



Instituto Superior de
Engenharia de Coimbra

2013

Instituto Politécnico de Coimbra
INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE COIMBRA

MESM AVALIAÇÃO DE AMBIENTES TÉRMICOS QUENTES

Avaliação de Ambientes Térmicos Quentes

MESTRADO EM EQUIPAMENTOS E SISTEMAS MECÂNICOS

AUTOR | Telmo Filipe Cruz Estrela

ORIENTADOR | Prof. Doutor Avelino Virgílio de Oliveira
COORDINADOR | Prof. Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar

Coimbra, setembro, 2013

Avaliação de Ambientes Térmicos Quentes

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em
Equipamentos e Sistemas Mecânicos

Autor

Telmo Filipe Cruz Estrela

Orientador

Prof. Doutor **Avelino Virgílio Fernandes Monteiro de Oliveira**

Professor Adjunto do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Coorientador

Prof. Doutor **Adélio Manuel Rodrigues Gaspar**

Professor Auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Coimbra, setembro, 2013

“Somos feitos de carne, mas temos de viver como se fôssemos de ferro.”
(Sigmund Freud)

AGRADECIMENTOS

Isaac Newton um dia proferiu, “Se cheguei até aqui foi porque me apoiei no ombro dos gigantes”, e a realização deste projeto não teria sido possível sem o apoio de vários intervenientes. Como tal, queria deixar os meus sinceros agradecimentos às várias pessoas e entidades que contribuíram para a realização desta dissertação, entre as quais:

Ao Instituto Superior de Engenharia de Coimbra e à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, pela disponibilidade prestada no empréstimo dos equipamentos utilizados na realização do presente projeto.

Aos professores Avelino Oliveira e Adélio Gaspar que na qualidade de orientador e coorientador, respetivamente, prestaram o seu acompanhamento durante o projeto.

A todas as empresas visitadas e que por razões de confidencialidade não podem ser proferidas, queria prestar os meus sinceros agradecimentos pela forma como me receberam.

A todos os colaboradores dessas empresas, pela forma prestável que se ofereceram para colaboram nos estudos e pela troca de impressões.

A todos aqueles que de uma forma direta ou indireta estiveram presentes e que me acompanharam ao longo deste percurso académico, o meu sincero reconhecimento.

Aos meus padrinhos pelo apoio incondicional, amizade, incentivos e por terem sempre acreditado em mim, mesmo quando eu já não o fazia, obrigado por tudo.

Por fim, quero deixar os meus maiores agradecimentos para aqueles que nesta vida têm lutado para oferecer aos seus filhos a oportunidade de construírem um futuro, os meus sinceros agradecimentos aos meus pais e muito obrigado por tudo.

RESUMO

Na continuidade de trabalhos anteriormente desenvolvidos, o domínio do presente trabalho enquadra-se na temática sobre Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho através da caracterização térmica de locais de trabalho associados a uma elevada exposição ao calor por parte dos trabalhadores, nos quais se destacam locais do sector do vidro, cerâmica e fundição. A estratégia passa por alargar o conjunto de avaliações físicas de locais de trabalho nesses sectores e averiguar a importância desta temática na indústria portuguesa.

Deste trabalho resulta um total de 26 novos locais analisados, dos quais 13 pertencem ao sector da cerâmica, 9 ao sector da fundição, 3 ao sector do vidro e 1 ao sector da panificação. Juntando aos 42 locais analisados em trabalhos anteriores, o presente trabalho analisa um total de 68 locais de trabalho dos diversos sectores da indústria portuguesa, onde existe a possibilidade dos trabalhadores presenciarem situações de stress térmico.

Como ferramentas de auxílio, recorre-se a um conjunto de normas em que se destaca a Norma *ISO 7243:1989* e a Norma *ISO 7933:2004*, para implementar critérios e metodologias de avaliação para ambientes térmicos quentes.

Para aplicar a metodologia de avaliação apresentada na Norma *ISO 7933:2004*, resulta um programa de cálculo em linguagem *Matlab*, desenvolvido para ultrapassar a complexidade de cálculos desta metodologia.

Realiza-se ainda uma análise comparativa dos resultados obtidos com a aplicação das duas versões da Norma *ISO 7933*, versão de 1989 e versão de 2004. As duas versões derivam da aplicação de dois índices térmicos distintos, nomeadamente o Índice SR (1989) e o Índice PHS (2004).

Palavras-chave

Stress Térmico, Índice WBGT, Índice da Sobrecarga Térmica Prevista, Indústria Portuguesa, Ambientes Térmicos Quentes, Balanço Térmico do Corpo; Taxa de Sudação, Temperatura Corporal.

ABSTRACT

In continuation of previously developed work, the present work falls into the domain of the Safety and Health at Work through the thermal characterization of workplaces in which workers are exposed to large amounts of heat, primarily in the local glass, ceramic and foundry sectors. The strategy is to broaden the range of physical assessments of workplaces in these sectors and to investigate the importance of this issue in the portuguese industry.

This work results in a total of 26 sites being analyzed, of which 13 belong to the ceramics industry, 9 for foundry sector, 3 associated with the glass sector and 1 to the bakery sector. Joining the 42 locations analyzed in previous studies, the present work analyzes a total of 68 workplaces in various sectors of portuguese industry, where there is the possibility of workers experiencing situations in which there is heat stress.

As a support tool to a set of rules that implement criteria and evaluation methodologies for application in hot thermal environments, highlighting the *ISO 7243:1989* and *ISO 7933:2004*.

To apply the evaluation methodology presented in *ISO 7933:2004*, arises a calculation program in Matlab language, developed to overcome the complexity of calculations of this methodology.

It is also conducts a comparative analysis of the results obtained with the application of the two versions of *ISO 7933*, version 1989 and 2004. The two versions are resulting from the application of two different thermal indexes, namely the SR Index (1989) and the PHS Index (2004).

Keywords

Heat Stress, WBGT Index, Predicted Heat Strain Index, Portuguese Industry, Thermal Hot Environments, Thermal Balance of Body, Sweating Rate, Core Body Temperature.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO.....	II
ABSTRACT	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABELAS E QUADROS.....	IX
ÍNDICE DE GRÁFICOS	X
SIMBOLOGIA E SIGLAS	XI
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Síntese De Conteúdos	5
2. BALANÇO TÉRMICO DO CORPO HUMANO E SEUS PRINCÍPIOS FISIOLÓGICOS.....	7
2.1. Introdução	7
2.2. Mecanismos Físicos De Transferência De Calor.....	8
2.3. Termorregulação	9
2.4. Limites Extremos De Temperatura Toleráveis E Efeitos Do Calor Sobre O Ser Humano	11
2.5. Medidas De Prevenção Contra A Exposição Ao Calor	14
3. ÍNDICES TÉRMICOS PARA CARACTERIZAR AMBIENTES TÉRMICOS QUENTES.....	16
3.1. Introdução	16
3.2. Índices de Caracterização De Ambientes Térmicos Quentes	17
3.2.1. Temperatura Efetiva (ET).....	17
3.2.2. Temperatura Efetiva Corrigida (CET).....	18
3.2.3. Temperatura Equivalente (EqT)	19
3.2.4. Calor Equivalente (EqW)	20
3.2.5. Temperatura Operativa (OT).....	20

3.2.6.	Taxa De Sudação Prevista Para Quatro Horas (P4SR)	21
3.2.7.	Temperatura Resultante (RT).....	23
3.2.8.	Índice De Stress Por Calor (HSI)	24
3.2.9.	Índice de Oxford (WDI).....	25
3.2.10.	Temperatura De Globo E De Bolbo Húmido (WBGT)	26
3.2.11.	Índice De Tensão Térmica (TSI).....	28
3.2.12.	Índice Equatorial De Conforto (ECI)	28
3.2.13.	Índice De Tensão Relativa (RSI).....	29
3.2.14.	Índice De Stress Térmico (ITS).....	30
3.2.15.	Tempo Limite De Exposição Fisiológico (PHEL)	32
3.2.16.	Índice De Sudação Requerida (SR).....	32
3.2.17.	Índice Da Tensão De Calor Prevista (PHS)	35
3.2.18.	Limite De Trabalho Térmico (TWL)	35
4.	PRINCIPAIS REFERÊNCIAS NORMATIVAS	37
4.1.	Norma ISO 7243:1989	37
4.1.1.	Princípios E Generalidades Da Norma ISO 7243:1989	37
4.1.2.	Mediação Dos Parâmetros Característicos Do Ambiente	38
4.1.3.	Temperatura De Bolbo Húmido Natural (T_{bhn}).....	39
4.1.4.	Temperatura De Globo (T_g)	40
4.1.5.	Temperatura De Bolbo Seco (T_a).....	41
4.1.6.	Determinação Da Taxa Metabólica (M).....	41
4.2.	NORMA ISO 7933:2004.....	43
4.2.1.	Desenvolvimento Do Modelo Da Sobrecarga Térmica Prevista (PHS)	43
4.2.2.	Pontos Revistos Para A Criação Do Novo Modelo De Cálculo	44
4.2.3.	Validação Do Modelo PHS	48
4.2.4.	Conclusões Sobre O Modelo PHS	48
4.2.5.	Princípios Do Método De Avaliação Da Norma ISO 7933:2004	49
4.2.6.	Principais Etapas De Cálculo Da Norma ISO 7933:2004.....	49
4.2.7.	Interpretação Da Taxa De Sudação Requerida	52
4.2.7.1.	Análise Das Situações De Trabalho	53
4.2.7.2.	Determinação Do Tempo Máximo De Exposição	53

