da pele; é influenciada por distúrbios térmicos de fatores internos, como geração de calor por atividade física, e de fatores externos climáticos do ambiente (DJONGYANG et al., 2010). A figura 4 mostra o mecanismo geral de regulação do corpo para manter a homeostase.

Figura 4 - Sistemas de controle fisiológico para a homeostase



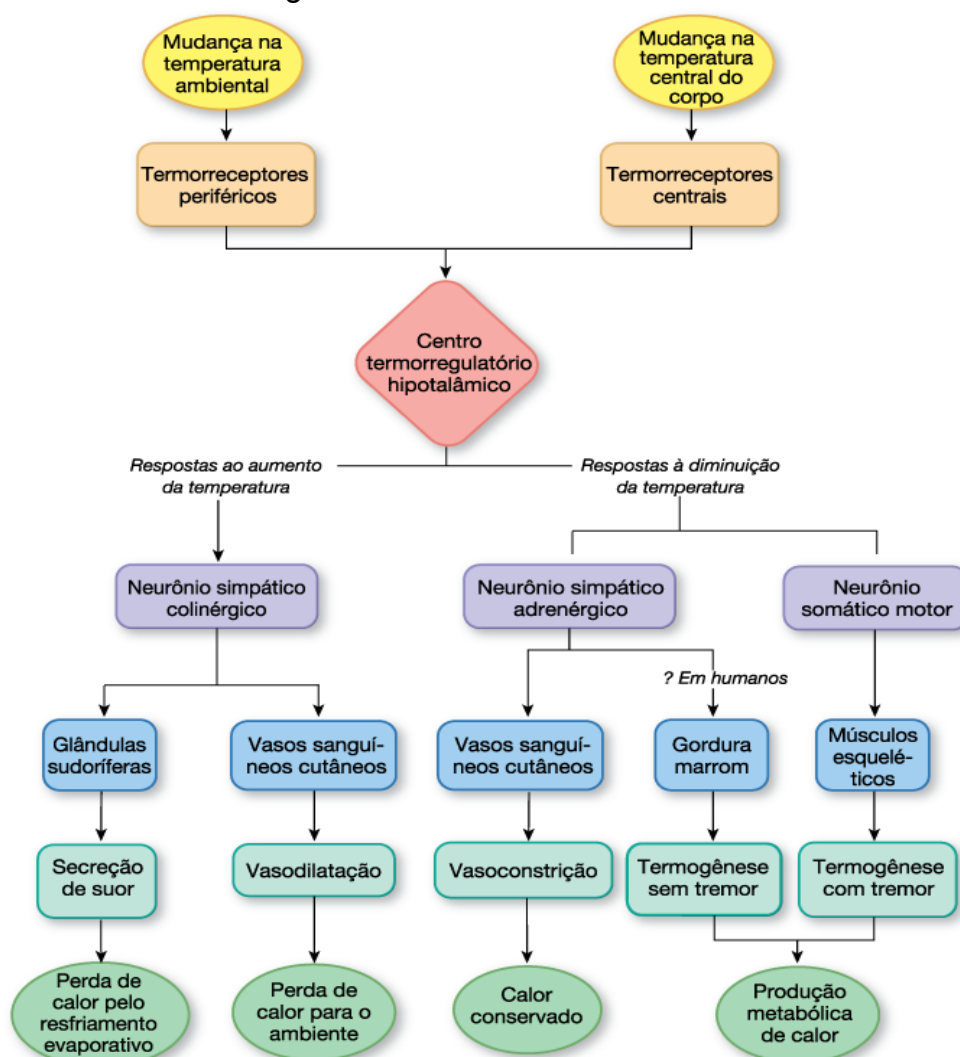
Fonte: Silverthorn (2010, p. 196)

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 controle destas adaptações do corpo a temperatura do ar ocorre no 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).

O hipotálamo é responsável por várias funções automáticas. Entre estas funções encontra-se a atividade vasomotora, tornando-o apto a desencadear mecanismo de controle para aumentar ou diminuir a perda de calor, comandando o fluxo sanguíneo para a pele, através de informações para o sistema nervoso autônomo. Como o sangue tem alta condutividade térmica, é uma forma efetiva de controle rápido do calor corporal. Controlando o fluxo sanguíneo periférico, o corpo é apto a: 1) aumentar a temperatura da pele para acelerar perdas do calor corporal; 2) promover a transpiração; ou 3) reduzir a perda de calor (RUAS, 2001; BRADSHAW, 2006).

O controle vasomotor é a resposta inicial, no entanto, o corpo pode controlar outras ações autonômicas, tais como: estimular a produção de calor (através de tremores), aumentar a resistência térmica externa, alterar a taxa de secreção e evaporação (através do controle das glândulas sudoríparas). Todas estas ações podem ser vistas na figura 5. Tais controles podem ser variáveis para cada indivíduo (RUAS, 2001; DJONGYANG et al., 2010).

Figura 5 - Reflexos termorregulatórios

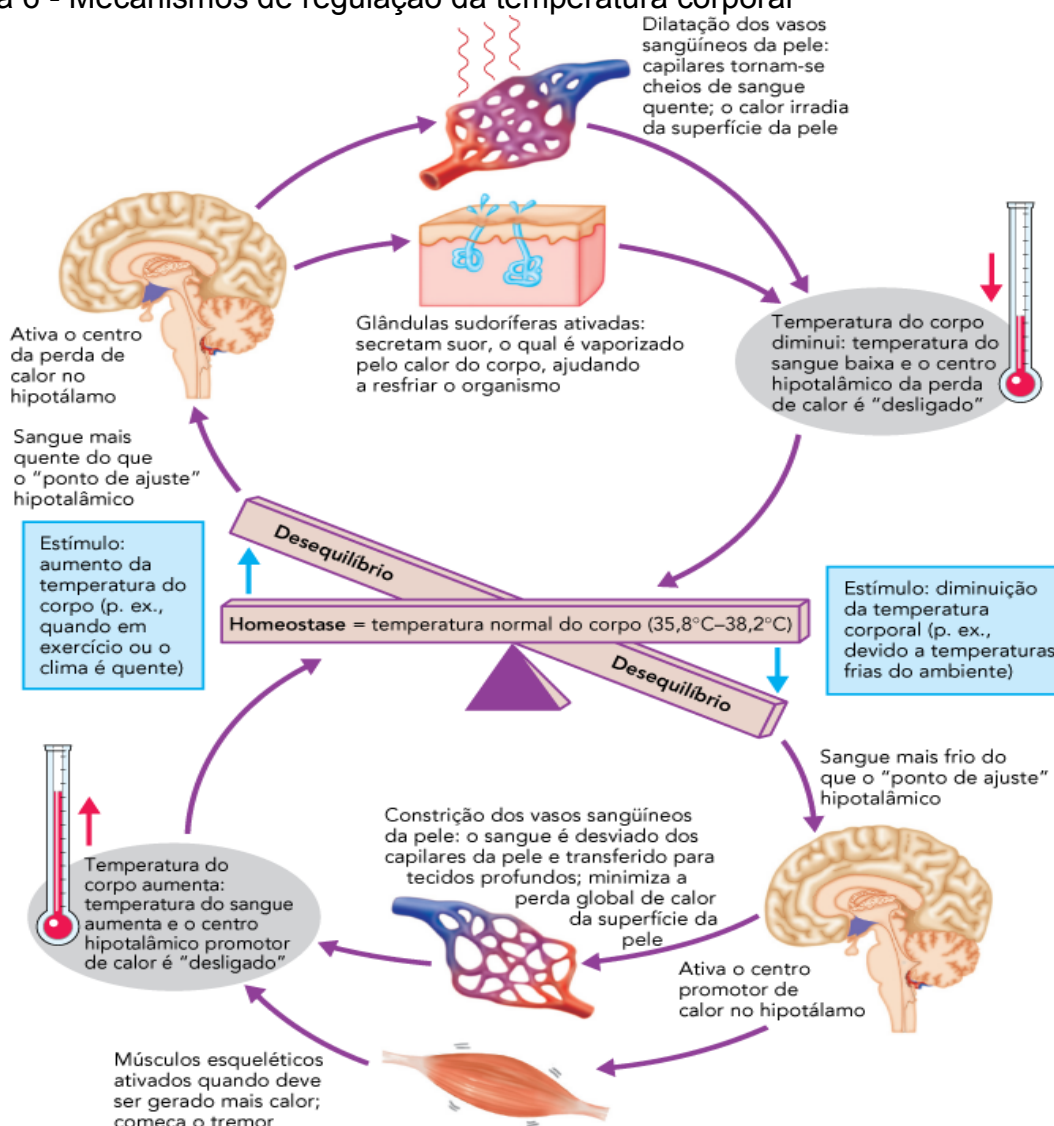


Fonte: Silverthorn (2010, p. 749)

Quando a temperatura interna do corpo aumenta além do normal, ou seja, ultrapassa 37°C , os vasos sanguíneos se dilatam (vasodilatação), conduzindo mais calor, carregado pelo sangue, para a superfície, aumentando a temperatura da pele (figura 6). As glândulas sudoríparas também são estimuladas, através dos nervos simpáticos colinérgicos, abrindo os poros da pele para permitir a passagem de fluidos que irão evaporar na superfície da pele e assim resfriar o corpo. Uma menor parte da perda de calor ocorre pela evaporação de água dos pulmões e vias respiratórias. A cada litro evaporado ocorre a perda de 675 W de calor. A partir de temperaturas de $38\text{--}39^{\circ}\text{C}$ há um aumento do risco de exaustão pelo calor, e além destas temperaturas pode ocorrer insolação, com falência do sistema de termorregulação do sistema nervoso central e sérias consequências para a saúde

(quadro 2). Estes eventos ocorrem pois para o corpo perder muito calor grande parte do sangue deve ser direcionado para a pele em detrimento de outros órgãos, como o cérebro, causando cansaço e confusão mental no indivíduo. Um ambiente quente também aumenta a tensão sobre o coração, pois terá que aumentar a frequência cardíaca para bombear mais sangue para a periferia (RUAS, 2001; BRADSHAW, 2006; PARSONS, 2009; LUNDGREN et al., 2013).

Figura 6 - Mecanismos de regulação da temperatura corporal



Fonte: Marieb e Hoehn (2009)

Quadro 2 - Reações fisiológicas a diferentes temperaturas

Temperatura corporal	Reações fisiológicas		
43,3°C	Dano cerebral Desmaio Náusea	Resfriamento do corpo muito lentamente	Superaquecimento
37,8°C	Início do suor		
37°C	Temperatura normal		
32,2°C	Tremores e arrepios Requerido tratamento para exposição Perda da capacidade de discurso	Resfriamento do corpo muito rapidamente	Super-resfriamento
26,5°C	Rigidez e encolhimento do corpo		
21°C (25° a 15°C)	Congelamento potencialmente irreversível		
15,5°C	Temperatura mais baixa com recuperação		

Fonte: Adaptado de Bradshaw (2006)

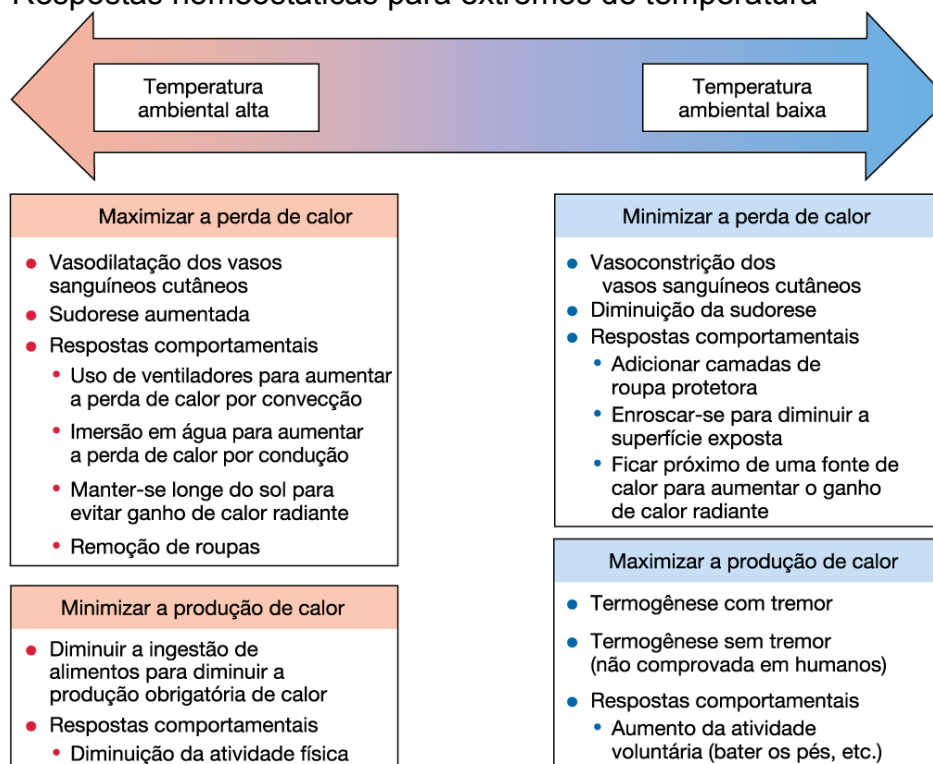
Define-se o estresse térmico como a combinação de fatores ambientais e pessoais que exigem um esforço do sistema termorregulatório para manter a temperatura do corpo nos limites toleráveis. A tensão térmica refere-se a respostas termorregulatórias e subjetivas ao estresse térmico. As respostas termorregulatórias estão relacionadas a temperatura interna (núcleo) e periférica (pele) do corpo, taxa de sudorese e frequência cardíaca, enquanto as subjetivas são a sensação térmica e o esforço percebido. Por outro lado, considera-se que, fisiologicamente, o conforto térmico é alcançado do equilíbrio térmico do corpo com o mínimo de regulação corporal. Se o corpo necessitar de trabalhar arduamente para manter o equilíbrio, ocorrerá desconforto (BRADSHAW, 2006; MORANTE; BROTHERHOOD, 2007).

Após um período de exposição, o corpo pode aclimatar-se às mudanças térmicas do ambiente, dentro de um limite de variação. No entanto, esta aclimação é limitada, especialmente se a mudança de temperatura for abrupta. A aclimação refere-se à habilidade da pessoa em reduzir o estresse térmico, devido a exposição ao calor. Pode ocorrer pelo comportamento ou fisiologicamente (figura 7). A aclimação comportamental está associada ao ajuste consciente de movimentos e roupas às sensações de conforto e desconforto térmico; é tida como mais eficiente e principal forma de lidar com a exposição ao calor, são atitudes muitas vezes simples, como por exemplo, a ingestão adequada de líquidos (BRADSHAW, 2006; PARSONS, 2009; DJONGYANG et al., 2010; ARAÚJO, 2012).

Já a aclimação fisiológica é mediada pelo sistema nervoso autônomo e está associada à melhora da função termorregulatória e cardiovascular e a

diminuição do risco de apresentar doenças relacionadas ao calor. Este tipo pode ocorrer submetendo a pessoa a altos níveis de calor ou frio por poucas horas ao dia e é possível perceber mudanças com 3 a 4 dias de exposição, melhorando assim a sua tolerância ao calor ou ao frio. Entre as diferenças encontradas entre pessoas aclimatadas ou não ao clima quente estão: aumento na capacidade de sudorese, redução da temperatura de ativação das glândulas sudoríparas, melhor distribuição do suor na pele, redução da frequência cardíaca e do fluxo sanguíneo periférico. Este tipo de aclimação difere quando se compara o clima quente e úmido com o clima seco, devido a mudanças da capacidade de perda de calor pela evaporação (BRAGER; DEAR, 1998; PARSONS, 2009).

Figura 7 - Respostas homeostáticas para extremos de temperatura



Fonte: Silverthorn (2010, p. 751)

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 existe a mente está alerta e o corpo opera com a máxima eficiência. Portanto, ocorre produtividade máxima e redução de acidentes (BRADSHAW, 2006; LUNDGREN et al., 2013).

2.4. Conforto

Condições adequadas de conforto são aquelas que não causam distrações por sensações desagradáveis, para isto, o ambiente deve ser esteticamente agradável, proporcionar conforto e higiene. Para o conforto e a eficiência, o corpo humano requer uma gama relativamente estreita de condições ambientais comparado ao disponível na natureza. Os fatores externos que afetam o conforto positiva ou negativamente incluem: temperatura do ar ao redor, temperatura radiante das superfícies circundantes, umidade e velocidade do ar, odores, poeira, estética, acústica e iluminação (BRADSHAW, 2006).

Além disto, o conforto é afetado por muitas variáveis de cada indivíduo, tais 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 se sentir confortável (BRADSHAW, 2006). Vale salientar que as pessoas ao sentirem-se desconfortáveis tendem a reagir procurando métodos de restaurar o seu conforto, através de ajustes fisiológicos, psicológicos e comportamentais, simultaneamente (TOE; KUBOTA, 2013).

O conforto térmico é considerado um dos tipos principais para proporcionar a satisfação do usuário e o principal responsável pelo consumo de energia em edifícios (TOE; KUBOTA, 2013). Devido ao foco desta pesquisa ser o conforto térmico, apenas este será abordado de forma mais detalhada.

2.4.1. Conforto térmico

O conforto térmico é o estado em que a pessoa se sente satisfeita com o ambiente térmico, ou seja, não prefere o ambiente nem mais quente nem mais frio. Nesta condição, ocorre estimulação mínima dos termorreceptores da pele e da porção termorreguladora do cérebro. Justamente por isto, o conforto térmico é relativo e varia de acordo com o metabolismo do indivíduo, atividade realizada e habilidade de adaptação ao ambiente, sendo fácil de sentir, no entanto, difícil de prever corretamente (BRADSHAW, 2006; VANOS et al., 2010; POKORNY; JICHA, 2013).

O equilíbrio térmico pode ser alcançado em limites amplos, no entanto, os

limites para conforto térmico são mais estreitos e altamente dependentes do calor e do nível de atividade, conforme a teoria de Fanger (VANOS et al., 2010). A percepção de conforto térmico, advinda desta teoria, é baseada na interação entre variáveis ambientais e variáveis pessoais. Mudanças em qualquer destas variáveis pode levar à necessidade de ajuste das outras, para manter o balanço térmico e manter a sensação de conforto (BRADSHAW, 2006; PARSONS, 2013). A equação de Fanger foi base para as normas ISO 7730/1984 e ASHRAE 55/1992. Com o aumento da sua utilização surgiram críticas relacionadas a: 1) papel da resistência das vestimentas; 2) taxa metabólica e atividade dos sujeitos; 3) caráter dinâmico das condições térmicas; e 4) influência de características psicológicas do indivíduo, tais como expectativa e habilidade de adaptação. Apesar dos modelos não reconhecerem a adaptação fisiológica, estes assumem pontos definidos para pessoas aclimatadas (BRAGER; DEAR, 1998; ARAÚJO, 2012; TALEGHANI et al., 2013).

2.4.1.1. Variáveis ambientais

Dentre as variáveis ambientais, os parâmetros importantes são: temperatura, umidade, radiação e velocidade do ar (PARSONS, 2013). Assim, estes serão abordados a seguir mais detalhadamente.

2.4.1.1.1. Temperatura do ar (°C)

A temperatura do ar ou temperatura de bulbo seco é a temperatura registrada por um termômetro com o bulbo protegido da troca radiante. Já a temperatura de bulbo úmido está relacionada com a umidade do ar. Estas duas temperaturas são iguais quando a umidade relativa é de 100%, pois já ocorreu toda a absorção do vapor de água, e, portanto, não poderá ocorrer evaporação. Por outro lado, o ponto onde inicia-se a condensação do vapor d'água é chamado de temperatura de ponto de orvalho (BRADSHAW, 2006; COUTINHO, 2011).

A temperatura do ar afeta a taxa de perda de calor por convecção, sendo um importante determinante do conforto térmico. Esta importância se reflete por uma estreita margem de temperaturas de conforto ser atingida quase independente de outras variáveis ambientais, no entanto, uma margem maior de temperaturas de

conforto pode ser proporcionada se combinada adequadamente à umidade relativa, à temperatura radiante média e velocidade do ar (BRADSHAW, 2006).

Segundo Bradshaw (2006), em relação à temperatura do ar, a variação pode ser bem aceita pelo indivíduo, desde que seja gradual, não ultrapasse $0,6^{\circ}\text{C/h}$, não extrapole as condições específicas de conforto e não se prolongue demasiadamente. Ainda, segundo este autor, outro fator a ser considerado para prevenir desconforto é que a diferença vertical de temperatura na zona ocupada, ou seja, a região ocupada pelas pessoas, não exceda 3°C .

2.4.1.1.1.1 Temperatura de bulbo úmido ($^{\circ}\text{C}$)

Além da temperatura de bulbo seco, ainda podem ser mensuradas as temperaturas de bulbo úmido e de globo. A temperatura de bulbo úmido é obtida por um termômetro igual ao anterior, porém tendo o bulbo envolvido por um tecido branco umedecido com água destilada. 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. Essas duas temperaturas permitem calcular a umidade relativa através de equações ou da carta psicrométrica (COUTINHO, 2011).

2.4.1.1.1.2 Temperatura de globo ($^{\circ}\text{C}$)

A temperatura de globo 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 permite avaliar o nível de radiação térmica das superfícies existentes no ambiente analisado (COUTINHO, 2011).

2.4.1.1.2. Temperatura radiante média – t_{rm} ($^{\circ}\text{C}$)

As trocas radiantes de calor no ambiente afetam o conforto da pessoa. Assim sendo, é útil conhecer o efeito das temperaturas das superfícies ou o seu valor médio (BRADSHAW, 2006). De acordo com Coutinho (2011), a temperatura radiante média (t_{rm}) é considerada como a temperatura uniforme de um ambiente

imaginário (corpo negro), no qual a pessoa troca a mesma quantidade de calor por radiação, como ocorre no ambiente real.

A temperatura radiante média pode ser afetada por grandes áreas com vidros, grau de isolamento, luzes quentes, entre outros. Conforme Bradshaw (2006), a temperatura para trabalhadores de escritórios deve estar entre 18° e 27°C, dependendo das vestimentas, da atividade realizada e das demais variáveis climáticas. Aquele autor ressalta ainda que se a t_{rm} for 5°C acima ou abaixo das condições de conforto para o ambiente, o ocupante sentir-se-á desconfortável.

2.4.1.1.3. Velocidade do ar, V (m/s)

A velocidade do ar é a magnitude do vetor velocidade do fluxo de ar no ponto de medição. Esta deve ser levada em consideração nos estudos de conforto térmico, pois afeta a transferência de calor por convecção e evaporação, sendo que quanto maior a velocidade maior a troca de calor (BRADSHAW, 2006; LAMBERTS et al., 2011). No entanto, 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 t_{rm}), 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 (BRADSHAW, 2006).

De acordo com Lamberts et al. (2011), a velocidade relativa do ar (V_{ar}) é a velocidade final atuando sobre o indivíduo, considerando a velocidade absoluta do ar na região e a velocidade dos movimentos da pessoa ou de seus membros conforme a atividade desempenhada, de acordo com a equação 19:

$$V_{ar} = V + 0,0052 \times (M - 58) \quad (19)$$

Onde:

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

V = Velocidade do ar, em m/s

M = Taxa metabólica em função da atividade desempenhada, em W/m^2

O movimento do ar pode ser natural ou forçado, dependendo da forma como ocorre. Entre as formas de movimento forçado pode-se citar ventilação artificial e o movimento do próprio corpo. Algo que deve ser observado é a estratificação do ar, que pode causar variação da temperatura entre o chão e o teto, o que pode gerar desconforto (BRADSHAW, 2006).

2.4.1.1.4. Umidade do ar

Umidade é o vapor d'água contido no ar de um determinado espaço. A massa de vapor d'água por massa de ar seco é chamada de umidade absoluta (equação 20). Já a quantidade de água presente no ar dividida pela máxima quantidade que pode existir à mesma temperatura é conhecida como grau de saturação (equação 21). A umidade relativa do ar (equação 22) é a razão entre a pressão parcial do vapor da mistura vapor-ar para a pressão do vapor de água saturado à mesma temperatura do ar vezes 100 (BRADSHAW, 2006).

$$W = \frac{M_v}{M_a} \quad (20)$$

Onde:

W = Umidade absoluta, em kg_v/kg_a

M_v = Massa de vapor de água, em kg_v

M_a = Massa de ar seco, em kg_a

$$\theta = \frac{W}{W_{\text{máx}}}_t \quad (21)$$

Onde:

θ = Grau de saturação, adimensional

W = Quantidade de água presente no ar, em g/kg de ar seco

$W_{\text{máx}}$ = Quantidade de água que pode existir no ar saturado, em g/kg de ar seco

$$\varphi = \left(\frac{P_v}{P_{vs}} \right)_t \times 100 \quad (22)$$

Onde:

φ = Umidade relativa do ar, em %

P_v = Pressão de vapor d'água nas condições reais, em kPa

P_{vs} = Pressão de vapor d'água nas condições de saturação, em kPa

O conforto térmico de pessoas com baixa atividade física sofre pouca influência da umidade, sendo o conforto mantido mesmo com uma grande variação das condições de umidade. Apesar da tolerância humana, em qualquer nível de atividade, para variações de umidade ser muito maior do que para variações de temperatura, ainda assim, o controle da umidade também é importante. Alta umidade pode gerar problemas de condensação em temperaturas frias e reduzir a perda de calor humano por evaporação, pois o ar já carregado não pode absorver mais vapor da pele. Por outro lado, a umidade muito baixa pode levar à desidratação (BRADSHAW, 2006; COUTINHO, 2011; TALEGHANI et al., 2013).

O contínuo aumento da umidade na troposfera tem sido relatada em algumas regiões, apresentando implicações para o conforto térmico e a morbi-mortalidade relacionadas ao calor. Principalmente em países já úmidos, onde pequeno aumento da temperatura pode apresentar consequências no estresse por calor (LUNDGREN et al., 2013). Em situações de alta temperatura e alta umidade a taxa de evaporação pode ser aumentada pelo aumento da velocidade do ar sobre o corpo (BRADSHAW, 2006). Vale ressaltar, que mais de 40% da população mundial vive em zona de clima tropical, que apresenta temperaturas excedendo 30°C, altas radiação solar e umidade (LUNDGREN et al., 2013). A umidade relativa ideal está na faixa entre 30 a 70% (TALEGHANI et al., 2013).

2.4.1.2. Variáveis pessoais

Dentre as variáveis pessoais importantes para verificar o conforto térmico os principais parâmetros são: vestimenta e atividade (metabolismo) (PARSONS, 2013).

2.4.1.2.1. Vestimentas

As propriedades isolantes das roupas são resultado de pequenas bolhas de ar separadas umas das outras que dificulta a transferência de calor através do material, influenciando diretamente o conforto térmico (BRADSHAW, 2006; CHOI et al., 2012).

O isolamento das vestimentas é expressa em termos de valor clo, que é a representação numérica da resistência térmica de um conjunto de roupas. Varia de

zero, com o corpo totalmente despido, até 3 ou 4, com roupas pesadas para regiões polares, sendo que a medida de 1 clo é equivalente a $0,155\text{m}^2\text{°C/W}$. O isolamento de um conjunto de roupas pode ser estimado adicionando os valores clo dos itens utilizados, conforme listado na tabela 1 (BRADSHAW, 2006; TALEGHANI et al., 2013).

Tabela 1 - Índice de resistência térmica para vestimentas

Vestimenta	Isolamento Térmico	
	clo	$\text{m}^2\text{°C/W}$
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
Luvas	0,05	0,008

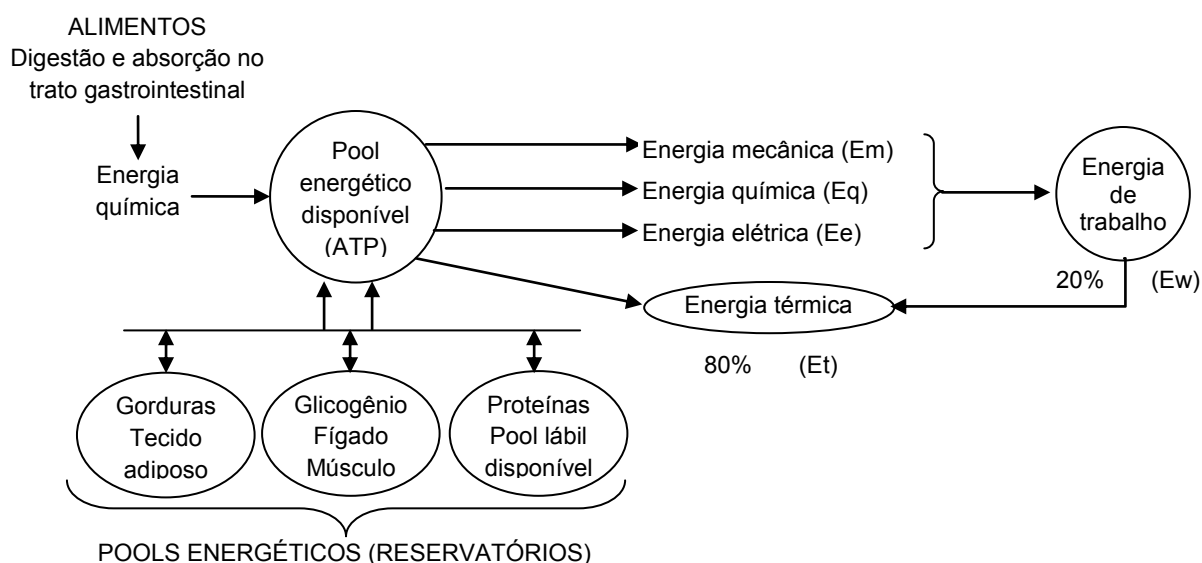
Fonte: Vasconcelos (2013, p. 17-18)

2.4.1.2.2. Metabolismo

Metabolismo é entendido como toda reação química que ocorre em organismos vivos, pois como parte do processo de vida, o ser humano metaboliza a comida no corpo, convertendo-a em energia eletroquímica. Como qualquer forma de transformação de energia, existe a eficiência da conversão. No caso do corpo humano, a parcela da energia que se transforma em calor pode ser chamada de energia do metabolismo. Parte da energia metabólica é transformada em trabalho na execução de uma tarefa. Como o rendimento do corpo é muito baixo, raramente atingindo 0,2, o restante fica acumulado no corpo. Portanto, tomando por base essa rara situação, no máximo 20% de toda a energia armazenada na comida será utilizada para trabalho externo; 80% será transformado em calor como produto de combustão, como visto na figura 8. Consequentemente, ocorrerá geração contínua de calor pelo corpo. O gasto energético também é contínuo para manter as funções

corporais, tais como o funcionamento do coração (PARSONS, 1989; BRADSHAW, 2006; SILVA, 2007; GONZÁLEZ-ALONSO, 2012; TALEGHANI et al., 2013). Mesmo durante a inatividade o corpo necessita de conversão de energia, ou seja, metabolismo basal, que ocorre em condições basais, ou seja, completo repouso físico e mental, em supino, em jejum absoluto de 8 horas e em um ambiente termicamente neutro (DOUGLAS, 2010).

Figura 8 - Representação esquemática da disponibilidade, dos reservatórios e dos tipos de energia.



Fonte: Adaptado de Douglas (2010)

O metabolismo está relacionado com a quantidade de atividade do corpo. Sendo assim, caso ocorra aumento das atividades física ou mental, a necessidade de energia também irá aumentar, produzindo mais calor. A produção de calor poderá aumentar abrupta e acentuadamente no início do exercício, aumentar mais lentamente nas fases iniciais e pode se estabilizar ou não com o exercício, dependendo da natureza. O calor produzido poderá ser rejeitado pelo fluxo de calor sensível para o ambiente ou pela evaporação dos fluidos corporais. Caso a ingestão de comida seja maior que o necessário, será armazenado em forma de tecido gorduroso para uso posterior (BRADSHAW, 2006; GONZÁLEZ-ALONSO, 2012; TALEGHANI et al., 2013).

Em geral, a taxa metabólica é proporcional ao peso e área da superfície corporal, além de ser dependente do nível de atividade, saúde, sexo, idade,

vestimenta e condições ambientais. Por conseguinte, para determinar as condições ótimas do ambiente para saúde e conforto é necessário identificar o nível metabólico durante a rotina de atividades físicas, ciente de que a produção de calor pelo corpo aumenta com o nível de exercício. Para reduzir as variabilidades individuais na estimativa da taxa metabólica de produção de calor, o valor é geralmente relacionado à superfície corporal ou à massa corporal, sendo usadas unidades W/m^2 ou $kcal/min/kg$ (PARSONS, 1989; BRADSHAW, 2006).

Conforme Bradshaw (2006), o pico da eficiência metabólica ocorre por volta dos 10 anos de idade e chega aos valores mínimos em idosos; também pode aumentar devido a febre, atividade contínua e exposição a condições de frio. De acordo com estudo realizado por Choi *et al* (2012), existem diferenças na sensação térmica associada ao gênero, Bradshaw (2006), ainda associa aumento de aproximadamente 10% no metabolismo no período de gestação e de lactação.

Choi *et al* (2012), sugere que o Índice de Massa Corporal (IMC), expresso pela equação 23, está relacionado a camada de gordura corporal e pode afetar a transferência de calor entre o corpo e o ambiente, contribuindo assim com a sensação térmica. O IMC pode ser, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), categorizada em quatro níveis: abaixo do peso ($IMC < 18,5$), peso ideal ($18,5 < IMC < 24,9$), sobrepeso ($25 < IMC < 29,9$) e obesidade ($IMC > 30$).

$$IMC = \frac{peso\ (kg)}{altura^2\ (m)} \quad (23)$$

A taxa de metabolismo pode ser expressa em $Watt/m^2$, $kcal/m^2/h$ ou *met*, sendo 1 *met* (ou $50\ kcal/m^2/h$ ou $58,2\ W/m^2$) a quantidade média de calor produzida enquanto o corpo está em repouso (PARSONS, 1989). Qualquer taxa metabólica poderá ser expressa por essa unidade.

O consumo metabólico pode ser calculado por vários métodos, dependendo dos meios disponíveis e a precisão desejada. Segundo a norma ISO 8996 (1989), existem diferentes métodos para a determinação e medição da taxa de calor metabólico, no contexto da ergonomia do ambiente de trabalho. São citados 6 métodos, conforme quadro 3 e tabelas 2 a 5, a seguir:

Quadro 3 - Métodos de estimação da produção metabólica de calor, ISO 8996/89

Nível	Método	Precisão
I	1. Classificação de acordo com a atividade; 2. Classificação de acordo com a ocupação	Informações grosseiras onde a chance de erro é muito maior
II	3. Uso de tabelas de grupo de avaliação 4. Uso de tabelas estimadas para atividades específicas 5. Uso da frequência cardíaca sob condições definidas	Alto índice de erro: precisão $\pm 15\%$
III	6. Medidas: calorimetria direta e consumo de oxigênio	Risco de erros com os limites de precisão da medida e do tempo de estudo: precisão $\pm 5\%$

Fonte: Adaptado de Parsons (1989)

Tabela 2 - Classificação da taxa metabólica pela atividade (exemplo método 1)

Classe	Taxa metabólica média (W/m^2)
Repouso	65
Baixa	100
Moderada	165
Alta	230
Muito Alta	290

Fonte: Adaptado de Parsons (1989)

Tabela 3 - Classificação da taxa metabólica pela ocupação (exemplo método 2)

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

Fonte: Adaptado de Parsons (1989)

Tabela 4 – Taxa metabólica por grupo de avaliações (exemplo método 3)

Taxa metabólica	= Metabolismo basal + postura + trabalho + movimento
Exemplo	= 44 + 0 + 65 + 60
Varrer quintal	= 169 W/m^2

Fonte: Adaptado de Parsons (1989)

Tabela 5 – Estimação da taxa metabólica usando a frequência cardíaca (exemplo método 5)

$FC = FC_0 + AM (M - MB)$
Onde: FC = frequência cardíaca M = taxa metabólica MB = taxa metabólica basal AM = Aumento na FC por unidade de taxa metabólica (determinado experimentalmente) FC ₀ = Frequência cardíaca de repouso em supino e condições termoneutras
Estima-se que: $M = 4 FC - 255$

Fonte: Adaptado de Parsons (1989)

Como visto na tabela 5, a taxa de metabolismo está relacionada à frequência cardíaca. De acordo com Choi *et al.* (2012), diversos estudos têm apontado a existência de uma relação significativa entre a frequência cardíaca e a sensação térmica, tendo assim potencial para ser utilizado como um índice da sensação térmica humana.

Segundo estudo realizado por Havenith *et al.* (2002), a calorimetria direta e

indireta é inapropriada para estudos de conforto térmico, pois são inaplicáveis para estudo de campo e locais de trabalho. Para a análise do ambiente térmico é suficiente à estimativa do consumo metabólico através de tabelas, conforme descrito na tabela 6.

Tabela 6 - Taxas metabólicas para diferentes atividades segundo a ISO 7730/2005

Atividades	Taxa metabólica	
	W/m ²	Met
Deitado, reclinado	46	0,8
Sentado, relaxado	58	1,0
Atividade sedentária (escritório, residência, escola, laboratório)	70	1,2
Atividade leve em pé (compras, laboratório, indústria leve)	93	1,6
Atividade média em pé (balconista, trabalho doméstico, em máquinas)	116	2,0
Andando em nível		
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: Lamberts *et al.* (2011, p. 26)

2.4.1.3. Índices de conforto

Segundo Araújo (2012), desde 1913 esforços foram realizados nos Estados Unidos para estabelecer índices de conforto térmico, ou seja, um parâmetro que representasse o efeito combinado das principais variáveis intervenientes, como meio de obter subsídios para melhor adequá-lo às necessidades humanas. De acordo com Carlucci e Pagliano (2012), os índices podem ser destinados a: 1) avaliar a percepção térmica do ambiente interno ou externo; 2) avaliar as condições climáticas ao ar livre; 3) predizer possíveis riscos ao ser humano, identificando eventos relacionados ao desconforto, como morbi-mortalidade, absenteísmo e crime.

Existem diversos índices disponíveis, sendo a maioria destinada à avaliação do conforto e da sobrecarga pelo calor e poucos avaliando a exposição ao frio. Macpherson (1962), agrupou os índices em:

- 1) Índices baseados na mensuração de parâmetros físicos ou índices diretos: são derivados de medidas diretas de algum parâmetro físico que descreve o ambiente físico e não proporciona medidas dos efeitos fisiológicos produzidos. Geralmente as relações são feitas através de regressão linear. Estes índices incluem temperatura do ar combinado com velocidade do ar, temperaturas da vizinhança e

efeitos da umidade. Entre estes índices estão temperatura equivalente e temperatura efetiva (MACPHERSON, 1962; CARLUCCI; PAGLIANO, 2012);

- 2) Índices baseados na tensão fisiológica ou índices empíricos: baseiam-se no fato de que iguais condições de estresse ambiental geram iguais tensões fisiológicas. Em geral, foram desenvolvidos utilizando regressão múltipla para identificar a correlação entre uma grande diversidade de condições ambientais e parâmetros comportamentais com a tensão térmica produzida nos indivíduos. Usualmente representados por desenhos de regiões da carta psicométrica, sendo a temperatura efetiva e o índice de bulbo úmido temperatura de globo (IBUTG) exemplos deste grupo (MACPHERSON, 1962; CARLUCCI; PAGLIANO, 2012);
- 3) Índices baseados no cálculo do balanço térmico do corpo humano ou índices racionais: fundamentam-se nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente e geralmente integram parâmetros fisiológicos, comportamentais e ambientais. O modelo proposto por Fanger é um dos mais utilizados desta categoria (MACPHERSON, 1962; CARLUCCI; PAGLIANO, 2012).

Os índices de conforto térmico de acordo com a norma ISO 7730/2005, que se aplica a ambientes moderados e se fundamenta no método desenvolvido por Fanger, são baseados na medição dos parâmetros ambientais e pessoais para determinar o valor do voto médio estimado (PMV) e calcular a porcentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente (PPD). O modelo PMV é popularmente usado para prever a percepção térmica de ocupantes de ambientes construídos (ALMEIDA, 2010; CHOI et al., 2012; POKORNY; JICHA, 2013). A sensação sentida pelas pessoas é dada pela equação 24:

$$PMV = (0,303 \times e^{-0,036M} + 0,028)L \quad (24)$$

Sendo:

PMV = voto médio estimado, adimensional

M = metabolismo, em W/m^2

L = carga térmica atuante no corpo, em W/m^2 , que é representada pela equação 25:

$$L = (M - T) - (C_{res} + E_{res} + E_{dif} + E_s + C + R)_{conf} \quad (25)$$

A sensação a que se refere o valor de PMV encontrado está descrito na

tabela 7:

Tabela 7 - Escala de sete pontos da sensação térmica, ISO 7730/2005

SENSAÇÃO	PMV
Muito Frio	-3
Frio	-2
Levemente Frio	-1
Confortável	0
Levemente Quente	+1
Quente	+2
Muito Quente	+3

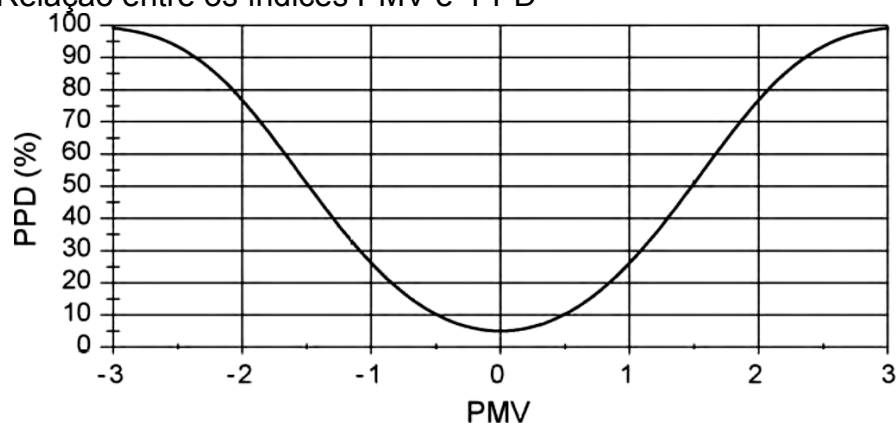
Fonte: Vasconcelos (2013, p. 26)

Baseado no PMV, pode ser determinada a porcentagem de pessoas insatisfeitas com as condições ambientais (equação 26).

$$PPD = 100 - 95 \times e^{-(0,03353 \times PMV^4 + 0,2179 \times PMV^2)} \quad (26)$$

A relação entre os índices PMV e PPD pode ser visto na figura 9.

Figura 9 - Relação entre os índices PMV e PPD



Fonte: Djongyang *et al* (2010, p 2629)

Segundo Hoof (2008), o índice PMV também está relacionado à produtividade, sendo que a produtividade teórica ótima é alcançada com o valor de PMV de 0,21. Este autor relata que mudanças de +0,5 no valor aceito de PMV (entre -0,21 e +1,28) leva a perda de produtividade (PP) de 12% em tarefas de raciocínio e 26% em tarefas de digitação. Esta perda pode ser verificada com a substituição dos valores nas equações 27 e 28, estabelecidas por Hoof (2008):

$$PP_{\text{raciocínio}} = 1,5928 \times PMV^5 - 1,5526 \times PMV^4 - 10,401 \times PMV^3 + 19,226 \times PMV^2 + 13,389 \times PMV + 1,873 \quad (27)$$

$$PP_{\text{digitação}} = -60,543 \times PMV^6 + 198,41 \times PMV^5 - 183,75 \times PMV^4 - 8,1178 \times PMV^3 + 50,24 \times PMV^2 + 32,123 \times PMV + 4,8988 \quad (28)$$

De acordo com Taleghani et al. (2013), o índice PMV é um modelo termofisiológico que fornece uma descrição matemática das respostas fisiológicas ao ambiente térmico. PMV consiste na análise das variáveis ambientais e pessoais descritas anteriormente. No entanto, o PMV calculado pode diferenciar do voto real, subestimando ou superestimando-o. Esta diferença pode ser devida a medidas comportamentais inadequadas ou influências de fatores culturais e psicológicas (CHOI et al., 2012; TALEGHANI et al., 2013).

