



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Nilton César Andrade Gomes

Os Efeitos do Ambiente Térmico:  
Avaliação Subjetiva e Numérica





Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Nilton César Andrade Gomes

Os Efeitos do Ambiente Térmico:  
Avaliação Subjetiva e Numérica

Dissertação de Mestrado  
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao  
Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efectuado sob a orientação do  
Professora Isabel Maria Pereira Leite de Freitas Loureiro  
Professora Senhorinha de Fátima Capela Fortunas  
Teixeira

## DECLARAÇÃO

Nome: Nilton César Andrade Gomes

Correio electrónico: niltonfcp@hotmail.com

Tlm.: 924149913

Título da dissertação:

**Os Efeitos do Ambiente Térmico: Avaliação Subjetiva e Numérica**

Ano de conclusão: 2015

Orientadores:

Isabel Maria Pereira Leite de Freitas Loureiro

Senhorinha de Fátima Capela Fortunas Teixeira

Designação do Mestrado:

Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Área de Especialização: Engenharia e Gestão Industrial

Departamento: Departamento de Produção e Sistemas

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Guimarães, 21/10/2015

Assinatura: \_\_\_\_\_

## AGRADECIMENTO

Quero dirigir o meu agradecimento as minhas orientadoras, à professora Isabel Loureiro pela orientação, incentivo e pelo grande empenho e dedicação para realização desta investigação e à professora Senhorinha Teixeira pela disponibilidade e por prestar toda a orientação e esclarecimentos necessários.

À Engenheira Hélia, pela ajuda prestada na obtenção de dados necessários para a investigação.

Agradeço ao Mestre Nelson Rodrigues, ao Mestre Ricardo Oliveira e à Doutora Ana Cristina Ferreira pelo bom ambiente de trabalho que proporcionaram durante a realização deste projeto. Também pelo apoio e disponibilidade em esclarecer as dúvidas necessárias em relação ao programa de simulação do corpo humano e das suas ideias inovadoras.

À minha família, mesmo distante tive apoio moral e de incentivo.

À Paula Lopes, pelo companheirismo, apoio, cumplicidade e incentivo durante a realização deste projeto. Pela sua determinação e força que me proporcionou nos momentos difíceis.

A todos os meus amigos e pessoas que me acompanharam ao longo destes anos.

Muito Obrigado a todos!



## ABSTRACT

This work addresses the importance of the objective and subjective evaluation of the thermal environmental in an industrial context aiming to analyze the contents of thermal environment, identify significant differences of the physical parameters such as air temperature, globe temperature, relative humidity and air velocity and correspondent Indexes and test the differences between shifts in terms of Human response. In order to achieve this issue, experimental data obtained by Guise (2014) were used not only to provide simulation conditions but also to test several operational hypotheses. Note that data were collected on an industrial context, the Continental company - Textile Industry Ave. SA (C-ITA).

The results indicate that PMV values are higher in the shift from 14h00 to 22h00 when compared to other shifts. The afternoon shift has a higher number of high WBGT values. Results also showed evidence that the head and the abdomen are more exposed to the thermal environment on the shifts from 06h00 to 14h00 and 14h00 to 22h00.

There were no significant differences regarding air velocity in three shifts. In opposition the air temperature and the globe temperature are significantly different regarding the three shifts. Relative humidity is significantly different in the morning shift and the night shift.

By simulation it has been found that the air temperature and the temperature at different parts of the body tend to the same behavior with respect to different environmental conditions.

**KEYWORDS:** Thermal environment, thermal comfort, human body simulation, multivariate statistics.



## RESUMO

Este trabalho aborda a importância da avaliação objetiva e subjetiva do ambiente térmico num contexto industrial, com o objetivo de analisar o conteúdo do ambiente térmico, identificar as diferenças significativas dos parâmetros físicos do ambiente térmico, tais como, temperatura do ar, temperatura de globo, humidade relativa e velocidade do ar e correspondentes índices e testar a diferenças entre turnos em termos da resposta Humana. No presente trabalho foram utilizados os dados experimentais obtidos por Guise (2014). Os dados foram utilizados não só para proporcionar condições de simulação, mas também para testar várias hipóteses operacionais. Note-se que os dados foram coletados em contexto industrial, na empresa Continental – Indústria Têxtil do Ave. S.A. (C-ITA).

Os resultados indicam que no turno das 14h00 às 22h00 os valores de PMV são mais elevados em relação aos outros turnos. O turno da tarde apresenta maior número de valores de WBGT elevados. Os resultados também mostraram evidências de que a parte da cabeça e do abdómen são mais expostas ao ambiente térmico nos turnos das 06h00 às 14h00 e 14h00 às 22h00.

Não houve diferenças significativas na variável velocidade do ar nos três turnos. Em oposição, a temperatura do ar e temperatura de globo são significativamente diferentes em relação aos três turnos. A humidade relativa é significativamente diferente no turno da manhã e o turno da noite.

Através da simulação constatou-se que a temperatura do ar ambiente e a temperatura para as diferentes partes do corpo tendem ao mesmo comportamento em relação às diferentes condições ambientais.

**PALAVRAS-CHAVES:** Ambiente térmico, conforto térmico, simulação corpo humano, estatística multivariada.



## ÍNDICE GERAL

<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>III</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>V</b>
<b>LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS</b> .....	<b>VII</b>
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 INTRODUÇÃO .....	1
1.2 OBJETIVOS DO ESTUDO .....	3
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	4
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>5</b>
2.1 AMBIENTE TÉRMICO .....	7
2.1.1 FATORES AMBIENTAIS.....	8
2.1.2 FATORES PESSOAIS OU SUBJETIVOS.....	10
2.2 MEDIÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO .....	13
2.2.1 ÍNDICES PMV-PPD.....	13
2.3 STRESS TÉRMICO .....	16
2.3.1 ÍNDICE DE TEMPERATURA HÚMIDA E DE GLOBO .....	17
2.3.2 EFEITOS DO AMBIENTE TÉRMICO.....	19
2.4 MEDIDAS DE PROTEÇÃO E CONTROLO DO AMBIENTE TÉRMICO .....	20
2.5 SOFTWARE DE SIMULAÇÃO DE CORPO HUMANO .....	21
<b>CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA APLICADA</b> .....	<b>23</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE TÉRMICO EM ESTUDO.....	24
3.2 ÍNDICES PMV/PPD E WBGT.....	29
3.3 AVALIAÇÃO SUBJETIVA .....	30
3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS .....	30
3.5 SIMULAÇÃO DE CORPO HUMANO .....	31
3.5.1 EQUAÇÃO DO BALANÇO TÉRMICO.....	32
3.5.2 CONDIÇÕES DE SIMULAÇÃO.....	34
<b>CAPÍTULO 4 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>37</b>

4.1	RESULTADO SUBJETIVO (QUESTIONÁRIO) .....	37
4.2	PARÂMETROS AMBIENTAIS.....	38
4.3	METABOLISMO .....	40
4.4	RESULTADOS DOS ÍNDICES .....	41
4.5	ANÁLISE MULTIVARIADA .....	45
4.6	SIMULAÇÃO.....	47
<b>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>		<b>53</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>		<b>57</b>
<b>ANEXO A</b>	<b>NORMALIZAÇÃO E LEGISLAÇÃO APLICADAS.....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXO B</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO DO METABOLISMO .....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXO C</b>	<b>LAYOUT DA FÁBRICA SALÃO 2 PISO 0 .....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXO D</b>	<b>QUESTIONÁRIO DE SENSAÇÃO TÉRMICA.....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXO E</b>	<b>ISOLAMENTO TÉRMICO .....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXO F</b>	<b>RESULTADOS DOS ÍNDICES E DO WBGT PONDERADO .....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXO G</b>	<b>ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS.....</b>	<b>85</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Escala de sensação térmica. ....	14
Tabela 2.2. Níveis de medições para os parâmetros físicos de um ambiente. ....	18
Tabela 2.3. Valores de referência de WBGT em função da taxa metabólica (Ken Parsons, 2006). .....	18
Tabela 2.4. Consequências do Stress Térmico (Adaptado de (Fiequimetal, n.d.)). ....	20
Tabela 3.1. Valor da taxa metabólica para cada atividade .....	27
Tabela 3.2. Taxa Metabólica para o segmento do corpo envolvido (em W/m <sup>2</sup> ).....	28
Tabela 3.3. Taxa Metabólica para a postura do corpo.....	28
Tabela 3.4. Taxa Metabólica para atividades específicas.....	28
Tabela 3.5. Temperatura inicial em cada parte do corpo nas três camadas. ....	34
Tabela 4.1. Caracterização dos Trabalhadores .....	37
Tabela 4.2. Estatística Descritiva dos Parâmetros Ambientais no Turno das 06h00-14h00.....	39
Tabela 4.3. Estatística Descritiva dos Parâmetros Ambientais no Turno das 14h00-22h00.....	39
Tabela 4.4. Estatística Descritiva dos Parâmetros Ambientais no Turno das 22h00-06h00.....	40
Tabela 4.5. Metabolismo e Duração de cada Tarefa .....	40
Tabela 4.6. Teste de Normalidade Kolmogorov-Smirnov .....	45
Tabela 4.7. Teste de Kruskal-Wallis.....	46
Tabela 4.8. Comparações múltiplas das médias nos diferentes turnos.....	47
Tabela 4.9. Condições de Simulação .....	48



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Design centrado nos seres Humanos (IEA, 2015) .....	1
Figura 2.1. Representação esquemática da fisiologia humana e a troca térmica (Magalhães et al., 2001) .....	6
Figura 2.2. Percentagem Previsível de Insatisfeitos em função do Voto Previsível Médio.....	15
Figura 2.3. 16 Partes do corpo Humano. ....	21
Figura 2.4. As três camadas de cada parte do corpo e as duas camadas de roupa.....	22
Figura 3.1. Etapas da metodologia de trabalho.....	23
Figura 3.2. a) Paletes com bobinas de fios; b) Carro com bobinas de cabo; c) Torcedor ICBT. .	24
Figura 3.3. Exemplo de uma folha Excel do Professor Malchaire.....	29
Figura 3.4. Trajetória a Simular.....	35
Figura 4.1. Caixa de bigodes para PMV .....	42
Figura 4.2. Caixa de bigodes para WBGT .....	43
Figura 4.3. Caixa de bigodes para PPD .....	44
Figura 4.4. Comparação da temperatura da pele das partes cobertas com a $T_a$ .....	49
Figura 4.5. Comparação da temperatura da pele das partes não cobertas com a $T_a$ .....	49
Figura 4.6. Temperatura da pele e da roupa no tronco.....	50
Figura 4.7. Temperatura na roupa e $T_a$ .....	50
Figura 4.8. Temperatura na roupa ao longo do tempo (0 - 7000).....	51
Figura 4.9. Temperatura da roupa ao longo do tempo (6000 - 6800) .....	51
Figura 4.10. Comparação da humidade relativa no tronco.....	52



## LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

IEA – International Ergonomics Association

HSE – Health and Safety Executive

TSQ – Thermal Sensation Questionnaire

PMV – Predict Mean Vote

PPD – Predicted Percentage of Dissatisfied

WBGT – Web Bulb Globe Temperature

SPSS - Statistic Package for the Social Sciences

ISO – International Organization of Standardization

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

T<sub>g</sub> – Temperatura de globo (°C)

T<sub>a</sub> – Temperatura do ar (°C)

V<sub>a</sub> – Velocidade do ar (m/s)

T<sub>r</sub> – Temperatura radiante média (°C)

T – Temperatura (°C)

HR – Humidade relativa (%)

Clo – Clothing

$HR_{roupa}$  – Humidade relativa da roupa (%)

$HR_{ar}$  – Humidade relativa na camada do ar (dados simulados) (%)

$HR_{ar (exp)}$  – Humidade relativa do ar (dados experimentais) (%)

s - segundos

$\alpha$  – Nível de significância

$H_0$  – Hipótese nula

$H_a$  – Hipótese alternativa

IC – Intervalo de confiança

# CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

## 1.1 INTRODUÇÃO

A ergonomia é o estudo da relação entre o Homem e o trabalho, com o objetivo de aplicar as tecnologias necessárias para a realização com êxito do trabalho pelo Homem, concebendo uma medida de saúde, segurança e conforto ao realizar a sua tarefa.

Em Agosto de 2000, a Associação Internacional de Ergonomia (IEA)<sup>1</sup> aprovou a definição oficial de ergonomia. De acordo com a IEA, a ergonomia é uma disciplina científica relacionada com a compreensão das relações entre seres humanos e outros elementos de um sistema e a profissão, que aplica teorias, princípios, dados e métodos para projetos a fim de melhorar o bem-estar humano e o desempenho do sistema global (IEA, 2015).

Através da Figura 1.1 pode-se verificar que o componente Humano é um fator muito importante na indústria e está presente em todos os processos, mas nem sempre é visto desta forma.



Figura 1.1. Design centrado nos seres Humanos (IEA, 2015)

A ergonomia é uma disciplina dirigida à abordagem sistemática de todos os aspetos das atividades humanas. O domínio da especialização de ergonomia é bastante amplo e, de um modo geral, podem destacar-se os domínios de: ergonomia física que aplica os conhecimentos de anatomia e estuda a postura no trabalho, movimentos repetitivos, distúrbios músculo-

<sup>1</sup> IEA – International Ergonomics Association (<http://www.iea.cc/index.php>).

esqueléticas relacionadas ao trabalho, segurança e saúde dos trabalhadores; a ergonomia cognitiva que está relacionada com a parte psicológica dos trabalhadores, tais como a percepção de um determinado ambiente; o conforto, a memória, o raciocínio e a resposta motora que pode comprometer as interações entre seres humanos e outros elementos do sistema, portanto estuda a carga mental de trabalho, desempenho individual do trabalhador e o stress; e a ergonomia organizacional que é a ciência de sistemas sociotécnicos, incluindo suas estruturas organizacionais, políticas e de processo (ABERGO, 2015; IEA, 2015).

Relativamente à relevância de estudar os agentes físicos do ambiente de trabalho que possam afetar a performance do trabalhador, Fanger (1970) confirma a importância do ambiente térmico e realça o caráter multi e interdisciplinar de estudos nesta matéria. Fanger publica diversos trabalhos de caráter científico em que estabelece as condições necessárias para definir uma situação de conforto térmico assim como, os princípios para avaliar e analisar as sensações térmicas humanas. O conforto térmico é um estado de espírito, portanto as sensações térmicas são subjetivas, diferente entre as pessoas no mesmo ambiente, isto devido à diferença de idade, da cultura, do gênero, etc e depende dos fatores físicos, fisiológicos e psicológicos (Djongyang, Tchinda, & Njomo, 2010; Guise, 2014). Os fatores físicos determinam as trocas de calor do corpo com o ambiente envolvente, os fatores fisiológicos, como a aclimatização, referem-se a alterações na resposta fisiológica do organismo que resulta da exposição contínua numa determinada condição térmica e os fatores psicológicos indica a diferença na percepção e na resposta a estímulos sensoriais (Ruas, 2002).

O conforto térmico é muito difícil de definir, uma vez que deve ter em consideração vários fatores ambientais e pessoais no momento de decidir o que faz as pessoas sentirem-se o mais confortável possível no seu ambiente de trabalho. O órgão Executivo de Segurança e Saúde (HSE - Health and Safety Executive) enfatiza que pode conseguir um ambiente térmico que satisfaz a maioria das pessoas no local de trabalho e que proporciona a cerca de 80% dos ocupantes um conforto razoável num ambiente. Porém mesmo num ambiente com neutralidade térmica, há 5% de insatisfeitos com as condições ambientais (HSE, 1999; Rodrigues, 2009).

O estudo de conforto térmico tem o seu principal objetivo que é estabelecer as condições necessárias para se tornar um ambiente térmico adequado para ocupação humana. O autor Fergus Nicol refere as três razões para a compreensão da importância do conforto térmico: (1) oferecer uma condição satisfatória para as pessoas, (2) controlar o consumo de energia e (3)

sugerir e estabelecer padrões (Nicol, 1993; Taleghani, Tenpierik, Kurvers, & Van Den Dobbelsteen, 2013).

Em contexto industrial torna-se difícil e muitas vezes impraticável ter como objetivo a existência de conforto térmico. Esta situação deve-se aos processos produtivos que por vezes importam elevadas quantidades de calor radiante para as naves industriais, às operações ou até mesmo à ausência de medidas estruturais que reduzam o impacto da variação da temperatura exterior na nave industrial. Nestas situações, é mais comum o cálculo de índices que caracterizem ambientes térmicos mais quentes e permitam estimar a sensação térmica do trabalhador. Tal é o caso do WBGT- Wet Bulbe Globe Temperature, usado para ambientes térmicos quentes.

Embora sabendo da possibilidade de os trabalhadores poderem estar, em contexto industrial, perante ambientes térmicos quentes ou frios; isto é, fora da zona de conforto térmico; entende-se que o principal motivo do estudo sobre o ambiente térmico é assegurar que um maior número de pessoas num determinado local de trabalho se sintam confortáveis, evitando eventuais acidentes de trabalho, problemas de saúde; entre outros problemas que o desconforto poderia causar. À vista disso, o desempenho do trabalhador e a produtividade em geral aumentará (Parsons, 2000).

Existem diversas normas para o estudo do conforto térmico que engloba todas as variáveis que influenciam o mesmo. As principais normas e legislação referentes ao tema em estudo encontram-se no ANEXO A.

## 1.2 OBJETIVOS DO ESTUDO

O objetivo geral deste trabalho é estudar as condições térmicas do ambiente de trabalho de uma indústria de componentes automóveis, através da comparação da avaliação numérica e subjetiva do Ambiente Térmico. Isto é, pretende-se estudar, em contexto industrial, a influência dos parâmetros do ambiente térmico em termos de resposta humana a diferentes condições simuladas.

Para este fim, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Analisar os dados subjetivos obtidos da aplicação do Questionário de Sensação Térmica (TSQ - *Thermal Sensation Questionnaire*).

- b) Calcular os índices PMV, PPD e WBGT por ponto medido nos três níveis, através da folha de cálculo Malchaire.
- c) Elaborar uma base de dados para analisar os índices, com recurso ao SPSS.
- d) Simular a resposta humana a diferentes condições experimentais.
- e) Comparar os resultados obtidos numérica e subjetivamente.

### **1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

O presente projeto está dividido em cinco capítulos. Neste capítulo, é feita a introdução, onde se enquadra o tema do trabalho, enunciam-se os objetivos da dissertação, apresenta-se a organização e estrutura da mesma.

No capítulo 2 apresentam-se os fundamentos teóricos subjacentes à análise de conforto térmico nos locais de trabalho, abordando os principais fatores condicionantes do conforto térmico. Ainda neste capítulo aborda-se, no geral, a evolução dos diferentes estudos realizados no âmbito desta temática até à atualidade.

No capítulo 3 apresenta-se a metodologia de estudo que será adaptada, nomeadamente na definição dos critérios de conforto térmico e dos índices mais utilizados na sua avaliação. Abordar-se-á, ainda, a descrição do programa de simulação do corpo humano, utilizado para a realização deste estudo e método estatístico utilizado.

O capítulo 4 destina-se à apresentação e análise dos resultados do estudo desenvolvido, procurando-se destacar os dados de maior relevância retirados da realização do trabalho. E por fim, no capítulo 5 é feita as conclusões e considerações finais, refletidos pela análise dos resultados obtidos no capítulo 4.

## CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA

De acordo com Ruas (2002), o corpo humano é um sistema termodinâmico que produz calor e está sempre em interação com o meio ambiente para conseguir o balanço térmico que é indispensável para a vida humana. Portanto, existe uma constante troca de calor entre o corpo e o meio que o rodeia, regidos pelas leis da física e influenciados por mecanismos de adaptação fisiológica, condições ambientais e fatores individuais. A sensação de conforto térmico está diretamente relacionada com o esforço realizado pelo organismo para manter o balanço térmico e sendo assim para a melhor percepção desse processo, trata-se a seguir da termorregulação humana e do balanço térmico do corpo humano (Lamberts, Xavier, & Vecchi, 2014; Ruas, 2002).

A influência pessoal e humana, na avaliação da satisfação com o meio ambiente e posterior relação com o seu nível de produtividade, depende de vários fatores não mensuráveis como o seu estado psicológico, expectativas e sua postura social no local de trabalho. Em zonas de desconforto pode existir stress térmico devido às condições ambientais desfavoráveis, como por exemplo, excesso de calor que pode levar a risco de acidente de trabalho e provocar danos à saúde.

Os ambientes térmicos quentes podem causar consequências que vão desde a sensação de sede ou calor, falta de concentração, desconforto geral e, por conseguinte à eventual diminuição do desempenho e da produtividade. Em situação extremas, podem originar problemas de saúde mais graves, tais como a insolação, colapso e até a morte. A exposição a um determinado ambiente quente pode originar uma falta de entusiasmo pelo trabalho com consequente aumento da irritabilidade. As pessoas desconfortáveis perdem a sua motivação e tendem a ser lentos, reduzindo a produtividade. De acordo com Parsons (2003), citado por Guise (2014) não há dúvida de que o ambiente quente, moderado ou frio pode interferir nas atividades humanas, afetando o desempenho das tarefas e influencia a produtividade.

O homem é um ser homeotérmico, isto é, em condições normais de saúde e conforto, apesar das variações térmicas do ambiente ao redor, a sua temperatura do corpo assimila um valor

constante próxima dos 36,7°C, devido ao fato de que o metabolismo produz uma energia interna de calor equivalente a que se perde para o meio ambiente (Parsons, 2003).

Quando dois corpos com temperaturas diferentes estão no mesmo local há uma transferência de calor do corpo mais quente para o mais frio até se estabelecer uma temperatura igual entre os corpos. Os mecanismos físicos de transferência de calor entre o Homem e o ambiente considerados são os seguintes: condução, convecção, radiação e evaporação (Lamberts et al., 2014) (ver Figura 2.1).

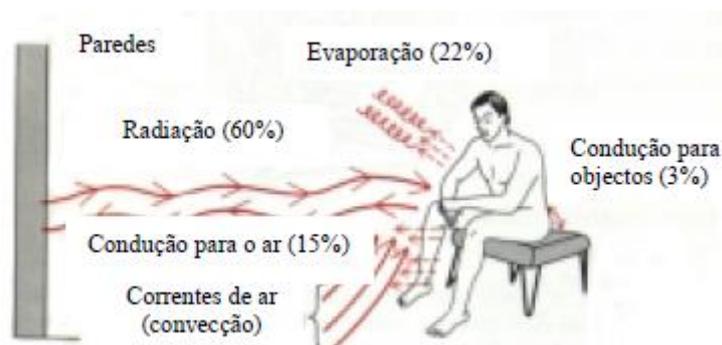


Figura 2.1. Representação esquemática da fisiologia humana e a troca térmica (Magalhães et al., 2001)

A radiação corresponde à transmissão de calor sob a forma de ondas eletromagnéticas. Este mecanismo físico ocorre a partir de qualquer matéria desde que a sua temperatura não seja o zero absoluto<sup>2</sup>, por exemplo, ocorre entre o corpo e a parede, de outros organismos e objetos junto a ela. A troca de calor é chamada de calor radiante. A condução é um processo de transferência direta de calor quando há contato entre um corpo frio e outro quente. A convecção depende da diferença entre a temperatura da pele e do ar no ambiente. A evaporação consiste na perda de calor através da evaporação do líquido a partir do corpo. É um mecanismo de arrefecimento exclusivamente, em oposição à radiação, condução ou convecção e a perda de calor por este modo aumenta em níveis elevados de atividade (Vaughn Bradshaw, 2006). A evaporação depende da atividade física, da humidade relativa do ar e da velocidade do ar. A troca de calor por convecção depende da diferença entre a temperatura do ar e a do sistema corpo-roupa e da velocidade do ar. A convecção é um processo de transferência de calor pelo meio de correntes de ar.

