



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

**ELAINE GONÇALVES SOARES DE MEDEIROS**

**ESTUDO TERMOAMBIENTAL EM VIATURAS UTILIZADAS NOS  
SERVIÇOS DE RADIOPATRULHAMENTO NO ESTADO DA PARAÍBA**

JOÃO PESSOA

2014

**ELAINE GONÇALVES SOARES DE MEDEIROS**

**ESTUDO TERMOAMBIENTAL EM VIATURAS UTILIZADAS NOS SERVIÇOS DE  
RADIOPATRULHAMENTO NO ESTADO DA PARAÍBA**

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

2014

**ELAINE GONÇALVES SOARES DE MEDEIROS**

**ESTUDO TERMOAMBIENTAL EM VIATURAS UTILIZADAS NOS  
SERVIÇOS DE RADIOPATRULHAMENTO NO ESTADO DA PARAÍBA**

**DATA DA DEFESA:** 31/01/2014

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

**HORÁRIO:** 10h

**BANCA EXAMINADORA**

---

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

---

Examinador interno – Prof. Antonio Souto Coutinho (Dr.)

---

Examinador externo – Prof. Antonio Farias Leal (Dr.)

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, hoje e sempre, agradeço ao meu Deus amado, por ter me abençoado e guiado durante toda a minha vida e em especial durante a conclusão de mais esta etapa. A Ele toda honra, glória e louvor!

Agradeço à minha família: meu esposo, Aníbal Filho, por todo o amor, paciência e compreensão; meus pais, Elias e Claudete, pelo amor incondicional sempre a mim dedicado; e meu irmão Paolo, meu orgulho, que mesmo de longe acompanha e vibra a cada conquista alcançada. A vocês, por todo o apoio, amor, dedicação, paciência e colaboração, só posso dizer: amo-os!

Aos amigos do grupo de pesquisa CESET, obrigada pelo apoio dedicado a mim e à minha pesquisa. Erivaldo, Fábio, Júlia, Roberta, Flávia e Priscila, esta conquista também pertence um pouco a vocês.

A todos os colegas do PPGEF, muito obrigada pelo companheirismo, desde as disciplinas até este final. Em especial, agradeço aos amigos que me acompanham desde a graduação: Walton, Vitória e Raphael.

Agradeço ao meu orientador, prof. Dr. Luiz Bueno da Silva, que me deu a honra de me acompanhar desde a graduação, passando pelo PIBIC, Apoio Técnico e agora o mestrado. Por todo o ensinamento, atenção e compreensão, só posso agradecer-lhe.

A todos os que compõem o PPGEF: professores, alunos e funcionários, agradeço por todo o apoio e solicitude. Em especial, agradeço à Ana Araújo e ao professor Dr. Antonio Souto Coutinho por toda a disposição em sempre ajudar.

Agradeço igualmente à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo consentimento da bolsa de estudos de Mestrado.

## RESUMO

Um dos ambientes de trabalho cada vez mais comuns no século XXI é o automóvel. Este é utilizado pelas forças armadas na realização da atividade de radiopatrulhamento por parte das Polícias Militares. Sendo a Paraíba um estado de clima tropical e semiárido, considerando o uniforme padrão utilizado pelos policiais para a atividade em questão, além dos instrumentos necessários à atividade, avaliações relacionadas ao conforto térmico dos policiais em atividade de radiopatrulhamento motorizado se tornam necessárias, sendo este o objetivo do presente trabalho. Para tanto, foram aplicadas as normas ISO 14505 (2007): *Ergonomics of the thermal environment – Evaluation of thermal environments in vehicles*; ISO 7243 (1989): *Hot environments – Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index* e ISO 7933 (1989): *Hot environments – Analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation of required sweat rate*. Os resultados mostraram que todos os parâmetros considerados na ISO 14505-3 (2006) apontaram o ambiente térmico como desconfortável. Além disto, após a correção do fator de isolamento térmico para as tabelas do IBUTG, com um  $\overline{IBUTG} = 27,88^{\circ}\text{C}$  conclui-se que as atividades em estudo não podem ser realizadas sem que medidas de precaução sejam tomadas. Ainda, o índice de sudorese requerida mostrou-se abaixo do máximo permitido, entretanto, a fração de pele molhada requerida ( $w_{req}$ ) é igual à fração de pele molhada máxima ( $w_{max}$ ), expondo os indivíduos à situação de perigo. Desta forma, nota-se que a atividade de radiopatrulhamento realizada pelos Policiais Militares do 1º Batalhão da Paraíba é considerada como inadequada no que se refere aos parâmetros térmicos.

**Palavras-chave:** Conforto térmico. Polícia Militar. Viatura.

## ABSTRACT

One increasingly common workplace in the twenty-first century is the automobile. It is used to realize the activity of car patrolling by the Military Police. Being the state of Paraíba in a tropical and semi-arid climate, considering the standard uniform used by the police for the activity concerned, besides the instruments needed for the activity, ratings related to thermal comfort of officers on the car patrolling activity becomes summary, being this the objective of this study. For this purpose the following standards were applied: ISO 14505 (2007): Ergonomics of the thermal environment - Evaluation of thermal environments in vehicles, ISO 7243 (1989): Hot environments - Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index and ISO 7933 (1989): Hot environments - Analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation of required sweat rate. The results showed that all the parameters considered in ISO 14505-3 (2006) showed the thermal environment as uncomfortable. Moreover, after correction of the thermal insulation factor for the WBGT index, considering a  $\overline{WBGT} = 27.88$  ° C it is determined that the activities under study can not be performed without precautionary steps to be taken. Still, the required sweating rate was below the maximum allowed, however, the fraction of required wet skin ( $w_{req}$ ) is equal to the fraction of maximum wet skin ( $w_{max}$ ), exposing the subjects to the danger. Thus, it is noticed that among the studied parameters, the activity of car patrolling performed by the Military Police of the 1st Battalion of Paraíba is considered inadequate in relation to the thermal parameters.

**Keywords:** Thermal comfort. Military Police. Police car.

## LISTA DE FIGURAS

|  |     |
|--|-----|
| Figura 01 – Uniforme para radiopatrulhamento motorizado .....                      | 18  |
| Figura 02 - <i>Ranking</i> da importância das diferentes condições ambientais..... | 29  |
| Figura 03 - Parâmetros determinantes do conforto térmico .....                     | 31  |
| Figura 04 - Sistema, vizinhança e fronteira .....                                  | 36  |
| Figura 05 - Balanço térmico do corpo humano.....                                   | 41  |
| Figura 06 - Processos de regulação comportamental e fisiológica .....              | 42  |
| Figura 07 – Manequim térmico.....  | 53  |
| Figura 08 - Manequim de sensores aquecidos.....                                    | 54  |
| Figura 09 – Arranjos com sensores de conforto.....                                 | 54  |
| Figura 10 - Representação de passageiro virtual.....                               | 63  |
| Figura 11 - Viatura utilizada na pesquisa .....                                    | 75  |
| Figura 12 - Visualização do fardamento utilizado.....                              | 76  |
| Figura 13 - Policial respondendo ao questionário da ISO 14505-3 (2006).....        | 76  |
| Figura 14- Medidor de estresse térmico da marca <i>Instrutherm</i> .....           | 79  |
| Figura 15 - Homocedasticidade do modelo m2 .....                                   | 106 |
| Figura 16 - Gráfico Q-Q Plot para o modelo m2.....                                 | 107 |
| Figura 17–Determinação dos pontos de alavancagem do modelo m2.....                 | 107 |
| Figura 18 - Homocedasticidade do modelo m3 .....                                   | 109 |
| Figura 19 - Gráfico Q-Q Plot para o modelo m3.....                                 | 110 |
| Figura 20 - Determinação dos pontos de alavancagem do modelo m3 .....              | 111 |
| Figura 21 - Determinação da distância de Cook para o modelo m3.....                | 111 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|   |     |
|---|-----|
| Gráfico 01 - Percepção térmica dos policiais nas viaturas                     | 98  |
| Gráfico 02 - Conforto térmico dos policiais nas viaturas                      | 99  |
| Gráfico 03 - Sensação de suor dos policiais nas viaturas                      | 100 |
| Gráfico 04 - Preferência térmica dos policiais nas viaturas                   | 101 |
| Gráfico 05 - Aceitação do ambiente térmico dos policiais nas viaturas         | 103 |
| Gráfico 06 - Satisfação quanto ao ambiente térmico dos policiais nas viaturas | 104 |



## LISTA DE QUADROS

|  |    |
|--|----|
| Quadro 01 - Limites de exposição ao calor .....                                    | 47 |
| Quadro 02 - Taxas de metabolismo por tipo de atividade .....                       | 48 |
| Quadro 03 - Fatores de desconforto em veículos .....                               | 60 |
| Quadro 04 - Variáveis e indicadores da pesquisa .....                              | 77 |
| Quadro 05 - Correção do IBUTG para diferentes tipos de roupas .....                | 90 |
| Quadro 06 - Limites de exposição ao calor para atividade de radiopatrulhamento ... | 90 |

## LISTA DE TABELAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 01 - Taxa Metabólica para diferentes atividades segundo ISO 7730/2005 ...             | 34  |
| Tabela 02 - Índice de resistência térmica para vestimentas.....                              | 35  |
| Tabela 03 - Metabolismo e Isolamento térmico das vestimentas dos policiais .....             | 85  |
| Tabela 04 - Média das variáveis Idade, Peso e Estatura .....                                 | 86  |
| Tabela 05 - Média e desvio padrão para as variáveis térmicas.....                            | 87  |
| Tabela 06 - Média e desvio padrão para o índice IBUTG .....                                  | 89  |
| Tabela 07 - Média e desvio padrão para $SW_{req}$ e índices relacionados .....               | 92  |
| Tabela 08 - Média, desvio padrão, máximo e mínimo para as variáveis do balanço térmico ..... | 94  |
| Tabela 09 - Respostas subjetivas .....   | 96  |
| Tabela 10 - Porcentagem das respostas com relação à Sensação Térmica .....                   | 97  |
| Tabela 11 - Porcentagem das respostas com relação ao Conforto Térmico.....                   | 98  |
| Tabela 12 - Porcentagem das respostas com relação ao Suor.....                               | 100 |
| Tabela 13 - Porcentagem das respostas com relação à Preferência Térmica .....                | 101 |
| Tabela 14 - Porcentagem das respostas com relação à Aceitação.....                           | 102 |
| Tabela 15 - Porcentagem das respostas com relação à Satisfação.....                          | 103 |
| Tabela 16- Estimativas dos coeficientes do modelo m1.....                                    | 105 |
| Tabela 17 - Estimativas dos coeficientes do modelo m2.....                                   | 106 |
| Tabela 18 - Estimativa dos coeficientes do modelo m3 .....                                   | 108 |

# SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>13</b> |
| 1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA .....   | 15        |
| 1.2 JUSTIFICATIVA .....   | 19        |
| 1.3 OBJETIVOS.....  | 22        |
| a) <i>Objetivo Geral</i> .....  | 22        |
| b) <i>Objetivos Específicos</i> .....   | 22        |
| <b>CAPÍTULO 2 – ESTADO DA ARTE .....</b>  | <b>23</b> |
| 2.1 ERGONOMIA .....   | 23        |
| 2.2 ERGONOMIA AMBIENTAL.....  | 25        |
| 2.3 O CONCEITO DE CONFORTO TÉRMICO.....   | 27        |
| 2.4 VARIÁVEIS DO CONFORTO TÉRMICO .....   | 30        |
| 2.4.1 <i>Variáveis ambientais</i> .....   | 31        |
| 2.4.2 <i>Variáveis pessoais</i> .....   | 33        |
| 2.5 O AMBIENTE TÉRMICO .....  | 35        |
| 2.5.1 <i>Mecanismos de transmissão de calor</i> .....   | 36        |
| 2.5.2 <i>Balanço térmico</i> .....  | 41        |
| 2.6 ÍNDICES E NORMAS DE CONFORTO TÉRMICO .....  | 43        |
| — <i>ISO 7933 – Ambientes quentes: determinação analítica e interpretação do estresse térmico usando a taxa de suor requerida <math>SW_{req}</math>(1989)</i> ..... | 43        |
| — <i>ISO 7243 – Ambientes quentes: estimativa de estresse térmico em trabalhadores usando o IBUTG (1989)</i> .....  | 46        |
| — <i>Avaliação de ambientes térmicos em veículos (Norma ISO 14505, 2006 e 2007)</i> .....   | 48        |
| 2.7 O CONFORTO TÉRMICO EM VEÍCULOS.....   | 57        |
| 2.8 A ATIVIDADE POLICIAL E O CONFORTO TÉRMICO .....   | 73        |
| <b>CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>   | <b>74</b> |
| 3.1 NATUREZA E CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....   | 74        |
| 3.2 POPULAÇÃO E AMOSTRA .....   | 75        |
| 3.3 VARIÁVEIS E INDICADORES DA PESQUISA .....   | 76        |
| 3.4 COLETA DE DADOS.....  | 77        |
| 3.4.1 <i>Variáveis pessoais</i> .....   | 78        |
| 3.4.2 <i>Variáveis ambientais</i> .....   | 79        |
| 3.4.3 <i>Índices de estresse térmico</i> .....  | 80        |
| 3.4.4 <i>Obtenção dos parâmetros que compõem o balanço térmico</i> .....  | 80        |
| 3.4.5 <i>Avaliação subjetiva</i> .....  | 80        |
| 3.5 TRATAMENTO DOS DADOS .....  | 83        |
| <b>CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>   | <b>85</b> |
| 4.1 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS PESSOAIS .....  | 85        |
| 4.2 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS .....  | 86        |
| 4.3 ANÁLISE DOS ÍNDICES DE ESTRESSE TÉRMICO .....   | 88        |
| 4.4 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS DO BALANÇO TÉRMICO.....   | 94        |
| 4.5 AVALIAÇÃO SUBJETIVA .....   | 95        |
| 4.5.1 <i>Resultados para a escala de “Sensação Térmica”</i> .....   | 97        |
| 4.5.2 <i>Resultados para a escala de “Conforto Térmico”</i> .....   | 98        |

|   |            |
|---|------------|
| 4.5.3 Resultados para a escala de "Suor" .....                | 99         |
| 4.5.4 Resultados para a escala de "Preferência Térmica" ..... | 100        |
| 4.5.5 Resultados para a escala de "Aceitação Térmica" .....   | 102        |
| 4.5.6 Resultados para a escala de "Satisfação Térmica" .....  | 103        |
| 4.6 MODELAGEM MATEMÁTICA .....                                | 105        |
| <b>CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO .....</b>    | <b>114</b> |
| 5.1 DIREÇÕES FUTURAS .....                                    | 117        |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                       | <b>118</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>   | <b>129</b> |
| ANEXO 01.....   | 130        |

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Sendo uma ciência que estuda o relacionamento entre o homem e seu trabalho, a Ergonomia auxilia o indivíduo em sua inquietação inerte em adaptar o ambiente natural de maneira a atender suas necessidades, sejam elas fisiológicas ou psicológicas.

Derivada do grego *ergon* (trabalho) e *nomos* (leis) para denotar a ciência do trabalho, a ergonomia 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.

De acordo com a *Internacional Ergonomics Association* – IEA (2000), a ergonomia é a disciplina científica relacionada à compreensão das interações entre os seres humanos e outros elementos de um sistema, sendo o campo profissional que aplica os princípios teóricos, dados e métodos para projetar, à fim de otimizar o bem-estar humano e o desempenho geral do sistema. Os ergonomistas, com isso, 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.

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

Guérin *et al* (2001) ressalta a importância de se compreender o trabalho para que se possa transformá-lo. Para o autor, as atividades de um indivíduo são resultado de numerosos fatores externos e internos aos mesmos e trazem consequências múltiplas tanto para ele mesmo, como para a produção e o meio de trabalho. Assim, os resultados da atividade de trabalho devem ser relacionados com a produção tanto de um ponto de vista qualitativo quanto quantitativo, assim como com as consequências acarretadas aos trabalhadores, que podem ser positivas e negativas. O autor ainda afirma que entre os determinantes de uma atividade encontram-se fatores internos (sexo, idade, tempo de serviço, estado de saúde, etc.), assim como fatores externos (objetivos a alcançar, meios técnicos,

organização do trabalho, regras e normas, espaço de trabalho, etc.).

De uma maneira geral a Ergonomia pode ser definida como a aplicação do conhecimento das características humanas ao projeto dos sistemas. Por sua vez, as pessoas operam os sistemas e ambos estão inclusos em um ambiente. Sendo assim, a ergonomia ambiental preocupa-se com a forma pela qual há a interação entre as pessoas e o ambiente, da perspectiva da ergonomia (PARSONS, 2000). Assim, o ambiente físico, considerando a influência que exerce no desempenho, produtividade e saúde do trabalhador, seja essa influência positiva ou negativa, é o objeto de estudo da Ergonomia Ambiental (IIDA, 2005; MAHNKE, 1996).

A constante interação do homem com seu ambiente de trabalho pode causar tensões nos indivíduos, sejam elas de ordem física ou psicológica. Por outro lado, ambientes que oferecem condições favoráveis exercem impacto positivo sobre as pessoas. Por permanecerem longos períodos em ambientes inadequados, trabalhadores podem apresentar sintomas como desconforto, fadiga, dores, irritação, distúrbios nervosos, estresse, dentre outros (GUIMARÃES, 2004; MARCHI, 2007; PARSONS, 2000).

A inserção da Ergonomia no projeto de ambientes é ressaltada por Villarouco (2002). Para a autora, a adaptabilidade e conformidade do espaço às atividades ali desenvolvidas são questões inerentes à Ergonomia do ambiente. Para tanto, princípios da Antropometria, Psicologia Ambiental e da Ergonomia Cognitiva são utilizados de maneira a avaliar o ambiente em questão. Além disso, conceitos de conforto térmico, acústico e lumínico também são inseridos na análise. O conforto térmico é um parâmetro chave para um ambiente de trabalho saudável e produtivo (TAYLOR; FULLER; LUTHER, 2008, WAGNER *et al*, 2007).

Um dos ambientes de trabalho cada vez mais comuns no século XXI é o automóvel. Este é utilizado por motoristas, taxistas, pessoas que precisam deslocar-se de maneira contínua durante a execução de suas atividades e até mesmo pelas forças armadas, como no caso da realização da atividade de radiopatrulhamento por parte das Polícias Militares.

A respeito do automóvel, a linha de produção idealizada por Ford no início do século XX trouxe não somente as inovações de um novo método de produção, mas também, através do Ford T, trouxe às pessoas uma nova maneira de atender suas necessidades de deslocamento, de forma mais rápida que os demais meios de

transportes existentes na época (MOURA, 2007).

Ainda para o autor, com o passar dos anos somados às mudanças nos paradigmas da sociedade, as necessidades a serem atendidas por meio de um automóvel mudaram significativamente, o que inclui também mudanças nas suas formas de utilização, onde o automóvel passou de um mero modo de locomoção até o ponto de ser utilizado como ferramenta e meio de trabalho. Sendo assim, os projetos desenvolvidos anteriormente para os carros já se mostravam obsoletos, criando a necessidade da introdução de novos itens que trouxessem conforto e comodidade aos seus ocupantes.

### **1.1 Delimitação do tema**

Hense (2004) define o conforto térmico como sendo “um estado no qual não há impulsos dirigidos à correção do ambiente pelo comportamento”. Por outro lado, a Associação Americana dos Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar-Condicionado (ANSI/ASHRAE55, 2010) traz à tona a delimitação de conforto térmico como sendo “a condição da mente onde é expressa a satisfação com o ambiente térmico”.

De uma maneira geral, pode-se dizer que o conforto térmico ocorre quando a temperatura do corpo não varia de maneira abrupta, a umidade da pele é baixa e o esforço físico de regulação da temperatura é minimizado. Além disso, as atitudes comportamentais dos indivíduos influenciam no conforto (DJONGYAN, TCHINDA e NKOMO, 2010).

Frota e Schiffer (2005) elencam as seguintes premissas que devem ser atendidas para que se possa dizer que um indivíduo se encontra em estado de conforto térmico:

- Neutralidade térmica do indivíduo (através de trocas térmicas por radiação, condução e evaporação, todo o calor gerado pelo corpo deve ser dissipado para o ambiente na mesma proporção);
- A taxa de secreção do suor e a temperatura da pele do indivíduo devem estar dentro de limites aceitáveis a depender da atividade que esteja sendo desenvolvida;

- O indivíduo deve estar livre de desconfortos térmicos localizados, sejam eles advindos de diferenças na temperatura entre superfícies opostas, correntes de ar ou de pisos quentes ou frios.

Parsons (2000) cita quatro principais maneiras de se avaliar a resposta humana em relação ao ambiente no qual está inserido, através de métodos subjetivos (incluem análise de discurso e grupos focais), métodos objetivos (onde a resposta ao ambiente é medida diretamente), métodos comportamentais (observa-se o comportamento de um indivíduo ou grupo relacionado ao ambiente, como mudanças de posturas, por exemplo) e métodos de modelagem (as predições da resposta humana são feitas através de modelos).

Com relação à modelagem térmica, podem-se quantificar seis fatores principais de maneira a avaliar a resposta humana a ambientes térmicos (DJONGYAN; TCHINDA; NKOMO, 2010): a temperatura do ar, temperatura radiante, velocidade do ar, umidade, a atividade realizada pelos indivíduos e a resistência térmica das vestimentas utilizadas. Um índice térmico integra estes valores de modo a prover um único valor relacionando os efeitos destas variáveis nas pessoas.

Trabalhos recentes publicados na área de conforto térmico no Brasil, constantes na base de dados *Scielo*, demonstraram a dominância da área de eficiência térmica no que concerne à engenharia agrícola, ao encontrar-se como resultado sete dos dez trabalhos recentemente publicados da base de dados nesta área (SILVA *et al*, 2011; GARCIA *et al*, 2011; ROSA *et al*, 2011; FIORELLI *et al*, 2011; FONSECA, ALMEIDA e PASSINI, 2011; FERNANDES *et al*, 2011; SILVA *et al*, 2011). Por outro lado, também se encontram trabalhos na área de engenharia civil, relacionado a conforto térmico em ambientes construídos (KUCHEN, 2011; SOUZA; FONTANELLA, 2011, SOUZA; AMPARO; GOMES, 2011).

Na base de dados *Science Direct*, conclui-se que a ênfase dada pelos pesquisadores também recai sobre a eficiência térmica em ambientes construídos, dado que entre os dez trabalhos mais recentemente publicados, oito pertencem a esta área (SAMIA, RAFIK; LUC, 2012; RODRIGO, BEECK e BUCHLIN, 2012. DJONGYANG, TCHINDA e NJOMO, 2012; FILIPPÍN e LARSEN, 2012; BERMEJO, 2012; HA *et al*, 2012; GRACIA *et al*, 2011; JI *et al*, 2011). Foram encontrados também trabalhos que relacionam a medicina ao conforto térmico (CORNELIS *et al*, 2012; FRULLANI, Y, 2012).

Pode-se dizer que o crescimento de trabalhos na área de eficiência



energética e térmica surge da necessidade cada vez maior em se reduzirem os custos de consumo de energia elétrica, principalmente nos ambientes construídos (DJONGYANG, TCHINDA e NJOMO, 2010).

Sendo assim, pode-se notar uma lacuna nas pesquisas no que diz respeito ao conforto térmico de trabalhadores, seja para aqueles que realizam suas atividades em um ambiente fechado ou não.

Uma das atividades de trabalho exercida em ambientes fechados ou ao ar livre é o dos policiais militares. A demanda de tarefas, ou seja, a resposta a ocorrências pode advir por iniciativa própria, solicitação de terceiros ou determinação superior (MONJARDET, 2002). Para a realização das atividades, os meios de locomoção mais utilizados pelos policiais são a pé e motorizado (VASCONCELOS, 2007).

As situações às quais os policiais se submetem durante o cumprimento de sua jornada de trabalho exigem rapidez, percepção, memória, prudência, observação, concentração, precisão física e psicológica, além da exposição dos indivíduos a situações desfavoráveis, como acidentes, ferimentos e a possibilidade de morte (RODRIGUEZ-AÑEZ, 2003).

Além disso, geralmente, o policial está equipado com instrumentos necessários para o cumprimento da sua jornada de trabalho (que pode ser de 12 ou 24 horas), como: armas, algemas, cassetete, colete à prova de balas, entre outros, sendo que somente o colete pesa em torno de 1,6 a 2,6 kg (SIMÕES, 2003). Todos estes fatores contribuem negativamente para o conforto físico e mental dos agentes deste tipo de trabalho.

A Polícia Militar do Estado da Paraíba (PMPB) disponibiliza em seu *site* na *internet* o regulamento relacionado aos uniformes dos policiais. Para serviços de radiopatrulhamento motorizado e tropas especializadas o uniforme requerido é o seguinte (GOVERNO DA PARAÍBA, 2012):

- Boina preta;
- Luvas de ombro na cor preta para oficiais, praças especiais e subtenentes, com insígnias correspondentes bordadas;
- Insígnia bordada com linha cor de prata sobre escudete de tecido na cor de fundo preta, em ambas as mangas, para os demais praças;
- Japona cinza, em *ripstop*, manga longa;
- Camisa interna, meia manga, em malha branca nas unidades de trânsito e

- escolas deformação; e preta para demais unidades;
- Capa de colete na cor preta;
  - Cinto de nylon preto com fivela preta;
  - Cinto de guarnição preto. Nas unidades de trânsito, na cor branca;
  - Calça ou culote cinza, em *ripstop*;
  - Meias pretas;
  - Coturnos e cadarços pretos ou botas pretas.

A Figura 01 ilustra o uniforme utilizado pelos policiais para a realização do radiopatrulhamento motorizado:

**Figura 01 – Uniforme para radiopatrulhamento motorizado**



**Fonte: Governo da Paraíba, 2012**

Toda esta vestimenta interfere de maneira direta no conforto térmico dos indivíduos, já que aumenta o nível de resistência térmica, variável esta presente nos índices de balanço térmico. Apesar destes dados, não se encontrou na literatura recente pesquisada, como mencionado anteriormente, estudos realizados acerca do conforto térmico considerando as atividades dos policiais.

Considerando que a Paraíba é um estado com clima tropical e semiárido, que a resistência térmica das vestimentas utilizadas pelos policiais é alta, que informações acerca das condições térmicas de policiais em atividade de radiopatrulhamento serem praticamente inexistentes, resolveu-se realizar esta pesquisa, na tentativa de contribuir para o preenchimento desta lacuna.

Logo, busca-se a resposta ao seguinte problema: “Quais as condições de conforto térmico a que estão submetidos os policiais militares do estado da Paraíba

quando da realização de serviços de radiopatrulhamento motorizado?”.

## **1.2 Justificativa**

Criada no tempo do Império (1831), a Polícia Militar da Paraíba é o órgão público mais antigo em atividade no Estado. Sendo assim, a mesma participou de diversos e importantes fatos da história paraibana e até mesmo do País, como a revolução de 1930, o combate a movimentos armados em um Quartel do Exército no Recife em 1931, bem como foi a responsável pela vigilância do litoral paraibano durante a ocorrência da Segunda Guerra Mundial. Além disso, desde 1835, a fim de manter a ordem pública, mantém em todo o território estadual destacamentos policiais (LIMA, 2000).

Estando o estado da Paraíba situado na Região Nordeste, é sabido que o mesmo apresenta clima tropical e semi-árido, com temperatura média anual de 30° C (MARENGO, 2012). Sendo assim, as atividades exercidas em ambientes externos apresentam um fator agravante quanto ao conforto térmico dos indivíduos sujeitos a tais condições, já que nestes ambientes não há a possibilidade de climatização artificial, como o uso de condicionadores de ar.

lida (2005) menciona o fato de que o clima, a umidade e, de maneira mais incisiva, a temperatura, influenciam o desempenho dos trabalhadores, com influência comprovada através de estudos realizados na indústria e em laboratórios. Tais influências incidem sobre a produtividade e aumentam os riscos de acidentes.

A atenção com relação à saúde ocupacional dos profissionais que atuam na segurança pública, a exemplo dos policiais militares, tem sido minoritária (FRAGA, 2005). Para o autor, poucos estudos técnicos na área de atuação destes profissionais vêm sendo desenvolvidos no que tange à Gestão de Segurança e Saúde Ocupacional.

Esta situação não se repete em outros países desenvolvidos, a exemplo dos Estados Unidos e França, onde pesquisadores tem se dedicado à produção científica de soluções na área de segurança e saúde para tais profissionais (MARTINS, 2007).

Com relação ao estresse físico e psicológico, a Secretaria Nacional de

Segurança Pública (SENASP) divulgou em seu relatório de atividades referente aos anos de 2003 a 2006 o crescimento de aproximadamente 31% da taxa de ocorrência criminal sendo que os oficiais pertencentes à Polícia Militar são os que sofrem maior número de agressões (MINISTÉRIO DA JUSTIÇA, 2007).

Vasconcelos (2007) afirma que as condições de trabalho impostas aos policiais poderão interferir na qualidade do serviço prestado, a depender da configuração de tais condições.

Dentre essas condições, o conforto térmico é considerado um dos fatores que podem interferir nas condições de trabalho dos policiais militares que realizam o radiopatrulhamento, devido aos motivos supracitados. Sendo assim, considerando o clima da Região Nordeste e o tipo de vestimentas utilizadas pelos policiais militares quando da realização do seu serviço, pode-se inferir que tanto as características do veículo quanto as do fardamento utilizado, incluindo o colete a prova de balas, deve interferir no conforto térmico dos agentes.

Com relação à influência da vestimenta no conforto térmico dos policiais, a insatisfação térmica pode advir tanto através do desconforto causado pelo calor, quanto causado pelo frio, além de poder ser sentida no corpo todo ou somente em uma parte do mesmo. Em geral, o desconforto causado pelo calor pode ser provocado pela radiação solar durante o dia ou pela utilização de roupas muito pesadas (ISO 7730:2005).

A vestimenta utilizada pelo indivíduo atua como uma barreira à troca de calor ao manter uma camada, mesmo que mínima, de ar parado entre a superfície da pele e a roupa, dificultando a troca de calor por convecção e radiação (FROTA e SCHIFFER, 2005).

Além disso, a roupa diminui a evaporação do suor produzido, a depender da permeabilidade da roupa ao vapor d'água que é produzido. Assim, quanto menor a permeabilidade, menor será o calor removido do corpo através da evaporação (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 1999).

A vestimenta adequada para cada indivíduo é obtida como função da temperatura média ambiente, do calor produzido pelo organismo, do movimento do ar e, em alguns casos, da umidade do ar, além da atividade a ser desenvolvida pelo indivíduo (FROTA e SCHIFFER, 2005).

No que se refere ao colete a prova de balas, considerado que se trata de um equipamento de proteção individual indispensável à execução do serviço dos

policiais, tem-se por conhecimento que o mesmo começou a ser utilizado no Brasil a partir da segunda metade da década de 1980. Apesar de apresentar benefícios irrefutáveis, frequentemente há reclamações dos agentes a respeito do mesmo, alegando desconforto físico e térmico (VASCONCELOS, 2007).

Wickwire *et al* (2007) afirmam que o colete a prova de balas requerido pelas forças militares contém uma grossa camada de revestimento a qual cobre a maior parte da superfície do tronco do usuário. Os autores também levantam problemas relacionados a seu uso, como o relacionado à termoregulação em ambientes quentes, devido à redução da capacidade da dissipação igualitária do calor. Sendo assim, os agentes se dividem entre a proteção de sua vida e o risco de possíveis lesões devido ao calor excessivo.

Devido aos diversos aspectos levantados, bem como à escassez de estudos a respeito do conforto térmico de policiais enquanto da realização do radiopatrulhamento, justifica-se a realização desta pesquisa, visando não somente à aquisição do conhecimento e a contribuição para a ciência, mas também a contribuição para a sociedade como um todo, através da identificação da situação à qual se submetem os policiais em exercício de sua atividade. Tendo por base este conhecimento, as autoridades governamentais podem investir na melhoria da condição dos seus servidores.

### 1.3 Objetivos

#### a) Objetivo Geral

Determinar as condições de conforto térmico às quais estão submetidos os policiais militares da Paraíba lotados nos 1º Batalhão e 5º Batalhão da Polícia Militar do Estado da Paraíba (BPM) quando da realização do radiopatrulhamento.

#### b) Objetivos Específicos

- Identificar fatores térmicos que influenciam o conforto dos policiais quando da execução de suas atividades;
- Avaliar as condições térmicas sob o ponto de vista perceptivo do policial, através da norma ISO 14505 – *Ergonomics of the thermal environment – Evaluation of thermal environments in vehicles*;
- Realizar medições quantitativas a respeito do conforto térmico no interior das viaturas e determinar os valores para os índices de estresse térmico previstos nas normas ISO 7243 (1989) e ISO 7933 (1989), respectivamente IBUTG e  $SW_{req}$ ;
- Realizar análises comparativas entre a percepção térmica do policial e as medições das variáveis térmicas.