5. CARATERIZAÇÃO DE AMBIENTES TÉRMICOS QUENTES DE LOCAIS DE TRABALHO DA INDÚSTRIA PORTUGUESA	55
5.1. Introdução	55
5.2. Metodologia De Avaliação	55
5.3. Quantificação dos Diferentes Parâmetros	56
5.3.1. Medição E Quantificação Dos Parâmetros Característicos Do Ambiente	56
5.3.2. Quantificação Dos Parâmetros Individuais	58
5.4. Dificuldades	59
5.5. Resultados	60
5.5.1. Locais analisados	60
5.5.2. Apresentação E Interpretação Dos Resultados Com Base No Índice Térmico WBGT 62	
5.5.3. Tempos De Repouso	68
5.5.4. Análise Do Isolamento Térmico Do Vestuário	69
5.5.5. Apresentação E Interpretação Dos Resultados Com Base No Índice PHS	69
5.6. Comparação Dos Resultados Conseguídos Utilizando As Duas Versões Da Norma ISO 7933	78
6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	84
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
8. ANEXOS	
Anexo A – Monitor E Sensor De Stress Térmico WBGT	
Anexo B – Valores De Referência Para Avaliar O Metabolismo Nos Trabalhadores Através Da Observação	
Anexo C – Valores De Referencia Do Isolamento Térmico Do Vestuário	
Anexo D – Informação Sobre Os Novos Locais De Trabalho Analisados	
Anexo E – Expressões De Cálculo Necessária Para O Cálculo Do Balanço Térmico	
Anexo F – Critérios Para Calcular O Tempo De Exposição Admissível Para Trabalhar Em Ambientes Quentes	
Anexo G – Programa De Cálculo Para Análise E Interpretação Da Norma <i>ISO 7933:2004</i>	
Anexo H – Resultados Da Análise Segundo A Norma <i>ISO 7933:2004</i>	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Acidentes de trabalho mortais por sector de atividade económica (adaptado do Gabinete de Estratégia e Planeamento).	3
Figura 1.2 - Acidentes de trabalho (mortais e não mortais) por sector de atividade económica (adaptado do Gabinete de Estratégia e Planeamento).	3
Figura 1.3 - Acidentes de trabalho (mortais e não mortais) na Indústria Transformadora (adaptado do Gabinete de Estratégia e Planeamento).	4
Figura 1.4 - Acidentes de trabalho (mortais e não mortais) por natureza da lesão (adaptado do Gabinete de Estratégia e Planeamento).	5
Figura 2.1 - Variação térmica circadiana (<i>Magalhães et al.</i> , 2001).	7
Figura 2.2 - Alterações fisiológicas (adaptado de <i>WHO</i> , 1969).	12
Figura 2.3 - Influência da aclimatização (adaptado de <i>WHO</i> , 1969).	14
Figura 3.1 - Representação original da Temperatura Efetiva no Diagrama Psicrométrico (<i>Yaglou</i> , 1923).	18
Figura 3.2 - Ábacos para a obtenção da Temperatura Efetiva Corrigida (<i>Auliciems e Szokolay</i> , 2007).	19
Figura 3.3 - Diagrama para o cálculo do Índice P4SR, para homens vestidos, com calções (adaptado de <i>McAriel et al.</i> , 1947).	22
Figura 3.4 – Diagrama da Temperatura Resultante (adaptado de <i>Missénard</i> , 1948).	23
Figura 3.5 - Diagrama psicrométrico com isolinhas TSI (<i>Lee</i> , 1958).	28
Figura 3.6 - Diagrama do Índice Equatorial de Conforto (<i>Webb</i> , 1959).	29
Figura 3.7 - Diagrama psicrométrico com isolinhas de RSI (<i>Lee</i> , 1963).	30
Figura 4.1 - Posicionamento dos sensores de temperatura.	39
Figura 5.1 - a) Anemómetro de copos <i>Testo</i> ; b) Sensor de temperatura <i>Testo</i> ; c) <i>Testo 400</i> . 57	

ÍNDICE DE TABELAS E QUADROS

Quadro 2.1 - Respostas hipotalámicas secundárias a alterações térmicas numa situação de calor.	11
Quadro 3.1 - Procedimento de cálculo do índice HSI (<i>Oliveira</i> , 1998).	24
Quadro 3.2 - Interpretação dos valores de HSI para um período de 8 horas de exposição (adaptado de <i>Encyclopaedia of Occupational Health and Safety</i> , 1998).	25
Quadro 3.3 - Níveis de WBGT acima dos quais o treino militar deve ser limitado (<i>Oliveira</i> , 1998).	26
Quadro 3.4 - Níveis de WBGT acima dos quais a atividade física deve ser limitada (adaptado de <i>USAF</i> , 2003).	27
Quadro 3.5 - Valores limite de exposição ao calor, recomendados em ambientes industriais (<i>Oliveira</i> , 1998).	27
Quadro 3.6 - Valores dos coeficientes de vestuário (<i>Oliveira</i> , 1998).	31
Quadro 3.7 - Valores do coeficiente solar (adaptado de <i>Auliciems e Szokolay</i> , 2007).	31
Quadro 3.8 - Valores limite para cada um dos critérios (adaptado da <i>ISO 7933</i> , 1989).	34
Quadro 4.1 - Valores de metabolismo e valores limite de WBGT (adaptado de <i>ISO 7243</i> , 1989).	38
Quadro 4.2 - Alturas normalizadas para a colocação dos sensores de temperatura.	39
Quadro 4.3 - Níveis de determinação da taxa metabólica em trabalhadores (adaptado da <i>ISO 8996:2004</i>).	42
Quadro 4.4 - Intervalos de validação do Índice PHS.	48
Quadro 5.1 - Classificação dos níveis de metabolismo (adaptado da <i>ISO 7243:1989</i>).	59
Tabela 5.1 - Novos locais analisados.	61
Tabela 5.2 - Tempos de repouso.	68

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 5.1 - Número de locais estudados por sector de atividade.	62
Gráfico 5.2 - Temperatura De Bolbo Seco [°C].	64
Gráfico 5.3 - Temperatura De Bolbo Húmido [°C].	65
Gráfico 5.4 - Temperatura De Globo[°C].	66
Gráfico 5.5 - WBGT [°C].	67
Gráfico 5.6 – Resultados Para Taxa de Sudação [W/m ²].	71
Gráfico 5.7 – Resultados do Débito Evaporativo [W/m ²].	73
Gráfico 5.8 – Resultados do Humedecimento Cutâneo [adm].	74
Gráfico 5.9 - Tempo máximo admissível de exposição para armazenamento de calor [min].	75
Gráfico 5.10 - Tempo máximo admissível de exposição para desidratação [min].	77
Gráfico 5.11 - Débito Evaporativo Previsto A/ACA [W/m ²].	79
Gráfico 5.12 - Débito Evaporativo Previsto A/ACP [W/m ²].	79
Gráfico 5.13 - Taxa De Sudação Prevista A/ACA [W/m ²].	80
Gráfico 5.14 - Taxa De Sudação Prevista A/ACP [W/m ²].	81
Gráfico 5.15 - Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Armazenamento De Calor A/ACA [min].	82
Gráfico 5.16 - Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Armazenamento De Calor A/ACP [min].	82
Gráfico 5.17 - Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Desidratação [min].	83

SIMBOLOGIA E SIGLAS

SIMBOLOGIA

Símbolo	Descrição	Unidades
ΔS	Variação de calor armazenado	[W/m ²]
α	Coeficiente relacionado com o tipo de vestuário utilizado	adm
η_{sc}	Eficiência de sudção	adm
A_{cl}	Área superficial do corpo humano	[m ²]
A_{Du}	Área superficial do corpo segundo DuBois	[m ²]
A_{et}	Tempo de exposição permitido	[min]
A_p	Parte da superfície do corpo coberta por vestuário refletor	adm
A_r	Área radiativa do corpo efetiva	adm
B_4SR	Taxa de sudção básica para quatro horas	[litros]
c_e	Calor latente da evaporação de água	[J/kg]
C_d	Troca de calor por condução	[W/m ²]
$C_{corr,cl}$	Correção para o isolamento térmico total dinâmico acima de 0,6clo	adm
$C_{corr,E}$	Correção para o índice de permeabilidade dinâmico	adm
$C_{corr,la}$	Correção para o isolamento térmico total de 0clo	adm
$C_{corr,tot}$	Correção para o isolamento térmico dinâmico em função do vestuário usado	adm
c_p	Calor específico do ar a pressão constante	[J/(kg·°C)]
C_{res}	Troca de calor sensível por respiração, convecção respiratória	[W/m ²]
C_v	Troca de calor por convecção	[W/m ²]
DLE	Tempo Limite De Exposição Admissível	[min]
D_{lim}	Tempo máximo de exposição permitido	[min]
$D_{máx}$	Limite máximo para a perda de água do organismo	[W·h/m ² ou g]
dS_{eq}	Armazenamento de calor associado ao aumento da temperatura corporal associado com a taxa metabólica	[W/m ²]
dSR	Calor acumulado	[W/m ²]
E	Troca de calor por evaporação	[W/m ²]
ECI	Índice equatorial de conforto	[°C]
$E_{máx}$	Débito evaporativo máximo	[W/m ²]
E_p	Débito evaporativo previsto	[W/m ²]
EqT	Temperatura equivalente	[°C]
E_{req}	Débito evaporativo requerido	[W/m ²]
E_s	Irradiância Solar	[W/m ²]
ET	Temperatura efetiva	[°C]
CET	Temperatura efetiva corrigida	[°C]
E_{res}	Troca de calor latente por respiração, evaporação respiratória	[W/m ²]
f_{cl}	Fator de área vestida	adm
F_{cl}	Eficiência térmica do vestuário, fator de redução das trocas de calor sensíveis devido ao uso de vestuário	adm