<sup>2</sup> Zero absoluto – definido como 0K (Kelvin) (mínimo de temperatura possível), corresponde a - 273,15 °C.

O principal objetivo da termorregulação é manter a temperatura corporal constante, isto é, evitar grandes variações na temperatura interna do corpo de modo que os sistemas do corpo humano podem agir adequadamente. Segundo Lamberts et al. (2014), um organismo exposto durante muito tempo num ambiente térmico constante, moderado, tende-se a um equilíbrio térmico de acordo com o ambiente envolvente, isto é, a produção de calor pelo organismo através de seu metabolismo, será igual à perda de calor do mesmo para o ambiente, através das diversas formas de transferência de calor, referidas anteriormente (Lamberts et al., 2014; Miguel, 2014).

Tal como foi citado anteriormente, a transferência de calor pode ocorrer através de convecção (C), condução (K), evaporação (E) e radiação (R). A combinação destes quatro mecanismos de transferências de calor pode ocorrer em duas situações: (1) produção de calor pelo metabolismo (M), isto é, um ganho de calor no corpo e (2) perda de calor (S) que acontece através da respiração (RES) e pela pele de maneira sensível e latente. Assim como referido anteriormente o equilíbrio térmico entre o corpo e o ambiente envolvente ocorre quando o corpo ganha calor ao mesmo ritmo que perde calor (Lamberts et al., 2014; Vaughn Bradshaw, 2006). Fanger, 1973 propôs a equação de balanço térmico como sendo a produção ou a perda de calor depende da relação entre o metabolismo, troca de calor por radiação, condução, respiração e convecção, a perda de calor por evaporação e trabalho externo. A expressão seguinte representa a relação entre a produção de calor do corpo e todos os outros ganhos e perdas de calor:

$$M = S \pm W \pm R \pm C \pm K - E - RES \quad (2.1)$$

## 2.1 AMBIENTE TÉRMICO

O ambiente térmico é um dos mais importantes parâmetros a ser caracterizado, de forma a garantir o conforto e melhorar as condições de trabalho. Os parâmetros térmicos existentes no ambiente de trabalho influenciam o organismo dos trabalhadores, isso pode afetar de uma forma direta ou indiretamente a saúde e o bem-estar dos mesmos e, por conseguinte, na realização das suas atividades que lhe são atribuídas. A sensação de desconforto térmico no ambiente de trabalho pode diminuir o desempenho no trabalho e por sua vez uma queda na produtividade. Segundo ANSI/ASHRAE 55 (2013) o ambiente térmico é definido como a combinação das características do ambiente que afetam a perda de calor de uma pessoa.

Para perceber melhor os padrões de conforto humano, é necessário o conhecimento dos parâmetros de conforto térmico. Estes parâmetros são as ambientais e pessoais. As variáveis ambientais estão diretamente relacionadas aos elementos climáticos, coletados no ambiente em estudo através de medições ou calculado através dos dados recolhidos. Os parâmetros pessoais ou subjetivos estão relacionados às atividades desenvolvidas e ao tipo de roupa utilizado.

### **2.1.1 FATORES AMBIENTAIS**

Fatores ambientais de conforto térmico são obtidos através da realização de medições no ambiente ou calculados a partir dos dados medidos. Os principais parâmetros ou fatores para o conforto térmico são a temperatura radiante média, a humidade relativa, a temperatura do ar e a velocidade do ar. Esses fatores são de extrema importância no que diz respeito ao estudo do conforto térmico.

#### **2.1.1.1 TEMPERATURA DO AR**

A temperatura do ar corresponde à temperatura seca do ar ambiente que circula à volta das pessoas e determina o fluxo de calor entre a pessoa e o ar. Também chamada de temperatura de bolbo seco (TBS) é o principal fator do conforto térmico (ÁGUAS, 2000).

Conforme Lamberts et al. (2011), a sensação de conforto consiste na perda de calor do corpo pelo diferencial de temperatura entre a pele e o ar, complementada pelos outros mecanismos termorreguladores. Desta forma, o calor é produzido pelo corpo por meio do metabolismo e suas perdas são menores quando a temperatura do ar está alta ou maiores quando a temperatura está mais baixa.

Os mesmos autores realçam que a diferença de temperatura entre dois pontos no ambiente provoca a movimentação do ar, chamada de convecção natural: a parte mais quente torna-se mais leve e sobe enquanto a mais fria desce, proporcionando uma sensação de resfriamento do ambiente (Lamberts et al., 2011). A unidade da temperatura do ar é expressa em graus centígrados ( $^{\circ}\text{C}$ ), ou graus Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ) e medido com o termómetro.

#### **2.1.1.2 VELOCIDADE DO AR**

Velocidade do ar corresponde ao movimento do ar relativamente ao objeto e varia no tempo e espaço, sendo assim um parâmetro de difícil medição. O seu impacto é importante porque o seu

efeito está associado, quer à temperatura (convecção), quer à humidade do ar (evaporação) (ISO 7730, 2005). A unidade no sistema internacional é o metro por segundo (m/s) e determinado através de um anemómetro.

Quando a movimentação do ar ocorre pela diferença de temperatura no ambiente designa-se de convecção natural, o ar quente (mais leve) sobe e o ar frio (mais pesado) desce. Porém, quando o ar se movimenta por meios mecânicos, como um ventilador, ocorre a convecção forçada, ou seja, o coeficiente de convecção aumenta juntamente com a sensação de perda de calor.

A movimentação do ar favorece os efeitos da evaporação no corpo humano, retirando a água em contato com a pele com mais eficiência e assim, reduzindo a sensação de calor.

### 2.1.1.3 TEMPERATURA RADIANTE MÉDIA

Temperatura radiante corresponde à temperatura média à superfície dos elementos que estão num determinado local e tem a sua influência no calor perdido por radiação do corpo como também por convecção.

De uma forma geral, o valor da temperatura radiante média é um pouco maior ou um pouco menor do que o da temperatura do ar, pois expressa a presença de corpos em diferentes temperaturas, trocando calor através da radiação.

A norma ISO 7726 (1998) apresenta duas equações para a obtenção da temperatura radiante média ( $T_r$ ), uma de convecção natural e outra de convecção forçada, respetivamente.

A determinação da temperatura radiante é efetuada em função da temperatura de globo,  $T_g$ , da temperatura do ar,  $T_a$ , e da velocidade do ar,  $V_a$  (Miguel, 2014).

$$T_r = \left[ (T_g + 273,15)^4 + 0,4 * 10^8 |T_g - T_a|^{1/4} * (T_g - T_a) \right]^{1/4} - 273,15 \quad (2.2)$$

$$T_r = \left[ (T_g + 273,15)^4 + 2,5 * 10^8 * V_a^{0,6} (T_g - T_a) \right]^{1/4} - 273,15 \quad (2.3)$$

#### 2.1.1.4 HUMIDADE RELATIVA

A humidade relativa é expressa em percentagem (%) e medida por um psicrómetro. A humidade relativa varia entre 0% (ausência de vapor de água no ar, isto é, ar seco) a 100% (para as condições até a saturação, isto é, ar húmido está saturado) e corresponde à proporção de água que o ar contém, perante a temperatura e pressão presentes, e o volume máximo de humidade que poderia conter. Pode-se dizer que a humidade relativa é a relação entre a pressão parcial de vapor de água no ar húmido e a pressão de saturação de vapor de água à mesma temperatura (Miguel, 2014).

A humidade do ar em conjunto com a velocidade do ar, intervém na perda de calor por evaporação. Com o aumento da temperatura, aumenta a dificuldade nas perdas de calor por convecção e radiação, assim sendo o organismo aumenta a sua eliminação por evaporação.

Quando o ar está saturado, a evaporação não é possível, o que faz aumentar o ganho de mais calor se a temperatura do ar for superior a da pele. Contudo, em caso do ar estar seco, as perdas continuam ainda com as temperaturas mais elevadas.

#### 2.1.2 FATORES PESSOAIS OU SUBJETIVOS

Os fatores pessoais de conforto térmico são o vestuário, relacionado à resistência térmica da roupa e a atividade física, relacionada com o calor gerado pelo metabolismo.

##### 2.1.2.1 VESTUÁRIO (ISOLAMENTO TÉRMICO)

O vestuário mantém uma camada protetora que dificulta as trocas por convecção e por radiação. Em clima seco, as roupas adequadas podem manter a humidade proveniente do organismo pela transpiração. A roupa funciona como isolamento térmico, que mantém o corpo mais quente ou mais frio conforme o ambiente a que está sujeito e ao ajuste do vestuário ao corpo.

Também a roupa reduz a sensibilidade do corpo às variações de temperatura e de velocidade do ar (A. C. J. Da Silva, 2011).

O isolamento do vestuário é expresso numa unidade designada clo, da palavra inglesa *Clothing*, em que uma unidade da roupa, ou seja, um clo corresponde a  $0,155 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C.W}^{-1}$  (ISO 7730, 2005).

### 2.1.2.2 METABOLISMO (NÍVEL METABÓLICO)

O metabolismo é a soma da reação química produzida no corpo para mantê-lo a uma temperatura constante e aproximada de 36,7°C e para equilibrar a sua constante perda de calor para o meio imediato que o envolve. A atividade que a pessoa desenvolve no seu ambiente de trabalho resulta na produção de energia metabólica e, por conseguinte a necessidade de utilização de vestuários adequados para a determinada atividade. O vestuário é a barreira que impede ou atrasa a troca de calor entre a superfície da nossa pele e o ambiente envolvente. A temperatura da pele resulta da função do metabolismo, do vestuário e da temperatura no local.

Ao contrário da nossa temperatura corpórea interior, a temperatura da pele não se mantém constante (ÁGUAS, 2000-2001; Silva, 2013). O metabolismo é expresso em  $W/m^2$ , sendo que a unidade mais utilizada é Met. Segundo Parsons (2003), um Met corresponde a 58,15  $W/m^2$ , considerando o índice metabólico de uma pessoa sentada em descanso (KC Parsons, 2003).

Para além da atividade física e da alimentação dos trabalhadores, a idade, o sexo e a temperatura ambiente são outros fatores que influenciam a taxa metabólica.

Segundo MCARDLE et al. (1985), citado por Ruas (2001), o metabolismo basal das mulheres é de 5 a 10% menor que o dos homens, devido ao fato das mulheres possuírem mais gordura corporal do que os homens, com idade e dimensões semelhantes. O estudo de McIntyre (1980) mostra que o metabolismo basal diminui constantemente com a idade e que um homem de 20 anos tem um metabolismo, em média, 12% maior que um de 45 anos com as mesmas características corporais (Leite, 2002).

Em relação ao efeito da temperatura do ar na taxa metabólica, McIntyre (1980), verificou que num ambiente a 10°C, o tremor muscular pode duplicar o metabolismo de pessoas nuas em repouso. Também verifica, que o aumento do calor ambiente afeta diretamente o processo metabólico, pois aumenta a velocidade das reações químicas envolvidas. No estudo realizado por Consolazio et al. (1963), constatou que o metabolismo aumenta 12% de uma atividade realizada numa temperatura ambiente de 38°C, em comparação com o metabolismo de uma pessoa ao realizar a mesma atividade num ambiente a temperatura de 29°C (Leite, 2002; Ruas, 2001).

De acordo com a norma ISO 8996 (2004), a taxa metabólica pode ser obtida por três métodos, que diferem na exatidão dos resultados e na aplicabilidade prática.

1) Determinação da taxa de metabolismo através da medição do consumo de oxigênio e da produção de gás carbônico é o método com maior precisão na obtenção de resultados, no entanto é um método de pouco uso. O método consiste em obter os volumes de oxigênio consumido e de gás carbônico produzido, a partir da análise do gás expirado pelo trabalhador num período representativo do seu ciclo de trabalho. O procedimento para coleta do ar expirado é função da solicitação física das atividades.

2) Registo da frequência cardíaca durante o trabalho é o segundo método proposto pela ISO 8996 (2004), para obter o metabolismo. Esse método não é tão preciso quanto o anterior e baseia-se no fato de que existe, para cada pessoa, uma relação linear entre frequência e o consumo de oxigênio e, portanto também entre ela e o metabolismo. Essa relação é individual e depende da idade, do sexo e da capacidade física. Estabelecida a relação, é possível calcular a taxa metabólica de uma pessoa num determinado ciclo de trabalho, a partir do consumo de oxigênio obtido do registo da frequência cardíaca.

3) Estimativa através de tabelas fornecidas pela ISO 8996 (2004), para a obtenção da taxa de metabolismo. São quatro tipos de tabelas com os valores de referências. As duas primeiras, com elevado potencial de erro, classificam a taxa de metabolismo (baixa, moderado, elevada e muito elevada) pelo tipo de atividade ou pela ocupação (carpinteiro, pintor, professor, etc.) (Consultar ANEXO B). Nos outros dois tipos, que possibilitam resultados melhorados que os anteriores, o trabalho é detalhado em atividades específicas, como por exemplo, movimentar objetos, subir escadas, andar ao nível do solo, etc. ou as atividades são divididas em termos de movimentos e esforços. Neste último caso, o metabolismo de um determinado trabalho é calculado somando-se, ao metabolismo basal, as parcelas em razão da postura do corpo, dos movimentos e dos esforços.

## 2.2 MEDIÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico em determinado ambiente de trabalho pode ser definido como a sensação de bem-estar da pessoa que se encontra no local (Manuel & Martins, 2011; Ruas, 2001). Num determinado ambiente, um indivíduo pode-se sentir na sua zona de conforto, como resultado da combinação satisfatória, da temperatura radiante média, da humidade relativa, da temperatura do ar e da velocidade do ar com a atividade que o indivíduo está a desenvolver e o determinado tipo de roupa que está a usar (ÁGUAS, 2000-2001; Ken Parsons, 2013). O conforto térmico envolve um conjunto de condições em que as pessoas se sentem confortáveis (nem muito quente, nem muito frio), ou quando o equilíbrio térmico é alcançado (Stanković & Boričić, 2013).

Segundo Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado (ASHRAE), o conforto térmico é um estado em que uma pessoa está numa condição de equilíbrio de temperatura com o ambiente que o rodeia, o que significa que é possível a manutenção da temperatura dos tecidos constituintes do corpo, num domínio de variação estrito, sem que haja um esforço sensível.

As sensações de conforto, no entanto, são subjetivas, isto é, dependem de pessoas para pessoas. Portanto, certo ambiente pode ser termicamente confortável para uma pessoa enquanto para outros pode ser frio ou quente. As condições do ambiente de trabalho têm de permitir o bem-estar ao número significativo de pessoas que lá estão (ASHRAE, 2010; Simone, Olesen, Stoops, & Watkins, 2013).

De acordo com a norma ISO 7730 (2005), mesmo que os ocupantes num determinado local estão perante um ambiente térmico neutro, existem sempre pelo menos 5% de pessoas insatisfeitas com as condições em que elas estão expostas.

### 2.2.1 ÍNDICES PMV-PPD

A análise do conforto térmico do ambiente pode ser determinada pelo cálculo do índice do voto previsível médio (PMV - *Predict Mean Vote*). O índice PMV foi desenvolvido por Fanger (1970) e adotado na norma ISO 7730 (2005). Refere-se às opiniões subjetivas das pessoas no seu local de trabalho. O índice PMV prevê o valor médio do voto de um grande grupo de pessoas numa escala de sensação térmica. A escala de sensação térmica pode ser consultada através de uma

tabela de sete níveis (Tabela 2.1), onde o valor zero corresponde à sensação de neutralidade, isto é, conforto térmico (ISO 7730, 2005; Wang, Li, Ren, & He, 2014).

Tabela 2.1. Escala de sensação térmica.

+3	Muito quente
+2	Quente
+1	Ligeiramente quente
0	Neutro
- 1	Ligeiramente frio
- 2	Frio
- 3	Muito frio

Segundo a norma ISO 7730 de 2005, o índice PMV é calculado usando as seguintes equações:

$$\begin{aligned}
 PMV = & [0,303 \times e^{(-0,036 \times M) + 0,028}] \\
 & \times \{(M - W) - 3,05 \times 10^{-3}\} \\
 & \times [5733 - 6,99 \times (M - W) - p_a] - 0,42 \\
 & \times [(M - W) - 58,15] - 1,7 \times 10^{-5} \times M \times (5867 - p_a) \\
 & - 0,0014 \times M \times (34 - t_a) - 3,96 \times 10^{-8} \times f_{cl} \\
 & \times [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} \times h_c \times (t_{cl} - t_a)
 \end{aligned} \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned}
 t_{cl} = & 35,7 - 0,028 \times (M - W) - I_{cl} \\
 & \times \{3,96 \times 10^{-8} \times f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} \\
 & \times h_c \times (t_{cl} - t_a)\}
 \end{aligned} \quad (2.5)$$

Onde:

$M$  é a taxa metabólica ( $W/m^2$ )

$W$  é o trabalho mecânico efetivo desenvolvido pelo corpo ( $W/m^2$ )

$I_{cl}$  é o isolamento do vestuário ( $m^2.K/W$ )

$f_{cl}$  é o fator de área de superfície do vestuário

$t_a$  é a temperatura do ar ( $^{\circ}C$ )

$t_r$  é a temperatura radiante média ( $^{\circ}C$ )

$p_a$  é a pressão parcial de vapor de água (Pascal,  $P_a$ )

$h_c$  é o coeficiente de transferência de calor por convecção ( $W/m^2.K$ )

$t_{cl}$  é a temperatura da superfície da pele coberto pelo vestuário ( $^{\circ}C$ )

O índice de percentagem previsível de insatisfeitos (PPD - *Predicted Percentage of Dissatisfied*) prevê as informações acerca de desconforto térmico e insatisfação térmica de uma quantidade percentual de pessoas que podem se sentir muito quente ou muito frio num determinado ambiente. Através do índice PMV calcula-se o índice PPD usando a equação 2.6 ou através da Figura 2.2 onde se pode extrair o valor de PPD em função de PMV (ISO 7730, 2005; Yao, Li, & Liu, 2009).

$$PPD = 100 - 95 \times e^{-0,03353 \times PMV^4 - 0,2179 \times PMV^2} \quad (2.6)$$

De acordo com a norma ISO 7730 de 1984, o índice combinado PMV/PPD é recomendado para a caracterização de ambientes confortáveis. Para uma situação de conforto térmico, podem-se considerar os limites de PMV valores entre  $-0,5$  e  $+0,5$  e para PPD menor que 10%, como se pode ver na Figura 2.2.

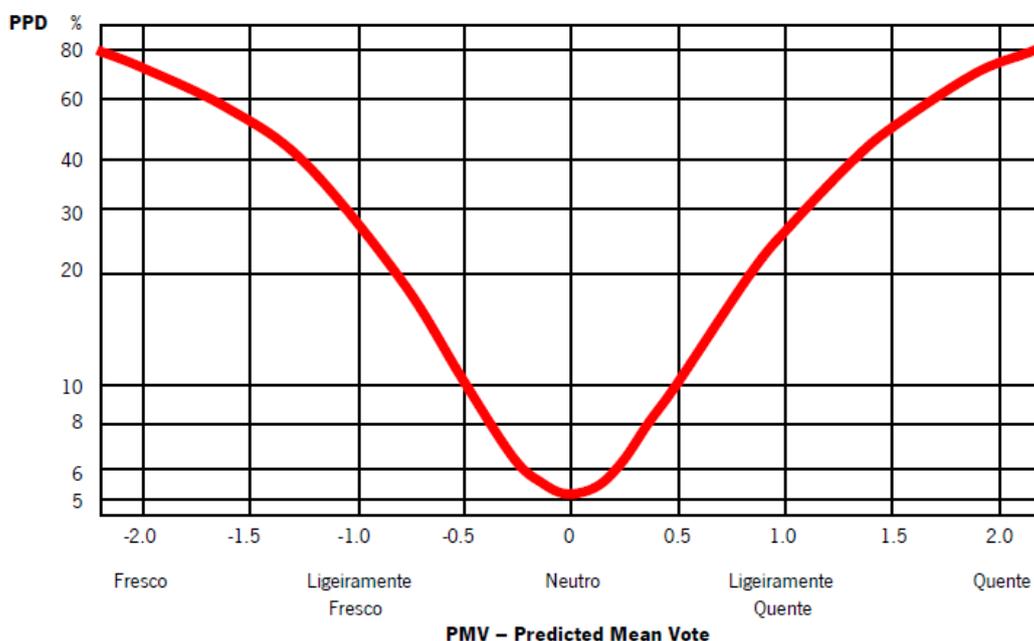


Figura 2.2. Percentagem Previsível de Insatisfeitos em função do Voto Previsível Médio.

## 2.3 STRESS TÉRMICO

A exposição ao calor num ambiente de trabalho torna-se uma importante preocupação de saúde e segurança no trabalho que podem afetar direta ou indiretamente os trabalhadores industriais no local de trabalho. Naturalmente o stress térmico é associado a altas temperaturas e humidade do ambiente envolvente. Muitos ambientes de trabalho expõem os trabalhadores a condições extremamente quentes e húmidos. Há vários fatores humanos que contribuem para a sustentabilidade de um trabalhador ao stress térmico, tais como, problemas de saúde, o aumento da idade, nível de disposição, desidratação, ingestão de álcool, e capacidade de aclimatização a temperaturas extremas. Para além da temperatura ambiente elevada existem outros fatores ambientais que podem contribuir ao stress térmico, como por exemplo, baixas correntes de convecção, alta humidade, baixa perda por evaporação e quando o nível de isolamento térmico for elevado (Daud, Abdin, Aziz, Naing, & Nordin, 2010).

Quando não se está numa situação de conforto térmico então, poder-se-á estar numa situação de stress térmico devido ao calor ou ao frio. Existem índices que fazem esta avaliação. Existem várias razões que podem levar a uma situação de stress térmico por calor, tais como, o aumento de metabolismo, o aumento da temperatura do ar, o aumento da temperatura radiante média, o aumento da humidade do ar e uma alteração da velocidade do ar (Miguel & Arezes, 2005). O ambiente térmico sujeito a uma situação de stress térmico pode se encontrar dividida em dois tipos: Ambientes quentes – stress por calor; e Ambientes frios – stress por frio. Para os autores Miguel & Arezes (2005), os ambientes quentes são aqueles para os quais o balanço térmico, calculado na base das trocas de calor por radiação e convecção, é positivo.