## CAPÍTULO 2 – ESTADO DA ARTE

### 2.1 Ergonomia

O termo Ergonomia foi utilizado pela primeira vez em 1857, pelo cientista polonês Wojciech Jastrzebowski, através de sua obra “Ensaio de Ergonomia ou Ciência do Trabalho, baseada nas leis objetivas da ciência sobre a natureza”. Neste momento, Jastrzebowski definiu a Ergonomia como sendo a ciência que estuda a utilização das capacidades e das forças humanas (MÁSCULO e VIDAL, 2011).

Ainda para os autores, a Engenharia de Fatores Humanos, termo pelo qual a Ergonomia firmou-se nos Estados Unidos, foi amplamente utilizada durante a Segunda Guerra Mundial, tendo por objetivo a consecução das características humanas, como capacidades, limites e limitações, para serem utilizadas no projeto de equipamentos, máquinas e ferramentas para que o ser humano fosse capaz de usá-las de forma segura e confortável.

Já no século XX, no início da década de 1950, o engenheiro Murrel apresentou uma definição mais concisa a cerca da Ergonomia, reconhecendo-a como disciplina científica. Murrel ainda criou a primeira associação nacional de Ergonomia, sob o nome de “*Ergonomic Research Society*”, cuja base era na Inglaterra. Esta associação reunia diversos profissionais que estudavam o trabalho do homem e sua adaptação ao mesmo, como psicólogos, engenheiros e fisiologistas (PEREIRA e ALCOBIA, 2006).

No ano de 1957 fundou-se nos Estados Unidos a Sociedade dos Fatores Humanos (*Human Factors Society*), sendo hoje o termo Ergonomia bem aceito na América do Norte. Em 1959 fundou-se a Associação Internacional de Ergonomia (IEA – *International Ergonomics Society*). Já em 1961 a IEA realizou o primeiro grande congresso a respeito da Ergonomia, em Estocolmo.

Em 2000 a IEA lançou a definição oficial sobre Ergonomia, como sendo

*“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 otimizar o bem estar humano e o desempenho global do sistema”.*

Segundo Karwowski (2006), 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. Com isso, a disciplina de Ergonomia promove uma abordagem holística do trabalho centrada na concepção no ser humano, que considera os sistemas físicos, cognitivos, sociais, organizacionais, ambientais e outros fatores relevantes, tendo como domínios de especialização dentro dos fatores humanos a *Ergonomia Física, Cognitiva e Organizacional*:

- *Ergonomia física*: relaciona-se às características dos indivíduos que se relacionam com o ambiente que os cerca, como anatomia, antropometria e fisiologia. Alguns dos assuntos abordados neste domínio são lesões musculoesqueléticas, manipulação de materiais, estudo do posto de trabalho, estudo de posturas adotadas, saúde e segurança no trabalho;
- *Ergonomia cognitiva*: relaciona-se aos processos mentais dos indivíduos, os quais interferem nas interações existentes entre os mesmos e os elementos do sistema. Pode-se citar como processos mentais estudados o raciocínio, a memória e a percepção. Alguns dos assuntos abordados neste domínio são o estresse no trabalho, carga de trabalho mental, estímulos de tomada de decisão e a interação existente entre o homem e a máquina, em especial o computador.
- *Ergonomia organizacional*: considera a interação dos indivíduos com o ambiente sócio-técnico no qual o mesmo está inserido durante a realização de suas atividades. Alguns dos assuntos abordados neste domínio são os novos paradigmas existentes no trabalho, como gestão da qualidade, trabalho em equipe, entre outros.

Porém, apesar de estes domínios serem bem aceitos atualmente, outras organizações ligadas à Ergonomia levantaram outras classificações a respeito da mesma, as quais podem ser consideradas mais específicas, já que consideram a grande interdisciplinaridade e diversidade que a Ergonomia apresenta (PEREIRA e ALCOBIA, 2006).

Deste modo, têm-se não três, mas sete áreas de especialização da Ergonomia:



- *Ergonomia ambiental*: analisa-se a interação entre o indivíduo e as condições ambientais que o cercam, como temperatura, ruído, vibração, iluminação e outras;
- *Ergonomia cognitiva*: analisam-se temas como o processo de recepção e interpretação de informações por parte do indivíduo e constitui-se na maior contribuição da Psicologia para a Ergonomia;
- *Ergonomia de projeto e desenvolvimento de produtos*: analisa-se e acompanha-se o projeto de produção dos produtos, aplicando os conceitos existentes na Ergonomia de modo a proporcionar itens que sejam adequados às necessidades humanas;
- *Ergonomia preventiva*: relaciona-se às áreas de Saúde e Segurança no trabalho, objetivando o estudo das condições laborais de saúde, segurança e conforto às quais se submetem os trabalhadores;
- *Ergonomia de necessidades específicas*: visa o desenvolvimento de projetos para a população que apresentam necessidades especiais, como deficientes, crianças e idosos.
- *Antropometria*: analisa as medidas do corpo humano com relação à capacidade para o trabalho, considerando-se tamanho, força e forma;
- *Fisiologia e Biomecânica*: analisam-se as atividades executadas pelo indivíduo visando adaptar seu projeto para que as tarefas sejam executadas sem risco para a saúde das pessoas.

## 2.2 Ergonomia ambiental

A maior parte da energia que compõe nosso ambiente deriva da radiação eletromagnética do sol. Aproximadamente 1373 W/m<sup>2</sup> entram na atmosfera terrestre e chegam à Terra onde são transformadas nas mais diversas formas de energia, a depender das necessidades da população. Estas formas de energia podem ser o calor, luz, energia mecânica, química ou elétrica (PARSONS, 2000).

Ainda para o autor, a enorme diversidade de ambientes aos quais as pessoas estão expostas é, assim, definida por meio desta energia, a qual pode variar em nível, característica e forma. Logo, a capacidade humana de interagir e

sobreviver a estes ambientes impulsionou a criação de ambientes “ótimos”, como os edifícios, bem como o uso de artifícios tecnológicos para sua adaptação ao homem, a exemplo dos condicionadores e aquecedores de ar disponíveis.

Para Costa, Campos e Villarouco (2012), a Ergonomia ambiental preocupa-se com o relacionamento entre o homem, a atividade a ser desenvolvida e os meios utilizados para tanto, o chamado sistema “homem-máquina-ambiente”. Ao focar-se na parte humana do sistema referido, a ergonomia procura adaptar os meios à tarefa, visando o bem estar do homem.

Para Marchi (2007) Ergonomia Ambiental dedica-se a estudar o ambiente físico, devido ao fato de que o mesmo é capaz de contribuir de maneira positiva ou negativa no desempenho e também na produtividade dos trabalhadores, além de interferir na consecução de suas atividades.

Ergonomia ambiental é entendida como a avaliação dos ambientes através de medidas físicas do mesmo, além de respostas subjetivas dos indivíduos que estão inseridos nestes locais (COSTA, CAMPOS e VILLAROUCO, 2012).

Diversos fatores contribuem para a constituição de um ambiente de trabalho. Dentre estes fatores, podem ser citados vibração, calor ou frio, ruído, luminosidade, partículas no ar, gases, pressão atmosférica, entre outros. Nos estudos de ergonomia ambiental é necessário considerar, além de todos estes fatores, como os mesmos interagem e de que maneira o ambiente poderá afetar os indivíduos que o ocupam (PARSONS, 2000).

A inadequação destes fatores ao ambiente de trabalho pode causar diversos efeitos adversos, como insatisfação, desconforto, diminuição da produtividade, aumento do risco de acidentes, além de possibilidade dos danos à saúde. Desta maneira, a mensuração, controle e acompanhamento dos fatores ambientais no trabalho servem não somente para reduzir, mas visam também eliminar estes efeitos (MARCHI, 2007).

Em especial, as condições termoambientais podem ter uma influência significativa na capacidade física dos ocupantes de um ambiente. Ao ter-se um ambiente excessivamente quente ou úmido, os indivíduos tendem a moverem-se mais vagarosamente e a cansarem-se mais rápido, devido à dificuldade de perderem calor para o ambiente.

De modo semelhante, ambientes frios podem causar enrijecimento muscular, o qual limita a habilidade para o desenvolvimento de tarefas e atividades.

Assim, o controle termoambiental se revela importante para a redução do esforço e das lesões musculares.

Sendo assim, como enfatizado anteriormente, a Ergonomia Ambiental objetiva realizar a análise da interação existente entre o ser humano e o ambiente onde o mesmo está inserido. Este ambiente, por sua vez, é caracterizado pelas grandezas: ruído, variáveis climáticas, pressão, luminosidade, vibrações, entre outras. De acordo com a classificação dos domínios da Ergonomia pela IEA, a Ergonomia Ambiental insere-se na especialização da Ergonomia Física (PEREIRA e ALCOBIA, 2006).

Reconhecidamente, há uma interação entre as pessoas e o meio físico que as envolve que ocorre de maneira dinâmica e contínua. Essas interações produzem tensões fisiológicas e psicológicas no homem. Sendo assim, é possível que surjam situações que levem o indivíduo a situações de irritação, diminuição de produtividade, desconforto e outras, podendo, desta forma, expor os mesmos a riscos não somente à saúde, mas às suas próprias vidas.

Logo, o conforto ambiental tem por função a adequação das necessidades ambientais (como térmicas, acústicas, vibracionais, lumínicas, entre outras) e os princípios físicos do ambiente, de modo a proporcionar melhores condições para os indivíduos que usufruem do ambiente em questão. De uma maneira geral, define-se o conforto ambiental como sendo o estado de espírito no qual o indivíduo exprime-se satisfeito com o ambiente que o cerca.

### **2.3 O conceito de conforto térmico**

A definição de conforto é considerada complexa, pois depende intrinsecamente de fatores como a situação, o modo como a mesma se apresenta e ainda a percepção e os sentimentos do sujeito em relação à mesma. Diversas definições podem ser dadas a respeito do conforto, porém em todas elas têm-se em comum o fato de que o conforto é associado à ausência de estados negativos, sendo possível explicá-lo através da ausência de desconforto (PEREIRA e ALCOBIA, 2006).

Por outro lado, pode-se dizer que conforto térmico é um termo bastante

subjetivo, já que sua percepção por parte das pessoas apresenta variações a depender de alguns parâmetros, como o ambiente e características psicológicas intrínsecas ao caso analisado. Assim, a descrição do conforto térmico em termos de variáveis e parâmetros bem definidos é difícil (KRANZ, 2011).

A definição de conforto térmico apresentada pela norma ANSI/ASHRAE 55 (2010) é a de “um estado de espírito o qual reflete a satisfação obtida com o ambiente térmico o qual envolve o indivíduo”. Desta forma, compreende-se que mesmo que as condições térmicas sejam consideradas neutras, ainda existirão pessoas que não estarão confortáveis termicamente.

Sendo assim, o conforto térmico dos indivíduos é majoritariamente avaliado baseado em procedimentos subjetivos. Logo, é possível determinar o conforto térmico de um ambiente através da realização de um levantamento de uma amostra de indivíduos e coletando as respostas individuais em relação às sensações térmicas relacionadas ao ambiente (ALAHMER *et al*, 2012).

Ainda para os autores, o conforto térmico torna-se difícil de quantificar objetivamente, devido ao fato de que o mesmo baseia-se em uma ampla variedade de fatores pessoais e ambientais os quais definem se os indivíduos sentir-se-ão confortáveis ou não. Estes fatores constituem o que é considerado o ambiente térmico humano, o qual se baseia em variações fisiológicas e psicológicas de pessoa a pessoa.

Por outro lado, Shakir (2004) indica que o conforto térmico pode ser definido por meio de três abordagens, quais sejam:

- Psicológica;
- Termo-psicológica;
- Balanço térmico do corpo humano.

Considerando somente a abordagem psicológica, considera-se complicado lidar com o conforto térmico individualmente, devido a sua característica subjetiva, a qual reflete uma vasta variação inter-individual.

A abordagem termo-psicológica baseia-se nas informações obtidas com o aquecimento de receptores conectados à pele dos indivíduos e ao hipotálamo. Para essa abordagem, conforto térmico é definido como uma taxa mínima, onde se obtém

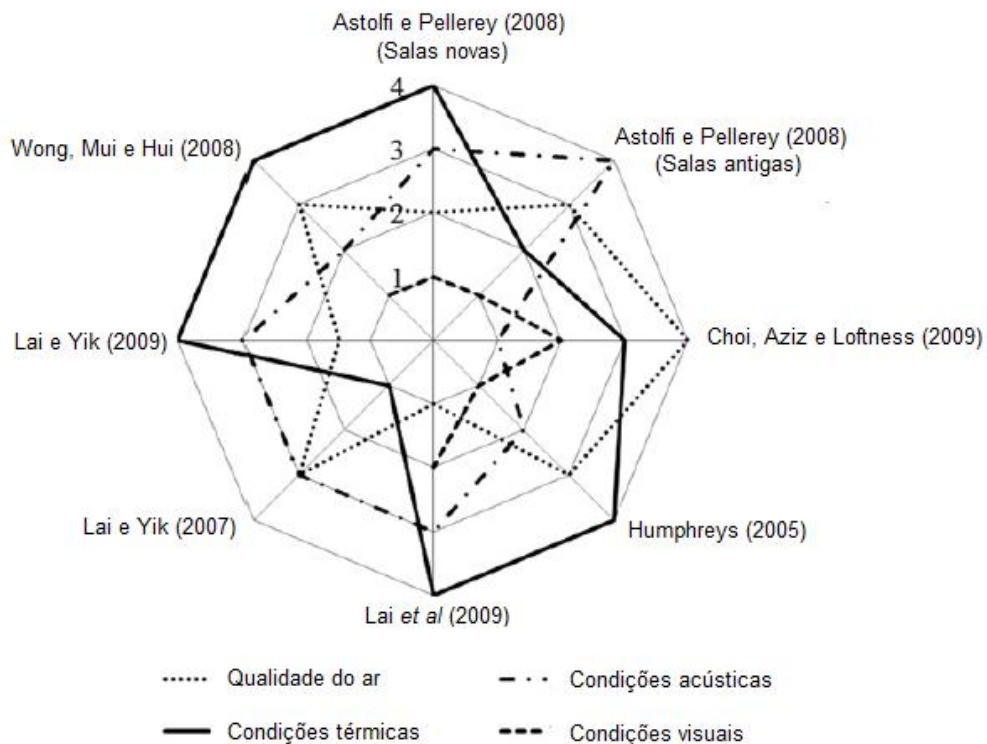
sinais nervosos a partir destes receptores (HOPPE, 2002).

Ainda para o Shakir (2004), de acordo com a abordagem que considera o balanço térmico do corpo humano, define-se conforto térmico como sendo o momento no qual o calor que flui através do corpo humano é balanceado. Além disso, a temperatura da pele, bem como a taxa de suor, devem se encontrar dentro de uma faixa confortável.

Dessa maneira, é preciso considerar uma variedade de parâmetros para se determinar se há ou não conforto para as pessoas inseridas em certos ambientes. Logo, para avaliar o ambiente térmico humano, a combinação dos fatores pessoais e dos diversos fatores ambientais deve ser considerada.

Sendo assim, em seu estudo, Frontczak e Wargocki (2011) realizaram um levantamento bibliográfico acerca de quais condições ambientais mais influenciam a satisfação de pessoas em um ambiente. Os autores se utilizaram de um gráfico radar para explicitar esta importância, onde números maiores indicam uma maior relevância, conforme pode ser visualizado na Figura 02.

**Figura 02 - Ranking da importância das diferentes condições ambientais**



Fonte: Frontczak e Wargocki (2011)

De uma maneira geral, a natureza psicológica estará sempre presente na avaliação do conforto térmico dos indivíduos. Desta maneira, quando há uma situação de desconforto, esta pode afetar emocionalmente as pessoas inseridas em um ambiente que apresente tais características. Sendo este um ambiente de trabalho, podem surgir queixas e até mesmo a recusa a estar em um ambiente desconfortável termicamente.

Considerando que um ambiente apresente as mesmas características ambientais, este pode levar a diferentes respostas subjetivas dos indivíduos ali inseridos. Uma razão para este fato é que as pessoas diferem-se entre si e por isto nem todas estarão satisfeitas com determinada condição. Outra razão poderia ser o fato de que não apenas condições físicas (como temperatura, ruído, iluminância, entre outros) influenciam a satisfação térmica individual, mas também os fatores psicológicos e pessoais (FRONTCZAK e WARGOCKI, 2011).

#### **2.4 Variáveis do conforto térmico**

Além de definir o conceito de conforto térmico, a ANSI/ASHRAE 55 (2010) e a ISO 7730 (2005) designam também seis parâmetros dos quais dependem a sensação de conforto térmico por parte dos indivíduos. Esses parâmetros são: temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade média do ar, umidade relativa, nível metabólico e isolamento térmico devido à vestimenta.

Por sua vez, estes podem ser divididos em duas categorias: variáveis ambientais e variáveis humanas, sendo “metabolismo” e “nível de isolamento térmico advindo das vestimentas”; as variáveis humanas e as demais se categorizam como variáveis ambientais. A Figura 03 ilustra tais fatores.

**Figura 03 - Parâmetros determinantes do conforto térmico**



Fonte: Elaboração própria (2014)

### 2.4.1 Variáveis ambientais

#### a) Temperatura do ar – $t$ (°C)

Define-se como sendo a temperatura do ar, ou temperatura de bulbo seco, o qual circunda o corpo humano. Por sua vez, influencia o conforto térmico na medida em que está intrinsecamente ligada às taxas de transferência de calor por convecção que ocorrem entre o homem e o ambiente que o cerca através da pele e do aparelho respiratório (MUSAT e HELEREA, 2009).

Existem diferentes formas de medição da temperatura do ar, seja através de termômetros de mercúrio, termopar, resistência de platina, entre outros. Porém, uma dificuldade encontrada nestas medições é a possível diferença entre o que os sensores medem e a realidade, devido a efeitos radioativos. Sendo assim, devem-se proteger os instrumentos de medição de maneira a não comprometer a circulação do ar ao seu redor (MONTEIRO, 2008).

#### b) Temperatura radiante média – $t_{rm}$ (°C)

Este parâmetro é definido como sendo a temperatura uniforme de um determinado ambiente imaginário. Neste ambiente, admite-se que a transferência de

calor radiante do corpo humano é igual à transferência de calor radiante do ambiente real não-uniforme (MUSAT e HELEREA, 2009).

Este parâmetro relaciona-se com as trocas de calor em forma de radiação entre o indivíduo e as superfícies circunvizinhas. Caso a temperatura média da superfície exterior à das vestimentas utilizadas seja maior que a das superfícies ao seu redor, ocorrerá a perda de calor através de radiação pelo organismo. Em caso contrário, ocorrerá o ganho de calor.

A medição deste parâmetro ocorre através das temperaturas radiantes planas determinadas em seis direções ao redor do indivíduo, ou através das temperaturas das superfícies circundantes ao corpo humano. Os instrumentos indicados para o cálculo da temperatura radiante média são o termômetro de globo negro, sensor esférico ou elipsoidal, radiômetro de duas esferas (COUTINHO, 2005).

#### **c) Velocidade relativa do ar, $V_{ar}$ (m/s)**

Pode ser definida como sendo a velocidade do ar instantânea sobre um intervalo de tempo. Relaciona-se às perdas de calor através do processo de convecção forçada ou mista e por evaporação. Os meios de medição desta variável consistem na utilização de anemômetros de copo, de fio quente, ultra-sônico, de hélice, esfera quente e *laser-doppler* (MUSAT e HELEREA, 2009).

#### **d) Umidade relativa do ar (%)**

É a relação entre a massa de vapor d'água nas condições reais e a massa de vapor d'água no estado de saturação, considerando a mesma temperatura. Também pode ser expressa em função da razão entre a pressão de vapor d'água nas condições reais ( $P_v$ ) e a pressão de vapor d'água nas condições de saturação ( $P_{vs}$ ), também na mesma temperatura (COUTINHO, 2005).

Relaciona-se aos processos de perda de calor por evaporação. No caso de ambientes térmicos que sejam moderados ou onde ocorram situações em que há baixa atividade metabólica, nota-se que a influência da umidade relativa é irrelevante. Porém, quando a temperatura do ar é elevada, o organismo ganha calor através de radiação e convecção, restando ao mesmo a realização da evaporação



para eliminar este calor em excesso. Considerando que a eficiência dessa evaporação decresce na medida em que aumenta a umidade relativa, é necessária boa ventilação para manter-se o conforto térmico (MUSAT e HELEREA, 2009).

O equipamento indicado para a medição da umidade relativa é o psicrometro, o qual mede temperatura de bulbo seco e a temperatura de bulbo úmido, os quais são necessários para calcular-se a umidade do ar, através das relações psicrométricas determinadas na norma ISO 7726:1998, ou em cartas psicrométricas.

## 2.4.2 Variáveis pessoais

### a) Metabolismo

Este parâmetro representa uma medida da produção interna de calor pelo organismo humano. Sua unidade mais comum é o “met” (advindo de *metabolism*, metabolismo em inglês) que corresponde a uma produção de 58,15 Watts/metro quadrado de área de superfície do corpo humano. A área superficial do corpo de uma pessoa média pode ser considerada de 1,8 m<sup>2</sup>. Sendo assim, a taxa metabólica representa a taxa de liberação de calor durante a realização das diferentes atividades realizadas pelo homem padrão (MUSAT e HELEREA, 2009; PEREIRA e ALCOBIA, 2006; COUTINHO, 2005).

Para cada atividade, implica uma taxa metabólica diferente, pois demandam diferentes quantidades de energia para sua realização. Esta taxa pode ser obtida como segue:

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

Onde:

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

V<sub>O<sub>2</sub></sub> = oxigênio consumido.

$A_{Du}$  = Área Dubois, definida como:

$$A_{Du} = 0,202p^{0,425}z^{0,725}$$

Onde:

p = peso (kg)

z = altura (m)

Estas taxas podem ser calculadas em laboratórios de fisiologia e a norma ISO 7730:2005 apresenta algumas destas, como pode ser visto na Tabela 01:

**Tabela 01 - Taxa Metabólica para diferentes atividades segundo ISO 7730/2005**

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

**Fonte: ISO 7730 (2005)**

## **b) As vestimentas**

A roupa utilizada pelo homem funciona como uma resistência à perda de calor, atuando como uma espécie de barreira, aprisionando o ar próximo à pele, nas fibras dos tecidos, de modo a diminuir o fluxo de corrente e ar e assim, a perda de calor por condução e convecção (MUSAT e HELEREA, 2009).

Para o cálculo das taxas de transferência de calor na pele considerando-se o

uso de roupas aplica-se um fator de redução de calor sensível ( $F_s$ ) no caso de processos de convecção e radiação e um fator de redução de calor latente ( $F_l$ ), para os processos de evaporação. Estes fatores são calculados tomando como base a resistência térmica das vestimentas ( $I_{cl}$ ), a qual depende da quantidade e do material das mesmas.

A unidade mais comum de medição é o “clo” (advindo de *clothing*, vestuário em inglês), onde 1clo equivale a  $0,155\text{m}^2\text{C/W}$ . A norma ISO 7730 (2005) determina os valores dos isolamentos térmicos de diversos tipos de roupas, conforme pode ser visto na Tabela 02:

**Tabela 02 - Índice de resistência térmica para vestimentas**

| Vestimenta                  | Isolamento Térmico |                             |
|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|
|                             | clo                | $\text{m}^2\cdot\text{C/W}$ |
| Calcinhas                   | 0,03               | 0,005                       |
| Camiseta                    | 0,09               | 0,014                       |
| Camisa com mangas compridas | 0,12               | 0,019                       |
| 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 | 0,20               | 0,031                       |
| Suéter                      | 0,28               | 0,043                       |
| Suéter grosso               | 0,35               | 0,054                       |
| Jaqueta leve de verão       | 0,25               | 0,039                       |
| Jaqueta                     | 0,35               | 0,054                       |
| Bata                        | 0,30               | 0,047                       |
| Meias                       | 0,02               | 0,003                       |
| Calçados com sola fina      | 0,02               | 0,003                       |
| Calçados com sola grossa    | 0,04               | 0,006                       |
| Botas                       | 0,10               | 0,016                       |
| Luvras                      | 0,05               | 0,008                       |

**Fonte: ISO 7730:2005**

## 2.5O ambiente térmico

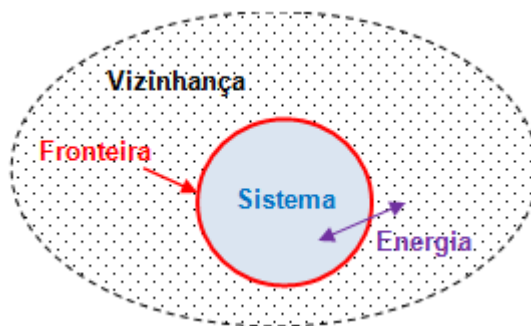
Para que sejam analisadas as interações térmicas existentes entre o homem e o

ambiente é necessário que as variáveis e fatores relacionados ao estudo sejam bem definidos e delimitados.

Utiliza-se comumente o termo “sistema” para designar a porção da matéria que representa o que será analisado, sendo que este não necessariamente necessita que sua forma ou volume sejam constantes. Logo, assim que se define o sistema, as interações existentes com os demais sistemas circunvizinhos podem ser determinadas (ANACLETO e FERREIRA, 2008; MORAN e SHAPIRO, 2006; COUTINHO, 2005).

O sistema é delimitado por sua fronteira, onde ocorrem as interações com o meio externo ou vizinhança, sendo que o mesmo é determinado de acordo com o interesse e a conveniência do analista e do estudo proposto. Esta concepção pode ser visualizada na Figura 04.

**Figura 04 - Sistema, vizinhança e fronteira**



**Fonte – Adaptado de Anacleto e Ferreira (2008)**

Sendo assim, existem diversas formas pelas quais a energia pode se manter em constante transferência entre o sistema e sua vizinhança, passando por sua fronteira. Deste modo, a seguir serão definidos os diferentes modos de transmissão de calor em um sistema.

### **2.5.1 Mecanismos de transmissão de calor**

Apesar da dificuldade em definir-se o termo “temperatura”, do ponto de vista microscópico pode-se dizer que é a quantidade de energia cinética que é associada ao movimento de partículas, no caso de gases, ou à vibração das partículas, no

caso de sólidos. A unidade fundamental de medição da temperatura é o Kelvin (K), além de outras mais comuns, como grau Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) e grau Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ) (KAPP e NUNES-KAPP, 2010).

Em contrapartida, no que se refere à definição de “calor”, até o século XVIII acreditava-se que o mesmo tratava-se de uma substância, a qual teria a capacidade de fluir entre corpos de diferentes temperaturas.

Porém, hoje se tem que o calor nada mais é que a energia em transferência devido à diferença de temperatura entre um sistema e seu ambiente, entre dois sistemas em contato ou, ainda, entre duas regiões de um mesmo sistema (BAERHR e STEPHAN, 2011; KAPP e NUNES-KAPP, 2010, COUTINHO, 2005).

O sentido do fluxo de calor ocorre da região de maior temperatura para a região de temperatura mais baixa. Sendo assim, um sistema pode ceder calor, resultando numa redução da sua temperatura, ou absorver calor, provocando um aumento da sua temperatura.

Esta variação na temperatura está relacionada com a capacidade térmica; isto é, a proporção de calor, seja ele perdido ou absorvido, necessária para provocar a variação de temperatura de 1 K de uma substância. Do ponto de vista deste conceito, esta proporção de calor depende da massa de cada sistema.

Em contrapartida, o calor específico é a proporção de calor que a unidade de massa de uma substância necessita para sofrer variação de 1 K ou  $1^{\circ}\text{C}$ . Por exemplo, o calor específico da água nunca muda, mas 1 litro de água necessita de mais calor para aumentar sua temperatura do que 100 ml de água.

O processo de transmissão de calor é regido pela 1ª Lei da Termodinâmica, na qual indica que a energia total transferida para um ou a partir de um sistema, seja por troca de calor ou realização de trabalho, é igual à variação da sua energia interna. Ou seja, durante a transferência de calor a energia sempre é conservada. Ela é armazenada ou transferida por um sistema, mas nunca criada ou destruída (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009).

Dessa maneira, a quantidade de calor cedido e a quantidade de calor absorvido pelo sistema geram um saldo de energia que representa essa variação, ocorrida num certo intervalo de tempo. Quando este saldo, no intervalo de tempo, é diferente de zero significa que a quantidade de calor absorvido foi diferente da de calor cedido. Diz-se então, que o sistema está em regime transitório; isto é, há variação de temperatura a cada instante.

Por outro lado, quando o saldo é igual a zero, a quantidade de calor absorvido permaneceu igual à de calor cedido e, portanto, o sistema está num regime permanente, no qual não há variação de temperatura.

Deste modo, a transferência de calor ocorre segundo três mecanismos: condução, convecção e radiação. Normalmente, estas formas de transmissão acontecem simultaneamente, havendo mais intensidade por parte de uma do que de outras. (FELIX *et al*, 2012; COUTINHO, 2005).

### a) Condução

A condução é a transmissão de calor, em uma determinada substância ou entre substâncias em contato físico, devido às colisões de moléculas próximas, fluindo das moléculas de maior nível energético para as de menor nível energético. Este mecanismo pode ocorrer através dos corpos sólidos ou de fluidos parados.

Por exemplo, ao colocar uma panela no fogão, as moléculas que estão próximas ao fogo adquirem energia cinética, tornam-se mais vibrantes e passam a transmitir energia para as vizinhas que, seguindo o fluxo da transferência de calor, transmitem para as demais. É devido à condução, portanto, que o cabo da panela aquece após algum tempo.

O processo de transferência de calor por condução pode ser descrito como:

$$q_x = kA \frac{\Delta t}{\Delta x}$$

Onde  $q_x$  representa a taxa de transferência de calor na direção  $x$  perpendicular [W],  $k$  é a condutividade térmica [W/m<sup>2</sup>.K], uma propriedade de transporte a qual varia a depender da estrutura molecular do material em estudo e  $A$  é a área da parede plana a ser atravessada,  $\Delta t$  é a diferença de temperatura entre dois pontos ou duas regiões do material e  $\Delta x$  a distância entre os mesmos (COUTINHO, 2005).

## b) Convecção

A transmissão de calor por convecção acontece entre um sólido e um fluido adjacente, ambos com diferentes temperaturas, através de um processo de superposição das moléculas desse fluido.

Quando este mecanismo ocorre devido à diferença de densidade, a convecção é livre ou natural. Ou seja, as moléculas do fluido em contato com a superfície do sólido se movimentam unicamente devido à variação de densidade. Mas, quando o movimento das moléculas do fluido é provocado por um agente externo, a convecção é dita forçada. Assim, a transferência de calor por convecção pode ser provocada pelo movimento molecular aleatório, chamado de difusão, ou pelo movimento da massa do fluido.

A equação a seguir representa a transferência de calor por convecção:

$$q_c = h_c A (T_s - T_f)$$

Nota-se que a taxa de transferência, neste caso, é proporcional à diferença das temperaturas de superfície ( $T_s$ ) e do fluido ( $T_f$ ), bem como à área  $A$  da superfície sólida [ $m^2$ ] e à  $h$ , o coeficiente de transferência convectiva de calor [ $W/m^2.K$ ]. Este coeficiente depende da geometria da superfície, o movimento realizado pelo fluido e diversas propriedades termodinâmicas do mesmo (COUTINHO, 2005).

## c) Radiação

O mecanismo de transmissão por radiação ocorre por meio da propagação de ondas eletromagnéticas entre corpos separados pelo vácuo ou por materiais que não sejam impenetráveis a este mecanismo de transmissão térmica.

Os corpos com temperatura acima de 0K (-273°C) estão sempre emitindo calor por radiação, sob qualquer temperatura, inclusive quando estão em equilíbrio térmico. Entretanto, a absorção de calor só ocorrerá até quando o equilíbrio térmico não tenha sido atingido.

O irradiador ideal, isto é, aquele capaz de absorver a quantidade máxima de

calor por radiação e, conseqüentemente, emitir a máxima radiação térmica possível, é o corpo negro. Contudo, nem toda radiação térmica que incide na superfície de um corpo real é totalmente absorvida, pois parte pode ser refletida e outra parte, ainda, pode ser simplesmente transmitida, atravessando o corpo sem ser absorvida (COUTINHO, 2005).

Dentre as propriedades radiantes, a única responsável pelo aumento na temperatura do corpo é a absorvidade. Por isso, os corpos que absorvem maiores frações da radiação térmica também apresentam maiores índices de emissividade. Esta propriedade está diretamente relacionada com a cor e o tipo da superfície (por exemplo, polida ou fosca) dos corpos, sendo os mais escuros e foscos aqueles que absorvem mais calor.

Considerando o caso em que se tem uma superfície pequena envolvida por outra muito maior, pode-se calcular a taxa líquida de transferência de calor por radiação entre a superfície em questão e sua vizinhança através da equação a seguir:

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

Onde  $\varepsilon$  é a propriedade radiativa emissividade, que encontra-se dentro do intervalo  $0 < \varepsilon < 1$ ,  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann ( $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\cdot\text{K}^4$ ),  $A$  é a área da superfície [ $\text{m}^2$ ],  $T_s$  é a temperatura absoluta [K] da superfície e  $T_v$  a temperatura da vizinhança.