SIMBOLOGIA (continuação)

Símbolo	Descrição	Unidades
$F_{cl,R}$	Fator de redução da troca de calor derivado do vestuário usado	adm
F_r	Emissividade do vestuário refletor	adm
h	Somatório dos coeficientes de transferência de calor	$[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$
h_c	Coeficiente de transferência de calor por convecção	$[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$
h_{cdyn}	Coeficiente de transferência de calor por convecção entre o vestuário e a envolvente	$[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$
h_r	Coeficiente de transferência de calor por radiação	$[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$
HR	Humidade relativa	[%]
HSI	Índice de Belding e Hatch	[%]
I_a	Resistência térmica da camada superficial de ar	$[m^2 \cdot K/W]$
$I_{a\ dyn}$	Resistência térmica dinâmica da camada superficial	$[m^2 \cdot K/W]$
$I_{a\ st}$	Resistência térmica estática da camada superficial	$[m^2 \cdot K/W]$
I_{cl}	Isolamento térmico do vestuário	[clo]
$I_{cl\ dyn}$	Resistência térmica dinâmica do vestuário	$[m^2 \cdot K/W]$
$I_{cl\ st}$	Resistência térmica estática do vestuário	$[m^2 \cdot K/W]$
i_{mdyn}	Índice de permeabilidade dinâmica à humidade	adm
i_{mst}	Índice de permeabilidade estática à humidade	adm
$I_{tot\ dyn}$	Resistência térmica total dinâmica do vestuário	$[m^2 \cdot K/W]$
$I_{tot\ st}$	Resistência térmica total estática do vestuário	$[m^2 \cdot K/W]$
ITS	Índice de stress térmico	[g/h]
K_{cl}	Coeficiente dependente do tipo de vestuário utilizado	adm
K_p	Coeficiente dependente do tipo de vestuário utilizado	adm
K_{pe}	Coeficiente dependente da postura do corpo e extensão do terreno	adm
M	Metabolismo energético	$[W/m^2]$
M_m	Metabolismo energético médio por unidade de superfície de corpo nu	$[W/m^2]$
OT	Temperatura operativa	$[^\circ C]$
P_{4SR}	Taxa de sudação prevista para quatro horas	[litros]
p_a	Pressão parcial do vapor de água	[kPa]
$p_{sk,s}$	Pressão parcial de vapor de água à temperatura da pele	[kPa]
PHL	Tempo limite de exposição fisiológico	[horas]
$Q_{m\acute{a}x}$	Limite máximo para armazenamento de calor no corpo	$[W \cdot h/m^2]$
$\bar{R}$	Energia média radiante incidente	$[W/m^2]$
R	Troca de calor por radiação	$[W/m^2]$
r_p	Eficiência da evaporação do suor	adm
r_{req}	Eficiência da evaporação do suor da pele	adm
R_s	Carga solar	$[W/m^2]$
R_T	Resistência da camada de ar e do vestuário à evaporação	$[m^2 \cdot kPa/W]$
R_{tdyn}	Resistência total de evaporação entre a camada limite de ar e o vestuário	$[m^2 \cdot kPa/W]$

SIMBOLOGIA (continuação)

Símbolo	Descrição	Unidades
S	Calor armazenado no corpo	[W/m ²]
S _{eq}	Calor armazenado no corpo que contribuí para o aumento da temperatura corporal associado com a taxa metabólica	[W/m ²]
Sw	Taxa de sudção	[W/m ²]
Sw _p	Taxa de sudção prevista	[W/m ²]
Sw _{req}	Taxa de sudção requerida	[W/m ²]
t _a	Temperatura do ar inspirado	[°C]
T _a	Temperatura de bolbo seco	[°C]
T _{bh}	Temperatura de bolbo húmido	[°C]
T _{bhn}	Temperatura de bolbo húmido natural	[°C]
t _{cr}	Temperatura corporal interna	[°C]
t _{cr,eq}	Temperatura corporal interna em função do metabolismo	[°C]
t _{cr,eq i}	Temperatura corporal interna em função do metabolismo, no instante t _i	[°C]
t _{cr,eq i-1}	Temperatura corporal interna em função do metabolismo, no instante t _{i-1}	[°C]
t _{cl}	Temperatura da camada superficial do vestuário	[°C]
t _{ex}	Temperatura do ar expirado	[°C]
T _g	Temperatura de globo	[°C]
T _m	Temperatura média radiante	[°C]
$\bar{T}_r$	Temperatura média radiante absoluta	[K]
T _r	Temperatura radiante	[°C]
T _{re}	Temperatura rectal	[°C]
T _{re,máx}	Temperatura rectal máxima	[°C]
t _{sk}	Temperatura média da superfície da pele	[°C]
T _{sk}	Temperatura média da pele	[°C]
T _{sk,i}	Temperatura média da pele no instante t _i	[°C]
T _{sk,i-1}	Temperatura média da pele no instante t _{i-1}	[°C]
T _{sk,eq}	Temperatura média da pele do estado estacionário	[°C]
T _{sk,eq cl}	Temperatura média da pele do estado estacionário, para um indivíduo “vestido”	[°C]
T _{sk,eq nu}	Temperatura média da pele do estado estacionário, para um indivíduo “nu”	[°C]
TWL	Limite de trabalho térmico	[W/m ²]
V	Caudal mássico da respiração	[kg/s]
v _{a0}	Velocidade de referência	[m/s]
v _a	Velocidade do ar	[m/s]
v _{ar}	Velocidade relativa do ar	[m/s]
v _w	Velocidade da caminhada	[m/s]

SIMBOLOGIA (continuação)

Símbolo	Descrição	Unidades
X	Coefficiente X do índice Equatorial de Conforto	adm
Y	Coefficiente Y do índice Equatorial de Conforto	adm
w	Fração equivalente da superfície da pele	adm
W	Trabalho mecânico externo	[W/m ²]
w _a	Humidade específica do ar inspirado	[kg _{água} /kg _{ar seco}]
W _b	Massa corporal	[kg]
WBGT	Índice térmico WBGT	[°C]
WBGT _e	Índice térmico WBGT exterior	[°C]
WBGT _i	Índice térmico WBGT interior	[°C]
w _{ex}	Humidade específica do ar expirado	[kg _{água} /kg _{ar seco}]
WDI	Índice de Oxford	[°C]
w _{máx}	Humedecimento cutâneo máximo	adm
w _p	Humedecimento cutâneo previsto	adm
w _{req}	Humedecimento cutâneo requerido	adm

SIGLAS

AIHA	American Industrial Hygiene Association
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
ASHVE	American Society of Heating and Ventilating Engineers
B4SR	Basic 4-hours Sweat Rate
CET	Corrected Effective Temperature
ECI	Equatorial Comfort Index
EqT	Equivalent Temperature
EqW	Equivalent Warmth
ET	Effective Temperature
GUI	Graphical User Interface
HDI	Heat Stress Index
HSE	Health and Safety Executive
ISO	International Organization for Standardization
ITS	Index Thermal Stress
OT	Operative Temperature
P4SR	Predicted 4-hours Sweat Rate
PHL	Physiological Heat Exposure Limits
PHS	Predicted Heat Strain
RSI	Relative Strain Index
SR	Sudação Requerida
RT	Resultant Temperature
TSI	Thermal Strain Index
TWL	Thermal Work Limit
USAF	United States Air Force
WBGT	Wet Bulb Globe Temperature
WHO	World Health Organisation

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

As características térmicas do ambiente que rodeia o Homem sofrem constantemente variações. Para permitir a sua sobrevivência, o corpo desenvolveu mecanismos termorreguladores que ajudam a manter a sua temperatura interna praticamente constante, mesmo que ocorram variações térmicas significativas no seu exterior. Consoante o esforço necessário para garantir a manutenção da temperatura interna do corpo, podem ser observadas três situações distintas: numa condição de Conforto Térmico, não existe a necessidade de um esforço significativo para a manutenção da temperatura corporal; numa situação de Desconforto Térmico, o esforço necessário para manter a temperatura corporal é reduzido; enquanto, numa situação de Tensão Térmica o esforço necessário para garantir a manutenção da temperatura interna do corpo é bastante significativo, podendo interferir com a capacidade de concentração e com o rendimento na execução de uma tarefa e, numa situação extrema, isto é, numa situação de Stress Térmico, o sistema termorregulador pode não ser suficiente para garantir o equilíbrio térmico do corpo colocando a saúde do trabalhador em risco, devendo limitar o tempo de exposição (*WHO*, 1969).