Uma vez que os dados a serem tratados com o presente trabalho, foram recolhidos em contexto industrial, na empresa Continental – Indústria Têxtil do Ave. S.A. (C-ITA) (Guise, 2014) em que há evidências de elevada exposição a calor radiante, tem que se ter em consideração o índice que avalia o stress térmico devido à exposição a ambientes quentes: o WBGT (Wet Bulb Globe Temperature). A avaliação nestas condições é feita através da consulta da norma ISO 7243 (1989) (Ken Parsons, 2006).

### 2.3.1 ÍNDICE DE TEMPERATURA HÚMIDA E DE GLOBO

O índice de temperatura húmida e de temperatura de globo (WBGT - *Wet Bulb Globe Temperature*) foi aceite pela norma internacional em 1989 (ISO 7243, 1989) para avaliar condições de trabalho em ambientes térmicos quentes. O índice WBGT avalia o stress térmico a que um indivíduo está exposto no local de trabalho e é desenvolvido especialmente para aplicação em ambientes industriais. O cálculo do índice WBGT em ambientes interiores requer a combinação de duas medidas: a temperatura natural húmida ( $T_{nh}$ ) e a temperatura global ( $T_g$ ). Em ambiente externo onde há presença da radiação solar direta no local de trabalho é necessário conhecer a temperatura do ar ( $T_a$ ) (Chande, 2009; Miguel & Arezes, 2005).

O índice WBGT pode ser calculado combinando os parâmetros referidos acima pelas expressões seguintes:

- i. Em ambientes internos ou externos sem a radiação solar direta nos postos de trabalho:

$$WBGT = 0.7 \times T_{nh} + 0.3 \times T_g \quad (2.7)$$

- ii. Em ambientes externos com a radiação solar direta no local de trabalho:

$$WBGT = 0.7 \times T_{nh} + 0.2 \times T_g + 0.1 \times T_a \quad (2.8)$$

De acordo com a norma ISO 7726 (1998) e referido pelos autores Lamberts et. al (2014), um ambiente envolvente pode ser homogéneo ou heterogéneo. Ambientes homogéneos são aqueles que as variações nos valores dos parâmetros físicos no local ao redor das pessoas são inferiores a 5%. Um ambiente heterogéneo apresenta variação superior a 5% nos valores dos parâmetros físicos no espaço ao redor das pessoas (Lamberts et al., 2014).

No ambiente heterogéneo, os parâmetros existentes no local de trabalho dos trabalhadores não são constantes, por isso, é necessário fazer as medições em três níveis diferentes, representando assim a altura da cabeça, abdómen e tornozelo das pessoas em relação ao nível do solo, considerando se a pessoa está sentada ou de pé, e depois calcular o índice WBGT nesses três níveis (ver Tabela 2.2).

Tabela 2.2. Níveis de medições para os parâmetros físicos de um ambiente.

Localização dos sensores	Alturas recomendadas	
	Pessoa Sentada	Pessoa em Pé
Nível da Cabeça	1.1 m	1.7 m
Nível do Abdômen	0.6 m	1.1 m
Nível do Tornozelo	0.1 m	0.1 m

Portanto, após efetuar as medições nos três níveis, o valor para cada parâmetro será a média do índice WBGT expressa pela equação seguinte:

$$WBGT = \frac{(WBGT_{Cabeça} + 2WBGT_{Abdômen} + WBGT_{Tornozelo})}{4} \quad (2.9)$$

Conhecendo o valor do índice WBGT, pode-se então comparar com os valores de referência fornecidos pela norma ISO 7243 (1989) para a taxa metabólica apropriada e o estado de aclimatização dos trabalhadores (Tabela 2.3). É de realçar que os valores de referência assumem que os trabalhadores estão em boa forma física, com boa saúde, normalmente vestido ( $I_{cl} = 0,6 \text{ clo}$ ) e, se as condições continuar dentro dos limites desejáveis, a atividade a realizar torna-se mais eficaz, sem exceder a temperatura central do corpo de aproximadamente  $36,7^{\circ}\text{C}$ .

Tabela 2.3. Valores de referência de WBGT em função da taxa metabólica (Ken Parsons, 2006).

Classe da Taxa M	Taxa Metabólica, M		Valores de Referência de WBGT			
	Relativa à Unidade de área ( $\text{W.m}^2$ )	Taxa Total (W)	Trabalhadores Aclimatados ao Calor ( $^{\circ}\text{C}$ )		Trabalhadores não Aclimatados ao Calor ( $^{\circ}\text{C}$ )	
0	$M \leq 65$	$M \leq 117$	33		32	
1	$65 < M \leq 130$	$117 < M \leq 234$	30		29	
2	$130 < M \leq 200$	$234 < M \leq 360$	28		26	
3	$200 < M \leq 260$	$360 < M \leq 468$	Sem mov. de ar sensível 25	Com mov. de ar sensível 26	Sem mov. de ar sensível 22	Com mov. de ar sensível 23
4	$M > 260$	$M > 468$	23	25	18	20

Na Tabela 2.3 estão representados os valores de referência de WBGT estabelecidos em função da atividade desempenhada. Os valores de referência apresentam valores distintos para trabalhadores aclimatados ao calor e não aclimatados ao calor. Foram diferenciados estes valores de referência para trabalhadores aclimatados e não aclimatados, visto que o termo aclimação é um fator muito importante, pois a capacidade de adaptação fisiológica do organismo permite uma aclimação parcial que pode ser conseguida em média numa semana, através de um aumento progressivo de exposição ao stress térmico.

### **2.3.2 EFEITOS DO AMBIENTE TÉRMICO**

Pode assim dizer que uma pessoa está perante um ambiente térmico quente quando a temperatura do ar ambiente e a temperatura radiante média são superiores a temperatura média da pele, ou seja, o balanço térmico calculado na base das trocas de calor por radiação e convecção é positivo. Ambientes térmicos muito excessivos podem causar uma situação de stress térmico e originar danos irrecuperáveis no trabalhador. O stress térmico ocorre quando a temperatura do ar, a temperatura radiante média, a humidade relativa, a velocidade do ar, o nível do vestuário e o nível de metabolismo interagem de forma a produzir um aumento progressivo da temperatura interna corporal (Fiequimetal, n.d.).

O efeito do ambiente quente sobre o Homem pode ser psicológico, psicofisiológica e patológico. Os problemas de natureza psicológicos estão relacionados com o estado de mal-estar e preocupação de desconforto, psicofisiológica está relacionada com o aumento de carga de trabalho do coração e do sistema circulatório e patológico ao agravamento de doenças. O desconforto psicológico pode variar desde uma sensação subjetiva de incómodo para uma redução da eficiência de tarefas manuais. Com o aumento do nível de stress térmico acima de zona de conforto leva a diminuição da capacidade de trabalho aumento da sobrecarga do coração e pode ocorrer o desequilíbrio no balanço hídrico do corpo. É possível ter um golpe de calor quando o stress de calor e a carga de trabalho são elevados e existe o risco de esta situação se aumentar de uma forma significativa para trabalhador não aclimatizado, estão vestidos de uma maneira inadequada diante de determinada condição e também têm insuficiência de água. Esgotamento por calor ocorre quando há uma deficiência de água ou suor no corpo. Náuseas, fadiga, irritabilidade ou desmaios são sinais de efeito do calor.

Na Tabela 2.4 são apresentadas algumas consequências que resultam do stress térmico em ambientes térmicos quentes sobre o Homem.

Tabela 2.4. Consequências do Stress Térmico (Adaptado de (Fiequimetal, n.d.)).

Designação	Descrição	Consequências
<b>Choque térmico</b>	Subida contínua da temperatura (mecanismos de dissipação insuficientes)	Convulsões e alucinações; Coma (42°C – 45°C); Morte.
<b>Colapso térmico</b>	Aumento acentuado da pressão arterial (incremento do fluxo sanguíneo)	Vertigens, tonturas; Transpiração muito intensa; Dores de cabeça fortes.
<b>Desidratação</b>	Perda de água excessiva (taxa de sudação muito elevada)	Diminuição da capacidade mental; Aumento do tempo de reação.
<b>Desmineralização</b>	Perda de sais não compensada (ingestão de água não compensada)	Convulsões e alucinações; Coma (42°C – 45°C); Cáimbras térmicas.

## 2.4 MEDIDAS DE PROTEÇÃO E CONTROLO DO AMBIENTE TÉRMICO

O ambiente térmico pode ser controlado através de aplicação de medidas técnicas, de medidas práticas na organização do trabalho e da utilização de proteção individual. Ou seja, medidas construtivas, organizacionais e proteção individual. Como medidas construtivas pode se intervir na ventilação geral do equipamento ou isolar os equipamentos de produção de calor. Relativamente às medidas organizacionais as mais comuns estão relacionadas com a distribuição dos ritmos de trabalho ou introdução de períodos de aclimação (normalmente 15 dias para trabalhadores que estão a iniciar a sua atividade). As medidas de proteção individual nomeadamente o fornecimento de vestuário adequado são as últimas a ter em conta na ótica de Segurança e quando as restantes medidas não são exequíveis (Afonso, Piçarra, Ferreira, & Felisberto, 2010; Guise, 2014).

## 2.5 SOFTWARE DE SIMULAÇÃO DE CORPO HUMANO

Para analisar a resposta humana a diferentes condições do ambiente térmico pode ser utilizado um software de simulação de corpo humano. Este software permite simular a resposta humana face a dadas condições ambientais experimentais. No presente trabalho, as condições de entrada serão os dados experimentais recolhidos em uma planta industrial têxtil por (Guise, 2014). O software de corpo humano é baseado em equações diferenciais de transferência de calor e de massa e pode prever a influência dos parâmetros do conforto térmico, nas temperaturas e humidades do corpo e da roupa (Teixeira et al., 2010).

O corpo humano está dividido em 16 partes diferentes, representados na figura seguinte. Parte (1) é o coração – pulmões, (2) tronco, (3) abdómen, (4) braço esquerdo, (5) braço direito, (6) antebraço esquerdo, (7) antebraço direito, (8) mão esquerda, (9) mão direita, (10) coxa esquerda, (11) coxa direita, (12) perna esquerda, (13) perna direita, (14) pé esquerdo, (15) pé direito e a parte (16) é a cabeça.

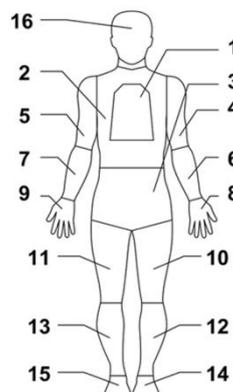


Figura 2.3. 16 Partes do corpo Humano.

Cada parte do corpo apresentado na Figura 2.3 tem o seu peso em relação ao corpo todo, a área superficial, o volume que ocupa e também um valor inicial de temperatura das três camadas, o núcleo, o músculo e a pele, que estão representadas na Figura 2.4.

Parte (1) é considerada como um sistema único dos vasos sanguíneos e as outras 15 partes do corpo estão divididas em três camadas: o núcleo (core), o músculo (Shell) e a pele (skin). Na Figura 2.4 também pode se observar as duas camadas de roupa, a camada (4) é o que está em contato com a pele e a camada (5) está em contato com o meio ambiente envolvente.

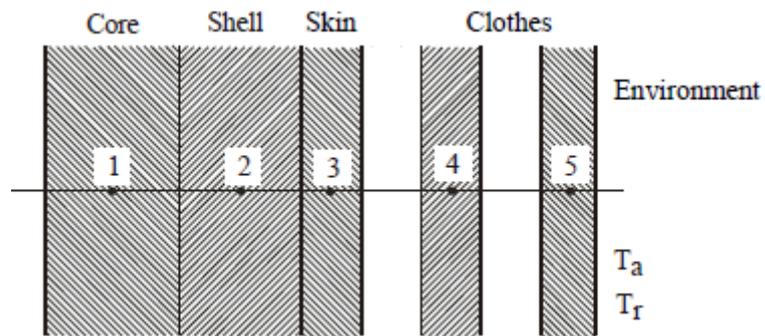


Figura 2.4. As três camadas de cada parte do corpo e as duas camadas de roupa.

O corpo humano pode ser considerado coberto com roupas ou nu. Quando é nu, a troca de calor com o meio ambiente é feito através do mecanismo de convecção, radiação e evaporação. Quando o corpo está coberto com a roupa são consideradas duas camadas, isto é, existe uma troca de calor da pele com a primeira camada de roupa e a última camada de roupa faz trocas de calor com o ar por meio de convecção e radiação (Teixeira et al., 2010).

## CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA APLICADA

Neste capítulo é apresentada e fundamentada a metodologia aplicada no presente trabalho, levando sempre em consideração o principal objetivo de investigação. Portanto, esta secção tem como objetivo descrever e documentar a metodologia utilizada no estudo. O método de investigação utilizado no presente trabalho compreendeu uma análise exaustiva com recurso à Estatística Aplicada dos dados obtidos por avaliação subjetiva da percepção dos trabalhos relativamente ao Ambiente Térmico no período de laboração (compreendendo os três turnos). Perante os resultados, foram testadas com recuso a um modelo de simulação da resposta Humana várias hipóteses de operação que minimizassem ou mitigassem o efeito do Ambiente Térmico na performance dos trabalhadores. A abordagem adotada neste trabalho foi uma abordagem experimental em que são testadas diferentes hipóteses estabelecidas de acordo com os critérios de operação (Gestão Industrial) da Empresa em estudo. Foi, portanto efetuada uma análise dos resultados específicos da experimentação (Tereso & Costa, 2014). No presente trabalho, pretende-se estudar a resposta humana não em termos pontuais, mas contextualizada à realidade da operação considerando que o trabalhador não está afeto apenas a um local. Foram definidas as seguintes etapas gerais identificadas na Figura 3.1.

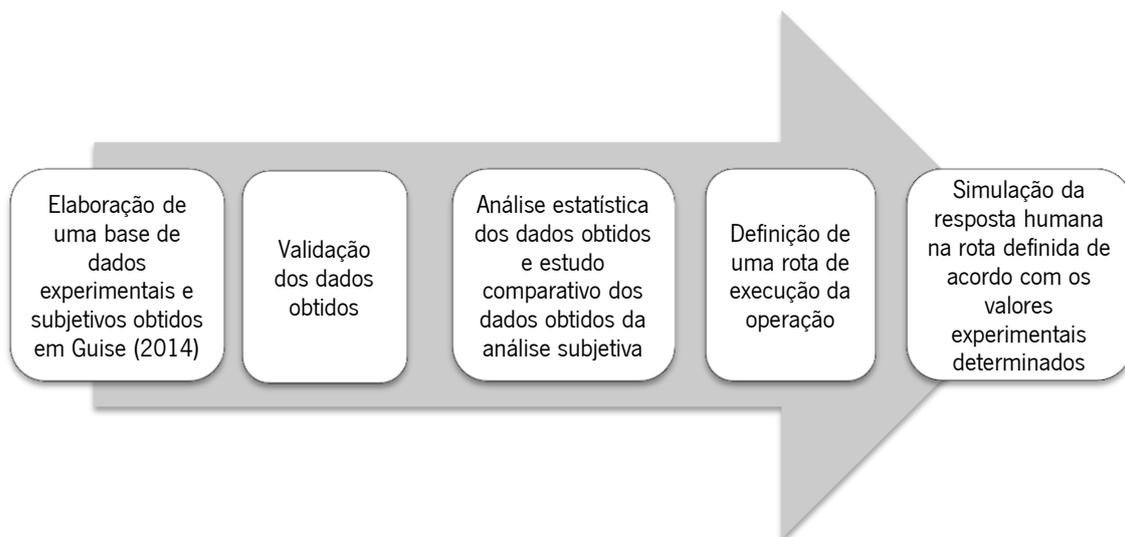


Figura 3.1. Etapas da metodologia de trabalho

### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE TÉRMICO EM ESTUDO

Para o estudo da avaliação do ambiente térmico proposto no presente trabalho foram utilizados os dados experimentais obtidos por Guise (2014), numa indústria que foram recolhidos em contexto industrial, na empresa Continental – ITA. Na planta industrial têxtil foi escolhido uma secção em específico para o estudo do ambiente térmico e o setor de torcedura foi o escolhido para esta avaliação. De acordo com Guise (2014), foi selecionada esta área para estudar o ambiente térmico devido a diversos fatores, tais como, o processo produtivo, a experiência do técnico de segurança da empresa. Relativamente ao processo produtivo destaca-se o calor radiante produzido pelos equipamentos presentes nas máquinas e a existência de uma influência da temperatura exterior nas condições do ambiente de trabalho e a experiência em campo da Técnica Superior de Segurança do Trabalho.

Neste sentido salienta-se que os dados foram recolhidos na secção de torcedura que é responsável pela torção de fios, para obtenção de corda com características melhoradas. Nesta área há 18 torcedores ICBT, 4 torcedores Volkmann e 3 bobinadeiras (Ver layout no ANEXO C).

De seguida e de acordo com o processo produtivo executado pela Empresa procede-se a uma breve descrição do processo. As bobinas de fios são fornecidas em paletes pelos fornecedores externos e transportadas para uma área mais próxima dos torcedores, para facilitar o abastecimento das máquinas. As bobinas passam pelo processo de enrolamento para se obter a dimensão apropriada de modo que podem ser usados nos torcedores. As bobinas com novas dimensões são utilizadas para abastecer os torcedores em carros com capacidade para 72 unidades de bobinas, 36 em cada lado do carro. Estes carros são colocados em um armazenamento intermediário para posteriormente transportada para o processo de tecelagem. Através da Figura 3.2 pode ver as paletes com bobinas de fios, os carros com as bobinas e o torcedor ICBT, respetivamente.



Figura 3.2. a) Paletes com bobinas de fios; b) Carro com bobinas de cabo; c) Torcedor ICBT.

De acordo com Guise (2014) foram definidos 29 pontos para a medição dos parâmetros ambientais e foram definidas três níveis para a medição: no nível do tornozelo (0,10 m), no nível do abdómen (1,10 m) e no nível da cabeça (1,70 m), em relação ao nível do solo (ISO 7726, 1998).

O metabolismo foi calculado por Guise (2014) de acordo com as indicações existente na norma internacional ISO 8996 (2004).

A determinação do valor de metabolismo requer o conhecimento das atividades que o trabalhador executa. Portanto, foi necessário descrever as atividades em detalhe para se perceber com maior exatidão a classe da taxa metabólica que o trabalhador está envolvido.

O valor do metabolismo servirá para o cálculo dos índices PMV, PPD e WBGT e para o programa do corpo humano. Neste trabalho procedeu-se novamente ao cálculo da taxa metabólica nos 29 pontos tendo em conta o tipo de atividade e o tempo que o trabalhador demora em fazer a determinada tarefa em cada um dos pontos identificados no layout da fábrica. Este cálculo foi efetuado novamente devido à necessidade de ajustar os valores obtidos ao processo produtivo em curso (eventualmente diferente do obtido por Guise (2014)).

Para isso foram utilizadas as recomendações da norma ISO 8996 (2004) para o cálculo da taxa metabólica média ponderada no tempo para um ciclo de trabalho utilizando a Equação 3.1.

$$M = \frac{1}{T_d} \sum_{i=1}^n (M_i + M_{basal})t_i \quad (3.1)$$

Onde,

$M$  é a taxa metabólica ponderada para o ciclo de trabalho, em  $W/m^2$ ;

$T_d$  é a duração de um ciclo de trabalho e é igual à soma das durações  $t_i$ , em minutos;

$M_i$  é a taxa metabólica para a atividade  $i$ , em  $W/m^2$ ;

$M_{basal}$  é o metabolismo basal;

$t_i$  é a duração de atividade  $i$ , em minutos.

Estão aqui descritas as atividades sendo um fator relevante para o cálculo da taxa metabólica na secção da torcedura. Estas atividades havendo sido descritas em Guise (2014) foram igualmente

alvo de verificação por observação direta *in loco* no presente trabalho. Assim confirma-se a existência de 9 tarefas essenciais:

1ª Tarefa – Descer as esquinadeiras fixas, trocar as bobinas das esquinadeiras de sítio e recolher os tubos vazios.

2ª Tarefa – Colocar uma bobina nova nas esquinadeiras fixas

3ª Tarefa – Ligar os fios das bobinas das esquinadeiras fixas e subi-las

4ª Tarefa – Retirar o tubo vazio da parte de baixo do torcedor

5ª Tarefa – Colocar uma bobina nova na parte de baixo do torcedor

6ª Tarefa – Retirar bobina de fio torcido

7ª Tarefa – Colocar um tubo vazio e fazer ligação dos fios para serem torcidos novamente

8ª Tarefa – Descarregar a máquina (passar as bobinas do torcedor para a esquinadeira)

9ª Tarefa – Empurrar o carro esquinadeira com as bobinas para carregar o torcedor

10ª Tarefa – Verificações

Através da descrição das atividades e dos valores de referência do metabolismo, procedeu-se pelo método de observação ao cálculo do valor de metabolismo para cada uma das actividades (Tabela 3.1).

Tabela 3.1. Valor da taxa metabólica para cada atividade

Tarefas	Atividades	Taxa Metabólica (W/m <sup>2</sup> )	
1	o Sem carga a 4 km/h	165	255
	o Com um braço ligeiro	90	
2	o Trabalho de pé	15	260
	o Com o corpo médio	245	
3	o Trabalho de pé	15	260
	o Com o corpo médio	245	
4	o Debruçado	20	110
	o Com um braço ligeiro	90	
5	o Debruçado	20	160
	o Com dois braços médio	140	
6	o De pé	15	135
	o Com dois braços ligeiro	120	
7	o De pé	15	135
	o Com dois braços ligeiro	120	
8	o De pé, parado	20	265
	o Com o corpo pesado	245	
9	o Com carga de 10 kg a 4 km/h	185	365
	o Com o corpo ligeiro	180	
10	o Sem carga a 2 km/h	110	110
	o Não trabalha com os braços	0	

Na Tabela 3.2, Tabela 3.3 e Tabela 3.4 apresentam-se os valores para o cálculo de metabolismo proposto pela norma ISO 8996 (2004). São valores de referência a usar na caracterização de atividades das situações médias de trabalho, através do método de observação. De acordo com a norma ISO 8996 (2004), estes valores de referência são baseados num indivíduo “médio”.

As características de um indivíduo “médio” são os seguintes:

- Um homem de 30 anos pesando 70 kg e 1,75 m de altura (área de superfície corporal de 1,8 m<sup>2</sup>);
- Uma mulher de 30 anos pesando 60 kg e 1,70 m de altura. (área de superfície corporal de 1,6 m<sup>2</sup>).