Porém, costuma-se expressar a equação da troca de calor por radiação conforme a equação a seguir:

$$q_{rad} = h_r A(T_s - T_v)$$

Onde o coeficiente de transferência radiativa de calor  $h_r$  é expresso pela seguinte equação:

$$h_r = \varepsilon\sigma(T_s + T_v)(T_s^2 + T_v^2)$$



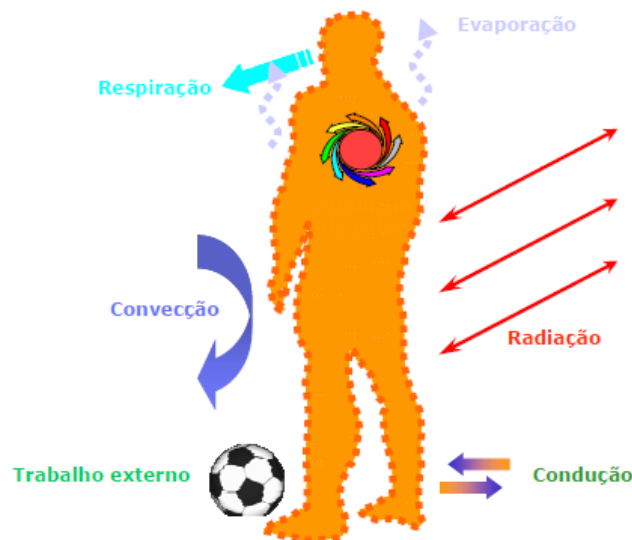
## 2.5.2 Balanço térmico

A fonte básica de energia do corpo humano é a oxidação dos alimentos ingeridos pelo homem, permitindo a realização das funções biológicas que ocorrem no homem, convertendo-se, basicamente, em calor durante as reações celulares.

Dessa maneira, grande parte da energia produzida pelo corpo converte-se em energia térmica, a qual é transmitida para a superfície da pele, passando pelos tecidos corporais, através do mecanismo de condução e através da circulação sanguínea pelo mecanismo de convecção (GUYTON e HALL, 2011).

Como o homem interage com o ambiente circunvizinho, também executando trocas de calor, quanto mais desfavorável for este ambiente em relação às suas condições térmicas, mais o sistema termorregulatório irá esforçar-se para manter o balanço térmico do corpo humano. Diversos mecanismos de transferência de calor estão presentes no balanço energético entre o homem e o ambiente no qual está inserido. Alguns destes podem ser visualizados através da Figura 05.

**Figura 05 - Balanço térmico do corpo humano**



Fonte: Pereira e Alcobia (2006)

O balanço de energia para o corpo humano é expresso como:

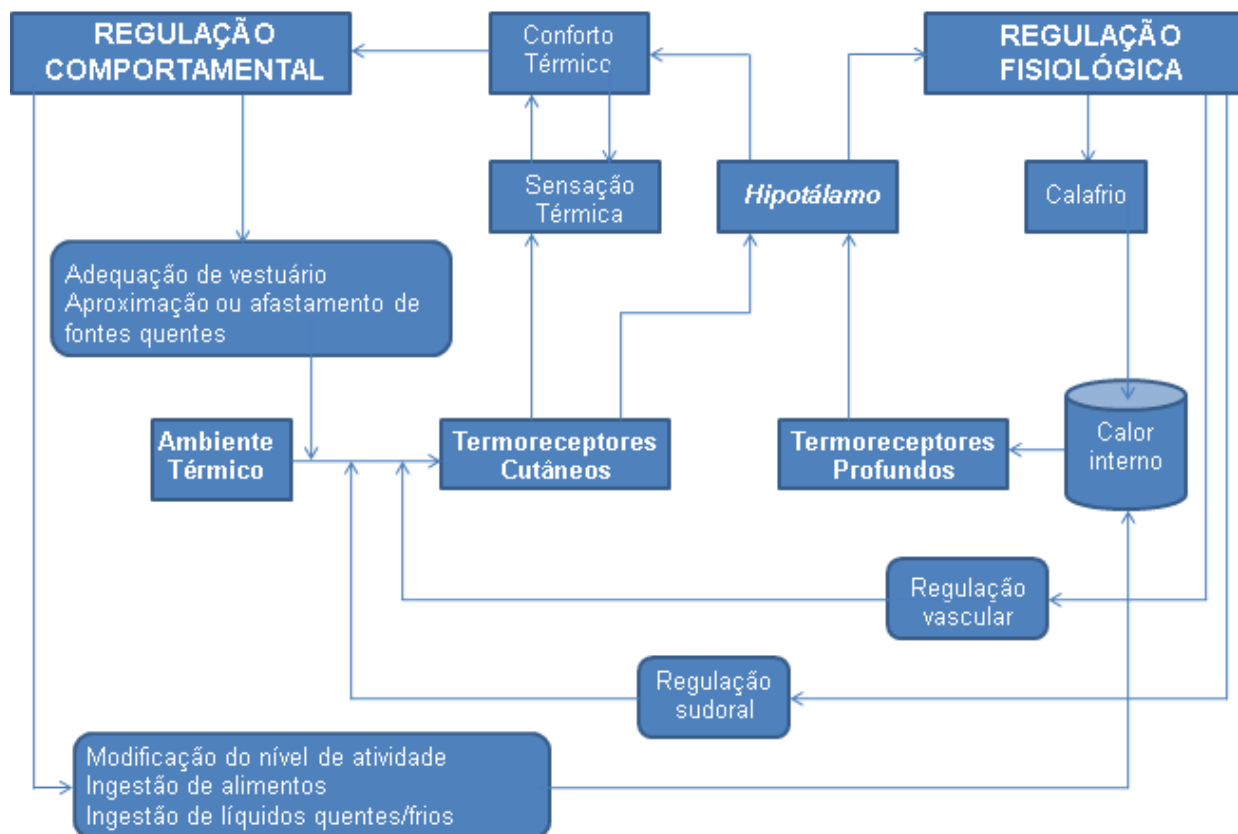
$$Q = M - T = C_{\text{res}} + E_{\text{res}} + C + R + E_s + E_{\text{dif}} + S$$

Observa-se através desta equação que o calor produzido internamente ao

corpo ( $Q$ ), que pode ser representado pela diferença entre o metabolismo ( $M$ ) e o trabalho mecânico realizado ( $T$ ), é igual às perdas de calor ocorridas por meio de convecção ( $C_{res}$ ) e evaporação ( $E_{res}$ ), sendo estes por meio das vias respiratórias. Ainda, acrescentam-se as transferências de calor ocorridas, convecção ( $C$ ) e radiação ( $R$ ) e as perdas de calor por evaporação ao nível da pele ( $E_s + E_{dif}$ ). O termo  $S$  representa o calor armazenado, o qual, em condições de equilíbrio, tem valor igual à zero.

A Figura 06 representa, esquematicamente, os processos de regulação comportamental e regulação fisiológica, ambos podendo ser desencadeados pelo centro regulador para anular o saldo no balanço térmico.

**Figura 06 - Processos de regulação comportamental e fisiológica**



Fonte: Adaptado de Pereira e Alcobia (2006)

## 2.6 Índices e normas de conforto térmico

Índices de conforto térmico são relacionados à sensibilidade humana, bem como ao peso dos indivíduos. Porém, é possível notar a influência de outras variáveis, a depender do estímulo provocado ao sujeito.

Considerando os diversos parâmetros existentes para a definição do conforto térmico, sua avaliação em determinado ambiente muitas vezes se torna demasiadamente complexa. Sendo assim, com o intuito de simplificar este processo, buscou-se a criação de índices que considerem a influência de algumas ou de todas as variáveis do conforto térmico, sejam elas ambientais ou humanas.

Estes índices podem ser divididos em três diferentes grupos: índices objetivos, que são aqueles que se baseiam nas medições numéricas de instrumentos que são capazes de mensurar fatores térmicos que afetam as respostas térmicas das pessoas; índices subjetivos são os que se baseiam nas respostas humanas para determinado ambiente, através da utilização de escalas subjetivas; e índices comportamentais, os quais advêm de modelos matemáticos criados para descrever a sensação térmica humana em um dado ambiente.

A seguir serão os índices utilizados neste estudo:

### — ISO 7933 – Ambientes quentes: determinação analítica e interpretação do estresse térmico usando a taxa de suor requerida $SW_{req}(1989)$

A taxa de suor requerida é utilizada na análise de ambientes quentes pela norma ISO 7933, por meio de um método baseado no balanço termofisiológico para estabelecer estratégias de intervenção ou recomendações quanto ao estresse térmico causado pelo calor.

O balanço térmico da pessoa é o resultado da diferença entre os ganhos e as perdas de calor do corpo humano, cujo resultado deve ser nulo para que a temperatura interna se mantenha constante. Ele pode ser representado pela equação:

$$M - T = C_{res} + E_{res} + f_{cs}C + f_{cs}R + f_{cl}Es + E_{dif} + S$$

Onde:  $M$  = Taxa de metabolismo [ $W/m^2$ ];

$C_{res}$  = Convecção respiratória [ $W/m^2$ ];

$E_{res}$  = Evaporação respiratória [ $W/m^2$ ];

$C$  = Convecção na pele [ $W/m^2$ ];

$R$  = Radiação na pele [ $W/m^2$ ];

$E_s$  = Evaporação por sudorese [ $W/m^2$ ];

$E_{dif}$  = Evaporação por difusão através das partes enxutas da pele [ $W/m^2$ ];

$S$  = Saldo de energia térmica [ $W/m^2$ ];

$f_{cs}$  = Fator de redução de calor sensível [adim];

$f_{cl}$  = Fator de redução de calor latente [adim].

Os fatores de redução de calor sensível e latente têm grande influência na troca de calor por convecção e radiação e nas perdas de calor por evaporação. Eles dependem da quantidade e da qualidade de peças da vestimenta utilizada. Ou seja, sem roupa, a pessoa perde calor diretamente para o ambiente, pois apenas o ar envolve-a. Neste caso o valor de ambos é 1. Por outro lado, como a vestimenta é um isolante térmico, os valores de ambos diminuem com o aumento do número e da qualidade das peças que compõem o vestuário.

Para que a temperatura interna não se eleve é necessário que o saldo  $S$  seja nulo. E para que isso aconteça é necessário haver taxa de evaporação de suor na pele da pessoa. Essa taxa é dada por

$$E_{req} = M - T - C_{res} - E_{res} - C - R$$

Entretanto há um limite para a evaporação imposto pela resistência térmica das vestes, pela velocidade e pela umidade do ar. Tem-se, então, a evaporação máxima, representada pela equação:

$$E_{max} = 16,7 h_c f_{cl} (P_{vsp} - P_v)$$

Onde  $h_c$  é o coeficiente de convecção, dado em  $W/m^2C$ , influenciado fortemente pela velocidade do ar.

Outro parâmetro importante é a fração de pele molhada, que representa a

relação entre a área do corpo molhada de suor e a área total do corpo:

$$W_{\text{req}} = \frac{E_{\text{req}}}{E_{\text{max}}}$$

Evidentemente, seu valor não pode ser superior a 1. Quando a Evaporação Requerida ( $E_{\text{req}}$ ) é superior à Evaporação Máxima ( $E_{\text{max}}$ ), o trabalho é considerado insalubre, pois o corpo não está conseguindo liberar tanto calor quanto seria necessário.

É importante observar que muitas vezes o suor goteja ou molha as vestes sem evaporar. Ou seja, não proporciona evaporação alguma. Para compensar essas perdas, o organismo deve produzir uma quantidade de suor maior que a requerida para efetivamente evaporar. Essa quantidade é a Taxa de Sudorese Requerida:

$$SW_{\text{req}} = \frac{E_{\text{req}}}{\gamma}$$

Onde o denominador é a Eficiência de Evaporação:

$$\gamma = 1 - \frac{w_{\text{req}}^2}{2}$$

Este índice de avaliação considera quatro critérios: dois de estresse térmico e dois de tolerância fisiológica. Os dois primeiros são: fração de pele molhada ( $w_{\text{max}}$ ) e taxa de sudorese ( $SW_{\text{max}}$ ). Os dois últimos são: quantidade máxima de calor acumulado ( $Q_{\text{max}}$ ) e perda máxima de água ( $D_{\text{max}}$ ). Assim, na avaliação, comparam-se os valores calculados com os referidos limites de tolerância, constantes da norma. Esses limites são apresentados para pessoas aclimatadas e pessoas não aclimatadas e em duas situações: alerta e perigo.

Os riscos fisiológicos são mais preocupantes que os de estresse. Isto porque, por um lado o armazenamento de calor além do valor admissível eleva a temperatura interna do corpo acima do valor normal, podendo levar à hipertermia; por outro lado, a perda de água superior ao admissível leva à desidratação e perdas de minerais máxima, que representam sérios riscos à saúde. Para evitar tais

transtornos, essa norma apresenta o método de calcular dois parâmetros limitantes:

- ✓ DLE1: tempo máximo de exposição além do qual a temperatura interna começa a se elevar;
- ✓ DLE2: tempo máximo de exposição além do qual as perdas hídricas podem ser fatais.

**— ISO 7243 – Ambientes quentes: estimativa de estresse térmico em trabalhadores usando o IBUTG (1989)**

O índice IBUTG é determinado através do conhecimento de dois parâmetros ambientais: temperatura de bulbo úmido ventilado naturalmente ( $t_{bn}$ ) e temperatura de globo ( $t_g$ ). Quando as avaliações realizam-se em ambientes onde há a radiação solar direta, é necessário também conhecer-se a temperatura do ar ( $t$ ).

Sendo assim, o IBUTG é calculado da seguinte forma:

- Ambientes internos ou externos sem radiação solar direta

$$IBUTG = 0,7t_{bn} + 0,3t_g$$

- Ambientes externos com radiação solar direta

$$IBUTG = 0,7t_{bn} + 0,2t_g + 0,1t$$

Deste modo, após a coleta dos dados, o índice é calculado e comparado com valores de referência existentes. Quando estes valores encontram-se acima dos limites de tolerância, recomenda-se:

- a) Reduzir o índice diretamente no local de trabalho através de métodos como controle do ambiente, do tempo de permanência no ambiente, do nível de atividade ou a utilização de proteção individual;
- b) Realizar outras análises sobre estresse térmico mais detalhadas, utilizando-se outros métodos mais sofisticados, visando verificar com maior confiabilidade se existe ou não a situação de estresse térmico.

No Brasil, a Norma Regulamentadora nº 15 – Atividades e Operações Insalubres, especificamente o seu Anexo 3: “Limites e Tolerância para exposição ao calor”, estabelece o IBUTG como índice técnico legal brasileiro para a avaliação da exposição ocupacional a temperaturas elevadas.

Os limites sugeridos são apresentados em função do tipo de atividade exercida – leve, moderada e pesada – e do regime de trabalho, seja ele contínuo ou com intervalos para descanso, de acordo com o Quadro 01:

**Quadro 01 - Limites de exposição ao calor**

| <b>Regime de trabalho intermitente com descanso no próprio local de trabalho</b> | <b>Leve</b>     | <b>Moderada</b> | <b>Pesada</b> |
|--|-----------------|-----------------|---------------|
| <b>Trabalho contínuo</b>   | Até 30°C        | Até 26,7°C      | Até 25°C      |
| <b>45 minutos de trabalho<br/>15 minutos de descanso</b>                         | 30,1 a 30,6°C   | 26,8 a 28°C     | 25,1 a 25,9°C |
| <b>30 minutos de trabalho<br/>30 minutos de trabalho</b>                         | 30,7 a 31,4°C   | 28,1 a 29,4 °C  | 26 a 27,9°C   |
| <b>15 minutos de trabalho<br/>45 minutos de trabalho</b>                         | 31,5 a 32,2°C   | 29,5 a 31,1°C   | 28 a 30°C     |
| <b>Não é permitido o trabalho sem a adoção de medidas adequadas de controle</b>  | Acima de 32,2°C | Acima de 31,1°C | Acima de 30°C |

Fonte: NR-15 (2014)

Os valores constantes do Quadro 01 supõem um indivíduo utilizando vestimentas com isolamento térmico de 0,6 clo, que seja apto para o desempenho das atividades em questão e que esteja em bom estado de saúde. Porém, se a vestimenta utilizada possuir isolamento térmico diferente do tabelado, estes valores de referência podem ser alterados, considerando-se as propriedades de cada vestimenta e o ambiente analisado (ORCBS, 1999; SALIBA, CORRÊA e AMARAL, 2002; DELEPOSTE, 2010).

Os limites máximos de exposição constantes no Quadro 01 correspondem aos níveis máximos de exposição, naquelas determinadas condições, onde qualquer indivíduo possa estar exposto sem causar prejuízos à sua saúde.

Por sua vez, a determinação do tipo de atividade (Leve, Moderada ou Pesada) é feita consultando-se o Quadro 02:

Quadro 02 - Taxas de metabolismo por tipo de atividade

| TIPO DE ATIVIDADE   | Kcal/h |
|---|--------|
| <b>SENTADO EM REPOUSO</b>   | 100    |
| <b>TRABALHO LEVE</b>  |        |
| Sentado, movimentos moderados com braços e tronco (ex.: datilografia)               | 125    |
| Sentado, movimentos moderados com braços e pernas (ex.: dirigir)                    | 150    |
| De pé, trabalho leve, em máquina ou bancada, principalmente com os braços           | 150    |
| <b>TRABALHO MODERADO</b>  |        |
| Sentado, movimentos vigorosos com braços e pernas                                   | 180    |
| De pé, trabalho leve em máquina ou bancada, com alguma movimentação                 | 175    |
| De pé, trabalho moderado em máquina ou bancada, com alguma movimentação             | 220    |
| Em movimento, trabalho moderado de levantar ou empurrar                             | 300    |
| <b>TRABALHO PESADO</b>  |        |
| Trabalho intermitente de levantar, empurrar ou arrastar pesos (ex.: remoção com pá) | 440    |
| Trabalho fatigante  | 550    |

Fonte: NR-15 (2014)

Com relação à realização das medições, devido ao fato de que o IBUTG represente o estresse térmico causado pelo calor que o trabalhador submete-se no momento em que é realizada a medição, recomenda-se que as medições realizem-se no período mais quente do verão, ao meio dia ou quando algum equipamento gerador de calor esteja em funcionamento, pois estas situações geram resultados importantes no que se refere ao IBUTG máximo em períodos dados como críticos.

— **Avaliação de ambientes térmicos em veículos (Norma ISO 14505, 2006 e 2007)**

A norma ISO 14505 – *Ergonomics of the thermal environment – Evaluation of thermal environments in vehicles* diz respeito às definições de termos e de procedimentos quanto à avaliação ergonômica de ambientes térmicos em veículos.

Sendo assim, a referida norma é dividida em três partes, sendo que a primeira determina os princípios e métodos para a determinação do *stress* térmico, a segunda parte apresenta como se deve dar a determinação da temperatura equivalente e, por fim, a terceira parte disserta a respeito da avaliação do conforto térmico utilizando a resposta subjetiva de indivíduos.



### ➤ Norma ISO/TS 14505-1

A norma ISO/TS 14505-1 (2007) apresenta de maneira geral os princípios e métodos de avaliação do stress térmico, direcionando-os de acordo com os efeitos produzidos pelas condições térmicas internas dos veículos, sejam eles: stress por calor (*heat stress*), stress pelo frio (*cold stress*) ou desconforto térmico (*thermal discomfort*).

Segundo esta norma, o ambiente térmico no interior de veículos é determinado tanto pelas condições climáticas externas como pela qualidade e capacidade do seu sistema de aquecimento, ventilação e refrigeração (*HVAC-system*) em reduzir os efeitos negativos provocados por climas externos desfavoráveis, de modo a manter o ambiente termicamente confortável.

O mau funcionamento desse sistema provavelmente provocará um desequilíbrio entre as trocas de calor do indivíduo com o ar e as diversas superfícies e componentes da cabine, elevando, assim, o nível de stress térmico. Tal nível pode chegar a um patamar intolerável e até mesmo provocar o surgimento de lesões.

Em ambientes quentes, o stress térmico é determinado por condições climáticas sob as quais a perda de calor é muito baixa em relação à necessária para manter o equilíbrio térmico. Ou seja, é provocado por um armazenamento de calor que sobrecarrega os esforços fisiológicos do corpo humano.

A referida norma sugere que, sob estas condições, os métodos estabelecidos pela norma ISO 7243 (1989) ou pela norma ISO 7933 (1989) sejam aplicados na avaliação. Além disso, são fornecidas algumas especificações quantos à radiação solar, velocidade do ar e troca de calor por evaporação, necessárias para a obtenção de medidas representativas do clima interno do veículo. Ambas as sugeridas normas baseiam-se em avaliações dos efeitos corporais globais e em avaliações do balanço térmico do corpo humano.

Em ambientes frios, o stress térmico é determinado por condições climáticas sob as quais a perda de calor é muito alta em relação à necessária para manter o equilíbrio térmico. Fato este que também sobrecarrega os o mecanismo de termoregulação do corpo. Sob estas circunstâncias, a norma ISO/TS 14505-1 (2007) recomenda a avaliação do stress térmico através dos métodos estabelecidos pela ISO 11079 (2007), a qual se baseia em análises das condições de equilíbrio térmico.

A carga total de resfriamento é calculada através da comparação entre o isolamento térmico de roupas necessário com a capacidade de isolamento térmico da roupa utilizada. Quando a proteção é insuficiente, o resfriamento corporal é inevitável e o tempo de exposição recomendado também é calculado.

Em condições termicamente neutras, as trocas de calor são de modo tal que o corpo mantém o equilíbrio térmico naturalmente, sem esforços fisiológicos excessivos, embora ainda alguns desconfortos locais possam ocorrer devido à assimetria térmica, definida como uma condição em que distintas partes do corpo são expostas a diferentes condições climáticas.

Segundo Alahmer *et al* (2011), na cabine dos veículos esta característica é bastante comum devido à variação existente entre as trocas de calor sensível que ocorrem nas diferentes partes do corpo humano, tornando a sensação térmica extremamente dependente das condições (magnitude e fluxo de calor) e do local em que ocorrem as trocas de calor através dos mecanismos de condução, convecção e radiação.

O princípio de avaliação para ambientes termicamente neutros baseia-se na medição e análise das condições de equilíbrio térmico na zona neutra e da sensação térmica associada. Neste caso, são indicados dois métodos de avaliação: norma ISO 7730 (2005) ou a norma ISO 14505-2 (2006).

A primeira é baseada no modelo de Fanger e recomendada para avaliações do corpo de forma geral, não muito detalhada. As medições da temperatura do ar, temperatura média de radiação, umidade e velocidade do ar, bem como as taxas metabólicas e o isolamento térmico da roupa formam a base de cálculo dos índices PMV e PPD. Já a segunda, é recomendada para uma avaliação mais detalhada. A norma ISO 14505-2 (2006) utiliza a temperatura equivalente para integrar as medidas físicas dos efeitos climáticos no corpo humano com as trocas de calor ocorridas sobre ele.

#### ➤ **Norma ISO 14505-2**

A norma ISO 14505-2 (2006) baseia-se no método da temperatura equivalente e na utilização de manequins e/ou sensores térmicos para a avaliação das condições térmicas dentro de veículos. São abordados diferentes tipos de temperaturas equivalentes, utilizados de acordo com o objetivo da avaliação a ser

realizada.

De modo geral, o cálculo da temperatura  $t_{eq}$  envolve apenas os mecanismos de convecção e radiação, assumindo que a condução representa uma pequena parcela do calor transferido. Sendo assim, para o cálculo de qualquer uma das temperaturas equivalentes supracitadas, utilizam-se as equações a seguir:

$$R = h_r \times (t_{sk} - \bar{t}_r) \quad (15)$$

$$C = h_c \times (t_{sk} - t_a) \quad (16)$$

$$\Leftrightarrow t_{eq} = t_s - \frac{Q}{h_{cal}} \quad (17)$$

Sendo,  $Q = R + C$ .

$R$  é a troca de calor por radiação [W/m<sup>2</sup>];

$C$  é a troca de calor por convecção [W/m<sup>2</sup>];

$h_r$  é o coeficiente de transferência de calor por radiação [W/m<sup>2</sup>°C];

$h_c$  é o coeficiente de transferência de calor por convecção [W/m<sup>2</sup>°C];

$t_{sk}$ , temperatura da pele [°C];

$\bar{t}_r$ , temperatura média de radiação [°C];

$t_a$ , temperatura do ar ambiente [°C];

$Q$ , calor perdido por convecção e radiação durante as condições testadas [W/M<sup>2</sup>];

$t_s$ , temperatura da superfície [°C];

$t_{eq}$ , temperatura do ambiente padrão [°C];

$h_{cal}$ , coeficiente de transferência de calor combinado, determinado pela calibração do ambiente padrão [W/m<sup>2</sup>°C];

O ambiente padrão consiste em um ambiente homogêneo, uniforme, com  $t_a = \bar{t}_r$  e velocidade do ar menor que 0,1 m/s;

Com base no valor real e sua variação em relação à temperatura equivalente é possível saber se as condições térmicas estão próximas ou não da zona térmica neutra. O valor real corresponde ao ambiente real, não uniforme, enquanto que a temperatura equivalente corresponde ao ambiente padrão, homogêneo e uniforme.

A temperatura equivalente corresponde à temperatura uniforme de um

ambiente homogêneo, na qual uma pessoa trocaria a mesma proporção de calor sensível, por radiação e convecção, caso estivesse inserida num ambiente real. Este ambiente homogêneo trata-se de um ambiente ideal, imaginário, com o ar parado, no qual a temperatura média de radiação é igual à temperatura do ar. Ou seja, a temperatura do ar equivale a das superfícies adjacentes.

A temperatura equivalente total ou global ( $t_{eq,whole}$ ) é obtida através das trocas de calor de um manequim térmico com o ambiente que o circunda. O princípio de determinação da “ $t_{eq,whole}$ ” é medir o fluxo total de calor do manequim, através de diversas zonas, cada uma com temperatura específica. Segundo a referida norma, as zonas são definidas como sendo “partições físicas do manequim”, reguladas de forma independente, dentro das quais a temperatura e as trocas de calor são medidas”.

A norma ISO 14505-2 (2006) indica que o número e as divisões das zonas, além do tamanho do manequim e da temperatura de sua superfície, são determinantes para a precisão das medições. Quanto maior o número de zonas, melhor. Também é possível determinar a temperatura equivalente total integrando várias medições obtidas por meio de sensores direcionais dispostos em posições definidas dentro da cabine.

A obtenção da temperatura equivalente segmentada ou local é baseada no fluxo de calor total de um segmento ou parte do manequim (mão, cabeça, tronco, etc.). Cada segmento é formado por uma ou mais zonas, cada uma com temperatura superficial específica.

A norma ISO 14505-2 (2006) define ainda que para alguns segmentos, como a coxa, há necessidade da divisão de no mínimo duas zonas, pelo fato das condições térmicas na parte frontal serem diferentes da parte traseira, que se encontra em contato com o assento do automóvel. Define, ainda, que preferencialmente a temperatura equivalente local seja medida usando manequins térmicos ou integrando várias medições obtidas por meio de sensores direcionais ou de sensores planos aquecidos.

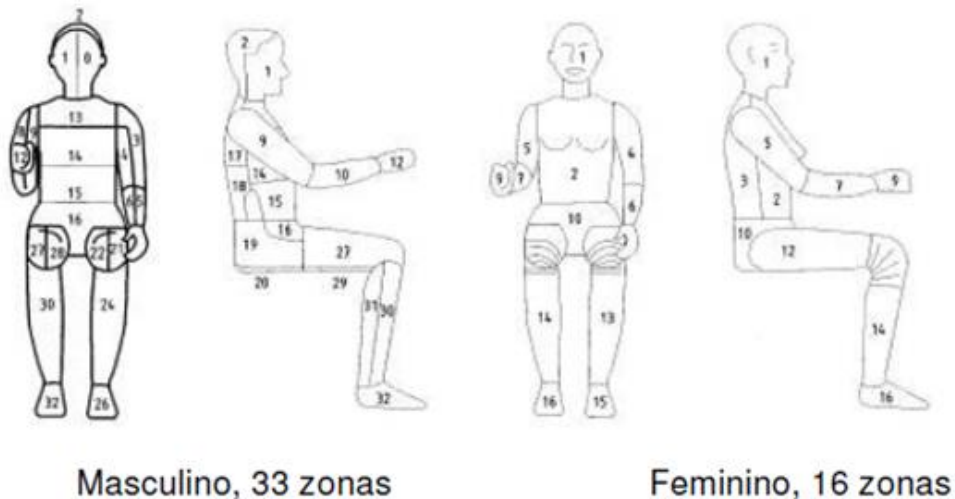
Por meio de sensores planos aquecidos, obtém-se a temperatura equivalente direcional, cujo princípio de determinação é medir o fluxo de calor total a partir desses pequenos sensores colocados em manequins ou bonecos com forma humana. A “ $t_{eq,directional}$ ” representa o vetor normal ao plano de medição, definido por magnitude e direção. Segundo a norma, não há problema em utilizar diversos

sensores simultaneamente, desde que estejam posicionados de modo a não influenciar uns aos outros.

Os diferentes tipos de temperaturas equivalentes são abordados de acordo com a metodologia a ser usada. Por exemplo, a temperatura equivalente global é utilizada na avaliação das trocas de calor entre um manequim e as superfícies vizinhas, enquanto que a temperatura equivalente segmentada é usada para determinar o conforto local, avaliando as trocas de calor entre alguma parte do corpo do manequim e as superfícies adjacentes. A temperatura equivalente direcional é utilizada para avaliar as trocas de calor entre o manequim e as superfícies de contato direto.

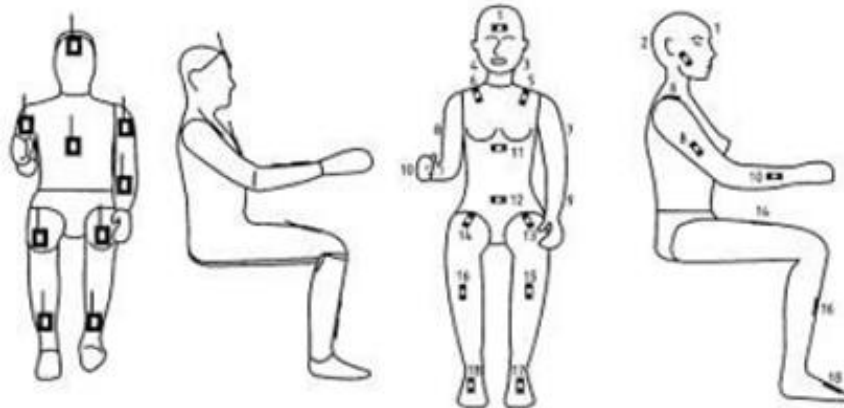
Todos estes métodos da referida norma envolvem a utilização de diferentes tipos de manequins. O Manequim Térmico possui temperatura superficial constante e sensores localizados em diversos segmentos (Figura 07); Manequim de sensores aquecidos (Figura 08) e Arranjo com sensores de conforto (Figura 09).

**Figura 07 – Manequim térmico**



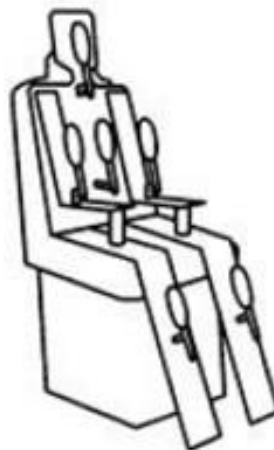
**Fonte: Ferreira (2008)**

**Figura 08 - Manequim de sensores aquecidos**



**Fonte: Ferreira (2008)**

**Figura 09 – Arranjos com sensores de conforto**



**Fonte: Ferreira (2008)**

Lima (2006) destaca que a utilização de manequins está tornando mais eficiente as avaliações de ambientes, sobretudo aqueles de comportamento dinâmico como os compartimentos dos veículos. Entretanto, por considerarem apenas a perda de calor sensível (aquele responsável pela variação na temperatura dos sistemas devido à absorção ou perda de calor pelo ou para o ambiente), o calor total perdido não apresenta resultados coerentes. A exceção só acontece para os casos em que a perda de calor por evaporação (calor latente) é insignificante, como em condições próximas do equilíbrio térmico ou na execução de atividades leves.

Contudo, mesmo que a utilização de manequins seja eficiente para este tipo de avaliação, os métodos que utilizam pessoas na análise do conforto térmico são indispensáveis, uma vez que outros fatores como as diferentes características físicas

e psicológicas dos indivíduos, bem como suas roupas e taxas metabólicas, são determinantes para que cada um tenha a própria percepção de conforto. Dessa forma, a idade, o sexo, o grau de exigência e a expectativa de cada indivíduo tornam a avaliação do conforto por parte dos ocupantes algo bastante subjetivo.

### ➤ **Norma ISO 14505-3**

A parte 3 desta norma ISO 14505 tem como título “Avaliação de conforto térmico através de avaliações humanas”, onde se descreve que os métodos que utilizam pessoas na análise do conforto térmico de ambientes são bastante apropriados, pois, apesar de serem subjetivos, possibilitam de forma direta a avaliação destes espaços. Além disso, podem ser usados junto aos índices térmicos válidos para veículos neste tipo de avaliação.