Para Yau e Chew (2009), embora a norma ISO 7730/2005 forneça orientações de conforto térmico, sua aplicabilidade sempre foi questionada, devido ao fato de que em inúmeros estudos observou-se que os ocupantes aceitaram ambientes térmicos que não cumpriam com os critérios estabelecidos por estas normas. Entretanto, segundo Schellen et al. (2013), o modelo PMV pode ser adequado para prever a sensação térmica, desde que cuidados em relação à aplicação em ambientes não uniformes e subpopulações específicas sejam tomadas.

Xavier (1999), em estudo realizado com estudantes do ensino médio em Florianópolis (SC), verificou que, em vários casos, pessoas que se manifestavam como sentindo leve calor ou leve frio mostraram-se satisfeitas com o ambiente térmico, sem desejar alterações do mesmo. Em contrapartida, outros ocupantes que relataram as mesmas sensações, manifestaram o desejo de alteração do ambiente térmico.

Em estudo realizado por Kwok e Chun (2003), em escolas japonesas com e sem o uso de ar-condicionado, constataram que ocupantes de salas naturalmente ventiladas mostraram aceitação às temperaturas, mesmo estas estando fora da faixa de conforto. Porém, quando questionados sobre sua preferência, aproximadamente 50% afirmaram que preferia uma temperatura mais baixa. Nas salas com ar-condicionado, que demonstraram estar dentro das fronteiras de conforto térmico da norma ASHARE/2004, foram observadas situações de adaptação dos estudantes, que passaram a levar casacos para sala de aula, o que significa uma inadequação

das condições ambientais (KWOK; CHUN, 2003).

Situação semelhante foi observada ainda por Wong e Khoo (2003), Corgnati et al. (2007) e Mors et al. (2011), em estudos realizados em Singapura, Itália e Holanda, respectivamente, em que os usuários consideraram aceitáveis níveis de temperatura fora da faixa estipulada de conforto pelas normas internacionais.

Um ponto a ser ressaltado, é que valores previstos em normas podem não ser adequados para todos os tipos de climas (TOE; KUBOTA, 2013). Conforme Mishra e Ramgopal (2013), os climas podem ser classificados pelo sistema Köppen-Geiger em: A) Clima úmido tropical; B) Clima seco ou árido; C) Clima temperado quente; D) Clima temperado frio ou Continental; E) Clima polar ou glacial. O litoral do nordeste brasileiro é classificado como clima tropical com chuvas no inverno e seca no verão. Em estudos realizados em João Pessoa-PB por Vasconcelos (2013), identificou-se que as temperaturas de conforto foram menores que as estipuladas na norma ou a velocidade do ar requerida foi maior (CÂNDIDO et al., 2010).

2.5. Saúde

As mudanças ocorridas nas cidades fizeram emergir reflexões acerca da urbanização e da qualidade de vida da população. A urbanização provoca mudanças nas diferentes variáveis meteorológicas com influência térmica sobre o organismo e tendem a agravar os efeitos das ondas de calor. As modificações climáticas contribuem de forma acentuada para esses problemas, sendo de esperar que afetem, de alguma forma, a funcionalidade da vida diária e a saúde humana, que deve ser considerada numa perspectiva integrada e multifatorial, não apenas a saúde por si, mas relacionada ao bem estar físico, mental e social, além das dimensões culturais, econômicas e políticas, que devem favorecer a criação de ambiente favorável à saúde (OLESEN, 2005; VANOS et al., 2010; ARAÚJO, 2012).

O crescimento constante das cidades poderá causar problemas futuros associados com problemas cardiovasculares e respiratórios durante as épocas mais quentes do ano. Impactos prejudiciais também podem ocorrer no comportamento, no trabalho e no desempenho esportivo (VANOS et al., 2010).

A base fisiológica do efeito do calor nos seres humanos é bem conhecida. No entanto, a patofisiologia da exaustão pelo calor e da insolação, ainda necessitam de mais estudos. Quando a temperatura interna do corpo ultrapassa 37°C aumenta

o risco de disfunções associadas ao calor. Temperatura interna superior a 38-39°C pode levar a insolação e falência do sistema de termorregulação central. Aumento da temperatura leva ao aumento da frequência cardíaca, do fluxo sanguíneo periférico e de suor. Suas consequências para a saúde podem ser leves, como uma desidratação, dor de cabeça, cãibras e exantema cutâneo, ou mais graves, como redução da capacidade do desempenho e do trabalho, catarata, doenças cardiovasculares e respiratórias, falência renal, fraqueza do sistema imune, choque térmico e morte (PARSONS, 2009; VANOS et al., 2010; ARAÚJO, 2012; LUNDGREN et al., 2013; WU et al., 2013).

Pessoas com menor estatura, com sobrepeso, idosa ou criança, grávidas e com doenças pré-existentes, como cardiovasculares, diabetes e problemas de pulmão, rim, fígado ou pele são mais propensas a problemas devido ao calor. Consumo de nicotina, cafeína e álcool também podem afetar a tolerância. Entre os sexos, mulher tem melhor tolerância com calor úmido, enquanto homem tolera melhor ambientes quentes e secos. A forma como a etnia e as diferenças culturais afeta a tolerância não é totalmente compreendida, acredita-se que alguns povos podem desenvolver capacidades fisiológicas para lidar com situações extremas de temperatura, algumas destas adaptações são adquiridas durante a vida e outras podem ser transmitidas geneticamente. E entre os mecanismos comportamentais podem ser citados a redução de atividade física, a mudança de vestimentas e a procura por ambientes mais amenos (VANOS et al., 2010; LUNDGREN et al., 2013).

Segundo Lundgren *et al.* (2013), sujeitos afro-americanos mostram redução de produtividade com a redução da temperatura, além de um maior risco de mortalidade devido ao calor, quando comparado a caucasianos.

De acordo com Hu et al (2008), em estudo realizado em Sydney (Austrália) ocorre um aumento da mortalidade durante os tempos de alta temperatura e aumento da poluição do ar. Segundo Lundgren et al. (2013), a onda de calor que acometeu a Europa no verão de 2003 causou mais de 70.000 mortes, sendo que os dados sobre as causas das mortes na França demonstraram que patologias cardiovasculares, respiratórias ou psiquiátricas foram associadas a um risco maior de morte nas ondas de calor. Em geral, os distúrbios relacionados ao calor ocorrem devido a três razões: 1) desidratação ou falta de aclimação; 2) falta de identificação dos riscos do calor; 3) circunstâncias acidentais ou imprevisíveis levando à exposição. A insolação pode levar a morbidades e tem alto grau de

mortalidade. O aumento da sudorese pode levar a desidratação, que gera perda de eletrólitos (sódio e cloro, principalmente, magnésio, potássio e outros em menor grau); cerca de 4 gramas por litro de suor, que afeta o funcionamento dos órgãos internos. A desidratação severa (ou perda de água igual a aproximadamente 6% do peso corporal junto a perda de eletrólitos) pode levar a choque ou até à morte. Muitas mortes são associadas à negligência, por exemplo, no caso de desidratação, com perda de água acima de 3% do peso corporal; a reposição deve ser com água e eletrólitos (PARSONS, 2009; LUNDGREN et al., 2013).

Segundo Parsons (2009), os distúrbios causados pelo calor podem ser classificados em:

- 1) Colapso da regulação da temperatura – insolação;
- 2) Síncope da circulação devido ao calor;
- 3) Redução da água e/ou dos sais: exaustão pelo calor, desidratação e câimbras;
- 4) Erupções cutâneas;
- 5) Desordens de comportamento: transitórias ou crônicas.

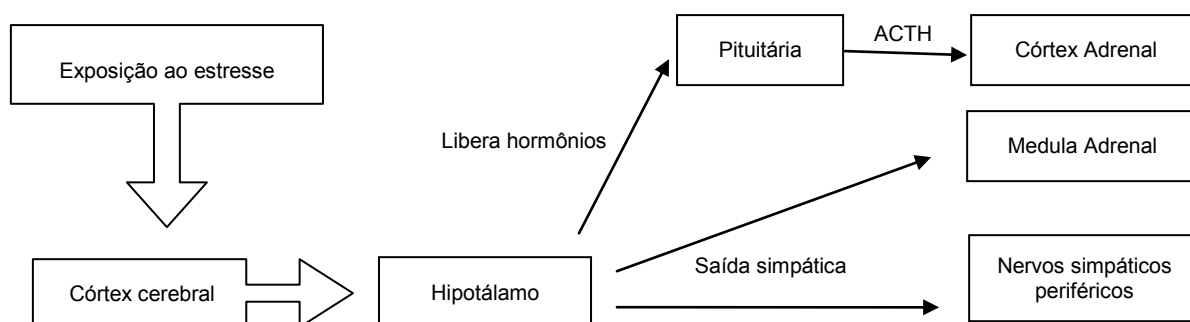
De acordo com Buller *et al.* (2013), a temperatura interna pode ser estimada a partir da frequência cardíaca, utilizando o modelo de filtro de Kalman, com valores similares ao encontrado para medidas esofágicas e retais da temperatura interna. Segundo Másculo e Vidal (2011), a frequência cardíaca é de fácil mensuração, não necessitando de aparelhagem específica.

De acordo com (SHAFFER et al., 2014), a variabilidade cardíaca, ou seja, a mudança no intervalo de tempo entre os batimentos cardíacos, tem uma propriedade emergente dos sistemas regulatórios interdependentes que operam em diferentes escalas de tempo para adaptar a mudanças e alcançar o desempenho ótimo. Em estudo realizado por Wu *et al.* (2013), foi encontrado que altas temperaturas ambientais foram associadas com redução da variabilidade da frequência cardíaca (VFC) na população idosa na estação quente. Os autores citam que diversos mecanismos biológicos têm sido associados ao desenvolvimento de doenças cardiovasculares, sendo que maior ênfase tem sido dada a mecanismos associados com alterações da função autonômica cardíaca, utilizando a VFC. Segundo Liu et al (2008), a relação entre os espectros de baixa frequência e alta frequência na análise da VFC, pode ser um indicador fisiológico para os níveis de conforto térmico.

Além de alterações devidas ao calor, o corpo pode sofrer estresse por

diversos fatores, como a realização de atividade física ou cognitiva. Este estresse induz reações fisiológicas que preparam o corpo para fugir ou combater, que são alterações cardiovasculares, hormonais, neurológicas, metabólicas e musculares, devido ao aumento da ativação do sistema simpático e redução do controle parassimpático ou ambos (figura 10). A exposição crônica a estressores pode levar à sobrecarga e exaustão dos sistemas fisiológicos (TAEELMAN et al., 2011; KAYIHAN et al., 2013). Em relação especificamente ao sistema cardiovascular, a exposição crônica ao estresse pode gerar doença coronariana, hipertensão, isquemia miocárdica, arritmia, cardiomiopatia e infarto do miocárdio (STEPTOE; KIVIMÄKI, 2013).

Figura 10 - Resposta ao estresse fisiológico



A percepção do estresse estimula o hipotálamo a secretar hormônio, que irá agir na pituitária anterior para promover a secreção de hormônio adrenocorticotrófico (ACTH). Este hormônio agirá no córtex adrenal para iniciar a síntese e liberação de hormônios glucocorticóides, promovendo a mobilização de energia armazenada. A percepção do estresse também ativa neurônios simpáticos pré-ganglionares na medula espinhal, que projeta para os gânglios pré ou paravertebrais, que irão projetar para os órgãos alvo, incluindo o coração e a medula adrenal.

Fonte: Steptoe e Kivimaki (2012, p. 362)

Estas alterações sofrem influência do tipo de atividade realizada. O estado psicológico impacta diretamente no sistema nervoso autônomo, afetando diretamente o controle cardíaco (KAYIHAN et al., 2013). Segundo Sosnowski et al. (2012), a resolução de tarefas mentais afeta muitas variáveis psicofisiológicas, em especial as relacionadas ao sistema beta-adrenérgico, como período de pré-ejeção e pressão arterial sistólica. Além disto, evoca atividade cardíaca adicional, aumento de frequência cardíaca, principalmente em tarefas difíceis quando comparadas a tarefas fáceis ou impossíveis.

Conforme Wu et al. (2013), os efeitos da exposição à temperatura do ar sobre o sistema cardiovascular tem recebido muita atenção de estudiosos, sendo

explicitado que existe relação entre doenças cardiovasculares e condições ambientais (temperatura e qualidade do ar). Durante o estresse pelo calor, ocorre aumento da exigência do sistema cardiovascular, pois, devido à vasodilatação periférica e a perda de líquido ocorre redução do volume sanguíneo central. Esta queda do volume é compensada pelo aumento da frequência cardíaca para manter o débito cardíaco. Estas alterações podem reduzir a capacidade para trabalho físico, bem como afetar o desempenho cognitivo, mesmo com valores anteriores ao necessário para causar lesões decorrentes do calor (PARSONS, 2009; LUNDGREN et al., 2013).

De acordo com Kamarck e Lavallo (2003), nas últimas décadas, tem crescido a hipótese de que a reatividade cardíaca exagerada pode elevar o risco de hipertensão e doença coronariana, sendo esta reatividade um marcador de doenças cardiovasculares. Alterações da frequência cardíaca e da pressão arterial podem gerar disfunção no coração e vasos, mas também em órgãos-alvo, devido ao comprometimento de irrigação. O valor prognóstico das variabilidades cardiovasculares tem encorajado o desenvolvimento de interpretações quantitativas (LIU et al., 2011).

2.5.1. Sistema cardiovascular

O sistema cardiovascular tem funções de proteção e transporte no corpo humano. A função de transporte engloba as funções respiratória, nutritiva, excretora e reguladora. Para a realização destas funções este sistema consiste no coração, vasos sanguíneos e sangue. Está relacionado com todos os sistemas do corpo humano, mas tem uma relação ainda mais íntima com o sistema respiratório, sendo inclusive algumas vezes chamado de sistema cardiorrespiratório, e com o sistema linfático, que retorna o líquido intersticial ou tecidual ao sistema venoso (GRAAFF, 2003; TORTORA; DERRICKSON, 2012).

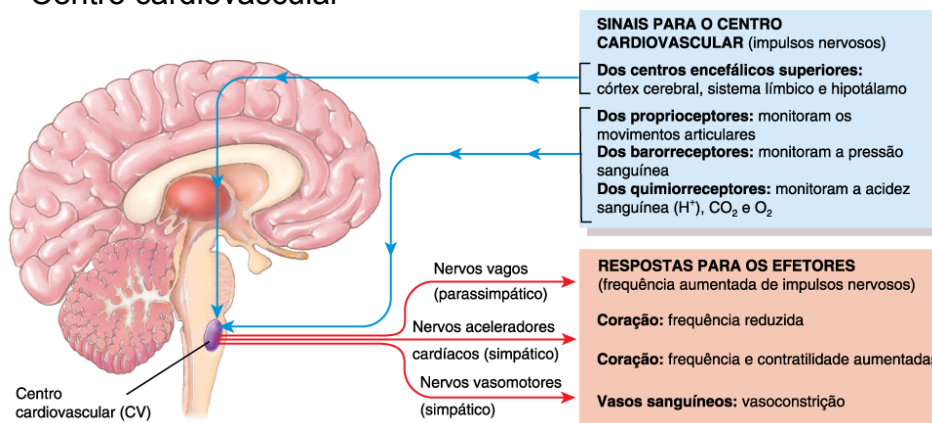
Este sistema é extremamente importante para o funcionamento sistêmico do organismo e pode ser monitorado não invasivamente, tornando a sua observação útil para melhor acompanhar a pessoa no trabalho (MÁSCULO; VIDAL, 2011). Para este estudo serão abordados os parâmetros: frequência cardíaca e pressão arterial.

2.5.1.1. Ciclo cardíaco

O ciclo cardíaco completo, ou batimento cardíaco, é composto por período de contração, ou sístole, e de relaxamento, ou diástole, que ocorrem sincronizados bilateralmente, no entanto, em momentos diferentes entre átrios e ventrículos (TORTORA; DERRICKSON, 2012).

Este ciclo é controlado pelo sistema nervoso autônomo (figura 11), através de núcleos no tronco cerebral, guiados pelo hipotálamo e estruturas corticais. As duas formas de controle são: 1) descarga simpática ou parassimpática para o coração (quadro 4); e 2) mediação da atividade barorreflexa (MULDER et al., 2005).

Figura 11 - Centro cardiovascular



Fonte: Tortora e Derrickson (2012)

Quadro 4 - Efeitos do sistema nervoso autônomo no coração

Estimulação	Efeito	Exemplos
Parassimpática	Diminuir as atividades do coração, para preservar os recursos.	• ↓ da frequência cardíaca; • ↓ da força de contração do músculo atrial; • ↓ na velocidade de condução dos impulsos através do nódulo AV (átrio-ventricular); • ↓ do fluxo sanguíneo dos vasos coronários
Simpática	Aumentar a atividade cardíaca, para auxiliar quando um indivíduo é submetido a situações de estresse, tais como exercício, doença, calor excessivo, entre outras	• ↑ da frequência cardíaca; • ↑ da força de contração; • ↑ do fluxo sanguíneo dos vasos coronários

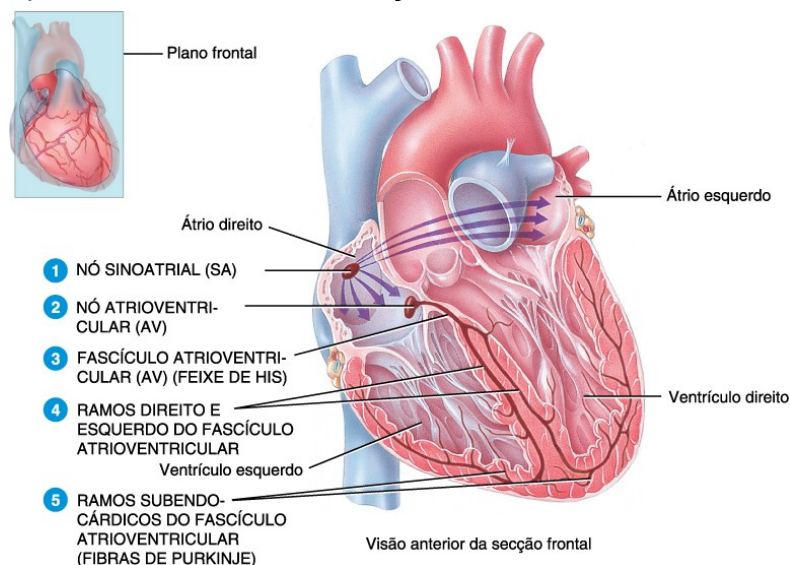
Fonte: Adaptado de Tortora e Derrickson (2012) e Douglas (2010)

O coração possui outro mecanismo de controle: um sistema de condução nervosa intrínseca, não visível a olho nu. Este sistema (figura 12) é composto por fibras altamente especializadas que podem gerar, espontaneamente, e conduzir o potencial de ação por todo o órgão (MULDER et al., 2005; NOGUEIRA, 2007; SINGI, 2007). Os componentes do sistema de excitação e condução do impulso elétrico no

coração são:

- Nó sinusal ou sinoatrial (SA): situa-se aproximadamente abaixo da junção entre veia cava superior e o átrio direito, no entanto, pode apresentar variações anatômicas. Esta estrutura funciona como um marcapasso natural do coração disparando os impulsos elétricos. O controle do ritmo cardíaco é modulado por ramos simpático e parassimpático do sistema nervoso autônomo (GRAAFF, 2003; MULDER et al., 2005; MONFREDI et al., 2010).
- Fibras atriais: vias pelas quais o potencial gerado no SA será propagado para os átrios, gerando contração simultânea do AE e do AD, impulsionando o sangue para os ventrículos. (GRAAFF, 2003; TORTORA; DERRICKSON, 2012).
- Nó atrioventricular: localiza-se na porção inferior do septo interatrial, próximo ao óstio do seio coronariano. Neste ponto ocorre uma desaceleração do potencial de ação, permitindo o esvaziamento do sangue dos átrios para os ventrículos (TORTORA; DERRICKSON, 2012)
- Feixe de Hiss ou Fascículo Atrioventricular: situa-se no septo interventricular e é onde ocorre a transmissão do potencial de ação dos átrios para os ventrículos. Divide-se em dois ramos, direito e esquerdo, que irão se direcionar ao longo do septo interventricular para o ápice do coração (DETURCK; CAHALIN, 2007; TORTORA; DERRICKSON, 2012).
- Fibras de Purkinje ou Ramos Subendocárdicos: situam-se no interior das paredes ventriculares. Estas fibras possuem um grande calibre, o que permite a transmissão rápida do potencial de ação aos ventrículos, primeiro ao ápice do coração e posteriormente ao restante. Em fração de segundos, após a contração atrial, os ventrículos se contraem simultaneamente. Esta contração irá impulsionar o sangue através dos grandes vasos da base do coração (DOUGLAS, 2010; TORTORA; DERRICKSON, 2012).

Figura 12 - Complexo estimulante do coração



Fonte: Tortora e Derrickson (2012)

A fase inicial do ciclo cardíaco pode ser considerada como a fase de relaxamento em todas as câmaras, ou seja, quando começa a fase de repolarização dos ventrículos. Durante o relaxamento dos ventrículos, a sua pressão interna irá reduzir, enquanto os átrios já estão se enchendo com o sangue que chega das veias. Quando a pressão ventricular cair abaixo da pressão atrial, ocorrerá abertura das valvas cardíacas e começará o enchimento dos ventrículos; quase 75% deste ocorrerá passivamente. Após este enchimento inicial, ocorre a despolarização atrial, o que leva os átrios a contraírem-se, expelindo os 25% restantes de sangue dos átrios para os ventrículos. A partir deste ponto, ocorre a despolarização ventricular. Com a contração dos ventrículos ocorrerá o fechamento das valvas cardíacas (atrioventriculares), aumentando a pressão intraventricular. Quando esta pressão superar a pressão na aorta e no tronco pulmonar, ocorrerá abertura das valvas semilunares e começa a ejeção de sangue para os vasos sanguíneos (HUGHES, 2009; HALL, 2011; TORTORA; DERRICKSON, 2012).

Além do monitoramento da qualidade das etapas do ciclo, é importante verificar a quantidade de ciclos por minuto, ou seja, a frequência cardíaca (FC). Devido a sua relação direta com o débito cardíaco (equação 29) (quantidade de sangue que será ejetado do coração durante a sístole ventricular), a frequência cardíaca é um importante contribuinte da função de bomba do coração (DETURCK; CAHALIN, 2007). De acordo com Lan *et al.* (2011) e Despoupolos e Silbernagl (2003), a frequência cardíaca normal de repouso para um adulto jovem saudável

varia de 60 a 80 batimentos por minuto (bpm).

$$DC = FC \times VE \quad (29)$$

Onde:

DC = Débito cardíaco, em mL/min

FC = Frequência cardíaca, em bpm

VE = Volume ejetado, em mL

Os ajustes na frequência são importantes para o controle a curto prazo do débito cardíaco e da pressão arterial (TORTORA; DERRICKSON, 2012), que podem ocorrer através de:

- 1) Regulação autonômica: origem no centro cardiovascular no bulbo, que está susceptível às informações de diversos receptores (barorreceptores e quimiorreceptores) e de centros encefálicos superiores. As vias parassimpáticas reduzem a frequência, enquanto as vias simpáticas aumentam. Estas vias também atuam diminuindo ou aumentando a força de contração do miocárdio, respectivamente (DETURCK; CAHALIN, 2007; TORTORA; DERRICKSON, 2012)
- 2) Regulação química:
 - a. Hormônios: junto com a regulação autonômica, representa as principais formas de regulação. A adrenalina, ou epinefrina, e a noradrenalina, ou norepinefrina, são os principais hormônios naturais que aumentam a frequência cardíaca e a força de contração (DETURCK; CAHALIN, 2007; TORTORA; DERRICKSON, 2012).
 - b. Íons: potássio (K^+), sódio (Na^+) e cálcio (Ca^{2+}) podem alterar a FC (TORTORA; DERRICKSON, 2012).
- 3) Fatores intrínsecos: idade, gênero, aptidão física e temperatura corporal (TORTORA; DERRICKSON, 2012).

A frequência cardíaca máxima é dependente da idade (conforme equação 30), enquanto a frequência cardíaca basal é mensurada com o indivíduo em repouso. A frequência cardíaca a ser atingida durante a atividade dependerá do objetivo, mas deverá respeitar os limites de segurança para a saúde, no intuito de não sobrecarregar o coração ou outros órgãos devido ao comprometimento da circulação.

$$FC_{m\acute{a}x} = 220 - idade \quad (30)$$

Em relação à termorregulação, segundo Blatteis (2011), no calor úmido, a aclimaaão de humanos inicia-se por uma vasodilatação periférica, com consequente redução no débito cardíaco e elevação da FC. No estado aclimatado, ocorre aumento do volume plasmático levando a aumento do débito cardíaco e redução da FC.

Quanto ao nível de atividade, a FC sofre maior alteração em atividades difíceis do que em fáceis ou extremamente difíceis, que tendam a ser interpretadas como impossíveis (SOSNOWSKI et al., 2012). A resolução de tarefas mentais leva a aumento tônico da atividade cardiovascular. Como a ativação do sistema cardiovascular foi reduzida durante a utilização de bloqueadores do sistema nervoso simpático, acredita-se que o aumento da FC pode ser devido a aumento da ativação simpática. Este aumento está relacionado com a atividade, pois foi identificado que determinadas atividades podem levar a aumento da frequência cardíaca, da pressão arterial sistólica e da dP/dT (variação de pressão no tempo) carotídeo, variando conforme a exigência da tarefa, sendo maior em tarefas difíceis quando comparadas a tarefas fáceis ou extremamente difíceis (impossíveis). Além disto, a reação cardiovascular ao estresse depende do estressor em si, mas também da forma como se lida com este estresse (SOSNOWSKI et al., 2012). Conforme Másculo e Vidal (2011), algumas medidas podem ser utilizados para avaliar a carga de trabalho (quadro 5) e estes devem permanecer numa faixa de aceitabilidade para proporcionar condições adequadas conforme os preceitos da ergonomia.

Quadro 5 - Parâmetros da atividade baseados na avaliação de pulso

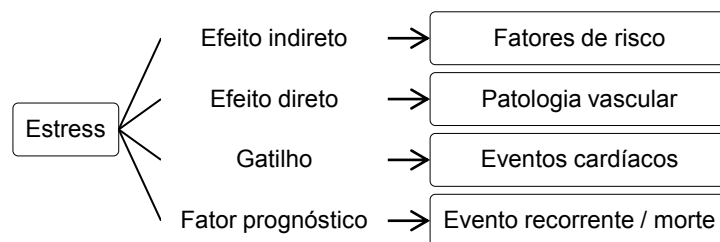
Parâmetro	Obtenção
Pulso de repouso	Frequência média do pulso antes do trabalho
Frequência de trabalho	Frequência média do pulso durante o trabalho
Pulso de trabalho	Diferença entre a frequência do pulso de repouso e a frequência do pulso de trabalho
Pulso acumulado de recuperação	Soma dos pulsos desde o fim do trabalho até o retorno à frequência de repouso
Pulso acumulado de trabalho	Soma dos pulsos desde o início do trabalho até o retorno à frequência de repouso

Fonte: Másculo e Vidal (2011, p. 143)

As reações fisiológicas ao estresse psicológico são bem definidas. No entanto, a conexão a risco de doença cardiovascular não é claro, apesar de dados

epidemiológicos mostrarem que o estresse crônico prediz a ocorrência de doença coronária (STEPTOE; KIVIMÄKI, 2012), conforme mostra a figura 13. De acordo com Sosnowski et al. (2012), formas de lidar com o estresse podem levar a aumento da frequência cardíaca, no consumo de oxigênio e débito cardíaco. Ou seja, a FC varia de acordo com o nível de atividade e também pode ser afetada por condições térmicas, devido à termorregulação.

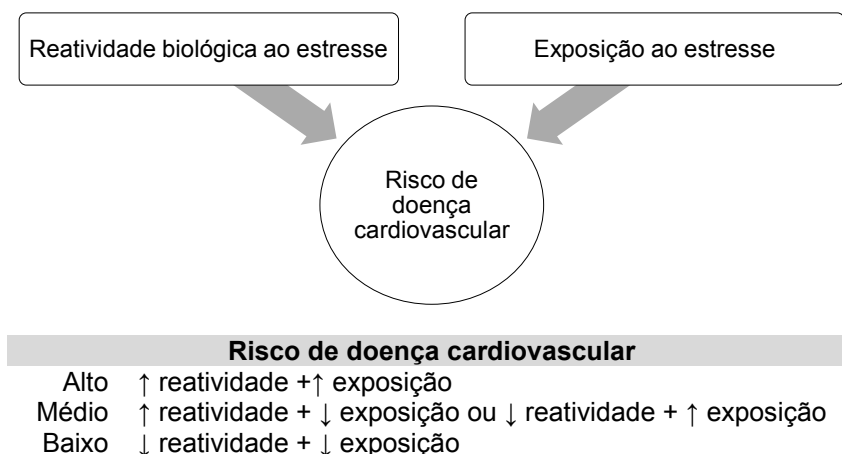
Figura 13 – Estresse como fator de risco para doenças cardíacas e mortalidade



Fonte: Steptoe e Kivimaki (2012, p. 361)

De acordo com Steptoe e Kivimaki (2013), o risco de doença cardiovascular está associado com a reatividade biológica e a exposição ao estressor, conforme figura 14. Segundo Kamarck e Lovallo (2003), a reatividade cardiovascular pode ser medida por diversos parâmetros inter-relacionados que são tratados estatisticamente independentemente. Uma alternativa proposta é medir a reatividade cardiovascular como bi-dimensional: mudanças nas variáveis cardíacas e mudanças nas variáveis vasculares. Adicionalmente, a reatividade da frequência cardíaca pode ser também dividida em duas dimensões: atividade simpática e parassimpática.

Figura 14 – Esquema da associação do estresse com vulnerabilidade a doenças cardiovasculares



Fonte: Steptoe e Kivimaki (2013, p. 340)

Liu et al. (2011) acreditam que a variabilidade dos parâmetros cardiovasculares é capaz de indicar atividade simpática e parassimpática do sistema nervoso autônomo, auxiliando como preditor de morbi-mortalidade de diversos tipos de doenças, por exemplo, alterações da frequência cardíaca durante e após exercícios pode prever morte súbita e mortalidade em geral.

A frequência cardíaca pode ser medida através do ECG, mas também por equipamentos mais simples, como os frequencímetros. Sua medida pode ser afetada por um conjunto de elementos relacionados à atividade, ao organismo e ao ambiente. Durante a atividade, a FC sobe rapidamente, e mantém-se em nível equivalente à intensidade do trabalho. Caso seja uma atividade pesada, a FC pode continuar aumentando com o nível do trabalho. Quando a atividade encerra-se a FC retorna aos níveis iniciais. A FC pode permanecer acima dos níveis da atividade durante a sua fase de recuperação dependendo de fatores como posição do corpo, temperatura do ar e corporal, tipo e intensidade da atividade física e grau de condicionamento aeróbico (MÁSCULO; VIDAL, 2011). Lumingu & Dessureault (2009), ressalta ainda a necessidade da comparação entre a FC alcançada e a FC máxima estabelecida para a idade, considerando como zona de segurança até 85-90% deste índice durante a atividade

Os ciclos cardíacos têm diferentes durações de tempo, resultando em séries temporais de intervalo interbatidas com padrões característicos e conteúdos de frequência, estas variações são chamadas de variabilidade da frequência cardíaca (VFC). A VFC avalia o equilíbrio e capacidade do sistema nervoso autônomo (SNA) e pode ser utilizada para avaliação da carga mental, análise da estimulação calórica e medidas de estresse. Considera-se que 75-90% da variabilidade está relacionada a flutuações devidas à modulação termorregulatória do fluxo de sangue periférico, ao controle central da pressão arterial e da respiração. A VFC é mensurada através da medida da distância entre intervalos R-R sucessivos no ECG e ocorre a diferentes frequências. A análise das diferentes frequências permite analisar a influência de cada componente. O espectro de alta frequência (HF) (0,15-0,40Hz) é afetado pela atividade do nervo vago (sistema nervoso parassimpático), enquanto o espectro de baixa frequência (LF) (0,04-0,15Hz) está relacionado à atividade dos nervos simpáticos. Assim, a relação LF/HF é considerada um indicador de equilíbrio entre simpático e parassimpático (MATTHEW et al., 2004; MULDER et al., 2005; LIU et al., 2008). As frequências abaixo de 0,04Hz (muito baixa frequência – VLF – e

ultrabaixa frequência – ULF) ainda não tem o seu papel claro, no entanto, de acordo com Shaffer et al. (2014), ritmos circadianos, temperatura corporal, o metabolismo, hormônios e ritmos intrínsecos gerados pelo coração contribuem para estas frequências.

Alterações na FC podem levar a distúrbios no coração, por exemplo, elevação da pressão das artérias coronárias acima da pressão aórtica, por causa da contração intensa do miocárdio durante a sístole, a perfusão miocárdica ocorre somente durante a diástole (período de relaxamento da musculatura). À medida que a FC aumenta, o tempo da sístole e da diástole diminui, reduzindo o tempo disponível para a perfusão do miocárdio, o tempo de enchimento ventricular e redução do débito cardíaco (HUGHES, 2009). Distúrbios na FC também podem significar problemas cardíacos já instalados, como arritmias (DESPOPOULOS; SILBERNAGL, 2003).

2.5.1.2. Pressão arterial

O sistema cardiovascular é um sistema fechado que necessita de equilíbrio para permitir que o sangue saia e retorne ao coração, nutrindo os tecidos na sua trajetória (DOUGLAS, 2010). O fluxo sanguíneo é influenciado pela pressão gerada pelo coração, através do débito cardíaco, e pela resistência gerada pelos vasos sanguíneos, especialmente arteríolas, resistência periférica. A pressão gerada pelo coração é transmitida para a artéria, que, dependendo da sua capacidade de dilatação elástica e da resistência ao fluxo, irá refletir a pressão sanguínea no sistema arterial (DETURCK; CAHALIN, 2007). Portanto, a pressão sanguínea arterial poderá ser descrita pela equação:

$$PA = DC \times Rp \quad (31)$$

Onde:

PA = Pressão arterial, em mmHg

DC = Débito cardíaco, em L/min

Rp = Resistência periférica, em Wood.

Devido às diferenças de força de contração existentes entre os ventrículos, a

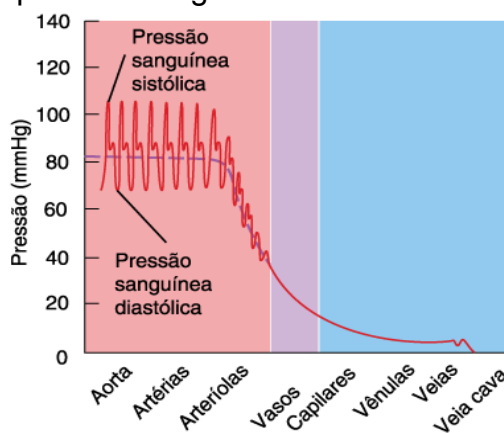
pressão arterial é diferente entre a circulação sistêmica e a pulmonar, sendo a pressão média de 100 mmHg e 15 mmHg, respectivamente. Neste estudo será focada a pressão sistêmica.

De acordo com Douglas (2010), devido às flutuações que ocorrem durante o ciclo cardíaco, a pressão arterial pode ser registrada como:

- Pressão máxima ou sistólica: durante a contração cardíaca a PA chega ao seu nível máximo, pois depende diretamente do volume sistólico ejetado pelo ventrículo.
- Pressão mínima ou diastólica: durante o relaxamento cardíaco a PA reduz até alcançar os níveis mínimos, pois depende da condutância periférica total, ou seja, dos vasos sanguíneos.
- Pressão média: a partir das pressões anteriores pode-se tirar a média simples e chegar a este valor.

A figura 15 ilustra a diferença da pressão sanguínea que ocorre nos vasos sanguíneos, devido às suas variações, conforme citado anteriormente. Apesar de não apresentar grandes variações, diversos fatores tendem a alterar os níveis de PA, tais como: idade, sexo, raça, emoção, postura e exercício muscular.

Figura 15 - Alterações da pressão sanguínea sistêmica



Fonte: Tortora e Derrickson (2012)

De acordo com Burov e Tsarik (2012), existe uma relação entre o barorreflexo e o esforço de desempenho mental, reforçando a idéia de associação entre o rendimento do trabalho mental com a manutenção fisiológica. Grandes variações na pressão arterial indicam alto risco de morbidade cardiovascular e dano em órgãos alvo (LIU et al., 2011). A tabela 8 mostra as variações sofridas pela pressão arterial durante diversas atividades do dia-a-dia.

Tabela 8 - Variações da pressão arterial de acordo com várias situações e atividades

Atividades	Pressão Sistólica (mmHg)	Pressão Diastólica (mmHg),
Reuniões	+20,2	+15,0
Trabalho	+16,0	+13,0
Caminhar	+12,0	+5,5
Vestir	+11,5	+9,7
Tarefas domésticas	+10,7	+6,7
Telefonar	+9,5	+7,2
Conversar	+6,7	+6,7
Assistir à televisão	+0,3	+1,1
Repouso	0	0
Dormir	-10,0	-7,6

Fonte: Adaptado de Sociedade Brasileira de Cardiologia (2011)

Devido às variações sofridas pela pressão arterial, é importante padronizar o método de medição para comparações adequadas (DOUGLAS, 2010). Conforme Douglas (2010) e a Sociedade Brasileira de Cardiologia (2011), as medições da PA podem ser realizadas por:

- Método direto ou intra-arterial: que consiste em um sistema de medição eletrônico através de eletrodos intra ou periarteriais. Devido à complexidade do procedimento, não podem ser utilizados na prática clínica rotineira.
- Métodos Indiretos: são os mais empregados na rotina clínica e podem ser divididos em auscultatório e oscilométrico.

O método auscultatório de medição identifica, através da ausculta do pulso arterial, o aparecimento e desaparecimento dos ruídos de Korotkoff. Inicia-se com a compressão dos vasos sanguíneos, impedindo a passagem do sangue. Ao descomprimir lentamente, permite o início da passagem do sangue e começa-se a auscultar uma pulsação (turbulência não ordenada de Reynolds). À medida que a descompressão aumenta a turbulência reduz até se tornar inaudível novamente. Então, anotam-se os valores obtidos no início e ao final das pulsações, o que corresponde, respectivamente, às pressões arteriais sistólica e diastólica. (DOUGLAS, 2010; SBC, 2011).

O método oscilométrico identifica os pontos de oscilação máxima que corresponde à PA média e determina, por meio de algoritmos, as pressões arteriais sistólica e diastólica (DOUGLAS, 2010; SBC, 2011). Independentemente do método, a pressão arterial deve ser aferida por aparelhos, automáticos ou manuais, que tenham certificação do INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, qualidade e tecnologia) e sejam validados de acordo com protocolos, tais como o da

Advancement of Medical Instrumentation (AAMI) ou o da British Hypertension Society (BHS) (SBC, 2011).

2.6. Desempenho

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. A Ergonomia tem uma visão holística, visto que baseia-se nos conhecimentos de diversas disciplinas formadoras, tais como: filosofia, medicina, fisiologia, organização, engenharia e físico-química (MÁSCULO; VIDAL, 2011; VASCONCELOS, 2013).

Dessa forma, a ergonomia estuda fatores que influem no desempenho do sistema produtivo, procurando reduzir as consequências nocivas sobre o trabalhador, como a fadiga, estresse, erros e acidentes, proporcionando segurança, satisfação e saúde, durante o seu relacionamento com esse sistema produtivo (IIDA, 2005).

O elemento humano é o componente mais adaptável do sistema produtivo. No entanto, ele é influenciado por muitos fatores que afetarão o desempenho, integridade e bem estar. Desta forma, deve-se compreender o trabalho para que se possa transformá-lo, pois as atividades de um indivíduo são resultados de numerosos fatores externos (objetivos a alcançar, meios técnicos, organização do trabalho, regras e normas, espaço de trabalho, etc.) e internos (sexo, idade, tempo de serviço, estado de saúde, etc.) que trazem consequências múltiplas tanto para ele mesmo, como para a produção e o meio de trabalho. Dessa forma, os resultados da atividade de trabalho devem ser analisados tanto qualitativa quanto quantitativamente, assim como as consequências acarretadas aos trabalhadores, que podem ser positivas ou negativas. Assim, os ergonomistas contribuem para a concepção e avaliação de tarefas, trabalhos, produtos, ambientes e sistemas para torná-los compatíveis com as necessidades, habilidades e limitações das pessoas (GUÉRIN et al., 2001; KARWOWSKI, 2006; SANTI, 2011).

De acordo com Kayihan et al. (2013), o estado emocional e mental afetam diretamente o sistema nervoso autônomo, ou seja, o estado psicológico pode afetar o controle autonômico do coração. Segundo Ickovics et al. (2014), existe uma

limitada, mas sugestiva, documentação que relaciona saúde, função cognitiva e desempenho acadêmico. No entanto, didaticamente estas áreas podem ser classificadas em domínios distintos. De acordo com Másculo e Vidal (2011), a Ergonomia possui como domínios de especialização a:

- Ergonomia Física: ligada às respostas do corpo humano à carga imposta, principalmente com características da anatomia humana, antropometria, fisiologia, biomecânica e como eles se relacionam à atividade física e ao ambiente.
- Ergonomia Cognitiva: se concentra em processos mentais, tais como percepção, memória, processamento de informação, raciocínio e resposta motora, como eles afetam as interações entre os seres humanos e outros elementos de um sistema.
- Ergonomia Organizacional: está preocupada com a otimização dos sistemas sócio-técnicos, incluindo suas estruturas organizacionais, políticas e processos.

O domínio da Ergonomia Cognitiva, que se refere aos processos mentais, começou a ganhar cada vez mais força. Assim, surgiram mais 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, 2013). É relevante destacar que qualquer tentativa neste sentido deve levar em conta a limitação fisiológica do sistema cognitivo humano; assim, os processos de aquisição, processamento e recuperação de informações devem primar pela economia, eliminando ao máximo informações repetidas ou desnecessárias (STERNBERG, 2000).

Segundo Gazzaniga (2009), a neuropsicologia cognitiva estuda fundamentalmente o 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 (input), executam algum tipo de processamento sobre esse dado, e então produzem uma nova representação, o dado de saída (output).