Tabela 3.2. Taxa Metabólica para o segmento do corpo envolvido (em W/m<sup>2</sup>)

Segmento Corporal		Intensidade de Trabalho		
		Leve	Médio	Pesado
Ambas as mãos	Valor Médio	70	85	95
	Intervalo	<75	75 a 90	>90
Um dos braços	Valor Médio	90	110	130
	Intervalo	<100	100 a 120	>120
Ambos os braços	Valor Médio	120	140	160
	Intervalo	<130	130 a 150	>150
Com o corpo	Valor Médio	180	245	335
	Intervalo	<210	210 a 285	>285

Tabela 3.3. Taxa Metabólica para a postura do corpo

Postura corporal	Taxas Metabólicas (W/m <sup>2</sup> )
Sentado	0
Ajoelhado	10
Agachado	10
De pé	15
De pé inclinado	20

Tabela 3.4. Taxa Metabólica para atividades específicas

Atividade	Taxas Metabólicas (W/m <sup>2</sup> )
Adormecido	40
Reclinado	45
Em repouso, sentado	55
Em repouso, de pé	70
Andar sobre o nível do solo	
Sem carga a 2 km/h	110
3 km/h	140
4 km/h	165
5 km/h	200
Com carga de 10 kg a 4 km/h	185
30 kg a 4 km/h	250

### 3.2 ÍNDICES PMV/PPD E WBGT

Os Índices de PMV, PPD e WBGT foram novamente calculados com recurso à folha de cálculo de Malchaire, Genhardt e Piette (1999) para cada um dos pontos, nos três níveis medidos no respetivo turno de trabalho. As variáveis de entrada foram os parâmetros ambientais (temperatura do ar, temperatura de globo, humidade relativa e velocidade do ar) e parâmetros individuais (metabolismo e isolamento do vestuário). Foram utilizados os dados experimentais obtidos por Guise (2014) e acrescentados os dados validados do presente trabalho (metabolismo). Reforço apenas que no presente trabalho foram determinados os índices por ponto e por nível de medição. Para além destes três índices este modelo analisa também o índice da sobrecarga térmica prevista (PHS - Predicted Heat Strain) para avaliar e interpretar o stress térmico a que um indivíduo poderá estar submetido num determinado ambiente (ver Figura 3.3).

Universit� catholique de Louvain Unit� Hygi�ne et Physiologie du travail			
Prof. J. Malchaire			
C�culo dos �ndices PMV-PPD, WBGT e P.H.S. a partir de Ta, Tg ou Tr, HR%, Va et M			
	Trabalho		Descanso
Temperatura do ar	Ta	23,0	�C 20,0
Velocidade do ar	Va	0,2	m/s 0,1
Temperatura de globo	Tg	24,0	�C 21,0
Humidade relativa	HR	45	% 60
Metabolismo	M	290	W 149
Isolamento do vestuário	Icl	0,5	clo 1,2
Temp. méd. Radia.	Tmr	24,9	�C 21,6
Pressão parc. vap. �gua	Pa	1,26	kPa 1,40
Interpreta�o com base PMV-PPD			
	PMV	1,45	- 0,47
	PPD	48	% 10
		Calor	Confortável
Interpreta�o com base no WBGT			
Temperatura de Bolbo Húmido Natural	Thn	16,2	�C 15,9
	WBGT	18,6	- 17,4
	WBGT lim	25,4	- 28,8
	WBGT Action	21,6	- 25,7
Dura�es Trabalho - Descansos aconselhados		60	min 0
Dura�es Trabalho - Descansos limites		60	min 0
Interpreta�o com base em ISO7933: PHS			
Débito sudoral		260	g/h
Perda total de água		2020	g
� recomendado de beber 200 ml de água � 10 �C cada		45	min
Temperatura central após 8 horas		37,5	�C
Perda hídrica máxima não ultrapassada			
Temperatura central máxima não ultrapassada			
Condi�o climática de categoria		1	
<b>Conforto: sem risco para a saúde</b>			

TESTE	
75 kg	PMV = 4.63
180 cm	Thn = 26.8
ACC = 100	WBGT = 30.8
Ta = 40	Lim = 25.4
Tg = 40	Act = 21.6
Va = 0.3	
HR = 34	
Tmr = 40	798 g/H
HR = 34	6202 g
Pa = 2.51	15 min
M = 291	37.5 �C
Icl = 0.5	296 min

Condi�es:	AZERTY
Peso (Kg)	75
Altura (cm)	180
Aclima�a�o N�o=0, Sim=1	1
Superfície corpo (m�)	1,94

Esta versão do programa têm em conta as modifica es introduzidas pela ACGIH na versão 2008 do documento TLV

Figura 3.3. Exemplo de uma folha Excel do Professor Malchaire

Este modelo permite obter o período de tempo em que o trabalhador pode estar exposto a determinado ambiente e duração de descansos aconselhados. Para a interpretação do índice WBGT, o modelo permite obter três valores do índice WBGT: (1) o valor do WBGT limite indica que os trabalhadores climatizados podem ser repetidamente expostos a este ambiente sem efeitos adversos para a sua saúde; (2) o valor do WBGT de ação é um valor de proteção para os trabalhadores não aclimatizados e representa a condição para que deve tomar medidas para combater o stress por calor; (3) o valor WBGT que é comparado com os valores do WBGT limite e WBGT de ação, assim pode saber quais medidas deve tomar mediante a situação.

### **3.3 AVALIAÇÃO SUBJETIVA**

Os dados provenientes da avaliação subjetiva foram obtidos da aplicação do questionário de sensação Térmica (ANEXO D) (TSQ questionnaire) recolhidos por Guise (2014). No trabalho de Guise (2014) encontra-se a fase de desenvolvimento e validação do questionário de sensação térmica.

### **3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS**

A estatística descritiva foi utilizada para organizar, resumir e apresentar os dados. A Análise descritiva univariada consiste em descrever a distribuição de uma única variável, recorrendo a medida de localização central (média, mediana e moda) e medida de dispersão, nomeadamente variância, desvio padrão, máximo e mínimo.

Na análise estatística multivariada foram utilizados vários procedimentos. Foi utilizada a caixa de bigodes que por sua vez serve para representar a mediana, a dispersão inter-quartil dos dados, as observações mínimas e máximas e os outliers. Pode ser analisada por grupo de variáveis, bem como variável a variável. Neste projeto foi utilizado como finalidade de identificar a diferença do índice PMV nos diferentes turnos, do índice WBGT nos diferentes turnos e diferença de PPD nos diferentes turnos.

A fim de identificar quais os testes estatísticos poderiam ser realizados foi verificada a normalidade dos parâmetros físicos ambientais nos diferentes turnos. Foi utilizado o método de Kolmogorov-Smirnov, com grau de confiança de 95%.

Hipóteses a testar:

- $H_0$ : Os parâmetros ambientais nos três turnos seguem uma distribuição normal
- $H_a$ : Os parâmetros ambientais nos três turnos não seguem uma distribuição normal

O teste não paramétrico simples (Kruskal-Wallis) foi utilizado para verificar as diferenças significativas das médias dos parâmetros físicos ambientais nos diferentes turnos, pois os dados dos parâmetros físicos ambientais não apresentam distribuição normal e não puderam ser transformados.

Hipóteses a testar:

- $H_0$ : Não existe variação das médias dos parâmetros ambientais entre os turnos
- $H_a$ : Existe variação das médias dos parâmetros ambientais em pelo menos um dos turnos

Tem-se a seguinte regra de decisão:

- Se  $p\text{-value} < \alpha$  rejeita-se a  $H_0$
- Se  $p\text{-value} \geq \alpha$  não se rejeita a  $H_0$

Para identificar onde existem diferenças significativas das médias dos parâmetros físicos ambientais nos diferentes turnos foi efetuada uma análise de comparações múltiplas das médias (LSD - Least-significant difference).

### 3.5 SIMULAÇÃO DE CORPO HUMANO

Foi utilizado o software de simulação de corpo humano de forma a poder comparar os resultados experimentais com os dados simulados. Este modelo foi escrito em Fortran e é executado em Microsoft Visual Studio.

Este software pode simular o comportamento térmico do corpo humano a um ambiente com pressão constante, humidade e temperatura. O principal objetivo foi simular a resposta humana a diferentes condições, utilizando como entradas os parâmetros ambientais e individuais referidas anteriormente.

### 3.5.1 EQUAÇÃO DO BALANÇO TÉRMICO

Para cada parte do corpo (1 - 16) e para cada camada (núcleo, músculo e pele) foram consideradas equações de balanço térmico (Teixeira et al., 2010).

A equação do balanço térmico da primeira camada do corpo humano designado de núcleo é:

$$\frac{dT_{1i}}{dt} = \underbrace{\frac{\dot{C}_{1i}}{C_{1i}} * (T_{11} - T_{1i})}_{1^{\circ} \text{ Termo}} + \underbrace{\frac{K_{1i}}{C_{1i}} * (T_{2i} - T_{1i})}_{2^{\circ} \text{ termo}} + \underbrace{\frac{\dot{H}_{M_{1i}}}{C_{1i}}}_{3^{\circ} \text{ termo}} \quad (3.2)$$

Onde **i** representa as partes 2 a 16 do corpo, **K** é o coeficiente de transferência de calor por condução. O primeiro termo da equação representa a troca de calor entre o sistema coração-pulmões e o núcleo das partes **i** do corpo humano. O segundo termo representa a troca de calor por condução entre o músculo e o núcleo. O último termo representa o calor metabólico produzido no núcleo de cada parte **i** do corpo.

A equação do balanço térmico da segunda camada do corpo humano designado de músculo é:

$$\begin{aligned} \frac{dT_{2i}}{dt} = & \underbrace{\frac{\dot{C}_{2i}}{C_{2i}} * (T_{11} - T_{2i})}_{1^{\circ} \text{ Termo}} + \underbrace{\frac{K_{1i}}{C_{2i}} * ((T_{1i} - T_{2i}))}_{2^{\circ} \text{ Termo}} + \underbrace{\frac{K_{2i}}{C_{2i}} * (T_{3i} - T_{2i})}_{3^{\circ} \text{ Termo}} \\ & + \underbrace{\frac{\dot{H}_{M_{2i}}}{C_{2i}}}_{4^{\circ} \text{ Termo}} - \underbrace{\frac{\dot{C}_{S_{2i}}}{C_{2i}} * T_{2i}}_{5^{\circ} \text{ Termo}} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Onde  $\dot{C}$  é a capacidade da taxa de fluxo de calor e o índice **S** é o suor. O primeiro termo representa a troca de calor entre o sistema coração-pulmões e o músculo das partes **i** do corpo. O segundo termo corresponde à transferência de calor por condução entre as duas camadas, núcleo (1i) e músculo (2i). Também no terceiro termo ocorre a transferência de calor por condução, mas entre a pele (3i) e o músculo (2i). O quarto termo representa o calor metabólico produzido na camada do músculo da parte **i** do corpo. O último termo é o calor perdido pelo suor que é assumido para ser produzida na camada de músculo.

A equação do balanço térmico para a terceira camada do corpo humano, pele, quando cada parte do corpo está nu é:

$$\begin{aligned} \frac{dT_{3i}}{dt} = & \underbrace{\frac{K_{2i}}{C_{3i}} * (T_{2i} - T_{3i})}_{1^{\circ} \text{ Termo}} + \underbrace{\frac{K_{rad,i}}{C_{3i}} * (T_r - T_{3i})}_{2^{\circ} \text{ Termo}} + \underbrace{\frac{K_{conv,i}}{C_{3i}} * (T_a - T_{3i})}_{3^{\circ} \text{ Termo}} \\ & + \underbrace{\frac{\dot{C}_{S_{2i}}}{C_{3i}} * T_{2i}}_{4^{\circ} \text{ Termo}} - \underbrace{\frac{\dot{C}_{S_{3i}}}{C_{3i}} * T_{3i}}_{5^{\circ} \text{ Termo}} - \underbrace{\frac{\dot{m}_{g_{3i}} \Delta h}{C_{3i}}}_{6^{\circ} \text{ Termo}} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Onde  $\dot{m}$  é a taxa de fluxo de massa,  $\Delta h$  é a entalpia de vaporização por unidade de massa e o índice  $g$  significa vapor de água. Estes termos representam a transferência de calor por condução (K) entre a pele (3i) e o músculo (2i); por radiação (rad), entre a pele e o meio ambiente e por convecção (conv) entre a pele e o meio ambiente, respetivamente; pelo suor produzido na camada de músculo e passando a camada de pele, respetivamente, e, por fim, pela evaporação que ocorre na superfície da pele.

A equação do balanço térmico para a terceira camada do corpo humano, pele, para cada parte do corpo coberto é:

$$\begin{aligned} \frac{dT_{3i}}{dt} = & \underbrace{\frac{K_{23i}}{C_{3i}} * (T_{2i} - T_{3i})}_{1^{\circ} \text{ Termo}} + \underbrace{\frac{K_{34i}}{C_{3i}} * (T_{4i} - T_{3i})}_{2^{\circ} \text{ Termo}} + \underbrace{\frac{\dot{C}_{S_{2i}}}{C_{3i}} * T_{2i}}_{3^{\circ} \text{ Termo}} - \underbrace{\frac{\dot{C}_{S_{3i}}}{C_{3i}} * T_{3i}}_{4^{\circ} \text{ Termo}} \\ & - \underbrace{\frac{\dot{m}_{g_{34}} \Delta h}{C_{3i}}}_{5^{\circ} \text{ Termo}} - \underbrace{\frac{\dot{C}_{L_{34}}}{C_{3i}} * T_{3i}}_{6^{\circ} \text{ Termo}} \end{aligned} \quad (3.5)$$

Onde o primeiro termo representa a transferência de calor por condução entre a camada da pele (3i) e a camada de músculo (2i). O segundo termo corresponde à condução entre a camada da pele e a primeira camada de roupa em cada parte  $i$  do corpo coberto. No terceiro e quarto termos correspondem à transferência de calor pelo suor produzido na camada de músculo e depois passando a camada de pele, respetivamente. Por fim, os dois últimos termos representam a transferência de calor por vapor de água (g) e transferência de massa líquida (L) para a primeira camada de roupa.

As equações descritas acima (Equações 3.2 a 3.5) são resolvidas numericamente usando o método de Runge-Kutta-Merson, bem como uma equação da parte 1 (coração-pulmões), 50 equações das dez partes cobertas para as cinco camadas (núcleo, músculo, pele coberta, camada interna da roupa e última camada da roupa), 15 equações das cinco partes nuas para as três camadas (núcleo, músculo, pele nu) e as 20 equações de vapor de água (dez partes

cobertas para as duas camadas de roupa). Este método foi escolhido pela sua simplicidade e robustez na resolução deste tipo de equações diferenciais. Como este método resolve as equações passo a passo, os valores iniciais de temperatura em todas as partes do corpo e as camadas (núcleo, músculo, pele e tecido) e a concentração de vapor de água com as camadas de tecido, em todas as partes do corpo cobertas são dados e podem ser modificados pelo utilizador. Na Tabela 3.5 estão apresentados os valores de temperatura iniciais de cada parte do corpo nas três camadas.

Tabela 3.5. Temperatura inicial em cada parte do corpo nas três camadas.

Parte	Núcleo (°C)	Músculo (°C)	Pele (°C)	Parte	Núcleo (°C)	Músculo (°C)	Pele (°C)
<b>2</b>	36,89	36,28	33,62	<b>10</b>	35,81	35,30	34,10
<b>3</b>	36,89	36,28	33,62	<b>11</b>	35,81	35,30	34,10
<b>4</b>	35,53	34,12	33,25	<b>12</b>	35,81	35,30	34,10
<b>5</b>	35,53	34,12	33,25	<b>13</b>	35,81	35,30	34,10
<b>6</b>	35,53	34,12	33,25	<b>14</b>	35,14	35,03	35,04
<b>7</b>	35,53	34,12	33,25	<b>15</b>	35,14	35,03	35,04
<b>8</b>	35,41	35,38	35,22	<b>16</b>	36,96	35,07	34,58
<b>9</b>	35,41	35,38	35,22				

O principal objetivo do programa é estimar a temperatura e a concentração de vapor de água, em função do tempo, nas diferentes partes do corpo e para diferentes ambientes térmicos testados.

### 3.5.2 CONDIÇÕES DE SIMULAÇÃO

O principal objetivo na modelação térmica foi testar a sensibilidade do modelo a mudanças nas variáveis ambientais e pessoais que foram utilizadas como entrada e perceber as alterações ocorridas no corpo humano durante a realização da sua tarefa. Isto é, o objetivo passa por simular a resposta humana a diferentes condições do ambiente térmico, incluindo os parâmetros ambientais, o isolamento do vestuário e a taxa metabólica predeterminada.

Uma vez que há uma diversidade de tarefas a realizar nos torcedores, foi considerada uma média da taxa metabólica do trabalhador para os pontos 11, 12 e 13, o mesmo não se fez com os parâmetros ambientais, uma vez que as condições ambientais são diferentes, por exemplo,

entre os torcedores (mais ou menos no centro) as condições térmicas tendem a elevar-se em relação às condições na extremidade dos torcedores. Foi definido um ciclo de trabalho que o trabalhador faz várias vezes ao dia. As paletes com as bobinas estão armazenadas no corredor onde estão identificados os pontos 27, 28 e 29. Portanto vai dar início à simulação no ponto 28, onde o trabalhador pega na paleta e transporta-o para o ponto 11 e começa a abastecer as máquinas, realizando as tarefas 1 a 7, descritas na Sessão 3.1, até ao ponto 13. Posto isto, faz o caminho contrário, passando pelos pontos 12 e 11 até o ponto 28, onde deixa a paleta vazia e ou com os tubos vazios e sucatas.

Partindo do ponto 28, vai buscar o carro esquinadeira no ponto 1, para levar ao ponto 11, passando pelo ponto 29. Chegando ao ponto 11 vai descarregar a máquina, isto é, passa as bobinas do torcedor para a esquinadeira e empurra o carro esquinadeira com as bobinas até ao ponto 1. E volta ao ponto 28 e repete o mesmo processo para todos os torcedores.

Na Figura 3.4 está representado o percurso feito pelo trabalhador durante o ciclo de trabalho.

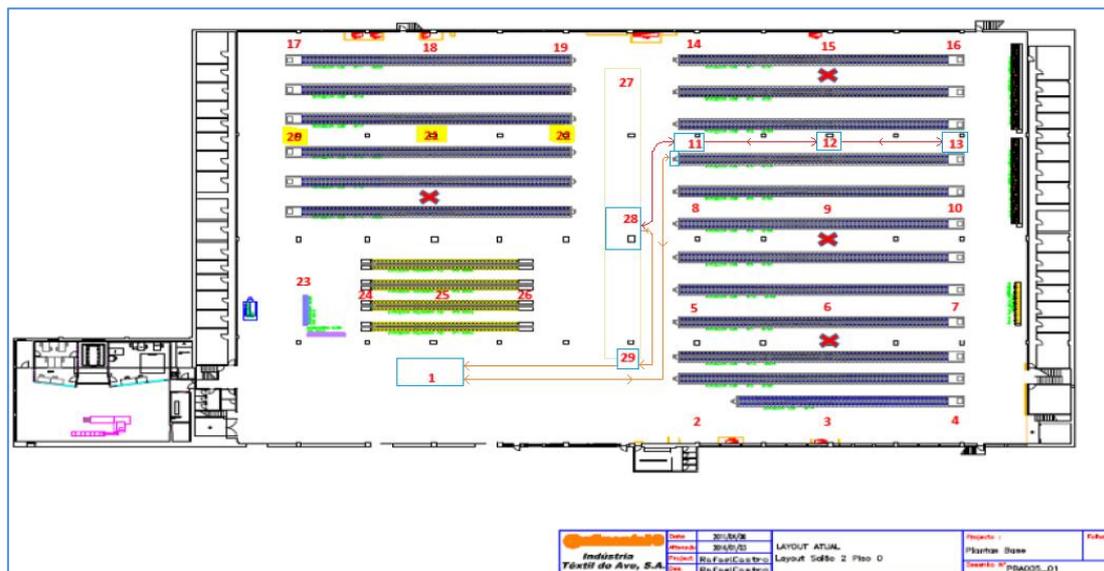


Figura 3.4. Trajetória a Simular

Durante a simulação do corpo humano foram consideradas algumas partes do corpo nu e outras partes cobertas com roupas. A parte da cabeça foi considerada nua. Também foram consideradas nuas mais quatro partes do corpo humano, o antebraço esquerdo, o antebraço direito, a mão esquerda e a mão direita. Para as restantes partes, o corpo foi considerado coberto.



## CAPÍTULO 4 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo procedeu-se a apresentação e análise dos resultados obtidos. Serão analisados os resultados da parte experimental e da parte de simulação, depois é feita uma comparação dos resultados das duas partes. Este capítulo está dividido em seis subcapítulos. No primeiro subcapítulo são apresentados os resultados do questionário de sensação térmica dirigidos aos trabalhadores da secção de torcedura. Em seguida foi feita uma descrição dos parâmetros físicos do ambiente térmico para os três períodos que foram feitos as medições. Posto isto é feito o cálculo do metabolismo. No quarto subcapítulo é feita uma análise dos resultados dos índices PMV, PPD e WBGT, utilizando a caixa de bigodes. No quinto subcapítulo é efetuada uma comparação das médias dos parâmetros físicos do ambiente térmico nos diferentes turnos através da análise multivariada. Por fim, é apresentada a simulação do corpo humano durante um determinado percurso com diferentes condições ambientais.

Os dados foram tratados e analisados utilizando o software IBM SPSS Statistics (Statistic Package for the Social Sciences), versão 22, com o auxílio do software Microsoft Excel.

### 4.1 RESULTADO SUBJETIVO (QUESTIONÁRIO)

O questionário de sensação térmica realizado por Guise (2014) teve como população alvo os trabalhadores da área em estudo, nos quais das respostas obtidas 43 eram do sexo masculino e 4 do sexo feminino. A Tabela 4.1 apresenta um resumo das características dos trabalhadores.

Tabela 4.1. Caracterização dos Trabalhadores

Características dos Trabalhadores	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Idade (anos)	19	60	33,5	11,78
Altura (m)	1,53	1,93	1,7	0,07
Peso (Kg)	50	100	75,5	10,93
Tempo de Serviço (anos)	1	37	8,8	9,72

De acordo com os resultados obtidos por Guise (2014), conclui-se que em relação à sensação térmica, o turno em que os trabalhadores se sentiam os efeitos do ambiente térmico, cerca de

78,72% dos inquiridos, foi o turno das 14h00 às 22h00. Cerca de 90% dos trabalhadores responderam que no verão sentem mais o efeito do ambiente térmico em relação às outras estações do ano. Também se observa que cerca de 50% dos trabalhadores estavam a sentir-se um pouco quente e 40% se sentiam quente no seu local de trabalho. Aproximadamente 46,8% dos trabalhadores se sentiam confortáveis no seu posto de trabalho, um grupo prefere se sentir mais frio, aproximadamente 51% dos trabalhadores, e outros não preferem a mudança no ambiente térmico (cerca de 49% dos trabalhadores). Todos os trabalhadores da secção de torcedura sentem a necessidade de beber água potável durante o turno.

Para determinar o valor de isolamento térmico (Icl) que posteriormente foi utilizado para o cálculo dos índices PMV, PPD e WBGT e para a simulação do corpo humano, foram tratadas as respostas de pergunta 13 do questionário de sensação térmica (ANEXO D). Os resultados mostram que todos os trabalhadores usam meias e sapatos de sola grossa. Quase todos os trabalhadores usam mais a t-shirt e alguns usam a colete por cima. De um modo geral, os trabalhadores usam as seguintes peças de roupa: boxers, t-shirts, calça, meias e sapatos. Assim de acordo com a tabela de referência sobre o isolamento térmico (ANEXO E) o valor de isolamento térmico foi de 0,51 clo.