Estes métodos quantificam as respostas dos indivíduos através da elaboração de questionários com escalas subjetivas, estabelecidas pela própria norma, que são baseadas em fatores psicológicos relevantes no ambiente térmico em que esses indivíduos serão inseridos. Após a análise dos dados coletados, utilizando os parâmetros desta norma, é possível determinar se as condições de interesse oferecem ou desconforto.

Outros métodos podem ser utilizados para complementar a avaliação: os métodos objetivos, aqueles providos de instrumentos capazes de medir condições físicas ou mentais; e os métodos comportamentais, que consistem na observação e interpretação dos aspectos comportamentais humanos.

Entretanto, para garantir a eficiência da avaliação, alguns cuidados devem ser adotados na concepção do teste. Primeiramente, é fundamental definir claramente os objetivos buscados, para que todas as atividades a serem realizadas estejam direcionadas para este fim. Normalmente, os testes de conforto térmico envolvem a condução de veículos ao longo de uma rota, além da medição das condições de operação e das respostas térmicas dos indivíduos, sejam eles passageiros ou motoristas.

Feito isto, é necessário selecionar uma amostra representativa da população para evitar resultados tendenciosos e distorcidos. Assim, devem ser considerados fatores fundamentais no processo de amostragem como a idade, gênero, as variáveis antropométricas e, particularmente, a experiência de condução. Outro fato

imprescindível é o número de pessoas selecionadas. O tamanho da amostra dependerá do objetivo do teste e pode ser calculado com base no poder de um teste estatístico. Por outro lado, a parte 3 da ISO 14505 define que a amostra não poderá ser composta por menos de oito indivíduos.

Algumas considerações sobre a medição das respostas humanas, utilizadas para quantificar o conforto térmico, também devem ser realizadas. É importante usar nos questionários as escalas subjetivas padronizadas, estabelecidas pela própria norma, para que os resultados possam ser comparados com os de outros estudos. As escalas são utilizadas tanto para classificar o conforto geral, quanto para áreas específicas do corpo.

Além disto, as classificações dadas anteriormente por outras pessoas não devem ser apresentadas, evitando dessa forma distorções por parte daquelas que irão realizar o teste. Ainda, é indispensável a realização de um teste piloto e o treinamento do pessoal que coletará os dados.

Apesar da simplicidade da coleta de dados, a maneira pela qual são apresentadas as escalas pode influenciar os resultados. Por isso, cuidados com a tradução das escalas e os aspectos culturais devem ser considerados.

As condições em que serão realizados os testes nos veículos determinam a avaliação do conforto. Entretanto, dificilmente será possível reproduzir as condições reais de forma idêntica. Logo, a aplicação de testes em laboratórios permite um maior controle sobre as variáveis, sendo possível ajustá-las mais facilmente para análise das situações de interesse.

Todavia, no campo, isto se torna uma tarefa mais difícil, pois o leque de variáveis possíveis de serem controladas diminui bastante. Neste caso, a norma destaca a importância de os pesquisadores estarem devidamente atentos durante o andamento do teste, de modo a identificar os fatores que influenciam no conforto. A grande desvantagem da realização do estudo em laboratório é a não reprodução de fatos inusitados e/ou inesperados, diferentemente do que acontece no campo.

Por fim, a análise dos resultados passa por aspectos qualitativos e quantitativos. É necessário o tratamento dos dados e a aplicação de testes estatísticos para auxiliar, por exemplo, a identificar a relação das variáveis e a relevância dos dados coletados. Também se deve interpretar as respostas e o comportamento das pessoas. Os resultados geralmente expressam tendências que devem ser discutidas antes de se chegar a uma conclusão mais precisa.



Os objetivos desta norma podem ser definidos como:

- Avaliar o conforto térmico no interior de veículos;
- Estabelecer métodos passíveis de normalizarem a avaliação do conforto térmico em veículos de acordo com a sua destinação;
- Realizar comparações entre medições subjetivas de conforto térmico e métodos de previsão;
- Obter relações válidas entre as medições objetivas e as subjetivas.

Resumidamente, a norma ISO 14505-3 (2006) constitui-se de diversos anexos. O Anexo A determina a metodologia de avaliação do conforto térmico no interior de veículos, além de especificar parâmetros que definem se o ambiente pode ser considerado confortável ou não. O Anexo B exemplifica a aplicação da norma apresentando um modelo de questionário que possa ser aplicado em análises subjetivas do conforto térmico no interior de veículos.

Com relação à definição a respeito de que os ambientes são confortáveis ou não, diversos critérios são indicados, a depender da escala utilizada. Ao utilizar-se a escala de sete pontos, a qual pode ser convertida no valor PPD, o critério utilizado para definir se o veículo não é confortável é: se o valor médio das respostas de PPD for superior a 26,1% (o que corresponde a um PMV entre +1 e -1) e/ou se a partir 37,5% das pessoas indicarem um valor de PPD superior a 76,8% (equivalente a um PMV entre + 2 e -2).

Assim, entende-se que mesmo que os modelos matemáticos e físicos, bem como dos índices térmicos, sejam métodos confiáveis e efetivos, a complexidade e a quantidade de fatores que exercem influência no ambiente térmico de um veículo necessitam de métodos que utilizem pessoas para validar este tipo de avaliação, justificando-se a avaliação do conforto térmico no interior de veículos, através das respostas humanas.

## **2.70 conforto térmico em veículos**

Concomitantemente às transformações que sofre a sociedade humana, os ambientes onde o homem se insere também vêm sofrendo alterações, de modo a torná-los mais confortáveis, adaptando-os às necessidades dos seus ocupantes,

sendo, para tanto, cada vez mais comum o desenvolvimento de sistemas eficientes, sustentáveis e de baixo custo que controlem tais ambientes (MOURA, 2007; PEREIRA e ALCOBIA, 2006).

Ainda para os referidos autores, com a utilização cada vez maior dos automóveis pela população para diversos fins, como passeio ou mesmo como ferramenta de trabalho, as preocupações com os quesitos de segurança e conforto têm aumentado cada vez mais, equiparando-se às análises de desempenho e ao custo realizadas pelos compradores, tendo-se mostrado como itens cruciais por parte daquele que o está adquirindo.

Este fato vem impondo às montadoras de veículos a necessidade do investimento nesta área de segurança e conforto. Sendo assim, cada vez mais é comum que se utilizem métodos de avaliação que possibilitem a tradução da sensação de conforto requerida pelos usuários de seus produtos.

A definição de conforto é considerada complexa, pois depende intrinsecamente de fatores como a situação, o modo como a mesma se apresenta e ainda a percepção e os sentimentos do sujeito em relação à mesma. Diversas definições podem ser dadas a respeito do conforto, porém em todas elas tem-se em comum o fato de que o conforto é associado a uma ausência de estados negativos, sendo possível explicá-lo através da ausência de desconforto (PEREIRA e ALCOBIA, 2006).

Ainda, o conforto térmico relacionado a veículos e seus ocupantes vem ganhando aos poucos a atenção do meio acadêmico, afirmam Alahmer *et al* (2011), seja devido à maior utilização por parte dos indivíduos deste tipo de meio de locomoção, seja porque o tempo em que a população como um todo despende em seu interior é cada vez maior.

O conforto térmico veicular ajuda não somente a diminuir o estresse causado aos seus ocupantes, mas também evita outros distúrbios, como a visão embaçada (efeito *fogging*), contribuindo para a segurança do motorista e demais ocupantes. Ainda, a exposição excessiva de indivíduos ao calor causa a elevação da temperatura do corpo, sonolência e pode levar ao colapso físico (ALAHMER *et al*, 2011; STEEN, 2001).

Pode-se dizer que a temperatura no interior de um veículo é um fator importante na ocorrência de acidentes de trânsito. Um ambiente termicamente confortável resulta em um aumento da atenção do motorista e melhora o o seu

desempenho, além de garantir uma maior segurança em diferentes condições de pista (FARZANEH e TOOTOONCHI, 2008).

Sendo assim, ultimamente têm-se dado ênfase à otimização do conforto térmico no que concerne aos ocupantes de veículos, a fim de promover uma melhor satisfação e, além disso, trazer características mais confortáveis a este bem (ALAHMER, ABDELJAMID e OMAR, 2012).

É imprescindível notar o fato de que o conceito de conforto térmico refere-se ao fato de uma pessoa estar confortável termicamente com relação ao seu corpo como um todo, bem como nas suas diferentes partes, sem que haja grandes variações de temperatura, por exemplo, entre os pés e a cabeça (ANSI/ASHRAE 55, 2010).

### **2.7.1 Parâmetros que influenciam o conforto em veículos**

O ambiente do interior de um veículo é afetado por um amplo número de parâmetros os quais incluem as diferenças no valor das temperaturas das superfícies internas (painel, bancos, etc.), a velocidade do ar e seus perfis de deslocamento a depender das diferentes geometrias internas, a umidade relativa, a intensidade solar e os diferentes tipos de reflexão que as ondas luminosas sofrem a depender do tipo de material do carro, o tipo de roupa utilizada pelos indivíduos, variação de orientação com relação aos pontos cardiais, entre outros. O conforto térmico em automóveis depende rigorosamente da inter-relação entre a temperatura do fluxo de ar e a temperatura ambiente (CENGIZ & BABALIK, 2007).

Além disso, as saídas de ar de um veículo são predominantemente pequenas, além do fato de que o espaço confinado e reduzido prejudicar a circulação do ar. Ainda há de se considerar a relação de dependência desconhecida entre estes parâmetros (MOURA, 2007; HAN e HUANG, 2005).

Os veículos estão sujeitos simultaneamente a distúrbios flutuantes, como o ambiente climático externo (temperatura, sol e vento), a velocidade do veículo, à temperatura do bloco do motor e ao número de ocupante do mesmo. Sendo assim, é difícil distinguir a influência particular que cada um destes distúrbios ocasiona no

conforto térmico. Entretanto, sabe-se que no verão as condições de conforto de um carro dependem das trocas de radiação térmica e de convecção entre o veículo e o ambiente externo, assim como a radiação interna da cabine (MEZRHAB e BOUZIDI, 2006).

As características intrínsecas ao ambiente interno de um veículo que dificultam a determinação do conforto térmico humano devem-se aos valores térmicos transientes e os gradientes existentes. Ainda, o ambiente térmico não uniforme associado à velocidade do ar localizada, à distribuição interna da temperatura no interior do veículo, o fluxo solar e o fluxo de radiação térmica da superfície interna complicam a predição do conforto térmico (Alahmer *et al*, 2011).

Alguns dos estímulos de desconforto em veículos são citados por Alcobia e Pereira (2006). Estes se classificam em três grupos distintos: fatores dinâmicos, fatores ambientais e fatores dimensionais. Os fatores dinâmicos são aqueles onde as mudanças no ambiente ocorrem rapidamente; já nos ambientais as variações são gradativas. Os dimensionais referem-se às dimensões e características dos assentos os quais implicam o nível de comodidade da pessoa. O Quadro 03 ilustra alguns destes fatores:

**Quadro 03 - Fatores de desconforto em veículos**

| <b>Dinâmicos</b>       | <b>Ambientais</b> | <b>Dimensionais</b>   |
|------------------------|-------------------|-----------------------|
| Acelerações            | Temperatura       | Dimensões do assento  |
| Choques                | Umidade           | Ajuste do assento     |
| Mudanças de velocidade | Ventilação        | Firmeza do assento    |
| Curvas                 | Pressão           | Forma do assento      |
| Turbulências           | Iluminação        | Espaço para as pernas |
|                        | Som               |                       |
|                        | Odores            |                       |
|                        | Qualidade do ar   |                       |
|                        | Fumo              |                       |

**Fonte: Adaptado de Pereira e Alcobia, 2006**

O controle das condições térmicas no interior de veículos é uma tarefa complexa, tendo em vista as não uniformidades existentes neste ambiente. As diversas variáveis existentes - temperatura do ar, intensidade solar, fluxo de radiação do calor e as diferentes temperaturas das superfícies dentro da cabine – possuem comportamento transitório, dificultando a previsão de uma configuração térmica para atingir o conforto (ALAHMER, ABDELJAMID e OMAR, 2012).

Ainda para os autores, também são complicações para a consecução do

conforto térmico em veículos as diferentes características físicas e psicológicas dos passageiros, as roupas, as taxas metabólicas, a sensação térmica e o número de pessoas presentes. Além disso, o ângulo de incidência solar, o tipo de vidro, o calor radiante e a velocidade do ar afetam o desempenho do sistema de aquecimento, ventilação e refrigeração do veículo.

Assim, diferentemente de edifícios climatizados, o clima do interior de veículos é dominado por condições transientes, devido ao fato de que 85% das utilizações de veículos envolve uma distância menor do que 18 km e com duração entre 15 a 30 minutos. O grande problema refere-se a longas viagens em ônibus, por exemplo ou em transporte de valores a longas distâncias. Este fato realça o fato de que a caracterização do comportamento térmico no interior dos veículos é especialmente significativa nos primeiros 30 minutos em que o indivíduo se encontra no seu interior. Outros desafios a serem vencidos incluem as diferenças fisiológicas e psicológicas dentre os passageiros (CISTERNINO, 1999).

### **2.7.2 Métodos de avaliação do conforto térmico em veículos**

A determinação do conforto térmico humano no interior de veículos é uma tarefa complicada. Devido a não uniformidade térmica do ambiente, os efeitos térmicos locais devem ser visualizados e avaliados. Sendo assim, a avaliação do conforto térmico é baseada em diferentes tipos de métodos. Estes podem ser teóricos, podem ser realizados através de simulações em computadores e utilizando-se manequins térmicos, ou avaliando-se as respostas humanas ao ambiente (CENGIZ e BABALIK, 2009).

Pereira e Alcobia (2006) defendem que o conforto em veículos de transporte de passageiros pode ser analisado sob quatro diferentes pontos de vista científicos: tecnológico, sociológico, físico e psicológico.

O ponto de vista tecnológico relaciona-se aos produtos e serviços disponibilizados na sociedade que tem por objetivo melhorar e facilitar o modo de viver das pessoas, tornando-o mais agradável. Logo, do ponto de vista tecnológico, o conforto térmico relaciona-se com o fornecimento de um ambiente confortável através de recursos tecnológicos, como sistemas de refrigeração/aquecimento do ar,

assentos climatizados, *design* da cabine, entre outros.

O ponto de vista sociológico relaciona-se ao conceito intrínseco de cada pessoa com relação ao conforto, o qual se relaciona com o grupo e a cultura onde o passageiro se enquadra. Já o ponto de vista físico refere-se aos sentimentos de bem estar físico, no que se refere à ausência de dor ou sofrimento e sensações de relaxamento.

Por fim, o ponto de vista psicológico diz respeito ao sentimento de conforto que se relaciona com o estado do indivíduo, qual seja: livre de preocupações, aborrecimentos, entre outros. Sendo assim, o conforto nos seres humanos relaciona-se com a percepção mental, física e emocional.

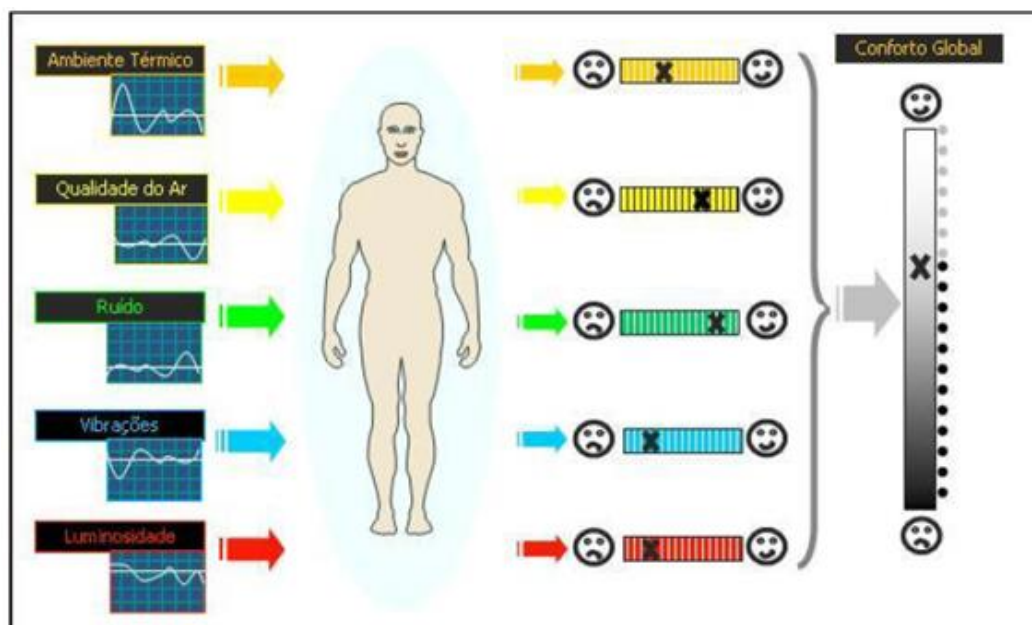
Além disto, Pereira e Alcobia (2006), definem quatro métodos de avaliação térmica no interior de veículos, quais sejam:

- *Sensores individuais*: neste método faz-se necessária a medição de quatro das variáveis ambientais para a avaliação do conforto térmico: temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do ar e umidade relativa. A respeito das características fundamentais de cada sensor, pode-se consultar a norma ISO 7726 (1998), onde as mesmas estão estabelecidas.
- *Sensores aquecidos*: Quando o intuito é a medição de todos os parâmetros físicos que interferem no conforto térmico, o estudo pode tornar-se extremamente complexo, o que é agravado se o ambiente em questão é o interior de um veículo, pois existem questões como a adequação dos instrumentos ao pouco espaço disponível. Sendo assim, desenvolveram-se medidores de conforto térmico utilizando-se apenas um sensor, o qual determina além da temperatura equivalente do ambiente, mas também valores de PMV e PPD. Assim, o sensor é aquecido à temperatura externa da roupa do indivíduo inserido no ambiente em estudo, respondendo ao efeito combinado das variáveis: temperatura do ar, velocidade do ar e temperatura média radiante.
- *Manequins térmicos*: sua utilização tem sido bastante recorrente em estudos de análise de conforto térmico em veículos, já que os manequins podem ser divididos em várias seções que permitem passar informações a respeito dos efeitos térmicos em diversas partes do corpo humano. Por outro lado, ao nível da ergonomia ambiental global, investiga-se o uso do chamado passageiro virtual: uma representação virtual de um passageiro o qual pode simular os

diversos tipos de transferências ocorrentes entre o indivíduo e o ambiente que o cerca. Suas vantagens são a redução do tempo e dos custos do estudo, permitindo que o conforto dos passageiros seja analisado computacionalmente. A Figura 10 representa de forma esquemática o que vem a ser um passageiro virtual, o qual auxilia a obtenção de uma avaliação acerca do conforto de uma maneira geral através da compilação de diversos tipos de estímulos físicos que afetam o conforto.

- *Medições subjetivas:* diversos métodos para avaliar subjetivamente o ambiente térmico no interior de um veículo surgiram com o passar dos anos, porém em 2006, com a publicação da norma ISO 14505-3 (2006), foi especificado um método para tal avaliação. Esta metodologia é aplicável aos mais diversos tipos de veículos, desde aqueles de pequeno porte, até caminhões, aviões, navios, submarinos, entre outros. Com relação à análise, esta pode ser realizada seja do ponto de vista dos passageiros, seja do ponto de vista do motorista.

**Figura 10 - Representação de passageiro virtual**



Fonte: Pereira e Alcobia (2006)

Por sua vez, Cengiz e Babalik (2007) afirmam que diversos métodos e meios foram desenvolvidos para a avaliação do conforto térmico em veículos. Estes podem ser:

- *Teóricos ou de simulação computacional:* Baseados na equação de Fanger, desenvolveram-se programas computacionais que são capazes de avaliar e prever como um motorista irá sentir-se. Geralmente, projeta-se um modelo de simulação e equações termodinâmicas ou modelos estáticos são usados, os quais se baseiam nas normas ISO 7730 (2005) e/ou ANSI/ASHRAE 55(2010);
- *Utilização de manequins em laboratório:* Os manequins térmicos foram desenvolvidos de modo a medir parâmetros termofisiológicos, visando simular a transferência de calor existente entre os humanos e os ambientes térmicos onde se inserem. Sendo assim, o conforto térmico é medido ao se inserir o automóvel com o manequim em uma câmara climática, de modo que as medições podem ser realizadas na superfície do manequim ou na superfície do assento.
- *Utilização de seres humanos em laboratório:* Neste método, os participantes da pesquisa dirigem o automóvel em um programa de simulação, dentro de uma câmara climática. Os dados coletados referem-se a medidas objetivas tomadas no próprio corpo dos participantes, através de sensores térmicos. Além disso, são aplicados questionários subjetivos e coletam-se os parâmetros térmicos ambientais, de modo a prever o conforto térmico dos indivíduos ali inseridos;
- *Utilização de seres humanos na estrada:* Neste método, tanto dados subjetivos quanto objetivos são coletados enquanto os participantes da pesquisa dirigem o automóvel. Estes estudos não são comuns, devido a sua alta complexidade.

Musat e Helerea (2009) defendem que um método usual para a medição e avaliação do conforto térmico em veículos é através da utilização de sensores para medir a temperatura do ar nos níveis da cabeça e dos pés. O propósito destas medições é determinar a velocidade na qual a temperatura irá aumentar ou diminuir, a depender da situação térmica do interior do veículo e determinar qual temperatura levará os indivíduos a alcançarem o estado de conforto térmico. Porém, as críticas a este método residem no fato de que parâmetros como velocidade do ar e radiação são negligenciados, o que pode levar a medição a falsas conclusões.

Com o crescimento da ênfase acerca do conforto térmico dos ocupantes de



veículos, diversos estudos analisaram a situação térmica dos indivíduos a partir de diferentes perspectivas. Alahmer *et al* (2011) realizaram pesquisa a respeito destas perspectivas, analisando diversos outros trabalhos publicados.

Os referidos autores então sumarizaram pesquisas já realizadas e as dividiram em quatro diferentes perspectivas a respeito da avaliação do conforto térmico em veículos: modelos fisiológicos; modelos psicológicos, modelos da zona de compartimento e modelos de manequins térmicos. Além disso, verificaram que algumas pesquisas investigaram o uso de imagens através de detectores de infravermelho para visualizar e ajudar a prever a temperatura das superfícies no interior do veículo.

A seguir estas perspectivas são explicitadas:

- *Modelo fisiológico*: Diversos modelos foram desenvolvidos com o passar dos anos, visando descrever a resposta humana às diversas variações que ocorrem no ambiente em que está. Os modelos fisiológicos foram desenvolvidos para simular a resposta do corpo humano, através da discretização do mesmo, em diferentes segmentos corpóreos;
- *Modelo psicológico*: Esta abordagem considera a resposta fisiológica das pessoas para as condições ambientais, as quais são relatadas através das sensações térmicas a essas respostas. Basicamente, este modelo baseia-se na integração de fatores relevantes do ambiente, como temperatura, velocidade do ar, umidade relativa, entre outros, de um modo a apresentar a resposta da sensação térmica dos ocupantes;
- *Modelo da zona de compartimento*: O propósito do aquecimento, ventilação e condicionamento do ar é o de promover um ambiente que seja confortável para todos os ocupantes do veículo, especialmente em condições climáticas extremas. Deste modo, é necessário entender os aspectos térmicos do corpo humano e da cabine do veículo (ou compartimento de passageiros), como a velocidade do ar que flui até o passageiro, a distribuição da temperatura no interior da cabine, a umidade relativa e a distribuição e variação de pressão dentro do compartimento. Logo, o ambiente térmico no interior de um carro é mais difícil de controlar e avaliar, em comparação aos edifícios, devido à sua complexidade de formas e tamanhos, as quais criam assimetria térmica. Sendo assim, para uma boa previsão das condições térmicas no interior de

um veículo, as condições de operação e os parâmetros ambientais devem ser bem determinados. Uma abordagem para considerar tais fatores é a de simular o compartimento de passageiros do veículo e então investigar os efeitos da mudança das condições ambientais e verificar a sensação térmica do corpo humano em cada uma;

- *Modelo do manequim térmico*: Manequins térmicos são amplamente utilizados no caso em que se deseja estudar situações onde os passageiros estariam submetidos a condições extremas por um longo período de tempo. Há diversos modelos de manequins térmicos, desde os de baixo custo até os de alta tecnologia, sofisticados e de multi-propósitos (HOLMER, 2004). Ainda, os manequins térmicos apresentam como vantagem a capacidade de integrar os modelos fisiológicos e psicológicos simultaneamente. As duas grandes áreas de aplicação de pesquisa com manequins térmicos são: a primeira que se baseia na determinação das características da transmissão de calor das vestimentas; e a segunda que é a avaliação do impacto dos ambientes térmicos no corpo humano (MUSAT e HELEREA, 2009).
- *Termografia em infravermelho*: Devido ao fato da termografia através de infravermelho (IR) ser não invasiva, não ter contato com o sujeito e ser uma tecnologia de imagem avançada, ela tem sido utilizada para a medição da variação da temperatura da pele do homem. Sendo assim, a aplicação da detecção utilizando os detectores termográficos de IR proporciona a medição em tempo real das temperaturas de superfícies sólidas no interior da cabine, além de medir as temperaturas das roupas e das partes visíveis do corpo humano. Além disso, o sistema de imagem automatizado de IR pode ser utilizado para ultrapassar a limitação da utilização dos métodos convencionais como o termopar e o de observação visual, devido à sua complexidade da implementação e a ambiguidade inerente da observação visual (ARAKAWA, SAITO e GRUVER, 1993).

Para Ferreira (2008), existem três formas de se avaliar o conforto térmico de indivíduos inseridos no interior de um veículo. Estas são: avaliação com pessoas, avaliação através da aplicação de questionários e avaliação em túneis de vento.

A avaliação com pessoas têm suas vantagens ao se utilizar métodos que, apesar de subjetivos, apresentam simplicidade na coleta e tratamento dos dados,

além de estarem diretamente relacionados com as sensações psicológicas dos indivíduos (ISO 14505-3, 2006). Porém, como desvantagens este método apresenta o fato de que a utilização apenas de dados subjetivos em detrimento aos objetivos poderá induzir a uma conclusão errônea da situação.

Por outro lado, a aplicação de questionários na coleta de dados também apresenta a vantagem da simplicidade de coleta e tratamento dos dados, porém deve-se ter maior atenção quando da formulação das perguntas, de modo que sejam apresentadas de maneira clara e concisa aos entrevistados.

Por fim, a utilização de túneis de vento para a avaliação do conforto térmico de indivíduos no interior de veículos se mostra mais adequada quando se utilizam manequins térmicos ou mesmo pessoas. Os túneis de vento têm por objetivo reproduzir as condições ambientais típicas que os veículos estão submetidos quando em movimento. As vantagens em se utilizar este método se encontram na reprodutibilidade dos resultados, além de possibilitar a realização de experimentos independentemente das condições climáticas reais do local onde estão sendo realizados.

Moura (2007) defende que para a determinação e avaliação do conforto térmico em ambientes não homogêneos, como é o caso de um carro, o parâmetro mais utilizado é o da Temperatura Equivalente, a qual é definida como sendo aquela “a temperatura uniforme de um ambiente imaginário com velocidade do ar igual a zero, no qual a pessoa troca a mesma quantidade de calor sensível, por radiação e convecção, que no ambiente real”.

Sendo assim, a indústria automobilística utiliza-se largamente deste conceito, já que a norma ISO 14505-2 (2006) prevê sua utilização para a determinação do conforto térmico no interior de veículos (Gameiro da Silva, 2002; Martinho *et al*, 2004; Nilsson, 2004). Algumas variações da denominação da Temperatura Equivalente são Temperatura Equivalente Homogênea (EHT – *Equivalent Homogeneous Temperature*) e Temperatura Equivalente do Ambiente (ELT – *Equivalent Living-room Temperature*).

Uma das maneiras para se realizar a avaliação do conforto térmico no interior de veículos através do cálculo da Temperatura Equivalente é a utilização de manequins térmicos ou manequins com sensores aquecidos, que são previstos na norma ISO 14505-2:2006, pois permitem avaliar conjuntamente o desempenho do

sistema de climatização do automóvel, bem como permite a identificação da existência de regiões onde ocorre uma diferença exacerbada nos níveis de temperatura, podendo ocasionar aquecimento ou resfriamento em excesso.

Segundo Lin *et al* (2010), apesar do fato de que modelos matemáticos e índices térmicos fornecerem métodos confiáveis e passíveis de reprodução, o ambiente térmico no interior de um veículo se mostra complexo, dinâmico e, além disso, influenciado por diversos fatores. Sendo assim, os modelos matemáticos e índices oferecem validades limitadas. Logo, a utilização das respostas dos seres humanos ali inseridos é de fundamental importância para fornecer uma medida direta para o conforto térmico, além de validar outras técnicas.

O uso de tecnologias para analisar sistemas térmicos tem permitido a formação de parâmetros e modelos que auxiliam o conforto térmico em ambientes. A termografia, por exemplo, utiliza sensores infravermelhos para medir a variação da temperatura em superfícies sólidas, roupas e partes visíveis dos seres humanos.

### **2.7.3 Aplicações em estudos anteriores**

Alahmer, Abdeljamid e Omar (2012) realizaram testes em uma câmara climática para avaliar precisamente as distribuições de temperatura dentro de um veículo e investigar as sensações térmicas e o conforto humano, sob o efeito de diferentes taxas de umidade relativa.

Segundo os autores, a variação da temperatura num período quente atravessa três etapas. A primeira é caracterizada por respostas transitórias rápidas devido às mudanças e interações entre as diferentes fontes de calor e o início do processo de refrigeração, no qual o ar condicionado remove calor do veículo, provocando uma queda rápida da temperatura. Já a segunda etapa é um processo mais lento, pois a quantidade de calor sendo removido é menor. Finalmente, a terceira etapa é a de estado estável, ou seja, quando o equilíbrio térmico é atingido.

A escala PMV demonstrou que os valores mais distantes da zona de conforto encontram-se no momento inicial. Corroborando, o índice PPD indicou que aproximadamente 100% das pessoas se sentiram desconfortáveis nessa primeira condição. Além disso, a PMV mostra que, quando as condições térmicas estão

próximas de atingir o estado estável, as taxas de umidades relativas maiores atingem a zona de conforto mais rapidamente. E de acordo com a PPD, o aumento da umidade torna menor o número de pessoas que se sentem desconfortáveis com o passar do tempo.

Portanto, em períodos quentes, nos primeiros cinco minutos do processo de refrigeração, submetido a valores de umidade relativa maiores, a sensação de calor torna-se mais intensa. Contudo, ao final do processo, esta mesma condição úmida promove mais conforto térmico ao ser humano. Mas, o impacto de tal umidade é maior no início, tanto para o conforto e a sensação térmica geral quanto para as partes corporais, do que no final.

Atualmente, percebe-se um crescimento da utilização de câmaras climáticas nos estudos relacionados a conforto térmico em automóveis, inclusive pelas montadoras quando da avaliação de seus veículos. Este método não traz medições realísticas do conforto térmico dos indivíduos estudados, já que os mesmos dirigem utilizando programas de simulação. Por outro lado, ao dirigir na estrada, eles estão sujeitos a condições reais de tráfego: precisam estar atentos a pedestres, limites de velocidades, sinalizações, semáforos, entre outros. Todos estes fatores interferem no conforto térmico do corpo humano (CENGIZ e BABALIK, 2007).

Sendo assim, segundo Cengiz e Babalik (2007), a resposta subjetiva de um grupo de pessoas que se submetem às condições térmicas dentro de um automóvel é considerada a maneira mais confiável de se avaliar o ambiente térmico em questão. Em contrapartida, a execução de uma avaliação nestes termos é considerada cara e necessita de um grande espaço de tempo para sua execução.

A análise da forma pela qual as pessoas se adaptam e reagem às várias condições térmicas, incluindo fatores psicológicos e comportamentais, contribui na avaliação do conforto térmico em veículos. Segundo Lin (2009), as pessoas realizam ações comportamentais espontâneas para permanecerem termicamente confortáveis e se adaptarem ao ambiente em que estão inseridas. Por exemplo, ajustar a intensidade do ar condicionador do veículo, ajustar a direção das saídas de ar e escolher o tipo de roupa mais apropriada ou os acessórios que ajudem na regulação térmica do corpo.

Estes autores construíram um modelo de regressão linear que apontou uma forte correlação entre o coeficiente de isolamento térmico das roupas e a temperatura externa do ar, sendo bem mais significativa do que a correlação deste

mesmo coeficiente com a temperatura de dentro do veículo. Ou seja, a decisão sobre o que vestir ao sair tende a depender mais da temperatura externa do ar do que a própria temperatura dentro dos veículos.

Lin *et al* (2010) realizaram um experimento em campo que consistiu em medições na temperatura do ar, umidade relativa, temperatura de radiação solar, velocidade do ar, além da aplicação de questionários, para avaliar o conforto térmico em deslocamentos de curta (abaixo de 30min) e longa distância (acima de 60min), utilizando ônibus e trens, em Taiwan.

Os questionários conduziram os passageiros a expressarem, considerando as variáveis ambientais (temperatura, umidade, velocidade do ar e a radiação solar nos veículos), suas sensações térmicas, preferências térmicas, a aceitabilidades das condições térmicas e as maneiras como costumam se adaptar às diversas condições térmicas.