A neuropsicologia cognitiva visa compreender como um indivíduo processa a informação, em termos funcionais, sendo de menor interesse para essa abordagem, o mapeamento das relações cérebro-comportamento. A implicação fundamental é derivar conclusões sobre os modelos mentais com e sem disfunções (CAPOVILLA, 2007). Esta mesma autora cita que o comportamento pode ser dividido em três

grandes sistemas funcionais, a saber:

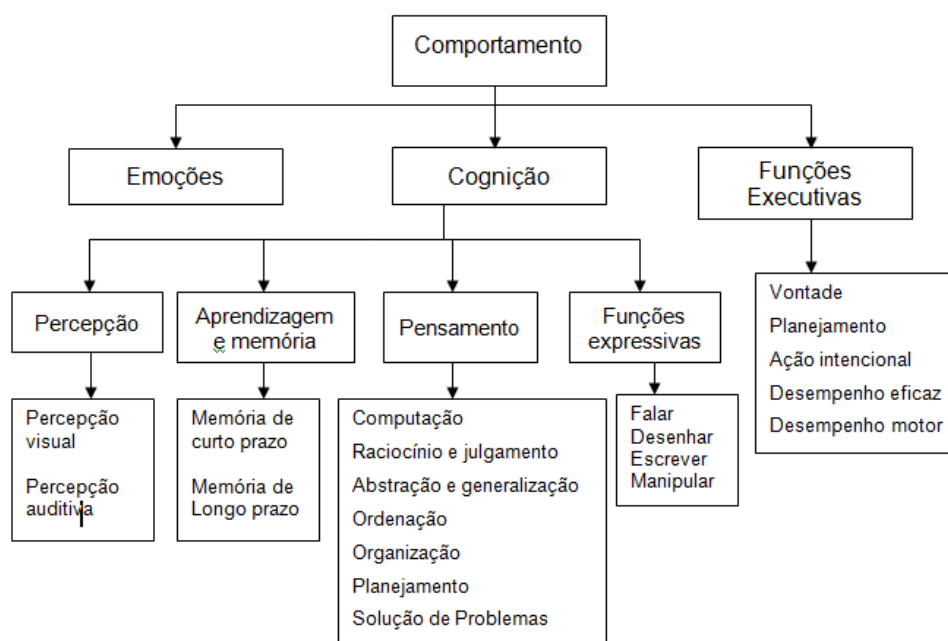
- Funções cognitivas: envolvem os aspectos do comportamento relacionados ao processamento de informação. Dividem-se em quatro classes, por analogia às operações computacionais de input, estocagem, processamento e output, que são: funções receptivas (percepção), memória, pensamento e funções expressivas, 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 objetiva explicar os processos subjacentes às atividades mentais superiores do ser humano, correlacionando-os com o funcionamento neurológico. Com este fim, diferentes testes com abordagem em 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 às variáveis mensuráveis (Figura 16).

Por conseguinte, os autores puderam avaliar sistematicamente o efeito do ambiente sobre o desempenho dos indivíduos através de testes psicométricos sobre as funções neurocomportamentais (LAN; WARGOCKI; LIAN, 2011). No estudo foram utilizados nove testes informatizados que representam cada função neurocomportamental utilizada durante a realização das atividades em escritório (Quadro 6)

Figura 16 - Esquema neurocomportamental para avaliação da produtividade de trabalho de escritório



Fonte: Adaptado de Lan *et. al.* (2011), por Vasconcelos (2013)

Quadro 6 - Principais funções testadas e seus correspondentes testes

Nº	Nome do teste	Descrição	Função Neurocomportamental testada
1	Procura de cartas	Detectar a presença ou ausência de uma carta marcada, em uma cadeia de 10 cartas, o mais rápido possível.	Percepção – Busca visual
2	Sobreposição	Numerar a ordem em que 6 figuras geométricas aleatórias se encontram em uma pilha.	Percepção – Orientação espacial
3	Extensão da memória	Reproduzir uma determinada sequência de números no teclado, com aumento de dificuldade.	Aprendizagem e memória – recuperação de memória, memória verbal, atenção
4	Reconhecimento de figuras	Reconhecer entre vinte imagens àquelas que eram estímulos alvo pressionando dois teclados diferentes.	Aprendizagem e memória – memória de reconhecimento, memória espacial, atenção e exatidão de respostas
5	Teste de modalidades de Digitação de símbolos	Reproduzir pares de símbolos-dígitos pressionando teclas numéricas correspondentes para outro conjunto reordenado dos dez símbolos.	Aprendizagem e memória – recuperação de memória, memória verbal
6	Cálculo	Digitar o valor resultante da soma de dois números de três dígitos tão rapidamente quanto possível.	Pensamento - procedimentos matemáticos, velocidade de resposta
7	Raciocínio Condicional	Escolher uma entre quatro possíveis conclusões referentes a uma premissa o mais rápido possível, sendo apenas uma correta.	Pensamento - raciocínio verbal
8	Imagem espacial	Escolher, entre quatro cubóides, qual corresponde a uma quinta imagem de um cubóide dobrado.	Pensamento - raciocínio espacial, imaginação
9	Tempo de reação visual e escolha	Indicar através das teclas de esquerda e direita, qual a direção de setas e a posição de triângulos, previamente exibidos.	Funções executivas - velocidade de resposta e precisão

Fonte: Adaptado de Lan (2011) por Vasconcelos (2013)

Com base em estudos como de Lan et al (2011) e Bakó-Biró et al. (2007), Vasconcelos (2013) observou que é possível avaliar o desempenho de atividades não repetitivas com o auxílio de testes psicométricos associados às funções cognitivas solicitadas para a realização do trabalho.

No entanto, pouco se sabe sobre a relação entre a função cognitiva e a reatividade ao estresse, considerando as variáveis cardiovasculares. Evidências sugerem que associação entre melhora simpática e redução vagal cardiovascular influencia e aumenta o funcionamento cognitivo funcional (GINTY et al., 2011)

2.6.1. Aprendizagem, inteligência e bateria de prova de raciocínio

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. Todas essas abordagens recorrem a técnicas de observação, escuta e/ou de técnicas de mensuração e manipulação sistemática, assim como intuição a fim de compreenderem o fenômeno da aprendizagem (TINOCO, 2007; VASCONCELOS, 2013).

Segundo Inácio (2007), fatores internos ao indivíduo condicionam a aprendizagem. Estes podem ser de natureza cognitiva (a atenção, concentração, memória, associação, compreensão, abstração, intuição, criatividade) ou de natureza psicossocial (responsabilidade, conhecimentos prévios e referências, pragmatismo, resistência à mudança, medo de errar e preocupação com a imagem, relação com o poder/autoridade).

De acordo com Ickovics et al. (2014), sobrepeso e hipertensão estão associados com redução da função cognitiva e baixo desempenho escolar. Por outro lado, estes autores associam altos níveis de atividade física com melhora da função cognitiva, através do aumento da concentração e da memória.

A memória é um dos processos mentais relacionados que nos permitem adquirir, reter e recuperar informações. Conforme Tinoco (2007) e Charchat e Moreira (2008), a memória compreende três processos básicos:

- 1) Codificação: consiste em transformar a informação de forma que possa ser introduzida e retida;

- 2) Armazenamento: consiste na retenção de informação para posterior utilização; e
- 3) Recuperação: consiste em resgatar a informação armazenada tornando-a consciente.

Em relação ao armazenamento, são citados três estágios distintos, que se diferenciam pela quantidade de informação, pelo tempo e pela utilização (TINOCO, 2007; CHARCHAT; MOREIRA, 2008), estes são:

- 1) Memória sensorial: quantidade elevada de estímulos armazenados em um período muito curto de tempo aproximadamente milissegundos. A parte selecionada das informações obtidas, através das diversas modalidades sensoriais, é transferida para o próximo estágio chamado;
- 2) Memória de curto prazo: refere-se ao sistema de trabalho ativo da memória, associado a circuitos cerebrais pré-frontais. Este guarda informações por até 30 segundos, podendo ser estendido através de repetições. Apesar de sua capacidade ser limitada, é considerada uma memória de trabalho, pois imaginar, lembrar (informações recentes) e solucionar problemas são processos que ocorrem na memória de curto prazo. As informações neste estágio tornam-se conscientes, o que permite o entendimento de sentenças, textos, cálculos, etc.
- 3) Memória de longo prazo: as informações que foram codificadas na memória de curto prazo são armazenadas. Esta memória apresenta capacidade ilimitada de informações e é potencialmente permanente. A codificação acontece por repetição ou pelo significado das informações, sendo que a elaboração de informação acontece através de associações e relações entre informações. O sistema límbico ajuda a relacionar a informação com as emoções e as imagens visuais de forma a aumentar a codificação. Pode ser dividido entre explícito (processa informações de forma consciente, intencional) e implícito (processa informações de forma pré-consciente). No sistema explícito, associado a estruturas do sistema temporal, estão informações do tipo episódica (quando, como e onde ocorreram determinados eventos ou episódios da vida) e semântica (conhecimento geral que inclui fatos, nomes, definições, conceitos e ideias). Já no sistema implícito estão as informações tipo procedural (para desempenhar diferentes habilidades, operações e ações), que pela repetição torna-se processos automáticos.

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 (TINOCO, 2007). Vasconcelos (2013), ressalta a importância de algumas definições:

- 1) Cognição: termo que se refere às atividades mentais envolvidas em aquisição, retenção e uso de conhecimento.
- 2) Conceito: categoria mental formada para agrupar objetos, eventos ou situações que compartilham características semelhantes.
- 3) Linguagem: sistema de combinação de símbolos arbitrários a fim de produzir enunciados que tenham significados, podendo ser feita através de símbolos, sons, gestos, etc.
- 4) Pensamento: compreende a manipulação de imagens mentais e conceitos, que são formados a partir das representações mentais que surgem da associação das imagens com a palavra podendo estar associado também aos sentimentos, emoções e sensações.

Já a inteligência consiste em habilidades mentais diferentes que operam independentemente, sendo estudados diferentes tipos de inteligência, a saber: linguística, lógico-matemática, musical, espacial, cinestésico-corporal, interpessoal, subjetiva ou intrapessoal, naturalística, existencial. Considera-se a inteligência bem sucedida associada a três tipos distintos de habilidades mentais: analítica (processos mentais utilizados na aprendizagem de como solucionar problemas, como escolher uma estratégia de solução de problema e aplicá-la), criativa (habilidade de lidar com situações novas usando habilidades e conhecimentos existentes) e prática (envolve habilidade de adaptar-se ao meio) (TINOCO, 2007). Estas capacidades humanas se organizam hierarquicamente em pelo menos dez áreas amplas de raciocínio (quadro 7), além do fator g (correlação existente entre os fatores que constituem a inteligência) (PRIMI, 2003).

Quadro 7 - Definição dos dez fatores amplos da teoria de Cattell-Horn-Carroll (CHC)

Fator do Estrato	Descrição
Inteligência Fluida (Gf)	Capacidade ligada às operações mentais de raciocínio em situações novas minimamente dependentes de conhecimentos adquiridos. Capacidade de resolver problemas novos, relacionar idéias, induzir conceitos abstratos, compreender implicações, extrapolação e reorganização de informações (os testes psicométricos do fator g geralmente avaliam a inteligência fluida tais como Raven, a maioria dos testes da BPR-5, Colúmbia, R1, INV, etc..).
Inteligência Cristalizada (Gc)	Extensão e profundidade dos conhecimentos adquiridos de uma determinada cultura e a aplicação efetiva deste conhecimento. Capacidade de raciocínio adquirida pelo investimento da capacidade geral em experiências de aprendizagem. Primariamente baseada na linguagem. Está associado ao conhecimento declarativo (conhecimento de fatos, idéias, conceitos) e ao conhecimento de procedimentos (raciocinar com procedimentos aprendidos previamente para transformar o conhecimento).
Conhecimento Quantitativo (Gq)	Estoque de conhecimentos declarativos e de procedimentos quantitativos. Capacidade de usar informação quantitativa e manipular símbolos numéricos.
Leitura e Escrita (Grw)	Conhecimento adquirido em competências básicas da compreensão de textos e expressão escrita. Inclui desde habilidades elementares como decodificação em leitura e ortografia até habilidades mais complexas como a compreensão de textos e a composição de histórias.
Memória de Curto Prazo (Gsm)	Capacidade associada à manutenção de informações na consciência por um curto espaço de tempo para poder recuperá-las logo em seguida
Processamento Visual (Gv)	Capacidade de gerar, perceber, armazenar, analisar, e transformar imagens visuais, isto é, os processos cognitivos específicos de processamento mental de imagens (geração, transformação, armazenamento e recuperação).
Processamento Auditivo (Ga)	Capacidade associada à percepção, análise e síntese de padrões sonoros. Capacidade discriminativa de padrões sonoros (incluindo a linguagem oral) particularmente quando apresentados em contextos mais complexos como, por exemplo, a percepção de nuances em estruturas musicais complexas
Capacidade e Armazenamento e Recuperação da Memória de Longo Prazo (Glr)	Extensão e fluência que itens de informação ou conceitos são recuperados da memória de longo prazo por associação. Está ligada ao processo de armazenamento e recuperação posterior por associação. Capacidade de recuperar os itens de informação da base de conhecimentos por meio de associações. Este fator agrupa os testes psicométricos criados de avaliação da criatividade sendo muitas vezes chamado de domínio da produção de idéias.
Velocidade de Processamento (Gs)	Capacidade de manter a atenção e realizar rapidamente tarefas simples automatizadas em situações que pressionam o foco da atenção. Está geralmente ligado a situações em que há um intervalo fixo definido para que a pessoa execute o maior número possível de tarefas simples e repetitivas (sustentabilidade).
Rapidez de Decisão (Gt)	Rapidez em reagir ou tomar decisões envolvendo processamentos mais complexos. Refere-se à reação rápida a um problema envolvendo processamento e decisão (imediateidade).

Fonte: Primi (2003)

Assim, um instrumento de avaliação das habilidades cognitivas útil é a Bateria de Prova de Raciocínio (BPR-5), que se fundamenta nas concepções fatoriais mais recentes da inteligência. Consiste em um instrumento que oferece estimativas do funcionamento cognitivo geral e das forças e fraquezas em cinco áreas específicas, analisadas por meio dos subtestes detalhados no Quadro 8 (VASCONCELOS, 2013).

Quadro 8 - Baterias de Prova de Raciocínio (BPR-5) e seus cinco subtestes: Raciocínio verbal, abstrato, mecânico, espacial e numérico

Prova	Descrição	Capacidade específica	Associação a teoria CHC
Raciocínio verbal (RV)	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
Raciocínio Abstrato (RA)	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
Raciocínio Mecânico (RM)	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
Raciocínio Espacial (RE)	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
Raciocínio Numérico (RN)	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: Adaptado de Vasconcelos (2013)

A BPR-5, de acordo com o nível de dificuldade dos itens nos cinco testes, apresenta duas versões, forma A e forma B, com o mesmo número de itens e com diversos em comum. A escolha da melhor versão depende do nível de escolaridade dos indivíduos a serem testados. A forma A destina-se a alunos do ensino fundamental, enquanto a Forma B é indicada para pessoas com nível de instrução a partir do ensino médio. Essa adequação da BPR-5 visa evitar itens demasiadamente fáceis ou difíceis de acordo com os grupos escolares de alunos, e também reduzir o tempo empregado na avaliação (ALMEIDA et al., 1997, 2010; MIGUEL et al., 2013).

Segundo Vasconcelos (2013), para pontuar os raciocínios, os escores brutos (soma dos acertos em cada subteste) são convertidos em EPN (Escore-Padrão Normalizados), com média 100 e desvio padrão 15. O total de acerto em todos os subtestes também deve ser convertido em EPN. Os valores obtidos deverão ser comparados com os valores fornecidos pelo manual do teste, relacionados com o grupo original de padronização da bateria, tanto para os cinco subtestes, quanto para o escore do total de acertos. Assim, a 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 diante de situações em que é necessário levar em consideração múltiplas variáveis.

2.7. Modelos Lineares Generalizados

Uma parte considerada de extrema importância para toda pesquisa de modelagem estatística é a seleção de modelos, que envolve a procura de um modelo o mais simples possível, mas que consiga descrever bem os dados observados (CORDEIRO; DEMÉTRIO, 2008). De acordo com Turkman e Silva (2000), estudos experimentais, em geral, visam estudar a influência que uma ou mais variáveis independentes exercem sobre a variável resposta.

Na tentativa de descrever os fenômenos aleatórios eram utilizados os modelos normais lineares (PAULA, 2013), no entanto apresentavam limitação quanto ao tipo de variável resposta. Para explicar adequadamente situações que não eram contempladas pelo modelo linear normal, modelos como log-log, probit e logit, entre outros, foram desenvolvidos (TURKMAN; SILVA, 2000, p. 1).

Em 1972, Nelder e Wedderburn propuseram um modelo que sintetizava estes modelos e ampliava as possibilidades de opções para a variável resposta. A esta teoria unificada chamou-se Modelos Lineares Generalizados ou MLG (TURKMAN; SILVA, 2000; CORDEIRO; DEMÉTRIO, 2008; PAULA, 2013). Conforme Turkman e Silva (2000) e Vasconcelos (2013), apesar de limitações, como manter a linearidade e a exigência de independência das respostas, MLG tem sido muito utilizado, desempenhando um papel importante na análise estatística.

De acordo com Montenegro (2009) e Cordeiro e Demétrio (2008), os MLG's podem ser especificados por três componentes:

- 1) 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.

De acordo com Turkman e Silva (2000) e Cordeiro e Demétrio (2008), é possível dizer que a distribuição da variável aleatória y pertence à família exponencial se a sua função densidade de probabilidade ou função da massa de probabilidade puder ser descrito conforme a equação 32, onde $a(\cdot)$, $b(\cdot)$ e $c(\cdot)$ são funções conhecidas. Segundo Vasconcelos (2013, p. 45), “o parâmetro θ é o parâmetro de localização e ϕ é o parâmetro de dispersão”, e o seu inverso, ϕ^{-1} , é uma medida de precisão, conforme Cordeiro e Demétrio (2008).

$$f(y|\theta, \phi) = \exp\left\{\frac{y\theta - b(\theta)}{a(\phi)} + c(y, \phi)\right\} \quad (32)$$

- 2) Componente sistemática: soma dos efeitos das variáveis explanatórias que apresentam-se de forma linear;
- 3) Função de ligação: função monótona e diferenciável que descreve a relação matemática entre a componente sistemática e o valor esperado da componente aleatória. São consideradas funções de ligação as expostas na tabela 9. Vale salientar que a escolha desta função depende da distribuição da variável resposta.

Tabela 9 – Principais funções de ligação

Função	Representação
Identidade	μ
Recíproca	$1/\mu$
Quadrática Inversa	$1/\mu^2$
Raiz Quadrada	$\sqrt{\mu}$
Expoente	$(\mu + c_1)^{c_2}$
Logarítmica	$\ln(\mu)$
Logit	$\ln(\mu/1 - \mu)$
Complementar log-log	$\ln[-\ln(1 - \mu)]$
Probit	$\Phi^{-1}(\mu)$

Fonte: Turkman e Silva (2000, p. 13)

Em concordância com Turkman e Silva (2000), deve-se seguir três etapas essenciais para modelar através de um MLG, a saber:

- 1) Formulação dos modelos: nesta fase deverá ocorrer a escolha de
 - a. Distribuição para a variável resposta, de acordo com a natureza dos dados;
 - b. Covariáveis e formulação apropriada da matriz de especificação;
 - c. 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 do modelo;
- 3) Seleção e validação dos modelos: por meio do equilíbrio entre adequabilidade, parcimônia e interpretação.

Ainda de acordo com estes autores, conforme a componente aleatória e a componente estrutural, têm-se diferentes tipos de modelo, como exemplificado na tabela 10.

Tabela 10 - Modelos Lineares Generalizados

Componente aleatória	Componente estrutural		Modelo
	Função de ligação	Covariáveis	
Normal	Identidade	Contínuas	Regressão linear
Normal	Identidade	Categorizadas	Análise de variância
Normal	Identidade	Mistas	Análise de Covariância
Binomial	<i>Logit</i>	Mistas	Regressão logística
Poisson	Logarítmica	Mistas	Log-linear

Fonte: Turkman e Silva (2000)

CAPÍTULO 3: REVISÃO SISTEMÁTICA

Neste capítulo apresenta-se o resultado da pesquisa sistemática sobre o assunto estudado, na intenção de verificar o que vem sendo estudado e quais as lacunas que ainda necessitam ser preenchidas, através do aprofundamento de pesquisas sobre a matéria.

3.1. Parâmetros cardiovasculares e desempenho cognitivo na alternância de temperatura

A preocupação com a influência exercida pelo ambiente nos seres humanos tem despertado o interesse de vários pesquisadores ao longo do tempo, proporcionando uma ampla literatura a respeito do tema. De acordo com Araújo (2012), os primeiros habitantes do Brasil utilizavam conhecimento empírico para entender a relação entre o clima e a saúde, já os primeiros europeus a viver em solo brasileiro, trouxeram consigo inicialmente a noção de que o clima tropical era insalubre para seus habitantes.

Sabe-se que a inadequação do ambiente pode levar a distúrbios de saúde, tais como a Síndrome do Edifício Doente (SBS – Sick Building Syndrome), e queda na produtividade. Este fato ressalta a ideia que a adequação do ambiente físico proporciona menor sobrecarga dos sistemas regulatórios do corpo e melhores condições para o desenvolvimento das atividades (FANG et al., 2004; LAN; WARGOCKI; WYON; et al., 2011).

Quando este desempenho, relacionado à adequação ou não do ambiente físico, refere-se ao ambiente escolar, é preciso reconhecê-lo como fator influente em uma área da atividade humana cuja excelência, de acordo com Almeida e Freitas (2014) é um objetivo de qualquer sociedade moderna. O que pode ser demonstrado pelo grande número de estudos internacionais conduzidos para identificar fatores que podem influenciar o desempenho dos alunos, especialmente os parâmetros ambientais.

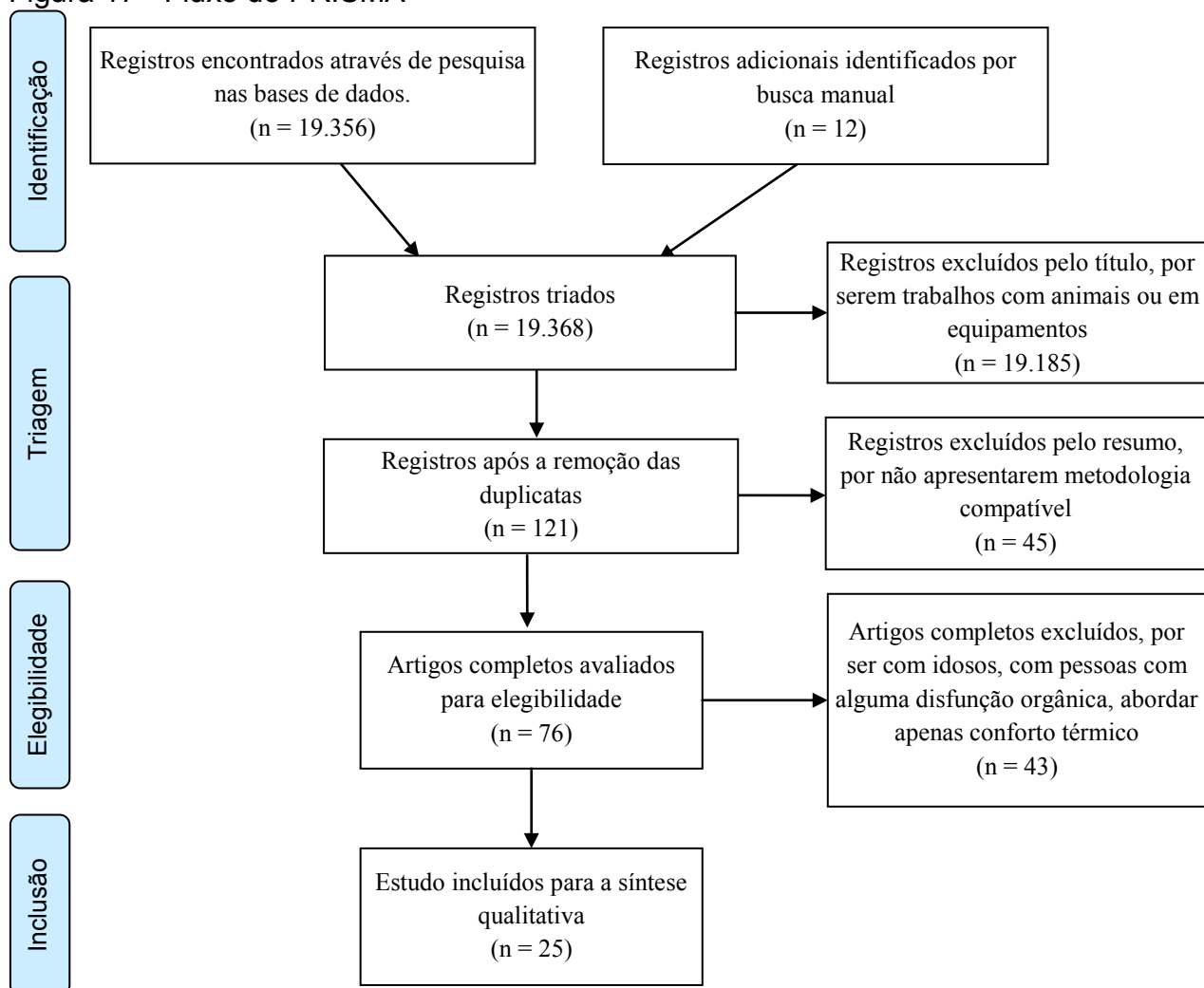
Em revisão crítica sobre as condições ambientais no desempenho e efeitos na saúde, Mendell e Heath (2005), afirmam que existe pouca evidência de qualidade disponível sobre o assunto, mas que estas apontam na direção de que as condições

comuns encontradas em ambientes de ensino têm efeito adverso na saúde e no desempenho acadêmico de estudantes. Apesar da relação entre parâmetros cardiovasculares e a resolução de atividades mentais ter demonstrado associação, a relação entre eles e o desempenho tem sido pouco explorado de acordo com Ickovics et al (2014).

Visando identificar os estudos existentes sobre o assunto, realizou-se na presente dissertação uma revisão sistemática, baseada no método PRISMA, durante o período entre Julho e Setembro de 2014, nas bases de dados: Cochrane Library, Scielo, PEDro, PsycInfo, The Campbell Library, ERIC, BIREME, PMC, Web of Science, Scopus, Science Direct, NTIS. Foram utilizadas para a pesquisa a conjugação de várias palavras chaves de interesse, tais como: "therm* comfort" and "productivity or performance or learning performance" and/or "cardiovasc* or blood pressure or heart rate". A estratégia de pesquisa utilizou como filtros: idioma - apenas artigos publicados em inglês, português e espanhol - e data de publicação - artigos dos últimos 10 anos. Foram considerados como critérios de inclusão: estudos realizados em seres humanos, em ambiente interno, abordando o desempenho cognitivo e/ou parâmetros cardiovasculares e publicados na íntegra. Os critérios de exclusão considerados foram: trabalhos realizados em meios de transporte (automóveis, ambulâncias, aeronaves, navios, trens, trenós); meio aquático; durante atividade física ou o sono; para verificação de equipamentos e roupas; ou realizados com idosos, recém-nascidos ou com pessoas com alguma doença ou deficiência; ou artigos de revisão. Também foram incluídos artigos obtidos através de busca manual.

Os resultados de cada etapa da pesquisa, bem como as justificativas de exclusão, estão sumarizados na figura 17.

Figura 17 - Fluxo do PRISMA



Fonte: Elaborada pela autora (2014)

Pela análise da figura 17 percebe-se que muitos dos artigos realizados na área de conforto térmico não focam o desempenho acadêmico. Assim, obteve-se uma amostra de 25 artigos, que estão catalogados, em ordem cronológica no quadro 9, apresentando autor, ano, amostra e áreas estudadas.

Pelo quadro 9 é possível identificar que dos 25 artigos selecionados, apenas 5 realizaram pesquisas considerando as variáveis térmicas, desempenho cognitivo e parâmetros cardiovasculares. No entanto, 2 destes não realizaram análises considerando as variáveis cardiovasculares coletadas.

Quadro 9 – Características dos artigos seleccionados

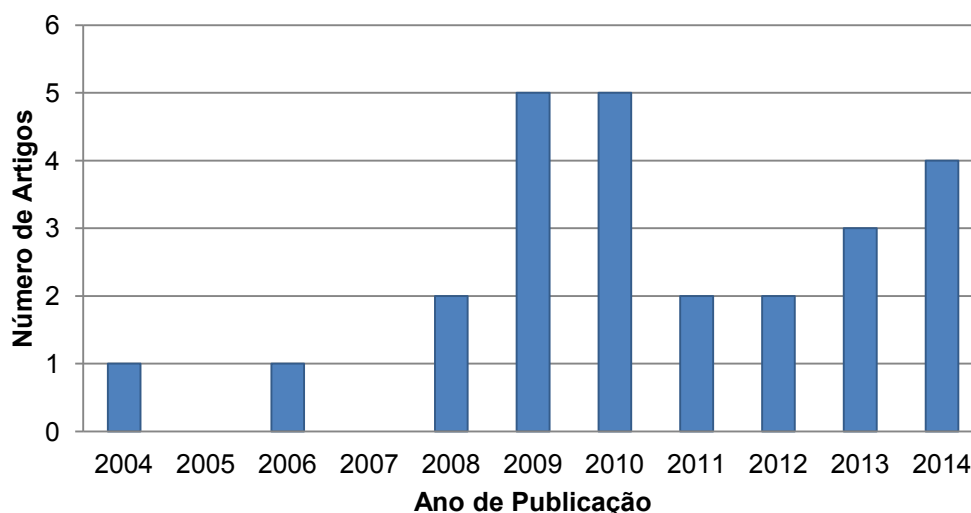
Autor	Ano	Amostra	Idade (anos)	T	D	C
Fang et al.	2004	30 mulheres	Média 23	x	x	
Mäkinen et al.	2006	10 homens	Média 22,5±1,6	x	x	X
Liu et al.	2008	33 voluntários	Média 23,9±0,4	x		X
Yao et al.	2008	20 voluntários [@]	Média 25,3±3,0	x		X
Batiz et al.	2009	75 estudantes	18 a 40	x	x	
Duncko et al.	2009	24 voluntários	Média 28,1	x	x	X
Lan et al.	2009	24 participantes	19 a 30	x	x	
Lan; Lian	2009	21 estudantes*	18 a 20	x	x	
Yao et al.	2009	20 voluntários [@]	21 a 26	X		X
Akimoto et al.	2010	Trabalhadores de escritório	-	X	x	
Dapi et al.	2010	285 estudantes	12 a 16	X	x	
Hashiguchi et al.	2010	8 voluntários	16 a 25	x	x	
Lan et al.	2010	21 estudantes*	18 a 20	x	x	X
Tham; Willem	2010	96 participantes	20 a 23	x	x	
Lan; Wargocki; Lian	2011	12 participantes [#]	Média 23	x	x	
Lan; Wargocki; Wyon; et al.	2011	12 participantes [#]	Média 23	x	x	X
Bakó-Biró et al.	2012	332 estudantes	9 a 10	x	x	
Choi et al.	2012	14 voluntários	19 a 34	x		X
Barrett et al.	2013	751 crianças do primário	-	x	x	
Cui et al.	2013	36 estudantes	Média 22,3	x	x	
Vasconcelos	2013	20 estudantes	Média 26,4±4,0	x	x	
Lan et al.	2014	12 participantes [#]	Média 23	x	x	
Larra et al.	2014	206 participantes	Média 23	x	x	X
Vimalanathan; Babu	2014	10 estudantes	18	x	x	
Zhang et al.	2014	30 estudantes	Média 20±1,0	x		x

T: Variáveis térmicas; D: Desempenho; C: Variáveis cardiovasculares; *, #, @ : mesma amostra; -: não descrito

Fonte: Elaborado pela autora (2014)

A seguir, o gráfico 1 traz a distribuição dos artigos seleccionados ao longo dos anos, demonstrando o interesse despertado pela matéria no período.

Gráfico 1 - Distribuição dos estudos ao longo dos anos de 2004 a 2014.

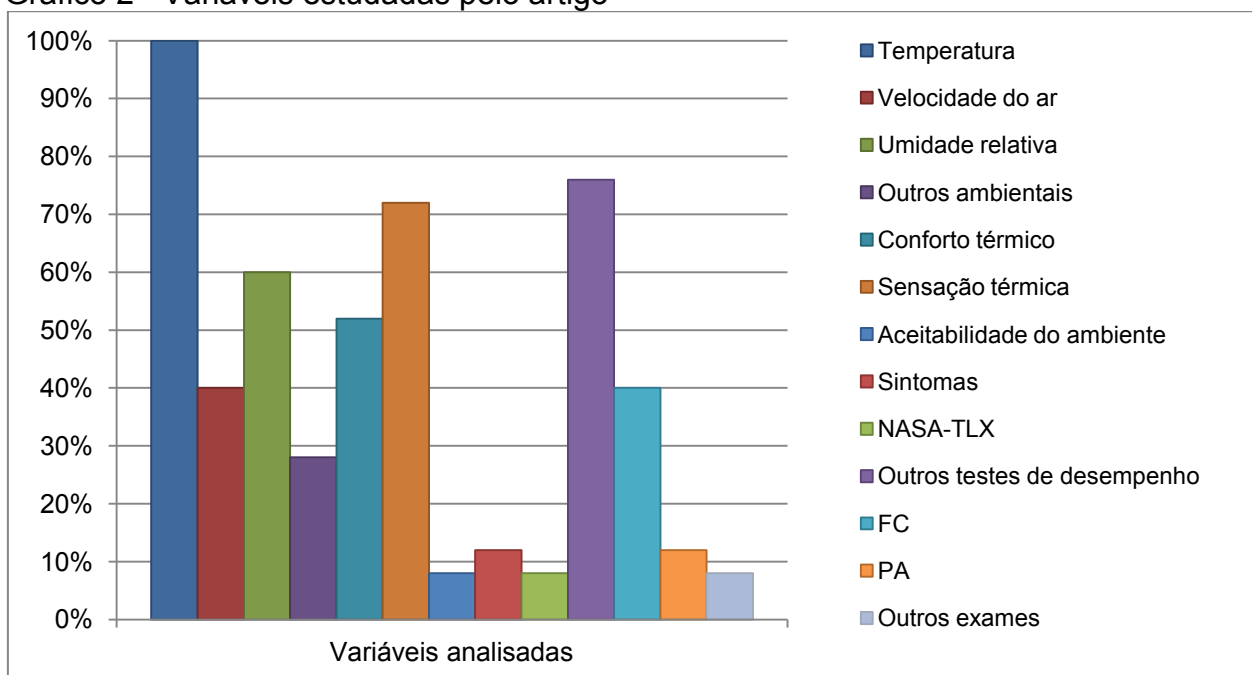


Fonte: Elaborado pela autora (2014)

É possível verificar um pico de produção nos anos de 2009 e 2010, e, apesar de uma brusca redução nos anos seguintes, há uma tendência de crescimento de pesquisas sobre o tema. Vale ressaltar que este gráfico refere-se ao ano de publicação e não ao ano de pesquisa, pois alguns artigos que tem a mesma amostra foram publicados em anos diferentes.

O gráfico 2 mostra as variáveis utilizadas como relevantes para a pesquisa nos diferentes artigos selecionados.

Gráfico 2 - Variáveis estudadas pelo artigo



Fonte: Elaborada pela autora (2014)

Observa-se, pela análise do gráfico 2, que a temperatura foi utilizada em 100% dos estudos selecionados como parâmetro de avaliação. Em alguns destes estudos a temperatura foi mantida fixa, enquanto em outros a temperatura variou ao longo da pesquisa. Esta variação ocorreu na temperatura do ar do ambiente ou pela utilização de um estressor térmico pontual, por exemplo, através da colocação da mão dominante em um ambiente com água a determinada temperatura. Em relação à umidade relativa e à velocidade do ar, na maioria dos estudos estas foram mantidas constantes; apenas 3 estudos as utilizaram como variáveis associadas à temperatura. Outras variáveis ambientais também foram monitoradas, a saber: temperatura operativa, temperatura de globo, ponto de orvalho, temperatura radiante

média, concentração de CO₂ e outros gases, iluminação e ruído.

Além das medidas objetivas das condições ambientais, mais de 70% dos artigos se preocuparam com a percepção do indivíduo com o ambiente. As coletas subjetivas foram feitas, em sua maioria, pela escala de 7-pontos de sensação térmica e/ou pela escala de 5-pontos de conforto térmico. Alguns autores elaboraram questionários próprios para a análise do ambiente incluindo a aceitabilidade do ambiente e a presença de sintomas, geralmente associados à SBS.

Quanto à análise do desempenho, 8% utilizaram o questionário NASA-TLX para verificar o desempenho subjetivamente. Os demais artigos utilizaram tarefas simuladas de escritório e testes neurocomportamentais padronizados, ressalte-se, no entanto, que houve uma grande diversidade nas tarefas cognitivas desempenhadas. A análise do desempenho foi avaliada pela acurácia (número de erros cometidos na tarefa) e/ou pelo tempo gasto por cada participante para completar a atividade.

Quanto à análise da saúde, além da monitorização da temperatura interna e da temperatura da pele, a monitorização da frequência cardíaca (FC) foi amplamente utilizada. O método de avaliação se deu pela utilização de frequencímetros ou de eletrocardiogramas (ECG). Essa análise se baseou na frequência cardíaca média no período ou na variabilidade da FC, determinadas a partir do intervalo R-R do ECG e dos componentes espectrais de baixa frequência (LF), alta frequência (HF). A LF está mais relacionada com a atividade simpática que atua no aumento da frequência cardíaca e da força de contração. A HF está relacionada com a atividade vagal, atuando na diminuição da frequência cardíaca e da força de contração. A relação LF/HF indica balanço simpatovagal, ou seja, o equilíbrio entre as ações mediadas pelo Sistema Nervoso no organismo, neste caso específico, sobre o coração (YAO et al., 2009). É importante ressaltar que quando se compara situação de esforço mental com situação de repouso, geralmente aparece aumento da FC e redução da VFC (MULDER et al., 2005).

Outro parâmetro utilizado foi a análise da pressão arterial (PA), tanto a diastólica e a sistólica quanto a pressão arterial média. Os estudos que utilizaram esta variável a associaram com a condição térmica do ambiente, no intuito de identificar efeitos da termorregulação do corpo humano (MÄKINEN et al., 2006; LARRA et al., 2014).

Além da FC e PA, outro exame associado à análise ambiental foi a análise do volume de oxigênio (VO_2 máx), que é a quantidade máxima de oxigênio que o corpo consegue absorver, transportar e consumir em um determinado tempo. Este teste foi utilizado para verificar o esforço do corpo em ambientes termicamente diferentes.

Também relacionado ao sistema cardiorrespiratório, foi analisada a saturação de pulso de oxigênio, em ambientes termicamente diferentes durante a realização de atividades cognitivas. O intuito foi verificar a oferta de oxigênio disponível no sangue durante a atividade. Outros exames também foram realizados durante a execução de atividade cognitiva, dentre eles o eletroencefalograma (EEG), a análise da ventilação respiratória (associado à concentração de CO_2) e exames laboratoriais de sangue e saliva.

Após a leitura completa dos artigos foi elaborado o quadro 10, onde são apresentados os achados dos estudos primários. Os achados foram divididos de acordo com as variáveis térmicas e os efeitos desta variável no desempenho e nos parâmetros cardiovasculares. Foram incluídas outras observações relacionadas à variável térmica em questão e, por último, os estudos que citaram algumas das alterações relacionadas.

Observando-se o exposto no quadro 10, verifica-se que a temperatura afeta o desempenho. Segundo Lundgren et al. (2013), a variação de poucos graus na temperatura 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. Apesar da relação entre os níveis de distração e os níveis de estresse térmico não ser conhecida, sabe-se que estas distrações podem levar à queda da qualidade do produto, aumento da taxa de acidentes e alteração do desempenho cognitivo e comportamental, além de pausas não programadas durante o trabalho (BRADSHAW, 2006; PARSONS, 2009; LUNDGREN et al., 2013).

Quadro 10 – Resultados das pesquisas na relação entre as variáveis térmicas, o desempenho e parâmetros cardiovasculares

Variáveis térmicas	Desempenho	Parâmetros Cardiovasculares	Outros	Estudos
↑ temperatura do ar	Não influencia a progressão escolar ↓ velocidade de escrita ↑ velocidade de cálculos ↑ queixa de não entendimento da lição ↑ taxa de ausência em sala ↓ pensamento com clareza ↓ desempenho, exceto digitação ↑ carga mental percebida ↑ desempenho em testes de raciocínio mecânico	↑ FC ↑ LF/HF ↑ ventilação respiratória ↓ SpO ₂	Meninas estão mais susceptíveis a sintomas associados ao calor. ↑ dor de cabeça ↑ fadiga ↓ vitalidade para realizar atividade Piora o humor	Akimoto et al. (2010) Barrett et al. (2013) Choi et al. (201(2) Dapi et al. (2010) Fang et al. (2004) Lan et al. (2009) Lan et al. (2010) Lan et al. (2014) Lan; Wargocki; Wyon; et al. (2011) Vasconcelos (2013)
↓ temperatura do ar	↑ desempenho de memória a médio prazo ↑ velocidade de realização da tarefa ↑ erros ↑ precisão de teste visual ↓ eficiência ↓ ativação do sistema nervos ↑ desempenho em testes de raciocínio espacial	↑ FC (estressor pontual) ↑ PA ↑ PAS ↑ PAD ↑ VO ₂	Melhoram a motivação	Cui et al. (2013) Duncko et al. (2009) Lan; Lian (2009) Larra et al. (2014) Mäkinen et al. (2006) Tham; Willem (2010) Vasconcelos (2013)
Conforto térmico	↑ desempenho ↓ velocidade dos testes		Aumenta a motivação	Cui et al. (2013) Lan; Lian (2009) Lan; Wargocki; Lian (2011) Vimalanathan; Babu (2014)
Desconforto térmico	↓ atenção e memória a curto prazo Não há diferença no desempenho devido a diferentes temperaturas verticais. ↑ velocidade dos teste ↓ produtividade	↑ LF/HF ↑ LF/HF normalizada	Mulheres preferem ambientes mais quentes; Mulheres são mais susceptíveis ao desconforto por diferenças verticais de temperatura	Batiz et al. (2009) Hashiguchi et al. (2010) Lan; Lian (2009) Lan; Wargocki; Lian (2011) Liu et al. (2008) Yao et al. (2008) Yao et al. (2009)
↓ velocidade do ar	Prejudica a concentração		Afeta a saúde, mas pode ser amenizado por atividades externas	Bakó-Biró Zs. et al. (201(2)
↑ umidade relativa	↓ pensamento com clareza	↑ FC	↑ dor de cabeça ↑ fadiga	Zhang et al. (2014) Fang et al. (2004)

ECG: Eletrocardiograma; FC: Frequência cardíaca; LF: Banda de baixa frequência no ECG; HF: Banda de alta frequência no ECG; PA: Pressão arterial; PAD: pressão arterial diastólica; PAS: pressão arterial sistólica; SpO₂: Saturação de pulso de oxigênio; VO₂: Volume de oxigênio; ↑: aumento; ↓: redução.

Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Quando se trata do desempenho cognitivo, a tendência é de que o

comprometimento seja maior na velocidade de execução do que na acurácia da atividade desempenhada (LAN et al., 2014; VIMALANATHAN; BABU, 2014). A depender, no entanto, do tipo de atividade realizada (MÄKINEN et al., 2006; LAN et al., 2009; VASCONCELOS, 2013). Especialistas concordam que é importante ter um índice que leve em consideração tanto a velocidade quanto a precisão, e os pesos não devem ser arbitrários, mas sim dependentes da situação (LAN et al., 2014).

Akimoto et al. (2010) identificou a preferência, por parte dos indivíduos, por um ambiente isotérmico. No entanto, vale ressaltar que o desempenho pode ser mantido sem alterações em condições desfavoráveis, especialmente por curtos períodos de tempo, através de maior esforço do corpo (LAN et al., 2009, 2010).