## 4.2 PARÂMETROS AMBIENTAIS

Na Tabela 4.2 está apresentada uma descrição dos parâmetros ambientais no turno da manhã na secção de torcedura. Durante o turno, a média da temperatura do ar e da temperatura de globo foi de 27,47°C e 27,66°C, com um desvio padrão de 2,53 e 2,81, respetivamente. A temperatura do ar apresenta um valor máximo e mínimo de, 33,50°C e 21,50°C, respetivamente. Para a temperatura de globo o valor máximo foi de 34,50°C e mínimo de 21,00°C. O valor médio da velocidade do ar foi de 0,12 m/s, com um desvio padrão de 0,11 m/s e varia entre 0,00 m/s e 0,40 m/s. A humidade relativa teve um valor médio de 35,60%, com um desvio padrão de 8,40 e apresenta um valor máximo e mínimo de, 52,00% e 18,50%, respetivamente.

Tabela 4.2. Estatística Descritiva dos Parâmetros Ambientais no Turno das 06h00-14h00

	Média	Máximo	Mínimo	Desvio padrão
Temperatura do ar (°C)	27,47	33,50	21,50	2,53
Velocidade do ar (m/s)	0,12	0,40	0,00	0,11
Humidade relativa (%)	35,60	52,00	18,50	8,40
Temperatura de globo (°C)	27,66	34,50	21,00	2,81

Na Tabela 4.3 está apresentada uma descrição dos parâmetros ambientais no turno da tarde na secção de torcedura.

Durante o turno das 14h00 às 22h00, a média da temperatura do ar e da temperatura de globo foi igual, com um valor de 28,98°C, mas com desvio padrão diferente de 1,69 e 2,05, respetivamente. A temperatura do ar apresenta um valor máximo e mínimo de, 31,50°C e 25,50°C, respetivamente. Para a temperatura de globo o valor máximo foi de 32,00°C e mínimo de 25,00°C. O valor médio da velocidade do ar foi de 0,16 m/s, com um desvio padrão de 0,14 m/s e varia entre 0,00 m/s e 0,50 m/s. A humidade relativa teve um valor médio de 32,25%, com um desvio padrão de 8,99 e apresenta um valor máximo e mínimo de, 48,00% e 19,50%, respetivamente.

Tabela 4.3. Estatística Descritiva dos Parâmetros Ambientais no Turno das 14h00-22h00

	Média	Máximo	Mínimo	Desvio padrão
Temperatura do ar (°C)	28,98	31,50	25,50	1,69
Velocidade do ar (m/s)	0,16	0,50	0,00	0,14
Humidade relativa (%)	32,25	48,00	19,50	8,99
Temperatura de globo (°C)	28,98	32,00	25,00	2,05

Na Tabela 4.4 está apresentada uma descrição dos parâmetros ambientais no turno da noite na secção de torcedura. Durante o turno das 22h00 às 06h00, a média da temperatura do ar e da temperatura de globo foi de 26,15°C e 26,19°C, com um desvio padrão de 2,14 e 2,30, respetivamente. A temperatura do ar apresenta um valor máximo e mínimo de, 30,50°C e 22,00°C, respetivamente. Para a temperatura de globo o valor máximo foi de 31,00°C e mínimo de 21,50°C. O valor médio da velocidade do ar foi de 0,10 m/s, com um desvio padrão de 0,06 m/s e varia entre 0,02 m/s e 0,31 m/s. A humidade relativa teve um valor médio de 28,33%, com um desvio padrão de 10,73 e apresenta um valor máximo e mínimo de, 47,00% e 14,80%, respetivamente.

Tabela 4.4. Estatística Descritiva dos Parâmetros Ambientais no Turno das 22h00-06h00

	Média	Máximo	Mínimo	Desvio padrão
Temperatura do ar (°C)	26,15	30,50	22,00	2,14
Velocidade do ar (m/s)	0,10	0,31	0,02	0,06
Humidade relativa (%)	28,33	47,00	14,80	10,73
Temperatura de globo (°C)	26,19	31,00	21,50	2,30

### 4.3 METABOLISMO

De acordo com a descrição das tarefas apresentadas na Secção 3.1 e da duração de cada uma das tarefas, procedeu-se ao cálculo do valor de metabolismo de cada tarefa e o valor ponderado de metabolismo durante um dia de trabalho. O tempo de trabalho foi considerado igual a 450 minutos.

Na Tabela 4.5 é apresentada a duração de cada tarefa ao fim do turno e o respetivo metabolismo.

Tabela 4.5. Metabolismo e Duração de cada Tarefa

Tarefas	Duração (Minutos)	Percentagem (%)	Metabolismo (W/m <sup>2</sup> )
1	69	15,33	300
2	70	15,56	305
3	65	14,44	305
4	33	7,33	155
5	44	9,78	205
6	44	9,78	180
7	66	14,67	180
8	26	5,78	310
9	11	2,44	410
10	22	4,89	155

Através da Equação 3.1 apresentada na Secção 3.1, calcula-se o valor global de metabolismo. O valor ponderado de metabolismo para um turno de trabalho (450 minutos) é igual a 248,42 W/m<sup>2</sup>. Para uma área de superfície corporal de 1,8 m<sup>2</sup>, faz-se  $M = 248,42 \times 1,8 = 447,16 \text{ Watts}$ .

#### 4.4 RESULTADOS DOS ÍNDICES

Através da utilização do modelo desenvolvido por professor J. Malchaire foram obtidos os valores dos índices PMV, PPD e WBGT para cada um dos pontos, nos três níveis medidos no respetivo turno de trabalho. As variáveis de entrada foram os parâmetros ambientais (temperatura do ar, temperatura de globo, humidade relativa e velocidade do ar) e parâmetros individuais (metabolismo e isolamento do vestuário). O isolamento do vestuário foi obtido através da aplicação do questionário de sensação térmica aos trabalhadores na secção de torcedura.

A Figura 4.1 mostra o resultado do índice PMV para os três turnos de trabalho. No turno das 06h00 às 14h00 (turno da manhã) o valor mínimo de PMV observado foi de 1,03 e o máximo de 4,72 e apresenta uma distribuição assimétrica negativa, dado que a mediana (3,67) está mais próxima do terceiro quartil (3,98). Isto significa que existe um maior número de valores de PMV elevada na amostra. Também se verifica através da altura da caixa de bigodes que no turno da manhã há uma maior variabilidade no comportamento do valor de PMV.

No turno das 14h00 às 22h00 (turno da tarde) o valor de PMV mínimo e máximo observado foi de 3,16 e 4,43, respetivamente. O turno da tarde apresenta a mediana correspondente ao valor de PMV mais elevado (3,945), isto é, 50% dos valores da amostra são mais elevados neste turno em relação aos outros turnos. No turno da manhã e da tarde não há outliers, isto significa que não há valores de PMV com comportamentos de valores muito diferentes dos restantes em cada turno.

No turno das 22h00 às 06h00 (turno da noite) o valor mínimo e máximo de PMV observado foi de 1,91 e 4,20, respetivamente, com a mediana de 3,29. No turno da noite verifica-se que existe outliers na parte inferior da caixa de bigodes, isto significa que existem valores de PMV muito diferentes dos restantes representados neste grupo. Devido à produção de calor radiante provenientes das máquinas e provavelmente entre os torcedores há pouca circulação de ar, o que faz com que o ar torna mais seco e temperatura mais elevadas. Do outro lado, nos locais mais perto da entrada há mais movimentação do ar e torna o ambiente mais fresco, por isso essas diferenças dos valores.

Conclui-se que no turno da tarde (14h00 - 22h00) os valores de PMV são mais elevados, enquanto para o turno das 06h00 às 14h00 os valores estão mais distribuídos, no entanto

atinge valores muito altos. O que significa que existe risco ao longo prazo, isto é, risco para a saúde após várias horas de exposição. Uma vez que as condições ambientais externas pode ter influência na variação dos valores ao longo desse turno.

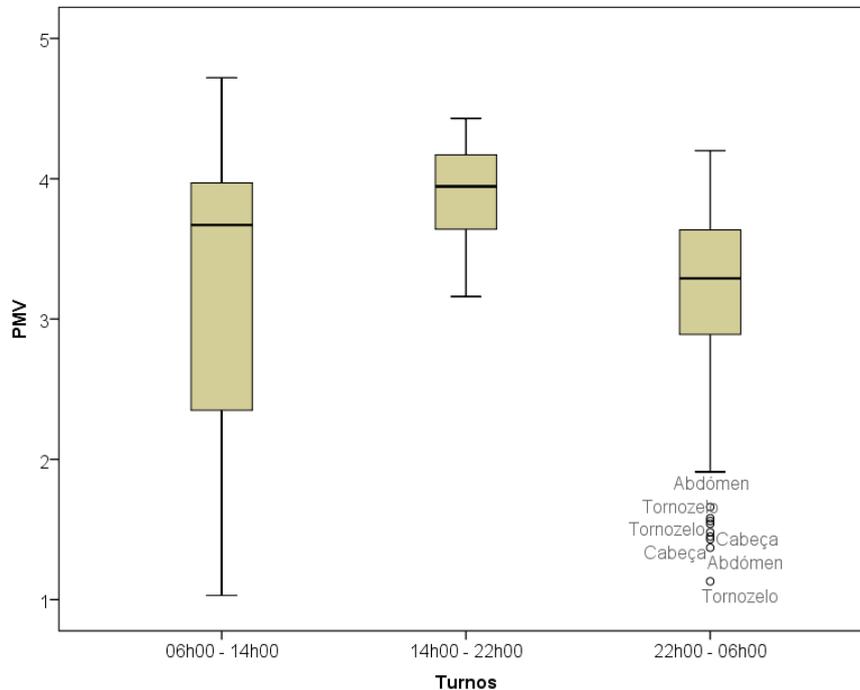


Figura 4.1. Caixa de bigodes para PMV

Em relação ao índice WBGT, existem algumas discrepâncias de valores no turno da tarde. No turno da manhã verifica-se que a parte da cabeça e abdómen estão mais expostas ao ambiente térmico. O mesmo se verifica no turno das 14h00 às 22h00, isto é, a cabeça e o abdómen continuam expostos às condições desfavoráveis. Em relação ao período das 22h00 às 06h00, nota-se que os valores de WBGT estão mais baixos, isto é, não há riscos de exposição nestas condições. Também através da tabela em ANEXO F, verifica-se que no turno da noite há uma proporção semelhante de cor verde e amarelo e nenhuma cor vermelho, isto significa que os valores de WBGT ponderado estão dentro do limite aceitável (ver Figura 4.2).

No turno das 06h00 às 14h00 (turno da manhã) o valor de WBGT mínimo e máximo observado na amostra foi de 18,30°C e 23,90°C, respetivamente, com uma distribuição assimétrica positiva (assimetria de 0,097), visto que a mediana (21°C) está mais próxima do primeiro quartil, isto significa que existe um maior número de valores de WBGT baixo na amostra. No turno da manhã e da tarde nota-se que existem outliers, isto é, existem valores de WBGT muito diferentes dos restantes representados em cada um dos grupos.

No turno das 14h00 às 22h00 (turno da tarde) o valor de WBGT mínimo e máximo observado na amostra foi de 20,20°C e 23,20°C, respetivamente. O turno da tarde apresenta a mediana correspondente ao valor de WBGT mais elevada (21,70°C) e segue uma distribuição assimétrica negativa, uma vez que a mediana está mais próxima do terceiro quartil. Isto significa que existe um maior número de valores de WBGT elevado na amostra.

No turno das 22h00 às 06h00 (turno da noite) o valor mínimo e máximo de WBGT observado na amostra foi de 14,90°C e 23,10°C, respetivamente e apresenta uma mediana inferior (18,90°C) em relação aos outros turnos. No turno da noite há uma maior variabilidade no comportamento do valor de WBGT (justificada pela altura da caixa de bigodes).

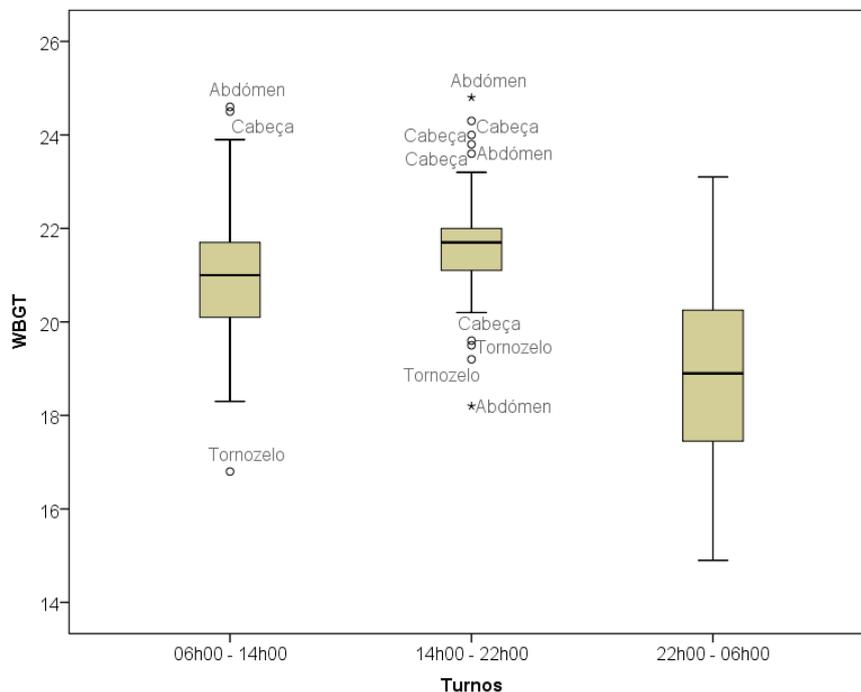


Figura 4.2. Caixa de bigodes para WBGT

Os resultados do valor de WBGT limite, WBGT de ação e WBGT ponderado obtidos por ponto e turno são apresentados em ANEXO F. A cor verde indica que o valor WBGT é inferior à WBGT de ação, a cor amarela já corresponde um valor de WBGT entre o WBGT de ação e WBGT limite e por último a cor vermelha indica que o WBGT é superior a WBGT limite. Os resultados indicam que as cores que aparecem mais vezes foram o amarelo e depois o verde. A cor vermelha aparece duas vezes no turno da manhã e uma vez no turno da tarde, isto significa que através da avaliação do WBGT existe risco, mas ao longo prazo, uma vez que estes resultados estão num nível aceitável.

Através da caixa de bigodes para o índice PPD, verifica-se que em todos os turnos os trabalhadores se sentiram desconfortáveis. No turno das 14h00 às 22h00 o valor de PPD mantém-se constante (100%) para todos os pontos medidos na secção de torcedura. Não há variabilidade para o índice de PPD, portando os trabalhadores estarão a realizar as suas tarefas em condições térmicas elevadas (ver Figura 4.3).

O valor de PPD no turno das 06h00 às 14h00 está entre os 77% e 100%. No turno das 22h00 às 06h00 o valor mínimo e máximo de PPD observado na amostra foi de 97% e 100%, respetivamente. Para o turno das 14h00 às 22h00 o valor de PPD foi constante (100%), isto é, não há variabilidade dos valores de PPD neste turno. No turno da manhã e da noite existem outliers, isto é, existem valores de PPD muito diferentes dos restantes representados em cada um dos grupos. Também se pode concluir que o turno da manhã e o turno da noite apresenta uma distribuição assimétrica negativa, visto que, neste caso, a mediana é igual ao terceiro quartil (100%). Isto significa que existe um maior número de valores de PPD elevados na amostra.

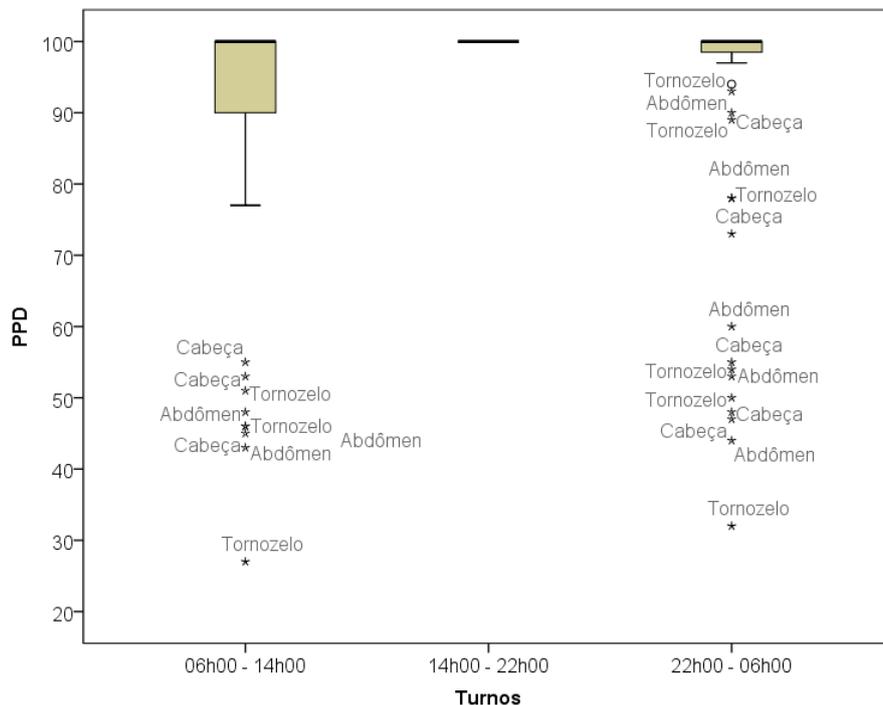


Figura 4.3. Caixa de bigodes para PPD

Pode se encontrar as estatísticas descritivas das variáveis acima referidas no ANEXO G.

## 4.5 ANÁLISE MULTIVARIADA

A normalidade dos dados foi testada para verificar a possibilidade de realizar o teste ONE-WAY ANOVA, que permite a comparações das médias. O teste de normalidade foi realizado conforme o método de Kolmogorov-Smirnov, com grau de confiança de 95%.

Na Tabela 4.6 observa que se rejeita a normalidade dos dados para a variável temperatura do ar e temperatura de globo no turno da tarde para nível de significância de 5%. Em relação à humidade relativa rejeita-se a normalidade dos dados para o turno da manhã e da noite. Verifica-se que a variável velocidade do ar rejeita-se a normalidade para os três turnos.

Tabela 4.6. Teste de Normalidade Kolmogorov-Smirnov

	Turnos	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>		
		Estatística	df	Sig.
Temperatura do ar (°C)	06h00 - 14h00	,088	57	,20*
	14h00 - 22h00	,181	30	,013
	22h00 - 06h00	,091	87	,070
Humidade relativa (%)	06h00 - 14h00	,121	57	,037
	14h00 - 22h00	,157	30	,059
	22h00 - 06h00	,244	87	,000
Velocidade do ar (m/s)	06h00 - 14h00	,143	57	,005
	14h00 - 22h00	,169	30	,028
	22h00 - 06h00	,132	87	,001
Temperatura de globo (°C)	06h00 - 14h00	,066	57	,20*
	14h00 - 22h00	,204	30	,003
	22h00 - 06h00	,084	87	,190

\*. Este é um limite inferior da significância verdadeira.

a. Correlação de Significância de Lilliefors

Uma vez que os dados não seguem uma distribuição normal, não foi necessário testar a homogeneidade de variância dos dados. Foi aplicado o teste não paramétrico simples (teste de Kruskal-Wallis) que permite verificar a diferença das médias dos parâmetros físicos ambientais nos três turnos.

Na Tabela 4.7 está representado o valor de estatística de teste, os graus de liberdade associados (df) e o p-value. Dado que o p-value é aproximadamente zero, rejeita-se a hipótese nula para qualquer nível de significância para os parâmetros temperatura do ar, temperatura de globo e humidade relativa nos três turnos. Conclui-se que as médias dos três turnos não são todos iguais, o que quer dizer que existe diferenças significativas na temperatura do ar, temperatura de

globo e umidade relativa dos três turnos. Em relação à velocidade do ar, o p-value foi de 0,425 que é superior ao nível de significância de 5%, logo não se rejeita a hipótese nula, isso significa que as médias dos três turnos não se diferem, o que quer dizer que não existe diferenças significativas na variável velocidade do ar nos três turnos.

Tabela 4.7. Teste de Kruskal-Wallis

<b>Estatísticas de teste<sup>a,b</sup></b>				
	Temperatura do ar (°C)	Umidade relativa (%)	Velocidade do ar (m/s)	Temperatura de globo (°C)
Qui-quadrado	33,685	18,802	1,710	28,518
df	2	2	2	2
Significância Sig.	,000	,000	,425	,000

a. Teste Kruskal Wallis

b. Variável de Agrupamento: Turnos

Foi feita uma análise de comparações múltiplas das médias para os parâmetros físicos do ambiente térmico onde existem diferenças significativas nos turnos (temperatura do ar, temperatura de globo e umidade relativa). Foi efetuado o teste LSD (Least-significant difference).

Através da Tabela 4.8 conclui-se que para o parâmetro temperatura do ar existem diferenças significativas para os três turnos, para o nível de significância de 5%. Tira-se a mesma conclusão com base no intervalo de confiança (IC), isto é, rejeita-se a hipótese nula se IC não conter o valor zero. Para a umidade relativa existem diferenças significativas apenas entre o turno das 06h00 às 14h00 e o turno das 22h00 às 06h00, porque apenas para esse turno o p-value é inferior ao nível de significância de 5%. Para a temperatura de globo existem diferenças significativas para os três turnos, para o nível de significância de 5%.

Tabela 4.8. Comparações múltiplas das médias nos diferentes turnos

Variável dependente	(I) Turnos	(J) Turnos	Diferença média (I-J)	Erro Padrão	Sig.	Intervalo de Confiança 95%	
						Limite inferior	Limite superior
Temperatura do ar (°C)	06h00 - 14h00	14h00 - 22h00	-1,50965*	,49901	,003	-2,4947	-,5246
		22h00 - 06h00	1,31966*	,37699	,001	,5755	2,0638
	14h00 - 22h00	06h00 - 14h00	1,50965*	,49901	,003	,5246	2,4947
		22h00 - 06h00	2,82931*	,46841	,000	1,9047	3,7539
	22h00 - 06h00	06h00 - 14h00	-1,31966*	,37699	,001	-2,0638	-,5755
		14h00 - 22h00	-2,82931*	,46841	,000	-3,7539	-1,9047
Humidade relativa (%)	06h00 - 14h00	14h00 - 22h00	3,34649	2,19536	,129	-,9870	7,6800
		22h00 - 06h00	7,26776*	1,65855	,000	3,9939	10,5416
	14h00 - 22h00	06h00 - 14h00	-3,34649	2,19536	,129	-7,6800	,9870
		22h00 - 06h00	3,92126	2,06071	,059	-,1464	7,9890
	22h00 - 06h00	06h00 - 14h00	-7,26776*	1,65855	,000	-10,5416	-3,9939
		14h00 - 22h00	-3,92126	2,06071	,059	-7,9890	,1464
Temperatura de globo (°C)	06h00 - 14h00	14h00 - 22h00	-1,32544*	,55020	,017	-2,4115	-,2394
		22h00 - 06h00	1,46824*	,41566	,001	,6477	2,2887
	14h00 - 22h00	06h00 - 14h00	1,32544*	,55020	,017	,2394	2,4115
		22h00 - 06h00	2,79368*	,51645	,000	1,7742	3,8131
	22h00 - 06h00	06h00 - 14h00	-1,46824*	,41566	,001	-2,2887	-,6477
		14h00 - 22h00	-2,79368*	,51645	,000	-3,8131	-1,7742

\*. A diferença média é significativa no nível 0.05.