Os resultados demonstraram que os passageiros em deslocamentos curtos, preferem ajustar as saídas de ar (64%) para se adaptarem termicamente ao veículo, significando que eles esperam eliminar rapidamente o desconforto causado pela mudança brusca da temperatura quando entram no veículo. Enquanto que os de deslocamento longo preferem ajustar as cortinas (73%), indicando um incômodo devido os raios solares que entram pelas janelas.

Comparando as medidas de temperatura e umidade relativa, houve similaridade entre os níveis coletados nos deslocamentos de curta e longa distância. Também houve semelhança com a temperatura e a umidade de outros ambientes, como, por exemplo, escritórios de trabalho. Entretanto, as temperaturas de radiação são mais elevadas, fato que pode ser explicado pela quantidade de janelas e o próprio design dos veículos, permitindo maior entrada dos raios solares, além da localização dos assentos próximos às janelas. Considerando os trajetos, o curto teve a temperatura radiante 1,7°C mais alta que a do ar, enquanto que a do longo foi 1,2°C mais elevada. Quanto à velocidade do ar, os valores variaram de acordo com a posição dos passageiros e da distância das saídas de ar, mas nenhum chegou a exceder os limites estabelecidos pela norma ANSI/ASHRAE 55 (2010).

Além disso, os índices *Thermal Sensation Vote* (TSV), *Humidity Thermal Sensation Vote* (HSV), *Wind Sensation Vote* (WSV) e *Sun Sensation Vote* (SSV) foram utilizados para descrever as condições de conforto dos veículos, na avaliação dos passageiros, e auxiliar no entendimento da percepção térmica dos passageiros.

Para descrever as condições de conforto térmico foi construído um gráfico que relaciona as respostas dos passageiros da primeira pergunta do questionário, na qual os passageiros deveriam classificar os ambientes em “confortáveis” ou “desconfortáveis”, com as respostas dos passageiros em relação aos índices térmicos citados anteriormente. A análise é feita utilizando os valores médios de cada um desses índices.

Desta maneira, é possível identificar as condições térmicas que oferecem conforto ou não. Por exemplo, nos trajetos curtos, todos os passageiros que se sentiram “confortáveis” classificaram a temperatura, a umidade, a velocidade do ar e a radiação solar, segundo as escalas dos respectivos índices, na região de -0,2 à +0,2; isto é, bastante próxima da região neutra (0,0), indicando que as condições térmicas próximas da neutralidade oferecem conforto térmico.

No caso dos passageiros que se sentiram “desconfortáveis”, houve diferença na sensação térmica dos trajetos curtos e longos. Nos curtos, foi indicada uma sensação térmica “ligeiramente quente”. Já nos longos, a sensação foi de um ambiente “ligeiramente frio”. Isto porque, no início do processo de refrigeração há muito calor para ser removido do veículo e, muitas vezes, não há tempo necessário para que as condições térmicas alcancem o equilíbrio.

Outro fato indicado pelos autores é que a umidade relativa teve classificação similar tanto para os passageiros que se sentiram confortáveis, quanto para os que se sentiram desconfortáveis; isto é, não há grande dispersão entre as condições que oferecem conforto e as que não oferecem. Já a temperatura do ar, a radiação solar e a velocidade do ar se mostraram determinantes no conforto dos veículos. Por exemplo, altas temperaturas, forte radiação solar e baixa velocidade do ar são os principais causadores do desconforto térmico.

Sendo assim, dos estudos conduzidos por Lin *et al* (2010), pode-se concluir que temperaturas altas, alta radiação solar e baixa temperatura do ar são as principais causas para a sensação de desconforto térmico por parte dos passageiros de ônibus e trêns em Taiwan, seja para viagens curtas ou longas. Encontrou-se, para o caso de viagens curtas, que a temperatura neutra seria de 26,2°C e a que corresponde à zona de conforto seria 22,4 a 28,9°C. Já para as viagens longas, estes valores são, respectivamente, 27,4°C e 22,4 a 30,1°C.

Daanen, Vliert e Huang (2003) realizaram um experimento para analisar o efeito de dois aspectos no desempenho da condução de veículos, que são: a

temperatura ambiente e o controle da temperatura, por parte dos condutores, através do ajuste manual do sistema de aquecimento e ventilação (*Heater/Blower*).

Para tanto, foram feitos ensaios no frio (5°C), no calor (35°C) e numa temperatura termicamente neutra (20°C) para medir tanto o conforto térmico durante a condução, como o próprio desempenho dos condutores ao realizar tal tarefa. Nestes ensaios todos os condutores se submeteram a dois testes consecutivos, sendo um deles com a possibilidade de controlar a temperatura e o outro sem a possibilidade de controle.

Se tratando da temperatura ambiente, foi constatado pelos autores que o desempenho dos condutores em situações climáticas extremas (5°C e 35°C) é pior em relação a ambientes termicamente neutros (20°C). Há uma melhoria de 14% quando a condução é realizada em condições neutras.

Além disso, os resultados demonstraram que as temperaturas extremas têm um profundo impacto nos aspectos fisiológicos do corpo humano. Pelo fato do ventilador/aquecedor estar direcionado para a cabeça dos condutores, o restante do corpo é mais fortemente afetado por estas condições.

No caso do frio, a temperatura interna do condutor fica mantida devido ao aumento do metabolismo, que, por sua vez, é causado por contrações musculares/tremores, um mecanismo natural da termorregulação do corpo.

No calor, o volume de sangue periférico aumenta devido à vasodilatação e, conseqüentemente, o coração necessita bombear com maior frequência para dar seqüência a este processo.

Daanen, Vliert e Huang (2003) verificaram que no ensaio com temperatura ambiente de 35°C, a frequência cardíaca teve um aumento de 23 batimentos por minutos quando comparados ao que foi registrado nos ensaios realizados a 5°C e a 20°C. Estes dois últimos não apresentaram diferenças na frequência cardíaca.

Por fim os supracitados autores ainda referem-se à informação de que a temperatura ambiente está diretamente ligada à ocorrência de acidentes de trânsito, estando entre os dez fatores que os causam, estando até mesmo à frente do consumo de bebidas alcoólicas.



## 2.8A atividade policial e o conforto térmico

A Polícia Militar do Estado da Paraíba é uma Instituição destinada à manutenção da ordem pública no Estado, sendo considerada força auxiliar do Exército (BRASIL, 1977).

Entretanto, a PMPB mostrou que não se preocupa apenas com o bem-estar da população paraibana, mas também com os seus próprios servidores, os quais atuam em nome do Estado.

Sendo assim, o órgão em questão, em parceria com a UFPB, atualmente executam também um projeto na área de Ergonomia Ambiental, o qual diz respeito às condições de conforto térmico dos alunos que atendem ao curso de Formação de Oficiais da Polícia Militar da Paraíba, e tentam explicitar como essas condições interferem na aquisição de conhecimento por parte dos alunos.

Dentro deste projeto, surgiu o problema do desconforto térmico em viaturas militares que se tornou objeto deste trabalho. Ele adveio dos próprios comandantes dos 1º e 5º Batalhões, ao mencionarem o fato de que os oficiais que executam o serviço de radiopatrulhamento têm constantemente relatado queixas a respeito do conforto térmico quando da execução da atividade supracitada, devido ao clima da região, o padrão de vestimenta utilizada, acessórios necessários para sua proteção, bem como características dos veículos utilizados.

Desta maneira, o 1º Batalhão da Polícia Militar do Estado da Paraíba, comandado pelo Tenente Coronel Paulo da Silva Martins e o 5º Batalhão da Polícia Militar, comandado pelo Tenente Coronel Lívio Sérgio Delgado de Carvalho mostraram-se comprometidos e ávidos em auxiliar no que estiverem em seu alcance para que este projeto tivesse sua execução realizada, buscando benefícios não somente para a comunidade acadêmica, mas também para os oficiais e a população como um todo.

## **CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Este capítulo trata a respeito dos procedimentos metodológicos utilizados para se alcançar os objetivos delineados para esta pesquisa, realizada em João Pessoa – Paraíba, no período de março de 2012 a janeiro de 2014. Serão apresentados alguns aspectos da pesquisa, como seu tipo, população e amostra, procedimentos, assim como os instrumentos utilizados para coletar e analisar os dados.

### **3.1 Natureza e classificação da pesquisa**

Primeiramente, classificou-se a pesquisa com relação à sua aplicabilidade, quanto à forma de abordagem do problema, no que concerne aos objetivos e quanto aos procedimentos (GIL, 1991).

Assim, o presente trabalho apresenta-se como uma pesquisa aplicada, onde se explora o tema de conforto térmico, direcionando-se à construção do conhecimento científico.

Com relação à forma de abordagem, a mesma se deu de forma qualitativa (através de entrevistas realizadas com os policiais militares) e também quantitativa, de modo a medir os índices de conforto térmico, como a temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade e velocidade do ar, resistência térmica das vestimentas, dentre outras.

Quanto ao objetivo, caracteriza-se como pesquisa exploratória, pois busca a familiarização com a questão do conforto térmico dos policiais militares quando da realização do serviço de radiopatrulhamento, sendo este objeto de estudo pouco abordado em pesquisas outrora realizadas.

Sendo assim, os procedimentos caracterizam a pesquisa como estudo de caso, de modo que os resultados encontrados não poderão ser generalizados para outras unidades de estudo sem que determinadas considerações sejam realizadas.

### 3.2 População e amostra

A unidade de análise selecionada para a realização do projeto foi o 1º Batalhão da Polícia Militar do Estado da Paraíba, sendo a justificativa para tanto o fato de este situar-se na capital do Estado, por ser um dos dois únicos batalhões da cidade que prestam o serviço de radiopatrulhamento e, dentre estes, ser o que possui maior contingente de policiais na realização desta atividade.

Em detrimento às restrições encontradas, a exemplo do tempo, recursos financeiros e disponibilidade dos policiais, a amostra a ser utilizada foi composta de vinte policiais militares, retratando as exigências da ISO 14505 (2006), a qual exige que sejam estudados pelo menos oito indivíduos a aplicação da norma.

A amostra submeteu-se a uma ronda em caráter de simulação por 30 minutos. Em todas as observações, as condições meteorológicas do tempo eram similares. As viaturas utilizadas como padrão nas pesquisas foram automóveis Palio *Weekend Trekking*, de modo a garantir a homogeneidade nas respostas obtidas. Ressalta-se ainda que a pesquisa em questão foi realizada com os condicionares de ar das viaturas desligados. Isto se deu devido ao fato de nem todas as viaturas apresentarem o equipamento, ou por vezes o equipamento encontrar-se em manutenção.

A Figura 11 ilustra uma viatura utilizada na pesquisa. Por outro lado, na Figura 12, é possível ver o policial militar e a vestimenta utilizada no serviço de radiopatrulhamento.

**Figura 11 - Viatura utilizada na pesquisa**



**Fonte: Elaboração própria (2014)**

**Figura 12 - Visualização do fardamento utilizado**



**Fonte: Elaboração própria (2014)**

A Figura 13 mostra os policiais respondendo aos questionários ao início da pesquisa.

**Figura 13 - Policial respondendo ao questionário da ISO 14505-3 (2006)**



**Fonte: Elaboração própria (2014)**

### **3.3 Variáveis e indicadores da pesquisa**

As variáveis selecionadas e seus indicadores encontram-se sintetizados no Quadro 04 a seguir:

**Quadro 04 - Variáveis e indicadores da pesquisa**

| <b>Variáveis</b>                   | <b>Indicadores</b>  |
|------------------------------------|---|
| <b>Pessoais</b>                    | Metabolismo, M [W/m <sup>2</sup> ]                        |
|                                    | Isolamento térmico das vestimentas, I <sub>cl</sub> [clo] |
|                                    | Idade [anos]  |
|                                    | Sexo [feminino/masculino]                                 |
|                                    | Peso [Kg]   |
|                                    | Estatura [m]  |
| <b>Ambientais</b>                  | Temperatura do ar, t [°C]                                 |
|                                    | Temperatura radiante média, T <sub>rm</sub> , [°C]        |
|                                    | Velocidade do ar, V [m/s]                                 |
|                                    | Umidade relativa, UR [%]                                  |
| <b>Índices de estresse térmico</b> | IBUTG (ISO 7243, 1989) [°C]                               |
|                                    | SW <sub>req</sub> (ISO 7933, 1989) [W/m <sup>2</sup> ]    |
| <b>Balanco Térmico</b>             | Convecção Respiratória, Cres [W/m <sup>2</sup> ]          |
|                                    | Evaporação Respiratória, Eres [W/m <sup>2</sup> ]         |
|                                    | Difusão, Edif [W/m <sup>2</sup> ]                         |
|                                    | Convecção na pele, C [W/m <sup>2</sup> ]                  |
|                                    | Radiação, R [W/m <sup>2</sup> ]                           |
|                                    | Evaporação sudoral, Es [W/m <sup>2</sup> ]                |
| <b>Subjetivas</b>                  | Sensação Térmica [Escala de 7 pontos]                     |
|                                    | Conforto Térmico [Escala de 4 pontos]                     |
|                                    | Suor [Escala de 4 pontos]                                 |
|                                    | Preferência [Escala de 7 pontos]                          |
|                                    | Satisfação [Escala de 2 pontos]                           |
|                                    | Aceitação [Escala de 2 pontos]                            |

Fonte: Elaboração própria (2014)

### 3.4 Coleta de dados

A coleta dos dados realizou-se no Município de João Pessoa - Paraíba, nos dias 01 e 22 de Julho; 12 de agosto; 23 e 25 de setembro; 13 e 14 de Novembro; e dias 18, 19 e 20 de Novembro de 2013, meses correspondentes às estações do inverno e primavera, as quais decorreram, respectivamente, dos dias 21 de Junho a 20 de setembro, e 21 de setembro a 20 de dezembro do referido ano.

Em todas as observações, a pesquisa foi iniciada no horário entre 12:00 e 13:00h. Assim que se apresentavam, os policiais eram então instruídos acerca da pesquisa, sendo explicitados os objetivos, bem como os possíveis resultados. Além

disso, apresentou-se o instrumento da coleta de dados, esclarecendo quaisquer dúvidas.

Em seguida, enquanto os policiais executavam a atividade de radiopatrulhamento em forma de simulação, realizou-se a coleta de dados no ambiente de trabalho analisado, a saber, o interior das viaturas.

No geral, a coleta de dados se dividiu em: coleta de variáveis ambientais; coleta de variáveis pessoais; determinação dos índices de estresse térmico; coleta das variáveis do balanço térmico e avaliação subjetiva.

### **3.4.1 Variáveis pessoais**

As variáveis pessoais metabolismo e isolamento térmico das vestimentas foram determinadas através das normas ISO/TS 14505-1 (2007) e ISO 9920 (1995), em conformidade com a atividade em estudo.

A ISO 14501-1 (2007) indica que a produção de calor do ocupante de um veículo depende do nível de atividade desempenhada, em termos de energia. Considerando que os policiais realizam a maior parte de sua atividade, o radiopatrulhamento, em ruas e avenidas que não são pavimentadas, a norma ISO 14505-1 (2007) indica que o valor do metabolismo adotado deve ser de  $M = 80 \text{ W/m}^2$ .

O isolamento térmico das vestes foi determinado considerando a norma ISO 9920 (1995), Anexo B – Valores de Isolamento Térmico para Peças de Vestuário Individuais, pois o tipo de roupa dos policiais militares e o material do qual a mesma é fabricada são comuns somente à atividade em questão.

Este procedimento foi realizado comparando-se com as vestimentas apresentadas na referida norma, sob a supervisão de um especialista na área. Sendo assim, para a determinação do isolamento térmico de cada peça de roupa utilizada pelos policiais buscou-se uma peça de roupa constante do Anexo B da ISO 9920 (1995) que fosse similar tanto visualmente, quanto com relação ao tipo de material que a vestimenta era fabricado.

Por outro lado, as variáveis idade, sexo, peso e estatura foram declaradas pelos próprios policiais quando do preenchimento do instrumento de coleta.

### 3.4.2 Variáveis ambientais

A coleta das variáveis ambientais (temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, temperatura de globo, velocidade do ar e umidade relativa do ar) se deu através da colocação do aparelho medidor de estresse térmico TGD-400, marca *Instrutherm* (Figura 14) no interior do veículo para que o mesmo pudesse coletar os dados térmicos enquanto a atividade de radiopatrulhamento era realizada, pelo tempo de 30 minutos.

Figura 14- Medidor de estresse térmico da marca *Instrutherm*



Fonte: *Instrutherm* (2013)

Esse medidor, além de medir as variáveis climáticas, fornece diretamente os valores do índice IBUTG, além de outros. Para tanto, ele dispõe de três sensores termopares: um mede a temperatura de bulbo seco e outro a de bulbo úmido. Um terceiro fica no centro de uma esfera oca de cobre, pintada de preto fosco e mede a temperatura de globo. Esta esfera absorve o calor emitido por radiação pelas superfícies do seu entorno, permitindo o cálculo da temperatura radiante média.

As escalas dos dois primeiros sensores variam de  $-5^{\circ}\text{C}$  até  $+60^{\circ}\text{C}$ , enquanto que a do terceiro é de  $-5^{\circ}\text{C}$  a  $+100^{\circ}\text{C}$ . A resolução e precisão de cada um é  $0,1^{\circ}\text{C}$  e  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , respectivamente.

Posicionou-se o equipamento no centro da viatura, de modo a coletar as informações de maneira mais homogênea possível. Foram tomadas as devidas precauções para que a movimentação do veículo não interferisse na medição das variáveis. Para isso, contava-se com o apoio de um pesquisador no interior da

viatura.

Os equipamentos utilizados para a coleta dos dados pertencem ao Laboratório de Análise do Trabalho do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal da Paraíba.

### **3.4.3 Índices de estresse térmico**

Os índices de IBUTG e  $SW_{req}$  foram os índices de estresse térmico devido ao calor utilizados nesta pesquisa, conforme as normas ISO 7243 (1989) e ISO 7933 (1989). O IBUTG foi obtido diretamente através do equipamento TGD-400, sendo que se considerou o ambiente como não estando exposto diretamente à radiação solar. Deste modo, este índice analisado é para ambientes internos.

Por outro lado, o índice de sudorese requerida ( $SW_{req}$ ) obteve-se através do *software Analysis CST*, introduzindo-se as variáveis do ambiente térmico que foram obtidas através do aparelho TGD-400. Ainda, semelhantemente, obteve-se os valores da Evaporação máxima ( $E_{max}$ ) e Evaporação requerida ( $E_{req}$ ), bem como os valores determinantes do tempo máximo permitido para a execução do trabalho segundo às condições a que estão submetidos os policiais.

### **3.4.4 Obtenção dos parâmetros que compõem o balanço térmico**

Através das variáveis térmicas obtidas pelo TGD-400, utilizou-se novamente o *software Analysis CST* desenvolvido pelo LabEEE/NPC da UFSC para calcular as variáveis do balanço térmico, a saber: convecção por respiração, convecção na pele, radiação, evaporação sudoral e evaporação por difusão.

### **3.4.5 Avaliação subjetiva**

A avaliação subjetiva realizada baseou-se na aplicação do questionário presente na norma ISO 14505-3 (2006), o qual determina, através de escalas



subjetivas a respeito da sensação térmica, do conforto térmico, do suor, da preferência, aceitação e satisfação se o ambiente é confortável termicamente.

Este instrumento foi aplicado a cada 10 minutos, como sugerido pela norma, isto é: ao início da atividade (0 minuto), após 10 e 20 minutos e ao fim da atividade (30 minutos), de forma que cada indivíduo respondeu quatro vezes ao questionário. Em seguida, tabularem-se os dados, comparando-os com os limites estipulados pela norma supracitada.

Para cada escala, a norma ISO 14505-3 determina uma forma distinta de avaliá-la, utilizando-se de critérios para determinar se o ambiente térmico pode ser considerado como confortável ou não:

#### — Escala de Sensação Térmica

A norma ISO 14505-3 (2006) determina que para a escala de sete pontos da sensação térmica, os critérios para que o ambiente em estudo seja considerado como desconfortáveis são a mediana e a frequência:

- ✓ Mediana > +1 (levemente quente) ou Mediana < -1 (levemente frio)
- ✓ Se mais que  $\left(\frac{n}{2} - 1\right) = 9$  valores são > +2 (quente) ou < -2 (frio), sendo n o tamanho da amostra, que é de 20 policiais.

#### — Escala de Conforto Térmico

Para a escala de quatro pontos a respeito do conforto térmico, a norma ISO 14505-3 (2006) determina que os critérios para que o ambiente estudado não seja considerado confortável são a mediana e a frequência:

- ✓ Mediana > +1 (levemente desconfortável)
- ✓ Se mais que  $\left(\frac{n}{2} - 1\right) = 9$  valores são > +2 (desconfortável), sendo n o tamanho da amostra, que é de 20 policiais.

#### — Escala de Suor

Com relação à escala de quatro pontos no que concerne ao suor, a norma determina os seguintes critérios para que o ambiente seja considerado desconfortável termicamente são a mediana e a frequência:

- ✓ Mediana > +1 (levemente suado);
- ✓ Se mais que  $\left(\frac{n}{2} - 1\right) = 9$  valores são > +2 (suado), sendo n o

tamanho da amostra, que é de 20 policiais.

#### — Escala de Preferência Térmica

Por sua vez, para a escala de sete pontos relativa à preferência térmica, a norma ISO 14505-3 (2006) determina os seguintes critérios para que o ambiente seja considerado desconfortável termicamente são a mediana e a frequência:

- ✓ Mediana  $> +1$  (um pouco mais quente) ou  $< -1$  (um pouco mais frio)
- ✓ Se mais que  $\left(\frac{n}{2} - 1\right) = 9$  valores são  $> +2$  (mais quente) ou  $< -2$  (mais frio), sendo  $n$  o tamanho da amostra, que é de 20 policiais.

#### — Escala de Aceitação Térmica

Em relação à escala de dois pontos relativa à aceitação dos indivíduos em relação ao ambiente térmico, a norma ISO 14505-3 (2006) determina o critério a seguir para que um determinado ambiente seja considerado desconfortável em relação ao quesito térmico:

- ✓ Se mais que  $\left(\frac{n}{2} - 1\right) = 9$  valores são indicados como “Inaceitável”, sendo  $n$  o tamanho da amostra, que é de 20 policiais.

#### — Escala de Satisfação Térmica

Por fim, para a escala de dois pontos a respeito da satisfação dos indivíduos em relação ao ambiente térmico em que executam suas atividades, a ISO 14505-3 (2006) indica o seguinte critério para que se considere como desconfortável:

- ✓ Se mais que  $\left(\frac{n}{2} - 1\right)$  valores são indicados como “Insatisfeito”, sendo  $n$  o tamanho da amostra, que é de 20 policiais.

Esta avaliação objetivou determinar se os policiais militares participantes desta pesquisa que realizam o radiopatrulhamento do 1º Batalhão da Polícia Militar do Estado da Paraíba estão em um ambiente térmico que pode ser classificado como “confortável” ou “desconfortável”. O anexo 01 apresenta o questionário traduzido da norma ISO 14505-3 (2006) aplicado nesta pesquisa.

### 3.5 Tratamento dos dados

O tratamento dos dados foi realizado de forma a buscar a compreensão acerca dos dados coletados através dos instrumentos da pesquisa. Visando este fim, realizou-se tanto análises descritivas, quanto a construção de um modelo matemático.

A análise descritiva contou com a determinação de medidas de tendência central e de dispersão, como média e desvio padrão para as variáveis temperatura do ar, temperatura de bulbo úmido, temperatura de globo, umidade relativa e temperatura média radiante. Também se realizaram tais análises para os índices de estresse térmico IBUTG e  $SW_{req}$ , além das variáveis Evaporação requerida, Evaporação máxima, Fração de pele molhada requerida e Tempo máximo de exposição ao ambiente para pessoas aclimatadas.

Conforme procedimento adotado pela norma ISO 14505-3 (2006), o tratamento dos dados foi realizado através do cálculo de medianas e frequências. Calcularam-se, também, as porcentagens das respostas para cada escala no caso da avaliação subjetiva.

Além disso, construiu-se um modelo matemático para avaliar as relações entre as variáveis “Sensação Térmica” dos policiais e as variáveis do balanço e conforto térmico, baseado nos modelos regressivos e lineares generalizados, de modo a comparar com a percepção térmica do policial e a avaliação subjetiva realizada.

Para a construção do modelo, considerou-se a variável dependente como sendo “Sensação Térmica”, coletada através dos questionários da ISO 14505-3(2006). As variáveis independentes selecionadas foram Convecção respiratória, Evaporação respiratória, Convecção na pele, Radiação, Evaporação sudoral, Idade, Sexo, Peso e Estatura. A variável do balanço térmico Evaporação por difusão não foi incluída na concepção do modelo por ter apresentado apenas resultados nulos nas observações coletadas.

Em seguida, selecionaram-se as variáveis em um primeiro modelo ( $m1$ ) através do método “Eliminação Backward”. Sendo feito isto, analisaram-se os p-valores das estimativas referentes às suas respectivas variáveis, observando se algum destes valores encontrava-se acima de 0,05. Variáveis com p-valor ( $Pr(>|z|)$ )

> 0,05 foram eliminadas do modelo  $m1$ .

Em seguida, calculou-se um novo modelo ( $m2$ ), bem como novos valores para as estimativas dos coeficientes. Desta vez, todos os p-valores encontrados estavam abaixo de 0,05, sendo as estimativas consistentes.

A próxima etapa analisou os resíduos do modelo. Verificou-se a homocedasticidade do modelo  $m2$ , o qual apresentou resíduos com variância constante. Em relação à normalidade dos resíduos, construiu-se um gráfico Q-Q Plot, onde se verificou que a distribuição dos resíduos possui comportamento de uma distribuição normal.

Além dos resíduos, verificou-se a alavancagem dos pontos, no sentido de observar se alguns deles possuem influência no conjunto de dados. A alavancagem nada mais é que medidas da influência de uma observação na determinação das estimativas da variável resposta usando um modelo.

Encontrando-se pontos de alavancagem, estes são retirados do modelo e então todo o procedimento até aqui apresentado é repetida até que se encontre o modelo mais ajustado.

## CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo tem por objetivo apresentar e discutir os resultados obtidos na pesquisa a partir dos procedimentos metodológicos outrora estipulados. Demonstram-se os valores referentes às variáveis pessoais, ambientais, índices de estresse térmico e os resultados das avaliações subjetivas, bem como se apresenta um modelo linear generalizado (MLG) onde se pode analisar a sensação térmica para o caso dos policiais militares da Paraíba quando da realização do radiopatrulhamento.

### 4.1 Análise das Variáveis pessoais

O metabolismo e isolamento térmico das vestes determinados estão apresentados na Tabela 03.

**Tabela 03 - Metabolismo e Isolamento térmico das vestimentas dos policiais**

|  |                | <b>Valores obtidos</b>    |  |
|--|----------------|---------------------------|--|
| <b>Metabolismo (M)</b>                     |                | <b>80 W/m<sup>2</sup></b> |  |
|  | Roupa de baixo | 0,03 clo                  |  |
|  | Camiseta       | 0,19 clo                  |  |
|  | Japona         | 0,69 clo                  |  |
|  | Calças         | 0,28 clo                  |  |
| <b>Isolamento térmico (I<sub>cl</sub>)</b> | Meias          | 0,03 clo                  |  |
|  | Botas          | 0,10 clo                  |  |
|  | Boina          | 0,01 clo                  |  |
|  | Colete         | 0,22 clo                  |  |
|  | <b>Total</b>   | <b>1,55 clo</b>           |  |

**Fonte: ISO 9920 (1995)**

Através da Tabela 03 nota-se que o isolamento térmico total das vestimentas foi obtido através das somas do respectivo isolamento referente a cada item do fardamento dos policiais.

Com relação às variáveis Idade, Peso e Estatura, a Tabela 04 apresenta as

observações encontradas:

**Tabela 04 - Média das variáveis Idade, Peso e Estatura**

| Variável | Média   |
|----------|---------|
| Idade    | 42 anos |
| Peso     | 79 Kg   |
| Estatura | 1,70m   |

Fonte: Elaboração própria (2014)

Nota-se que a idade média dos policiais pesquisados é de 42 anos, bem como o peso médio foi de 79 Kg. Além disso, o valor médio encontrado para a estatura foi de 1,70m. Ainda, a análise descritiva mostrou que 90% dos policiais eram do sexo masculino e apenas 10% eram mulheres.

#### 4.2 Análise das Variáveis ambientais

As variáveis térmicas observadas nesta pesquisa foram temperatura de bulbo seco ( $t$ ), temperatura de bulbo úmido ( $t_{bu}$ ), temperatura de globo ( $t_g$ ), umidade relativa (UR) e a temperatura radiante média ( $t_{rm}$ ). A Tabela 05 mostra as médias e desvio padrão para estas variáveis de acordo com os dias em que foram realizadas as medições.

Tabela 05 - Média e desvio padrão para as variáveis térmicas

|                                      | 01/jul    |      | 22/jul    |      | 12/ago    |      | 23/set    |      | 25/set    |      | 13/nov    |      | 14/nov    |      | 18/nov    |      | 19/nov    |      | 20/nov    |      |
|--------------------------------------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|
|                                      | $\bar{x}$ | DP   | $\bar{x}$ | DP   | $\bar{x}$ | DP   | $\bar{x}$ | DP   | $\bar{x}$ | DP   | $\bar{x}$ | DP   | $\bar{x}$ | DP   | $\bar{x}$ | DP   | $\bar{x}$ | DP   | $\bar{x}$ | DP   |
| <b>t</b><br><b>[°C]</b>              | 32,17     | 0,54 | 32,84     | 0,54 | 32,34     | 0,58 | 32,40     | 0,40 | 31,79     | 0,52 | 31,87     | 0,24 | 33,70     | 0,51 | 32,90     | 0,50 | 31,93     | 0,34 | 32,52     | 0,57 |
| <b>t<sub>bu</sub></b><br><b>[°C]</b> | 26,39     | 0,22 | 26,07     | 0,16 | 25,62     | 0,31 | 25,70     | 0,30 | 25,39     | 0,46 | 24,66     | 0,27 | 25,10     | 0,10 | 25,10     | 0,30 | 25,13     | 0,18 | 25,22     | 0,51 |
| <b>t<sub>g</sub></b><br><b>[°C]</b>  | 32,53     | 0,59 | 32,08     | 0,35 | 32,65     | 0,26 | 32,30     | 0,30 | 32,35     | 0,48 | 33,28     | 0,40 | 32,90     | 0,17 | 33,80     | 0,30 | 32,79     | 0,31 | 32,59     | 0,75 |
| <b>UR</b><br><b>[%]</b>              | 63,37     | 2,71 | 69,25     | 2,67 | 68,08     | 2,52 | 69,50     | 3,40 | 60,67     | 3,18 | 67,14     | 1,31 | 61,20     | 2,63 | 63,90     | 2,10 | 67,32     | 1,63 | 65,76     | 2,68 |
| <b>Trm</b>                           | 32,48     | 0,86 | 31,77     | 0,28 | 33,27     | 0,58 | 32,10     | 0,70 | 32,41     | 0,44 | 34,09     | 0,73 | 33,80     | 0,69 | 34,00     | 0,30 | 32,99     | 0,34 | 32,49     | 0,23 |

Fonte: Elaboração própria (2014)

Percebe-se, então, que de uma forma geral, a temperatura de bulbo seco  $t$ , ou seja, a temperatura do ar, apresentou valores próximos a 32°C. Por sua vez, a temperatura de bulbo úmido  $t_{bu}$  apresentou valores médios de 25°C; a temperatura de globo encontrou-se em torno de 33°C; a umidade relativa UR situou-se entre 67% e a temperatura radiante média  $t_{rm}$  apresentou também valores no entorno de 33°C.

As elevadas temperaturas e alta umidade relativa, como na situação determinada nesta pesquisa, pode levar à incapacidade de continuar um exercício devido ao calor, doença definida como exaustão térmica. Esta é a doença térmica mais comum entre atletas e soldados. Ela ocorre devido à sudorese excessiva em ambiente quente e provoca falha cardiovascular pelas demandas conflitantes por fluxo aumentado da pele - para sustentar a sudorese e a perda de calor, e dos músculos - para sustentar o metabolismo aumentado (CAMARGO & FURLAN, 2011).

#### **4.3 Análise dos Índices de estresse térmico**

Coletaram-se informações a respeito dos índices IBUTG (ISO 7243, 1989) e  $SW_{req}$  (ISO 7933, 1989). Primeiramente tratando a respeito do IBUTG, os resultados encontrados, para cada dia de coleta de dados, encontram-se na Tabela 06.

Percebe-se que o índice IBUTG obteve um valor em torno de 28°C. Considera-se nesta pesquisa que os policiais exercem uma atividade contínua e, pelo fato de encontrarem-se dirigindo (já que se analisa apenas a atividade de radiopatrulhamento motorizado), segundo o Quadro 02 considera-se também que a atividade realizada é leve.