Lan et al. (2014) reforça ainda que os indivíduos podem comprometer a acurácia para manter a velocidade e vice-versa, reforçando a necessidade da avaliação de ambos os parâmetros.

Segundo Wargoki e Wyon (2013), apesar de não haver conhecimento sobre os efeitos das condições ambientais no processo de aprendizagem como um todo, o efeito sobre o tempo de realização de tarefas simples pode prejudicar o aprendizado. Assim, quando a atividade é completada rapidamente, o restante do tempo pode ser utilizado para aprendizagem complementar, descanso ou outras atividades escolares. Além disto, a realização mais lenta da atividade irá requerer maior dedicação de tempo e esforço do professor.

A motivação é outro fator a ser considerado ao estudar a relação do desempenho de aluno, pois de acordo com Cui et al. (2013), o desempenho está mais associado à motivação do que à temperatura. Entretanto, estes autores identificaram que a motivação também encontra-se associada à temperatura, sendo maior em temperatura inferior à considerada ótima, ou seja, a maior motivação ocorreu a 24°C, enquanto a temperatura ótima foi de 25,8°C.

Parsons (2009), afirma que motivação, moral e espírito de equipe são importantes para manter o desempenho e a produtividade durante ondas de calor, porém, a forma mais efetiva de manutenção do desempenho, a longo prazo, é proporcionar condições de conforto térmico. Para isto, é necessário verificar os custos em termos de saúde e perda da produtividade comparada aos custos de se manter o conforto térmico.

Para Wargoki e Wyon (2013), a falta de 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. Este comprometimento maior seria em razão das diferenças motivacionais normais entre adultos e crianças.

Como a temperatura ótima para o desempenho pode depender de outros fatores influentes, como, por exemplo, a capacidade individual de aclimatização, ela pode diferir entre indivíduos. Por esta razão, pode ser interessante a utilização de outros índices para o estabelecimento de normas. Batiz et al. (2009), observaram a relação direta entre o conforto térmico (através do PMV) e a atenção e memória de estudantes de graduação e pós-graduação, sendo o melhor desempenho obtido com o PMV próximo do valor neutro. Esta condição também foi confirmada pelo estudo de Lan, Wargoki e Lian (2011), que relataram que o desempenho ótimo foi alcançado com o PMV entre -0,5 e 0.

Outro fator que pode melhorar o desempenho é a ativação adrenérgica do sistema nervoso, ativação esta, conseguida através da estimulação para obtenção de estresse por frio, no corpo todo ou em uma extremidade, como a mão, por exemplo. Tham e Willem (2010), verificaram que a sensação de frio ativa o sistema nervoso simpático, elevando o nível de alerta para a realização de atividades. Estudo realizado por Duncko et al. (2009) e Larra et al. (2014), que utilizaram estressor frio pontual, relacionaram a ativação adrenérgica com melhor desempenho da memória a curto e médio prazo. Esta ativação também gera alterações no sistema cardiovascular, como aumento na PA e na FC.

Além dos efeitos diretos sobre a produtividade, a temperatura do ar também a influencia indiretamente, devido à prevalência de sintomas da SBS ou ao nível de satisfação com qualidade do ar (LAN; LIAN, 2009). De acordo com Lee et al. (2012), o desempenho percebido por estudantes universitários está associado à presença de queixas ambientais. O aumento da taxa metabólica aumenta o estresse térmico que pode gerar aumento dos sintomas relatados, como aumento da fadiga, redução da vitalidade para realizar atividades e dor de cabeça, especialmente em mulheres (FANG et al., 2004; DAPI et al., 2010; LAN; WARGOCKI; WYON; et al., 2011). As mulheres também são mais sensíveis a temperaturas frias, especialmente nas extremidades, e a variações horizontais de temperatura (BATIZ et al., 2009; HASHIGUCHI et al., 2010).

Apesar de afetar o desempenho, Barrett et al. (2013) não conseguiram

relacionar diretamente a temperatura à progressão escolar de crianças britânicas. Criaram, no entanto, um modelo considerando 6 características da sala de aula que explica 51% da variabilidade no aprendizado. A não inclusão da temperatura neste modelo pode ter sido em função da correlação apresentada por esta com a iluminação, parâmetro que foi incluído no modelo.

Em estudo realizado por Vasconcelos (2013), com cadetes da Polícia Militar da Paraíba, ficou evidenciado que além da temperatura do ar, a temperatura de globo e umidade relativa do ar também exercem influência no desempenho cognitivo geral.

Além disto, Bakó-Biró et al. (2012), ao estudarem escolas primárias na Inglaterra, mostraram que o aumento da taxa de ventilação nas salas de aula melhorou o desempenho das tarefas escolares relacionadas às habilidades requeridas em matemática e línguas, e também os resultados obtidos em testes informatizados.

Assim como o desempenho, a frequência cardíaca e a pressão arterial também são afetadas pelas condições ambientais a depender do tipo de atividade realizada (LIU et al., 2008; BUROV; TSARIK, 2012). A variação da FC é mais sensível a demandas de percepção do que a de atenção (LUQUE-CASADO et al., 2013). Wharton et al. (2006) determinou relação positiva entre a PA e o desempenho de tarefas visoespaciais. Já Lyngdoh et al. (2013) encontrou associação entre algumas tarefas cognitivas desempenhadas e a PA, no entanto, as associações estavam relacionadas apenas há algum dos sexos ou apenas com a PAS ou PAD, não podendo ser generalizadas.

Essa dependência da atividade realizada pode estar relacionada à área cortical ativada durante a execução da tarefa e às áreas de controle térmico do corpo humano. De acordo com Lan et al. (2011), os efeitos negativos observados na saúde e no desempenho quando as pessoas estão em ambiente termicamente quente podem ser causados pelos mecanismos fisiológicos.

Deve-se ressaltar que os parâmetros cardiovasculares são influenciados pela atividade cognitiva. No entanto, o desempenho cognitivo, por sua vez, pode também ser influenciado por estes parâmetros. Exemplifica-se este fato pelo estudo realizado por Lan et al. (2011) que verificou que a redução da oxigenação (SpO_2) pode reduzir as funções cognitivas e, portanto, o desempenho dos estudantes.

Alguns estudos têm verificado apenas a relação entre o desempenho e

alterações na FC e PA. Bernardi et al. (2000), encontraram uma relação recíproca entre atividade mental e estresse, associada à ativação simpática do sistema cardiovascular, podendo esta ativação ser afetada pela respiração do indivíduo. Hjortskov et al. (2004), observaram que o estresse mental sofrido durante trabalho em computador leva a mudanças na variabilidade da FC e a um aumento sustentado na PA, efeitos revertidos com o repouso.

Vuksanovic e Gal (2007), associaram que mudanças na modulação autonômica se refletem no poder espectral HF, responsável pelo aumento da FC sob estresse mental. E Schnell et al. (2013) mostrou que os níveis de carga térmica, medida através da temperatura fisiológica equivalente, estão associados com os níveis de LF/HF.

Alterações no ECG são associadas a variações ambientais. Quando relacionadas à temperatura e umidade, estas alterações não apresentam uma forma linear, sendo que podem apresentar valores maiores em temperaturas baixas ou altas (YAO et al., 2008, 2009; LIU et al., 2008; ZHANG et al., 2014). Liu et al. (2008), ao relacionar a atividade cardíaca com a sensação térmica dos ocupantes, identificaram que os índices de LF / HF no desconforto foram maiores do que em um nível de conforto. O aumento de LF/HF reflete que a atividade do sistema nervoso simpático (SNS) foi elevada. O SNS estimula ações automáticas que permitem ao nosso corpo reagir em situações de estresse, através da aceleração dos batimentos cardíacos, aumento da pressão arterial, da adrenalina, da concentração de açúcar no sangue e ativação do metabolismo geral do corpo.

Apesar de Akimoto et al. (2010) não ter conseguido identificar diferença na carga mental percebida em trabalhadores de escritório, Lan et al. (2011) demonstrou que o aumento da temperatura gera um aumento da carga mental percebida.

Em estudo realizado por Taelman et al. (2011), os resultados confirmaram que a frequência cardíaca foi maior e a modulação vagal menor quando associada a tarefa mental à atividade física normal de escritório, ou seja, o efeito da carga mental de trabalho sobrepõe-se aos efeitos cardiovasculares da carga física de trabalho, sugerindo efeito adicional na combinação de múltiplas tarefas.

Mas é importante salientar que em relação aos efeitos do ambiente na saúde, de acordo com Hübler et al. (2008), não há uma relação mono-causal entre temperatura e saúde. Diferentes fatores de risco como idade (crianças e idosos), condições físicas (doenças pré-existent) e baixo condicionamento físico

exacerbam os efeitos da carga térmica. De fato, Luque-Casado et al. (2013), verificou que o condicionamento físico é um fator essencial para melhorar o controle autônomo cardíaco e desempenho cognitivo.

Conforme Ickovics et al. (2014), estratégias para promover a saúde podem, além de cumprir sua intenção original, melhorar também o aprendizado. Entre as estratégias, eles sugerem o manejo de condições crônicas de saúde, aumento da atividade física e a promoção de alimentação correta, que resultam em ambientes escolares saudáveis melhorando a saúde emocional e comportamental.

Em vista do material acessado na presente revisão de literatura, verificou-se que, apesar de constatada a importância de sua influência relacional, há pouca disponibilidade de trabalhos acadêmicos envolvendo a relação entre as variáveis ambientais, parâmetros cardiovasculares e desempenho cognitivo, principalmente no que se refere a ambientes de ensino.

Constatou-se ainda, haver uma relativa dificuldade metodológica na realização de comparações entre os desempenhos encontrados em razão da grande variedade de testes diferenciados utilizados para se fazer a avaliação cognitiva. Conjuntamente, pode-se também argumentar sobre a validade de alguns desses testes. Como exemplo, alguns estudos (FANG et al., 2004; LEE et al., 2012) utilizaram como parâmetro de avaliação atividades de escritório tais como digitação com uma amostra de estudantes, o que pode não ser uma atividade de representatividade direta sobre a influência no processo ensino-aprendizagem.

Conclui-se que, para haver uma maior precisão das pesquisas e uma correta determinação de significância de fatores, deve-se estabelecer a padronização das ferramentas para análise de desempenho cognitivo em estudantes, especialmente os universitários. Tal ausência de padronização apresenta-se claramente como um ponto de fragilidade na associação dos resultados apresentados pelas pesquisas levantadas. Na atual pesquisa, optou-se por utilizar a Bateria de Teste de Raciocínio (BPR-5) forma B, por tratar-se de uma bateria adequada ao nível de ensino dos indivíduos.

Com relação ao monitoramento e associação dos parâmetros que foram utilizados em si, alguns estudos apresentam a associação dos parâmetros cardiovasculares com o desempenho cognitivo (THAYER et al., 2009), mas não na dependência entre eles e sim como fator de risco em longo prazo para algum distúrbio. Por esta razão, escolheu-se monitorar frequência cardíaca e pressão

arterial, para obter dados visando identificar possíveis relações associados ao desempenho cognitivo.

Também, apesar do grande número de estudos considerando as variáveis térmicas como variáveis independentes, tanto em relação ao desempenho quanto em relação aos parâmetros cardiovasculares, verificou-se a ausência de trabalhos estudando o desempenho cognitivo como variável dependente da associação dos parâmetros cardiovasculares e variáveis térmicas. A ausência de modelos que possam descrever esta relação apresenta uma importante lacuna para o entendimento desta relação.

Por fim, percebe-se que tem sido pouco explorado o papel da pressão arterial sistêmica neste conjunto. Em relação aos parâmetros cardiovasculares, o foco maior tem sido dado ao papel da variabilidade cardíaca, que apresenta uma relação já estabelecida com o conforto térmico e com a atividade cognitiva. A utilização da pressão arterial pode ampliar o entendimento sobre o papel do sistema cardiovascular no desempenho dos estudantes e contribuir para a melhor compreensão do problema de uma forma mais completa e precisa.

CAPÍTULO 4: PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo é destinado ao delineamento da pesquisa utilizado para se alcançar os objetivos. É composto de alguns aspectos do estudo, como classificação, amostra, procedimentos e instrumentos utilizados para coletar e analisar os dados.

4.1. Classificação da pesquisa

Neste item, será realizada a classificação da pesquisa de acordo com a forma clássica: aplicabilidade, abordagem do problema, objetivos e procedimentos (PRODANOV; FREITAS, 2013)

Do ponto de vista da sua natureza, esta pesquisa se classifica como aplicada, pois objetivou gerar conhecimentos sobre o desempenho e a saúde de alunos universitários para aplicação prática dirigidos à melhora do conforto e da aprendizagem.

Em relação à forma de abordagem do problema, a mesma foi quantitativa, pois tentou traduzir em números as opiniões e as informações, utilizando para este fim a triangulação de métodos quantitativos e qualitativos, visto que são métodos complementares, usando de técnicas estatísticas e recursos computacionais para as classificações e análises.

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

Caracteriza-se, ainda quanto aos objetivos, como exploratória, porque visou proporcionar maior entendimento sobre parâmetros cardiovasculares, o conforto térmico e o desempenho dos estudantes; descritiva, porque descrevem os parâmetros cardiovasculares, o conforto térmico e a relação com suas principais variáveis; assim como, explicativa, porque procura verificar se os parâmetros cardiovasculares podem ter relação com o desempenho dos estudantes, em situações de desconforto térmico.

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, o primeiro passo foi a pesquisa bibliográfica, com o intuito de conhecer melhor o problema, construir o

referencial teórico e determinar as variáveis da pesquisa; levantamento, pois os participantes foram interrogados de forma direta quanto a sua percepção térmica; e como experimental, porque ao se desejar identificar a relação entre os parâmetros cardiovasculares e o desempenho, foi necessário definir formas de controle dos parâmetros envolvidos. Para obter uma realidade representativa foi realizada a triangulação metodológica, através da coleta dos dados das variáveis ambientais, pessoais, desempenho e parâmetros subjetivos.

4.2. População e amostra

O estudo foi realizado em ambientes de ensino inteligentes (news ICT), laboratório de informática, do Centro Superior de Tecnologia do Centro Universitário Maurício de Nassau e do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da USP. Para garantir a aleatoriedade da amostra, todos os alunos foram convidados a participar após a explicação dos objetivos e metodologias da pesquisa.

Dos alunos convidados, 28 mostraram interesse em participar da pesquisa, e após assinarem o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (apêndice 1), foram encaminhados à coleta de dados iniciais.

Para garantir a homogeneidade da amostra, durante as análises dos dados coletados, foram incluídos na pesquisa os alunos com idade entre 17 e 30 anos e bom estado geral de saúde autorreferido. Foram excluídos os alunos fumantes; ou que referiram doenças cardiovasculares e metabólicas; ou apresentaram IMC calculado acima de 30; ou que não compareceram nos três dias de pesquisa.

4.3. Variáveis e indicadores da pesquisa

O quadro 11 apresenta as variáveis que foram analisadas no presente estudo bem como seus respectivos indicadores.

Quadro 11 - Variáveis e indicadores da pesquisa

	VARIÁVEIS	INDICADORES
Parâmetros de Conforto	Pessoais	Atividade desempenhada, M , (W/m^2); Isolamento térmico das vestes, I_{cl} , (clo); Altura (m), peso (kg), idade (anos), sexo, frequência cardíaca (bpm), pressão arterial (mmHg)
	Ambientais	Temperatura do ar ($^{\circ}C$); Temperatura radiante média, t_{rm} , ($^{\circ}C$); Velocidade do ar, v_a , (m/s); Pressão parcial do vapor de água no ar ambiente, p_a , (kPa);
Parâmetros Subjetivos	Sensação Térmica Avaliação térmica	Escala de sete pontos de percepção e preferências da norma ISO 10551/1995
Desempenho	Raciocínio	Acertos e tempo no Raciocínio Verbal (RV); Acertos e tempo no Raciocínio Abstrato (RA); Acertos e tempo no Raciocínio Mecânico (RM); Acertos e tempo no Raciocínio Espacial (RE); Acertos e tempo no Raciocínio Numérico (RN); Acertos e tempo no Escore Geral (BPR)

4.4. Instrumentos de coleta de dados

Os dados foram obtidos durante a realização de experimentos realizados em laboratório de informática. Sendo que no período de 18 a 27/08/2014 foram realizadas em João Pessoa-PB (Faculdade Maurício de Nassau). Estes alunos foram divididos em 4 turmas com coletas em 3 dias consecutivos (18-20/08/2014 ou 25-27/08/2014) e em 2 horários distintos, sendo um grupo a partir das 14h e outro grupo a partir das 16h. A outra coleta foi realizada em São Carlos-SP (USP-São Carlos), no período de 17 a 20/11/2014, no horário a partir das 18h. As coletas foram realizadas nos dias e horários de disponibilidade dos participantes. Estes dados são sumarizados na tabela 11.

Tabela 11 - Turmas e horários de coletas

TURMA	LOCAL	DATA	HORÁRIO
1	João Pessoa-PB	18 a 20/08/2014	14:00
2	João Pessoa-PB	18 a 20/08/2014	16:00
3	João Pessoa-PB	25 a 27/08/2014	14:00
4	João Pessoa-PB	25 a 27/08/2014	16:00
5	São Carlos-SP	17 a 20/11/2014	18:00

FONTE: Elaborada pela autora (2014)

No 1º dia o ar condicionado foi regulado para 20°C e no segundo dia em 24°C. No 3º dia, para alcançar a temperatura mais alta o ar condicionado foi desligado, pois este não aquecia o ambiente.

Todos os dados ambientais da pesquisa foram medidos em regime contínuo ao longo de todo o ensaio, com registro a cada minuto, no sentido de verificar a constância das condições de ambiente térmico. Para os cálculos, foram consideradas as médias de temperaturas para o período de realização do teste de cada aluno. Também foram aferidos ruído e qualidade do ar do ambiente e a iluminância de cada posto de trabalho.

Em uma sessão prévia, os alunos foram orientados sobre a finalidade da pesquisa e quais os tipos de questionários utilizados. Ainda, foi feita uma explanação sobre a natureza das questões dos testes de raciocínio e tiradas dúvidas sobre a metodologia da pesquisa. Quem concordou em participar do estudo foi orientado a comparecer em dia e horário pré-determinado ao laboratório de informática pré-agendado.

Ao chegarem ao laboratório, os participantes assinaram o TCLE (apêndice 1) e reforçou-se a necessidade de irem com roupas similares e de sentarem nas mesmas estações de trabalho nos três dias. Em seguida foram encaminhadas para a coleta de peso, altura, pressão arterial inicial e frequência cardíaca inicial.

Após a coleta destes dados os participantes foram alocados em seus postos e foi solicitado que colocassem o frequencímetro na altura do processo xifóide e o relógio no braço esquerdo. Após a colocação, foram orientados a ativar o registro do equipamento e iniciaram a resposta ao questionário online. Ao finalizarem o questionário, os participantes desativavam o registro do frequencímetro e informavam aos pesquisadores que, novamente, aferiram PA e FC. No 2º e 3º dia, foram repetidos os procedimentos, excetuando-se medida de altura e peso.

Para responderem aos questionários on-line, os alunos utilizaram computadores com monitores de tubo de raios catódicos para acessar o endereço eletrônico (*link*) contendo uma bateria de testes. O *link* para cada dia de testes só foi disponibilizada no momento de sua realização, evitando assim que os participantes tomassem conhecimento das questões previamente. Ao finalizar a bateria de testes cognitivos (BPR-5), os participantes responderam questões referentes a alimentação e conforto ambiental. Após a realização do experimento, os participantes foram dispensados e orientados sobre a atividade do dia seguinte.

4.4.1. Variáveis pessoais

De todos os alunos participantes no ensaio foram recolhidas as seguintes informações: altura, peso, frequência cardíaca e pressão arterial. Estes dados foram recolhidos diretamente por dois integrantes da equipe de pesquisa, devidamente treinados.

O peso foi medido através de balança digital com capacidade de 150 kg e variação de 100 gramas. Cada participante foi orientado a ficar na posição ortostática, sem apoio. Também foi solicitado que ao subir na balança estivesse sem calçado, boné, óculos ou qualquer equipamento, como carteira, bolsa e celular. Os dados foram anotados em planilha pré-estruturada (apêndice 2).

A altura dos indivíduos foi verificada utilizando o estadiômetro. Para este fim, foi solicitado que o indivíduo se posicionasse em ortostatismo, descalço, junto ao aparelho (MAÏMOUN et al., 2013). A medida foi registrada manualmente, sempre pelo mesmo pesquisador, na planilha de dados (apêndice 2). A partir destes dados, utilizou-se o programa Microsoft Excel® para calcular o IMC de cada participante (equação 23) e classificar em baixo peso, peso normal, sobrepeso e obesidade.

No dia do teste, a pressão arterial e a frequência cardíaca, tanto antes quanto ao final dos testes, foi verificada, com o monitor de pressão arterial automático de braço do modelo HEM-7220 da marca OMRON, que é validado de acordo com o protocolo internacional da Sociedade Européia de Hipertensão. Os procedimentos para as aferições foram de acordo com os recomendados na VI Diretriz de Hipertensão (SBC et al., 2010), conforme exposto no quadro 12. Estes dados foram anotados na planilha de dados (apêndice 2)

Quadro 12 - Protocolo para aferição da PA

Preparo do participante	Para a medida propriamente dita
1. Informá-lo sobre o procedimento. 2. O participante deve estar na posição sentada, pernas descruzadas, pés apoiados no chão, dorso recostado na cadeira e relaxado. 3. Ficar em repouso por pelo menos 5 minutos em ambiente calmo, sem estar de bexiga cheia, 30 minutos sem fumar, sem ingerir caféina ou bebida alcoólica e sem ter praticado exercícios físicos 4. Deve ser instruído a não conversar durante a medida. 5. O braço deve estar na altura do coração (nível do ponto médio do esterno ou 4o espaço intercostal), livre de roupas, apoiado sobre uma mesa com a palma da mão voltada para cima e sem movimentação durante as medidas	1. Colocar o manguito, sem deixar folgas, 2 a 3 cm acima da fossa cubital, ao nível do coração e sem garroteamento por roupas apertadas 2. Centralizar o meio da parte compressiva do manguito sobre a artéria braquial. 3. Anotar os valores exatos sem “arredondamentos” e o braço em que a pressão arterial foi medida. 4. Deverão ser realizadas duas medidas, com intervalo de um minuto entre elas. A média deve ser considerada a PA real. Caso as pressões sistólicas e/ou diastólicas obtidas apresentem diferença maior que 4 mmHg, deverão ser realizadas novas medidas até que se obtenham medidas com diferença inferior. A posição recomendada para a medida da pressão arterial é a sentada.

FONTE: Adaptado de SBC (2011)

Após a tabulação destes dados no programa Microsoft Excel®, calculou-se a FC máxima para a idade (equação 30), a porcentagem da FC máxima para a idade utilizada durante a atividade (equação 33), pressão arterial média (equação 34) e o duplo-produto (equação 35) para cada indivíduo.

$$PFC_m = \frac{FC_{média}}{(220-idade)} \times 100 \quad (33)$$

$$PAM = \frac{PAS+2PAD}{3} \quad (34)$$

$$DP = FC \times PAS \quad (35)$$

Onde:

FC_{mu}: Frequência Cardíaca Média Utilizada (porcentagem)

FC_{média}: Frequência Cardíaca Média (bpm)

PAM: Pressão Arterial Média (mmHg)

PAS: Pressão Arterial Sistólica (mmHg)

PAD: Pressão Arterial Diastólica (mmHg)

DP: Duplo-produto (mmHg x bpm)

FC: Frequência Cardíaca (bpm)

Além disto, foram coletadas as frequências cardíacas durante o teste através da utilização do frequencímetro POLAR FT07. Para isto, a cinta peitoral foi colocada abaixo dos mamilos e ajustada, com a faixa elástica, de forma que as áreas de contato posicionadas na parte posterior estivessem em contato direto com a pele do indivíduo e não se soltassem durante as medidas. Foram registradas a FC máxima e a média das medidas registradas durante o período de medição. Estes dados foram transportados diretamente para o computador através do programa Polar Web Sync®.

Além destes dados, também foi calculada a resistência térmica das vestes de acordo com o referido pelo aluno no questionário referente às peças de roupas que estava utilizando e a resistência de cada uma delas, conforme tabela 1. Quanto ao metabolismo dos alunos foi estipulado em 70W/m², por tratar-se de atividade sentada sem grande esforço físico.

4.4.2. Variáveis Ambientais

As medições das variáveis ambientais temperatura do ar (ta), temperatura de bulbo úmido (tbu), temperatura de globo (tg) e velocidade do ar, foram coletados por meio do medidor de estresse térmico TGD300 e da estação microclimática BABUC A, 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 (1998); e o mesmo está devidamente calibrado por entidades acreditadas de referência, no caso deste estudo foi realizado no INPE-RN.

Seguindo o que estabelece a norma ISO 7726 (1998), o medidor foi instalado no centro da sala, na altura do tronco dos participantes sentados. Estas medidas para cada dia e turma 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 posicionados na sala 30 minutos antes de iniciar a coleta.

4.4.3. Parâmetros Subjetivos

Os parâmetros subjetivos, como sensação térmica e preferência térmica dos estudantes pesquisados, foram obtidos a partir da aplicação de questionário sobre a percepção, avaliação e preferência térmica dos estudantes, baseados nas escalas de 7 pontos de percepção e preferências da norma ISO 10551/1995. Estas questões foram incluídas ao final do teste de raciocínio.

4.4.4. Desempenho dos estudantes

Baseando-se no estudo realizado por Lan *et al* (2011) devido à importância da cognição e do processamento de informações para a realização de determinadas atividades, o efeito do ambiente sobre o desempenho cognitivo dos estudantes pode

ser sistematicamente avaliado através de testes psicométricos sobre as funções neurocomportamentais.

Segundo 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).

Baseado no estudo feito por Vasconcelos (2013), para que ao final do experimento se possa comparar o desempenho e parâmetros de conforto dos alunos em todas as faixas de temperatura, 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, foi elaborado um *survey* no site Qualtrics.com, que possibilitou a aplicação e medição do tempo de resposta de cada questão. Dessa forma, foram medidos os números de acertos, o tempo gasto e também a relação entre estes dois. Cada bateria foi composta de 4 questões referentes a cada teste de raciocínio, como mostra o quadro 13.

Quadro 13 - 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. Descobrendo-se o movimento, por meio da análise das diferentes faces, deve escolher-se entre as alternativas de resposta a representação do cubo que se seguiria se o movimento descoberto fosse aplicado ao último cubo da série. (Duração: 10 minutos)
Raciocínio Numérico (RN)	Prova composta por 4 itens na forma de séries de números lineares ou alternadas, em que o sujeito deve descobrir qual a relação aritmética que rege as progressões nas séries e aplicá-la respondendo quais seriam os dois últimos números que completariam a série. (Duração: 10 minutos)

Fonte: Vasconcelos (2013)

Para a divisão das questões e elaboração de cada um dos três testes, os itens foram categorizados, de acordo com Campos (2005), em: classe gramatical e tipo de relação entre as palavras para raciocínio verbal (RV); tamanho da sequência numérica, operações matemáticas utilizadas, número de sequências lógicas utilizadas e complexidade das sequências lógicas para prova de raciocínio numérico (RN); tipos de regras de modificação e número de tipos de regras de modificação para prova de raciocínio abstrato (RA); número de eixos de rotação, sentidos de rotação, faces visíveis dos cubos e presença de estímulos visuais nas bordas das faces dos cubos para raciocínio espacial (RE); e tipo de conhecimento em Física referente à prova de raciocínio mecânico (RM).

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 um teste a cada dia e ao final do período da pesquisa tivesse respondido aos três. Vale ressaltar que os três testes foram distribuídos todos os dias. Devido à escolaridade da população estudada, foi utilizada a versão BPR-5 B.

4.5. Análise dos dados

Após as coletas de dados, estes foram tabulados no software Microsoft Excel® e preparados para serem utilizados nos softwares R, SPSS® e Arena®. O software Excel® foi utilizado para a tabulação, transformação e cálculos dos dados. O software SPSS® foi adotado para a elaboração de gráficos e correlações entre os dados. O software Arena® foi empregado para identificar a distribuição dos dados para a modelagem matemática. Finalmente o software R foi utilizado para realizar as modelagens matemáticas.

Com a análise dos dados buscou-se descrever, analisar e prever relações entre as variáveis. Inicialmente realizou-se estatística descritiva para verificar características dos dados amostrais, como tendências centrais, dispersões e distribuições das variáveis coletadas. Nessa etapa, por exemplo, traçaram-se histogramas para verificar a distribuição dos parâmetros cardiovasculares e de desempenho.

Como os dados analisados não são contínuos foram utilizados,

posteriormente, os testes não paramétricos de Kruskal-Wallis e de Wilcoxon para testar a hipótese nula de que as distribuições dos parâmetros avaliados eram similares em todos os dias do experimento. Estes testes são utilizados quando se deseja comparar variáveis quantitativas e a suposição de normalidade não é satisfeita (VIEIRA, 2004). Quando a hipótese nula foi rejeitada, foram estimados intervalos livres de distribuição (baseados na estatística de Wilcoxon) para a diferença daqueles parâmetros entre pares de dias (DEVORE, 2006).

Para verificar as correlações entre as variáveis de interesse foi utilizada a correlação de Spearman entre as variáveis quantitativas. Além dos valores também se verificou a significância de cada correlação.

Para construção de modelos matemáticos utilizou-se a classe de Modelos Lineares Generalizados já que os modelos pertencentes a ela sintetizam e ampliam as possibilidades de modelagem da variável resposta (CORDEIRO; DEMÉTRIO, 2008). Nesse processo de modelagem, primeiramente obteve-se um modelo para investigar a relação entre a sensação térmica e a temperatura do ar, que teve por objetivo identificar a temperatura do ar associada ao voto de sensação térmica de neutralidade dos alunos. Em um segundo momento, para complementar as análises e alcançar o objetivo geral proposto por esta pesquisa, outro modelo foi obtido para investigar a relação do desempenho com os parâmetros cardiovasculares e térmicos.

4.6. Considerações éticas

A presente pesquisa, cadastrada junto à Plataforma Brasil com o número 31037614.0.0000.5188, foi aprovada junto ao Comitê de Ética da Universidade Federal da Paraíba, na relatoria da data de 22/05/2014, no parecer 664.712, conforme documento em anexo 1.

CAPÍTULO 5: RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo é destinado à apresentação e discussão dos resultados encontrados na pesquisa a partir dos procedimentos metodológicos utilizados e com foco nos objetivos deste trabalho.

Com o objetivo de caracterizar a amostra, inicialmente foi realizada uma análise das características dos 28 participantes da pesquisa (item 5.1). Esta investigação foi seguida pela caracterização dos ambientes de pesquisa, com o objetivo de identificar o ambiente térmico externo e interno da sala de aula (item 5.2). Em complemento, averiguaram-se também os votos dos alunos quanto a conforto, preferência e desejo relativos a este ambiente, comparando-os às normas vigentes (item 5.3). Baseando-se nestes dados, calculou-se a temperatura compatível à sensação neutra destes alunos. Estas análises visaram compreender as variações de temperatura do ar ocorridas durante a pesquisa bem como o conforto dos alunos submetidos a este ambiente, no sentido de aclarar os possíveis efeitos destas variações nos parâmetros cardiovasculares, com repercussão no desempenho dos alunos.

Em seguida, verificou-se o comportamento das variáveis cardiovasculares em cada dia de pesquisa, para isto, utilizou-se os valores obtidos ao início e ao final de cada um dos parâmetros em cada dia estudado (item 5.4). Em acréscimo a esta análise, verificou-se a diferença entre os valores finais e iniciais, como indicativo da variação ocorrida em cada parâmetro ao longo da pesquisa. Estas análises visaram entender a função cardiovascular na variação de temperatura do ar ocorrida nos três dias.

Posteriormente, investigou-se o comportamento do desempenho dos alunos em cada um dos subtestes e no Escore Geral no teste BPR-5 (item 5.5). Para esta investigação utilizou-se tanto a acurácia no teste (número de acertos em cada teste) quanto o tempo utilizado, visando a entender o desempenho na variação de temperatura do ar ocorrida nos três dias.

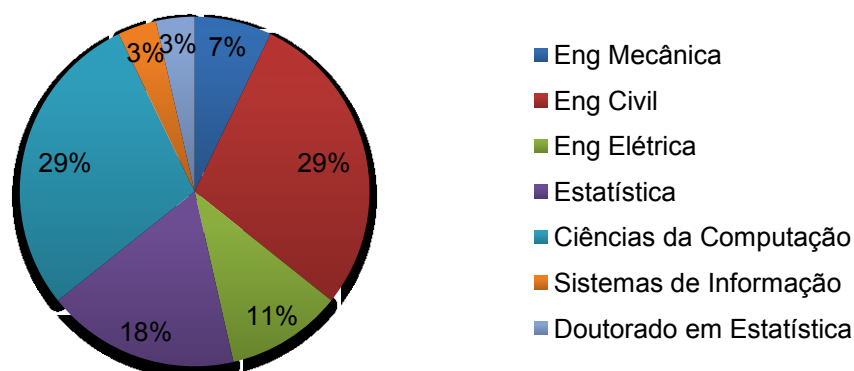
Após estas análises de cada um das variáveis da pesquisa, realizou-se a correlação entre elas, para verificar a influência que estas exercem umas sobre as outras, verificando a possibilidade das alterações no desempenho serem explicadas pelas variações na função cardiovascular (frequência cardíaca e pressão arterial) e no ambiente térmico (item 5.6).

Finalizando, a relação entre o desempenho e as variáveis cardiovasculares e térmicas foi obtida a partir da modelagem matemática utilizando Modelos Lineares Generalizados. Com estes passo foi possível alcançar o objetivo principal deste trabalho que foi de analisar a relação entre os parâmetros cardiovasculares (frequência cardíaca e pressão arterial) e o desempenho cognitivo de alunos submetidos à variação de temperatura do ar em ambientes de ensino.

5.1. Caracterização da amostra

Foram coletados dados de 28 alunos de cursos de nível superior, sendo 13 do Centro Superior de Tecnologia da Faculdade Maurício de Nassau e 15 do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação-USP/São Carlos. O gráfico 3 mostra a distribuição dos alunos entre os cursos.

Gráfico 3 - Distribuição dos cursos



Fonte: Elaborado pela autora (2014)

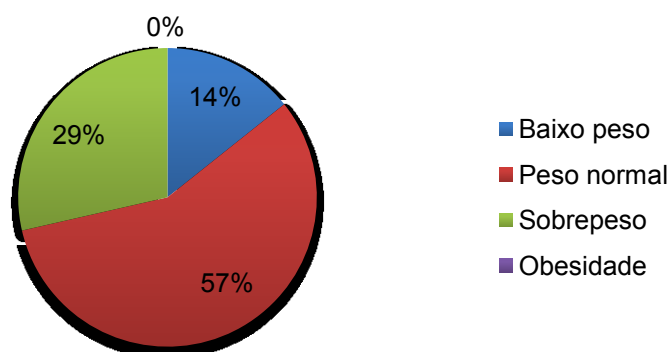
A amostra foi composta de 23 homens e 5 mulheres, com idade média de $21 \pm 2,89$ anos (sendo a idade máxima 29 e a mínima de 17 anos). Em relação ao estado civil, 93% eram solteiros e 7% casados. Quanto ao grupo étnico-racial 71% declararam-se brancos, 21% pardos e 7% negros.

Em questão aos hábitos, 96% relataram não fumar e 28,6% negaram ingerir bebida alcoólica. Quanto às atividades físicas, 14,3% se declararam atletas, 14,3% sedentários e 71,4% praticante de atividade física moderada.

O peso médio da amostra foi de $72,88 \pm 14,75$ Kg (sendo o máximo de 102,10 e o mínimo de 47,10 Kg). A altura média foi de $1,76 \pm 0,09$ m (sendo a máxima de 1,96 e a mínima de 1,61m). A partir destes dados foi calculado o IMC de cada

indivíduo, que teve como média $23,32 \pm 3,55$ (sendo o máximo de 29,97 e o mínimo de 18,00). Utilizando a categorização do IMC, obteve-se que o resultado exposto no gráfico 4.

Gráfico 4 - Categorização do IMC



Fonte: Elaborado pela autora (2014)

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; 0,37 clo no segundo dia; e 0,35 clo no último dia da pesquisa. Em relação à taxa metabólica, esta foi padronizada em 70 W/m^2 de acordo com o tipo de atividade exercida.

5.2. Caracterização do ambiente

Os ambientes de pesquisa foram laboratórios de informática com 35 a 40 computadores de mesa. Cada computador possuía um gabinete posicionado abaixo da estação de trabalho, e monitor de tubos de raios catódicos, teclado e mouse posicionados acima. Cada bancada possuía de 3 a 4 terminais posicionados lado a lado.

As salas eram climatizadas através de ar condicionado do tipo split e possuíam iluminação artificial distribuída no teto. As condições ambientais externas foram obtidas através dos dados disponíveis no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) das estações automáticas existentes nas cidades estudadas e são apresentadas na tabela 12.

Tabela 12 - Condições meteorológicas na cidade durante o período de coleta

Turma	Data	Hora	Temperatura (°C)		Umidade (%)		Vento (m/s)		Radiação (kJ/m²)	Chuva (mm)
			Máx	Mín	Máx	Mín	Vel	Raj		
1	18/08	13-15	27,5	23,4	87	68	4,5	12,0	2568,00	0,07
	19/08	13-15	27,3	23,1	91	65	3,0	9,3	2059,67	0,00
	20/08	13-15	28,1	23,1	93	63	2,1	6,8	2742,67	0,00
2	18/08	15-17	27,8	25,8	74	64	4,3	10,6	2891,67	0,00
	19/08	15-17	27,9	25,6	73	61	3,6	9,5	2774,00	0,00
	20/08	15-17	28,1	26,6	70	63	3,3	8,1	3264,67	0,00
3	25/08	13-15	29,2	26,5	74	62	4,2	10,2	3054,00	0,00
	26/08	13-15	28,6	24,8	84	61	2,9	7,7	2932,33	0,13
	27/08	13-15	29,4	27,6	69	62	3,6	9,3	3145,33	0,00
4	25/08	15-17	29,2	27,8	70	61	4,2	9,8	3216,67	0,00
	26/08	15-17	28,9	27,2	70	62	3,2	8,1	3357,33	0,00
	27/08	15-17	29,4	27,5	69	62	3,7	8,6	3066,33	0,00
5	17/11	18-20	28,9	26,9	35	30	0,9	3,3	1477,03	0,00
	18/11	18-20	29,9	27,8	36	29	2,1	5,6	2040,50	0,00
	19/11	18-20	30,6	28,5	34	26	1,7	5,7	2012,33	0,00
Média	1		28,3	26,5	63,0	54,9	3,3	8,7	2659,8	0,0
	2		28,3	26,5	64,2	55,7	2,8	7,4	2608,8	0,0
	3		28,7	27,2	61,8	54,5	2,8	7,6	2802,5	0,0

Turmas 1, 2, 3 e 4 = Faculdade Maurício de Nassau; Turma 5 = ICMC-USP-São Carlos.

Fonte: Adaptado de INMET (2014)

Observa-se que a temperatura do ar e a quantidade de chuva apresentaram valores similares em todos os dias de pesquisa. A temperatura máxima obtida no período foi de 30,6°C e ocorreu na cidade de São Carlos-SP, enquanto a mínima foi de 23,1°C e registrou-se na cidade de João Pessoa-PB. A quantidade média de chuva no período foi próxima a zero quase todos os dias, exceto em dois momentos (1º dia de pesquisa das turmas 1 e 3) na cidade de João Pessoa-PB. Mas percebe-se que a quantidade de chuva não influenciou a temperatura externa.

Ao verificar a umidade e a velocidade do ar, identificaram-se valores similares entre os dias de pesquisa para cada turma, entretanto, ao comparar as cidades estudadas, nota-se valores superiores em João Pessoa em relação a São Carlos, em todos os dias.

No entanto, ao investigar os dados médios de cada um dos 3 dias de pesquisa, constata-se que os dados foram similares. Este fato corroborou com a intenção do estudo de manter situações ambientais diferenciadas apenas pelo controle da temperatura do ar condicionado.

Em relação aos dados térmicos do ambiente interno dos laboratórios de informática, estes foram tabulados levando em consideração o posicionamento do

aluno e o tempo gasto por cada um para responder o questionário a cada dia. Na tabela 13 apresenta-se a média obtida a cada dia de coleta de dados.

Tabela 13 - Dados das condições térmicas médias dos ambientes de ensino

TURMA	DATA	Temperatura do Ar (°C)	Umidade (%)	Temperatura de Globo (°C)	Temperatura de Bulbo Úmido (°C)	Velocidade do Ar (m/s)
1	18/08	23,30	42,31	23,65	16,55	0,1
	19/08	23,10	49,03	23,40	20,08	0,1
	20/08	25,89	58,22	26,96	25,26	0,1
2	18/08	24,30	49,85	24,56	19,80	0,1
	19/08	23,95	49,85	24,61	20,41	0,1
	20/08	24,03	49,85	24,67	20,49	0,1
3	25/08	20,51	42,31	20,84	16,83	0,1
	26/08	23,36	49,03	23,66	20,48	0,1
	27/08	27,82	58,22	27,62	24,33	0,1
4	25/08	20,44	42,31	20,90	16,87	0,1
	26/08	23,21	49,03	23,55	19,86	0,1
	27/08	28,80	58,22	28,68	25,53	0,1
5	17/11	23,29	53,91	23,94	17,34	0,2
	18/11	23,09	48,17	23,72	16,34	0,2
	19/11	28,80	45,38	27,78	27,21	0,0
Média	1	22,60	49,33	23,11	17,41	0,17
	2	23,24	48,65	23,76	18,14	0,17
	3	27,95	50,44	27,50	25,71	0,05

Turmas 1, 2, 3 e 4 = Faculdade Maurício de Nassau; Turma 5 = ICMC-USP-São Carlos.

Fonte: Elaborada pela autora (2014)

Averiguou-se que nos dados de umidade relativa e velocidade do ar obtidos no ambiente de estudo, estes foram similares nos 3 dias. No entanto, ao comparar estes dados com os do ambiente externo, constata-se que estes variaram de acordo com a cidade pesquisada. Em João Pessoa, a umidades relativa do ar no ambiente de ensino foram inferiores quando comparadas ao ambiente externo, enquanto na cidade de São Carlos estas foram superiores. Quanto à velocidade do ar, esta foi sempre inferior no ambiente de ensino em relação ao ambiente externo.

Quanto às temperaturas do ar, estas foram diferentes, especialmente entre o 3º dia e os outros dias da pesquisa. Ressalta-se que no 3º dia a climatização do ambiente foi natural, contra a climatização artificial dos dias anteriores. Verifica-se que mesmo neste dia, a temperatura do ar ambiente interno foi menor do que a temperatura externa registrada na cidade.

Ressalta-se que devido à proximidade entre os valores obtidos da temperatura do ar e da temperatura de globo não houve radiação térmica significativa no ambiente. Apesar de a coleta de dados ocorrerem durante o dia, a radiação solar pode não ter influenciado a temperatura de globo, pois as salas eram protegidas pela arborização ou por edificações ao redor, que não permitiram radiação diretamente nas paredes dos laboratórios.

Em complemento aos dados térmicos mensurados, investigou-se a opinião dos alunos acerca da aceitabilidade térmica do ambiente.