## 4.6 SIMULAÇÃO

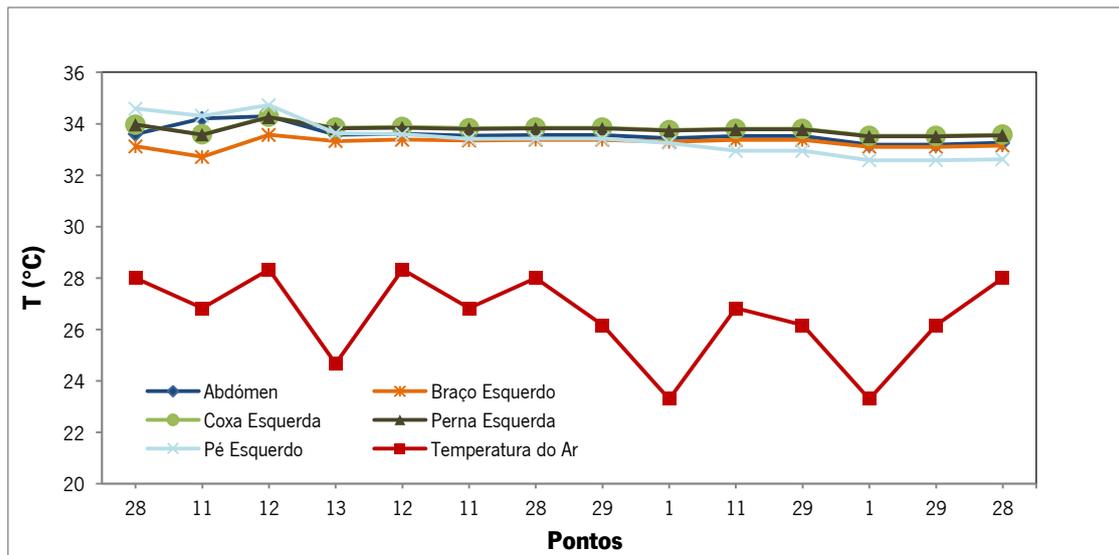
Como referido anteriormente foi definida uma possível trajetória para a simulação. Os pontos selecionados para percorrer o caminho tiveram como base os valores de WBGT ponderados. Esses pontos têm WBGT ponderado superior ao valor de WBGT ação (ANEXO F). Os valores de metabolismo utilizado para a simulação foi diferente para cada ponto, uma vez que este foi calculado de acordo com o tipo de tarefa realizada em cada um dos pontos, excepto para os pontos 11, 12 e 13, porque são realizadas as mesmas tarefas nos torcedores. Em relação às condições ambientais, os valores dos parâmetros físicos do ambiente térmico são diferentes na simulação.

Os valores dos parâmetros utilizados foram os medidos no turno da noite (22h00 – 06h00). Foi simulado um possível percurso que o trabalhador faz durante o seu turno de trabalho. O tempo correspondente a este ciclo de trabalho definido foi de um quarto do tempo total, isto é, 112,50 minutos. O metabolismo do trabalhador obtido ao fim desse ciclo de trabalho foi de 236,29 W/m<sup>2</sup>. Na Tabela 4.9 estão apresentadas as condições ambientais térmicas utilizadas na simulação para cada ponto.

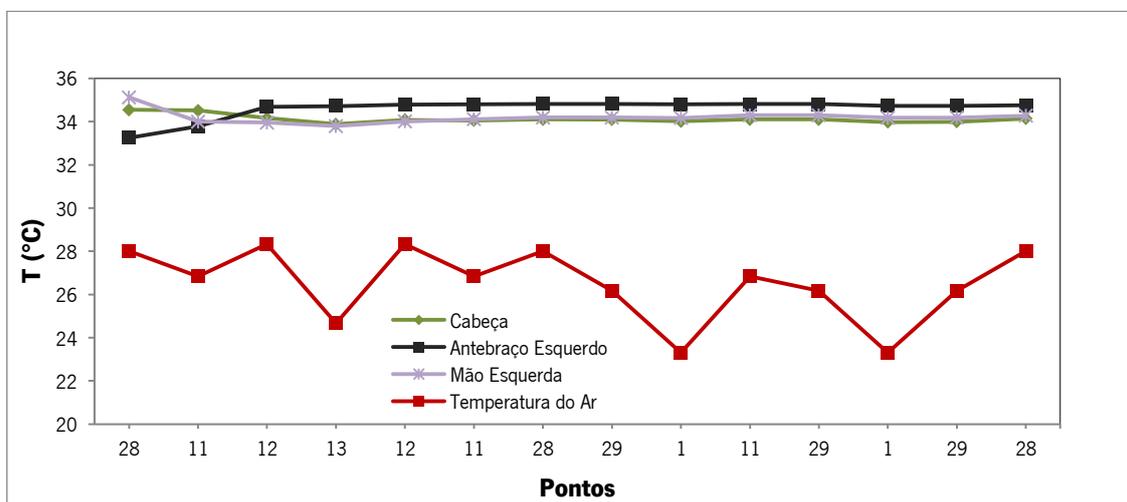
Tabela 4.9. Condições de Simulação

Pontos	Tempo (s)	Ta (°C)	HR (%)	Tr (°C)	Metabolismo (W/m <sup>2</sup> )
<b>28</b>	60	28,00	15,73	27,76	120
<b>11</b>	1898	26,83	33,50	26,60	245
<b>12</b>	1984	28,33	30,50	28,50	245
<b>13</b>	1984	24,67	33,67	23,75	245
<b>12</b>	112	28,33	30,50	28,50	120
<b>11</b>	112	26,83	33,50	26,60	120
<b>28</b>	60	28,00	15,73	27,76	120
<b>29</b>	5	26,17	15,53	27,29	120
<b>1</b>	30	23,30	46,17	24,20	120
<b>11</b>	270	26,83	33,50	26,60	230
<b>29</b>	5	26,17	15,53	27,29	250
<b>1</b>	165	23,30	46,17	24,20	250
<b>29</b>	5	26,17	15,53	27,29	100
<b>28</b>	60	28,00	15,73	27,76	120
	<b>6750</b>				<b>236,29</b>

Na Figura 4.4 está representado o comportamento da temperatura da pele para as partes do corpo cobertas e a relação destas com a temperatura do ar ao longo dos pontos definidos em simulação. Destaca-se que a temperatura da pele no abdómen apresenta um comportamento diferente das outras partes do corpo cobertas, isto é, quando um trabalhador passa do ponto 28 para o ponto 11 (trabalho mais pesado nos torcedores) a sua temperatura da pele no abdómen aumenta, ao contrário da temperatura do ar que diminui ao fazer essa passagem. Nota-se que a temperatura da pele para as partes do corpo cobertas tende a estabilizar-se do ponto 13 até ao instante em que trabalhador começa a descarregar as paletes para o carro esquinadeiras (ponto 11) e a temperatura diminui ligeiramente.

Figura 4.4. Comparação da temperatura da pele das partes cobertas com a T<sub>a</sub>

Através da Figura 4.5 pode se averiguar que a temperatura da pele das partes do corpo não cobertas tende a estabilizar-se para um valor constante em todos os pontos simulados. Verifica-se também que as partes do corpo quando está nu não tende ao mesmo comportamento que a temperatura do ar ambiente. No início do trabalho as partes do corpo nu apresentam um comportamento diferente, isto deve ao fato de que o corpo ainda está a adaptar-se ao ambiente térmico.

Figura 4.5. Comparação da temperatura da pele das partes não cobertas com a T<sub>a</sub>

Na Figura 4.6 é apresentada uma comparação da temperatura da pele e da roupa no tronco. Como era de esperar, a temperatura da pele no tronco é ligeiramente mais elevada em relação à temperatura da roupa no tronco. A temperatura da roupa no tronco apresenta um comportamento similar à temperatura do ar. Ao contrário da temperatura da roupa, a

temperatura da pele tende a estabilizar-se para um valor constante em todos os pontos simulados.

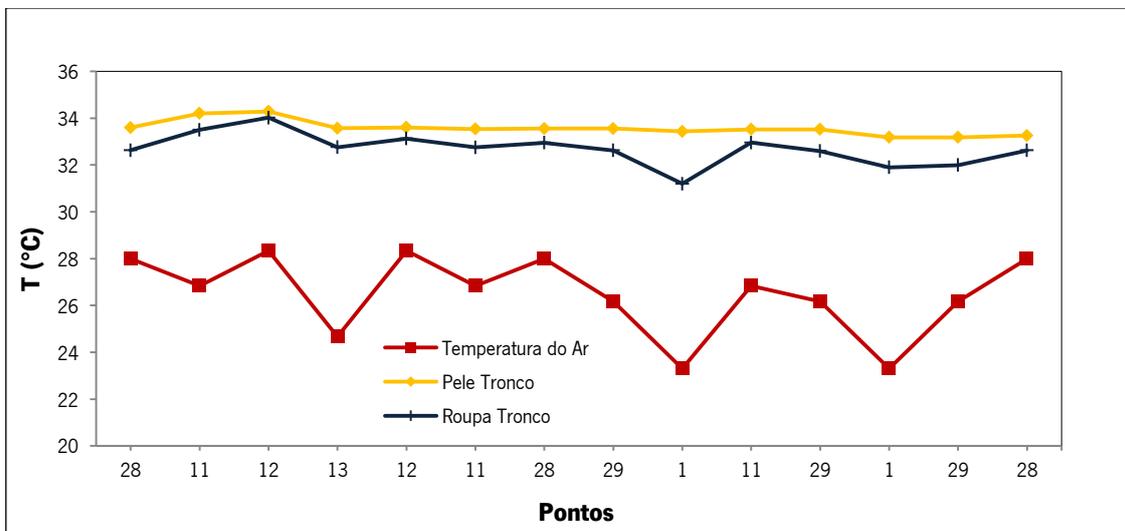


Figura 4.6. Temperatura da pele e da roupa no tronco

O comportamento da temperatura da roupa nas diferentes partes do corpo durante a simulação e uma comparação destes com os valores da temperatura do ar está apresentado na Figura 4.7. Ao longo dos pontos verifica-se que a temperatura da roupa tende um comportamento idêntico aos valores da temperatura do ar ambiente medidos na planta C-ITA.

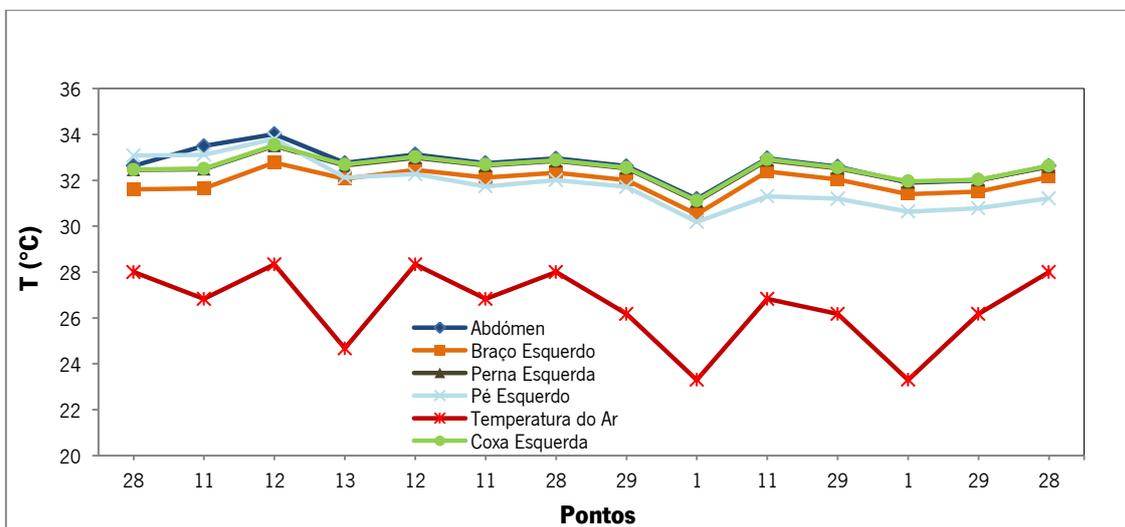


Figura 4.7. Temperatura na roupa e  $T_a$

Na Figura 4.8 está representado o comportamento da temperatura da roupa ao longo do tempo (ciclo de trabalho definido, correspondente aos 6750 segundos). Nota-se que a temperatura da roupa para as diferentes partes do corpo cobertas apresentam o mesmo comportamento que os valores da temperatura do ar ambiente. Verifica-se que o trabalhador durante o ciclo de trabalho

definido dispõe cerca de 90% do seu tempo a realizar tarefas na área de torcedores, onde se constatou que as condições ambientais são mais elevadas (valor do WBGT poderado acima do valor de WBGT de acção). O resto do seu tempo de trabalho é despendido fora da área dos torcedores, realizando as tarefas de descargas das paletes para o carro esquinadeiras. É apresentada na Figura 4.9 uma melhor visualização do comportamento da temperatura da roupa para as partes cobertas a partir dos 6000 segundos.

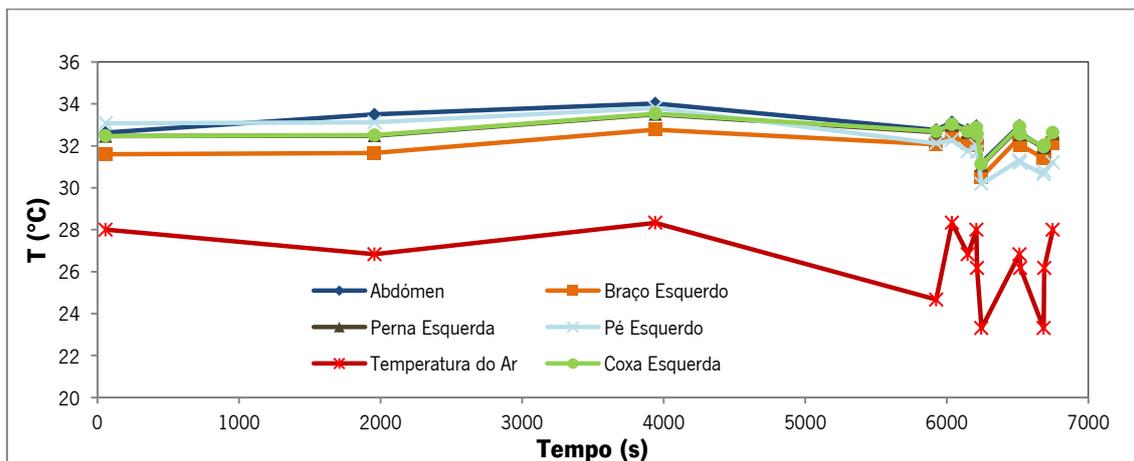


Figura 4.8. Temperatura na roupa ao longo do tempo (0 - 7000)

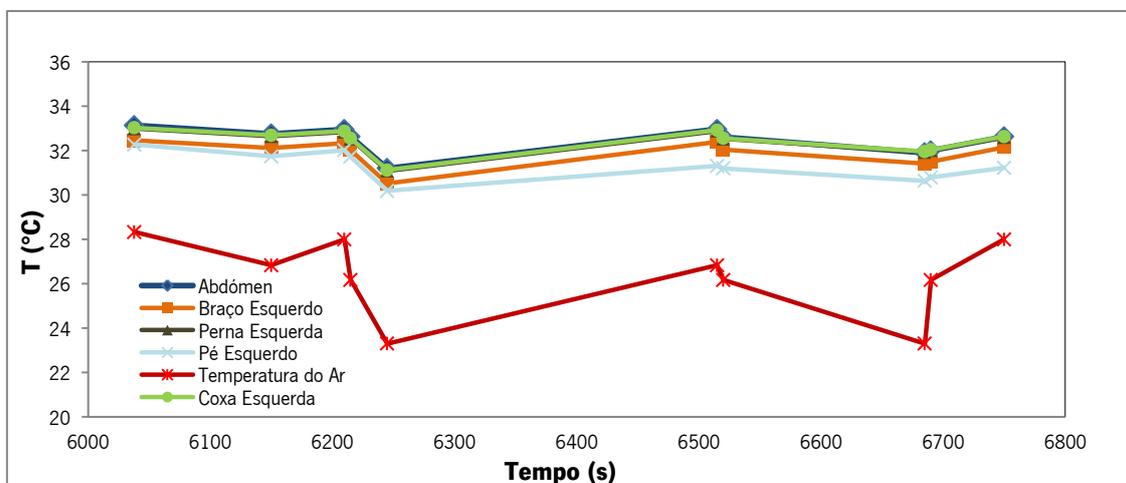


Figura 4.9. Temperatura da roupa ao longo do tempo (6000 - 6800)

Na Figura 4.10 verifica-se que a humidade relativa na roupa e a humidade relativa na camada de ar apresentam um comportamento aproximado, atingindo valores muito próximas uma das outras. Em comparação com os valores experimentais da humidade relativa do ar, nota-se também que tende um comportamento similar em relação à humidade relativa na roupa e na camada de ar, e como era de esperar a humidade relativa do ar apresenta valores mais elevados.

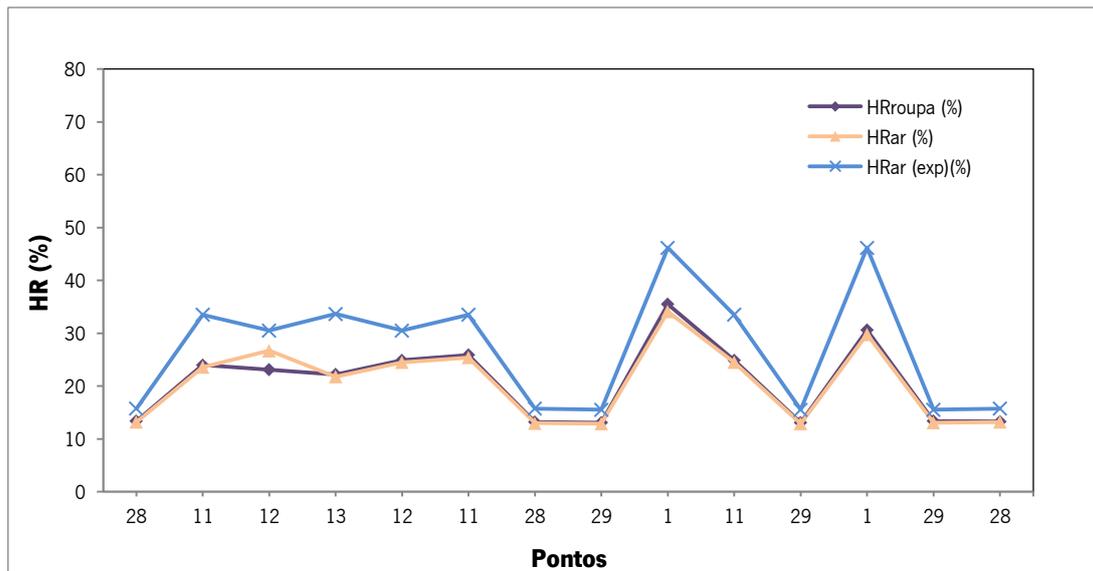


Figura 4.10. Comparação da humidade relativa no tronco

## CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como base os dados experimentais recolhidos por Guise (2014) numa indústria de componentes automóveis. Os dados experimentais foram recolhidos nos três turnos de trabalho (turno da manhã – 06h00 às 14h00; turno da tarde – 14h00 às 22h00; turno da noite – 22h00 às 06h00), sendo assim proporciona a possibilidade de analisar cada turno e uma comparação entre eles.

O objetivo principal deste trabalho foi a análise dos índices de ambiente térmico, tais como PMV, WBGT e PPD, em cada turno, identificar as diferenças significativas dos parâmetros físicos do ambiente térmico em cada turno e, perceber o comportamento do corpo humano a diferentes condições experimentais através do software de simulação do corpo humano.

Através da aplicação de TSQ, conclui-se que a maior parte dos trabalhadores da secção de torcedura sentiam os efeitos do ambiente térmico, cerca de 78,72%, no turno das 14h00 às 22h00. No verão cerca de 90% dos trabalhadores sentem mais o efeito do ambiente térmico em relação às outras estações do ano. Observa-se que cerca de 50% dos trabalhadores estavam a sentir-se um pouco quentes e 40% se sentiam quentes no seu local de trabalho. Em termos de conforto, aproximadamente 46,8% dos trabalhadores se sentiam confortáveis no seu posto de trabalho. TQS indica que aproximadamente 51% dos trabalhadores preferem sentir mais frio, e os restantes 49% não preferem a mudança no ambiente térmico. Todos os trabalhadores da secção de torcedura sentem a necessidade de beber água potável durante o turno.

Após a descrição das tarefas realizadas na secção de torcedura e da duração de cada tarefa ao fim do turno foi calculado o valor do metabolismo igual a 447,16 watts.

Em relação aos índices PMV, WBGT e PPD, conclui-se que no turno das 14h00 às 22h00 os valores de PMV são mais elevados (mediana 3,97) em relação aos outros turnos. Para o turno das 06h00 às 14h00 há uma maior variabilidade no comportamento do valor de PMV, no entanto atinge valores muito altos. O turno da tarde apresenta maior número de valores de

WBGT elevados. No turno da noite há uma maior variabilidade no comportamento do valor de WBGT. Conclui-se que a parte da cabeça e do abdômen estão mais expostas ao ambiente térmico no turno das 06h00 às 14h00 e no turno 14h00 às 22h00. Em relação ao período das 22h00 às 06h00, nota-se que os valores de WBGT estão mais baixos, isto é, não há riscos de exposição nestas condições. De acordo com o valor de PPD, constata-se que em todos os turnos os trabalhadores se sentiram desconfortáveis.

A falta de total concordância entre os resultados da avaliação subjetiva e aqueles obtidos apartir da aplicação dos índices demonstra a necessidade de se efetuarem mais estudos em contexto industrial e a importância de incluir a avaliação subjetiva dos trabalhadores em avaliações do ambiente térmico. Estas podem demonstrar inclusive o grau de adaptação do trabalhador, refletindo melhor os seus efeitos.

O teste não paramétrico de Kruskal-Wallis foi utilizado para identificar as diferenças significativas das médias dos parâmetros físicos de ambiente térmico nos três turnos. Em relação à velocidade do ar conclui-se que as médias dos três turnos não se diferem, o que quer dizer que não existe diferenças significativas na variável velocidade do ar nos três turnos. Conclui-se que para a temperatura do ar e temperatura de globo existem diferenças significativas para os três turnos, para  $\alpha = 5\%$ , isto devido à influência do aquecimento do ar ao longo do dia proveniente essencialmente do trabalho contínuo. O ambiente externo também pode ter influência no aquecimento da nave industrial, mas dada a existência de medidas construtivas implementadas, não se considera que esta seja o principal motivo de aquecimento da nave. Para a humidade relativa existem diferenças significativas apenas entre o turno da manhã e o turno da noite ( $p\text{-value} < \alpha$ ).