Em determinados sectores da Indústria é frequente averiguar a existência de situações de Stress Térmico, derivada à excessiva exposição dos trabalhadores a condições termicamente severas. Como resultado, os níveis de concentração, a capacidade física e a saúde dos trabalhadores são afetadas, comprometendo a sua segurança e reduzindo a sua produtividade.

Numa situação de exposição a um ambiente severo, o trabalhador experimentará numa primeira fase uma vasodilatação e um aumento do ritmo cardíaco, aos quais se seguirá a ativação das glândulas sudoríparas com o consequente aumento da taxa de sudação. Em casos extremos os mecanismos anteriormente descritos deixam de ser suficientes para garantir o equilíbrio térmico do corpo e como consequência verificar-se-á um aumento da temperatura corporal (*WHO*, 1969).

Na avaliação de situações de Stress Térmico, o ideal seria medir diretamente no trabalhador os indicadores fisiológicos de stress (taxa de sudação, temperatura corporal, níveis de desidratação, entre outros), o que facilitaria a identificação de situações de risco. No entanto, por razões conhecidas, a medição direta desses indicadores nem sempre é possível. Surge assim, a necessidade de desenvolver índices (indicadores) que possibilitem a avaliação dos níveis de tensão térmica de um trabalhador em função da sua atividade física e das condições do ambiente de trabalho.

Todos os ambientes de trabalho estão sujeitos à influência de fatores físicos, químicos e biológicos. A procura pelo conforto nesses locais é uma tarefa continuamente executada pelos

trabalhadores, uma vez que isso pode afetar diretamente a sua saúde e interferir com a sua concentração, refletindo-se numa diminuição de produtividade. Com o decorrer dos anos as exigências nas condições de trabalho, qualidade de vida e segurança, têm vindo a aumentar, evidenciando cada vez mais a importância dada ao local trabalho.

Neste contexto, foram criados conteúdos legislativos que nos ajudam a prevenir das situações de risco, possíveis de serem experimentadas pelo trabalhador no seu local de trabalho. A nível da Comunidade Europeia destaca-se a *Diretiva n.º 89/391/CEE* relativa à aplicação de medidas destinadas a promover a melhoria da segurança e saúde dos trabalhadores no trabalho, a *Diretiva n.º 89/654/CEE* relativa às prescrições mínimas de segurança e de saúde para os locais de trabalho, a *Diretiva n.º 2001/45/CE* (que altera a *Diretiva n.º 95/63/CE*, que já tinha alterado a *Diretiva n.º 89/655/CEE*), relativa às prescrições mínimas de segurança e de saúde para a utilização pelos trabalhadores de equipamentos de trabalho no trabalho, a *Diretiva n.º 89/656/CEE* relativa às prescrições mínimas de segurança e de saúde para a utilização pelos trabalhadores de equipamentos de proteção individual no trabalho, a *Diretiva n.º 92/57/CEE* relativa à segurança nos estaleiros temporários ou móveis de construção civil e obras públicas, a *Diretiva n.º 92/58/CEE* relativa às prescrições mínimas para a sinalização de segurança e de saúde no trabalho e as *Diretivas n.º 92/91/CEE* e *n.º 92/104/CEE* relativas às prescrições mínimas destinadas a melhorar a proteção em matéria de segurança e saúde dos trabalhadores das indústrias extrativas.

Em Portugal, os aspetos relacionados com a Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho têm sofrido uma evolução. A preocupação das empresas em zelar pela saúde e segurança dos seus colaboradores tem aumentado, em parte também porque surgiram um conjunto de Decretos-Lei que as “obrigam” a ter um maior zelo pelos seus colaboradores. Com esse avanço, é de esperar que o número de acidentes de trabalho venha a reduzir com o passar dos anos, reflexo da implementação da legislação vigente. As Figuras 1.1 e 1.2 apresentam dois gráficos com o número de acidentes registados nos últimos anos por sector de atividade, como forma de evidenciar essa situação.

Na Figura 1.1 observa-se que os sectores da Construção e da Indústria Transformadora são aqueles que apresentam maior mortalidade como consequência de acidentes de trabalho e que estes têm vindo a diminuir com o passar dos anos. Na Figura 1.2 observa-se que o maior número de acidentes de trabalho (mortais e não mortais) tem sido registado no sector da Indústria Transformadora, seguido do sector da Construção. Na Figura 1.3 é indicado o número de acidentes de trabalho registados apenas nos subsectores da Indústria Transformadora, verificando-se que a Indústria Metalúrgica de Base e de Produtos Metálicos foram aqueles que apresentaram o maior número de ocorrências, o que confirma a necessidade de implementar estratégias de Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho neste subsector da indústria, sem descuidar os restantes.

Analisando no geral os gráficos apresentados e comparando-os com os valores indicados por Oliveira em 1998, num trabalho de carácter idêntico, pode-se afirmar que desde então tem ocorrido uma redução no número de acidentes de trabalho. Importa também referir que nos anos referenciados por Oliveira (1998), existe a possibilidade dos valores estarem subestimados. A

importância dada pelas empresas a esta matéria nessa altura seria ainda reduzida, o que levaria a que nem todas as ocorrências de acidentes de trabalho fossem devidamente registadas.

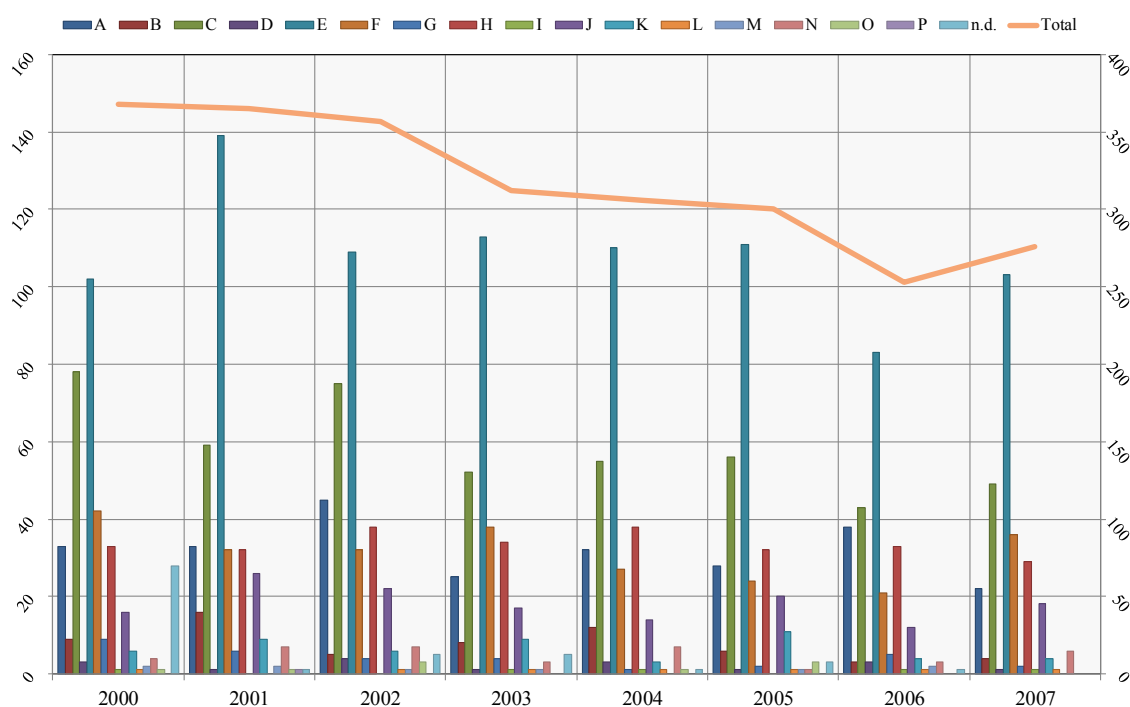


Figura 1.1 - Acidentes de trabalho mortais por sector de atividade económica (adaptado do Gabinete de Estratégia e Planeamento).