5.3. Análise dos votos de conforto e sensação térmica dos alunos

A partir dos dados térmicos mensurados, foram calculados os índices de PMV (Voto médio predito) e PPD (Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas Predita). A média para cada dia encontra-se sumarizada na tabela 14. Em complemento a estes dados, também foram analisados os votos reais conforme a ISO 10551/2005. A porcentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente a cada dia é exposto na tabela 15. O conforto e desconforto térmico para cada dia de avaliação pode ser visto no gráfico 19, no qual além do conforto (1), são mostrados os vários níveis de desconforto: levemente desconfortável (2), desconfortável (3) e muito desconfortável (4).

Tabela 14 - Média e mediana de PMV e PPD a cada dia de pesquisa

TURMA	DIA	PMV			PPD		
		Média	DP	Mediana	Média	DP	Mediana
1	1	0,5588	0,1670	0,5588	11,8400	3,9447	11,8400
	2	0,5286	0,1756	0,5286	11,1783	3,9183	11,1783
	3	1,1460	0,0409	1,1460	32,6642	1,9314	32,6642
2	1	0,1666	0,9037	-0,1910	17,0113	15,7239	10,3003
	2	0,7607	0,5105	0,5319	20,6544	19,0753	10,9198
	3	0,9405	0,3826	0,7969	25,4692	16,3232	18,3891
3	1	0,1792	0,0505	0,2013	5,7058	0,3257	5,8415
	2	0,6105	0,0678	0,6047	12,8920	1,7793	12,6675
	3	1,2379	0,0262	1,2387	37,1282	1,3085	37,1626
4	1	-0,3844	0,4019	-0,5460	10,6357	3,7089	11,3779
	2	0,2751	0,3272	0,2847	8,2655	3,7576	8,2286
	3	1,3970	0,0613	1,3926	45,3723	3,2640	45,1209
5	1	0,5208	0,5793	0,5325	17,0726	14,5606	11,0167
	2	0,1804	0,4144	0,2961	9,0401	4,4196	8,0523
	3	0,9735	0,0622	0,9729	25,0879	2,5677	24,9941
Média	1	0,3074	0,5994	0,3689	14,1489	12,1986	10,4680
	2	0,3424	0,4121	0,4077	10,8768	7,3270	8,9477
	3	1,0806	0,2019	1,0340	30,2877	9,1285	27,5715

Turmas 1, 2, 3 e 4 = Faculdade Maurício de Nassau; Turma 5 = ICMC-USP-São Carlos.

Fonte: Elaborada pela autora (2014)

De acordo com a ISO 7730/2005, o ambiente pesquisado é de categoria B, ou seja, considera-se termicamente aceitável com PMV entre -0,5 e +0,5 e com um PPD menor ou igual do que 10% dos presentes. Ao examinar a tabela 14, verificaram-se condições próximas do conforto térmico, ou seja PMV entre -0,5 e +0,5, no primeiro dia nas turmas 1, 3 e 4; no segundo dia, nas turmas 4 e 5; e no

terceiro dia as condições foram além do limite, apresentando valores compatíveis com a sensação “levemente quente”. As condições de conforto foram verificadas nas médias do primeiro e do segundo dia da pesquisa.

Vale ressaltar que nos valores apresentados na tabela 14, o valor médio do PPD difere do esperado pelo PMV médio. Este valor está mais associado ao valor da mediana de cada caso.

Além dos valores previstos de pessoas insatisfeitas com o ambiente pelo PPD, verificaram-se também os votos reais. A tabela 15 mostra a comparação entre estes valores. Nota-se que os votos reais são sempre superiores ao previsto e todos ultrapassam os 10% de pessoas insatisfeitas com o ambiente.

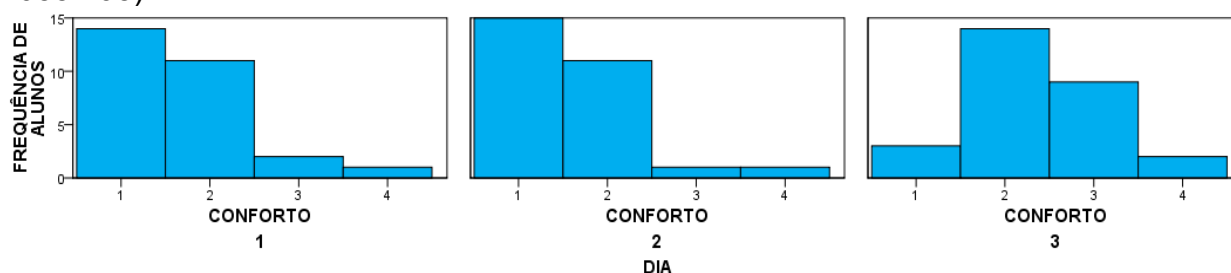
Tabela 15 - Porcentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico

TURMA	1			2			3			4			5		
DIA	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
PREVISTO	11,8	11,2	32,7	17,0	20,7	25,5	5,7	12,9	37,1	10,6	8,3	45,4	17,1	9,0	25,1
DECLARADO	50,0	50,0	100,0	66,7	33,3	66,7	25,0	75,0	100,0	50,0	50,0	100,0	53,3	40,0	86,7

Fonte: Elaborada pela autora (2014)

Em complemento a taxa de desconforto dos alunos, o gráfico 5 exibe os votos dos alunos de acordo com a ISO 10551/95, mostrando a frequência dos votos de conforto térmico de acordo com o grau de desconforto.

Gráfico 5 – Distribuição do nível de conforto térmico em cada dia de pesquisa (ISO 10551/95)



1: Confortável; 2: Levemente desconfortável; 3: Desconfortável; 4: Muito desconfortável
Fonte: Elaborado pela autora (2014)

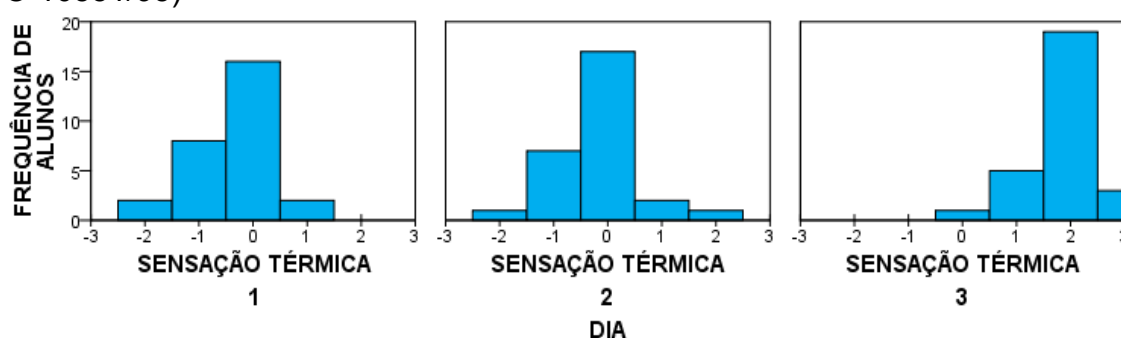
Pelo gráfico, é possível observar que nos dias 1 e 2 o maior número de votos foi em confortável seguido por levemente desconfortável, enquanto no dia 3 sobressaiu levemente desconfortável e desconfortável.

Verifica-se que no 3º dia o ambiente foi menos aceito termicamente, onde 89% dos participantes apresentavam algum grau de desconforto térmico contra 50%

no 1º dia e 46% no 2º dia. Para detalhar o desconforto declarado pelos alunos, foi analisada a sensação térmica e o seu desejo de modificar o ambiente, de acordo com a ISO 10551/95. Estas respostas estão apresentadas nos gráficos 6 e 7, respectivamente.

O gráfico 6 mostra a distribuição da frequência de sensação térmica, desde muito calor (3) até muito frio (-3), passando pela sensação neutra (0). Ressalta-se que nos primeiros dias o número de observações de sensação neutra foi maior do que o número de votos de conforto vistos no gráfico 6. Apesar de sentir-se nem com calor e nem com frio, alguns alunos ratificam o estado de desconforto térmico.

Gráfico 6 – Distribuição de frequência da sensação térmica a cada dia de pesquisa (ISO 10551/95)



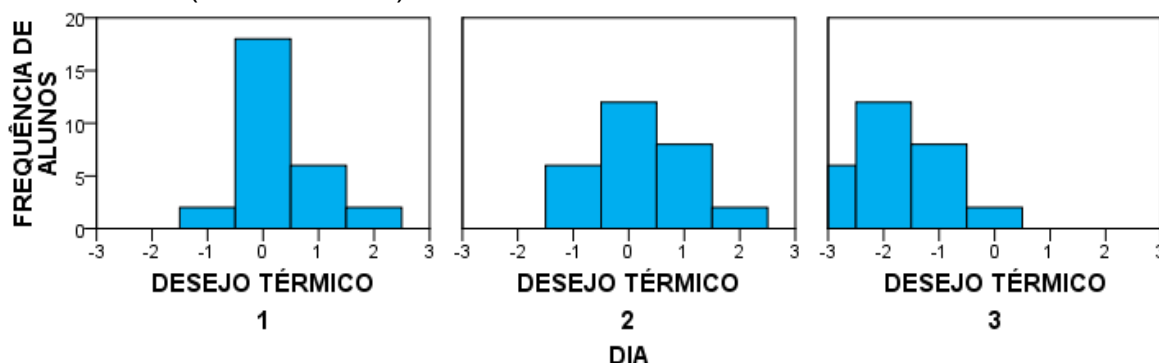
3: Calor; 2: Aquecido; 1: Levemente aquecido; 0: Indiferente; -1: Levemente resfriado; -2: Resfriado; -3: Frio.

Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Ao investigar os dados deste gráfico, é plausível observar que o desconforto nos dias 1 e 2 foram associados especialmente ao frio. No entanto, mais de 50% afirmaram que a sensação era de neutralidade térmica, em ambos os dias. Por outro lado, o desconforto no dia 3 foi devido a queixa associada a algum grau de calor dos indivíduos, com apenas 1 indivíduo indicando neutralidade térmica.

O gráfico 7 mostra o desejo de mudança térmica do ambiente, desde bem mais resfriado (-3) até o bem mais aquecido (3), passando pela manutenção do ambiente (0).

Gráfico 7 - Distribuição de frequência do desejo de mudança térmica do ambiente em cada dia (ISO 10551/95)



3: Bem mais aquecido; 2: Mais aquecido; 1: Pouco mais aquecido; 0: Nem mais quente nem mais frio; -1: Pouco mais refrescado; -2: Mais refrescado; -3: Muito mais refrescado.

Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Assim como os gráficos anteriores, este reforça a ideia de que o ambiente foi mais bem aceito termicamente nos primeiros dias. Nota-se ainda que nos dias 1 e 3 os votos foram similares entre o desejo e a sensação térmica, enquanto o dia 2 foi mais similar ao gráfico de conforto térmico. Apesar do maior número de votos em sensação neutra, percebe-se que alguns destes votaram pela mudança do ambiente térmico.

Verificou-se que o dia 3, quando a temperatura média do ar foi de 27,95°C, esta foi menos aceita termicamente. Assim é interessante verificar, aproximadamente, o quanto esta temperatura dista do ideal. Com este objetivo, realizou-se regressão linear a partir do voto de sensação térmica dos alunos (variável dependente) e das temperaturas do ar a que eles estavam submetidos (variável independente), possibilitando calcular a possível temperatura neutra para esta amostra. Este procedimento foi realizado utilizando o software R e o resultado é apresentado na equação 36.

$$ST = -7,937 + 0,341ta \quad (36)$$

Onde:

ST: Sensação térmica (ISO 10551/95)

ta: Temperatura do ar (°C)

Confiabilidade: F: 121,3, p-valor=2,2e-16 <0,05, R=0,8, R²≈0,6, R² ajustado≈0,6

No intuito de identificar a temperatura do ar associada à sensação térmica neutra, iguala-se o termo ST a 0 (valor equivalente a esta sensação térmica de

conforto) na equação 36, obtendo-se a temperatura considerada neutra pelos alunos no entorno de 23,3°C.

Baseado neste valor, verifica-se que a diferença entre a temperatura do ar média do 3º dia (27,95°C) e a temperatura do ar considerada neutra pelos alunos (23,3°C) é de aproximadamente 4,65°C, indicando um saldo de calor que gera adaptações do sistema termorregulatório para a adequada manutenção das funções orgânicas. Assim, é necessário ocorrer ajustes no diâmetro dos vasos ou sudorese para permitir troca de calor com o ambiente.

Após essa apreciação das condições térmicas a que estavam submetidos estes alunos, foram apuradas as modificações ocorridas nas variáveis de pressão arterial e frequência cardíaca. Este procedimento foi realizado a fim de adquirir informações mais precisas da relação entre o conforto térmico e esses parâmetros.

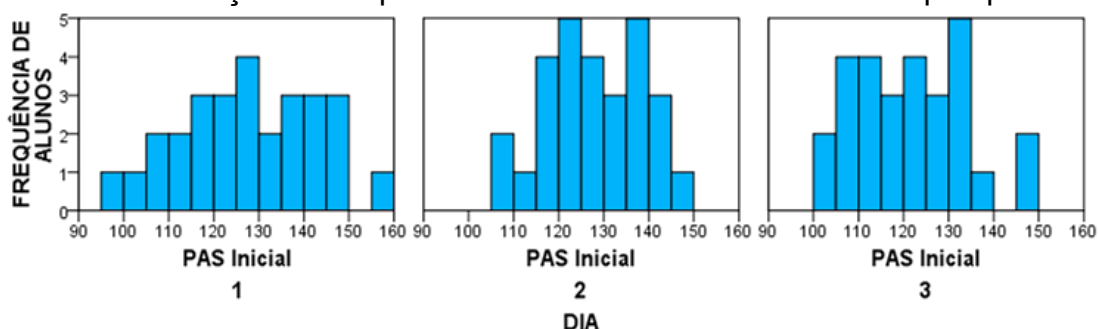
5.4. Análise dos parâmetros cardiovasculares

Durante a pesquisa foram coletados os dados cardiovasculares que estão sumarizados adiante. É possível verificar a distribuição das pressões arteriais e frequências cardíacas em cada dia do experimento. As medidas iniciais e finais de pressão arterial sistólica e diastólica e frequência cardíaca foram obtidas a partir da média das duas medições realizadas em cada etapa. A variação foi obtida através da subtração entre o valor final e o valor inicial, isto é, PASF-PASI.

5.4.1. Pressão arterial sistólica

Os gráficos 8 a 10, são referentes à distribuição da frequência de alunos a cada nível de pressão arterial sistólica (PAS), ou pressão máxima. O gráfico 8 apresenta a distribuição da frequência dos dados aferidos antes do início da avaliação do desempenho cognitivo, em cada dia.

Gráfico 8 – Distribuição de frequência da PAS inicial em cada dia de pesquisa



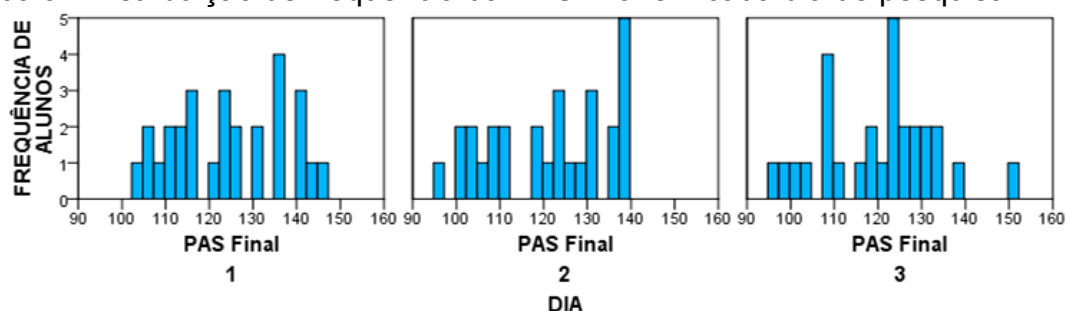
Fonte: Elaborado pela autora (2014)

É possível verificar que a variação destes dados foi maior no primeiro dia, sendo que a menor pressão sistólica aferida entre os alunos variou entre 95 até 160mmHg. De forma contrária, no 2º dia a variação entre os alunos foi menor, pois variou entre 105 e 150mmHg. Esta variação demonstra que no 2º dia a PAS inicial, que representa o estado inicial dos indivíduos para a realização da bateria de testes, foi mais homogênea do que os outros dois dias.

Vale ressaltar que, apesar de terem sido excluídas pessoas que tivessem diagnóstico de hipertensão arterial, os limites ultrapassaram o valor de PAS considerado normal (abaixo de 130mmHg), sendo 43% nos dias 1 e 2 e 29% no 3º dia. Em alguns casos os valores alcançaram níveis considerados de hipertensão estágio 1 (140 a 159mmHg), pela Sociedade Brasileira de Cardiologia (SBC et al., 2010). Estes não foram excluídos, pois medida realizada pontualmente não caracteriza o diagnóstico de hipertensão arterial sistêmica.

Além de identificar o estado inicial dos indivíduos, a pesquisa procurou analisar a influência da temperatura do ar na PAS. Assim, traçou-se o gráfico 9, que mostra a distribuição da pressão arterial sistólica ao final da resposta à bateria de testes BPR-5 adaptada para mensurar o desempenho do aluno, o qual ficou exposto no mínimo por 30 minutos à temperatura do ar referente ao dia em análise.

Gráfico 9 - Distribuição de frequência da PAS final em cada dia de pesquisa

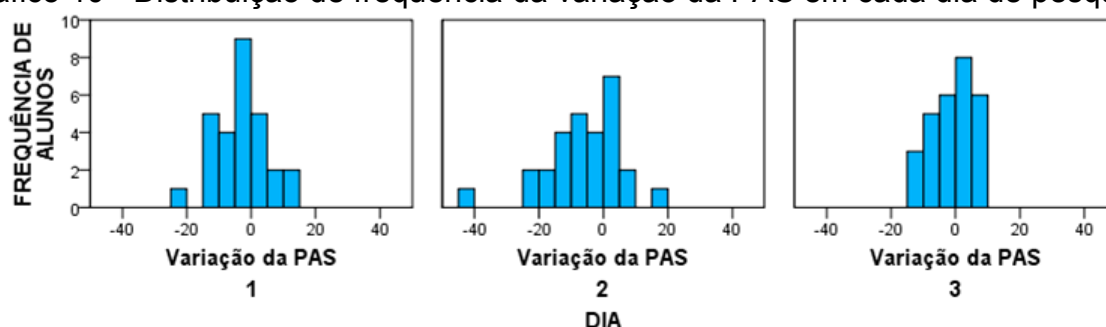


Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Ao contrário dos dados iniciais, é possível verificar que a variabilidade entre os dados coletados foi menor no primeiro dia, sendo a mínima de 102,5mmHg e a máxima de 145mmHg, enquanto a maior variação foi vista no 3º dia, de 96 a 151mmHg. Nota-se, que assim como os dados iniciais, percebe-se a presença de um grande número de alunos com pressões acima do valor limítrofe 39% no 1º dia de pesquisa, 36% no 2º dia de pesquisa e 21% no 3º dia de pesquisa. Verifica-se que tanto na medida inicial quanto final a presença de valores acima do limítrofe foi menor no 3º dia de pesquisa. No entanto, é importante entender, além dos valores pontuais, como estes valores se alteraram ao longo do evento.

De acordo com a atividade executada, espera-se mudança na pressão arterial. A fim de verificar se os dados estão de acordo com o estipulado pela Sociedade Brasileira de Cardiologia e reproduzido na tabela 8 (SBC, 2011), elaborou-se o gráfico 10, que mostra a diferença entre a medida final e a medida inicial da pressão arterial sistólica.

Gráfico 10 - Distribuição de frequência da variação da PAS em cada dia de pesquisa



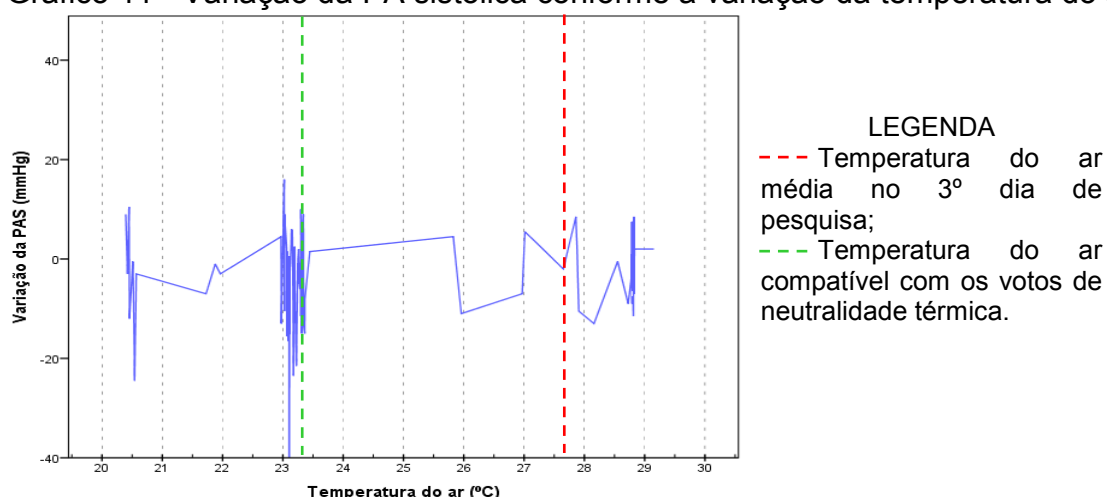
Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Diferentemente dos gráficos 8 e 9, a maior variabilidade entre os valores foi no 2º dia, quando esteve na faixa de -45 a +20mmHg. A maior homogeneidade ocorreu no 3º dia, com variações da pressão entre -15 e mais 10mmHg. Nota-se que neste dia ocorreu o maior número de observações positivas na variação da pressão (14 alunos), enquanto o 1º dia apresentou o menor número (9 alunos).

Ao contrário do esperado, observa-se uma maior variação negativa, ou seja, um maior número de alunos apresentou valores entre 0 e -40mmHg. Esta variação negativa demonstra que os valores iniciais de pressão arterial sistólica foram maiores do que os valores obtidos após a realização da tarefa, enquanto esperava-se que o tipo de atividade exercida aumentasse a PAS entre 16 e 20mmHg (tabela

8). Estes valores podem indicar que o ambiente exerceu uma influência sobre a pressão, com a redução dos valores esperados. Para demonstrar graficamente esta observação elaborou-se o gráfico 11, que mostra o comportamento da variação da pressão arterial de acordo com temperatura do ar a que o aluno ficou submetido.

Gráfico 11 - Variação da PA sistólica conforme a variação da temperatura do ar



Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Ao observar este gráfico ratifica-se a ideia que a temperatura do ar não influenciou diretamente a pressão arterial, pois se notam valores negativos e positivos tanto a temperaturas menores (22°C) quanto maiores (28°C). Ou seja, verifica-se que aproximadamente a 23°C, temperatura do ar próxima à considerada neutra, ocorreu a maior variação negativa (-43mmHg). No entanto, a esta mesma temperatura ocorreu a maior variação positiva (16mmHg), como observado pela linha verde pontilhada. Constata-se também que a temperatura de 27,5°C, temperatura do ar considerada desconfortável pelos alunos, a variação foi menor, entre -10 e +10mmHg (linha vermelha pontilhada).

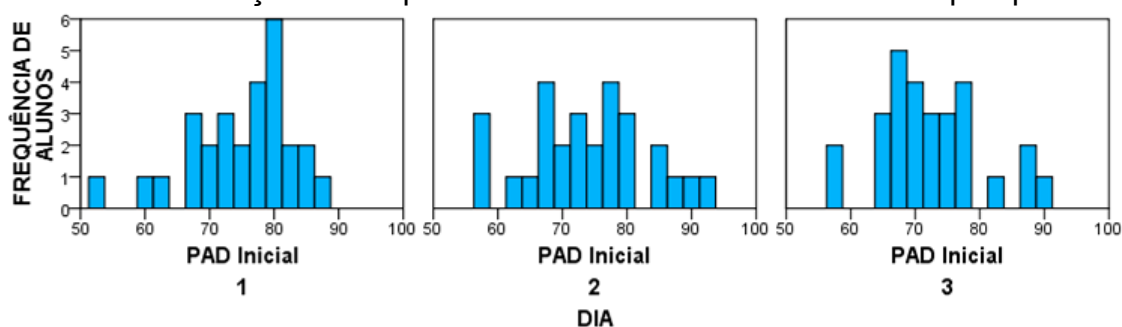
Para corroborar com as análises descritivas e gráficas que as mudanças de PAS não sofreram influência da temperatura, realizou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para amostras independentes para testar se as distribuições da PAS foram iguais nos três dias, para $\alpha=0,05$. Esta hipótese não pôde ser rejeitada para nenhum dos parâmetros, visto que para PASI obteve-se $p\text{-valor}=0,118>0,05$, para PASF obteve-se $p\text{-valor}=0,458>0,05$ e para a variação da PAS obteve-se $p\text{-valor}=0,140>0,05$, confirmando o observado nos gráficos 8, 9 e 10, respectivamente.

Apesar de algumas diferenças gráficas e descritivas nos testes, não se observou diferenças significativas na PAS nos três dias de pesquisa. No entanto, para análise da pressão arterial deve ser considerada tanto a pressão no momento da contração ventricular (sistólica) quanto no relaxamento desta câmara (diastólica). Assim, o próximo item aborda os dados referentes à pressão arterial diastólica, para complementar esta análise.

5.4.2. Pressão arterial diastólica

Os gráficos 12 a 14 são referentes a distribuição de frequência dos alunos a cada nível de pressão arterial diastólica (PAD), ou pressão arterial mínima. O gráfico 12 apresenta a distribuição dos dados aferidos antes do início da avaliação do desempenho cognitivo, em cada dia.

Gráfico 12 - Distribuição de frequência da PAD inicial em cada dia de pesquisa



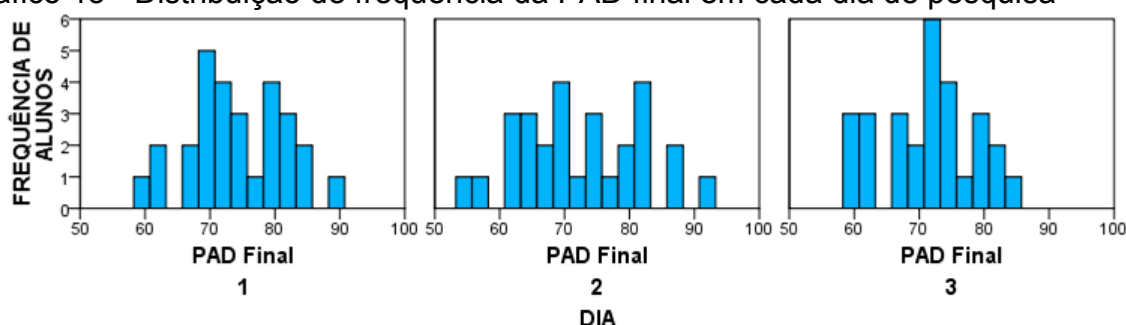
Fonte: Elaborado pela autora (2014)

É possível verificar que os valores foram menores no primeiro dia, sendo a mínima de 52,5mmHg, enquanto o maior valor foi de 92mmHg no 2º dia. Percebe-se que a maior variabilidade ocorreu no primeiro dia, sendo a diferença registrada entre os maiores e menores valores aferidos de 36mmHg, enquanto no 3º dia foi de 32mmHg. Demonstrando que neste último dia a PAD foi mais homogênea no começo das atividades.

Vale salientar que, assim como a PAS, a PAD também apresenta valores superiores ao considerado normal (<85mmHg), atingindo também os valores considerados de hipertensão estágio 1 (90-99mmHg), de acordo com a VI Diretrizes Brasileiras de Hipertensão Arterial (SBC et al., 2010). Entretanto, a ocorrência de valores acima do limítrofe foi inferior aos da PAS, sendo apenas de 4% no 1º dia de pesquisa, 14% no 2º dia de pesquisa e 11% no 3º dia de pesquisa.

Ademais da investigação do estado dos indivíduos pré-atividade, explorou-se também os efeitos do ambiente e da atividade na PAD. Para este fim, elaborou-se o gráfico 13, que apresenta a distribuição da pressão arterial diastólica ao completar o questionário de desempenho cognitivo.

Gráfico 13 - Distribuição de frequência da PAD final em cada dia de pesquisa



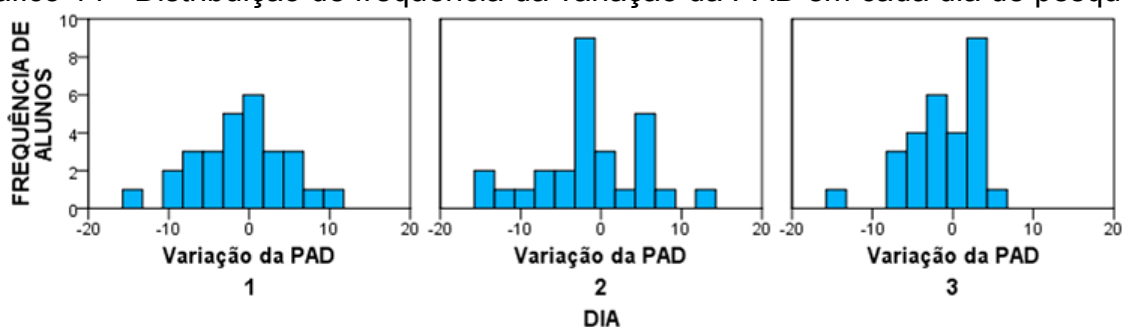
Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Neste gráfico é possível identificar que o 2º dia apresenta tanto o maior quanto o menor valor para PAD final, sendo a mínima de 54,5 e a máxima de 91mmHg. Neste dia também ocorreu a maior variação da PAD entre os alunos, sendo de 36,5mmHg a diferença entre o maior e o menor valor aferido. Assim como os valores iniciais, a menor variabilidade destes valores ocorreu no 3º dia, em torno de 26mmHg.

Quanto à ocorrência de valores acima do valor limítrofe (85mmHg), o dia 1 e 2 foram similares aos iniciais (4 e 14%, respectivamente); no 3º dia, mais quente, não houve ocorrência. Constata-se que com a temperatura do ar maior a PAD teve redução ao longo do tempo de execução da bateria de testes online.

Para confirmar esta diferença, produziu-se o gráfico 14 que mostra a diferença entre a medida final e a medida inicial da pressão arterial diastólica.

Gráfico 14 - Distribuição de frequência da variação da PAD em cada dia de pesquisa

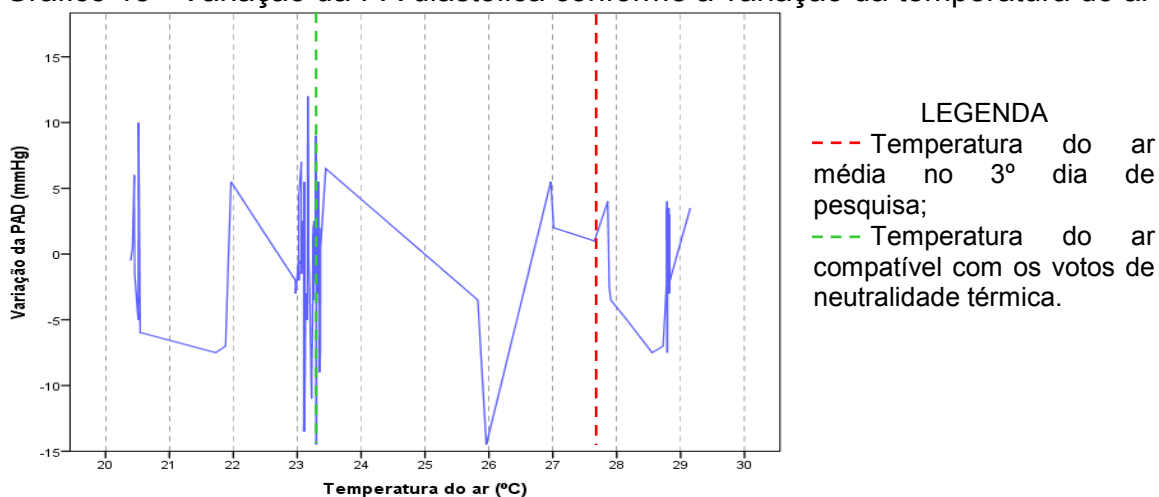


Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Observa-se uma variação mais equilibrada entre valores negativos e positivos, com valores mais próximos entre os 3 dias. O maior valor negativo foi de -14,5mmHg, que ocorreu tanto no 1º quanto no 3º dia, enquanto o maior valor positivo foi de 12mmHg no dia 2. Nota-se que a maior variabilidade entre os valores iniciais e finais ocorreu no 2º dia, com faixa entre -13,5 e 12mmHg, enquanto a menor variabilidade ocorreu no 3º dia, com faixa entre -14,5 e 5,5mmHg.

Durante a realização de trabalho ou reuniões, espera-se que a variação da PA diastólica seja de +13 a +15mmHg, conforme visto na tabela 8 (SBC, 2011). No entanto, oposto ao esperado, observou-se uma redução dos valores iniciais com a realização da tarefa. Esta redução pôde ser verificada pela maior ocorrência de variação negativa (entre -14,5 e 0mmHg) dos valores de pressão arterial diastólica, especialmente no 2º dia, com 19 observações negativas, enquanto os dias 1 e 3 apresentaram 15 e 14, observações respectivamente. Estes valores podem indicar que o ambiente exerceu uma influência sobre a pressão, com a redução dos valores esperados. Através do gráfico 15 observa-se a variação da pressão arterial comparada com a temperatura do ar a que o aluno ficou submetido.

Gráfico 15 - Variação da PA diastólica conforme a variação da temperatura do ar



Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Ao examinar este gráfico, certifica-se a ideia que a temperatura do ar não influenciou diretamente a pressão arterial, pois se notam valores negativos e positivos tanto a temperaturas menores (22°C) quanto maiores (26°C). Similar a variação da PA sistólica, a variação da PA diastólica com a temperatura considerada neutra apresentou grande redução (valores negativos) como também grande aumento (valores positivos). Por outro lado, como a temperatura foi considerada

desconfortável (27,5°C) houve apenas aumento da PA diastólica. No entanto, o aumento ocorrido continua abaixo dos valores esperados para o tipo de atividade executado, indicando assim que houve influência de algum fator ambiental, mas que pode não ter sido a temperatura do ar.

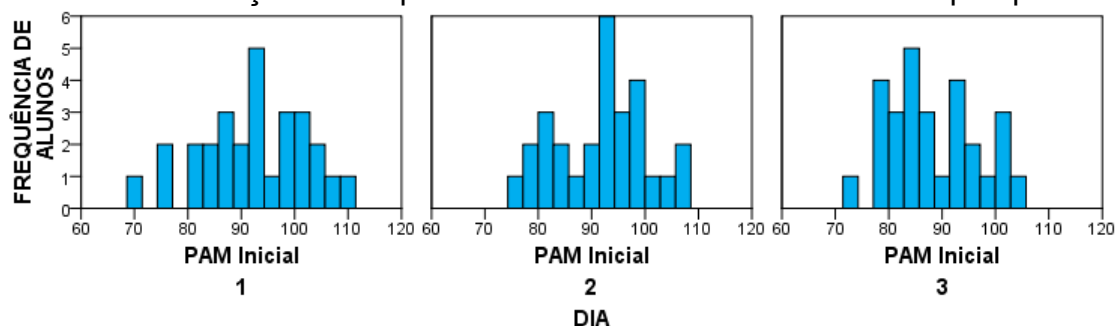
Tal afirmação possui o respaldo do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para amostras independentes, para $\alpha=0,05$. Este teste foi realizado para verificar se as distribuições dos níveis da PA diastólica dos alunos apresentaram valores similares nos 3 dias. Esta hipótese não pôde ser rejeitada para nenhum dos parâmetros, visto que para PAD inicial obteve-se $p\text{-valor}=0,230>0,05$; para PAD final obteve-se $p\text{-valor}=0,483>0,05$ e para a variação de PAD obteve-se o $p\text{-valor}=0,892>0,05$.

Ou seja, assim como a pressão arterial sistólica, os testes não apresentaram diferenças significativas na PAS nos três dias de pesquisa. Para complementar o estudo da pressão arterial, o próximo item aborda a pressão arterial média, dado derivado da média ponderada da PAS e da PAD.

5.4.3. Pressão arterial média

Os gráficos 16 a 18 referem-se à distribuição da pressão arterial média (PAM), obtida de acordo com a equação 34. O gráfico 16 apresenta a distribuição da frequência de alunos a cada valor de PAM antes do início da bateria de provas de raciocínio online.

Gráfico 16 - Distribuição da frequência da PAM inicial em cada dia de pesquisa



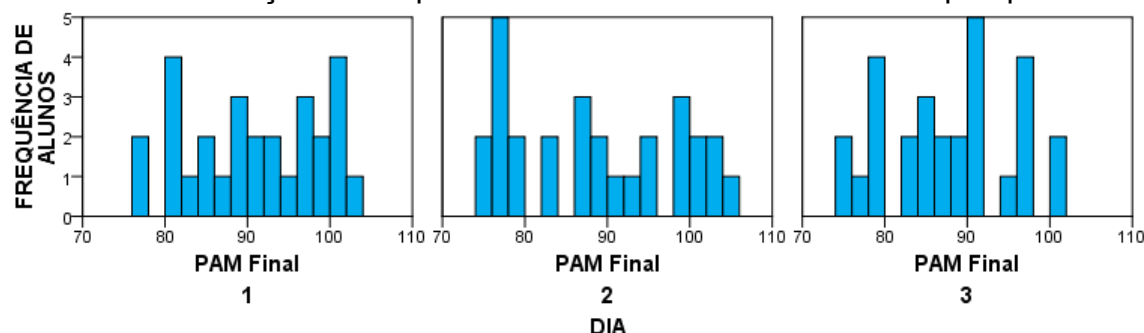
Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Observa-se que, como o gráfico da PAS (gráfico 8), os valores máximo e mínimo foram observados no 1º dia, sendo a PAM inicial mínima de 69,83mmHg e a máxima de 111,17mmHg. A variabilidade na PAM dos participantes foi maior no 1º

dia (41,34mmHg) e menor no 3º dia (32mmHg), mostrando que assim como a PAS e a PAD, a PAM do grupo foi mais homogênea no terceiro dia de pesquisa.

Para verificar como a PAM dos indivíduos reagiu ao tempo de exposição à temperatura e a realização da atividade, elaborou-se o gráfico 17, que apresenta a distribuição de frequência dos alunos a cada faixa de pressão arterial média final.

Gráfico 17 - Distribuição de frequência da PAM final em cada dia de pesquisa

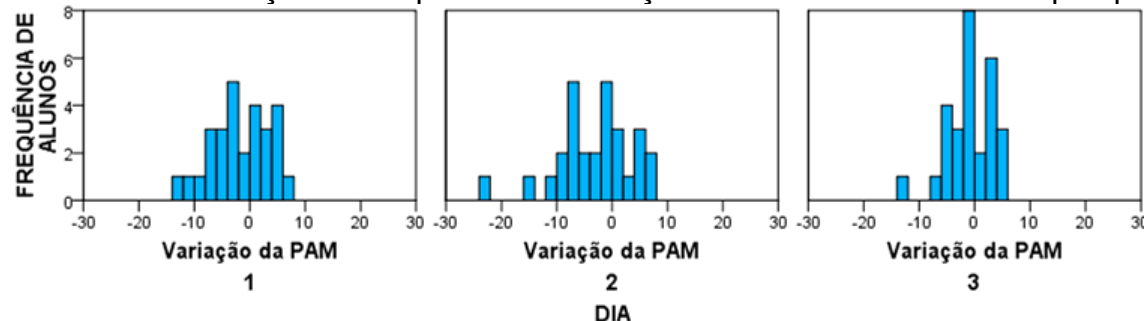


Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Constata-se que os valores mínimos foram similares entre os três dias (77,33mmHg no 1º dia de pesquisa, 74,67mmHg no 2º dia de pesquisa e 75mmHg no 3º dia de pesquisa), enquanto o maior valor foi observado no 2º dia (104mmHg). A maior variabilidade entre os dados também ocorreu no 2º dia (29,33mmHg), enquanto a menor foi observada no 1º dia (25,17mmHg). Estes valores demonstram que para a PAM final a amostra foi mais homogênea neste dia.

Completando a análise, elaborou-se o gráfico 18 no intuito de verificar a diferença entre as medidas finais e iniciais da pressão arterial média de cada aluno.

Gráfico 18 - Distribuição de frequência da variação da PAM em cada dia de pesquisa



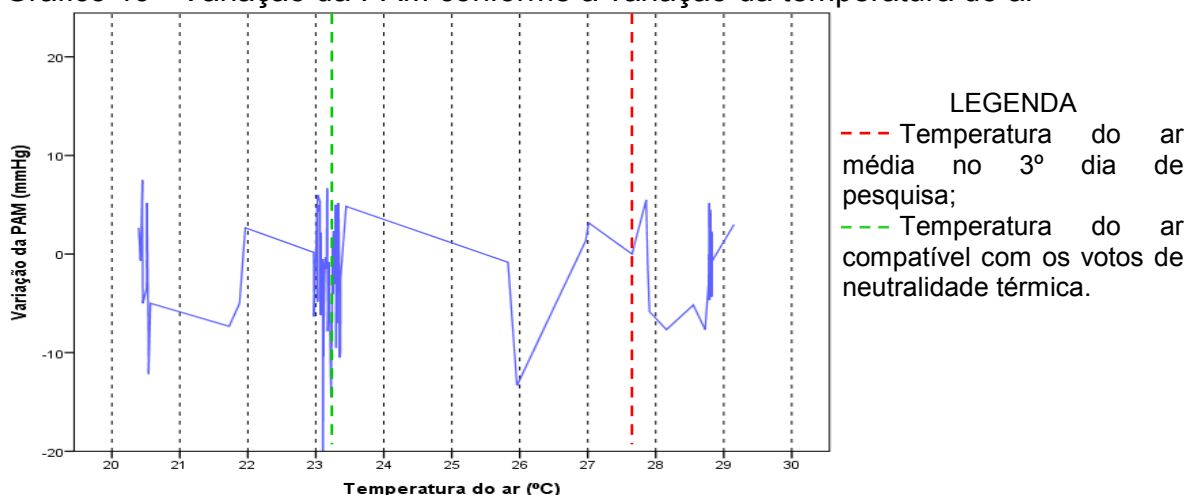
Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Assim como na PAS, a variação da PAM também está mais concentrada na área negativa, ou seja, os valores iniciais foram maiores que os finais. Verifica-se que no 2º dia ocorreu o maior número de observações negativas (19), seguido pelo

3º dia (17) e pelo 1º dia (16). Ou seja, todos os dias, mais de 50% dos alunos apresentaram redução da PAM após permanecerem na sala de aula climatizada e responderem ao questionário online.

Para verificar se esta redução não esperada na PAM teria relação direta com a temperatura do ar, fez-se o gráfico 19.

Gráfico 19 - Variação da PAM conforme a variação da temperatura do ar



Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Visto que a PAM é uma função da PAS e da PAD, os resultados, conforme esperado, foram similares aos anteriores. Percebe-se que os picos de variação ocorreram abaixo da temperatura considerada neutra pelos alunos, especialmente o maior aumento pós-atividade que ocorreu na temperatura do ar inferior a 21°C. Verifica-se também que, assim como apresentado nos gráficos 11 e 15, na temperatura do ar considerada neutra (23,3°C) houve uma maior variação dos níveis da PAM, tanto na redução quanto no aumento dos valores após a atividade (linha verde pontilhada). Nota-se ainda que na temperatura média do 3º dia, considerada desconfortável (27,95°C), a variação foi concentrada entre -10 e +10mmHg (linha vermelha pontilhada). Desta forma, identifica-se uma não linearidade entre a pressão arterial média e a temperatura do ar.