Sendo assim, de acordo com a NR-15 e observando-se o Quadro 01, em nenhum momento a atividade exercida, naquelas condições, superou o limite de exposição ao calor. Para que a atividade fosse considerada insalubre, seria necessário que o IBUTG encontrado fosse acima de 30°C.



**Tabela 06 - Média e desvio padrão para o índice IBUTG**

| IBUTG             |           |           |
|-------------------|-----------|-----------|
| <b>01/07</b>      | $\bar{X}$ | <b>DP</b> |
| <b>IBUTG [°C]</b> | 27,34     | 0,31      |
| <b>22/07</b>      | $\bar{X}$ | <b>DP</b> |
| <b>IBUTG [°C]</b> | 27,47     | 0,18      |
| <b>12/08</b>      | $\bar{X}$ | <b>DP</b> |
| <b>IBUTG [°C]</b> | 27,61     | 0,29      |
| <b>23/09</b>      | $\bar{X}$ | <b>DP</b> |
| <b>IBUTG [°C]</b> | 27,60     | 0,30      |
| <b>25/09</b>      | $\bar{X}$ | <b>DP</b> |
| <b>IBUTG [°C]</b> | 26,38     | 0,24      |
| <b>13/11</b>      | $\bar{X}$ | <b>DP</b> |
| <b>IBUTG [°C]</b> | 27,11     | 0,26      |
| <b>14/11</b>      | $\bar{X}$ | <b>DP</b> |
| <b>IBUTG [°C]</b> | 27,40     | 0,19      |
| <b>18/11</b>      | $\bar{X}$ | <b>DP</b> |
| <b>IBUTG [°C]</b> | 29,70     | 0,30      |
| <b>19/11</b>      | $\bar{X}$ | <b>DP</b> |
| <b>IBUTG [°C]</b> | 29,14     | 0,35      |
| <b>20/11</b>      | $\bar{X}$ | <b>DP</b> |
| <b>IBUTG [°C]</b> | 29,02     | 0,32      |

Fonte: Elaboração própria (2014)

Por outro lado, sabe-se que as vestimentas e o seu isolamento térmico exercem papel fundamental no que concerne ao estresse térmico. Porém, os métodos existentes, baseados nas normas ISO 7243 (1989), assumem o fato de que a vestimenta utilizada pelos indivíduos em estudo é permeável e que a vestimenta é “leve”, utilizando-se o valor padrão de 0,6 clo (DELEPOSTE, 2010; PARSONS, 2006; HANSON, 1999; ORCBS, 1999).

Assim, constata-se o fato de que a NR-15 ao basear-se na norma ISO 7243 (1989), desconsidera a observação feita de que os limites estabelecidos pela supracitada norma foram determinados para um isolamento térmico das vestimentas igual a 0,6 clo, isolamento este que está muito aquém do apresentado na pesquisa em questão.

Em casos onde a resistência térmica das vestimentas é diferente da apresentada, algumas medidas podem ser adotadas para corrigir estes fatores. A ORCBS - *The Office of Radiation, Chemical and Biological Safety* (1999), Deleposte (2010); Saliba, Corrêa e Amaral (2002) apresentam a proposta ilustrada no Quadro 05.

**Quadro 05 - Correção do IBUTG para diferentes tipos de roupas**

| Tipo de roupa                        | Valor de $I_{cl}$ (clo) | Correção do IBUTG (°C) |
|--------------------------------------|-------------------------|------------------------|
| Uniforme de trabalho de verão        | 0,6                     | 0                      |
| Capa de algodão                      | 1,0                     | -2                     |
| Proteção contra a umidade, permeável | 1,2                     | -4                     |
| Uniforme de trabalho de inverno      | 1,4                     | -6                     |

Fonte: ORCBS (1999); Saliba, Corrêa e Amaral (2002); Deleposte (2010)

Desta forma, considerando que o isolamento térmico definido anteriormente para a vestimenta utilizada pelos policiais militares da Paraíba quando da realização do radiopatrulhamento foi de 1,55 clo, de forma a utilizar a correção proposta pelos autores supracitados, adota-se nesta pesquisa a correção do IBUTG em -6° C, aproximando-se o valor do  $I_{cl}$  para um constante no Quadro 05. Logo, corrigindo os Limites de Exposição ao calor constantes na NR-15, considerando o isolamento térmico corretos, tem-se o Quadro 06.

**Quadro 06 - Limites de exposição ao calor para atividade de radiopatrulhamento**

| Regime de trabalho intermitente com descanso no próprio local de trabalho (por hora) | Leve            |
|--|-----------------|
| Trabalho contínuo  | Até 24°C        |
| 45 minutos de trabalho<br>15 minutos de descanso                                     | 24,1 a 24,6°C   |
| 30 minutos de trabalho<br>30 minutos de descanso                                     | 24,7°C a 31,4°C |
| 15 minutos de trabalho<br>45 minutos de descanso                                     | 25,5°C a 26,2°C |
| Não se é permitido o trabalho sem a adoção de medidas adequadas de controle          | Acima de 26,2°C |

Fonte: Adaptado de Norma Regulamentadora – NR 15 (2012)

Deste modo, considerando os dados coletados tem-se que  $\overline{IBUTG} = 27,88^{\circ}\text{C}$  com  $DP = 1,07$ , alcançando um valor mínimo de  $25,9^{\circ}\text{C}$  e máximo de  $30,3^{\circ}\text{C}$ . Assim, de acordo com o Quadro 06, onde os valores limites de exposição ao calor estão corrigidos com relação ao isolamento térmico das vestimentas utilizadas, a atividade do radiopatrulhamento dos policiais militares do 1º Batalhão da Paraíba não seria permitida.

Com relação ao índice de sudorese requerida,  $SW_{req}$ , a Tabela 07 mostra os valores do índice para os dias estudados, bem como os valores da Evaporação

requerida ( $E_{req}$ ), Evaporação máxima ( $E_{max}$ ), Fração de pele molhada requerida ( $w_{req}$ ), além dos tempos máximos de exposição para aquele ambiente em caso de pessoas aclimatadas ( $DLE_1$  e  $DLE_2$ ).

Tabela 07 - Média e desvio padrão para  $SW_{req}$  e índices relacionados

|   | 01/jul    |       | 22/jul    |       | 12/ago    |       | 23/set    |       | 25/set    |       |
|---|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
|   | $\bar{x}$ | DP    | $\bar{x}$ | DP    | $\bar{x}$ | DP    | $\bar{x}$ | DP    | $\bar{x}$ | DP    |
| $SW_{req}$ [W/m <sup>2</sup> ]              | 139,64    | 3,67  | 138,24    | 2,49  | 142,03    | 2,60  | 138,11    | 4,17  | 136,86    | 1,03  |
| $E_{max}$ [W/m <sup>2</sup> ]               | 55,32     | 1,83  | 58,32     | 1,25  | 60,73     | 1,30  | 59,37     | 2,08  | 60,05     | 0,56  |
| $E_{req}$ [W/m <sup>2</sup> ]               | 69,82     | 1,29  | 69,12     | 2,11  | 71,02     | 1,05  | 69,05     | 1,58  | 68,71     | 1,43  |
| $w_{req}$ [W/m <sup>2</sup> ]               | 1,00      | 0,00  | 1,00      | 0,00  | 1,00      | 0,00  | 1,00      | 0,00  | 1,00      | 0,00  |
| DLE <sub>1</sub> (Situação de perigo) [min] | 270,79    | 27,19 | 337,42    | 45,59 | 353,16    | 40,58 | 376,88    | 50,58 | 426,60    | 78,40 |
| DLE <sub>2</sub> (Situação de alerta) [min] | 208,99    | 22,65 | 281,19    | 38,00 | 294,30    | 33,82 | 314,07    | 42,16 | 355,50    | 65,33 |

|   | 13/nov    |       | 14/nov    |       | 18/nov    |       | 19/nov    |       | 20/nov    |       |
|---|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
|   | $\bar{x}$ | DP    | $\bar{x}$ | DP    | $\bar{x}$ | DP    | $\bar{x}$ | DP    | $\bar{x}$ | DP    |
| $SW_{req}$ [W/m <sup>2</sup> ]              | 143,22    | 2,78  | 145,68    | 1,75  | 145,18    | 1,77  | 140,46    | 1,54  | 139,83    | 1,07  |
| $E_{max}$ [W/m <sup>2</sup> ]               | 63,16     | 1,39  | 65,99     | 3,73  | 64,20     | 0,88  | 62,07     | 0,77  | 62,56     | 1,54  |
| $E_{req}$ [W/m <sup>2</sup> ]               | 71,61     | 0,93  | 72,84     | 4,06  | 72,59     | 1,35  | 70,23     | 0,89  | 69,91     | 1,60  |
| $w_{req}$ [W/m <sup>2</sup> ]               | 1,00      | 0,00  | 1,00      | 0,00  | 1,00      | 0,00  | 1,00      | 0,00  | 1,00      | 0,00  |
| DLE <sub>1</sub> (Situação de perigo) [min] | 429,52    | 44,62 | 582,18    | 39,45 | 429,81    | 24,54 | 443,21    | 37,39 | 497,04    | 70,66 |
| DLE <sub>2</sub> (Situação de alerta) [min] | 357,94    | 37,18 | 485,15    | 32,87 | 358,18    | 20,45 | 369,34    | 31,16 | 414,20    | 58,88 |

Fonte: Elaboração própria (2014)

Sobre a Tabela 07, nota-se que em todas as observações  $E_{req}$  foi maior que a  $E_{max}$ . Isto indica que os policiais deveria perder uma quantidade de calor por evaporação que o ambiente permitia, devido ao alto isolamento térmico das vestes. Assim, o fato de  $E_{req}$  ser maior do que  $E_{max}$  contraria o primeiro critério relativo ao estresse térmico.

Em vista disso, passou-se a analisar os critérios fisiológicos, pois a situação anterior pode levar á acumulação de calor e, portanto, elevar a temperatura interna do indivíduo.

Considerando-se os dois critérios de estresse para avaliação da taxa requerida de suor constantes na norma ISO 7933 (1989), observa-se que para pessoas aclimatadas a fração de pele molhada requerida ( $w_{req}$ ) é igual à fração de pele molhada máxima ( $w_{max}$ ), expondo os indivíduos à situação de perigo.

Segundo Widmaier, Raff e Strang (2006), a sudorese é o mecanismo através do qual o corpo perde o calor produzido quando a máxima vasodilatação não pode eliminar o calor na mesma taxa em que ele é produzido. Sendo assim, o índice de  $SW_{req}$  mostrou-se maior que o máximo permitido pela norma supracitada.

Ainda, nota-se que:

- O  $DLE_1$  determina o tempo máximo após o qual a temperatura interna começa a se elevar;
- O  $DLE_2$  determina o tempo máximo após o qual a pessoa se desidrata. Este, por sua vez, é fator limitante, o qual, uma vez atingido, o trabalhador deve parar suas atividades e não retornar ao trabalho no mesmo dia.

Esta pesquisa verificou que em todas as ocasiões o  $DLE_2$  predominou, mostrando a pior situação que foi de 3h e 30 minutos de exposição permitida no dia 01 de julho, sendo a melhor situação no dia 14 de julho, com 8 horas e 6 minutos admissíveis. Esses dias apresentaram, também como risco de elevação de temperatura corporal, os limites de 4h e 30 minutos e 9h e 42 minutos, respectivamente.

Sendo assim, considerando que a jornada de trabalho dos policiais militares do 1º Batalhão da Polícia Militar do Estado da Paraíba que realizam o radiopatrulhamento motorizado é de 12 horas, estes indivíduos estariam expostos ao calor excessivo, trazendo perigo à sua saúde, pois o tempo de trabalho contínuo excede o tempo máximo de exposição permitido. Deste modo, nesta pesquisa,

considerando o melhor cenário possível, o valor recomendado para a jornada de trabalho dos policiais é de aproximadamente 8 horas.

#### 4.4 Análise das variáveis do balanço térmico

Semelhantemente, realizaram-se também análises descritivas com relação às variáveis do balanço térmico. A tabela 09 contém as medidas de média, desvio-padrão e valores máximo e mínimo para cada uma das variáveis.

**Tabela 08 - Média, desvio padrão, máximo e mínimo para as variáveis do balanço térmico**

|                          | $\bar{X}$ | DP   | Máx   | Mín   |
|--------------------------|-----------|------|-------|-------|
| Cres [W/m <sup>2</sup> ] | 0,31      | 0,09 | 0,49  | 0,06  |
| Eres [W/m <sup>2</sup> ] | 3,93      | 0,19 | 4,46  | 3,52  |
| C [W/m <sup>2</sup> ]    | 2,90      | 0,95 | 5,08  | 0,18  |
| R [W/m <sup>2</sup> ]    | 2,38      | 1,70 | 5,64  | -2,80 |
| Es [W/m <sup>2</sup> ]   | 61,18     | 3,39 | 71,70 | 54,30 |
| Edif [W/m <sup>2</sup> ] | 0,00      | 0,00 | 0,00  | 0,00  |

Fonte: Elaboração própria (2014)

A tabela 08 mostra que para a Convecção respiratória (Cres) a média foi de 0,31 W/m<sup>2</sup>, com um desvio padrão de 0,09, tendo alcançado um valor máximo de 0,49 W/m<sup>2</sup> e mínimo de 0,06 W/m<sup>2</sup>.

Para a Evaporação respiratória (Eres) a média encontrada foi de 3,93 W/m<sup>2</sup>, com desvio padrão de 0,19 e máximo de 4,46 W/m<sup>2</sup>, com mínimo de 3,52 W/m<sup>2</sup>.

Com relação à Convecção (C), a média encontrada foi de 2,90 W/m<sup>2</sup>, com desvio padrão de 0,95. Os valores máximo e mínimo foram de 5,08 W/m<sup>2</sup> e 0,18 W/m<sup>2</sup>, respectivamente.

A Radiação (R) teve média de 2,38 W/m<sup>2</sup> e desvio padrão de 1,70, alcançando valor máximo de 5,64 W/m<sup>2</sup> e mínimo de -2,80 W/m<sup>2</sup>.

A Evaporação sudoral (Es) apresentou média de 61,18 W/m<sup>2</sup>, desvio padrão de 3,39 W/m<sup>2</sup> e valores máximo e mínimo de 71,70 W/m<sup>2</sup> e 54,30, respectivamente. Por sua vez, a Evaporação por difusão apresentou valor nulo em todas as observações.

#### **4.5 Avaliação subjetiva**

Conforme estabelecido, cada indivíduo completou o questionário a cada 10 minutos durante o teste. Porém, a norma ISO 14505-3 (2006) indica que para as conclusões a respeito do ambiente térmico em questão, consideram-se apenas os dois últimos questionários respondidos (aos 20 e 30 minutos). Esta determinação é feita, pois a norma indica que os dois últimos questionários demonstram as respostas de um indivíduo já aclimatado ao ambiente em estudo.

A Tabela 09 apresenta os resultados encontrados.

Tabela 09 - Respostas subjetivas

| SUJEITO           | TEMPO | ST         | CT         | SUOR       | PREF      | ACEIT     | SATISF    |
|-------------------|-------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| 1                 | 20    | 0,9        | 2,2        | 2,1        | -2        | 1         | 1         |
|                   | 30    | 0,9        | 2,2        | 2,1        | -2        | 1         | 1         |
| 2                 | 20    | 1,9        | 2,0        | 2,0        | -2        | 1         | 1         |
|                   | 30    | 1,9        | 1,9        | 2,0        | -2        | 1         | 1         |
| 3                 | 20    | 1,4        | 1,5        | 1,5        | -2        | 0         | 1         |
|                   | 30    | 1,5        | 1,4        | 1,5        | -2        | 0         | 1         |
| 4                 | 20    | 2,1        | 2,5        | 2,1        | -2        | 1         | 1         |
|                   | 30    | 2,1        | 2,5        | 2,1        | -2        | 1         | 1         |
| 5                 | 20    | 3,0        | 3,0        | 3,0        | -3        | 1         | 1         |
|                   | 30    | 3,0        | 3,0        | 3,0        | -3        | 1         | 1         |
| 6                 | 20    | 3,0        | 3,0        | 2,5        | -2        | 1         | 1         |
|                   | 30    | 3,0        | 3,0        | 2,7        | -3        | 1         | 1         |
| 7                 | 20    | 2,1        | 2,1        | 2,3        | -2        | 1         | 1         |
|                   | 30    | 2,4        | 2,2        | 2,2        | -2        | 1         | 1         |
| 8                 | 20    | 3,0        | 3,0        | 2,4        | -3        | 1         | 1         |
|                   | 30    | 3,0        | 3,0        | 2,3        | -3        | 1         | 1         |
| 9                 | 20    | 3,0        | 3,0        | 3,0        | -3        | 1         | 1         |
|                   | 30    | 3,0        | 3,0        | 3,0        | -3        | 1         | 1         |
| 10                | 20    | 3,0        | 3,0        | 2,9        | -2        | 1         | 1         |
|                   | 30    | 2,7        | 3,0        | 2,9        | -2        | 1         | 1         |
| 11                | 20    | 2,2        | 2,2        | 2,1        | -2        | 1         | 1         |
|                   | 30    | 2,3        | 2,2        | 2,2        | -2        | 1         | 1         |
| 12                | 20    | 2,2        | 2,1        | 2,1        | -1        | 1         | 1         |
|                   | 30    | 2,3        | 2,1        | 2,1        | -2        | 1         | 1         |
| 13                | 20    | 2,9        | 3,0        | 2,9        | -3        | 1         | 1         |
|                   | 30    | 3,0        | 3,0        | 2,3        | -2        | 1         | 1         |
| 14                | 20    | 2,3        | 2,2        | 1,9        | -2        | 1         | 1         |
|                   | 30    | 3,0        | 3,0        | 3,0        | -3        | 1         | 1         |
| 15                | 20    | 2,2        | 2,2        | 2,2        | -2        | 1         | 1         |
|                   | 30    | 2,4        | 2,4        | 2,3        | -3        | 1         | 1         |
| 16                | 20    | 1,6        | 2,3        | 2,0        | -2        | 1         | 1         |
|                   | 30    | 2,6        | 2,8        | 3,0        | -3        | 1         | 1         |
| 17                | 20    | 2,1        | 2,1        | 2,1        | -2        | 1         | 1         |
|                   | 30    | 2,5        | 2,1        | 2,1        | -2        | 1         | 1         |
| 18                | 20    | 2,4        | 2,3        | 2,8        | -2        | 1         | 1         |
|                   | 30    | 2,8        | 2,1        | 2,8        | -3        | 1         | 1         |
| 19                | 20    | 2,1        | 1,6        | 2,1        | -3        | 1         | 1         |
|                   | 30    | 2,6        | 2,8        | 2,7        | -3        | 1         | 1         |
| 20                | 20    | 2,2        | 2,3        | 2,3        | -2        | 1         | 1         |
|                   | 30    | 2,8        | 2,3        | 2,5        | -2        | 1         | 1         |
| <b>Mediana</b>    |       | <b>2,4</b> | <b>2,3</b> | <b>2,3</b> | <b>-2</b> | <b>-</b>  | <b>-</b>  |
| <b>Frequência</b> |       | <b>33</b>  | <b>36</b>  | <b>33</b>  | <b>14</b> | <b>38</b> | <b>40</b> |

Fonte: Elaboração própria (2014)



Onde:

- ST é “Sensação Térmica”;
- CT é “Conforto Térmico”;
- PREF é “Preferência”;
- ACEIT é “Aceitação” e
- SATISF é “Satisfação”.

A seguir, serão explicitadas as considerações obtidas a respeito de cada uma das escalas apresentadas na Tabela 09.

#### 4.5.1 Resultados para a escala de “Sensação Térmica”

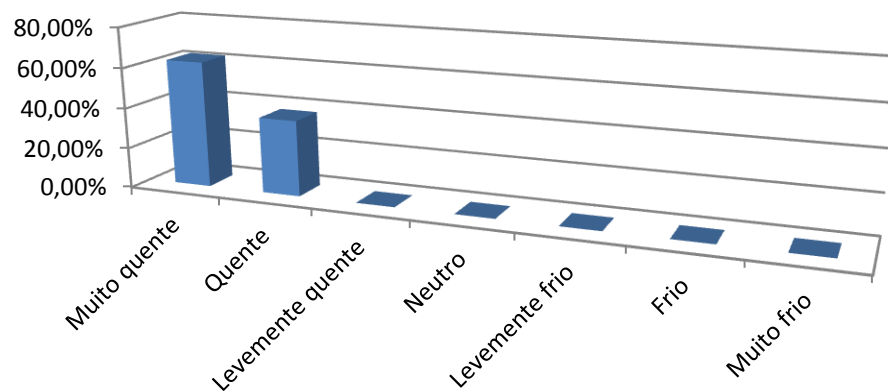
Primeiramente, realizou-se uma análise descritiva a partir das observações coletadas (Tabela 09) obtendo-se a porcentagem de votos para a avaliação de sensação térmica (Tabela 10).

**Tabela 10 - Porcentagem das respostas com relação à Sensação Térmica**

| <b>Sensação Térmica</b> |    | <b>Porcentagem</b> |
|-------------------------|----|--------------------|
| <b>Muito quente</b>     | +3 | 62,50%             |
| <b>Quente</b>           | +2 | 37,50%             |
| <b>Levemente quente</b> | +1 | 0%                 |
| <b>Neutro</b>           | 0  | 0%                 |
| <b>Levemente frio</b>   | -1 | 0%                 |
| <b>Frio</b>             | -2 | 0%                 |
| <b>Muito frio</b>       | -3 | 0%                 |

**Fonte: Elaboração própria (2014)**

Nota-se que 62,50% das respostas dos policiais indicaram que estavam sentindo-se “Muito Quente” e 37,5% sentiram-se “Quente”. Observa-se também que nenhuma resposta indicou a sensação térmica com relação ao ambiente como “Levemente quente”. Isto pode ser observado no Gráfico 01.

**Gráfico 01 - Percepção térmica dos policiais nas viaturas**

**Fonte: Elaboração própria (2014)**

Analisando os resultados obtidos (Tabela 09), percebe-se que ambos os critérios foram atingidos, já que a mediana apresentada foi de 2,4 e a frequência de valores acima de +2 foi de 33. Isto significa que 33 das 40 respostas à pergunta “Como você se sente agora com relação à sensação térmica?”, os indivíduos responderam que sua sensação térmica era “Quente” ou “Muito Quente”. Considera-se, então, o ambiente como desconfortável.

#### 4.5.2 Resultados para a escala de “Conforto Térmico”

Realizando-se uma análise descritiva a partir das observações coletadas (Tabela 09), obtém-se a porcentagem de votos para a avaliação de conforto térmico (Tabela 11).

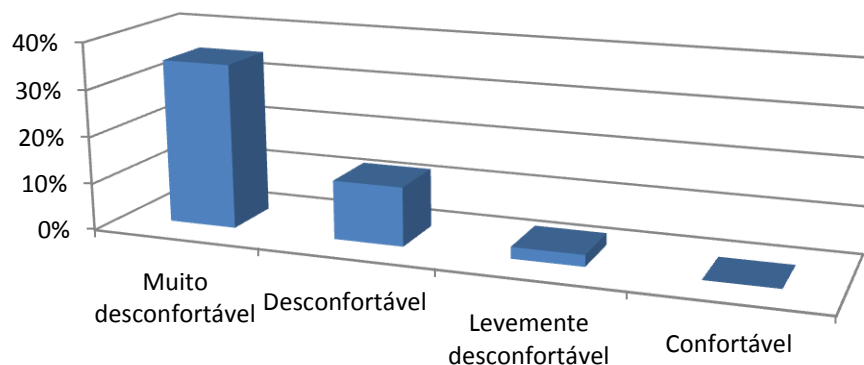
**Tabela 11 - Porcentagem das respostas com relação ao Conforto Térmico**

| Conforto Térmico         |   | Porcentagem |
|--------------------------|---|-------------|
| Muito desconfortável     | 3 | 35%         |
| Desconfortável           | 2 | 12,50%      |
| Levemente desconfortável | 1 | 2,50%       |
| Confortável              | 0 | 0%          |

**Fonte: Elaboração própria (2014)**

Nota-se que 35% das respostas dos policiais indicaram que estavam sentindo-se “Muito Desconfortável”; 12,50% “Desconfortável”; e 2,50% sentiram-se “Levemente Desconfortável”. Em nenhuma resposta o policial indicou sentir-se “Confortável”, conforme pode ser visto no Gráfico 02.

**Gráfico 02 - Conforto térmico dos policiais nas viaturas**



**Fonte: Elaboração própria (2014)**

Analisando os resultados obtidos através da aplicação do questionário (Tabela 09), obtém-se que ambos os critérios também foram atingidos, pois a mediana apresentada foi de 2,3, enquanto a frequência de valores acima de + 2 foi de 36. Sendo assim, depreende-se que em 36 das 40 respostas à pergunta “Como você se sente agora em relação ao conforto térmico?”, os indivíduos responderam que se consideravam “Desconfortável” ou “Muito Desconfortável”. Considera-se, então, o ambiente como desconfortável.

#### **4.5.3 Resultados para a escala de “Suor”**

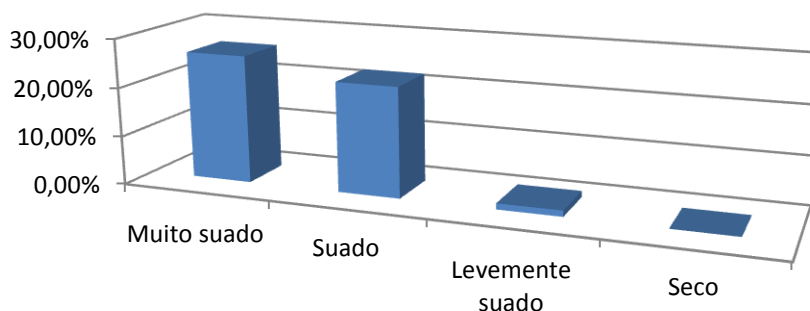
Realizando-se uma análise descritiva a partir das observações coletadas (Tabela 09), obtém-se a porcentagem de votos para a avaliação de suor, constante na Tabela 12:

**Tabela 12 - Porcentagem das respostas com relação ao Suor**

| Suor            |   | Porcentagem |
|-----------------|---|-------------|
| Muito suado     | 3 | 26,25%      |
| Suado           | 2 | 22,50%      |
| Levemente suado | 1 | 1,25%       |
| Seco            | 0 | 0%          |

Fonte: Elaboração própria (2014)

Nota-se que em 26,25% das respostas, os policiais estavam sentindo-se “Muito Suado”; 22,50%, “Suado”; e 1,25%, sentiram-se “Levemente Suado”. Em nenhuma observação o policial indicou sentir-se “Seco”, conforme se observa no Gráfico 03.

**Gráfico 03 - Sensação de suor dos policiais nas viaturas**

Fonte: Elaboração própria (2014)

Dessa forma, analisando-se a Tabela 09, nota-se que, para este item, os critérios foram atingidos, já que a mediana apresentada foi de 2,3 e a frequência de respostas acima de +2 foi de 34. Entende-se, então, que em 34 das 40 respostas dadas à pergunta “Como você se sente agora em relação ao suor?”, foram encontradas respostas de que seria “Suado” ou “Muito suado”. Considera-se, então, o ambiente como desconfortável.

#### 4.5.4 Resultados para a escala de “Preferência Térmica”

Realizando-se uma análise descritiva a partir das observações coletadas (Tabela 09), obteve-se a porcentagem de votos para a avaliação de preferência

térmica, como pode observar-se na Tabela 13.

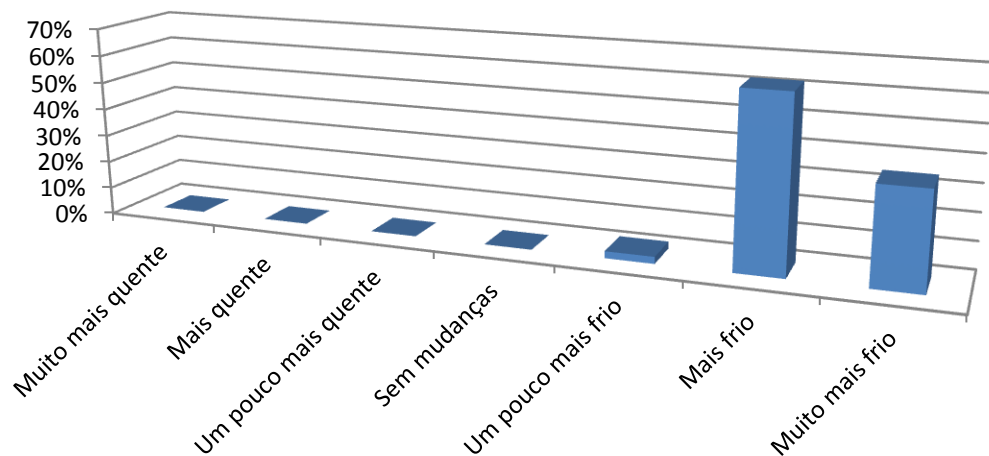
**Tabela 13 - Porcentagem das respostas com relação à Preferência Térmica**

| Preferência Térmica  |    | Porcentagem |
|----------------------|----|-------------|
| Muito mais quente    | +3 | 0%          |
| Mais quente          | +2 | 0%          |
| Um pouco mais quente | +1 | 0%          |
| Sem mudanças         | 0  | 0%          |
| Um pouco mais frio   | -1 | 2,5%        |
| Mais frio            | -2 | 62,5%       |
| Muito mais frio      | -3 | 35%         |

Fonte: Elaboração própria (2014)

Nota-se que em 35% das respostas, os policiais responderam que gostariam que o ambiente estivesse “Muito mais frio”; 62,5% gostariam que o ambiente térmico estivesse “Mais frio”; e 2,5% gostariam de se sentir “Um pouco mais frio”. Observa-se também que nenhuma resposta indicou a preferência por um ambiente térmico sem mudanças. Estes resultados podem ser observados no Gráfico 04.

**Gráfico 04 - Preferência térmica dos policiais nas viaturas**



Fonte: Elaboração própria (2014)

Logo, ao analisar-se a Tabela 09, onde constam os resultados, observa-se que a mediana apresentada foi de -2, bem como a frequência de respostas abaixo de -2 foi de 14. Assim, observa-se que em 14 das 40 opiniões analisadas em resposta à pergunta “Como você gostaria de sentir agora?” obtiveram-se como opiniões “Mais frio” ou “Muito mais frio”. Considera-se, então, o ambiente como desconfortável.

#### 4.5.5 Resultados para a escala de “Aceitação Térmica”

Realizando-se uma análise descritiva a partir das observações coletadas, (Tabela 09) obtém-se a porcentagem de votos para a avaliação da aceitação com relação ao ambiente térmico por parte dos policiais, que pode ser analisado na Tabela 14.

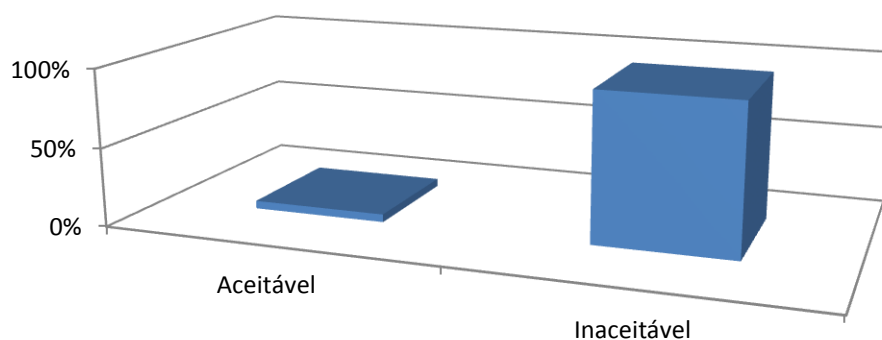
**Tabela 14 - Porcentagem das respostas com relação à Aceitação**

| <b>Aceitação</b>   | <b>Porcentagem</b> |     |
|--------------------|--------------------|-----|
| <b>Aceitável</b>   | 0                  | 5%  |
| <b>Inaceitável</b> | 1                  | 95% |

**Fonte: Elaboração própria (2014)**

Nota-se que em apenas 5% das respostas, os policiais consideraram o ambiente térmico como aceitável. Por outro lado, 95% consideraram como inaceitável. Podem-se observar estes resultados no Gráfico 05.

Deste modo, ao analisar-se as respostas obtidas em relação à pergunta: “Indique quão aceitável você considera este ambiente térmico agora”, constantes na Tabela 09 nota-se que das 40 observações, 38 indicaram que os policiais não aceitavam o ambiente térmico em que estavam inseridos. Deste modo, considera-se o ambiente como desconfortável.