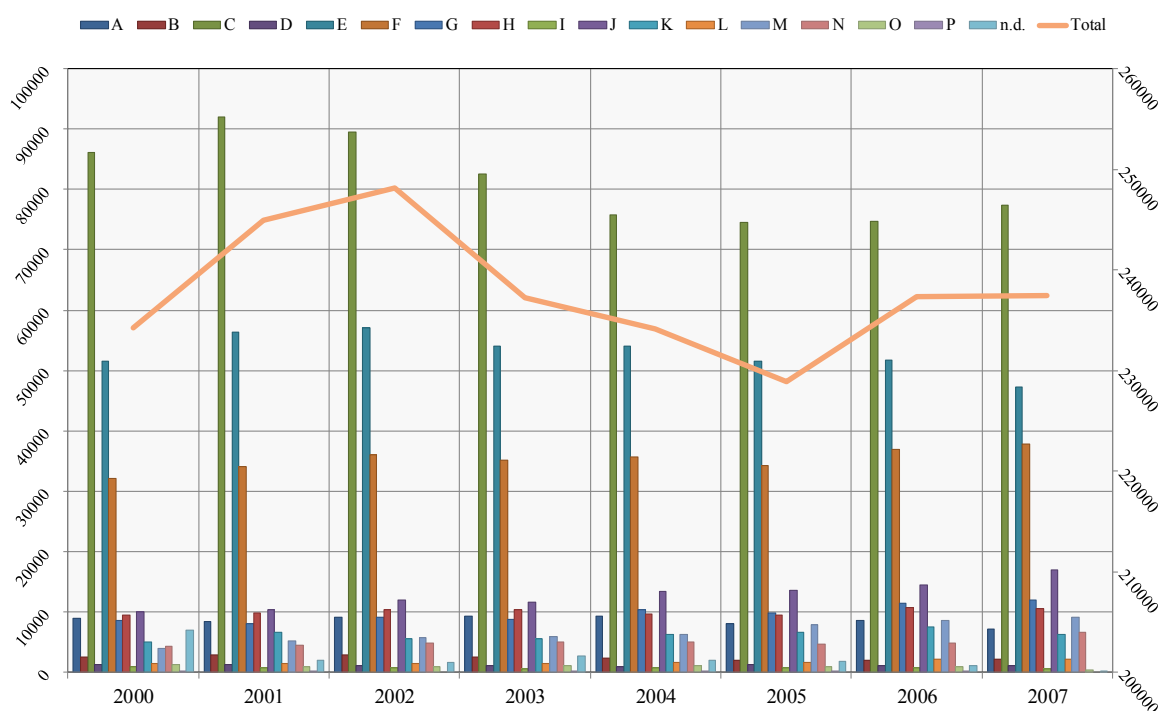


Figura 1.2 - Acidentes de trabalho (mortais e não mortais) por sector de atividade económica (adaptado do Gabinete de Estratégia e Planeamento).

Nota: A - Agricultura, Produção Animal, Caça, Silvicultura e Pesca; B - Indústrias Extrativas; C - Indústrias Transformadoras; D - Produção, Distribuição de Eletricidade, Gás e Água; E - Construção; F - Comércio por

Grosso e a Retalho; Reparação de Veículos Automóveis e Motociclos; G - Alojamento, Restauração e Similares; H - Transportes, Armazenamento e Atividades de Informação e de Comunicação; I - Atividades Financeiras; J - Atividades Imobiliárias e Alugueres; Atividades de Consultoria, Científicas, Técnicas e Similares; K - Administração Pública e Defesa; Segurança Social Obrigatória; L - Educação; M - Saúde e Ação Social; N - Outras Atividades de Serviços Coletivos, Sociais e Pessoais; O - Famílias com Empregados Domésticos; P - Atividades de Organismos Internacionais e Outras Instituições Extraterritoriais; n.d. – Ignorado.

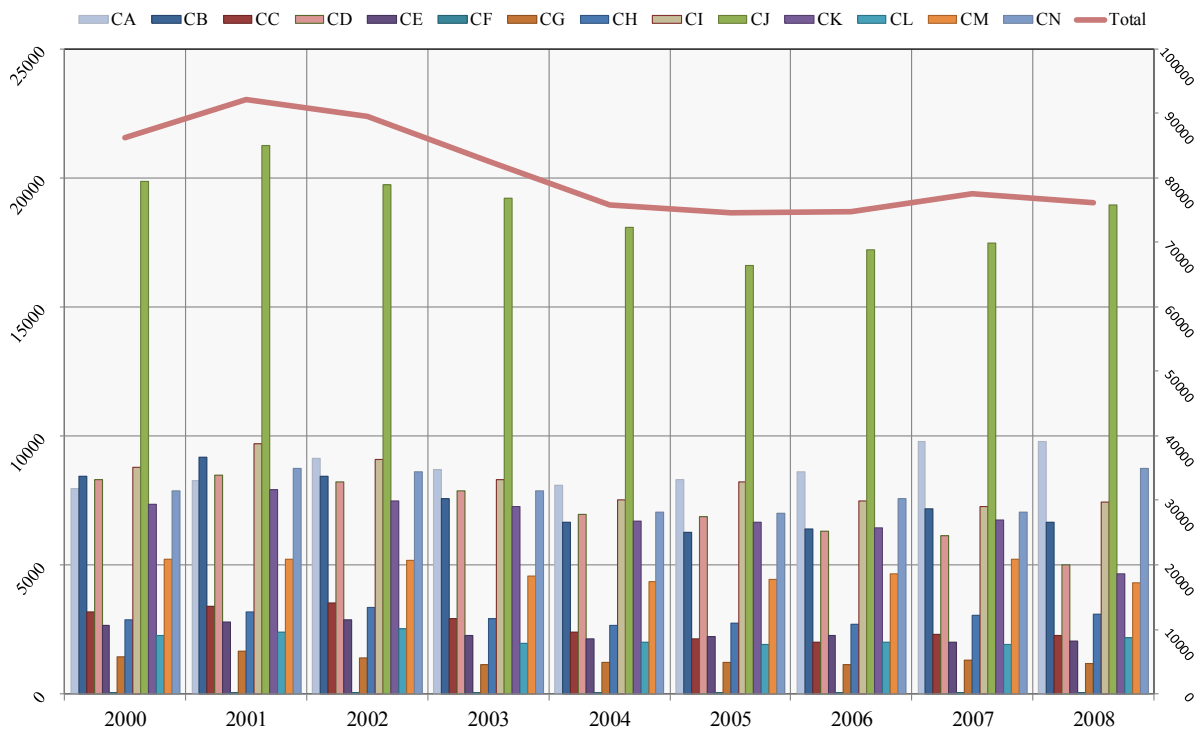


Figura 1.3 - Acidentes de trabalho (mortais e não mortais) na Indústria Transformadora (adaptado do Gabinete de Estratégia e Planeamento).

Nota: CA - Indústria Alimentar, das Bebidas e do Tabaco; CB - Indústria Têxtil; CC - Indústria do Couro e Seus Derivados; CD - Indústria da Madeira, da Cortiça e Seus Derivados; CE - Indústria da Pasta, Papel, Artigos de Cartão, Edição e Impressão; CF - Fabrico de Coque, Produtos Petrolíferos Refinados e Combustão Nuclear; CG - Fabrico de Produtos Químicos e Fibras Sintéticas e Artificiais; CH - Fabrico de Artigos de Borracha e Matérias Plásticas; CI - Fabrico de Outros Produtos Minerais Não Metálicos; CJ - Indústria Metalúrgica de Base e Produtos Metálicos; CK - Fabrico de Máquinas e de Equipamento Não Especificado; CL - Fabrico de Equipamento Elétrico e de Ótica; CM - Fabrico de Material de Transporte; CN - Não Especificada.

O gráfico da Figura 1.4 apresenta o número de acidentes de trabalho ocorridos por natureza da lesão. Verifica-se que os efeitos de temperaturas extremas, luz e radiação, não estão associados ao maior número de acidentes registados. Importa referir que em muitas das outras situações a causa da lesão poderá estar indiretamente associada a situações de desconforto causadas por ambientes termicamente severos, que levam a uma diminuição da concentração do trabalhador e consequentemente a um aumento da probabilidade da ocorrência de acidentes de trabalho.

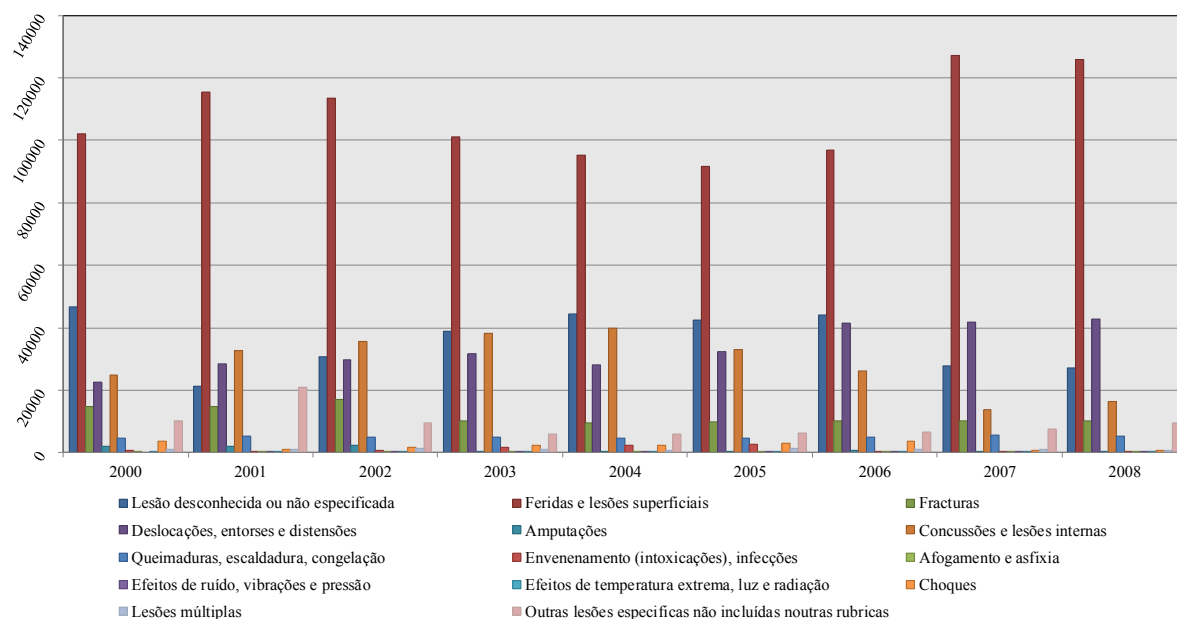


Figura 1.4 - Acidentes de trabalho (mortais e não mortais) por natureza da lesão (adaptado do Gabinete de Estratégia e Planeamento).