Visando corroborar esta afirmação, após a análise descritiva e gráfica destes dados, realizou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para amostras independentes, $\alpha=0,05$, com o objetivo de verificar se as distribuições dos níveis de PAM dos alunos ao longo dos três dias de pesquisa eram similares. Os resultados corroboraram que com esta hipótese, não sendo possível rejeitá-la face aos valores

obtidos para PAM inicial de $p\text{-valor}=0,368>0,05$, para a PAM final de $p\text{-valor}=0,565>0,05$ e para a variação da PAM de $p\text{-valor}=0,565>0,05$.

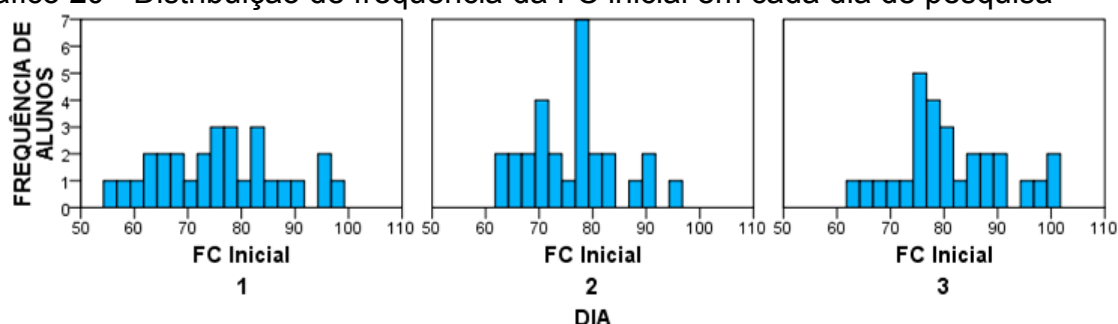
Apesar da análise da pressão arterial não ter apresentado relação direta com a temperatura é necessário realizar uma investigação mais completa do sistema cardiovascular. Além da pressão exercida pelo coração em relação à aorta é necessário aferir também a ritmicidade dos movimentos, analisando assim o ciclo cardíaco. De acordo com Shaffer et al. (2014), a variabilidade cardíaca, ou seja, a mudança no intervalo de tempo entre os batimentos cardíacos, tem uma propriedade emergente dos sistemas regulatórios interdependentes que operam em diferentes escalas de tempo para adaptar a mudanças e alcançar o desempenho ótimo. Em estudo realizado por Wu *et al.* (2013), foi encontrado que altas temperaturas ambientais foram associadas com redução da variabilidade da frequência cardíaca (VFC) na população idosa na estação quente. Os autores citam que diversos mecanismos biológicos têm sido associados ao desenvolvimento de doenças cardiovasculares, sendo que maior ênfase tem sido dada a mecanismos associados com alterações da função autonômica cardíaca, utilizando a VFC.

5.4.4. Frequência cardíaca

Os gráficos 20 a 26 apresentam os dados referentes à frequência cardíaca. Conforme descrito na metodologia, para a obtenção destes dados utilizou-se a medida pontual no início e final dos testes (utilizando o esfigmomanômetro digital) e ainda a monitorização contínua (utilizando o frequencímetro) para obtenção da frequência média e da frequência máxima no período.

O gráfico 20 apresenta a distribuição de frequência de alunos a cada valor da frequência cardíaca colhida antes de iniciar as respostas a bateria de prova de raciocínio online, em cada dia.

Gráfico 20 - Distribuição de frequência da FC inicial em cada dia de pesquisa

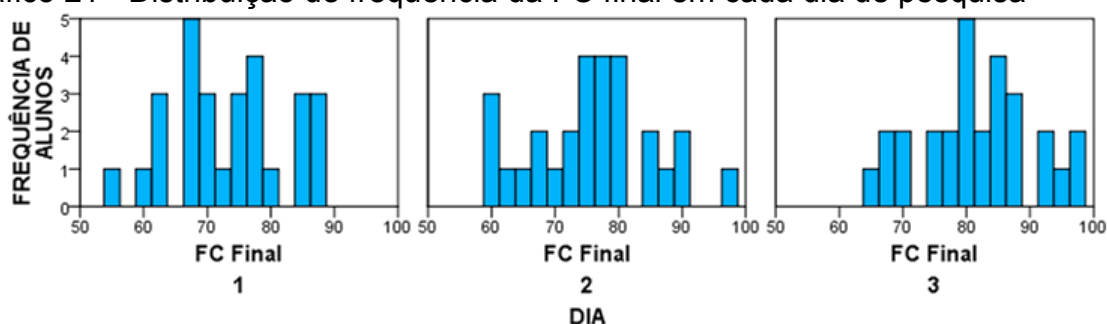


Fonte: Elaborado pela autora (2014)

É possível verificar que o menor valor ocorreu no primeiro dia, 55,5 batimentos por minuto (bpm), enquanto o maior valor foi de 100bpm no 3º dia. Quanto a variabilidade dos dados, verifica-se que foi maior no primeiro dia, onde a diferença entre o maior e o menor dado obtido foi de 43bpm. A amostra foi mais homogênea no 2º dia com variação de 34bpm.

Após analisar o estado inicial dos participantes, elaborou-se o gráfico 21 que exibe a distribuição da frequência de alunos a cada faixa de frequência cardíaca ao final da resposta ao BPR, ou seja, após ser exposto no mínimo por 30 minutos às condições ambientais do dia em análise.

Gráfico 21 - Distribuição de frequência da FC final em cada dia de pesquisa



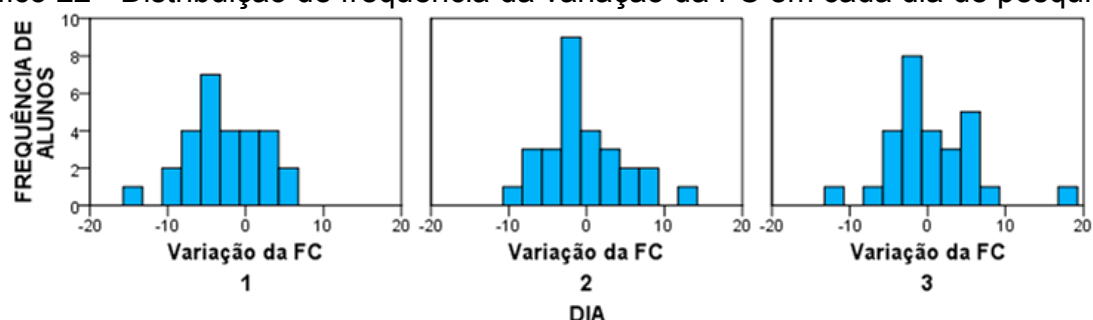
Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Neste gráfico é possível identificar que, da mesma maneira que os dados iniciais, o menor valor ocorreu no 1º dia, 55bpm, e o maior no 3º dia, 98bpm. Observa-se ainda que no 3º dia os valores mínimos e máximos foram bem superiores aos ocorridos no 1º dia. Quanto à variabilidade, esta foi maior no 2º dia, com variação de 37,5bpm entre os alunos, e menor no 1º dia, com variação de 32bpm.

Além de verificar estas medidas pontuais, faz-se necessário conhecer a variação ocorrida entre as medidas finais e iniciais de cada aluno. Esta variação,

obtida através da subtração entre a FC final e a FC inicial, explicita a diferença entre o estado inicial, ou seja, antes da atividade e da exposição prolongada ao ambiente (no mínimo 30 minutos), e o estado final do indivíduo, demonstrando assim a influência do ambiente e da atividade. Com esta finalidade, traçou-se o gráfico 22, que representa a variação da frequência cardíaca em cada dia de teste.

Gráfico 22 - Distribuição de frequência da variação da FC em cada dia de pesquisa

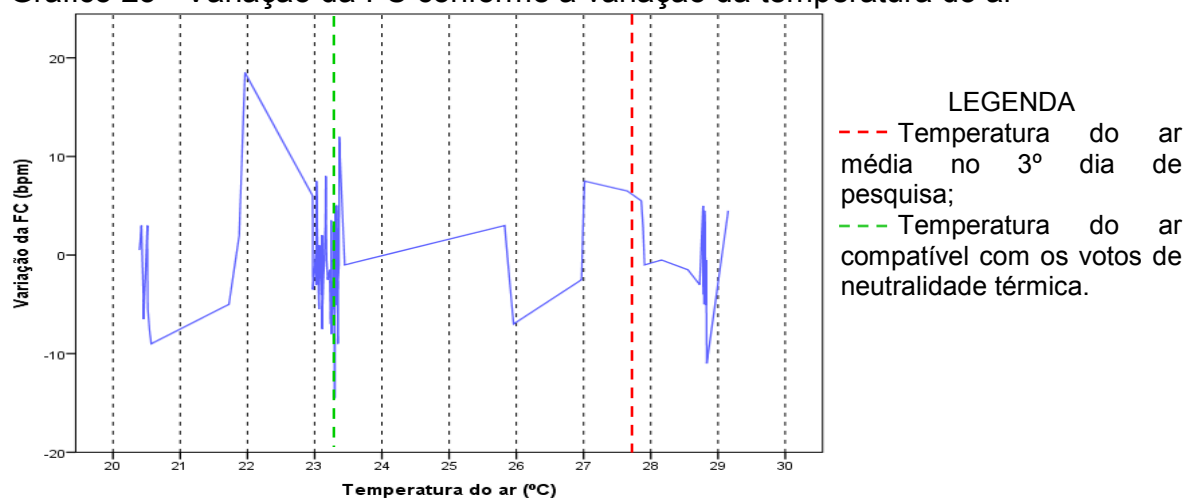


Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Observa-se que, assim como ocorrido na PAS e na PAM, a FC também apresenta maior concentração de ocorrências na parte negativa do gráfico. Indicando que os valores iniciais foram maiores que os finais. Ou seja, após a exposição a atividade cognitiva e ao ambiente, a FC reduziu.

Para verificar a associação direta da temperatura do ar com a variação da FC elaborou-se o gráfico 23, onde é possível verificar valores positivos e negativos com diferentes temperaturas.

Gráfico 23 - Variação da FC conforme a variação da temperatura do ar



Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Assim como visto nos gráficos relativos à pressão arterial (11, 15 e 19), o gráfico 23 mostra que as maiores variações nos batimentos cardíacos ocorreram a temperaturas inferiores àquela considerada neutra pelos alunos (linha verde pontilhada). Com temperaturas maiores, já consideradas desconfortáveis pelos alunos (linha vermelha pontilhada), percebem-se também variações elevadas, tanto associadas ao aumento quanto a redução da frequência cardíaca após a atividade. Assim, verifica-se uma não linearidade entre a temperatura do ar e a variação da frequência dos batimentos cardíacos (FC).

Para complementar as análises gráficas e descritivas, realizou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para amostras independentes para testar se as distribuições dos níveis de FC dos alunos foram iguais nos três dias, $\alpha=0,05$. Esta hipótese não pode ser rejeitada para a FC inicial, que apresentou p-valor=0,162>0,05, nem para a variação da FC, que apresentou p-valor=0,052>0,05, apesar deste último mostrar uma tendência a ser significativo, devido à proximidade entre o p-valor obtido e o nível significância α .

No entanto, ao analisar a FC final, verificou-se que a distribuição da frequência de batimentos por minuto apresenta diferença significativa, com p-valor=0,007<0,05, ou seja, algum dos dias apresenta distribuição dos níveis de FC diferente dos demais. Assim, devido à presença desta diferença significativa, foi importante verificar que dia apresentou diferença da frequência dos batimentos cardíacos. Com esta finalidade, estimou-se intervalos livres de distribuição baseado no teste de Wilcoxon, para identificar o dia discrepante. Os resultados mostram que o 3º dia apresentou diferença significativa em relação aos demais dias, conforme visto na tabela 16.

Tabela 16 - Intervalos livres de distribuição para a comparação da FC final

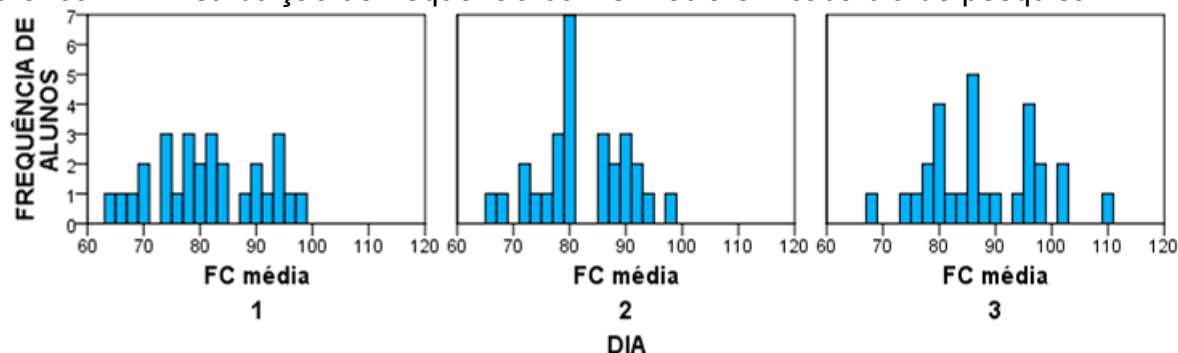
Dias	p-valor	Diferenças máximas	Diferenças mínimas	Diferença Esperada
1 e 2	0,0634			
1 e 3	0,00132	-4.250031	-13.249964	-8.250048
2 e 3	9,318e ⁻⁵	-3.250044	-7.999986	-5.500029

Fonte: Elaborada pela autora (2014)

Com estes resultados, verifica-se que o 3º dia apresentou valores de frequência cardíaca final superiores ao 1º e ao 2º dia. Com esta conclusão, notou-se a necessidade de aprofundar esta análise. Assim, além das medidas pontuais finais, também se apurou os valores médio e máximo obtidos pela monitorização contínua

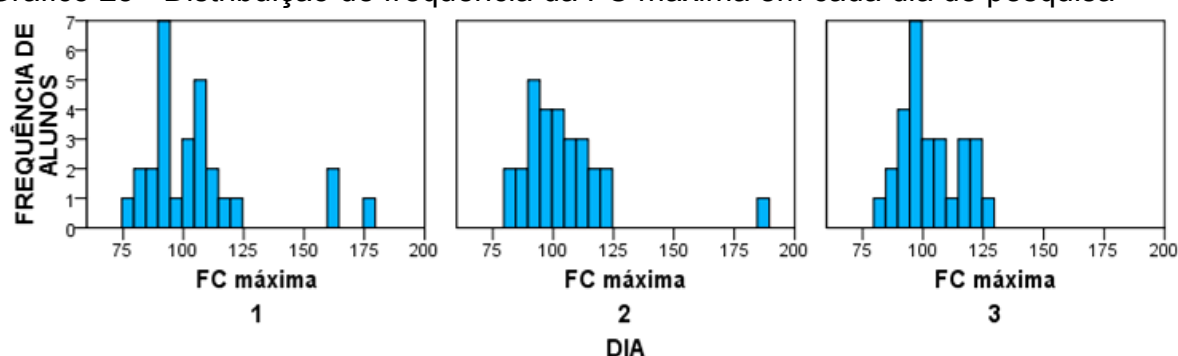
ao longo da realização da bateria de testes cognitivos em cada dia. Os gráficos 24 e 25 apresentam estes dados, respectivamente.

Gráfico 24 - Distribuição de frequência da FC média em cada dia de pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Gráfico 25 - Distribuição de frequência da FC máxima em cada dia de pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Nota-se que os menores valores tanto para a frequência média quanto máxima ocorreram no 1º dia, 64 e 77bpm, respectivamente. Já os maiores valores foram obtidos em dias diferentes, a maior FC média foi obtida no 3º dia, 109bpm, enquanto a maior FC máxima foi obtida no 2º dia, 187bpm. Vale salientar que este foi um ponto isolado, sendo a concentração neste dia entre os valores de 82 e 120bpm e no 3º dia entre 82 e 127bpm. Assim, a faixa de concentração da FC média foi em valores mais altos no 3º dia. Ressalta-se que a FC máxima concentrou-se na mesma faixa nos três dias de pesquisa, quando retiradas as observações aberrantes.

Visando confirmar as conclusões obtidas nas análises gráficas e descritivas, realizou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para amostras independentes para testar se as distribuições da FC média e FC máxima foram iguais nos três dias, $\alpha=0,05$. Com o resultado obtido, a hipótese não pôde ser rejeitada para a FC

máxima, visto que o $p\text{-valor}=0,880>0,05$. Entretanto, foi rejeitada para a FC média, que apresentou $p\text{-valor}=0,04<0,05$.

Ao observar-se esta diferença significativa, estimou-se intervalos livres de distribuição baseado no teste de Wilcoxon. Com este teste, verificou-se que, assim como obtido na FC final, o 3º dia apresentou FC média significativamente maior do que os outros dias, como apresentado na tabela 17.

Tabela 17 - Intervalos livres de distribuição para a comparação da FC média

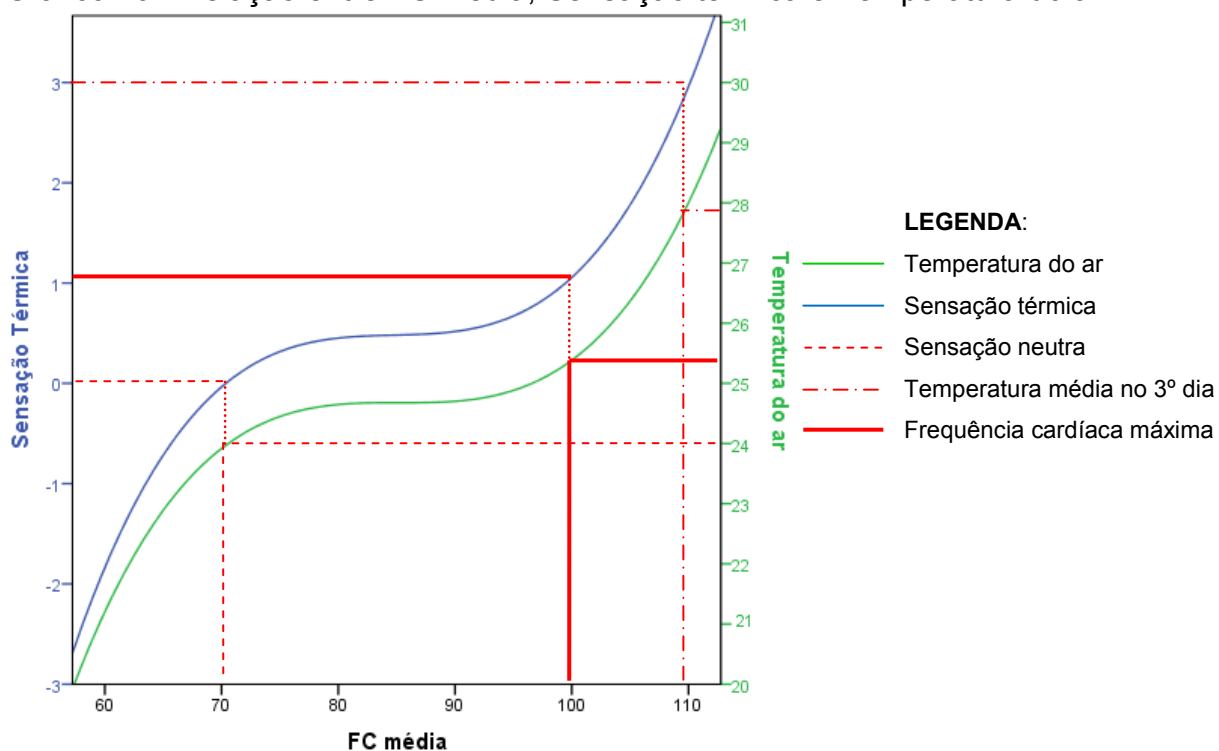
Dias	p-valor	Diferenças máximas	Diferenças mínimas	Diferença Esperada
1 e 2	0,5934			
1 e 3	0,01835	-1,999948	-11,499993	-7,327381
2 e 3	$7,006e^{-05}$	-4,000049	-8,500020	-6,499983

Fonte: Elaborada pela autora (2014)

Assim como exposto na tabela 16, os valores obtidos na tabela 17 indicam que no 3º dia (temperatura média de 27,95°C) a FC média foi significativamente maior. Comparando com o exposto na tabela 3, neste dia quase 89% dos participantes indicaram desconforto, sendo que 96% relataram calor em algum grau. Estes dados indicam que a FC possui relação direta com a temperatura do ar e com o conforto térmico.

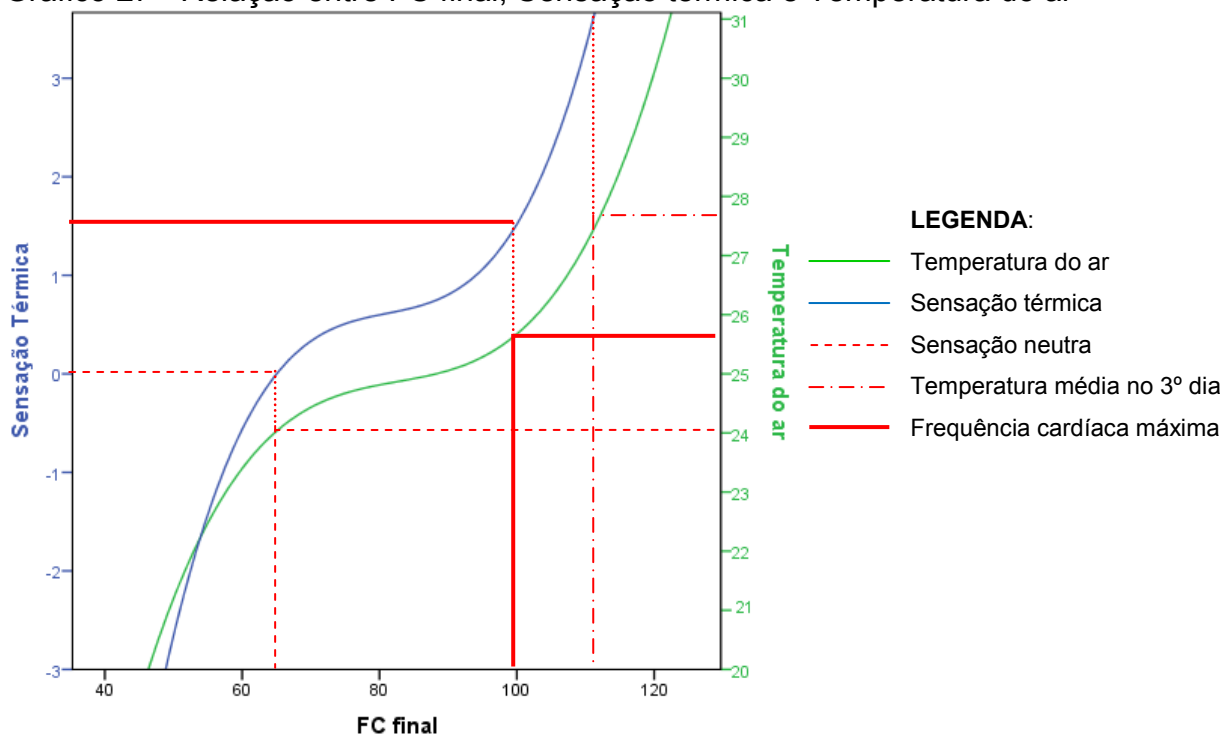
Com base nesta observação, verificou-se a necessidade de analisar o comportamento das variáveis sensação térmica, temperatura do ar e frequência cardíaca final (gráfico 26) e média (gráfico 27).

Gráfico 26 - Relação entre FC média, Sensação térmica e Temperatura do ar



Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Gráfico 27 - Relação entre FC final, Sensação térmica e Temperatura do ar



Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Baseado nestes gráficos é possível verificar que, com a sensação térmica de neutralidade, a FC média está próxima a 70bpm e a FC final está um pouco abaixo,

entre 60 e 70bpm. Estes dados são corroborados através da substituição do termo ST (sensação térmica) pelo valor 0 (neutralidade térmica) nas equações 37 e 38, encontradas através de regressão linear entre o voto de sensação térmica dos alunos (variável dependente) e das FC média e final (variáveis independentes), respectivamente, utilizando o software R.

$$ST = -2,661 + 0,037 \times FC \text{ média} \quad (37)$$

$$ST = -2,659 + 0,040 \times FC \text{ final} \quad (38)$$

A partir desta substituição encontra-se que, para a sensação térmica neutra, têm-se os valores aproximados de 72bpm para a FC média e de 66bpm para a FC final. Estes valores de frequência cardíaca são considerados normais, especialmente para atividades cognitivas, como aprendizado, que exigem baixa carga cardíaca (DESPOPOULOS; SILBERNAGL, 2003; LAN; WARGOCKI; LIAN, 2011). Assim constata-se que com a temperatura do ar de 24°C (próxima da temperatura neutra encontrada na equação 36) ocorre adequado funcionamento do coração e, conseqüentemente, de todo o corpo.

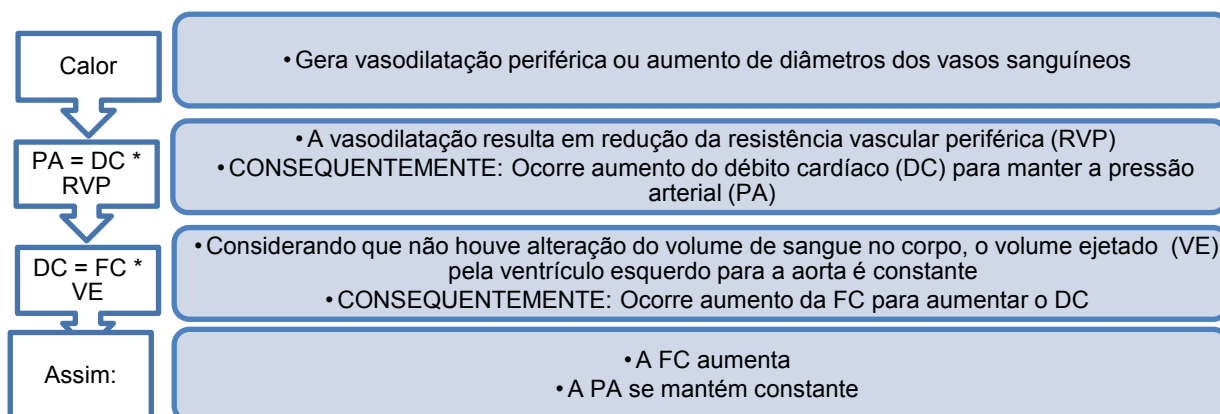
Por outro lado, considerando-se a temperatura média obtida no 3º dia (27,95°C), verifica-se que a sensação térmica foi de muito calor e a FC tanto média quanto final ficaram acima dos valores da faixa de normalidade (60 a 100bpm) (ALTURKI et al., 2014).

Vale ressaltar que alterações duradouras na FC podem levar a distúrbios no coração, por exemplo, elevação da pressão das artérias coronárias acima da pressão aórtica, por causa da contração intensa do miocárdio durante a sístole, a perfusão miocárdica ocorre somente durante a diástole (período de relaxamento da musculatura). À medida que a FC aumenta, o tempo da sístole e da diástole diminui, reduzindo o tempo disponível para a perfusão do miocárdio, o tempo de enchimento ventricular e a redução do débito cardíaco (HUGHES, 2009).

Assim, demonstra-se que atividades cognitivas não devem ser realizadas em ambientes com temperaturas elevadas por períodos de tempo prolongado, devido aos riscos associados com estas adaptações. No caso deste estudo, a temperatura para a FC limítrofe de 100bpm foi entre 25 e 26°C e com a sensação térmica de levemente quente.

Já a não variação da pressão arterial nestas mudanças pode ter ocorrido pelo fato de a frequência cardíaca ser o primeiro mecanismo de compensação do corpo. Tortora e Derrickson (2012), corroboram esta ideia ao afirmarem que os ajustes na frequência são importantes para o controle a curto prazo do débito cardíaco e da pressão arterial. Estes ajustes são explicados na figura 18.

Figura 18 - Influência do calor no sistema cardiovascular



Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Após verificar os efeitos da variação da temperatura do ar no sistema cardiovascular, apresentou-se a necessidade de investigar como estes efeitos podem influenciar o desempenho destes universitários. Com esta finalidade, executou-se as análises da Bateria de Provas de Raciocínio (BPR-5) respondidos online por estes alunos, conforme descrito a seguir.

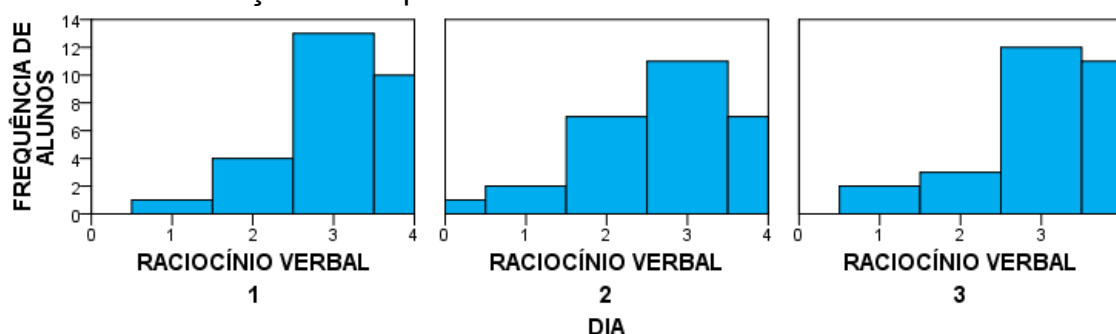
5.5. Análise dos testes de raciocínio

Foram analisados 84 questionários (28 para cada um dos três dias de pesquisa) relacionando percepção térmica (baseado na norma ISO 10551/1995) do ambiente e respostas às questões do teste BPR-5 forma B.

Este teste, como descrito anteriormente, é composto de 5 subtestes, que serão analisados separadamente nos gráficos a seguir. Os gráficos 28 a 33 apresentam o número de acertos em cada tipo de raciocínio distribuídos por dia de avaliação. Este valor pode variar de 0 a 4 para cada raciocínio em cada dia.

O primeiro subteste aplicado foi o raciocínio verbal. O gráfico 28 apresenta a distribuição de frequência dos alunos a cada nível de acertos para este raciocínio.

Gráfico 28 - Distribuição de frequência dos acertos em raciocínio verbal a cada dia

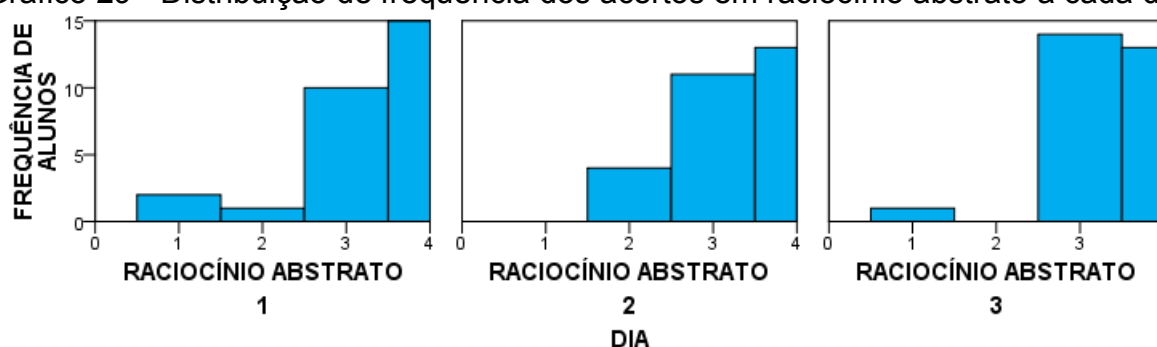


Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Verifica-se que o maior número de alunos obteve 3 acertos em todos os dias. Em contraponto, o menor número de acertos, zero, foi observado apenas no 2º dia. Para confirmar a hipótese que as distribuições dos números de acertos nos três dias de teste não são diferentes, executou-se o teste de Kruskal-Wallis para amostras independentes, $\alpha=0,05$. Verificou-se que as distribuições são similares nos três dias, com $p\text{-valor}=0,228>0,05$.

O segundo subteste analisado foi o raciocínio abstrato. Com este fim, fez-se o gráfico 29 que apresenta a distribuição de frequência dos alunos de acordo com o número de acertos para este raciocínio.

Gráfico 29 - Distribuição de frequência dos acertos em raciocínio abstrato a cada dia



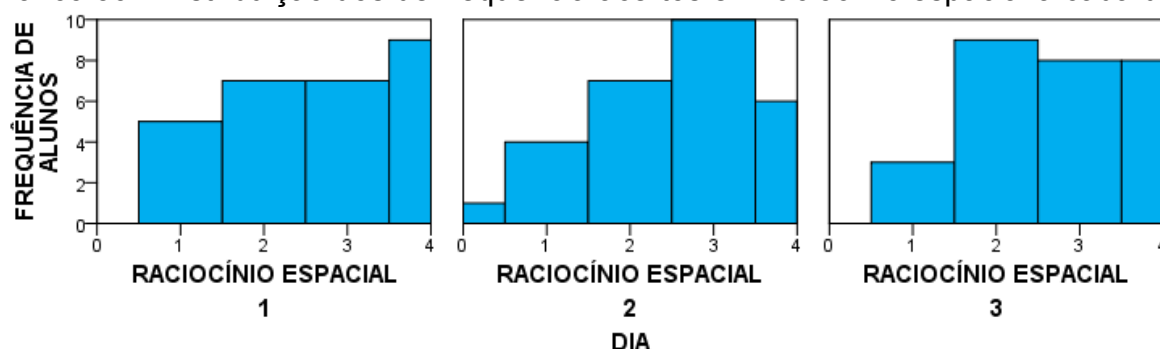
Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Verifica-se que nos dias 1 e 2 o número máximo de acertos foi obtido pelo maior número de alunos, sendo que no primeiro dia por mais de 50% dos alunos. No 3º dia, o maior número de alunos (14 indivíduos) obteve 3 acertos, sendo que o número dos que obtiveram 4 acertos ficou bem próximo (13 indivíduos). Nota-se que todos alunos acertaram no mínimo uma questão todos os dias, ficando o 2º dia com o valor mínimo de 2 acertos.

Apesar de algumas diferenças nas notas, ao realizar o teste de Kruskal-Wallis para amostras independentes, $\alpha=0,05$, verificou-se que as distribuições de acertos são similares nos três dias, pois o teste retornou $p\text{-valor}=0,863>0,05$.

O terceiro subteste investigado foi o raciocínio espacial. A exploração iniciou-se pela investigação do gráfico 30 que representa a distribuição de frequência dos alunos de acordo com o número de acertos para este raciocínio.

Gráfico 30 - Distribuição dos de frequência acertos em raciocínio espacial a cada dia

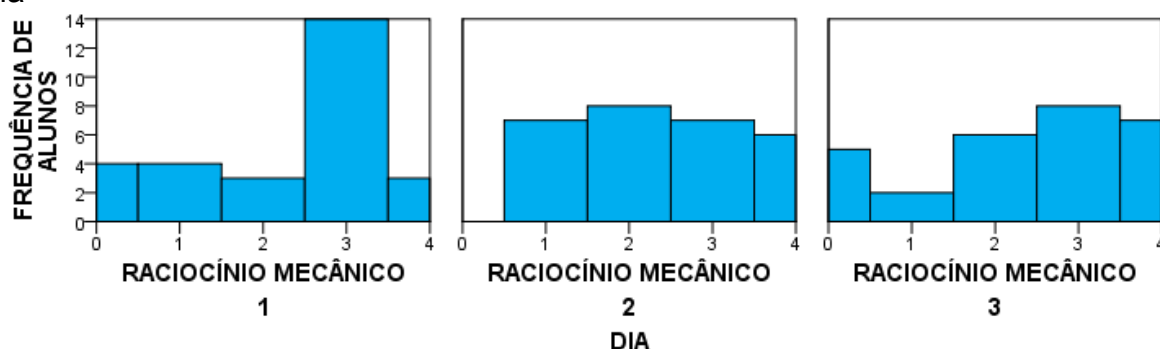


Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Verifica-se que o maior número de observações de acertos foi diferente em todos os dias e que, semelhante aos índices do gráfico 22 de raciocínio verbal, apenas no 2º dia o número mínimo de acertos foi zero. Apesar destas variações, ao realizar-se o teste de Kruskal-Wallis para amostras independentes, $\alpha=0,05$, verificou-se que as distribuições de acertos neste raciocínio foram similares nos três dias, com $p\text{-valor}=0,857>0,05$.

Em seguida explorou-se os resultados do raciocínio mecânico, através do gráfico 31 que exibe a distribuição de frequência dos alunos de acordo com o número de acertos para este raciocínio.

Gráfico 31 - Distribuição de frequência dos acertos em raciocínio mecânico a cada dia

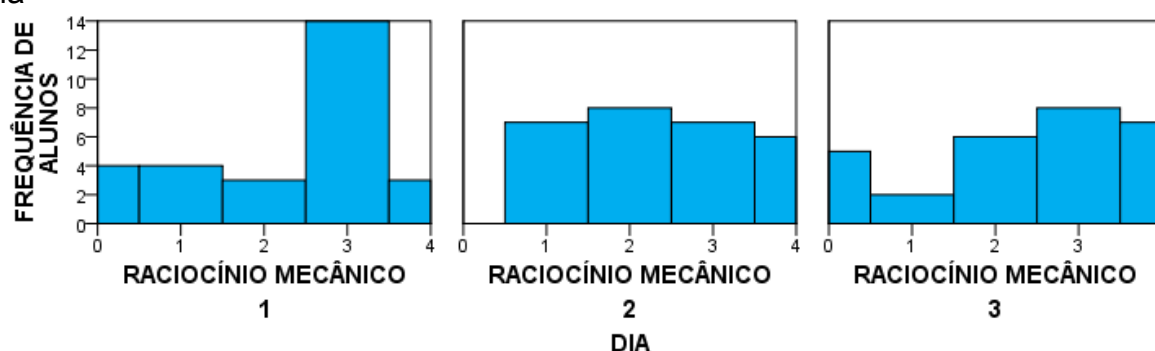


Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Ao analisá-lo, ressalta-se que o maior número de observações no 1º dia foi de 3 acertos, o que representa 50% dos questionários respondidos neste dia. Sobressai também, uma maior observação de zero acerto, em relação aos outros raciocínios. Não obstante as variações gráficas na distribuição de frequência de alunos, ao executar o teste de Kruskal-Wallis para amostras independentes, $\alpha=0,05$, verificou-se que estas são similares nos três dias, com $p\text{-valor}=0,962>0,05$.

O último subteste analisado foi o raciocínio numérico, que tem a sua distribuição de frequência de alunos de acordo com o número de acertos exibido no gráfico 32.

Gráfico 32 - Distribuição de frequência dos acertos em raciocínio numérico a cada dia

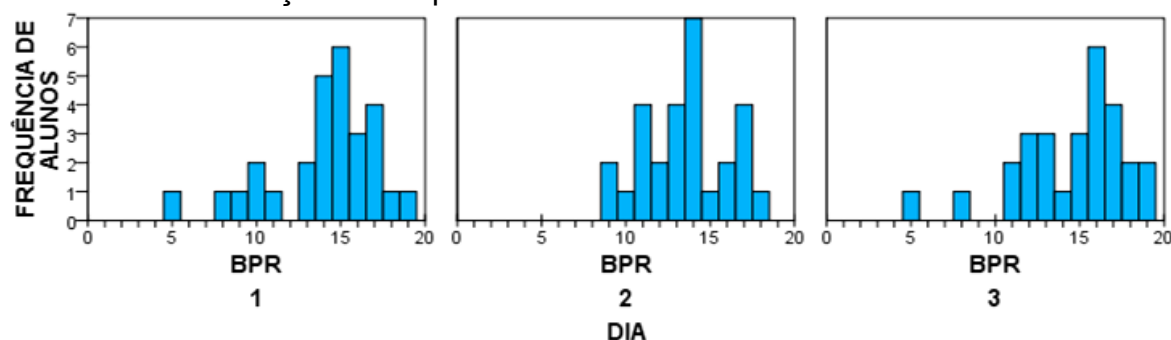


Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Evidencia-se o maior número de observações em 3 acertos, todos os dias, ressalte-se que no 1º dia a observação de 2 acertos foi similar. Neste raciocínio também foi verificado um baixo número de observações de zero acerto. Apesar de diferenças visuais na distribuição, o resultado do teste de Kruskal-Wallis para amostras independentes, $\alpha=0,05$, verificou-se que as distribuições são similares nos três dias, com $p\text{-valor}=0,119>0,05$.

Para complementar a análise da distribuição de frequência dos alunos de acordo com os acertos obtidos, elaborou-se o gráfico 33 que demonstra a soma do número de acertos para todos os testes ou Escore Geral (BPR).

Gráfico 33 - Distribuição de frequência dos acertos totais a cada dia



Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Verifica-se que em todos os dias, a maior parte dos alunos apresentou notas superiores a 10 acertos (50% do número total de acertos). Destaca-se que no 2º dia as notas foram concentradas entre 9 e 18 acertos, enquanto no 1º e no 3º dia apresentaram de 5 a 19 acertos. O ponto mais alto do histograma também foi diferente para cada dia, sendo 15 no 1º dia, 14 no 2º dia e 16 no 3º dia. No entanto, a despeito destas diferenças visuais, o resultado do teste de Kruskal-Wallis para amostras independentes, $\alpha=0,05$, demonstrou que as distribuições dos acertos foram similares nos três dias, com $p\text{-valor}=0,237>0,05$.

Além da distribuição de frequência, analisou-se também a média e o desvio padrão de acertos em cada teste e o escore geral, como visto na tabela 18.

Tabela 18 - Média e desvio padrão do número de acertos obtidos em cada subteste e geral

DIA		RV	RA	RE	RM	RN	BPR
1	Média	3,14	3,36	2,71	2,29	2,50	14,00
	DP	0,803	0,870	1,117	1,272	0,745	3,220
2	Média	2,75	3,32	2,57	2,43	2,46	13,54
	DP	1,041	0,723	1,103	1,103	0,962	2,502
3	Média	3,14	3,39	2,75	2,36	2,89	14,54
	DP	0,891	0,685	1,005	1,420	1,031	3,260

Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Nesta tabela é possível verificar que o desempenho dos alunos em cada subteste é bem variável. Ao verificar as médias de acertos, nota-se que a maior foi no raciocínio abstrato no 3º dia e a menor média foi no raciocínio mecânico do 1º dia. Observa-se também que os maiores desvios são encontrados nos testes de raciocínio mecânico nos 3 dias.

Em acréscimo ao número de acertos, também foi considerado o tempo gasto (em segundos) para a realização do teste. A média e o desvio padrão destes dados são exibidos na tabela 19.

Tabela 19 - Média do tempo, em segundos, para resposta dos testes

	DIA	RVT	RAT	RET	RMT	RNT	BPRT
1	Média	68,6469	110,6167	221,7621	182,8571	254,3614	838,2441
	DP	28,66095	35,42231	71,65174	56,23745	65,98572	181,41751
2	Média	63,5111	100,0584	189,0281	158,3914	214,3647	725,3536
	DP	25,18639	39,60230	67,24494	45,51002	78,43925	197,84294
3	Média	56,9845	93,5011	158,7361	147,2457	202,9428	659,4104
	DP	19,89377	35,43048	63,15246	39,03634	53,91414	147,86132

Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Verifica-se que no teste de raciocínio numérico foi gasto um tempo médio de resposta maior do que nos outros testes, nos três dias. O teste de raciocínio verbal foi o que apresentou menor tempo médio de resposta. Os resultados foram compatíveis com o esperado já que o teste de raciocínio verbal, na forma completa do BPR-5 B, é o que apresenta menor tempo previsto para resposta por questão (24 segundos), enquanto os de raciocínio espacial e de raciocínio numérico apresentam maior disponibilidade de tempo previsto para a resposta de cada questão (54 segundos). Estes últimos, RE e RN, foram os que apresentaram maior desvio padrão no tempo de resposta.