**Gráfico 05 - Aceitação do ambiente térmico dos policiais nas viaturas**

Fonte: Elaboração própria (2014)

#### 4.5.6 Resultados para a escala de “Satisfação Térmica”

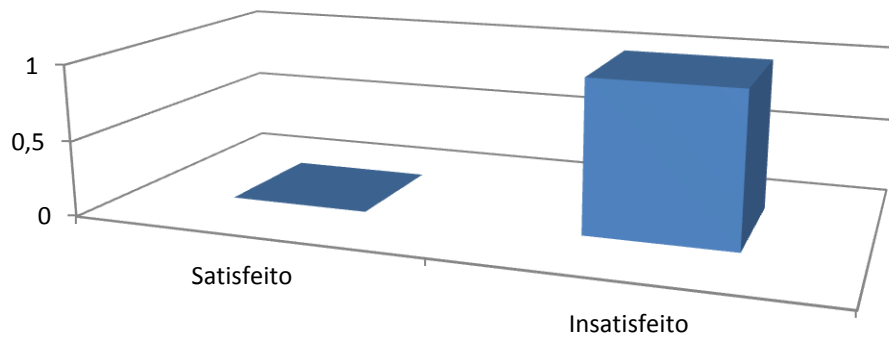
Realizando-se uma análise descritiva a partir das observações coletadas (Tabela 09), obtém-se a porcentagem de votos para a avaliação da satisfação com relação ao ambiente térmico por parte dos policiais, de acordo com a Tabela 15.

**Tabela 15 - Porcentagem das respostas com relação à Satisfação**

| Satisfação   | Porcentagem |
|--------------|-------------|
| Satisfeito   | 0           |
| Insatisfeito | 1           |

Fonte: Elaboração própria (2014)

Percebe-se que todos os policiais mostraram-se insatisfeitos com o ambiente térmico, como pode ser observado no Gráfico 06.

**Gráfico 06 - Satisfação quanto ao ambiente térmico dos policiais nas viaturas**

**Fonte: Elaboração própria (2014)**

Assim, as respostas obtidas em relação à pergunta “Indique quão satisfeito você está com este ambiente térmico agora”, nota-se que todas as 40 respostas acerca deste quesito indicam que os policiais estão insatisfeitos com seu ambiente de trabalho no que se refere à questão térmica. Conforme a norma supracitada considera-se o ambiente como desconfortável

Sendo assim, considerando todos os critérios apresentados, segundo a norma ISO 14505-3 (2006) o ambiente térmico (viatura) no qual os policiais militares do 1º Batalhão da Polícia Militar do Estado da Paraíba realizam suas atividades de radiopatrulhamento é considerado desconfortável.

Vale ressaltar que, segundo esta norma, para que um ambiente térmico seja considerado como desconfortável, pelo menos em uma das escalas os critérios devem ser alcançados. Como demonstrado, na pesquisa em questão, em todas as escalas este fato ocorreu, indicando que seja com relação à sensação térmica, ao conforto térmico, suor, à preferência, aceitação e à satisfação, o ambiente térmico no interior do veículo, onde é realizado o serviço de radiopatrulhamento, é inadequado.



#### 4.6 Modelagem matemática

Para a construção de um modelo matemático, buscou-se identificar os fatores que influenciam a sensação térmica dos policiais militares que realizam o radiopatrulhamento. Este modelo foi construído no sentido de comparar as percepções subjetivas quanto às condições térmicas a que estão submetidos os policiais no exercício de suas atividades de radiopatrulhamento à luz da norma ISO 14505-3 (2006), com a relação às variáveis do balanço térmico. Desta forma, utilizou-se o *software* de domínio livre R, para a obtenção do modelo linear generalizado (MLG).

Primeiramente, definiu-se o modelo linear generalizado com a variável dependente “Sensação Térmica” (ST) e as variáveis independentes: “Convecção Respiratória” ( $C_{res}$ ), “Evaporação Respiratória” (Eres), “Convecção na pele” (C), “Radiação” (R), “Evaporação sudoral” (Es), “Idade” (Id), “Sexo” (Sx), “Peso” (Kg) e “Estatura” (Est).

Utilizando-se o método de seleção de variáveis “Eliminação Backward” (McCulagh e Nelder, 1989), obteve-se o modelo  $m_1$ , com estimativa de coeficientes apresentadas na Tabela 16. Porém, através da análise do *p-valor* das estimativas referentes às suas respectivas variáveis, observa-se que apenas o *p-valor* ( $Pr(>|z|)$ ) da estimativa vinculada à variável “Estatura” encontra-se acima de 0,05.

**Tabela 16- Estimativas dos coeficientes do modelo  $m_1$**

| Variável                    | Estimativa | Desvio padrão | Valor z | $Pr(> z )$ |
|-----------------------------|------------|---------------|---------|------------|
| <b>Intercepto</b>           | -7,972490  | 2,993639      | -2,663  | 0,009519   |
| <b><math>C_{res}</math></b> | 8,835584   | 4,202999      | -2,102  | 0,038985   |
| <b>C</b>                    | 1,010157   | 0,387865      | 2,604   | 0,011145   |
| <b><math>E_s</math></b>     | 0,091189   | 0,023127      | 3,943   | 0,000183   |
| <b>Sx</b>                   | -0,876541  | 0,248305      | -3,530  | 0,000724   |
| <b>Kg</b>                   | 0,016474   | 0,005298      | 3,110   | 0,002670   |
| <b>Est</b>                  | 2,219321   | 1,574088      | 1,410   | 0,162813   |

**Fonte: Elaboração própria (2014)**

Sendo assim, eliminando-se a variável “Estatura” do modelo, obtém-se um novo modelo  $m_2$  e novos valores para a estimativa dos coeficientes, conforme Tabela 17. Nesta nova estimativa observa-se que todos os valores de *p-valor*

$(Pr(>|z|)) < 0,05$ , o que demonstra que todas as estimativas são consistentes, permitindo que todas as variáveis do modelo permaneçam no modelo  $m_2$ .

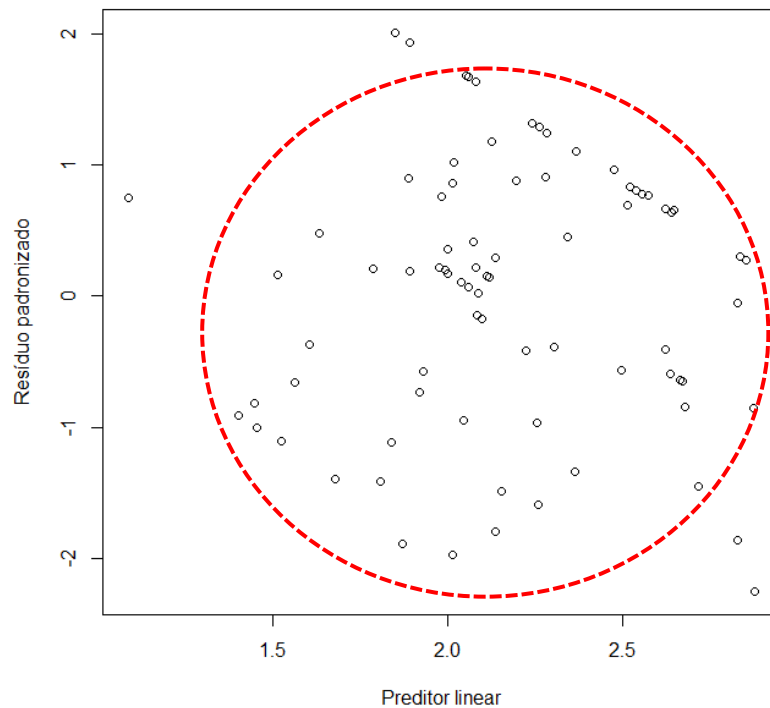
**Tabela 17 - Estimativas dos coeficientes do modelo  $m_2$**

| Coeficiente                 | Estimativa | Desvio padrão | Valor z | $Pr(> z )$ |
|-----------------------------|------------|---------------|---------|------------|
| <b>Intercepto</b>           | -4,333386  | 1,526613      | -2,839  | 0,005846   |
| <b><math>C_{res}</math></b> | 8,966598   | 4,229926      | -2,120  | 0,037376   |
| <b>C</b>                    | 1,014061   | 0,390435      | 2,597   | 0,011331   |
| <b><math>E_s</math></b>     | 0,091711   | 0,023278      | 3,940   | 0,000183   |
| <b>Sexo</b>                 | -0,824646  | 0,247196      | -3,336  | 0,001331   |
| <b>Peso</b>                 | 0,018163   | 0,005195      | 3,496   | 0,000801   |

Fonte: Elaboração própria (2014)

No sentido de avaliar a homocedasticidade (homogeneidade da variância) do modelo  $m_2$ , calcularam-se os resíduos utilizando-se o Resíduo de Pearson Padronizado. A representação gráfica desses resíduos pode ser vista na Figura 15. Nota-se que o modelo pode ser considerado como tendo variância constante, já que existem poucos pontos que se afastam do conjunto de observações, como pode ser observado através do delineamento pontilhado.

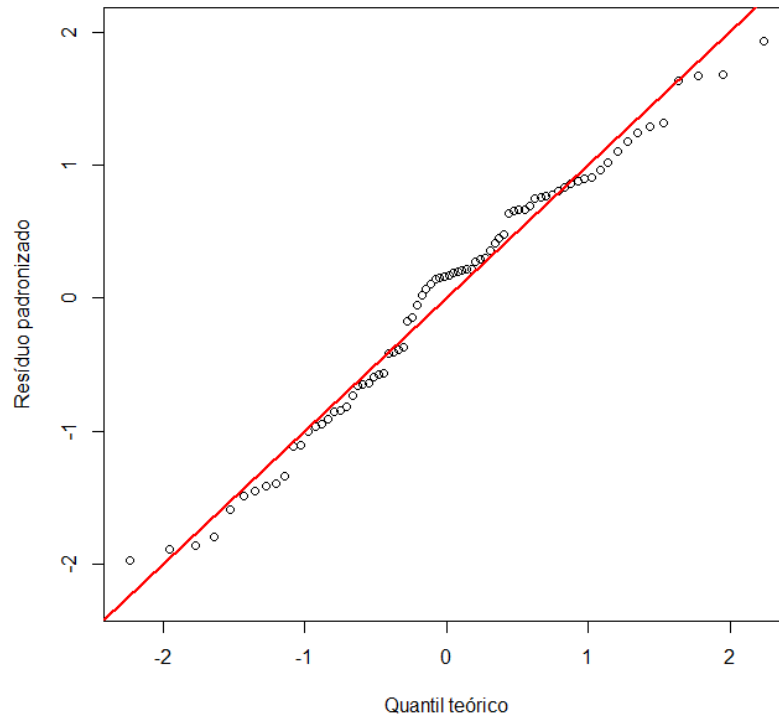
**Figura 15 - Homocedasticidade do modelo  $m_2$**



Fonte: Elaboração própria (2014)

Em seguida, construiu-se o gráfico Q-Q Plot, tendo em vista visualizar a normalidade do modelo  $m_2$ , o qual pode ser visualizado na Figura 16.

**Figura 16 - Gráfico Q-Q Plot para o modelo m2**



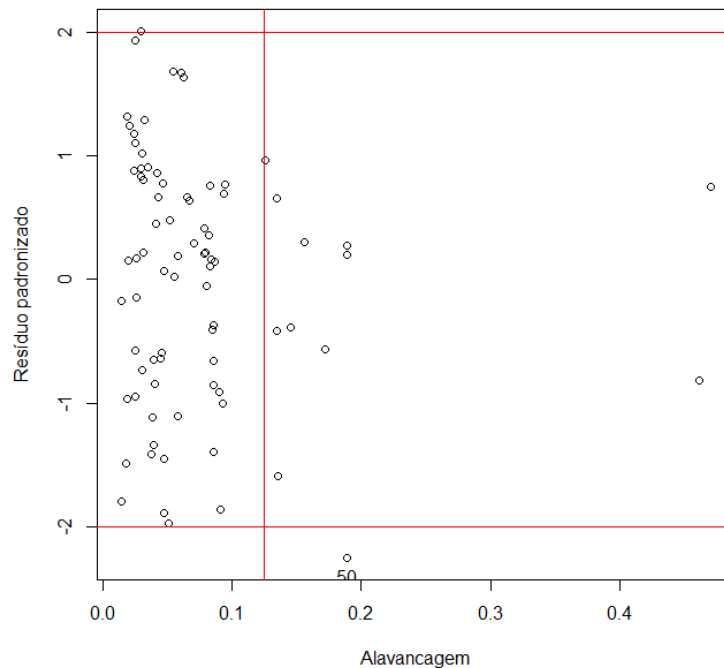
**Fonte: Elaboração própria (2014)**

Este é um gráfico dos *quantis* observados em função daquele esperado, verificando-se se a distribuição dos resíduos possui comportamento de uma distribuição normal. Quanto mais alinhados estiverem os pontos, maior será a aproximação para distribuição normal. Analisando-o, nota-se que devido ao ajuste dos pontos observados em relação á reta, pode-se considerar verdadeira a normalidade dos erros do modelo *m2*.

Além dos resíduos, verificou se há pontos de alavancas, no sentido de observar se alguns deles possuem influência no conjunto de dados. A Figura 17 mostra o gráfico gerado para a determinação de pontos de alavancagem.

Nota-se que o ponto identificado como sendo o da observação “50” é considerado como ponto de alavanca, tendo grande influência na determinação das estimativas já que se encontra fora dos limites de “ $2n/p$ ”, onde “*n*” é o número de variáveis do modelo e “*p*” o número de observações (CORDEIRO e DEMÉTRIO, 2008). Deste modo, retirou-se esta observação identificada como ponto de alavancagem do quadro de dados.

**Figura 17–Determinação dos pontos de alavancagem do modelo m2**



Fonte: Elaboração própria (2014)

Desta forma, utilizando-se um novo quadro de dados, sem a observação 50, formulou-se um novo modelo linear generalizado, onde a variável dependente é “Sensação Térmica” (ST) e as variáveis independentes são: “Convecção Respiratória” ( $C_{res}$ ), “Evaporação Respiratória” ( $E_{res}$ ), “Convecção na pele” ( $C$ ), “Radiação” ( $R$ ), “Evaporação sudoral” ( $E_s$ ), “Idade” ( $Id$ ), “Sexo” ( $Sx$ ), “Peso” ( $Kg$ ) e “Estatura” ( $Est$ ). Novamente, através do método de seleção de variáveis “Eliminação Backward” (McCulagh e Nelder, 1989), obteve-se o modelo  $m_3$ , com estimativa de coeficientes apresentadas na Tabela 18.

Tabela 18 - Estimativa dos coeficientes do modelo  $m_3$

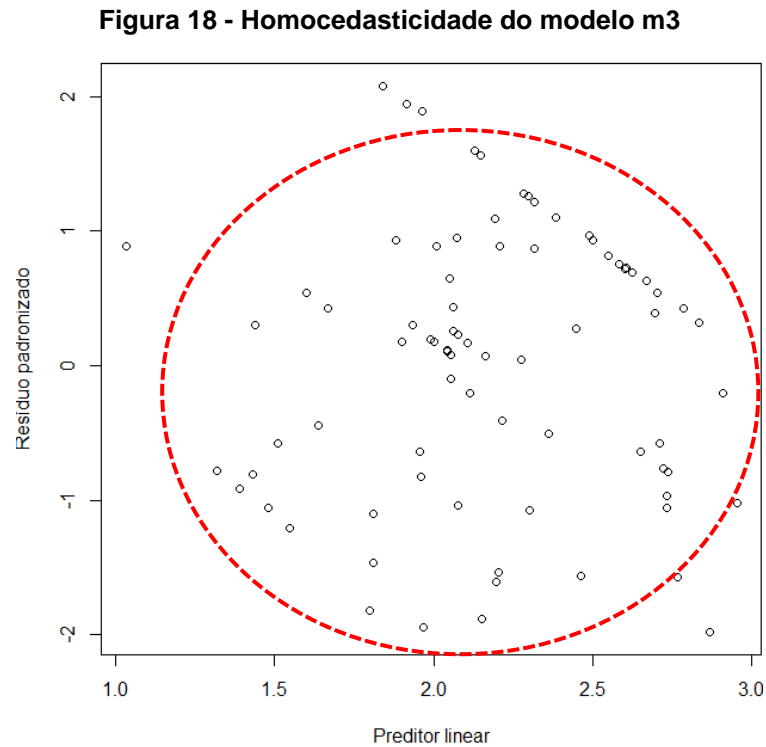
| Variável                    | Estimativa | Desvio padrão | Valor z | Pr(> z ) |
|-----------------------------|------------|---------------|---------|----------|
| <b>Intercepto</b>           | -5,052487  | 1,515577      | -3,334  | 0,001348 |
| <b><math>C_{res}</math></b> | 9,513595   | 4,117124      | -2,311  | 0,023675 |
| <b>C</b>                    | 1,029339   | 0,379455      | 2,713   | 0,008319 |
| <b><math>E_s</math></b>     | 0,104284   | 0,023262      | 4,483   | 2,68e-05 |
| <b>Sexo</b>                 | -0,882363  | 0,241496      | -3,654  | 0,000484 |
| <b>Peso</b>                 | 0,019966   | 0,005107      | 3,909   | 0,000205 |

Fonte: Elaboração própria (2014)

Nota-se que a retirada do ponto de alavancagem gerou um modelo  $m_3$  com novas estimativas mais consistentes, o que pode ser comprovado observando-se o fato de que os novos p-valor (Tabela 18) são menores que os do modelo  $m_2$  anterior

(Tabela 17).

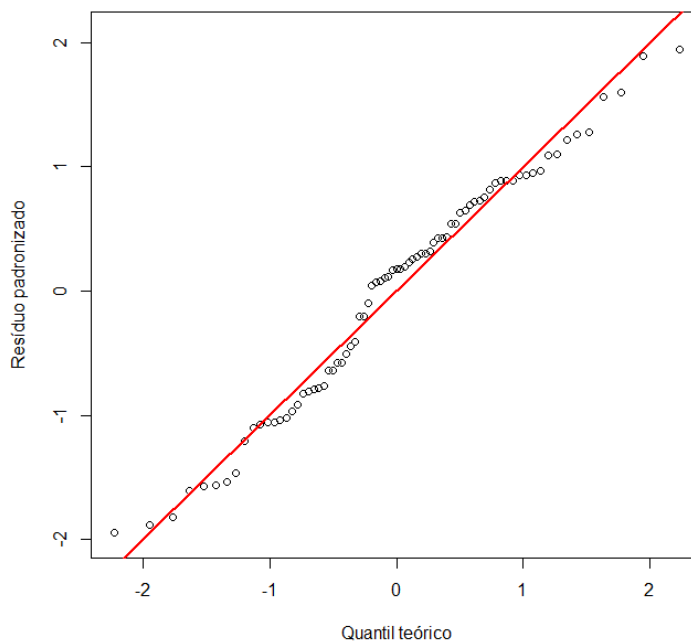
Semelhantemente, calcularam-se os resíduos do modelo  $m_3$ , utilizando-se o Resíduo de Pearson Padronizado, conforme pode ser visto na Figura 18.



**Fonte: Elaboração própria (2014)**

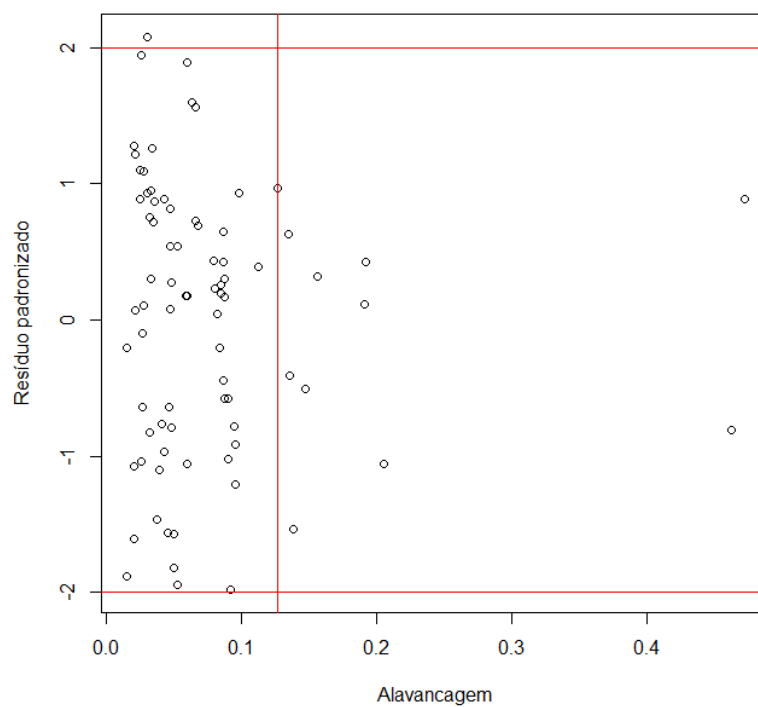
Observa-se que é possível considerar a variância como constante, já que existem poucos pontos que se afastam do conjunto de observações, conforme observa-se através do delineamento pontilhado.

De igual modo, construiu-se um novo gráfico Q-Q Plot, tendo em vista visualizar a normalidade do modelo  $m_3$  (Figura 19). Nota-se que devido ao ajuste dos pontos observados em relação à reta pode-se considerar verdadeira a normalidade dos erros deste modelo.

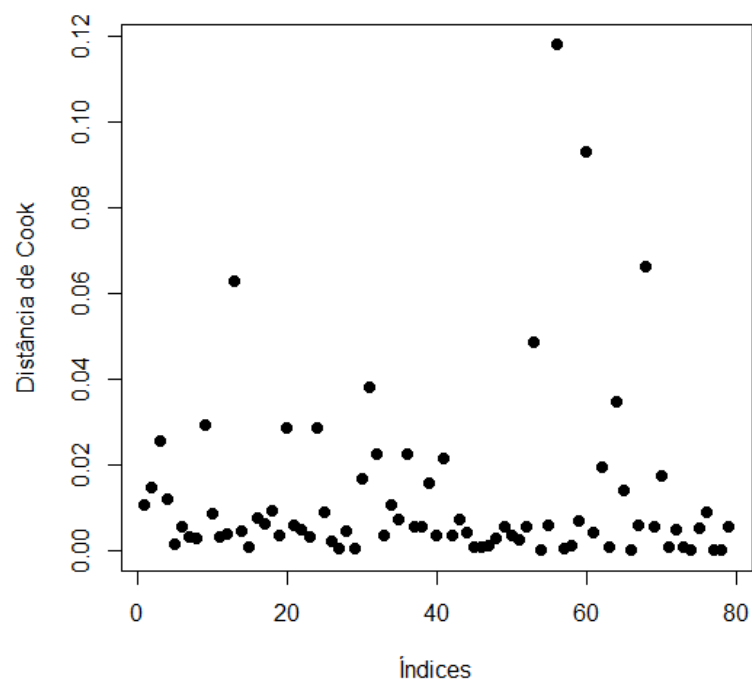
**Figura 19 - Gráfico Q-Q Plot para o modelo m3**

**Fonte: Elaboração própria (2014)**

Da mesma forma, além dos resíduos, calculou-se também os pontos de alavancagem do modelo *m3*. A Figura 20 mostra o gráfico gerado para o modelo em questão. Além disso, calculou-se o valor da distância de Cook, a qual é também uma medida de influência das observações na estimação dos parâmetros, assim como a alavancagem. A Figura 21 ilustra o gráfico gerado para ilustrar a distância de Cook em relação aos índices do modelo *m3*, onde se encontrou o valor da distância de Cook = 0,5031546. Observa-se que não há nenhum ponto que possa influenciar nas estimativas do referido modelo.

**Figura 20 - Determinação dos pontos de alavancagem do modelo m3**

Fonte: Elaboração própria (2014)

**Figura 21 - Determinação da distância de Cook para o modelo m3**

Fonte: Elaboração própria (2014)

Sendo assim, conclui-se que o modelo *m3* pode ser considerado aquele como mais adequado dentre os gerados até então. O ajuste calculado a partir do pseudo- $R^2$  para o modelo em questão foi de 0,4293958. Apesar deste valor ser baixo, Cordeiro e Demétrio (2008) ressaltam que se a análise do desvio apresentar um resultado favorável para o modelo em investigação, então o modelo ajusta-se razoavelmente aos dados. Sendo assim, conclui-se que o uso do teste da razão de verossimilhança na ANODEV é suficiente para julgar um ajuste como razoável.

Este modelo pode ser representado como:

$$ST = -5,05 + 9,51C_{res} + 1,03C + 0,1E_s - 0,88Sx + 0,02Kg$$

O modelo *m3* obtido consiste em um modelo linear generalizado (MLG) com distribuição da componente aleatória normal. A hipótese de que as variáveis independentes do modelo não influenciaram a variável sensação térmica pode ser rejeitada, considerando um nível de significância de 0,05. Para testar a significância dos coeficientes do modelo, utilizou-se o teste de Wald e o teste da razão de verossimilhança (análise do desvio - ANODEV), enfatizando os testes de significância dos coeficientes do MLG para investigar quais variáveis estão relacionadas à sensação térmica na situação pesquisada. Este último apresentou p-valor igual a 0,00009264 quando considerada a interação de todas as variáveis.

Interpretando-se o modelo *m3* nota-se o impacto de cada variável independente na sensação térmica. Dessa forma, um acréscimo de 0,1 W/m<sup>2</sup> na Convecção respiratória ( $C_{res}$ ) implica em um acréscimo de 0,95 unidade na Sensação térmica (ST). No caso desta variável específica, não se tomou como parâmetro o acréscimo de 1 unidade pois nas observações é possível notar que os valores apresentados são todos fracionários, conforme Tabela 08.

Nota-se que a influência da variável  $C_{res}$  no modelo *m3* corrobora com a equação do balanço térmico, onde o aumento desta variável diminui a sensação térmica devido ao fato de diminuir a diferença entre ganhos e perdas, o qual é responsável por gerar a sensação térmica.

Semelhantemente, segundo o modelo obtido, o acréscimo de 1 W/m<sup>2</sup> na variável Convecção na pele (C) implica um acréscimo de 1,03 na resposta da Sensação térmica (ST). A convecção na pele está ligada à temperatura da pele e ao isolamento térmico das vestimentas, à temperatura e velocidade do ar.



Por sua vez, o aumento de  $1 \text{ W/m}^2$  na variável Evaporação sudoral ( $E_s$ ) implica em um acréscimo de 0,1 unidade na sensação térmica. Sabe-se que quanto maior a área molhada do corpo, maior é a evaporação sudoral. A evaporação sudoral manteve-se no modelo devido à grande influência do suor segundo a percepção térmica das pessoas, concomitantemente ao questionário da norma ISO 14505-3 respondido pelos policiais. Este fato pode ser comprovado já que em todas as análises descritivas, o  $W_{req} = 1$ , indicando a pele completamente molhada, apresentando também em todas as observações um  $E_{req} > E_{max}$ . Isto indica a necessidade de maior evaporação para vencer a carga térmica.

Observa-se que o modelo também considera algumas variáveis pessoais, como o sexo e o peso dos indivíduos. Sendo assim, como foi convencionado na coleta de dados que, para a variável Sexo ( $S_x$ ), “0” representaria um indivíduo do sexo masculino e “1” representaria um indivíduo do sexo feminino. Assim, depreende-se que o resultado da sensação térmica (ST) para as mulheres tende a ser 0,88 unidade menor em relação aos homens.

Isso se deve ao fato de que homens possuem massa muscular e taxa metabólica maiores que o das mulheres. Além disso, as mulheres possuem um maior número de glândulas sudoríparas, o que facilita a regulação da temperatura corporal (MADEIRA, 2007). Ainda, deve-se considerar o ciclo menstrual das mulheres, no qual, durante a fase lútea, eleva o termostato feminino para um ponto de ajuste  $0,3\text{-}0,5^\circ\text{C}$  mais alto (BLATTEIS, 2011).

Por fim, nota-se que com o aumento de 1 quilograma no peso dos indivíduos (Kg), há um acréscimo de 0,02 unidade na Sensação térmica (ST). Sabe-se que quanto maior a massa, maior é a atividade muscular, resultando em uma maior taxa metabólica. Quanto maior a taxa metabólica, maior será a sensação térmica de um indivíduo em determinado ambiente.

## CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO

Sabendo-se que o conforto térmico é de natureza subjetiva, cabe aos estudos determinar não a situação de conforto, mas a de neutralidade térmica, que é o estado em que o indivíduo não sente frio, nem calor, encontrando-se neutro em relação à temperatura ambiente.

Esta pesquisa buscou determinar quais são as condições de conforto térmico que os policiais militares do 1º Batalhão da Polícia Militar do Estado da Paraíba que realizam o radiopatrulhamento motorizado estão submetidos. Utilizou-se a aplicação das normas ISO 14505-3 (2006), ISO 7243 (1989) e ISO 7933 (1989) de forma a caracterizar, seja quantitativamente ou qualitativamente o objetivo pretendido.

Através da norma ISO 14505-3 (2006): *Ergonomics of the thermal environment – Vehicles – Part 3: Evaluation of thermal comfort using human subjects* foi possível apreender que em 100% das avaliações realizadas, os indivíduos julgaram-se insatisfeitos com o ambiente térmico, além de aproximadamente 63% declararem preferirem que este ambiente fosse um pouco mais frio. Ainda, aproximadamente 48% declararam sentir-se “Suado” ou “Muito Suado” e 35% estavam muito desconfortáveis termicamente. Por fim, 62,5% dos indivíduos declararam sentir-se “Muito Quente”, enquanto que 37,5% opinaram por sentir-se “Quente”.

Conclui-se, então, que de acordo com os parâmetros contidos na norma ISO 14505-3 (2006), as viaturas onde os policiais realizam sua atividade são consideradas como “desconfortáveis”, pois segundo esta norma, para que um veículo seja considerado como desconfortável, pelo menos em uma das escalas os critérios devem ser alcançados. Como demonstrado, na pesquisa em questão, em todas as escalas este fato ocorreu, indicando o ambiente térmico no interior do veículo, onde é realizado o serviço de radiopatrulhamento, é inadequado.

Ao considerar-se a norma ISO 7933 (1989): *Hot environments: analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation of required sweat rate*, observou-se que considerando as pessoas aclimatadas, a evaporação requerida ( $E_{req}$ ) foi superior à evaporação máxima ( $E_{max}$ ), expondo os indivíduos à situação de perigo. Além disso, o tempo máximo de exposição para evitar o aquecimento do corpo ( $DLE_1$ ) foi de aproximadamente 8 horas.

Considerando-se que a jornada de trabalho atual de um policial que realiza o radiopatrulhamento motorizado no 1º Batalhão da Polícia Militar em João Pessoa é de 12 a 24 horas, sugere-se que a corporação estude uma forma de alocar estes indivíduos em outras atividades que não a em questão, de forma que a execução do radiopatrulhamento não ultrapasse os valores permitidos.

Com relação à norma ISO 7243 (1989): *Hot environments: estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature)* a determinação do índice IBUTG para os dias analisados chegou a uma média de  $\overline{IBUTG} = 27,88^{\circ}\text{C}$ . Considerando o que determina a referida norma, bem como o que está regulamentado na NR-15 (neste trabalho especialmente o Anexo 03, o qual determina os limites de exposição ao calor), nota-se que o índice IBUTG médio obtido para a atividade em questão não ultrapassa os limites referidos.

Entretanto, convém considerar que estas normas consideram o isolamento térmico das vestimentas igual a 0,6 clo, o que equivale a roupas leves. Porém, a realidade da atividade em questão vai de encontro a este fato, pois a resistência térmica das roupas dos policiais militares foi estimada em 1,55 clo, de acordo com a norma ISO 9920 – Anexo B. Desta forma, corrigindo-se os valores limites do IBUTG para o isolamento térmico real, chegou-se à conclusão de que o índice médio calculado extrapola os limites determinados.

Dessa forma, nota-se que a atividade em estudo não pode ser realizada sem que medidas de proteção sejam tomadas. Uma destas medidas seria o ajuste do isolamento térmico das vestimentas, de forma que o fardamento pudesse ter a resistência térmica reduzida, fabricando-se estes em materiais mais leves e que possibilitasse uma maior troca de calor entre os policiais e o ambiente térmico

Nota-se que o isolamento térmico do fardamento utilizado pelos policiais é de valor elevado, comparando-se com o isolamento térmico de vestimentas que são consideradas adequadas termicamente para o clima do Estado da Paraíba. Ainda, ao analisarem-se os fardamentos das polícias de outros locais onde o clima é parecido, nota-se que a resistência térmica é bastante reduzida, em torno de 0,6 clo, a exemplo da polícia de Miami, nos Estados Unidos.

Uma simulação realizada com isolamento térmico de 0,6 clo para as condições encontradas nesta pesquisa, resultou em  $E_{\text{req}} = 63,16 \text{ W/m}^2$ ,  $E_{\text{max}} = 105,89 \text{ W/m}^2$ ,  $w_{\text{req}} = 0,60$  e  $\text{DLE}_1 = \text{DLE}_2 > 8$  horas. Nota-se que para esta simulação, segundo a norma ISO 7933 (1989), o ambiente é considerado aceitável

termicamente. Ainda segundo esta simulação, conforme calculado anteriormente, o IBUTG também estaria dentro dos limites toleráveis de exposição ao calor. Porém, ao utilizar-se os índices PMV e PPD, obteve-se os valores PMV = 2,47, indicando um ambiente quente e PPD = 92,7%, indicando que 92,7% das pessoas estariam insatisfeitas com o ambiente térmico.

Sendo assim, nota-se que uma das primeiras medidas a serem tomadas para tornar o ambiente térmico aceitável para os policiais militares é a alteração do tipo de fardamento. Porém, até que esta ou outras medidas sejam adotadas, identifica-se que a atividade pode trazer consequências danosas à saúde dos policiais.