Numa perspetiva de continuidade de trabalhos anteriormente desenvolvidos, o presente estudo tem como objetivo principal atualizar o ponto de situação e analisar a evolução normativa relacionada com a temática dos ambientes térmicos ocupacionais.

O presente projeto enquadra-se assim no domínio da Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho e identifica-se com o estudo e caracterização de locais de trabalho normalmente associados à elevada exposição ao calor. Neste âmbito, objeto de alguns estudos pioneiros no nosso país destacam-se a nível industrial, os sectores do vidro, da cerâmica e as fundições, como aqueles em que, face às características da atividade produtiva, a probabilidade de ocorrência de stress térmico é mais elevada. O objetivo dominante do presente estudo é assim essencialmente dedicado à avaliação física de ambientes térmicos quentes na indústria portuguesa.

1.2. Síntese De Conteúdos

Neste capítulo foi feito o enquadramento da temática do presente trabalho e um enquadramento legislativo. Para destacar a importância da temática em discussão, foi apresentado um conjunto de gráficos que apresentam o número de acidentes de trabalho registados nos últimos anos, nos diversos sectores de atividade económica.

No capítulo 2 são abordados os conteúdos relacionados com o balanço térmico do corpo e seus princípios fisiológicos. É explicado de uma forma sucinta o processo de termorregulação do corpo humano, as respostas fisiológicas que este experimenta quando exposto a situações termicamente adversas, os limites extremos de temperaturas toleráveis e os efeitos do calor sobre o ser humano. Neste capítulo são ainda descritas as medidas preventivas a ter na exposição ao calor, para que os riscos para a saúde do trabalhador sejam reduzidos ou mesmo suprimidos.

No capítulo 3 é feita uma abordagem generalizada e sucinta dos diversos índices de caracterização térmica possíveis de aplicar em ambientes térmicos quentes. O enquadramento de cada um deles, nesta seção, é realizado segundo a sua ordem cronológica consoante o seu aparecimento. Possibilitando entender a evolução desta temática, bem como, a evolução que os índices de caracterização térmica tiveram, desde o aparecimento do primeiro índice térmico até ao mais atual. É de destacar que apenas são referenciados alguns dos principais índices térmicos conhecidos, sabendo que existiram muitos mais para além de aqueles que são apresentados.

No capítulo 4 são descritos os princípios e generalidades da Norma *ISO 7243:1989*, que é utilizada na realização do presente projeto, bem como, os procedimentos a ter na medição dos diferentes parâmetros característicos do ambiente e características exigidas aos equipamentos para a sua determinação. É apresentada a forma como a taxa metabólica dos trabalhadores deve ser determinada, que deverá obedecer aos requisitos definidos na Norma *ISO 8996:2004*. Neste capítulo é também descrito o processo de desenvolvimento do modelo da Sobrecarga Térmica Prevista (PHS) em função do modelo da Sudação Requerida (SR), com a indicação dos pontos que sofreram uma revisão. São apresentados os princípios e generalidades da Norma *ISO 7933:2004*, procedimentos de cálculo do balanço térmico do corpo, do cálculo da taxa de sudação e da determinação do tempo máximo admissível de exposição. Esta versão da norma utiliza o modelo da Sobrecarga Térmica Prevista (PHS).

No capítulo 5 é apresentada a componente prática do presente trabalho, sobre a caracterização de ambientes térmicos quentes de locais de trabalho nos diferentes sectores da indústria portuguesa. É mencionada a metodologia de avaliação utilizada e os procedimentos utilizados para quantificar os diferentes parâmetros característicos do ambiente e do trabalhador. São mencionadas as dificuldades encontradas durante a realização da componente prática do projeto. Apresentados e discutidos os resultados conseguidos. E ainda feita uma análise comparativa dos resultados obtidos, ao aplicar as diferentes versões da Norma *ISO 7933:1989*.

Por fim, no capítulo 6 são apresentadas as conclusões e ensinamentos do presente trabalho.

2. BALANÇO TÉRMICO DO CORPO HUMANO E SEUS PRINCÍPIOS FISIOLÓGICOS

2.1. Introdução

O ser humano é um ser homeotérmico, isto é, ele possui a capacidade de manter a sua temperatura corporal entre um determinado intervalo de temperaturas (praticamente constante), apesar das variações térmicas ocorridas no ambiente que o rodeia (homeostasia térmica). A temperatura corporal de equilíbrio ronda os 37°C (Braz, 2005), podendo existir variações ao longo do dia. A variação térmica circadiana é um fenómeno natural e geralmente não ultrapassa os 0,6°C (Muñoz *et al.*, 2004). O normal é a temperatura corporal ser menor pela manhã, aumentando ao longo do dia e atingir o seu máximo ao início da noite (Magalhães *et al.*, 2001).

Cientistas sugeriram uma teoria para o facto da temperatura corporal permanecer aproximadamente constante nos 37°C. Aparentemente esta temperatura é perfeita uma vez que é suficientemente elevada para prevenir o aparecimento de infeções fungosas, mas não suficientemente elevada para que o nosso metabolismo seja extremamente elevado, que nos obrigaria a estar constantemente a repor nutrientes.

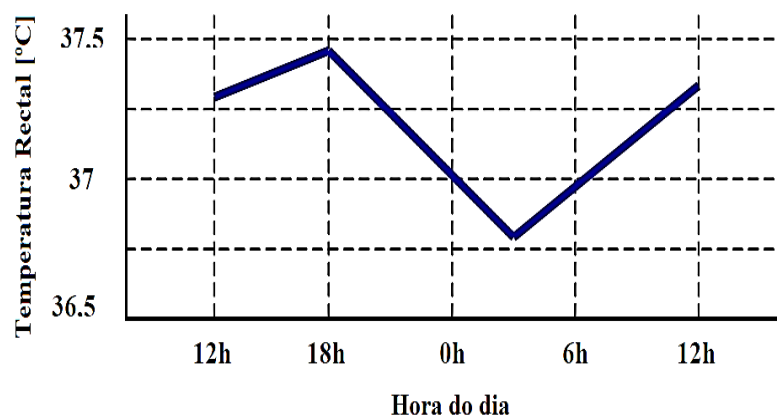


Figura 2.1 - Variação térmica circadiana (Magalhães *et al.*, 2001).

A temperatura corporal de equilíbrio é a temperatura neutra a ser mantida para que não exista a sensação de frio ou de calor, podendo variar de pessoa para pessoa. A temperatura superficial da pele numa situação de conforto pode variar entre os 31°C e os 34°C, dependendo da zona do corpo (Auliciems e Szokolay, 2007). À medida que a temperatura corporal se distancia da temperatura de equilíbrio, uma pessoa passa por diferentes respostas fisiológicas desencadeadas pelo sistema nervoso central que processa a informação recolhida pelos diferentes sensores distribuídos pelo corpo. A memorização da sensação recebida é estabelecida por comparação, com experiências vividas anteriormente, levando a reações e sensações de

conforto ou desconforto (*Chande, 2009*). Se a temperatura interna do corpo começar a diminuir, relativamente à temperatura neutra, ocorre numa primeira fase a vasoconstrição, verificando-se a perda de eficiência a partir dos 35°C e uma vez atingidos os 31°C entra-se numa zona letal. Caso ocorra um aumento da temperatura corporal, em relação à temperatura neutra, ocorre numa primeira fase a vasodilatação, iniciando-se o fenómeno de sudção a partir dos 37°C, verificando uma perda de eficiência a partir dos 39°C e atingindo-se uma temperatura letal a partir dos 43°C (*Taylor, 2006*).