Ao comparar-se a média do tempo gasto de cada teste nos três dias, nota-se que os maiores tempos foram gastos no 1º dia da pesquisa em todos os subtestes. Entretanto, o desvio padrão variou, apresentando-se maior no primeiro ou no segundo dia de pesquisa, conforme o subteste realizado.

Para corroborar com estas análises descritivas, realizou-se o teste de Kruskal-Wallis para amostras independentes, $\alpha=0,05$, para verificar se a distribuição do tempo utilizado para responder as questões de cada subteste e o tempo geral foram similares nos três dias de pesquisa. Os resultados obtidos demonstram que os raciocínios verbal ($p\text{-valor}=0,3398>0,05$), abstrato ($p\text{-valor}=0,1813>0,05$) e mecânico ($p\text{-valor}=0,05597>0,05$) apresentam distribuições similares em todos os dias. Por outro lado, a distribuição do tempo gasto nos raciocínios espacial e numérico foram diferentes, assim como o tempo geral, com $p\text{-valor}=0,01033<0,05$, $p\text{-valor}=0,01463<0,05$ e $p\text{-valor}=0,001461<0,05$, respectivamente.

Ao identificar estas diferenças, faz-se necessário estimar os intervalos livres de distribuição para verificar qual a diferença existente entre os dias. Os resultados referentes aos raciocínios espacial e numérico estão sumarizados nas tabelas 20 e 21, respectivamente. Os dados pertinentes ao tempo geral de cada dia são apresentados na tabela 22.

Tabela 20 - Intervalos livres de distribuição para a comparação do tempo gasto no Raciocínio Espacial

Dias	p-valor	Diferenças máximas	Diferenças mínimas	Diferença Esperada
1 e 2	0,09456			
1 e 3	0,002043	100,010	19,205	56,925
2 e 3	0,001705	49,40	12,88	33,285

Fonte: Elaborada pela autora (2014)

Tabela 21 - Intervalos livres de distribuição para a comparação do tempo gasto no Raciocínio Numérico

Dias	p-valor	Diferenças máximas	Diferenças mínimas	Diferença Esperada
1 e 2	0,0505			
1 e 3	0,001867	81,39	21,97	55,225
2 e 3	0,6456			

Fonte: Elaborada pela autora (2014)

Tabela 22 - Intervalos livres de distribuição para a comparação do tempo total gasto em cada dia

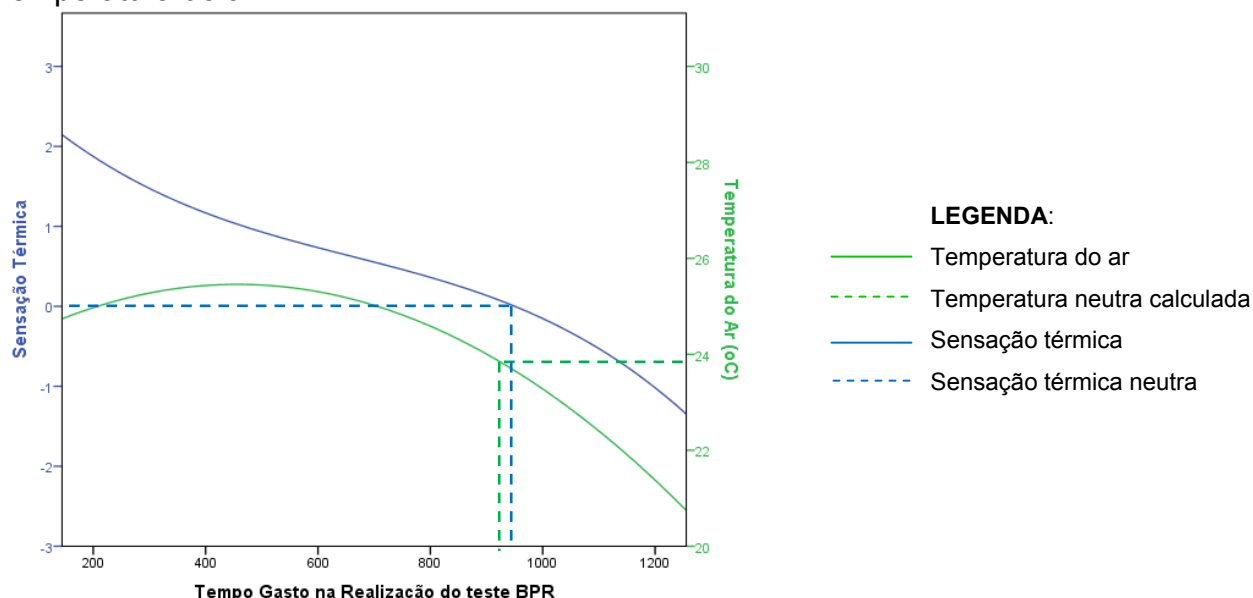
Dias	p-valor	Diferenças máximas	Diferenças mínimas	Diferença Esperada
1 e 2	0,01911	221,345	16,085	110,5775
1 e 3	0,0004729	277,010	77,985	179,6625
2 e 3	0,01911	115,86	8,88	60,72

Fonte: Elaborada pela autora (2014)

A partir dos dados da tabela 20, verifica-se que o tempo gasto no raciocínio espacial foi menor no 3º dia, com a temperatura média do ar de 27,95°C, comparado aos outros. Enquanto no raciocínio numérico, a diferença no 3º dia só foi significativa em relação ao 1º dia, quando a temperatura média do ar foi de 22,6°C. No tempo geral, percebe-se que houve redução significativa de tempo a cada dia de teste, sendo o 1º dia o maior tempo e o 3º o menor. Quando se compara os dados do tempo gasto com as temperaturas médias constata-se que o tempo foi maior quando a temperatura do ar foi menor, assim como quando a sensação térmica foi menor, conforme visto no gráfico 34. Observa-se que os menores tempos gastos ocorreram com sensação térmica entre 2 e 3, ou seja, sensação térmica entre Calor e Muito Calor. Já os maiores valores de tempo ocorreram entre -1 e -2, ou seja, sensação térmica entre Levemente Frio e Frio. Quando se verifica a relação entre o tempo

gasto e a temperatura do ar, observa-se que os menores tempos foram observados com temperaturas acima da considerada neutra (23,3°C).

Gráfico 34 - Relação entre Tempo gasto na realização do BPR, Sensação térmica e Temperatura do ar



Fonte: Elaborado pela autora (2014)

Especialmente no tempo total gasto (tabela 22), esta redução pode estar mais associada ao efeito aprendizagem das questões em geral. No entanto, a redução de tempo significativa apenas no 3º dia em relação aos outros dois, como observado no raciocínio espacial, pode estar associada à aclimação comportamental, ou seja, um comportamento de ajuste consciente para situações de desconforto térmico (BRADSHAW, 2006; PARSONS, 2009). Assim, os alunos reduzem o tempo de execução para poderem sair do ambiente que está desconfortável.

Vale lembrar que para manter o adequado desempenho cognitivo mesmo em ambientes desfavoráveis, o comprometimento tende a ser maior na velocidade de execução do que na acurácia da atividade desempenhada (LAN et al., 2014; VIMALANATHAN; BABU, 2014). Devido a este maior comprometimento, pode ter ocorrido diferenças significativas entre os tempos de execução mas não no número de acertos de cada subteste.

Para complementar os dados relativos ao desempenho cognitivo dos alunos, a partir das variáveis obtidas no questionário online, calculou-se também o número de erros (número total de questões–número de acertos); a relação entre número de acertos e tempo gasto (número de acertos/tempo gasto) e entre o número de erros e

tempo gasto (número de erros x tempo gasto). Estas variáveis calculadas foram utilizadas para a análise das correlações com os demais parâmetros pesquisa.

5.6. Correlações

Baseado no objetivo geral deste trabalho e nos dados coletados, foram realizados testes para verificar a correlação entre as variáveis de desempenho cognitivo, os parâmetros cardiovasculares coletados e as condições térmicas (mensuradas e subjetivas).

As tabelas 23 a 29 mostram as correlações encontradas no teste de Spearman que apresentaram p-valor $< 0,05$, no teste de hipótese bicaudal, utilizando o software SPSS®.

Para verificar as relações entre as medidas de desempenho cognitivo e as medidas ambientais e fisiológicas, foram realizadas as correlações e as que se apresentaram significativas ao nível de 0,05 são apresentadas na tabela 23.

A partir desta tabela é possível identificar que, apesar de apresentarem uma correlação baixa, não é possível afirmar que haja independência entre o desempenho cognitivo e às condições térmicas. Como já visto nas pesquisas que compuseram a revisão de literatura, as condições térmicas influenciam o desempenho cognitivo. 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. No caso dos testes de raciocínio abstrato pôde observar-se que as condições térmicas não apresentaram correlação com o número de acertos, mas apenas com o tempo.

Tabela 23 - Correlações entre variáveis do desempenho cognitivo e dos parâmetros cardiovasculares e térmicos

		PADI	PAMI	FCI	FCmed	FCmax	Umidade	tg	tbu	ta
ACERTOS	RVACERTO							0,322	0,258	0,317
	REACERTO	0,322	0,249			-0,228		0,235		
	RMACERTO					-0,298				
	RNACERTO							0,229		0,228
	BPR	0,254	0,222			-0,234		0,361		0,292
TEMPO	RVT			-0,223	-0,288			-0,225		
	RAT				-0,231					
	RET								-0,236	
	RMT						-0,225	-0,234	-0,299	-0,252
	BPRT				-0,237			-0,217	-0,291	-0,264
DESEMPENHO	RVNT				0,257			0,379	0,331	0,361
	RVET							-0,322	-0,272	-0,332
	RENT							0,276	0,224	0,267
	REET	-0,270	-0,253					-0,246		
	RMNT					-0,228		0,233	0,221	
	RMET					0,256		-0,248	-0,219	-0,217
	RNET									-0,219
	BPRNT							0,325	0,290	0,331
	BPRET							-0,377	-0,282	-0,357

PADI: Pressão Arterial Diastólica Inicial; PAMI: Pressão Arterial Média Inicial; FCI: Frequência Cardíaca Inicial; FCmed: Frequência Cardíaca Média; FCmax: Frequência Cardíaca Máxima; Umidade: Umidade relativa do ar; tg: temperatura de globo; tbu: temperatura de bulbo úmido; ta: temperatura do ar; RVACERTO: Acertos no Raciocínio Verbal; RVT: Tempo do Raciocínio Verbal; RVNT: Relação Acerto/Tempo no Raciocínio Verbal; RVET: Relação Erro*Tempo no Raciocínio Verbal; RAT: Tempo do Raciocínio Abstrato; REACERTO: Acertos no Raciocínio Espacial; RET: Tempo do Raciocínio Espacial; RENT: Relação Acerto/Tempo no Raciocínio Espacial; REET: Relação Erro*Tempo no Raciocínio Espacial; RMACERTO: Acertos no Raciocínio Mecânico; RMT: Tempo do Raciocínio Mecânico; RMNT: Relação Acerto/Tempo no Raciocínio Mecânico; RMET: Relação Erro*Tempo no Raciocínio Mecânico; RNACERTO: Acertos no Raciocínio Numérico; RNET: Relação Erro*Tempo no Raciocínio Numérico; BPR: Soma dos acertos em todos os subtestes; BPRT: Soma do tempo da realização de todos os subtestes; BPRNT: Relação da Soma dos Acertos/Soma dos tempos em todos os subtestes; BPRET: Relação da Soma dos Erros*Soma dos tempos em todos os subtestes.

Fonte: Elaborada pela autora (2014)

Verifica-se também que o desempenho global depende dos parâmetros cardiovasculares iniciais. O que sugere que as condições cardiovasculares do início do teste podem influenciar o desempenho do aluno. Como apresentado por alguns autores, a tabela 24 confirma que o desempenho cognitivo tem correlação com características pessoais dos alunos.

Tabela 24 - Correlações entre variáveis do desempenho cognitivo e características dos alunos

		Peso	Altura	IMC	IMC2	AF
ACERTOS	RVACERTO			-0,219	-0,236	
	REACERTO	0,231				-0,245
	RMACERTO		0,236			-0,215
	BPR		0,270			
DESEMPENHO	RENT	0,242	0,271			
	REET	-0,247				
	RMET		00,014			
	BPRNT		0,246			
	BPRET		-0,294			

RVACERTO: Acertos no Raciocínio Verbal; REACERTO: Acertos no Raciocínio Espacial; RENT: Relação Acerto/Tempo no Raciocínio Espacial; REET: Relação Erro*Tempo no Raciocínio Espacial; RMACERTO: Acertos no Raciocínio Mecânico; RMET: Relação Erro*Tempo no Raciocínio Mecânico; BPR: Soma dos acertos em todos os subtestes; BPRNT: Relação da Soma dos Acertos/Soma dos tempos em todos os subtestes; BPRET: Relação da Soma dos Erros*Soma dos tempos em todos os subtestes, IMC: Índice de Massa Corpórea; IMC2: Índice de Massa Corpórea Categorizado (1 a 4); AF: Atividade Física.

Fonte: Elaborada pela autora (2014)

Conforme encontrado no estudo de Luque-Casado et al. (2013), esta tabela mostra que a atividade física influencia o número de acertos/erros da atividade, mas apenas específicas. O desempenho global é independente desta variável.

Vale ressaltar que o número de acertos e o número de erros apresentam valores idênticos de correlação, variando apenas o sentido, isto é, relações diretamente proporcionais com o número de acertos são inversamente proporcionais com o número de erros, por serem medidas complementares.

Além das correlações citadas acima, também foi verificada a correlação dos parâmetros cardiovasculares e os parâmetros térmicos. As correlações calculadas com o programa SPSS® que se apresentaram significativas (p-valor <0,05) são exibidas na tabela 25.

Tabela 25 - Correlações entre parâmetros cardiovasculares e variáveis térmicas

	Umidade	Tg	tbu
PASI		-0,217	
FCF			0,221
VFC	0,217		

PASI: Pressão Arterial Sistólica Inicial; FCF: Frequência Cardíaca Final; VFC: Frequência Cardíaca Final – Frequência Cardíaca Inicial; tg: temperatura de globo; tbu: temperatura de bulbo úmido.

Fonte: Elaborada pela autora (2014)

Os dados presentes na tabela 25, apesar de uma correlação muito fraca, são apoiados pelos resultados encontrados na literatura e sumarizados no quadro 10, sobre a influência da variação de temperatura no sistema cardiovascular. Tal influência é vista em alterações sistêmicas, com alteração do diâmetro dos vasos sanguíneos, para ajustar a perda de calor pela pele. Estas alterações impactam diretamente na pressão que o coração necessitará realizar para impulsionar o sangue para a aorta. Irá afetar também o retorno venoso, que por sua vez afetará o tempo de enchimento ventricular e, por conseguinte, a frequência cardíaca.

As características do indivíduo também afetam os parâmetros cardiovasculares. Estas correlações são apresentadas na tabela 26 que mostram as que se apresentaram significativas ao nível de 0,05.

Tabela 26 - Correlações entre parâmetros cardiovasculares e características dos alunos

	Peso	Altura	IMC	IMC2
PASI	0,335	0,283	0,326	
PASF	0,413	0,305	0,397	0,245
PADI	0,465	0,288	0,476	0,289
PADF	0,423		0,447	0,276
PAMI	0,429	0,291	0,442	0,275
PAMF	0,469	0,243	0,479	0,303
FCmax	-0,250			

PASI: Pressão Arterial Sistólica Inicial; PASF: Pressão Arterial Sistólica Final; PADI: Pressão Arterial Diastólica Inicial; PADF: Pressão Arterial Diastólica Final; PAMI: Pressão Arterial Média Inicial; PAMF: Pressão Arterial Média Final; FCmax: Frequência cardíaca máxima; IMC: Índice de Massa Corpórea; IMC2: Índice de Massa Corpórea Categorizado (1 a 4).

Fonte: Elaborada pela autora (2014)

Como visto na revisão da literatura, neste trabalho também foi possível verificar correlação entre as variáveis desempenho, cardiovascular e térmica. Através desta análise preliminar, verifica-se que os diversos tipos de raciocínios correlacionam-se com variáveis distintas e de forma diversa. Estas variações encontradas reforçam a ideia de que o ambiente deve ser projetado para a atividade específica a ser desempenhada naquele ambiente. Reforça ainda que cada atividade ativa uma região do sistema nervoso central e, portanto, tem influência de diferentes parâmetros fisiológicos.

Em complemento, foram realizadas as correlações internas entre as variáveis estudadas e as significativas ao nível de 0,05 são apresentadas nas tabelas 27 a 29. O objetivo destas correlações foi verificar a independência das variáveis para serem

utilizadas na modelagem. A tabela 27 apresenta a correlação entre os parâmetros térmicos.

Tabela 27 - Correlação entre os parâmetros térmicos

	Umidade	tg	tbu	ta	to	V
Umidade	1	0,420	0,250	0,328	0,478	
tg		1	0,693	0,887	0,369	-0,369
tbu			1	0,864	0,796	-0,572
ta				1	0,539	-0,537
to					1	-0,224
V						1

Umidade: Umidade relativa do ar; tg: temperatura de globo; tbu: temperatura de bulbo úmido; ta: temperatura do ar; to: temperatura de orvalho; V: Velocidade do ar

Fonte: Elaborada pela autora (2014)

A tabela 27 confirma a alta correlação esperada entre a temperatura do ar e as demais temperaturas, especialmente com a temperatura de globo. Assim, verifica-se que nos ambientes estudados, não houve um nível significativo de radiação, permitindo que as temperaturas do ar e de globo fossem similares. Ademais, verifica-se a correlação inversa entre a velocidade do ar e as temperaturas, destacando a correlação com a temperatura de bulbo seco. A umidade também apresenta correlação fraca com todas as temperaturas, sendo a maior com a temperatura de orvalho. Vale ressaltar a independência que existe apenas entre os valores de umidade e velocidade do ar.

Em complemento, realizou-se a correlação entre os parâmetros cardiovasculares. As correlações com $p\text{-valor} < 0,05$ são apresentadas na tabela 28.

Ao se analisar a tabela 28, verificam-se fortes correlações entre a pressão arterial média e as pressões diastólica e sistólica. Esta dependência é prevista, levando em consideração a forma de cálculo da PAM (equação 34), onde a PAD tem peso 2. Identifica-se ainda uma correlação forte entre os valores finais e iniciais das pressões. A PAM apresenta uma correlação mais forte com a PAD (tanto inicial quanto final) do que com seu valor inicial, ao contrário da PAS e da PAD finais, que tem uma dependência maior dos seus valores iniciais.

Tabela 28 - Correlação entre os parâmetros cardiovasculares

	PASI	PADI	PAMI	PASF	PADF	PAMF	FCI	FCF	FCmed	FCmax
PASI	1	0,663	0,881	0,768	0,467	0,669				
PADI		1	0,930	0,627	0,800	0,804				
PAMI			1	0,743	0,703	0,802				
PASF				1	0,580	0,850				
PADF					1	0,912				
PAMF						1				
FCI							1	0,810	0,776	0,575
FCF								1	0,793	0,563
FCmed									1	0,807
FCmax										1

PASI: Pressão Arterial Sistólica Inicial; PADI: Pressão Arterial Diastólica Inicial; PAMI: Pressão Arterial Média Inicial; PASF: Pressão Arterial Sistólica Final; PADF: Pressão Arterial Diastólica Final; PAMF: Pressão Arterial Média Final; FCI: Frequência Cardíaca Inicial; FCF: Frequência Cardíaca Final; FCmed: Frequência Cardíaca Média; FCmax: Frequência Cardíaca Máxima;

Fonte: Elaborada pela autora (2014)

Em relação à frequência cardíaca verifica-se uma correlação mais forte entre os valores iniciais e finais. Constata-se ainda uma forte associação entre o valor máximo (FCmax) atingido e o valor médio do período (FCmed).

Interessante notar que os valores de pressão arterial e os de frequência cardíaca não possuem correlação significativa, apesar de possuírem relação fisiológica. Esta relação pode ser confirmada considerando a fórmula da pressão arterial (equação 31), onde a pressão arterial (PA) é expressa em função do débito cardíaco (DC) e da resistência periférica (Rp), e a fórmula do débito cardíaco (equação 39).

$$DC = FC \times VE \quad (39)$$

Onde:

DC: Débito Cardíaco (l/min)

FC: Frequência Cardíaca (bpm)

VE: Volume ejetado (l)

Realizando a substituição do débito cardíaco na equação 31, obtém-se a equação 40, onde a PA é escrita em função da FC.

$$PA = FC \times VE \times Rp \quad (40)$$

Após a análise das variáveis térmicas e cardiovasculares, para finalizar realizou-se a correlação entre as medidas do desempenho cognitivo. Os valores que apresentaram $p\text{-valor} < 0,05$ são apresentados na tabela 29.

Tabela 29 - Correlação entre as medidas de desempenho cognitivo

		Acertos						Tempo					
		RV	RA	RE	RM	RN	BPR	RVT	RAT	RET	RMT	RNT	BPRT
Acertos	RV	1					0,335		-0,230				
	RA		1		0,280		0,497						
	RE			1	0,387	0,330	0,660		0,244		-0,292		
	RM				1		0,721		0,235		-0,304		
	RN					1	0,581		-0,233	-0,298	-0,270	-0,505	-0,449
	BPR						1	-0,233			-0,277		-0,216
Tempo	RVT							1	0,449	0,368	0,366	0,307	0,562
	RAT								1	0,445		0,501	0,638
	RET									1	0,416	0,584	0,856
	RMT										1	0,266	0,584
	RNT											1	0,811
	BPRT												1

RV: Acertos no Raciocínio Verbal; RVT: Tempo do Raciocínio Verbal; RA: Acertos no Raciocínio Abstrato; RAT: Tempo do Raciocínio Abstrato; RE: Acertos no Raciocínio Espacial; RET: Tempo do Raciocínio Espacial; RM: Acertos no Raciocínio Mecânico; RMT: Tempo do Raciocínio Mecânico; RN: Acertos no Raciocínio Numérico; RNT: Tempo do Raciocínio Numérico; BPR: Soma dos Acertos nos Subtestes; BPRT: Soma do Tempo dos Subtestes.

Fonte: Elaborada pela autora (2014)

Ao explorar a tabela 29 é possível verificar que o Escore Geral (BPR) foi influenciado principalmente pela nota do raciocínio mecânico, seguido pelos raciocínios espacial, numérico, abstrato e verbal, sequencialmente, apesar de ser obtido pela soma dos subtestes, sem diferença de peso. Vale ressaltar ainda que o tempo gasto no raciocínio mecânico também influenciou o número de acertos geral. Esta maior correlação entre BPR, o raciocínio mecânico e o espacial pode estar associado ao maior desvio-padrão destes raciocínios, conforme visto na tabela 16.

Considerando ainda o número de acertos, destaca-se a relação inversa entre a nota do raciocínio numérico e o tempo gasto nos demais raciocínios, exceto o verbal. Esta associação pode ser em razão da sequência de resposta, pois RN foi o último teste a ser resolvido. Seriam, porém, necessários mais estudos para que se possa ser conclusivo a esse respeito, inclusive com a alteração da sequência dos testes.

Analisando o tempo geral (BPRT), verifica-se que a maior associação foi com o tempo de realização do teste de raciocínio espacial e, em sequência, os

raciocínios numérico, abstrato, mecânico e verbal. Da mesma forma que, no escore geral, o tempo também teve maior associação com os itens que apresentaram maior desvio padrão (tabela 29).

Além dos objetivos de comparação, estas análises subsidiam a próxima etapa desta pesquisa que foi a modelagem matemática. Esta etapa é de extrema importância para corroborar com os achados até então discutidos, bem como para alcançar o objetivo geral desta pesquisa de analisar a relação entre os parâmetros cardiovasculares e o desempenho cognitivo de alunos submetidos à variação de temperatura do ar em ambientes de ensino.

5.7. Modelagem matemática

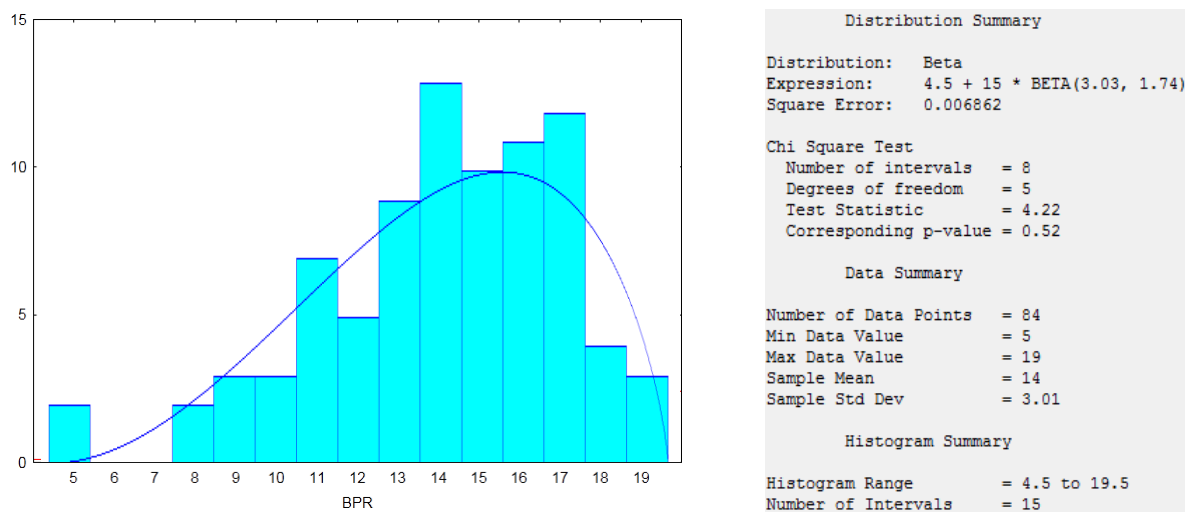
Para verificar a influência das variáveis do conforto térmico e dos parâmetros cardiovasculares no desempenho dos estudantes, selecionou-se como variáveis dependentes, para análise da acurácia do desempenho cognitivo global, o número de acertos (BPR) e o número de erros (BPRERRO), pois não foi o objetivo deste trabalho investigar áreas específicas do desempenho.

As variáveis independentes englobaram tanto características pessoais dos alunos, como sexo, idade, peso, altura, IMC, nível de atividade física e resistência térmica das roupas utilizadas, quanto às medidas obtidas durante o estudo, parâmetros cardiovasculares e térmicos.

Como as variáveis independentes são contínuas e não contínuas, optou-se por utilizar 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.

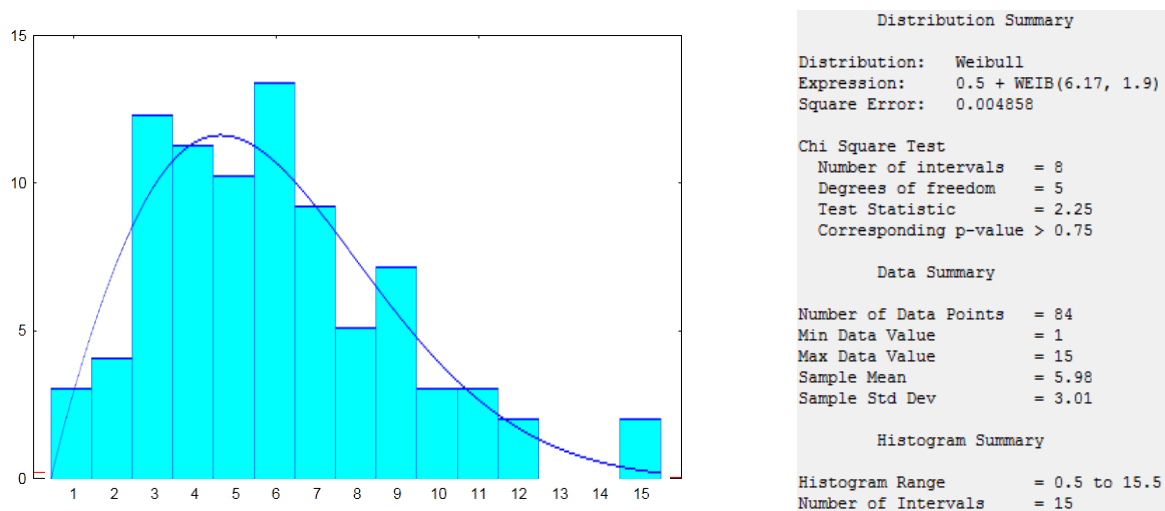
Para este fim, utilizou-se o programa Arena® para simular os dados com o objetivo de determinar a melhor distribuição de probabilidade que mais se adequa às variáveis BPR e BPRERRO. Verifica-se nos gráficos 35 e 36 que ambas apresentam distribuições Beta e Weibull, respectivamente, as quais pertencem à família exponencial, confirmando assim a possibilidade de utilizar MLG para a modelagem matemática destes dados.

Gráfico 35 - Distribuição de frequência BPR, com representação da distribuição Beta



Fonte: Elaborada pela autora (2014)

Gráfico 36 - Distribuição de frequência BPRERRO, com representação da distribuição Weibull



Fonte: Elaborada pela autora (2014)

A partir das definições das variáveis a serem utilizadas, foi identificada a correlação entre a variável dependente e as variáveis explicativas, bem como a independência destas, como visto no item 8.6.

Em seguida, devido às características das variáveis dependentes, selecionou-se a distribuição de Poisson para gerar os modelos matemáticos, associadas com as funções de ligação compatíveis a cada caso.

Esta escolha considerou que os dados da variável dependente são números inteiros e não negativos, características de dados da distribuição de Poisson. De acordo com Ramalho (1996) e Tadano et al. (2009), esta distribuição representa a

probabilidade de que um evento ocorra um número especificado de vezes em um intervalo (seja de tempo, espaço, volume ou área...).

Em seguida, os modelos foram testados e as variáveis independentes retiradas sequencialmente do modelo de acordo com a significância dos seus respectivos coeficientes obtidos. Assim, o modelo era testado e a variável associada ao maior p-valor > 0,05 era retirada, e o modelo era testado novamente. Este processo foi repetido até que todos os coeficientes apresentassem p-valor < 0,05.

Nesta etapa, eliminaram-se todos os modelos que possuíam BPR como variável resposta tendo em vista que os p-valores dos coeficientes das variáveis independentes foram sempre superiores a 0,05. Por este motivo, a investigação continuou com a análise apenas dos modelos com a variável BPRERRO.

Quando encontrados modelos com todos os coeficientes de suas respectivas variáveis com p-valor < 0,05, iniciou-se a validação dos modelos e a comparação para verificar qual modelo explicava melhor a relação entre o desempenho dos alunos e as variáveis térmicas e os parâmetros cardiovasculares. Esta análise foi feita comparando os desvios dos modelos encontrados.

Para efetuar a comparação entre o desvio dos modelos encontrados relativos a variável BPRERRO, foi necessário realizar a comparação entre os modelos saturado (que apresenta um ajuste perfeito com os dados, sendo complexo por possuir muitas variáveis) e corrente (que apresenta parâmetros linearmente independentes e que está sujeito à investigação) (TURKMAN; SILVA, 2000).

Assim, para realizar esta comparação foi utilizado o desvio, que é a soma das parcelas que medem a diferença dos logaritmos da razão de máxima verossimilhança, e pode ser resumida na equação 41.

$$-2 \left(\ell_{MC}(\hat{\beta}_C) - \ell_{MS}(\hat{\beta}_S) \right) = \frac{D(y; \hat{\mu}_C) - D(y; \hat{\mu}_S)}{\phi} \quad (41)$$

Onde:

D: Desvio

C: Modelo Corrente

S: Modelo Saturado

ℓ_M : probabilidade maximizada do modelo

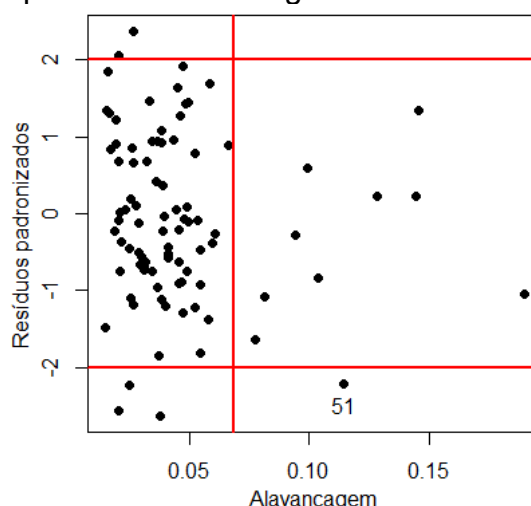
Vale ressaltar que para esta análise considera-se que o desvio é sempre maior ou igual a zero, sendo que ele decresce quanto melhor ele descreve os dados. Ou seja, será igual a zero para o modelo saturado (TURKMAN; SILVA, 2000). Estes desvios foram calculados diretamente pelo software R.

Conjuntamente também foram verificados os valores de pseudo- R^2 . Este parâmetro tem a função de explicar a variabilidade da variável resposta que é explicada pelas variáveis independentes. Tem amplitude de 0 a 1, sendo que quanto maior o valor, melhor a explicação pelo modelo. Esta comparação é realizada em função do modelo nulo, onde a explicação da variável resposta é devida apenas ao intercepto.

Em complemento, para cada modelo, foi verificada a presença de desvio sistemático através da análise de adequação da função de ligação, da distribuição e da função de variância e da presença de ponto aberrante.

Durante este processo identificou-se um ponto de alavancagem (gráfico 37) em todos os modelos, por este motivo, este ponto foi eliminado durante a modelagem. Os testes de desvio residual, Chi-quadrado e Pseudo- R^2 para cada um dos modelos foram realizados novamente, agora sem o ponto aberrante identificado (observação 51). Estes dados encontram-se sumarizados na tabela 30.

Gráfico 37 - Exemplo de ponto de alavancagem



Fonte: Elaborado pela autora (2014).

Tabela 30 – Distribuições e funções de ligação testadas e seus desvios residuais

Conjunto de Variáveis	Distribuição	Link	Desvio Residual	p-valor (RV)	Pseudo-R ²
1	Poisson	Identity	95,342	0,0007	0,3791
		Sqrt	95,942	0,0011	0,3725
		Log	96,498	0,0017	0,3664
2	Poisson	Identity	96,816	0,0015	0,3628
		Sqrt	97,514	0,0021	0,3550
		Log	98,310	0,0031	0,3460

1=temperatura do ar, frequência cardíaca máxima e pressão arterial média; 2=temperatura do ar, frequência cardíaca máxima e pressão arterial sistólica; RV: Razão de verossimilhança.

Fonte: Elaborada pela autora (2014)

Quando eliminada a presença de desvio sistemático, selecionou-se o modelo com distribuição Poisson e função de ligação Identity do conjunto de variáveis 1, por apresentar menor desvio residual e p-valor no teste de razão de verossimilhança e maior Pseudo-R².

Salienta-se que apesar dos modelos mostrarem relação entre as variáveis, estes apresentam indicativo de um ajuste baixo, devido ao valor de pseudo R². No entanto, a despeito deste baixo valor, o modelo é considerado razoável visto os valores de p-valor da razão de verossimilhança (RV). Este fato está de acordo com Cordeiro e Demétrio (2008) que afirmam que o uso do teste da razão de verossimilhança na análise do desvio (ANODEV) é suficiente para julgar um ajuste como razoável.

Os coeficientes estão apresentados na tabela 31.

Tabela 31 - Estimativa dos coeficientes do modelo

	Coeficiente	p-valor
Intercepto	17,58066	3,66e-05
PAMI	-0,09127	0,001656
FCmax	0,04547	0,004399
ta	-0,32726	0,000352

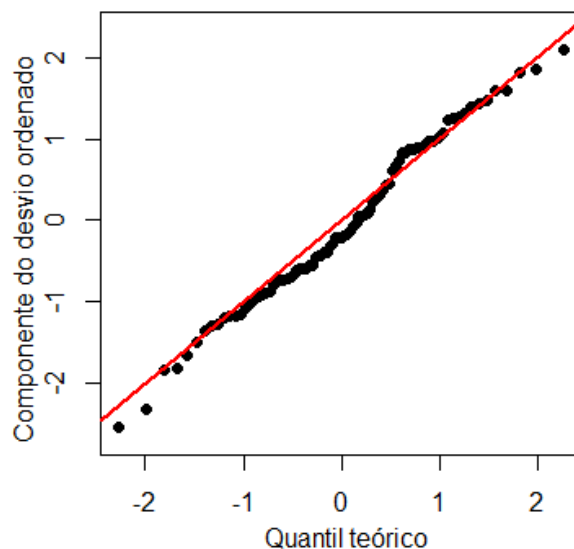
PAMI: Pressão arterial média inicial; FCmax: Frequência cardíaca máxima; ta: temperatura do ar

Fonte: Elaborada pela autora (2014)

Os gráficos 38 a 42 mostram os testes gráficos realizados para verificar a consistência deste modelo, através da pesquisa por desvios sistemáticos.

Para analisar a adequação da distribuição selecionada para o modelo, no caso Poisson, plotou-se o gráfico 38. A adequação da distribuição pode ser verificada pelo ajuste entre os pontos e a reta.

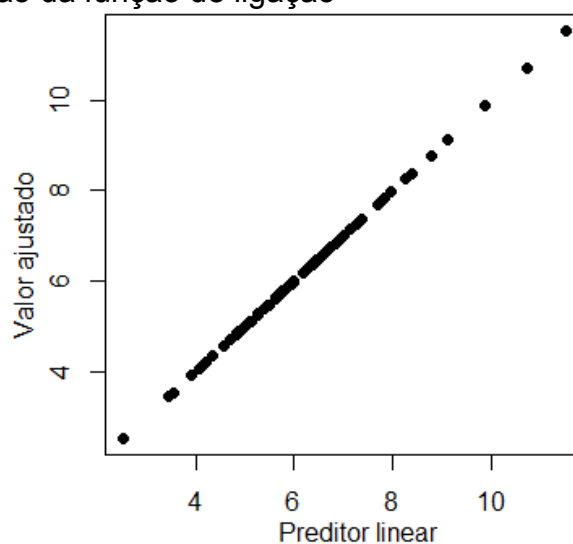
Gráfico 38 - Adequação da Distribuição



Fonte: Elaborada pela autora (2014)

Para averiguar a adequação da função de ligação traçou-se o gráfico entre o preditor linear (X) e o valor ajustado pela função de ligação (Y) (gráfico 39). Considerou-se adequada a função, pois a maioria dos pontos apresenta uma tendência linear, apesar de não totalmente ajustada.

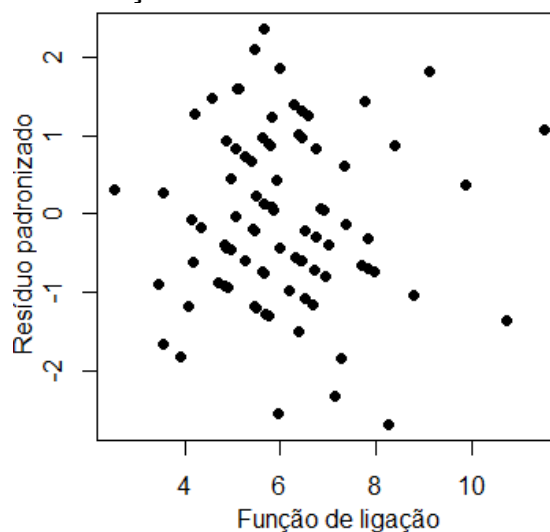
Gráfico 39 - Adequação da função de ligação



Fonte: Elaborada pela autora (2014)

Para apurar a adequação da função de variância, o gráfico entre a função de ligação (X) e o resíduo padronizado (Y), foi elaborado (gráfico 40). Nele não é possível identificar um padrão, o que torna a função adequada.

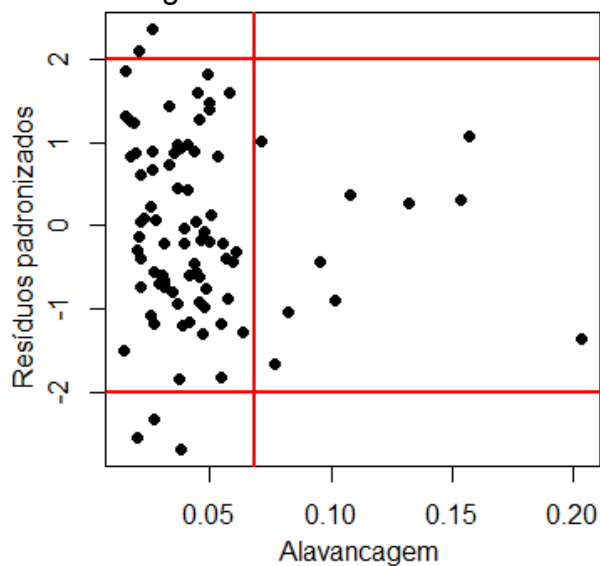
Gráfico 40 - Adequação da Função de Variância



Fonte: Elaborada pela autora (2014)

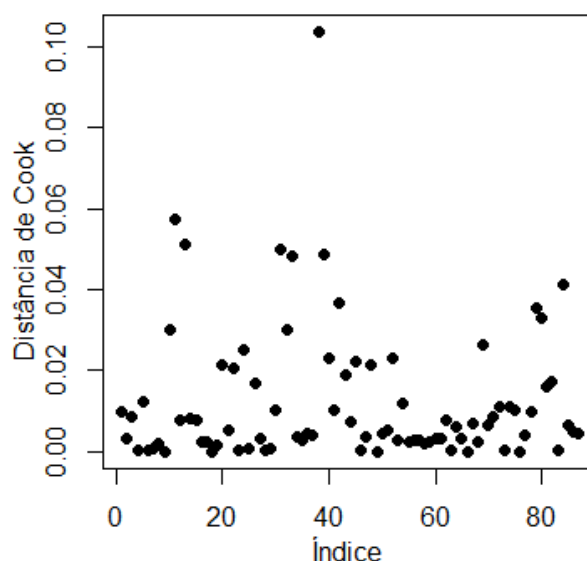
A verificação de observações atípicas neste modelo, após a retirada da observação 51, foi vista através dos pontos de alavancagem (gráfico 41) e da distância de Cook (gráfico 42). Onde não se observa pontos influentes.

Gráfico 41 - Pontos de Alavancagem



Fonte: Elaborada pela autora (2014)

Gráfico 42 - Distância de Cook



Fonte: Elaborada pela autora (2014)

Após a análise dos gráficos (38 a 42) verificou-se que o modelo selecionado é consistente, e com as informações contidas na tabela 31 foi possível a construção do modelo matemático explicitado na equação 42.

$$BPRERRO = 17,58 - 0,091 PAMI + 0,045 FCmax - 0,327 ta \quad (42)$$

Onde:

BPERRO: Número de erros cometidos a cada dia no teste BPR

PAMI: Pressão arterial média inicial

FCmax: Frequência cardíaca máxima

ta: temperatura do ar

Ao interpretar o modelo e levando-se em consideração a variação da temperatura do ar entre 20 e 30°C, considera-se que mantendo constante as variáveis ta e FCmax, a cada aumento de uma unidade de milímetro de mercúrio da pressão arterial média inicial (PAMI), reduz-se o número de erros em 0,091. Similarmente, observa-se que mantendo-se constante a PAMI e a FCmax, o aumento de 1°C na temperatura do ar entre 20 e 30°C, reduz-se o número de erros em 0,327. E complementarmente, mantendo-se constante a ta e a PAMI, o aumento de 1 batimento na frequência cardíaca máxima em aumenta 0,045 o número de erros do teste BPR.