Dadas estas diferenças e tendo em consideração que a velocidade do ar não apresentou grandes alterações ao longo dos turnos, considera-se que este estudo permitiu alertar para a necessidade de reavaliar o sistema de circulação de ar de forma a torna-la mais eficaz.

O software do corpo humano simula as diferentes partes do corpo humano tendo-se obtido resultados próximo da realidade em termos de comportamento do ser humano. Constatou-se que a temperatura do ar ambiente e a temperatura da roupa para as diferentes partes do corpo tendem ao mesmo comportamento em relação às diferentes condições ambientais. Em oposição, a temperatura da pele tende a estabilizar para um valor constante.

Há diversos fatores condicionantes no ambiente em estudo que possibilitam o desconforto dos trabalhadores. Através deste estudo observa que há falta de movimentação de ar no espaço, não existem entradas de ar suficiente para a nave industrial e as medidas construtivas implementadas na empresa na área em estudo não está adequadamente instaladas ou mesmo a potência dos ventiladores pode ser insuficiente para abranger o espaço e as condições térmicas existentes. A diferença de temperaturas no local deve-se ao fato das máquinas estar a produzir de uma forma contínua calor radiante; fator agravado pelas condições ambientais externas.

Em termos de trabalho futuro e dada a consistência dos resultados obtidos por simulação de resposta humana pondera-se a possibilidade de explorar este software em termos de simulação de comportamentos nos diferentes turnos.



**BIBLIOGRAFIA**

- ABERGO. (2015). A Ergonomia. Retrieved March 23, 2015, from <http://www.abergo.org.br/index.php>
- Afonso, D., Piçarra, F., Ferreira, L., & Felisberto, R. (2010). *Medidas de Prevenção e Protecção. Técnico de Segurança e Higiene no Trabalho.*
- ÁGUAS, M. (2000). Conforto térmico: módulo da disciplina de mestrado“ Métodos instrumentais em energia e ambiente.” *Instituto Superior Técnico. Lisboa.*
- ASHRAE, A. (2010). Standard 55-2010:“Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy”; ASHRAE. *Atlanta USA.*
- Chande, A. (2009). Análise comparativa entre a indústria papeleira e vidreira Dinâmicas Sociais , Riscos Naturais e Tecnológicos.
- Consolazio, C. F., Matoush, L. R., Nelson, R. A., Torres, J. B., & Isaac, G. J. (1963). Environmental temperature and energy expenditures. *Journal of Applied Physiology*, 18, 65–68.
- Daud, A., Abdin, E., Aziz, A., Naing, L., & Nordin, R. (2010). Assessment of indoor air quality and heat stress exposure in an automotive assembly plant. *Air Quality*, 343–356.
- Djongyang, N., Tchinda, R., & Njomo, D. (2010). Thermal comfort: A review paper. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 2626–2640. doi:10.1016/j.rser.2010.07.040
- Fanger, P. O. (1970). Thermal comfort - Analysis and applications in environmental engineering. *New York: McGraw-Hill.*
- Fanger, P. O. (1973). Assessment of man’s thermal comfort in practice. *British Journal of Industrial Medicine*, 30(4), 313–324. doi:10.1136/oem.30.4.313
- Fiequimetal. (n.d.). Ambiente de Trabalho. *Segurança, Higiene E Saúde No Trabalho.*

- Guise, M. I. da S. (2014). *Assessment of the thermal environment in a textile plant for automotive components. Tese de Mestrado. Escola de Engenharia.*
- HSE, H. and S. E. (1999). Thermal comfort in the workplace. *Guidance for Employers*. Retrieved from <http://www.hse.gov.uk/index.htm>
- IEA. (2015). What is Ergonomics. Retrieved March 23, 2015, from <http://www.iea.cc/index.php>
- ISO 7243. (1989). Hot environments-Estimation of heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature). *Geneva: International Standards Organization.*
- ISO 7730. (2005). Ergonomics of the thermal environment–Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices. *International Organization for Standardization.*
- ISO 8996. (2004). Ergonomics of the thermal environment–Determination of metabolic rate. *BSI, London.*
- Lamberts, R., Ghisi, E., Abreu, A. L. P. de, Carlo, J. C., Batista, Juliana O., Marinovski, D. L., & Naranjo, A. (2011). *Desempenho Térmico De Edificações (6th ed.)*. Florianópolis: Apostila - Universidade Federal De Santa Catarina.
- Lamberts, R., Xavier, A. A., & Vecchi, S. G. R. De. (2014). *CONFORTO E STRESS TÉRMICO. LabEEE Laboratório de Eficiência Energética Em Edificações. Universidade Federal de Santa Catarina.*
- Leite, E. S. C. D. M. (2002). *Stress Térmico Por Calor - Estudo Comparativo Dos Métodos E Normas De Quantificação*. Dissertação De Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Magalhães, S., Albuquerque, R. R., Pinto, J. C., & Moreira, A. L. (2001). *Termorregulação. Faculdade de Medicina Da Universidade Do Porto Serviço de Fisiologia, 20.*
- Manuel, A., & Martins, Q. (2011). Conforto Térmico na Indústria do Papel. *Engenharia de Segurança E Higiene Ocupacionais.*

- MCARDLE, W. D., KATCH, F. I., & KATCH, V. L. (1985). Fisiologia do exercício - Energia, Nutrição e desempenho humano. In Guanabara (Ed.), *Cap. 9: Consumo de energia humana durante o repouso e a atividade física* (pp. 96–107). Rio de Janeiro.
- McIntyre, D. A. (1980). *Indoor Climate*. London: Applied Science Publishers, 443p.
- Miguel, A. S. S. R. (2014). *Manual de Higiene e Segurança do Trabalho*. (Porto Editora, Ed.) (13.<sup>a</sup> ed.).
- Miguel, A. S. S. R., & Arezes, P. M. (2005). Ambiente Térmico. *Escola de Engenharia Da Universidade Do Minho - Ergonomia E Segurança Industrial | Eng. Mecânica*.
- Nicol, F. (1993). *Thermal comfort - a handbook for field studies towards an adaptive model*. University of East London.
- Parsons, K. (2003). Human thermal environments: the effect of hot, moderate and cold environments on human health, comfort and performance. *Taylor & Francis, London*.
- Parsons, K. (2006). Heat stress standard ISO 7243 and its global application. *Industrial Health, 44*, 368–379. doi:10.2486/indhealth.44.368
- Parsons, K. (2013). Occupational health impacts of climate change: current and future ISO standards for the assessment of heat stress. *Industrial Health, 51*, 86–100. doi:10.2486/indhealth.2012-0165
- Parsons, K. C. (2000). Environmental ergonomics: a review of principles, methods and models. *Applied Ergonomics, 31*, 581–594. doi:10.1016/S0003-6870(00)00044-2
- Rodrigues, M. A. (2009). *Condições de Trabalho e Conforto em Bibliotecas do Ensino Superior*. Tese de Mestrado. Universidade do Minho.
- Ruas, Á. C. (2001). *Avaliação de conforto térmico: contribuição à aplicação prática das normas internacionais*.

- Ruas, Á. C. (2002). *Sistematização Da Avaliação De Conforto Térmico Em Ambientes Edificados e Sua Aplicação Num Software*. Tese De Doutorado. Universidade Estadual De Campinas, Campinas - SP.
- Silva, A. C. J. Da. (2011). *Avaliação Do Desempenho Termo-Lumínico De Uma Edificação Com Brises Soleils: Estudo De Caso*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental. Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.
- Silva, P. A. V. (2013). Estudo do Conforto Térmico numa Lavandaria / Engomadoria. *Instituto Politécnico de Setúbal*.
- Simone, A., Olesen, B. W., Stoops, J. L., & Watkins, A. W. (2013). Thermal comfort in commercial kitchens (RP-1469): Procedure and physical measurements (Part 1). *HVAC&R Research, 19*(8), 1001–1015. doi:10.1080/10789669.2013.840494
- Stanković, S., & Boričić, M. (2013). THERMAL COMFORT AND ITS IMPORTANCE IN THE WORKING ENVIRONMENT, 413–417.
- Taleghani, M., Tenpierik, M., Kurvers, S., & Van Den Dobbelen, A. (2013). A review into thermal comfort in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. doi:10.1016/j.rser.2013.05.050
- Teixeira, S., Leão, C. P., Neves, M., Arezes, P., Cunha, A., & Teixeira, J. C. (2010). Thermal Comfort evaluation using a CFD study and a transient thermal model of the human body. Proceedings of the ECCOMAS CFD Fifth European Conference on Computational Fluid Dynamics. *Lisbon. Portugal.*, (June), 14–17.
- Tereso, A., & Costa, L. (2014). Filosofias e abordagens de investigação. *Módulo Da Disciplina Do Mestrado Integrado Em Engenharia E Gestão Industrial. Universidade Do Minho.*, 1–28.
- Vaughn Bradshaw, P. E. (2006). *The Building Environment: Active and Passive Control Systems*. John Wiley & Sons, Inc. (3rd ed.). Hoboken, New Jersey.

Wang, Z., Li, A., Ren, J., & He, Y. (2014). Thermal adaptation and thermal environment in university classrooms and offices in Harbin. *Energy and Buildings*, 77, 192–196. doi:10.1016/j.enbuild.2014.03.054

Yao, R., Li, B., & Liu, J. (2009). A theoretical adaptive model of thermal comfort – Adaptive Predicted Mean Vote (aPMV). *Building and Environment*, 44(10), 2089–2096. doi:10.1016/j.buildenv.2009.02.014



# *ANEXOS*

---



## ANEXO A NORMALIZAÇÃO E LEGISLAÇÃO APLICADAS

As normas existentes para o estudo de conforto térmico englobam todas as variáveis que influenciam o mesmo. Pode se destacar de uma forma geral as principais normas e legislações referentes ao conforto térmico. Do conjunto de normas apresentadas nesta secção, as normas internacionais disponíveis (ISO) são as mais utilizadas para avaliação do ambiente térmico (ambiente quente, moderado e frio) (ver Figura A.1).

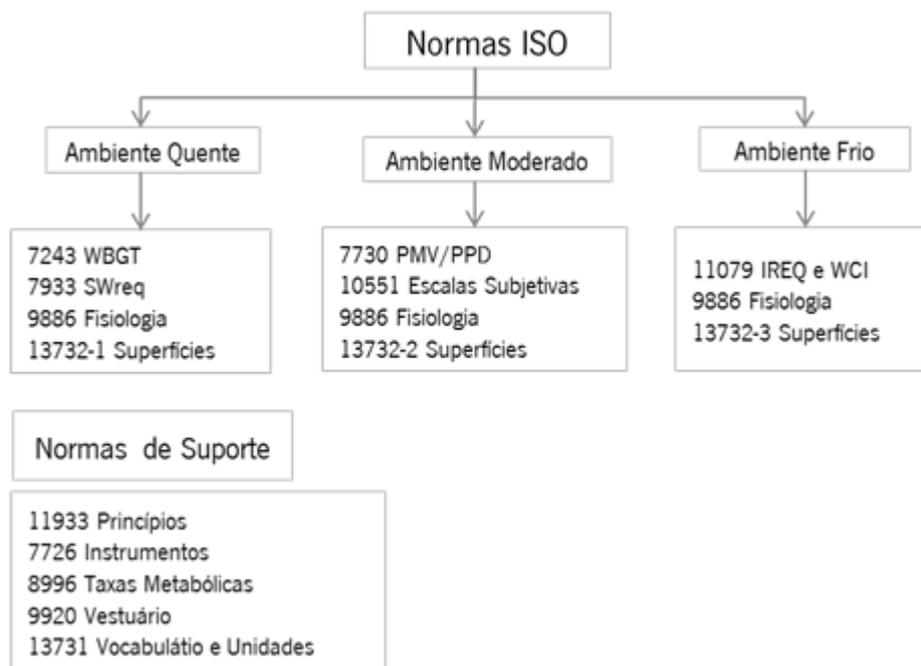


Figura A.1. Normas ISO para avaliação do Ambiente Térmico (Adaptado de (Ken Parsons, 2006)).

ISO 7730:2005 – “*Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*” (a última revisão foi em 2009) é aplicada a ambiente térmico moderado. Para avaliação de um determinado ambiente é necessário o conhecimento e medição dos parâmetros físicos, tais como, a temperatura do ar, velocidade do ar, humidade relativa e temperatura radiante média e parâmetros pessoais, vestuário e atividade desenvolvida. Com os parâmetros referidos pode se determinar o índice PMV para estimar a sensação térmica dos indivíduos e o índice PPD que permite obter o grau de desconforto dos indivíduos em ambientes moderados, isto é, prevê a percentagem de indivíduos que gostaria de se sentir mais quente ou mais frio no ambiente. A norma internacional ISO 7730 especifica as condições térmicas aceitáveis para o conforto das pessoas.

ISO 7243:1989 *“Hot Environments – Estimation of the Heat Stress on Working Man, based on the WBGT - index (wet bulb globe temperature)”* é utilizado para avaliação de ambiente térmico quente através do índice WBGT. O tipo de roupa e atividade desenvolvida influencia o índice WBGT.

A ANSI/ASHRAE 55 Standard (2013) *“Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy”* especifica as diferentes combinações dos parâmetros térmicos ambientais e pessoais para obter um ambiente térmico aceitável para um número significativa de pessoas que ocupa o local. Esta norma se aplica a adultos saudáveis que ocupam um espaço interior e por um período não inferior a 15 minutos.

ISO 8996:2004 *“Ergonomics of the thermal environment – Determination of metabolic rate”* (Esta norma foi revista pela última vez em 2014). Esta norma internacional define os diferentes métodos para a determinação da taxa metabólica no contexto da ergonomia do ambiente de trabalho climática. A determinação da taxa metabólica é importante para o conforto para avaliar a tensão da exposição a um ambiente térmico. Em específico, em ambientes térmicos quentes a produção de calor metabólico relacionados ao trabalho excessivo provoca stress de calor (ISO 8996, 2004).

Portaria nº 53/71 de 3 de Fevereiro alterado pela Portaria nº 702/80 de 22 de Setembro, que aprova o regulamento geral de Segurança e Higiene do Trabalho nos estabelecimentos industriais. Esta diretiva refere que as condições de temperatura e humidade devem manter dentro dos limites adequados para impedir lesões na saúde dos trabalhadores. Caso não é possível controlar a temperatura e humidade dentro do limite, os trabalhadores devem utilizar os equipamentos de proteção individual e devem ser protegidos através de medidas técnicas.

Portaria 987/93 de 6 de Outubro estabelece as prestações mínimas de segurança e saúde nos locais de trabalho. Tal como a diretiva nº 53/71, esta refere que a temperatura e humidade devem ser adequadas para um bom funcionamento do organismo humano, tendo em conta os métodos de trabalho e as limitações físicas atribuídas aos trabalhadores.

O Decreto-lei nº243/86 de 20 de Agosto, que aprova o regulamento geral de Higiene e Segurança do Trabalho nos estabelecimentos comerciais, escritórios e serviços. Este regulamento refere que os locais de trabalho devem proporcionar boas temperaturas aos trabalhadores, devendo estas variar entre 18 °C e os 22 °C, sendo que pode atingir os 25 °C

em determinadas condições meteorológicas. A humidade do ambiente de trabalho deve variar entre os 50% e 70%. Refere ainda que os trabalhadores não devem estar sujeitas a alterações bruscas de temperatura.

Decreto-lei 347/93 de 1 de Outubro transpõe a diretiva nº 89/654/CEE relativa às prestações mínimas de segurança e de saúde do trabalho.



## ANEXO B CLASSIFICAÇÃO DO METABOLISMO

Tabela B.1 Classificação da taxa metabólica por classes

Classe	Taxa Metabólica Média, M		Exemplos
	W/m <sup>2</sup>	W	
<b>0</b> Em Descanso	$M \leq 65$	$M \leq 117$	Em descanso
<b>1</b> Taxa Metabólica Baixa	$65 < M \leq 130$	$117 < M \leq 234$	<u>Sentado</u> : trabalho manual leve (escrever, teclar, desenhar, guardar livros); Trabalho de mãos e braços (utilização de pequenas ferramentas, inspecionar, montagem ou classificação de materiais leves); Trabalho de braços e pernas (conduzir um veículo em condições normais, acionar botões ou pedais). <u>Em Pé</u> : Operar com berbequim, fresadoras, laminadoras, bobinadoras, de formação de pequenas armações de madeira; operar com ferramentas de baixa potência, caminhar (velocidade até 3,5 km/h).
<b>2</b> Taxa Metabólica Moderada	$130 < M \leq 200$	$234 < M \leq 360$	Trabalho contínuo de mãos e braços (martelar, movimentar objetos), Trabalho de braços e pernas (equipamentos de construção, tratores, condução de caminhões), Trabalho de braços e tronco (Com um martelo pneumático, Trabalho manual intermitente com material moderadamente pesado, colocação de rebocos, apanhar fruta ou vegetais, cavar, caminhar a uma velocidade entre 3,5 a 5,5 km/h, trabalho de forja.
<b>3</b> Taxa Metabólica Elevada	$200 < M \leq 260$	$360 < M \leq 468$	Trabalho intenso de braços e tronco Carregar material pesado, manusear uma pá, um martelo de forja, serrar, desbastar ou trabalhar madeira dura, ceifa manual, cavar caminhar a velocidades entre 5,5 e 7 km/h; Puxar ou carregar carros de mão pesados, cinzelar peças de fundição, colocação de blocos de betão.
<b>4</b> Taxa Metabólica Muito Elevada	$M > 260$	$M > 468$	Atividade muito intensa, com um ritmo rápido próximo do máximo, manusear um machado, cavar ou manusear uma pá em ritmo acelerado, subir escadas, rampas ou ladeiras, andar rapidamente com passos curtos, correr, caminhar em velocidades superiores a 7 km/h.







**ANEXO D QUESTIONÁRIO DE SENSAÇÃO TÉRMICA****Questionário de percepção e preferência térmica**

Este questionário tem como objetivo recolher informação a usar em futuros cálculos, com vista à avaliação do ambiente térmico para, caso necessário, se proceder a melhorias do mesmo no setor da Torcedura.

**Secção I**

1. Género: M  F
2. Idade: \_\_\_\_\_ anos
3. Altura: \_\_\_\_\_ m
4. Peso: \_\_\_\_\_ kg
5. Anos de laboração na empresa: \_\_\_\_\_ anos
6. Indique as tarefas que desenvolve (pode assinalar mais que uma opção):

Carregar esquinadeira	
Carregar potes	
Engatar o fuso	
Descarregar torcedor	
Transportar material	
Vigiar as máquinas	
Arrumar sucata	
Arrumar tubos	
Fazer emendas/quebras	
Outra:	

**Secção II**

7. Em qual dos turnos sente mais efeitos do ambiente térmico? (assinale com uma cruz a opção escolhida)

06h00 – 14h00	
14h00 – 22h00	
22h00 – 06h00	

8. Em que estação do ano sente mais os efeitos do ambiente térmico? (assinale com uma cruz a opção escolhida)

Primavera	
Verão	
Outono	
Inverno	

9. Como se está a sentir agora? (assinale com uma cruz a opção escolhida)

Com muito Frio	Com Frio	Fresco	Neutro	Morno	Com Calor	Com muito Calor

10. Indique como gostaria de se sentir agora: (assinale com uma cruz a opção escolhida)

Muito mais fresco	Mais fresco	Nem mais fresco nem mais quente	Mais quente	Muito mais quente

11. Como se sente neste momento? (assinale com uma cruz a opção escolhida)

Muito Desconfortável	Desconfortável	Um pouco Desconfortável	Confortável

12. Sente necessidade de beber água? Sim  Não

Se sim, com que frequência bebe água? (assinale com uma cruz a opção escolhida)

De 15 em 15 minutos	
De 30 em 30 minutos	
De 45 em 45 minutos	
De 60 em 60 minutos	
1 vez por turno	

**Secção III**

13. Marque com um X a roupa que habitualmente usa durante o turno:

<b>Peça</b>	<b>X</b>
<b>Roupa interior</b>	
Cuecas	
Boxers	
Cuecas e sutiã	
Camisola interior de mangas	
Camisola de cavas	
<b>Camisas</b>	
T-shirt	
Camisa	
<b>Calças</b>	
Calção	
Calças	
<b>Camisola</b>	
Camisola Leve	
Camisola Grossa	
<b>Casacos</b>	
Colete	
Parca	
Casaco Leve	
Quispo/Polar	
<b>Diversos</b>	
Meias	
Meia-calça	
Sapatos	
Botas	



## ANEXO E ISOLAMENTO TÉRMICO

Tabela E.1 Isolamento térmico para cada peça de vestuário (Adaptado de ISO 7730, 2005)

Vestuário	Clo
<b>Roupa interior</b>	
○ Cuecas	0,03
○ Cuecas com pernas longas	0,10
○ Camisola interior	0,04
○ T-shirt	0,09
○ Camisa de mangas compridas	0,12
○ Cueca e sutiã	0,03
<b>Camisas/Blusas</b>	
○ Manga curta	0,15
○ Leve, mangas compridas	0,20
○ Normais, mangas compridas	0,25
○ Camisa de flanela, mangas compridas	0,30
○ Blusa leve, mangas compridas	0,15
<b>Calças</b>	
○ Shorts	0,06
○ Leves	0,20
○ Normais	0,25
○ Flanela	0,28
<b>Vestidos/Saias</b>	
○ Saias leves (de verão)	0,15
○ Saia pesado (de inverno)	0,25
○ Vestido leve, mangas curtas	0,20
○ Vestidos de inverno, mangas cumpridas	0,40
○ Macacão	0,55
<b>Camisolas</b>	
○ Coletes sem manga	0,12
○ Camisola fina	0,20
○ Camisola	0,28
○ Camisola grossa	0,35
<b>Casacos</b>	
○ Leve, casaco de verão	0,25
○ Casaco	0,35
○ Bata	0,30
<b>Alto isolamento, fibra de pele</b>	
○ Macacão	0,90
○ Calças	0,35
○ Casaco	0,40
○ Colete	0,20
<b>Diversos</b>	
○ Meias grossas, até ao tornozelo	0,05
○ Meias grossas, compridas	0,10
○ Botas	0,10
○ Luvas	0,05



## ANEXO F RESULTADOS DOS ÍNDICES E DO WBGT PONDERADO

Tabela F.1 Resultados dos índices e do WBGT Ponderado nos pontos 1 a 6 e 11 a 16, no turno das 06h00 às 14h00.