É válido salientar também que, com base no IBUTG médio determinado e considerando-se as correções realizadas em relação ao isolamento térmico das vestes, pode-se avaliar o direito do trabalhador à percepção do adicional de insalubridade, de acordo com o exposto na NR-15 – Anexo 03. Este adicional assegura ao trabalhador a percepção de adicional, incidente sobre o salário mínimo da região, equivalente a 40% para insalubridade de grau máximo; 20% para insalubridade de grau médio e 10% para insalubridade de grau mínimo.

O modelo linear generalizado mostrou que a sensação térmica da amostra utilizada pode ser prevista em função da Convecção respiratória, Convecção na Pele, Evaporação Sudoral, Sexo e Peso. A hipótese das variáveis independentes do modelo não influenciarem na variável sensação térmica pode ser rejeitada considerando um nível de significância de 0,05.

Nota-se que o modelo delineado corrobora com a análise subjetiva realizada nesta pesquisa, pois demonstra a relação entre o aumento da sensação térmica quando do aumento das variáveis térmicas, as quais estão implícitas no balanço térmico. Através do modelo, nota-se que quanto maior a temperatura do ambiente, maior a carga de calor e maior tendência da temperatura corporal, aumentando a dificuldade do corpo em manter o equilíbrio do balanço térmico, influenciando a resposta subjetiva sobre a sensação térmica, efeito este que pode ser visualizado nas avaliações subjetivas realizadas na pesquisa.

De uma forma geral, ao analisar-se globalmente a atividade de radiopatrulhamento dos policiais militares do 1º Batalhão da Polícia Militar do Estado da Paraíba, conclui-se que o ambiente é termicamente insalubre

A saúde dos policiais é o agravante desta conclusão. Sabe-se que, conforme as condições ambientais, intensidade do esforço e isolamento das vestimentas, a

temperatura corporal do indivíduo pode chegar a níveis altos, além de desidratação, que podem ser prejudiciais à saúde (KROEMER e GRANDJEAN, 2005). Sendo assim, indivíduos que estão expostos a ambientes muito quentes podem sofrer lesões térmicas e hídricas sérias, incluindo o risco de morte.

Estas condições térmicas desfavoráveis podem ocasionar ainda tensões no trabalho, desconforto, fadiga, sonolência, risco de acidentes, dentre outros fatores. Alguns destes fatores podem levar à queda no rendimento e erros de percepção e raciocínio, além de proporcionar o aparecimento de perturbações psicológicas que podem levar ao esgotamento e prostração.

O exposto é de suma importância quando se trata da atividade em estudo, pois os policiais precisam estar sempre alerta e sentindo-se dispostos para que possam cumprir suas atividades da melhor forma possível.

### **5.1 Direções futuras**

Visando à continuação da pesquisa na área do conforto térmico, em especial analisando-se a atividade policial, a qual é considerada sumária para o bem-estar da sociedade, têm-se como sugestões para pesquisas futuras:

- Determinação do conforto térmico da atividade de radiopatrulhamento realizada por policiais militares de outros batalhões, não só da Paraíba, de modo a compararem-se as avaliações obtidas;
- Determinação do conforto térmico dos policiais que realizam o radiopatrulhamento do 1º Batalhão da Polícia Militar da Paraíba durante o verão, sendo esta a estação do ano com maiores temperaturas;
- Investigar mudanças na avaliação do conforto térmico dos policiais analisados ao introduzir mudanças nas vestimentas e, conseqüentemente, no valor do isolamento térmico apresentado;
- Identificar possíveis mudanças na percepção do conforto térmico dos policiais analisados ao introduzir mudanças no tipo viatura utilizadas para a execução do radiopatrulhamento;
- Avaliar o conforto térmico de policiais que realizam outras atividades, que não a de radiopatrulhamento, mas que se utilizam de viaturas.

## Referências Bibliográficas

ALAHMER, A.; MAYYAS, AHMED; MAYYAS, ABED A.; OMAR, M. A.; SHAN, D. Vehicular thermal comfort models; a comprehensive review. **Applied Thermal Engineering**, v.31, n.6–7, p. 995-1002, May 2011.

ALAHMER A.; OMAR, M.;MAYYAS, A. R.; QATTAWI, A. Analysis of vehicular cabins' thermal sensation and comfort state, under relative humidity and temperature control, using Berkeley and Fanger models. **Building and Environment**, v. 48, p. 146-163, 2012.

ALAHMER, A.; ABDELJAMID, M.; OMAR, M. Design for thermal sensation and comfort states in vehicles cabins. **Applied Thermal Engineering**, v. 36, p. 126-140, 2012.

ANSI/ASHRAE. **Standard 55**: Thermal Environment Conditions for Human Occupancy; 2010.

ARAKAWA, A., SAITO, K., GRUVER, W. Automated infrared imaging temperature measurement with application to upward flame spread studies: Part I, **Combustion and Flame**, v. 92, p.222-230, 1993.

AROSZTEGUI, M. **Cuantificacion del impacto de las sombras de los edificios**. In: III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 1995, Gramado. ANTAC, 1995.

BAERHR, H. D.; STEPHAN, K. **Heat and Massa Transfer**. 3º ed. Springer. 2011.

BELDING, H. S.; HATCH, T. F. Index for evaluating heat stress in terms of resulting physiological strain. **Heating, Piping, Air Conditioning**, v. 27, p. 129-142, 1955.

BERMEJO, P.; REDONDO, L.; OSSA, L.; RODRÍGUEZ, D.; FLORES, J.; UREA, C.; GÁMEZ, J. A.; PUERTA, J. M. Design and simulation of a thermal comfort adaptive system based on fuzzy logic and on-line learning. **Energy and Buildings**, Mar. 2012, ISSN 0378-7788.

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

BLAZEJCZYK, K. **Menex 2002**. <http://www.igipz.pan.pl/>. Acesso em 17 Out 2012.

BLUESTEIN, M.; OSCZEVSJI, R. Wind chill and the development of frostbite in the face. Preprints, 15th Conference on Biometeorology and Aerobiology, Kansas City, MO: **Amer. Meteor. Soc.**, p. 168-171, 2002.

BOTSFORD, J.H. A wet globe thermometer for environmental heat measurement. **American Industrial Hygiene Association Journal**, v. 32, p. 1-10, 1971.

BRASIL. **Decreto-Lei** nº 3.909, de 14 de julho de 1977. Dispõe sobre o Estatuto Dos Policiais Militares do Estado da Paraíba, e dá outras providências.

BROWN. R. D.; GILLPESPIE, T. J. **Microclimatic landscape desing**: creating thermal comfort and energy efficiency. New York: John Wiley & Sons, 1995.

CAMARGO, M. G.; FURLAN, M. M. D. P. Resposta fisiológica do corpo às temperaturas elevadas: exercício, extremos de temperatura e doenças térmicas. **Revista Saúde e Pesquisa**, v. 4, n. 2, p. 278-288, maio/ago. 2011.

CENGIZ, T. G.; BABALIK, F. C. The effects of ramie blended car seat covers on thermal comfort during road trials. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 39, p. 287–294, 2009.

CENGIZ, T. G.; BABALIK, F. C. An on-the-road experiment into the thermal comfort of car seats. **Applied Ergonomics**, v. 38, p. 337–347, 2007.

CISTERNINO, M. Thermal climate in cabs and measurement problems, **Paper for the CABCLI Seminare**, 1999.

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

CORNELIS, F.; BALAGEAS, P.; BRAS, Y. L.; RIGOU, G.; BOUTAULT, J. R.; BOUZGARROU, M.; GRENIER, N. Les ablations thermiques rénales sousguidage radiologique, **Journal de Radiologie diagnostique et interventionnelle**, Mar. 2012, ISSN 2211-5706.

COSTA, A. P. L.; CAMPOS, F.; VILLAROUÇO, V. Overview of ergonomics built environment. **Work**, v. 41, p. 4142-4148, 2012.

COUTINHO, A. S. **Conforto e Insalubridade Térmica em Ambientes de Trabalho**. 2ª edição. João Pessoa: Editora Universitária – UFPB, 2005.

DJONGYANG, N.; TCHINDA, R.; NJOMO, D. Estimation of some comfort parameters for sleeping environments in dry-tropical sub-Saharan Africa region, **Energy Conversion and Management**, v. 58, p. 110-119, Jun. 2012.

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

DOMINGUEZ et al. **Control climático em espacios abiertos**: el proyecto Expo'92. Sevilla: Universidad de Sevilla, 1992.

FANGER, P.O. Thermal comfort. **Danish Technical Press**, 1972.

FARZANEH, Y.; TOOTOONCHI, A. A. Controlling automobile thermal comfort using optimized fuzzy controller. **Applied Thermal Engineering**, v. 28, p. 1906–1917, 2008.

FELIX, V. B. et al. Análise de desconforto térmico local em ambientes cirúrgicos com o uso de manequim, medição de variáveis ambientais e avaliação

subjetiva. **Ambient. constr.**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, Mar. 2012 .

FERNANDES, H. C. et al. Efeito do aquecimento e resfriamento de pisos no desempenho de matrizes e leitões. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 6, Dec.2011. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-737X2011000600004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-737X2011000600004&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 16 Abril 2012.

FERREIRA, M. A. **O usuário e a percepção de conforto térmico em bancos automotivos ventilados**. Dissertação de Mestrado. Engenharia Automotiva. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008.

FILIPPÍN, C.; LARSEN, S. F. Summer thermal behaviour of compact single family housing in a temperate climate in Argentina. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, N. 5, p. 3439-3455, Jun. 2012, ISSN 1364-0321.

FIORELLI, J. et al. Eficiência térmica de telhas onduladas de fibrocimento aplicadas em abrigos individuais para bezerros expostos ao sol e à sombra. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 1, 2012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782012000100011&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782012000100011&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 16 Abril 2012.

FONSECA, P. C. F; ALMEIDA, E. A.; PASSINI, R. Thermal comfort indices in individual shelters for dairy calves with different types of roofs. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 31, n. 6, Dec. 2011. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162011000600002&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162011000600002&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 16 Abril 2012.

FRAGA, C. K. **A Polícia Militar Ferida: Da violência visível à invisibilidade da violência nos acidentes em serviço**. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Serviço Social da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: PUCRS, 2005.

FREITAS, C. R. de. Recreation climate assessment. **International Journal of Climatology**, v. 10, p. 89-103, 1997.

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

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 7ª. Edição, Ed. Nobel, São Paulo. 2005.

FRULLANI, Y. Les douze orientations de la médecine thermale, **Actualités Pharmaceutiques**, v. 51, N. 513, p. 18-29, Feb. 2012, ISSN 0515-3700.

FUNCADENTRO. **NHO 06: avaliação da exposição ocupacional ao calor**. São Paulo, 2002.

GAGGE, A. P.; STOLWIJK, J. A.; HARDY, J. D. Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperatures. **Environ. Res.**, v. 1, p. 1-20, 1967.



GAGGE, A.P., BURTON, A.C. E BAZZET, H.D. A practical system of units for the description of heat exchange of man with his environment. **Science**, v. 94, p. 428-430, 1941.

GAGGE, A.P. A new physiological variable associated with sensible and insensible perspiration. **American Journal of Physiology**, v. 120, p. 277-287, 1937.

GAGGE, A. P.; HERRINGTON, L. P.; WINSLOW, C. E. A. Thermal interchange between the human body and its atmospheric environment, **American Journal of Hygiene**, v. 26, P. 84-102, 1937.

GAMEIRO DA SILVA, M. C. Measurements of Comfort in Vehicles. **Measurement Science and Technology**, v. 13, n. 6, p. 41-60, 2002.

GARCIA, A. R. et al . Variáveis fisiológicas de búfalas leiteiras criadas sob sombreamento em sistemas silvipastoris. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 46, n. 10, Oct. 2011. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-204X2011001000039&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2011001000039&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 16 Abril 2012

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.

GIVONI, B.; NOGUCHI, M. Issues in outdoor comfort research. In: **Passive and low energy architecture**, v. 17, 2000, Cambridge. Proceedings... London: James & James, p. 562-565, 2000.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. New York: John Wiley & Sons, 1969.

GLICKMAN, N. Physiological examination of the effective temperature index. **ASHVE Trans.**, v. 56, p. 51-56, 1950.

GOMES, A. B. **Avaliação experimental de condições de conforto térmico em automóveis de passeio utilizando manequim**. Trabalho de conclusão de curso (Mestrado profissionalizante em Engenharia Automotiva) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

GOVERNO DA PARAÍBA. **Regulamento de uniformes da polícia militar da paraíba (RUPMPB)**. Disponível em: <[http://www.pm.pb.gov.br/pagina.php?conteudo=informacoes&sub=inf\\_rupm](http://www.pm.pb.gov.br/pagina.php?conteudo=informacoes&sub=inf_rupm)> Acesso em 20 abr. 2012

GRACIA, A.; ORÓ, E.; FARID, M.M.; CABEZA, L.F. Thermal analysis of including phase change material in a domestic hot water cylinder. **Applied Thermal Engineering**, v. 31, n. 17–18, p. 3938-3945, Dec. 2011, ISSN 1359-4311.

GUÉRIN, F. *et al.* **Comprender o trabalho para transformá-lo**. Ed. ABDR, São Paulo, 2001.

GUIMARÃES, L. B. M. **Ergonomia de Processo**. Ed. FEENG, vol. 1, Porto Alegre, RS, 2004. 31 p.

GUYTON, A. C., HALL, J. E. **Textbook of Medical Physiology**. Philadelphia, PA:

WB Saunders; 2011. pp. 899–900. 11th ed.

HA, D. L.; JOUMAA, H.; PLOIX, S.; JACOMINO, M. An optimal approach for electrical management problem in dwellings. **Energy and Buildings**, v. 45, p. 1-14, Feb. 2012, ISSN 0378-7788.

HALLER, G. **Thermal comfort in Rail Vehicles**. Climatic Wind Tunnel Vienna, Rail Tech Arsenal. Professional article, September 2006.

HAN, T.; HUANG, L. A sensitivity study of occupant thermal comfort in a cabin using virtual thermal comfort engineering, in: **Proceedings of the SAE World Congress**, Detroit, Michigan, April 11-14, 2005, SAE-01-1509.

HANSON, M. A. Development of a Draft British Standard: the Assessment of Heat Strain for Workers Wearing Personal Protective Equipment. **Ann. occup. Hyg.**, Vol. 43, No. 5, pp. 309-319, 1999.

HOLMER, I. Thermal manikin history and applications, **European Journal of Applied Physiology**, v. 92, p. 614-618, 2004.

HÖPPE, P. R. Different Aspects of assessing indoor and outdoor Thermal Comfort. **Energy and Buildings**, v. 34, p. 661-665, 2002.

HÖPPE, P. R. A universal index for the assessment of the thermal environment: the physiological equivalent temperature PET. In: International Congress of Biometeorology & International Conference on Urban Climatology, v. 15, 1999, Sydney. **Selected papers from the Conference...** Geneva: World Meteorological Organization, p. 261-266, 2000.

HÖPPE, P. R. The physiological equivalent temperature: a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. **International Journal of Biometeorology**, v. 43, p. 71-75, 1999.

HOUGHTEN, F.C.; Yaglou, C.P. (1923). **Transactions**.ASHVE Research Report N° 673.

HUMPHREYS, M.A. Quantifying occupant comfort: are combined indices of the indoor environment practicable? **Build Res Inf**, v. 33, n. 4, p. 317-325, 2005.

\_\_\_\_\_. Field studies of thermal comfort compared and applied. BRE Current Paper, p. 75-76, London, UK, 1975.

IIDA, I. **Ergonomia**: projeto e produção. 3 ed., São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda, 2005. 450 p.

INTERNATIONAL ERGONOMICS ASSOCIATION. **What is Ergonomics**, 2000. Disponível em: [http://www.iea.cc/01\\_what/What%20is%20Ergonomics.html](http://www.iea.cc/01_what/What%20is%20Ergonomics.html). Acesso em 28 Ago 2012.

\_\_\_\_\_. **ISO 9920**: Ergonomics of the thermal environment -- Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble. Geneve. ISO: 2007.

\_\_\_\_\_. **ISO 11079.** Ergonomics of the thermal environment -- Determination and interpretation of cold stress when using required clothing insulation (IREQ) and local cooling effects. Geneve, ISO: 2007.

\_\_\_\_\_. **ISO 14505-3.** Ergonomics of the thermal environment – Vehicles – Part 3: Evaluation of thermal comfort using human subjects. Geneve, ISO:2006.

\_\_\_\_\_. **ISO 7726:** Ergonomics: instruments for measuring physical quantities. Genève: ISO: 1998.

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

\_\_\_\_\_. **ISO 7933.** Hot environments: analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation of required sweat rate. Genève: ISO, 1989.

\_\_\_\_\_. **ISO 7243.** Hot environments: estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature). Genève: ISO, 1989.

JEFFEREY H. MOORE E LARRY R. WATHERFORD. **Tomada de decisão em administração com planilhas eletrônicas**, 6ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

JENDRITZKY, G. **Perceived temperature:** Klima-Michel-model. In: The development of heat stress watch warning systems for european cities. Friburgo, 2003.

JI, I.; TAN, H.; KATO, S.; BU, Z.; TAKAHASHI, T. Wind tunnel investigation on influence of fluctuating wind direction on cross natural ventilation. **Building and Environment**, v. 46, n. 12, p. 2490-2499, Dec. 2011, ISSN 0360-1323.

KARWOWSKI, W. **The discipline of ergonomics and human factors.** Capítulo 1. In Handbook of Human Factors and Ergonomics, 3ª ed. John Wiley & Sons, USA, 2006.

KRANZ, J. **Intelligent Automotive Thermal Comfort Control.** PhD Thesis, Nelson Mandela Metropolitan University in Port Elizabeth, 2011.

KROEMER, K. H. E.; GRANDJEAN, E.. **Manual de ergonomia:** adaptando o trabalho ao homem. 5. ed.. São Paulo, SP: Bookman, 2005.

KUCHEN, E. et al. Predição do índice de conforto térmico em edifícios de escritório na Alemanha. **Ambient. constr.** (Online), Porto Alegre, v. 11, n. 3, Sept. 2011. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1678-86212011000300004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212011000300004&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 16 Abril 2012.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. P. **Conforto térmico e stress térmico.** Florianópolis, SC: UFSC/LabEEE, 2002.

LIMA, J. C. **Avaliação experimental da influência do revestimento de assentos automotivos no conforto térmico.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Automotiva), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

LIMA, Cel. J. B. de. **A Briosa**: a história da Polícia Militar da Paraíba – PMPB. 1 ed., João Pessoa, Editora do Centro de Ensino da Polícia Militar , 2000, 168 p.

LIN, T. P.; HWANG, R.; HUANG, K.; SUN, C.; HUANG, Y. Passenger thermal perceptions, thermal comfort requirements, and adaptations in short- and long-haul vehicles. *Int J Biometeorol*, v. 54, p. 221–230, 2010.

LIN, T. P. Thermal perception, adaptation and attendance in a public square in hot and humid regions. **Building and Environment**, v. 44, n.10, p. 2017–2026, 2009.

LYRA, D. S. F. M. **Aplicabilidade de índices de conforto térmico: um estudo de caso em Salvador – BA**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana), Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, 2007.

MADEIRA, L. G. **Efeito das diferenças sexuais e da capacidade aeróbica na resposta sudorípara de homens e mulheres**. 2007. Dissertação (Mestrado em Educação Física) – Programa de pós-graduação em Educação Física, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

MAHNKE, F. H. **Color, Environment & Human Response**, Van Nostrand Reinhold, NY, 1996.

MARCHI, S. R. **Análise da Influência da Cor no Potencial de Aproveitamento da Luz Natural no Ambiente Construído**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade do Paraná, Curitiba.

MARENGO, J. A. Possíveis impactos da mudança de clima no Nordeste. **Revista Eletrônica de Jornalismo Científico**. <http://www.comciencia.br/comciencia/?section=8&edicao=22&id=248>. Acesso em 30 abr 2012.

MARTINHO, N. A. G.; SILVA, M. C. G.; RAMOS, J. A. E. Evaluation of Thermal Comfort in a Vehicle Cabin. In: Proceedings of the I MECH E Part D, **Journal of Automobile Engineering**, v. 218, n. 2, p. 159-466, 2004.

MARTINS, I. **A universidade brasileira poderá ser uma parceira importante**. Rio de Janeiro: 2007. Disponível em: <<http://www.peritocriminal.net>>. Acesso em 29 abr 2012.

MÁSCULO, F. S.; VIDAL, M. C. **Ergonomia: Trabalho adequado e eficiente**. Rio de Janeiro: Elsevier/ABEPRO, 2011.

MASTERTON, J. M.; RICHARDSON, F. A. Humidex: a method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity. **Environment Canada**, p. 1-79. Ontario, Downsview: Atmospheric Environment Service, 1979.

McARIEL, B. et al. The prediction of the physiological effect of warm and hot environments, **Med. Res. Council**, v. 47, London, 1947.

McCullagh, P., J.A. Nelder. **Generalized Linear Models**. Chapman and Hall: London. (mathematical statistics of generalized linear model), 1989.

MEZRHAB, A.; BOUZIDI, M. Computation of thermal comfort inside a passenger car compartment. **Applied Thermal Engineering**, v. 26, p.1697–1704, 2006.

MINISTÉRIO DA JUSTIÇA. **Relatório de atividades 2003-2006**. Secretaria Nacional de Segurança Pública, 2007. Disponível em: <[www.portal.mj.gov.br](http://www.portal.mj.gov.br)>. Acesso em 28 abr 2012.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. Fundacentro. **Conforto térmico nos ambientes de trabalho**. 1999.

\_\_\_\_\_. **NR 15- Atividades e operações insalubres**, Anexo 3 - Limites e tolerância para a exposição ao calor. Brasília: Ministério do Trabalho, 1978.

MONJARDET, D. **O que faz a polícia**. Polícia e Sociedade. Núcleo de Estudos da Violência da Universidade de São Paulo, São Paulo: EDUSP. n.10, 2002.

MONTEIRO. L. M. **Modelos preditivos de conforto térmico**: quantificação de relações entre variáveis microclimáticas e de sensação térmica para avaliação e projeto de espaços abertos. Tese (Doutorado – Tecnologia da Arquitetura) – FAUUSP, São Paulo, 2008.

MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N. **Fundamentals of Engineering Thermodynamics**. 5<sup>o</sup> ed. Wiley, 2006.

MOURA, M. B. B. de. **Aprimoramentos em sistema de climatização veicular para melhoria de condições ambientais de cabine e redução no consumo de combustível**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre Profissional em Engenharia Automotiva. São Paulo, 2007.

MUSAT, R. e HELEREA, E. Parameters and Models of the Vehicle Thermal Comfort. **Acta Universitatis Sapientiae Electrical and Mechanical Engineering**, v. 1, p. 215-226, 2009.

NILSSON, H.O. (2004). **Comfort Climate Evaluation with Thermal Manikin Methods and Computer Simulation Modes**. Stockholm. Tese (Doutorado). Department of Technology and Built Environment. University of Gävle, Sweden. 202p.

NORMA REGULAMENTADORA. **NR - 15**: Atividades e operações insalubres. Disponível em: <<http://portal.mte.gov.br/legislacao/norma-regulamentadora-n-15-1.htm>>. Acesso em: 20 mai. 2012.

ORCBS - The Office of Radiation, Chemical and Biological Safety. **MSU Employee guidelines for working in hot environments**, May, 1999.

PAROLIN, M. B. et al..Insuficiência hepática fulminante por intermação induzida por exercício. **Rev. Bras. Med. Esporte**, v. 15, n. 3, p. 224-227, 2009.

PARSONS, K. Heat Stress Standard ISO 7243 and its Global Application. **Industrial Health**, v. 44, pp. 368–379, 2006.

PARSONS, K. C. Environmental ergonomics: a review of principles, methods and models. **Applied Ergonomics**, v. 31, pp. 581-594, 2000.

PEREIRA, C. J. O.; ALCOBIA, J. Ergonomia ambiental em veículos. **Tese de doutorado em Ciências de Engenharia Mecânica** (Aerodinâmica), 2006.

PICKUP, J.; RICHARD, D. de. An outdoor thermal comfort index: the model and its assumptions. In: International Congress of Biometeorology & International Conference on Urban Climatology, v. 15, 1999, Sydney. **Selected papers from the Conference...** Geneva: World Meteorological Organization, p. 279-284, 2000.

RHOADES, R. A.; TANNER, G. A. **Fisiologia médica**. 2. ed.. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, 2005.

RODRIGO, J. S.; BEECK, J.; BUCHLIN, J. Wind engineering in the integrated design of princess Elisabeth Antarctic base, **Building and Environment**, v. 52, p. 1-18, Jun. 2012, ISSN 0360-1323.

RODRIGUEZ-AÑEZ, C. R. **Sistema de avaliação para a promoção e gestão do estilo de vida saudável e da aptidão física relacionada à saúde de policiais militares**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: 2003. 143 p. Disponível em: <<http://teses.eps.ufsc.br/defesa/pdf/7030.pdf>> Acesso em 20 abr. 2012.

ROSA, G. A. et al. Perfil hematológico de codornas japonesas (*Coturnixjaponica*) sob estresse térmico. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 9, Sept. 2011. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782011000900019&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782011000900019&lng=en&nrm=iso). Acesso em 16 Abril 2012.

SALIBA, T. M. ; CORRÊA, M. A. C.; AMARAL, L. S. **Higiene do trabalho e programa de prevenção de riscos ambientais**, 2002.

SAMIA, K.; RAFIK, B.; LUC, A. Airflow patterns within a complex urban topography under hot and dry climate in the Algerian Sahara. **Building and Environment**, v. 56, p. 162-175, Oct. 2012, ISSN 0360-1323.

SILVA, I. M. et al. Benefits of automated acclimatization during the pre-milking phase of lactating goats and cows. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 31, n. 5, Oct. 2011. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162011000500002&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162011000500002&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 16 Abril 2012.

SILVA, J. A. R. et al. Conforto térmico de búfalas em sistema silvipastoril na Amazônia Oriental. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 46, n. 10, Oct. 2011. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-204X2011001000033&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2011001000033&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 16 Abril 2012.

SIMÕES, M. C. **Formulação de um repositório hidroeletrólítico para o trabalho físico ostensivo de policiais militares, adaptado as variações climáticas de Florianópolis**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia

de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003. 271p. Disponível em: <<http://teses.eps.ufsc.br/defesa/pdf/3818.pdf>> Acesso em 20 abr. 2012.

SIPLE, P. A.; PASSEL, C. F. Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures. **Proceedings of the American Philosophical Society**, v. 89, n. 1, p. 177-199, 1945.

SMITH, F. E. Indices of heat stress. **Med. Res. Council**, Memo n. 19, 1958.

SOUZA, H. A.; FONTANELLA, M. S. Percepção do ambiente térmico nas salas de aula pelos alunos da UFOP. **Rev. Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 64, n. 4, Dec. 2011. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-44672011000500005&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672011000500005&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 16 Abril 2012.

SOUZA, H. A.; AMPARO, L. R.; GOMES, A. P. Influência da inércia térmica do solo e da ventilação natural no desempenho térmico: um estudo de caso de um projeto residencial em light steelframing. **Ambient. constr.**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, Dec. 2011. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1678-86212011000400009&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212011000400009&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 16 Abril 2012.

STEEN, R. **Preparing for safe winter travel**. The American National Red Cross. Disponível em: <<http://www.redcross.org>> Acesso em 07 Mai 2012.

TAYLOR, P.; FULLER, R. J.; LUTHER, M. B. Energy and thermal comfort in a rammed earth office building. **Energy and Buildings**, v. 40, p. 793-800, 2008.

TEIXEIRA, M. R. M. **Estudo de variáveis ambientais e relação com o tempo de reacção do open-space da autarquia do Porto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais). Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2010.

VASCONCELOS, I. C. **Estudo ergonômico do colete à prova de balas utilizado na atividade policial**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, 2007.

VECCHI, R de. **Condições de conforto térmico e aceitabilidade da velocidade do ar em salas de aula com ventiladores de teto para o clima de Florianópolis/SC**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

VERNON, H. M.; WARNER, C. G. The influence of the humidity of the air on capacity for work at high temperatures. **J.Hyg.**, v. 32, p. 431-462, 1932.

VILLAROUCO, V. Avaliação ergonômica do projeto arquitetônico. **Anais do VII Congresso Latino- Americano de Ergonomia, I Seminário Brasileiro de Acessibilidade Integral, XII Congresso Brasileiro de Ergonomia**. Recife, 2002.

WAGNER, A.; GOSSAUER, E.; MOOSMAN, C.; GROPP, T. H.; LEONHART, R. Thermal comfort and workplace occupant satisfaction—results of field studies in

German low energy office buildings. **Energy and Buildings**, v. 39, p. 758-769, 2007.

WEBB, C. Thermal discomfort in an equatorial climate. A monogram for the equatorial comfort index. **Journal of the IHVE**, v. 27, P. 10, 1960.

WICKWIRE, J.; BISHOP, P. A.; GREEN, J. M.; RICHARDSON, M. T.; LOMAX, R. G. CASARU, C.; CURTHER-SMITH, M.; DOSS, B. Physiological and comfort effects of commercial “wicking” clothing under a bulletproof vest, **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 37, n. 7, p. 643-651, Jul. 2007.

WIDMAIER, E. P.; RAFF, H.; STRANG, K. T. **.Fisiologia humana: os mecanismos das funções corporais**. 9. ed.. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, 2006.

YAGLOU, C. P.; MINARD, D. Control pf heat casualties at military traingcenters. **Archives of Industrial Health**, v. 16, p. 302-316, 1957.



## **ANEXOS**

## ANEXO 01

### AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO EM VEÍCULOS – ISO 14505-3

DATA: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_    INDIVÍDUO: \_\_\_    HORA: \_\_\_:\_\_\_    Sessão: \_\_\_ minutos

**1. Por favor, avalie nestas escalas a respeito de como VOCÊ sente-se AGORA:**

**Quanto à SENSÇÃO TÉRMICA**

|    |                  | GERAL | CABEÇA | TRONCO   |           | BRAÇOS | COXAS    |           | PANTURRILHAS |           | PÉS |
|----|------------------|-------|--------|----------|-----------|--------|----------|-----------|--------------|-----------|-----|
|    |                  |       |        | Anterior | Posterior |        | Anterior | Posterior | Anterior     | Posterior |     |
| +3 | Muito Quente     |       |        |          |           |        |          |           |              |           |     |
| +2 | Quente           |       |        |          |           |        |          |           |              |           |     |
| +1 | Levemente quente |       |        |          |           |        |          |           |              |           |     |
| 0  | Neutro           |       |        |          |           |        |          |           |              |           |     |
| -1 | Levemente Frio   |       |        |          |           |        |          |           |              |           |     |
| -2 | Frio             |       |        |          |           |        |          |           |              |           |     |
| -3 | Muito Frio       |       |        |          |           |        |          |           |              |           |     |

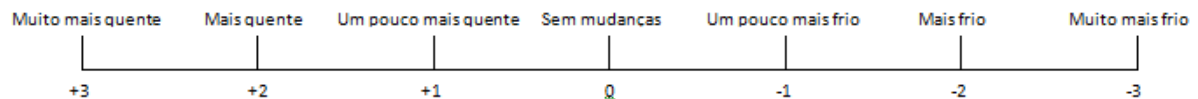
**Quanto ao CONFORTO TÉRMICO**

|   |                          | GERAL | CABEÇA | TRONCO   |           | BRAÇOS | COXAS    |           | PANTURRILHAS |           | PÉS |
|---|--------------------------|-------|--------|----------|-----------|--------|----------|-----------|--------------|-----------|-----|
|   |                          |       |        | Anterior | Posterior |        | Anterior | Posterior | Anterior     | Posterior |     |
| 3 | Muito Desconfortável     |       |        |          |           |        |          |           |              |           |     |
| 2 | Desconfortável           |       |        |          |           |        |          |           |              |           |     |
| 1 | Levemente Desconfortável |       |        |          |           |        |          |           |              |           |     |
| 0 | Confortável              |       |        |          |           |        |          |           |              |           |     |

**Quanto ao SUOR**

|   |                 | GERAL | CABEÇA | TRONCO   |           | BRAÇOS | COXAS    |           | PANTURRILHAS |           | PÉS |
|---|-----------------|-------|--------|----------|-----------|--------|----------|-----------|--------------|-----------|-----|
|   |                 |       |        | Anterior | Posterior |        | Anterior | Posterior | Anterior     | Posterior |     |
| 3 | Muito Suado     |       |        |          |           |        |          |           |              |           |     |
| 2 | Suado           |       |        |          |           |        |          |           |              |           |     |
| 1 | Levemente Suado |       |        |          |           |        |          |           |              |           |     |
| 0 | Seco            |       |        |          |           |        |          |           |              |           |     |

**2. Avalie na escala como VOCÊ gostaria de se sentir AGORA:**



**3. Indique quão aceitável VOCÊ considera este ambiente térmico AGORA:**

0  Aceitável

1  Inaceitável

**4. Indique quão satisfeito VOCÊ está com este ambiente térmico AGORA:**

0  Satisfeito

1  Insatisfeito