Para aprimorar a acurácia no teste, devem-se encontrar as condições ideais para este tipo de atividade e de participantes (idade entre 17 e 30 anos). Relativo aos valores da pressão arterial, de acordo com a Sociedade Brasileira de Cardiologia (SBC et al., 2010) os valores considerados ótimos são inferiores a 120 x 80 mmHg, assim a PAM ótima é inferior a 93 mmHg. Por outro lado, valores abaixo de 90 x 60 mmHg são considerados hipotensão, consequentemente, a PAM deve ser superior a 70mmHg.

Quanto aos valores de frequência cardíaca para esta amostra, a FCmax prevista está entre 190 e 203bpm, conforme a idade. Segundo o estabelecido em diretrizes e manuais da American College of Sports Medicine (ACSM, 2014), em atividades físicas de intensidade moderada atinge-se o percentual de 50 a 75% da FC máxima prevista. No caso de atividade cognitiva, a FC não deverá ultrapassar 50% do previsto. Ou seja, para esta amostra a FCmax deve ser inferior aos valores de 85 e 101,5bpm, dependendo da idade. No entanto, devem ser superiores a 60bpm pois valores abaixo deste limite podem prejudicar a adequada circulação corporal (bradicardia) e a oxigenação do Sistema Nervoso Central, bem como afetar negativamente o desempenho (SOBRAC, 2014). Ou seja, a FCmax deve estar acima deste limite.

Concernente ao valor da temperatura do ar, esta deve ser em torno de 23,3°C, conforme obtido na equação 36, baseada na sensação térmica dos alunos.

Ao substituir estes valores na equação 40 (PAM inicial=93,33mmHg; FCmax=60bpm; $t_a=23,3^{\circ}\text{C}$), verifica-se uma taxa de acerto de 75%, ou seja, um número de acertos aceitável para um bom desempenho e acima da média obtida pelos alunos. Devido a esta melhora do número de acertos, considera-se que estas condições são adequadas para o bom desempenho cognitivo de alunos universitários da área de ciências exatas e tecnologia.

CAPÍTULO 6: CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante a pesquisa verificou-se que as condições térmicas ambientais externas foram similares para os dias de cada amostra. No entanto, como esperado, o ambiente interno variou de acordo com o ajuste pelos pesquisadores.

Quando analisados os valores previstos de acordo com as normas internacionais, constatou-se que os ambientes eram desconfortáveis, pois tinham previsão de mais de 10% de pessoas insatisfeitas. Quando comparado com os votos obtidos, confirmou-se esta expectativa e na verdade extrapolou a porcentagem prevista. Estes valores podem ter ocorrido pelo pequeno número de alunos respondendo estes questionários a cada dia.

Vale ressaltar que o 3º dia, que teve a temperatura média do ar de 27,95°C, o voto de desconforto térmico contabilizou 89% dos respondentes. Este número está muito além do aceitável de 10%. Ou seja, é uma condição inadequada para a permanência.

Além do desconforto térmico deste dia, a alta temperatura foi suficiente para causar diferenças significativas na frequência cardíaca, mas não na pressão arterial que se apresentou similar nas diferentes temperaturas.

Este achado traz à tona um tema pouco explorado que é o risco do aumento da frequência cardíaca. Em geral, no Brasil as campanhas de conscientização focam nos riscos e consequências do aumento da pressão arterial. No entanto, pouco se explora sobre os riscos do aumento da frequência cardíaca.

Assim, é necessário explorar mais estes efeitos, visto que esta pesquisa demonstrou aumento da FC em temperaturas que são comuns em diversas regiões do Brasil. Ou seja, a manutenção do indivíduo em condições sem climatização adequada por tempo prolongado pode aumentar o risco de doenças cardiovasculares secundárias a taquicardia.

Além das alterações na FC, a temperatura média de 27,5°C, também gerou alterações no desempenho cognitivo. Apesar de não terem sido identificadas alterações no número de acertos no teste BPR, houve redução significativa no tempo de resposta no 3º dia em relação aos demais. Esta redução do tempo pode ser consequência do efeito da aprendizagem da tarefa, mas também da aclimatização comportamental do indivíduo, que mesmo inconscientemente, tenta reduzir a sua exposição a situações desagradáveis.

Além destes achados, esta pesquisa visou abordar lacunas existentes na literatura que foram identificadas durante a etapa dedicada à revisão da literatura. Foram encontradas pesquisas que faziam associações de forma isolada entre o desempenho cognitivo em universitários ora com as condições ambientais ora com o sistema cardiovascular. Entretanto, não foram encontradas pesquisas que tratassem das três variáveis em conjunto. Observou-se também que, além da lacuna existente na relação entre esses três fatores, o desempenho cognitivo do aluno universitário é pouco explorado. Esta segunda lacuna foi evidenciada pela ausência de modelos matemáticos envolvendo a análise do desempenho de estudantes, pois durante a revisão foram identificados apenas modelos relacionados à perda de produtividade (HOOF, 2008).

Assim, esta pesquisa, ao construir um modelo relacionando o desempenho cognitivo de alunos universitários com frequência cardíaca, pressão arterial e temperatura do ar, inovou pela associação entre os três fatores, trazendo uma contribuição significativa para a literatura sobre o assunto.

Deve ser levado em consideração que esta relação com o desempenho não foi feita em situações extremas, sendo real apenas para a faixa dos dados estudados. No caso da temperatura, apenas dentro da faixa entre 20 e 30°C.

Para esta amostra, a temperatura considerada neutra, de acordo com o voto da sensação térmica, foi de 23,3°C e, através da pesquisa, foi possível constatar que o ajuste da temperatura até o ponto ideal irá reduzir a taxa de erro, melhorando o desempenho.

Ao verificar a relação entre o desempenho e a FC máxima alcançada durante os testes, constatou-se que o desempenho melhora com a redução da FCmax contudo, a menor FCmax atingida na amostra foi de 77bpm (valor acima do limite de 60bpm) resultando em uma considerável amplitude passível de aferição para verificação dos efeitos no desempenho que não foi utilizada na pesquisa..

Quando comparada com o valor previsto para a idade, a média alcançada pela FCmax foi de 53% do previsto, valor este, muito abaixo de oferecer risco ao indivíduo. Em uma das observações, entretanto, o valor chegou a 92%, ultrapassando a zona de segurança de 85 a 90% (zona de limiar anaeróbico), de acordo com Lumingo e Dessureault (2009).

Pelo modelo também foi possível identificar que o desempenho e a pressão arterial média inicial aumentam simultaneamente. Assim, deve-se estar ciente que

picos de pressão arterial podem estar associados a eventos como acidente vascular encefálico e que o aumento da pressão arterial sustentado também pode repercutir em outros órgãos, chamados órgãos alvo (rins, cérebro, coração), gerando prejuízos a saúde. Por estes efeitos torna-se necessário estudar os níveis seguros de pressão arterial que podem estar associados à melhora do desempenho cognitivo. Neste estudo, a média da PAMI foi de 90,94mmHg (variou entre 69,83 a 111,17mmHg) o que está dentro da faixa de normalidade.

A partir das análises aqui feitas, constata-se que o modelo é aplicável e relevante para a faixa considerada de normalidade tanto para a pressão arterial quanto para a frequência cardíaca.

Muito embora não consigam explicar sozinhas todas as modificações que ocorrem no desempenho cognitivo, o modelo demonstra que as variações de temperatura do ar assim como a condição cardiovascular do indivíduo geram efeitos constatáveis sobre o desempenho cognitivo. A importância desta constatação não se encerra como um objetivo isolado em si mesmo, mas sim como ponto de partida para que pesquisas utilizando outras variáveis e associações sejam empreendidas no intuito de elaborar modelos matemáticos que expliquem melhor a variação ocorrida no desempenho de estudantes universitários e, em última instância, sirvam para aprimorar as condições que resultem em ambientes e situações de salubridade que influam positivamente no desempenho.

6.1. Sugestões para estudos futuros

Outros estudos devem ser executados para permitir um maior detalhamento do papel destas variáveis cardíacas no desempenho cognitivo, especialmente monitorando os mesmos parâmetros adotados nesta pesquisa ao longo dos testes, através de exames cardiológicos mais minuciosos (tais como eletrocardiograma e MAPA). Estes testes também poderiam ser realizados a longo prazo durante aulas reais destes alunos, para verificar-se o efeito continuado e não apenas pontual, como realizado neste estudo.

Em complemento, pesquisa com amostras sem limites de idade devem ser executadas para verificar, se ela pode, junto com as variáveis cardiovasculares e térmicas, influenciar o desempenho cognitivo.

Futuros estudos também podem ampliar a análise dos parâmetros ambientais incluindo a radiação não ionizante, fator incluído nos ambientes de estudo nos últimos anos com as novas tecnologias desenvolvidas.

REFERÊNCIAS

- ABERGO. O que é Ergonomia. Disponível em: <http://www.abergo.org.br/internas.php?pg=o_que_e_ergonomia>. Acesso em: 15/11/2013.
- ACSM. American College of Sports Medicine. Disponível em: <<http://www.acsm.org/>>. Acesso em: 20/12/2014.
- AKIMOTO, T.; TANABE, S.; YANAI, T.; SASAKI, M. Thermal comfort and productivity - Evaluation of workplace environment in a task conditioned office. **Building and Environment**, v. 45, n. 1, p. 45–50, 2010. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S036013230900167X>>. Acesso em: 30/12/2013.
- ALMEIDA, H. S. **Análise do conforto térmico de edifícios utilizando as abordagens analítica e adaptativa**, 2010. Lisboa: Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Técnica de Lisboa.
- ALMEIDA, L. S.; ANTUNES, A.; MARTINS, T.; PRIMI, R. Bateria de Provas de Raciocínio (BPR-5): Estudo de validação em contexto escolar. **Revista Galego – Portuguesa de Psicologia e Educación**, v. 1, n. 1, p. 355–365, 1997. Disponível em: <<http://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/6634>>. Acesso em: 15/1/2014.
- ALMEIDA, L. S.; NASCIMENTO, E. DO; LIMA, A. DE O. F.; et al. Bateria de provas de raciocínio (BPR-5): Estudo exploratório em alunos universitários. **Avaliação Psicológica**, v. 9, n. 2, p. 155–162, 2010.
- ALMEIDA, L. S.; PRIMI, R. Perfis de capacidades cognitivas na bateria de provas de raciocínio (BPR-5): Capacidades cognitivas e BPR-5. **Psicologia Escolar e Educacional**, v. 8, n. 2, p. 135–144, 2004.
- ALMEIDA, R. M. S. F.; FREITAS, V. P. DE. Indoor environmental quality of classrooms in Southern European climate. **Energy and Buildings**, v. 81, n. 0, p. 127–140, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814005027>>. .
- ALTURKI, A. M.; AL-GHAMDI, A. M.; DAQROUQ, K.; AL-HMOUZ, R. Application of ECG Arrhythmia Classification by Means of Bayesian Theorem. **Journal of Applied Sciences**, v. 14, n. 2, p. 165–170, 2014. Disponível em: <<http://www.scialert.net/abstract/?doi=jas.2014.165.170>>. Acesso em: 20/12/2014.
- AMIB. Consenso Brasileiro de Monitorização e Suporte Hemodinâmico. **Revista Brasileira de Terapia Intensiva**, v. 17, n. 4, p. 278, 2004.
- ARAÚJO, R. R. O conforto térmico e as implicações na saúde: uma abordagem preliminar sobre os seus efeitos na população urbana de São Luís-Maranhão. **Cadernos de Pesquisa**, v. 19, n. 3, p. 51–60, 2012.

ASHRAE 55. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. 1992.

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.

BAKÓ-BIRÓ, Z.; CLEMENTS-CROOME, D. J. J.; KOCHHAR, N.; AWBI, H. B.; WILLIAMS, M. J. J. Ventilation rates in schools and pupils' performance. **Building and Environment**, v. 48, n. 0, p. 215–223, 2012. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.08.018>>. Acesso em: 22/12/2013.

BAKÓ-BIRÓ, Z.; KOCHHAR, N.; AWBI, H. B.; WILLIAMS, M. J. Ventilation Rates in Schools and Learning Performance. *Proceedings of Clima 2007 Wellbeing Indoors. Anais...* . p.8, 2007.

BARRETT, P.; ZHANG, Y.; MOFFAT, J.; KOBACZY, K. A holistic, multi-level analysis identifying the impact of classroom design on pupils' learning. **Building and Environment**, v. 59, p. 678–689, 2013. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.09.016>>. Acesso em: 12/12/2013.

BATIZ, E. C.; GOEDERT, J.; MORSCH, J. J.; KASMIRSKI JUNIOR, 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.

BERNARDI, L.; WDOWCZYK-SZULC, J.; VALENTI, C.; et al. Effects of controlled breathing, mental activity and mental stress with or without verbalization on heart rate variability. **Journal of the American College of Cardiology**, v. 35, n. 6, p. 1462–1469, 2000. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10807448>>. .

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>. .

BRAGER, G. S.; DEAR, R. Thermal adaptation in the built environment: a literature review. **Energy and Buildings**, v. 27, p. 83–96, 1998.

BULLER, M. J.; THARION, W. J.; CHEUVRONT, S. N.; et al. Estimation of human core temperature from sequential heart rate observations. **Physiological measurement**, v. 34, n. 7, p. 781–98, 2013. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23780514>>. Acesso em: 22/12/2013.

BUROV, O.; TSARIK, O. Educational workload and its psychophysiological impact on student organism. **Work (Reading, Mass.)**, v. 41 Suppl 1, p. 896–9, 2012. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22316835>>. Acesso em: 17/1/2014.

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.

CÂNDIDO, C.; DEAR, R. J. DE; LAMBERTS, R.; BITTENCOURT, L.; DEAR, R. Air movement acceptability limits and thermal comfort in Brazil's hot humid climate zone. **Building and Environment**, v. 45, n. 1, p. 222–229, 2010. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132309001395>>. Acesso em: 14/12/2013.

CAPOVILLA, A. Contribuições da neuropsicologia cognitiva e da avaliação neuropsicológica à compreensão do funcionamento cognitivo humano. **Cadernos de Psicopedagogia (online)**, v. 6, n. 11, p. 1–24, 2007. Disponível em: <<http://pepsic.bvsalud.org/pdf/cap/v6n11/v6n11a05.pdf>>. Acesso em: 10/1/2014.

CARLUCCI, S.; PAGLIANO, L. A review of indices for the long-term evaluation of the general thermal comfort conditions in buildings. **Energy and Buildings**, v. 53, p. 194–205, 2012. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.06.015>>. Acesso em: 20/12/2013.

CHARCHAT, H. F.; MOREIRA, I. DE F. H. Memória e envelhecimento. **Revista do Hospital Universitário Pedro Ernesto (UERJ)**, v. 7, n. 1, p. 52–56, 2008. Disponível em: <http://revista.hupe.uerj.br/detalhe_artigo.asp?id=191>. Acesso em: 10/1/2014.

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. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132311003581>>. Acesso em: 22/12/2013.

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

CORGNATI, S. P.; FILIPPI, M.; VIAZZO, S. Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: Subjective preferences and thermal comfort. **Building and Environment**, v. 42, n. 2, p. 951–959, 2007. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S036013230500449X>>. Acesso em: 22/12/2013.

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.

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**, v. 68, p. 114–122, 2013. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013231300190X>>. Acesso em: 25/7/2014.

DAPI, L. N.; ROCKLÖV, J.; NGUEFACK-TSAGUE, G.; TETANYE, E.; KJELLSTROM, T. Heat impact on schoolchildren in Cameroon, Africa: potential health threat from climate change. **Global health action**, v. 3, n. 5610, p. 1–8, 2010. Disponível em: <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2998052&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>>. Acesso em: 22/12/2013.

DESPOPOULOS, A.; SILBERNAGL, S. Cardiovascular System. **Color Atlas of Physiology**. 5th ed., p.186–221, 2003. Nova York: Thieme.

DETURCK, W. E.; CAHALIN, L. P. **Fisioterapia Cardiorrespiratória**. 1st ed. Porto Alegre/RS: Artmed, 2007.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística: para engenharia e ciências**. São Paulo-SP: Pioneira Thompson Learning, 2006.

DIEGO, L. A. DOS S.; GALHARDO JR, C. Monitorização Cardiovascular. In: I. L. Cavalcanti; L. A. dos S. Diego; L. B. P. da Cunha; A. R. Assad (Eds.); **Anestesia para cirurgia vascular**. p.35–69, 2008. Rio de Janeiro: SAERJ.

DJONGYANG, N.; TCHINDA, R.; NJOMO, D. Thermal comfort: A review paper. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 9, p. 2626–2640, 2010. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032110002200>>. Acesso em: 14/12/2013.

DOUGLAS, C. R. **Tratado de fisiologia para fisioterapia**. 2nd ed. Ribeirão Preto: Tecmedd Editora, 2010.

DUNCKO, R.; JOHNSON, L.; MERIKANGAS, K.; GRILLON, C. Working memory performance after acute exposure to the cold pressor stress in healthy volunteers. **Neurobiology of Learning and Memory**, v. 91, n. 4, p. 377–381, 2009. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1074742709000331>>. Acesso em: 24/10/2014.

FANG, L.; WYON, D.; CLAUSEN, G.; FANGER, P. O. Impact of indoor air temperature and humidity in an office on perceived air quality, SBS symptoms and performance. **Indoor air**, v. 14, n. suppl 7, p. 74–81, 2004.

GAZZANIGA, M. S. **The Cognitive Neurosciences**. 4th ed. Baskerville: The MIT Press, 2009.

GINTY, A. T.; PHILLIPS, A. C.; DER, G.; DEARY, I. J.; CARROLL, D. Heart rate reactivity is associated with future cognitive ability and cognitive change in a large community sample. **International journal of psychophysiology**, v. 82, n. 2, p. 167–74, 2011. Elsevier B.V. Disponível em:

<<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21871931>>. Acesso em: 17/1/2014.

GONZÁLEZ-ALONSO, J. Human thermoregulation and the cardiovascular system. **Experimental physiology**, v. 97, n. 3, p. 340–6, 2012. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22227198>>. Acesso em: 30/12/2013.

GRAAFF, V. DE. Sistema Circulatório. **Anatomia Humana**. 6th ed., p.65, 2003. Barueri-SP: Manole.

GUÉRIN, F.; LAVILLE, A.; DANIELLOU, F.; DURAFFOURG, J.; KERGUELEN, A. **Compreender o trabalho para transformá-lo: a prática da ergonomia**. São Paulo: Edgard Blucher, 2001.

HALL, J. E. **Tratado de Fisiologia Médica**. 12th ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

HARRIS, D.; STANTON, N. A. Aviation as a system of systems: preface to the special issue of human factors in aviation. **Ergonomics**, v. 53, n. 2, p. 145–8, 2010.

HASHIGUCHI, N.; FENG, Y.; TOCHIHARA, Y. Gender differences in thermal comfort and mental performance at different vertical air temperatures. **European journal of applied physiology**, v. 109, n. 1, p. 41–8, 2010. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19701649>>. Acesso em: 27/10/2014.

HAVENITH, G.; HOLMÉR, I.; PARSONS, K. C.; HOLMER, I. Personal factors in thermal comfort assessment: clothing properties and metabolic heat production. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 581–591, 2002. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778802000087>>. Acesso em: 26/8/2014.

HJORTSKOV, N.; RISSÉN, D.; BLANGSTED, A. K.; et al. The effect of mental stress on heart rate variability and blood pressure during computer work. **European journal of applied physiology**, v. 92, n. 1-2, p. 84–9, 2004. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14991326>>. Acesso em: 17/1/2014.

HOOFF, J. VAN. Forty years of Fanger's model of thermal comfort: comfort for all? **Indoor air**, v. 18, n. 3, p. 182–201, 2008. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18363685>>. Acesso em: 27/12/2013.

HU, W.; Mengersen, K.; MCMICHAEL, A.; TONG, S. Temperature, air pollution and total mortality during summers in Sydney, 1994-2004. **International journal of biometeorology**, v. 52, n. 7, p. 689–96, 2008. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18506490>>. Acesso em: 3/3/2014.

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

HÜBLER, M.; KLEPPER, G.; PETERSON, S. Costs of climate change: The effects of

rising temperatures on health and productivity in Germany. **Ecological Economics**, v. 68, n. 1–2, p. 381–393, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800908001687>>. .

HUGHES, W. W. O sistema cardiovascular. In: R. L. Wilkins; J. K. Stoller; R. M. Kacmarek (Eds.); **Egan, fundamentos da terapia respiratória**. 9th ed., p.197–214, 2009. Rio de Janeiro: Elsevier.

ICKOVICS, J. R.; CARROLL-SCOTT, A.; PETERS, S. M.; et al. Health and Academic Achievement: Standardized Test Scores Among Urban Youth in the United States. **Journal of school health**, v. 84, n. 1, p. 40–48, 2014.

IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. 2nd ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 2005.

INÁCIO, M. **Guia do Formador: O processo de aprendizagem**. Lisboa: Delta Consultores e Perfil, 2007.

INMET, I. N. DE M. Dados de Estação Automática. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. .

ISO 10551. **Ergonomics of the thermal environment - Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales**. 1995.

ISO 7726. **Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities**. 1998.

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

ISO 8996. **Ergonomics of the thermal environment - Determination of metabolic rate**. 1989.

KAMARCK, T. W.; LOVALLO, W. R. Cardiovascular Reactivity to Psychological Challenge: Conceptual and Measurement Considerations. **Psychosomatic Medicine**, v. 65, n. 1, p. 9–21, 2003. Disponível em: <<http://www.psychosomaticmedicine.org/cgi/doi/10.1097/01.PSY.0000030390.34416.3E>>. Acesso em: 17/1/2014.

KARWOWSKI, W. The discipline of ergonomics and human factors. ... **of human factors and ergonomics**, 2006. Disponível em: <http://media.johnwiley.com.au/product_data/excerpt/72/04714491/0471449172.pdf>. Acesso em: 10/1/2014.

KAYIHAN, G.; ERSOZ, G.; OZKAN, A.; KOZ, M. Relationship between efficiency of pistol shooting and selected physical-physiological parameters of police. **Policing: An International Journal of Police Strategies & Management**, v. 36, n. 4, p. 819–832, 2013. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/10.1108/PIJPSM-03-2013-0034>>. Acesso em: 17/1/2014.

KJELLSTROM, T.; SAWADA, S.; BERNARD, T. E.; et al. Editorial: Climate Change and Occupational Heat Problems. **Industrial Health**, v. 51, p. 1–2, 2013.

KWOK, A. G.; CHUN, C. Thermal comfort in Japanese schools. **Solar Energy**, v. 74, n. 3, p. 245–252, 2003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X03001476>>. Acesso em: 6/1/2014.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. DE P.; GOULART, S.; VECCHI, R. DE. **Conforto e stress térmico**. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 2011.

LAN, L.; LIAN, Z. Use of neurobehavioral tests to evaluate the effects of indoor environment quality on productivity. **Building and Environment**, v. 44, n. 11, p. 2208–2217, 2009. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.02.001>>. Acesso em: 22/12/2013.

LAN, L.; LIAN, Z.; PAN, L. The effects of air temperature on office workers' well-being, workload and productivity-evaluated with subjective ratings. **Applied ergonomics**, v. 42, n. 1, p. 29–36, 2010. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20478555>>. Acesso em: 18/12/2013.

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, n. 8, p. 1578–1588, 2009. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132308002394>>. Acesso em: 18/12/2013.

LAN, L.; WARGOCKI, P.; LIAN, Z. Quantitative measurement of productivity loss due to thermal discomfort. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 5, p. 1057–1062, 2011. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.09.001>>. Acesso em: 22/12/2013.

LAN, L.; WARGOCKI, P.; LIAN, Z. Thermal effects on human performance in office environment measured by integrating task speed and accuracy. **Applied Ergonomics**, v. 45, n. 3, p. 490–495, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003687013001348>>. .

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. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21306437>>. Acesso em: 3/1/2014.

LARRA, M. F.; SCHULZ, A.; SCHILLING, T. M.; et al. Heart rate response to post-learning stress predicts memory consolidation. **Neurobiology of learning and memory**, v. 109, p. 74–81, 2014. Elsevier Inc. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24333648>>. Acesso em: 1/11/2014.

LEE, M. C. C.; MUI, K. W. W.; WONG, L. T. T.; et al. Student learning performance and indoor environmental quality (IEQ) in air-conditioned university teaching rooms.

Building and Environment, v. 49, n. 0, p. 238–244, 2012. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132311003428>>. Acesso em: 17/12/2013.

LIU, Q.; POON, C. C. Y.; ZHANG, Y. T. Time–frequency analysis of variabilities of heart rate, systolic blood pressure and pulse transit time before and after exercise using the recursive autoregressive model. **Biomedical Signal Processing and Control**, v. 6, n. 4, p. 364–369, 2011. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1746809411000371>>. Acesso em: 17/1/2014.

LIU, W.; LIAN, Z.; LIU, Y. Heart rate variability at different thermal comfort levels. **European journal of applied physiology**, v. 103, n. 3, p. 361–6, 2008. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18351379>>. Acesso em: 3/1/2014.

LUMINGU, H. M. M.; DESSUREAULT, P. Physiological responses to heat strain: A study on personal monitoring for young workers. **Journal of Thermal Biology**, v. 34, n. 6, p. 299–305, 2009. Elsevier. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306456509000539>>. Acesso em: 1/11/2014.

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.

LUQUE-CASADO, A.; ZABALA, M.; MORALES, E.; MATEO-MARCH, M.; SANABRIA, D. Cognitive performance and heart rate variability: the influence of fitness level. **PloS one**, v. 8, n. 2, p. e56935, 2013. Disponível em: <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3577676&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>>. Acesso em: 2/10/2014.

LYNGDOH, T.; VISWANATHAN, B.; KOBROSLY, R.; et al. Blood pressure and cognitive function: a prospective analysis among adolescents in Seychelles. **Journal of hypertension**, v. 31, n. 6, p. 1175–82, 2013. Disponível em: <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3874141&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>>. Acesso em: 1/11/2014.

MACPHERSON, R. K. The Assessment of the Thermal Environment. A Review. **Occupational and Environmental Medicine**, v. 19, n. 3, p. 151–164, 1962. Disponível em: <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1038191&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>>. Acesso em: 3/1/2014.

MAÏMOUN, L.; COSTE, O.; GEORGOPOULOS, N. A; et al. Despite a high prevalence of menstrual disorders, bone health is improved at a weight-bearing bone site in world-class female rhythmic gymnasts. **The Journal of clinical endocrinology and metabolism**, v. 98, n. 12, p. 4961–9, 2013. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24106284>>. Acesso em: 21/3/2014.

MÄKINEN, T. M.; PALINKAS, L. A.; REEVES, D. L.; et al. Effect of repeated

exposures to cold on cognitive performance in humans. **Physiology & Behavior**, v. 87, n. 1, p. 166–176, 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003193840500449X>>. .

MARIEB, E. N.; HOEHN, K. **Anatomia e Fisiologia**. 3rd ed. Porto Alegre/RS: Artmed, 2009.

MÁSCULO, F. S.; VIDAL, M. C. **Ergonomia: trabalho adequado e eficiente**. 1st ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

MATTHEW, C. B.; BASTILLE, A. M.; GONZALEZ, R. R.; SILS, I. V.; HOYT, R. W. Heart rate variability as an index of physiological strain in hyperthermic and dehydrated rats. **Journal of Thermal Biology**, v. 29, n. 4-5, p. 211–219, 2004. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306456504000270>>. Acesso em: 22/12/2013.

MENDELL, M. J.; HEATH, G. A. Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance ? A critical review of the literature. **Indoor air**, v. 15, p. 27–52, 2005.

MIGUEL, F. K.; OGAKI, H. A.; INABA, C. M.; RIBEIRO, D. DE O. Percepção emocional e inteligencia: contribuições para o modelo CHC. **Revista Sul Americana de Psicologia**, v. 1, n. 1, p. 36–47, 2013.

MISHRA, A. K.; RAMGOPAL, M. Field studies on human thermal comfort: An overview. **Building and Environment**, v. 64, p. 94–106, 2013. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013231300070X>>. Acesso em: 14/12/2013.

MONFREDI, O.; DOBRZYNSKI, H.; MONDAL, T.; BOYETT, M. R.; MORRIS, G. M. The anatomy and physiology of the sinoatrial node--a contemporary review. **Pacing and clinical electrophysiology : PACE**, v. 33, n. 11, p. 1392–406, 2010.

MONTENEGRO, S. G. **Modelo de regressão logística ordinal em dados categóricos na área de ergonomia experimental**, 2009. João Pessoa-PB: Universidade Federal da Paraíba.

MORANTE, S. M.; BROTHERHOOD, J. R. Air temperature and physiological and subjective responses during competitive singles tennis. **British journal of sports medicine**, v. 41, n. 11, p. 773–8, 2007. Disponível em: <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2465292&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>>. Acesso em: 3/1/2014.

MORS, S. TER; HENSEN, J. L. M.; LOOMANS, M. G. L. C.; BOERSTRA, A. C. Adaptive thermal comfort in primary school classrooms: Creating and validating PMV-based comfort charts. **Building and Environment**, v. 46, n. 12, p. 2454–2461, 2011. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132311001855>>. Acesso em: 27/12/2013.

MULDER, L. J. M.; WAARD, D. DE; BROOKHUIS, K. A. Estimating mental effort using heart rate and heart rate variability. In: N. Stanton; A. Hedge; K. Brookhuis; E. Salas; H. Hendrick (Eds.); **Handbook of human factors and ergonomics methods**. p.20.1–20.8, 2005. United States of America: CRC Press.

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**, v. 34, n. 8, p. 759–764, 2002. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778802000944>>. Acesso em: 3/1/2014.

NOGUEIRA, C. R. B. Princípios Fisiológicos do Sistema Cardiovascular. In: L. C. de Souza (Ed.); **Fisioterapia Intensiva**. 1st ed., p.25–31, 2007. Rio de Janeiro: Atheneu.

OLESEN, B. W. Indoor environment-health-comfort and productivity. **Proceedings of Clima**, 2005. Disponível em: <<http://www.ahoch.ch/referate/oleseen.pdf>>. Acesso em: 3/1/2014.

PARSONS, K. C. The estimation of metabolic heat for use in the assessment of thermal comfort. **Report from Loughborough University, UK**, p. 301–308, 1989. Disponível em: <http://nceub.commoncense.info/uploads/Paper27_Parsons.pdf>. Acesso em: 30/12/2013.

PARSONS, K. C. Maintaining health, comfort and productivity in heat waves. **Global health action**, v. 2, p. 1–7, 2009. Disponível em: <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2799322&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>>. Acesso em: 22/12/2013.

PARSONS, K. C. Occupational health impacts of climate change: current and future ISO standards for the assessment of heat stress. **Industrial Health**, v. 51, n. 1, p. 86–100, 2013. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23411759>>. .

PAULA, G. A. **Modelos de regressão: com apoio computacional**. São Paulo-SP: Instituto de Matemática e Estatística, 2013.

PIVETTA, M. Extremos do clima. **Pesquisa FAPESP**, v. 210, p. 16–21, 2013.

POKORNY, J.; JICHA, M. Coupling of the Models of Human Physiology and Thermal Comfort. **EPJ Web of Conferences**, v. 01077, p. 1–4, 2013. Disponível em: <http://www.epj-conferences.org/articles/epjconf/abs/2013/06/epjconf_efm2013_01077/epjconf_efm2013_01077.html>. Acesso em: 22/12/2013.

PRIMI, R. Inteligência: Avanços nos Modelos Teóricos e nos Instrumentos de Medida. **Avaliação Psicológica**, v. 23, n. 1, p. 67–77, 2003.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. DE. **Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2nd ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RAMALHO, J. J. DOS S. **Modelos de Regressão para dados de contagem**, 1996. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa.

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.

SANTI, S. **Fatores humanos como causas contribuintes para acidentes e incidentes aeronáuticos na aviação geral**, 2011. Brasília-DF: Monografia de especialização em Gestão da Aviação Civil da Universidade de Brasília.

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.

SBC, S. B. DE C. V diretrizes de monitorização ambulatorial da pressão arterial (mapa) e iii diretrizes de monitorização residencial da pressão arterial (mrpa). **Arquivo Brasileiro de Cardiologia**, v. 97, n. 3 (supl 3), p. 1–24, 2011.

SBC, S. B. DE C.; SBH, S. B. DE H.; SBN, S. B. DE N. VI Diretrizes Brasileiras de Hipertensão Arterial. **Arquivo Brasileiro de Cardiologia**, v. 95, n. 1 (supl 1), p. 1–51, 2010.

SCHELLEN, L.; LOOMANS, M. G. L. C.; KINGMA, B. R. M.; et al. The use of a thermophysiological model in the built environment to predict thermal sensation. **Building and Environment**, v. 59, p. 10–22, 2013. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132312001989>>. Acesso em: 21/12/2013.

SCHNELL, I.; POTCHTER, O.; EPSTEIN, Y.; et al. The effects of exposure to environmental factors on Heart Rate Variability: An ecological perspective. **Environmental Pollution**, v. 183, n. 0, p. 7–13, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749113000717>>. .

SHAFFER, F.; MCCRATY, R.; ZERR, C. L. A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability. **Frontiers in Psychology**, v. 5, n. September, p. 1–19, 2014. Disponível em: <<http://journal.frontiersin.org/journal/10.3389/fpsyg.2014.01040/full>>. Acesso em: 7/10/2014.

SILVA, N. R. DA. **Avaliação do conforto térmico**, 2007. Santos-SP: Monografia de especialização em Engenharia de Segurança da Universidade Santa Cecília.

SILVERTHORN, D. U. **Fisiologia humana: uma abordagem integrada**. 5th ed. Porto Alegre/RS: Artmed, 2010.

SINGI, G. O Coração. **Fisiologia Dinâmica**. 2nd ed., p.69–93, 2007. Rio de Janeiro: Atheneu.

SOBRAC, S. B. DE A. C. BRADIARRITMIA. Disponível em: <<http://www.sobrac.org/campanha/bradiarritmia-o-coracao-em-camera-lenta/>>. .

SOSNOWSKI, T.; SOBOTA, A.; RYNKIEWICZ, A. Program running versus problem solving: two patterns of cardiac response. **International journal of psychophysiology**, v. 86, n. 2, p. 187–93, 2012. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23000015>>. Acesso em: 17/1/2014.

STEPTOE, A.; KIVIMÄKI, M. Stress and cardiovascular disease. **Nature reviews. Cardiology**, v. 9, n. 6, p. 360–70, 2012. Nature Publishing Group. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22473079>>. Acesso em: 17/1/2014.

STEPTOE, A.; KIVIMÄKI, M. Stress and cardiovascular disease: an update on current knowledge. **Annual review of public health**, v. 34, p. 337–54, 2013. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23297662>>. Acesso em: 17/1/2014.

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. Antalya-Turkey. Disponível em: <http://sts.bwk.tue.nl/Loomans/homeML_publication_files/2010_Clima2010_Perfection.pdf>. Acesso em: 3/1/2014.

TADANO, Y. DE S.; UGAYA, C. M. L.; FRANCO, A. T. Método de regressão de Poisson : metodologia para avaliação do impacto da poluição atmosférica na saúde populacional. **Ambiente & Sociedade**, v. XII, n. 2, p. 241–255, 2009.

TAELMAN, J.; VANDEPUT, S.; VLEMINCX, E.; SPAEPEN, A.; HUFFEL, S. VAN. Instantaneous changes in heart rate regulation due to mental load in simulated office work. **European journal of applied physiology**, v. 111, n. 7, p. 1497–505, 2011. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21188414>>. Acesso em: 17/1/2014.

TALEGHANI, M.; TENPIERIK, M.; KURVERS, S.; DOBBELSTEEN, A. VAN DEN. A review into thermal comfort in buildings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 26, p. 201–215, 2013. Elsevier. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113003535>>. Acesso em: 22/12/2013.

THAM, K. W.; WILLEM, H. C. Room air temperature affects occupants' physiology, perceptions and mental alertness. **Building and Environment**, v. 45, n. 1, p. 40–44, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132309000985>>. .

THAYER, J. F.; HANSEN, A. L.; SAUS-ROSE, E.; JOHNSEN, B. H. Heart Rate Variability, Prefrontal Neural Function, and Cognitive Performance: The Neurovisceral Integration Perspective on Self-regulation, Adaptation, and Health. **Annals of Behavior Medicine**, v. 37, p. 141–153, 2009.

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

TOE, D. H. C.; KUBOTA, T. Development of an adaptive thermal comfort equation for naturally ventilated buildings in hot-humid climates using ASHRAE RP-884 database. **Frontiers of Architectural Research**, v. 2, n. 3, p. 278–291, 2013. Elsevier. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095263513000320>>. Acesso em: 22/12/2013.

TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. **Corpo humano - fundamentos de anatomia e fisiologia**. 8th ed. Porto Alegre/RS: Artmed, 2012.

TURKMAN, M. A. A.; SILVA, G. L. **Modelos Lineares Generalizados - da teoria à prática**. Lisboa, 2000.

VANOS, J. K.; WARLAND, J. S.; GILLESPIE, T. J.; KENNY, N. A. Review of the physiology of human thermal comfort while exercising in urban landscapes and implications for bioclimatic design. **International journal of biometeorology**, v. 54, n. 4, p. 319–34, 2010. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20155515>>. Acesso em: 22/12/2013.

VASCONCELOS, P. E. DE M. **Estudo da relação entre variáveis térmicas e o desempenho de estudantes da academia de polícia militar do estado da paraíba**, 2013. João Pessoa-PB: Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção da Universidade Federal da Paraíba.

VIEIRA, S. **Bioestatística: tópicos avançados**. Rio de Janeiro: Campus/Elsevier, 2004.

VIMALANATHAN, K.; BABU, T. R. The effect of indoor office environment on the work performance, health and well-being of office workers. **Journal of environmental health science and engineering**, v. 12, n. 1, p. 113, 2014.

VUKSANOVIĆ, V.; GAL, V. Heart rate variability in mental stress aloud. **Medical engineering & physics**, v. 29, n. 3, p. 344–9, 2007. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16807051>>. Acesso em: 17/1/2014.

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. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.10.007>>. Acesso em: 17/12/2013.

WHARTON, W.; HIRSHMAN, E.; MERRITT, P.; et al. Lower blood pressure correlates with poorer performance on visuospatial attention tasks in younger individuals. **Biological psychology**, v. 73, n. 3, p. 227–34, 2006. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16701935>>. Acesso em: 1/11/2014.

WONG, N. H.; KHOO, S. S. Thermal comfort in classrooms in the tropics. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 4, p. 337–351, 2003. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778802001093>>. Acesso em: 26/8/2014.

WU, S.; DENG, F.; LIU, Y.; et al. Temperature, traffic-related air pollution, and heart rate variability in a panel of healthy adults. **Environmental research**, v. 120, p. 82–9, 2013. Elsevier. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2012.08.008>>. Acesso em: 22/12/2013.

XAVIER, A. A. DE P. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2o grau da região de Florianópolis**, 1999. Florianópolis-SC: Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

YAO, Y.; LIAN, Z.; LIU, W.; et al. Heart rate variation and electroencephalograph - the potential physiological factors for thermal comfort study. **Indoor Air**, v. 19, n. 2, p. 93–101, 2009. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1600-0668.2008.00565.x>>. Acesso em: 6/11/2014.

YAO, Y.; LIAN, Z.; LIU, W.; SHEN, Q. Experimental study on physiological responses and thermal comfort under various ambient temperatures. **Physiology & behavior**, v. 93, n. 1-2, p. 310–21, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031938407003733>>. Acesso em: 26/8/2014.

YAU, Y. H.; CHEW, B. T. Thermal comfort study of hospital workers in Malaysia. **Indoor air**, v. 19, n. 6, p. 500–10, 2009. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19719535>>. Acesso em: 6/1/2014.

ZANETTI, H. R.; FERREIRA, L. F.; HADDAD, E. G.; et al. Análise das respostas cardiovasculares agudas ao exercício resistido em diferentes intervalos de recuperação. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 19, n. 3, p. 168–170, 2013.

ZHANG, Y.; ZHANG, J.; CHEN, H.; DU, X.; MENG, Q. Effects of step changes of temperature and humidity on human responses of people in hot-humid area of China. **Building and Environment**, v. 80, n. 0, p. 174–183, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132314001735>>. .

ANEXO 1 – PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA

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

CERTIDÃO

Certifico que o Comitê de Ética em Pesquisa do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal da Paraíba – CEP/CCS aprovou por unanimidade na 5ª Reunião realizada no dia 22/05/2014, o Projeto de pesquisa intitulado: **“AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS CARDIOVASCULAR E DESEMPENHO COGNITIVO DE ESTUDANTES DE AMBIENTES INTELIGENTES DE ENSINO DO CENTRO DE TECNOLOGIA DA UFPB SUBMETIDOS À VARIAÇÃO DE TEMPERATURA AMBIENTAL”** da pesquisadora Joseana Celiza Fernandes Siqueira. Protocolo 0249/14. CAAE: 31037614.0.0000.5188.

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


Andrea Márcia da C. Lima
Mat. SIAPE 1117510
Secretária do CEP-CCS-UFPB

APÊNDICE 1 – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Prezado (a) Senhor (a)

Esta pesquisa é sobre **AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS CARDIOVASCULARES E DESEMPENHO COGNITIVO DE ESTUDANTES DE AMBIENTES INTELIGENTES SUBMETIDOS À VARIAÇÃO DE TEMPERATURA DO AR** e está sendo desenvolvida pela pesquisadora Joseana Celiza Fernandes Siqueira, 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 relação entre os parâmetros cardiovasculares (frequência cardíaca e pressão arterial) e o desempenho cognitivo de alunos submetidos à variação de temperatura do ar em ambientes de ensino; Avaliar o desempenho dos alunos através de funções cognitivas utilizadas em processos de aprendizagem; Avaliar a variabilidade da pressão arterial e da frequência cardíaca durante a aplicação de testes de desempenho cognitivo em diferentes temperaturas do ar, 20°C, 24°C e 30°C; Verificar as correlações entre a temperatura do ar e variabilidade da pressão arterial; variabilidade da frequência cardíaca e desempenho cognitivo nos testes.

A finalidade deste trabalho é contribuir para melhor conhecimento da relação entre a saúde 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; coleta de dados de frequência cardíaca, pressão arterial e bioimpedância; 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 saúde ou de engenharia de produção e publicar em revista científica.

Salientamos que esta pesquisa será gravada (pressão arterial, frequência cardíaca) 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 Joseana Celiza Fernandes Siqueira, através de e-mail: joseanaceliza@gmail.com; de telefone: (83) 9844-3970 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,

Joseana Celiza Fernandes Siqueira

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.

APÊNDICE 2 – MODELO DE PLANILHA DE COLETA DE DADOS PRÉ E PÓS-TESTE

COLETA DE DADOS – TURMA: _____ - DATA: _____

# da mesa	Peso 1	Peso 2	Altura
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			

DADOS INICIAIS

# da mesa	PAS In1	PAD In1	FC In1	PAS In2	PAD In2	FC In2
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						

DADOS FINAIS

# da mesa	PAS Fin1	PAD Fin1	FC Fin1	PAS Fin2	PAD Fin2	FC Fin2
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						