Pontos	Ta (°C)	HR (%)	Va (m/s)	Tg (°C)	PMV	PPD	WBGT	WBGT Limite	WBGT Acção	WBGT Poderado
1	23,0	44,5	0,15	24,0	1,39	45	18,6	25,6	21,8	18,20
	23,0	46,5	0,00	23,5	1,4	46	18,7			
	21,5	46,0	0,10	21,0	1,03	27	16,8			
2	24,5	43,5	0,01	25,5	3,4	100	19,9	23,3	18,9	19,65
	25,0	42,0	0,00	26,0	3,48	100	20,2			
	24,0	44,5	0,30	23,0	2,93	99	18,3			
3	25,5	43,5	0,12	26,0	3,42	100	20,5	23,3	19	20,60
	26,0	42,5	0,14	26,5	3,49	100	20,7			
	26,0	42,5	0,15	26,0	3,43	100	20,5			
4	25,5	44,5	0,07	25,0	3,32	100	20,1	23,3	19	20,20
	25,5	44,5	0,23	25,5	3,31	100	20,1			
	26,0	44,0	0,27	26,0	3,4	100	20,5			
5	25,5	52,0	0,15	27,0	3,67	100	21,8	23,3	18,9	20,90
	26,0	43,0	0,17	27,0	3,64	100	21			
	27,0	41,5	0,13	24,0	3,31	100	19,8			
6	29,5	37,0	0,01	30,5	4,15	100	23,4	23,3	19	23,68
	31,0	35,0	0,06	31,0	4,27	100	23,9			
	30,5	35,0	0,02	30,5	4,18	100	23,5			
11	26,5	31,5	0,02	30,0	3,97	100	21,5	23,3	18,9	21,53
	28,5	28,0	0,06	30,0	4,04	100	21,7			
	29,0	27,0	0,07	29,0	3,93	100	21,2			
12	32,0	25,0	0,01	34,5	4,67	100	24,5	23,3	19	24,25
	33,5	22,5	0,00	34,5	4,72	100	24,6			
	29,5	27,0	0,00	33,0	4,38	100	23,3			
13	30,5	26,0	0,20	30,0	4,06	100	21,7	23,3	19	21,33
	30,0	26,0	0,12	29,5	3,96	100	21,5			
	29,0	24,5	0,18	29,0	3,84	100	20,6			
14	30,0	21,5	0,09	31,0	4,18	100	21,8	23,3	18,9	21,43
	30,5	21,0	0,01	31,0	4,2	100	21,8			
	29,5	21,0	0,30	29,5	3,99	100	20,3			
15	30,5	20,0	0,06	31,0	4,11	100	21,7	23,3	19	21,33
	31,0	20,0	0,02	30,5	4,07	100	21,6			
	30,5	18,5	0,30	30,0	4,01	100	20,4			
16	29,0	29,0	0,20	28,0	3,74	100	20,7	23,3	19	20,20
	27,5	35,0	0,30	26,5	3,48	100	20,2			
	26,0	39,0	0,06	25,0	3,3	100	19,7			

Tabela F.2 Resultados dos índices e do WBGT Ponderado nos pontos 21 a 27, no turno das 06h00 às 14h00.

Pontos	Ta (°C)	HR (%)	Va (m/s)	Tg (°C)	PMV	PPD	WBGT	WBGT Limite	WBGT Acção	WBGT Poderado
21	27,5	38,0	0,00	28,0	3,74	100	21,6	23,3	19	21,93
	27,0	44,0	0,00	28,5	3,82	100	22,3			
	27,5	37,0	0,04	28,0	3,73	100	21,5			
22	27,5	36,0	0,14	27,0	3,67	100	20,8	23,3	18,9	20,98
	27,5	36,0	0,05	27,5	3,75	100	21,1			
	27,5	36,0	0,07	27,0	3,68	100	20,9			
23	25,5	39,0	0,12	24,5	1,58	55	19,2	25,6	21,8	19,03
	25,5	41,0	0,30	24,0	1,36	43	19			
	23,0	48,0	0,15	24,0	1,41	46	18,9			
24	24,5	42,0	0,30	25,5	1,54	53	19,4	25,6	21,8	19,20
	25,0	41,0	0,35	25,0	1,45	48	19,2			
	24,5	41,5	0,00	24,0	1,51	51	19			
25	27,0	38,0	0,00	28,0	2,11	81	21,4	25,6	21,8	21,88
	28,5	35,0	0,01	29,0	2,29	88	22,1			
	30,5	30,5	0,40	29,5	2,35	90	21,9			
26	29,5	31,5	0,15	28,0	2,15	83	21,3	25,6	21,8	21,15
	28,5	33,5	0,12	28,0	2,14	83	21,3			
	27,5	34,0	0,17	27,5	2	77	20,7			
27	28,0	37,0	0,12	28,5	3,9	100	21,8	23,3	18,9	21,73
	28,5	38,0	0,00	28,0	3,87	100	22			
	27,5	37,5	0,00	27,0	3,69	100	21,1			

Tabela F.3 Resultados dos índices e do WBGT Ponderado nos pontos 7 a 10, 17 a 20, 28 e 29, no turno das 14h00 às 22h00.

Pontos	Ta (°C)	HR (%)	Va (m/s)	Tg (°C)	PMV	PPD	WBGT	WBGT Limite	WBGT Acção	WBGT Poderado
7	26,5	46,5	0,10	27,0	3,62	100	21,7	23,4	19	21,60
	27,5	43,5	0,12	27,0	3,64	100	21,7			
	28,0	42,5	0,11	26,0	3,54	100	21,3			
8	30,0	40,0	0,17	31,0	4,37	100	24	23,3	18,9	23,25
	30,5	37,5	0,20	30,5	4,32	100	23,6			
	29,0	39,5	0,30	27,5	3,83	100	21,8			
9	30,5	38,0	0,05	31,5	4,32	100	24,3	23,4	19	24,28
	31,5	36,5	0,02	32,0	4,43	100	24,8			
	30,5	36,0	0,30	30,5	4,23	100	23,2			
10	29,0	48,0	0,08	29,0	4,01	100	23,8	23,4	19	22,48
	28,5	41,5	0,15	28,5	3,87	100	22,5			
	27,0	43,5	0,50	27,0	3,54	100	21,1			
17	26,0	28,0	0,02	28,5	3,65	100	20,2	23,4	19	19,95
	28,0	25,0	0,03	28,0	3,66	100	20,2			
	28,0	25,0	0,30	27,0	3,49	100	19,2			
18	29,5	23,5	0,00	30,5	4,02	100	21,6	23,4	19	21,65
	30,5	21,0	0,02	31,0	4,11	100	21,8			
	30,0	22,5	0,10	30,0	3,97	100	21,4			
19	30,5	20,5	0,04	31,0	4,2	100	21,8	23,3	18,9	21,53
	31,0	19,5	0,02	31,0	4,21	100	21,7			
	30,5	20,0	0,27	30,5	4,17	100	20,9			
20	31,0	21,0	0,03	31,0	4,13	100	22	23,4	19	21,90
	31,0	21,5	0,09	31,0	4,14	100	22			
	30,5	22,5	0,25	31,0	4,17	100	21,6			
28	28	35,0	0,20	28,5	3,88	100	21,4	23,3	18,9	21,58
	28,5	36,5	0,30	28,5	3,92	100	21,6			
	28,5	35,5	0,10	28,0	3,85	100	21,7			
29	26,5	33,0	0,28	26,5	3,5	100	19,6	23,3	18,9	18,88
	25,5	32,0	0,50	25,0	3,16	100	18,2			
	27,5	32,5	0,03	25,0	3,41	100	19,5			

Tabela F.4 Resultados dos índices e do WBGT Ponderado nos pontos 1 a 10, no turno das 22h00 às 06h00.

Pontos	Ta (°C)	HR (%)	Va (m/s)	Tg (°C)	PMV	PPD	WBGT	WBGT Limite	WBGT Acção	WBGT Ponderado
1	23,0	46,5	0,12	24,0	1,45	48	18,8	25,5	21,8	19,05
	24,5	45,0	0,10	25,0	1,66	60	19,8			
	22,5	47,0	0,20	22,5	1,13	32	17,8			
2	23,5	45,0	0,05	24,0	3,18	100	18,9	23,3	18,9	19,23
	24,5	42,0	0,12	25,0	3,33	100	19,5			
	25,0	40,0	0,20	24,5	3,22	100	19			
3	24,5	43,0	0,08	25,5	3,32	100	19,8	23,3	19	19,88
	25,0	41,5	0,16	26,0	3,37	100	20			
	25,5	41,0	0,12	25,0	3,28	100	19,7			
4	23,5	41,0	0,06	23,5	3,01	99	18,3	23,3	19	17,38
	22,5	43,0	0,18	22,0	2,71	97	17,2			
	22,0	44,0	0,31	21,5	2,52	94	16,8			
5	25,0	41,5	0,03	26,0	3,47	100	20,1	23,3	18,9	20,23
	25,5	39,0	0,02	26,5	3,54	100	20,3			
	26,5	37,0	0,08	26,0	3,52	100	20,2			
6	28,0	36,0	0,08	29,5	3,94	100	22,3	23,3	19	22,43
	29,5	32,5	0,07	30,5	4,11	100	22,8			
	29,0	31,5	0,11	29,0	3,89	100	21,8			
7	25,0	38,0	0,10	23,5	3,07	99	18,5	23,3	19	17,63
	23,5	40,0	0,05	22,0	2,83	98	17,4			
	22,5	41,5	0,08	22,0	2,79	98	17,2			
8	25,0	39,0	0,07	26,0	3,46	100	19,9	23,3	18,9	20,30
	26,5	36,0	0,09	27,0	3,63	100	20,5			
	27,0	34,5	0,10	26,5	3,59	100	20,3			
9	30,0	31,0	0,13	30,5	4,13	100	22,7	23,3	19	22,68
	30,5	30,5	0,05	31,0	4,2	100	23,1			
	29,0	31,5	0,10	29,0	3,89	100	21,8			
10	26,0	34,5	0,06	25,0	3,27	100	19,2	23,3	19	18,93
	25,0	35,5	0,04	24,5	3,17	100	18,9			
	25,5	35,5	0,10	24,0	3,13	100	18,7			

Tabela F.5 Resultados dos índices e do WBGT Ponderado nos pontos 11 a 20, no turno das 22h00 às 06h00.

Pontos	Ta (°C)	HR (%)	Va (m/s)	Tg (°C)	PMV	PPD	WBGT	WBGT Limite	WBGT Acção	WBGT Ponderado
11	26,5	34,0	0,03	26,5	3,56	100	20,1	23,3	18,9	20,25
	27,0	33,5	0,09	27,0	3,64	100	20,4			
	27,0	33,0	0,06	26,5	3,58	100	20,1			
12	28,0	31,5	0,06	28,5	3,78	100	21,2	23,3	19	21,25
	28,5	30,0	0,11	29,0	3,85	100	21,4			
	28,5	30,0	0,07	28,0	3,73	100	21			
13	26,0	32,0	0,13	25,0	3,24	100	18,8	23,3	19	18,03
	24,5	33,5	0,18	24,0	3,01	99	17,9			
	23,5	35,5	0,21	23,5	2,89	99	17,5			
14	22,5	34,5	0,03	22,5	2,89	98	16,8	23,3	18,9	17,05
	23,0	36,5	0,08	23,0	2,98	99	17,4			
	22,5	36,0	0,15	22,0	2,78	98	16,6			
15	28,0	33,0	0,07	28,0	3,73	100	21,2	23,3	19	21,10
	27,5	33,0	0,05	28,5	3,76	100	21,3			
	27,5	33,5	0,10	27,0	3,58	100	20,6			
16	25,0	33,5	0,09	25,5	3,28	100	19	23,3	19	19,15
	25,5	34,0	0,12	26,0	3,36	100	19,4			
	25,0	34,0	0,22	25,5	3,22	100	18,8			
17	24,5	14,9	0,04	24,5	3,02	99	16,2	23,3	19	17,10
	25,0	15,2	0,09	26,5	3,29	100	17,4			
	26,5	16,1	0,16	26,0	3,26	100	17,4			
18	22,0	15,1	0,05	23,0	2,74	97	14,9	23,3	19	15,80
	24,0	15,5	0,08	24,0	2,94	99	15,9			
	25,5	16,0	0,11	24,5	3,06	99	16,5			
19	26,5	15,5	0,04	26,0	3,37	100	17,5	23,3	18,9	17,80
	27,0	15,7	0,06	26,5	3,45	100	17,9			
	26,5	16,0	0,08	26,5	3,43	100	17,9			
20	24,4	16,0	0,05	24,0	2,96	99	16,1	23,3	19	16,38
	25,0	15,8	0,09	24,5	3,04	99	16,5			
	25,0	15,5	0,16	25,0	3,06	99	16,4			

Tabela F.6 Resultados dos índices e do WBGT Ponderado nos pontos 21 a 29, no turno das 22h00 às 06h00.

Pontos	Ta (°C)	HR (%)	Va (m/s)	Tg (°C)	PMV	PPD	WBGT	WBGT Limite	WBGT Acção	WBGT Ponderado
21	28,5	32,5	0,13	29,5	3,94	100	21,9	23,3	19	22,28
	29,5	31,5	0,03	30,0	4,04	100	22,5			
	29,5	31,0	0,10	29,5	3,97	100	22,2			
22	27,5	16,5	0,03	28,0	3,66	100	18,9	23,3	18,9	19,25
	28,0	16,3	0,07	29,0	3,8	100	19,5			
	28,0	15,8	0,12	28,5	3,74	100	19,1			
23	26,5	14,9	0,16	25,5	1,58	55	16,9	25,6	21,8	16,48
	25,5	14,8	0,20	24,5	1,37	44	16,1			
	25,5	15,1	0,14	25,5	1,56	54	16,8			
24	24,5	15,5	0,11	24,5	1,43	47	16,2	25,6	21,8	16,58
	25,5	15,8	0,09	25,0	1,54	53	16,8			
	25,0	15,2	0,13	25,0	1,48	50	16,5			
25	30,0	30,5	0,04	29,0	2,32	89	22	25,6	21,8	22,25
	30,5	30,5	0,04	30,0	2,47	93	22,7			
	30,0	30,0	0,20	29,5	2,36	90	21,6			
26	28,0	15,2	0,15	27,5	1,91	73	18,4	25,6	21,8	18,80
	28,5	15,5	0,09	28,0	2,03	78	19			
	28,0	15,0	0,18	28,5	2,04	78	18,8			
27	26,5	15,4	0,08	27,5	3,55	100	18,3	23,3	18,9	18,68
	27,5	15,8	0,04	28,0	3,66	100	18,8			
	27,5	15,7	0,06	28,0	3,65	100	18,8			
28	28,0	15,8	0,10	28,0	3,68	100	19	23,3	18,9	18,93
	28,0	15,8	0,05	28,0	3,68	100	19			
	28,0	15,6	0,04	27,5	3,61	100	18,7			
29	26,5	15,4	0,15	27,0	3,47	100	17,8	23,3	18,9	17,68
	26,0	15,7	0,20	27,0	3,44	100	17,6			
	26,0	15,5	0,05	26,5	3,41	100	17,7			

## ANEXO G ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

Tabela G.1 Estatísticas descritivas da temperatura do ar nos três turnos.

		Descritivos		Estadística	Erro Padrão	
Temperatura do ar (°C)	Turnos					
06h00 - 14h00	Média			27,4737	,33570	
	95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior		26,8012		
		Limite superior		28,1462		
	5% da média aparada			27,4873		
	Mediana			27,5000		
	Variância			6,423		
	Desvio Padrão			2,53444		
	Mínimo			21,50		
	Máximo			33,50		
	Intervalo			12,00		
	Intervalo interquartil			4,00		
	Assimetria			-,057	,316	
	Curtose			-,390	,623	
	14h00 - 22h00	Média			28,9833	,30932
		95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior		28,3507	
Limite superior				29,6160		
5% da média aparada				29,0370		
Mediana				29,0000		
Variância				2,870		
Desvio Padrão				1,69423		
Mínimo				25,50		
Máximo				31,50		
Intervalo				6,00		
Intervalo interquartil				2,63		
Assimetria				-,385	,427	
Curtose				-,966	,833	
22h00 - 06h00		Média			26,1540	,22948
		95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior		25,6978	
	Limite superior			26,6102		
	5% da média aparada			26,1434		
	Mediana			26,0000		
	Variância			4,581		
	Desvio Padrão			2,14041		
	Mínimo			22,00		
	Máximo			30,50		
	Intervalo			8,50		
	Intervalo interquartil			3,00		
	Assimetria			,042	,258	
	Curtose			-,663	,511	

Tabela G.2 Estatísticas descritivas da humidade relativa nos três turnos.

		<b>Descritivos</b>		<b>Estatística</b>	<b>Erro Padrão</b>
	<b>Turnos</b>				
Humidade relativa (%)	06h00 - 14h00	Média		35,5965	1,11322
		95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	33,3664	
			Limite superior	37,8265	
		5% da média aparada		35,7500	
		Mediana		37,0000	
		Variância		70,638	
		Desvio Padrão		8,40463	
		Mínimo		18,50	
		Máximo		52,00	
		Intervalo		33,50	
		Intervalo interquartil		14,00	
		Assimetria		-,445	,316
		Curtose		-,754	,623
			14h00 - 22h00	Média	
	14h00 - 22h00	95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	28,8912	
			Limite superior	35,6088	
		5% da média aparada		32,1019	
		Mediana		34,0000	
		Variância		80,909	
		Desvio Padrão		8,99497	
		Mínimo		19,50	
		Máximo		48,00	
		Intervalo		28,50	
		Intervalo interquartil		17,13	
		Assimetria		-,001	,427
		Curtose		-1,357	,833
	22h00 - 06h00	Média		28,3287	1,15011
	22h00 - 06h00	95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	26,0424	
			Limite superior	30,6151	
		5% da média aparada		28,1075	
		Mediana		31,5000	
		Variância		115,080	
		Desvio Padrão		10,72751	
		Mínimo		14,80	
		Máximo		47,00	
		Intervalo		32,20	
		Intervalo interquartil		20,20	
		Assimetria		-,104	,258
		Curtose		-1,498	,511

Tabela G.3 Estatísticas descritivas da velocidade do ar nos três turnos.

		Descritivos		Estadística	Erro Padrão
Turnos					
Velocidade do ar (m/s)	06h00 - 14h00	Média		,1153	,01432
		95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	,0866	
			Limite superior	,1440	
		5% da média aparada		,1085	
		Mediana		,1000	
		Variância		,012	
		Desvio Padrão		,10814	
		Mínimo		,00	
		Máximo		,40	
		Intervalo		,40	
		Intervalo interquartil		,16	
		Assimetria		,815	,316
		Curtose		-,229	,623
			14h00 - 22h00	Média	
95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior			,1044	
	Limite superior			,2076	
5% da média aparada				,1452	
Mediana				,1050	
Variância				,019	
Desvio Padrão				,13828	
Mínimo				,00	
Máximo				,50	
Intervalo				,50	
Intervalo interquartil				,24	
Assimetria				1,030	,427
Curtose				,530	,833
	22h00 - 06h00			Média	
		95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	,0882	
			Limite superior	,1118	
		5% da média aparada		,0967	
		Mediana		,0900	
		Variância		,003	
		Desvio Padrão		,05534	
		Mínimo		,02	
		Máximo		,31	
		Intervalo		,29	
		Intervalo interquartil		,07	
		Assimetria		1,052	,258
		Curtose		1,307	,511

Tabela G.4 Estatísticas descritivas do índice PMV nos três turnos.

		<b>Descritivos</b>			
	Turnos		Estatística	Erro Padrão	
PMV	06h00 - 14h00	Média	3,2563	,13332	
		95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	2,9893	
			Limite superior	3,5234	
		5% da média aparada	3,2929		
		Mediana	3,6700		
		Variância	1,013		
		Desvio Padrão	1,00652		
		Mínimo	1,03		
		Máximo	4,72		
		Intervalo	3,69		
		Intervalo interquartil	1,66		
		Assimetria	-,883	,316	
		Curtose	-,522	,623	
			14h00 - 22h00	Média	3,9120
95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior			3,7894	
	Limite superior			4,0346	
5% da média aparada	3,9215				
Mediana	3,9450				
Variância	,108				
Desvio Padrão	,32839				
Mínimo	3,16				
Máximo	4,43				
Intervalo	1,27				
Intervalo interquartil	,54				
Assimetria	-,375			,427	
Curtose	-,727			,833	
	22h00 - 06h00			Média	3,1228
		95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	2,9660	
			Limite superior	3,2795	
		5% da média aparada	3,1662		
		Mediana	3,2900		
		Variância	,541		
		Desvio Padrão	,73533		
		Mínimo	1,13		
		Máximo	4,20		
		Intervalo	3,07		
		Intervalo interquartil	,75		
		Assimetria	-1,117	,258	
		Curtose	,539	,511	

Tabela G.5 Estatísticas descritivas do índice WBGT nos três turnos.

		<b>Descritivos</b>				
	Turnos		Estatística		Erro Padrão	
WBGT	06h00 - 14h00	Média		20,9404	,20031	
		95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	20,5391		
			Limite superior	21,3416		
		5% da média aparada		20,9215		
		Mediana		21,0000		
		Variância		2,287		
		Desvio Padrão		1,51231		
		Mínimo		16,80		
		Máximo		24,60		
		Intervalo		7,80		
		Intervalo interquartil		1,65		
		Assimetria		,097		,316
		Curtose		,682		,623
			14h00 - 22h00	Média		21,6733
95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior			21,1084		
	Limite superior			22,2383		
5% da média aparada				21,6833		
Mediana				21,7000		
Variância				2,289		
Desvio Padrão				1,51292		
Mínimo				18,20		
Máximo				24,80		
Intervalo				6,60		
Intervalo interquartil				1,07		
Assimetria				-,012		,427
Curtose				,276		,833
	22h00 - 06h00			Média		19,0000
		95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	18,5867		
			Limite superior	19,4133		
		5% da média aparada		18,9675		
		Mediana		18,9000		
		Variância		3,761		
		Desvio Padrão		1,93943		
		Mínimo		14,90		
		Máximo		23,10		
		Intervalo		8,20		
		Intervalo interquartil		2,90		
		Assimetria		,259		,258
		Curtose		-,696		,511

Tabela G.6 Estatísticas descritivas do índice PPD nos três turnos.

**Advertências**

PPD é constante quando Turnos = 14h00 - 22h00. Ele será incluído nas caixas produzidas, mas outra saída será omitida.

**Descritivos<sup>a</sup>**

Turnos		Estatística		Erro Padrão			
PPD	06h00 - 14h00	Média		89,7368	2,6540		
		95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	84,4203			
			Limite superior	95,0534			
		5% da média aparada		92,0419			
		Mediana		100,0000			
		Variância		401,483			
		Desvio Padrão		20,03704			
		Mínimo		27,00			
		Máximo		100,00			
		Intervalo		73,00			
		Intervalo interquartil		11,00			
		Assimetria		-1,809	,316		
		Curtose		1,845	,623		
			22h00 - 06h00	Média		93,2529	1,7074
				95% Intervalo de Confiança para Média	Limite inferior	89,8588	
Limite superior	96,6470						
5% da média aparada				95,6513			
Mediana				100,0000			
Variância				253,610			
Desvio Padrão				15,92513			
Mínimo				32,00			
Máximo				100,00			
Intervalo				68,00			
Intervalo interquartil				2,00			
Assimetria				-2,465	,258		
Curtose				4,840	,511		

a. PPD é constante quando Turnos = 14h00 - 22h00. Foi omitida.