O equilíbrio térmico do corpo é conseguido através do balanço térmico entre a produção, perda e armazenamento de calor. Se o calor produzido não for dissipado para o ambiente, a temperatura interna do corpo tende a aumentar, distanciando-se da temperatura de equilíbrio. Existe uma constante troca de calor entre a parte interna do corpo e a superfície da pele, que será depois dissipado para o ambiente por radiação, condução, convecção e evaporação. O balanço térmico do corpo pode ser expresso pela seguinte expressão:

$$M \pm R \pm C_v \pm C_d - E = \Delta S \quad [\text{W/m}^2] \quad (2.1)$$

onde, M [W/m^2] é a taxa metabólica, R [W/m^2] a troca de calor por radiação, C_v [W/m^2] a troca de calor por convecção, C_d [W/m^2] a troca de calor por condução, E [W/m^2] a troca de calor por evaporação e ΔS [W/m^2] a variação de calor armazenado.

Se S for positiva, a temperatura corporal tenderá a aumentar, mas caso seja negativa o inverso ocorrerá. A dissipação de calor dependerá dos fatores ambientais.

A termogénese é a energia sob a forma de calor que se gera ao nível dos tecidos vivos, sendo diretamente proporcional à taxa metabólica. A taxa metabólica depende de diversos fatores, sendo eles:

- Metabolismo basal¹ (para cada aumento da temperatura de 0,6°C, esta taxa aumenta aproximadamente 10%);
- Metabolismo associado à atividade desenvolvida;
- Metabolismo adicional, relacionado com efeitos a nível celular.

A contribuição de cada um dos tipos de metabolismo na taxa metabólica final, varia consoante o tipo de atividade desenvolvida.

2.2. Mecanismos Físicos De Transferência De Calor

O corpo humano troca constantemente calor com o meio que o rodeia, podendo absorver ou dissipar calor, dependendo do gradiente térmico entre eles. Essa troca de calor pode ser concretizada de uma forma sensível ou latente, através da radiação, condução, convecção, evaporação e respiração.

¹ **Metabolismo basal:** quantidade de calor produzida no estado de repouso em presença de um ambiente térmico neutro onde nenhuma transferência de calor ocorre entre o organismo e o meio ambiente.

A transferência de calor por radiação resulta da emissão de calor sob a forma de ondas eletromagnéticas emitidas por um determinado corpo. Este processo ocorre sempre que a temperatura de um corpo não corresponda ao zero absoluto.

A transferência de calor por condução é um mecanismo de transferência direta, daí ser necessário existir contacto físico entre os corpos envolvidos. O calor é transferido através da cinemática do movimento molecular.

O calor transferido por convecção resulta da transferência de calor entre um corpo e um fluido em movimento que, para o tema em discussão é o ar atmosférico. Assim, quanto maior for a velocidade do escoamento de ar sob o corpo, maior será a troca de calor por convecção.

O vestuário minimiza as perdas de calor por convecção e condução ao criar uma camada têxtil isolante e ao permitir a criação de uma camada de ar, na superfície corporal.

A transferência de calor também se processa através da evaporação de suor da superfície da pele e na respiração. Em ambas ocorre troca de calor sensível e latente. O vestuário dificulta a troca de calor por evaporação.

Em ambientes com temperaturas superiores a 36°C, a evaporação é o mecanismo exclusivo de perda de calor, dado que nessa situação a radiação, condução e convecção são ineficientes ou até têm o efeito inversamente desejado (*Magalhães et al.*, 2001). A sudorese, ato de produzir e libertar suor, inicia-se quando a temperatura corporal é superior a 37°C.

A aclimação do mecanismo de sudorese de um indivíduo consiste no mecanismo adaptativo decorrente da exposição persistente a temperaturas elevadas. Normalmente, num indivíduo não aclimatado a produção máxima de suor é de 1L/h, enquanto, num indivíduo termicamente aclimatado a produção de suor máxima pode atingir 2 a 3L/h, permitindo uma dissipação 10 vezes superior à taxa basal de produção de calor (*Magalhães et al.*, 2001).

Para além do aumento da quantidade de suor produzida, um indivíduo aclimatado possui uma capacidade de reabsorção iónica mais eficaz.

2.3. Termorregulação

A termorregulação é realizada por um sistema de controlo fisiológico constituído por termorreceptores centrais e periféricos (sensores térmicos), um sistema de condução aferente, o controlo central de integração dos impulsos térmicos e um sistema de respostas aferentes.

O hipotálamo anterior contém zonas com neurónios sensíveis ao calor e neurónios sensíveis ao frio (sensores térmicos). Estes são estimulados por variações da temperatura do sangue o que se traduz por um aumento da frequência dos impulsos emitidos por segundo. Existem dois recetores cutâneos térmicos, um sensível ao frio e outro sensível ao calor. A informação transmitida por estes recetores é enriquecida pela informação proveniente de recetores da dor, especificamente estimulados por variações extremas da temperatura. Os recetores térmicos localizam-se imediatamente abaixo da pele e distribuem-se em diferentes percentagens consoante a zona corporal. A informação dos recetores térmicos progride juntamente com a informação dos recetores de dor até ao hipotálamo. Os sinais provenientes de todos os tipos de

recetores citados anteriormente são integrados a nível do hipotálamo (centro integrador). Após a integração das diferentes informações e da sua comparação com o ponto de regulação térmica, são transmitidas informações para diversos órgãos ou sistemas eferentes dependendo do tipo de resposta a estimular (produção ou perda de calor).

Ao nível do sistema nervoso central, mais propriamente no córtex cerebral a percepção de variações da temperatura leva a alterações comportamentais, isto é, respostas voluntárias que são importantes na prevenção da hipotermia ou hipertermia. Essas respostas podem ser o deslocamento para zonas mais quentes ou frias, remoção ou adição de roupas, diminuição ou aumento da atividade e aumento ou diminuição da área de pele exposta.

O sistema nervoso autónomo é responsável pela regulação de múltiplos mecanismos essenciais para uma regulação eficiente da temperatura, nomeadamente:

- Mecanismo Cutâneo de Radiação: tónus vascular (vasoconstrição vs. vasodilatação);
- Mecanismo de Evaporação: sudorese e frequência respiratória;
- Metabolismo celular: consiste na produção de energia sob a forma de calor através da fosforilação oxidativa²;
- Lipólise da gordura castanha³;
- Mecanismo inibidor da condução e convecção: piloereção é um mecanismo de preservação de calor com particular significado nos animais.

O sistema nervoso somático comanda a contração muscular (fonte importante de energia térmica - termogénese muscular). Pode ser estimulado pelo córtex cerebral ou pode ser estimulado involuntariamente pelo hipotálamo.

A hipófise promove a libertação da hormona libertadora da Tiroxina⁴, que por sua vez, ao passar para a corrente sanguínea leva à libertação de Tirotoxina pela tiróide.

A Tirotoxina estimula o metabolismo celular, pelo que se percebe que uma diminuição ou aumento da sua produção origina, respetivamente, um aumento ou diminuição da energia térmica produzida.

Ao se sentir desconforto, o primeiro mecanismo fisiológico a ser ativado é a regulação do fluxo sanguíneos dos vasos da camada periférica do corpo (camada subcutânea) através da vasodilatação ou da vasoconstrição, reduzindo ou aumentando a resistência térmica dessa camada. Quando as perdas por convecção e radiação, somadas às perdas por respiração, não são suficientes para garantir o equilíbrio térmico, entra o mecanismo de transpiração. A

² **Fosforilação oxidativa** é um processo metabólico que utiliza energia libertada pela oxidação de nutrientes de forma a produzir trifosfato de adenosina (ATP).

³ **Lipólise da gordura castanha** (gordura termogénica) - A gordura castanha pode ser considerada uma fonte de termogénese (energia na forma de calor gerada ao nível dos tecidos vivos) química.

⁴ **Tiroxina** é um hormônio produzido e armazenado na glândula tiróide. Tem como função regular a velocidade do metabolismo e oxigenação dos tecidos.

transpiração faz-se por meio das glândulas sudoríparas, e o seu limite são as perdas de sais minerais e a fadiga das glândulas sudoríparas.

Quadro 2.1 - Respostas hipotalámicas secundárias a alterações térmicas numa situação de calor.

Vias Eferentes	Resposta
Glândulas sudoríparas	Perda de calor por evaporação
Estimulação das vias parassimpáticas e inibição das vias simpáticas periféricas	Vasodilatação
Inibição dos centros simpáticos centrais	Diminuição da taxa de metabolismo basal

2.4. Limites Extremos De Temperatura Toleráveis E Efeitos Do Calor Sobre O Ser Humano

A tolerância ao calor depende em grande parte do grau de humidade ambiente. Quando o ambiente é completamente seco, o mecanismo de evaporação é eficiente pelo que temperaturas externas de 65,5°C podem ser toleradas durante várias horas. Se o ar se encontrar saturado, a temperatura corporal começa a subir quando a temperatura externa é superior 34,4°C. Na presença de humidade intermédia, a temperatura corporal central máxima tolerada é de aproximadamente 40°C, enquanto a temperatura mínima ronda os 35,3°C (*Magalhães, 2001*).

Quando um indivíduo está exposto a ambientes com temperaturas elevadas, os sistemas termorreguladores promovem continuamente ações resistivas à tensão térmica. Estas situações tendem a criar sensações de desconforto levando entre muitos outros aspetos à diminuição de concentração, com a consequência do aumentando da probabilidade de ocorrência de acidentes e redução da produtividade. Em último caso afeta diretamente a saúde do indivíduo.

Os efeitos adversos do calor encontram-se com maior incidência em atividades militares e industriais (*Carter, 2007* e *Hudson, 2003*).

A Figura 2.2 ilustra a influência do stress térmico sobre a sobrecarga térmica. A Sobrecarga Térmica identifica-se com as alterações fisiológicas ou patológicas resultantes do stress térmico, que se traduzem num aumento da temperatura corporal, do ritmo cardíaco, da taxa de sudação, bem como de outro tipo de patologias como sejam a síncope de calor, desequilíbrio no balanço hídrico e salino, entre outros (*Oliveira, 1998*). Por sua vez, o stress térmico corresponde à quantidade de calor a ser dissipada para manter o equilíbrio térmico do corpo, verificando-se quando o sistema termorregulador deixa de ser eficaz na sua manutenção.

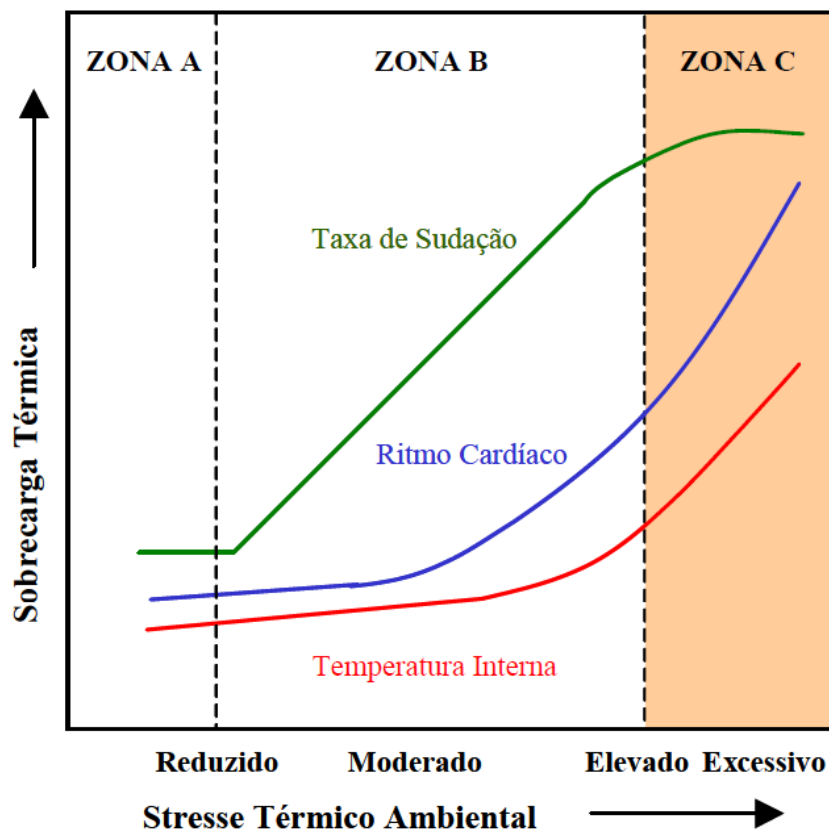


Figura 2.2 - Alterações fisiológicas (adaptado de *WHO*, 1969).

Foram elaborados diversos estudos com base em medições. Os seus resultados quando confrontados com as respostas fisiológicas ocorridas, mostraram existir uma relação entre as temperaturas elevadas e os níveis ou alterações que possam ser verificadas nas várias funções do corpo. São elas a temperatura da pele ou dos tecidos profundos do corpo (dão a indicação sobre o grau de tensão a que o sistema termorregulador está submetido), o ritmo cardíaco (permite rapidamente indicar o nível de resposta imposto ao sistema circulatório pela carga térmica ambiental ou de trabalho) e por fim a quantidade de suor produzida (reflete a tensão térmica) uma vez que a evaporação do suor é a meio mais eficiente de defesa contra a hipertermia (*Oliveira*, 1998).

São várias as “patologias” provenientes da exposição excessiva ao calor. Nos parágrafos seguintes apresenta-se uma súmula das patologias descritas na Norma *ISO 12894* relativa às alterações fisiológicas e patologias derivadas da exposição ao calor.

▪ Cãibras De Calor

As cãibras de calor resultam dum intenso esforço físico em ambientes com temperaturas elevadas. Sendo caracterizadas pela ocorrência de intensos espasmos nos músculos mais solicitados, nomeadamente na zona das pernas, braços e abdómen. Resultam de uma redução de líquidos e sódio e é mais comum ocorrer em indivíduos que não estejam completamente aclimatados.

- **Esgotamento Por Desidratação**

O esgotamento por desidratação resulta de uma carência de água no organismo, provocada pela perda de água por transpiração que não foi compensada pela ingestão de líquidos. Em condições temperadas, um indivíduo pode sobreviver até 7 dias sem ingestão de água, no entanto, em ambientes severos com baixo teor de humidade no ar, onde o suor é rapidamente evaporado da superfície da pele, o ser humano pode desidratar rapidamente sem se aperceber que está a transpirar.

- **Esgotamento Por Depleção Salina**

O esgotamento por depleção salina ocorre quando a ingestão de sal (cloreto de sódio) é insuficiente para repor as perdas. Numa situação de esforço físico intenso, um indivíduo exposto a um ambiente quente, pode perder uma elevada quantidade de cloreto de sódio pela transpiração, levando ao esgotamento por depleção de sal, caso determinados limites sejam ultrapassados. Os limites são menores e as perdas são maiores nos indivíduos não aclimatados, pois os indivíduos aclimatados proporcionam uma dieta que lhes permite a ingestão de quantidades de cloreto de sódio suficientes para colmatar alguma necessidade que possa ocorrer durante a sua atividade.

- **Síncope De Calor**

A síncope de calor é observada após um longo período de imobilização em ambientes quente, levando à concentração sanguínea na circulação venosa da pele e dos músculos. Essa situação leva a que o cérebro não receba oxigénio suficiente devido a uma descida da pressão arterial. Na ocorrência de síncope de calor, é sentida uma debilidade física caracterizada pelas sensações de tonturas, vertigens, náuseas e suores frios.

- **Golpe De Calor**

De todas as consequências para a saúde relacionadas com uma elevada exposição ao calor, o golpe de calor é o problema mais sério. O golpe de calor pode ocorrer em condições de stress térmico severo, quando a um ambiente com temperaturas elevadas está associada uma atividade física considerável. Neste contexto, a capacidade dos mecanismos de termorregulação pode ser atingida, ocorrendo desta forma uma elevação da temperatura corporal acima do nível de perigo.

- **Outros Efeitos**

Para além dos efeitos referidos anteriormente, a deficiência de suor é um outro fenómeno possível de ocorrer. Os sintomas consistem numa sensação de calor, esgotamento e uma aumento repentino do ritmo cardíaco, podendo levar ao colapso. Também os edemas de calor (dilatação dos pés e tornozelos) é outro cenário possível, ocorrendo principalmente em indivíduos não aclimatados. Por fim, as erupções cutâneas podem ocorrer em qualquer zona do corpo, mas preferencialmente nas áreas que se mantêm mais húmidas (virilhas, axilas, entre outros). Nestas áreas o suor não evapora provocando irritações que podem desencadear infeções caso não sejam devidamente tratadas (*Carter, 2007*).

2.5. Medidas De Prevenção Contra A Exposição Ao Calor

No sentido de minimizar os efeitos nocivos provocados pela exposição a ambientes quentes, medidas podem ser tomadas. Essas medidas consistem em atuar diretamente sobre a fonte de calor, ou sobre o ambiente de trabalho ou tomar medidas de proteção individual.

No primeiro caso recorre-se a sistemas de isolamento ou a barreiras de proteção para minimizar os ganhos térmicos associados à fonte de produção de calor. Já em casos em que o processo produtivo não necessite de uma atmosfera controlada, existe a possibilidade de utilizar dispositivos de climatização e ventilação para reduzir a severidade do local.

São várias as medidas de proteção individual que podem ser preconizadas. Em relação aos restantes métodos de atuação, este tipo de medidas deve ser sempre efetuado pela entidade empregadora, pois a sua implementação intervém diretamente com a proteção dos trabalhadores. Em seguida são apresentadas e discutidas de uma forma sucinta as medidas de proteção individual.

▪ Aclimação

A aclimação consiste num procedimento de adaptação fisiológica do organismo a situações de exposição prolongada em ambientes termicamente adversos.

Um indivíduo não aclimatado durante a primeira fase de exposição ao calor, apresenta um ritmo cardíaco elevado, uma elevada temperatura rectal e uma baixa sudação. Porém, após um tempo considerável de exposição, melhora a sua resistência ao calor, devido a vários ajustamentos fisiológicos que originam numa otimização do mecanismo de sudação, bem como uma redução da frequência cardíaca e da temperatura rectal (*Oliveira, 1998 e Hudson, 2003*). A Figura 2.3 demonstra a influência que o processo de aclimação pode ter na evolução do ritmo cardíaco, temperatura rectal e transpiração, num indivíduo.

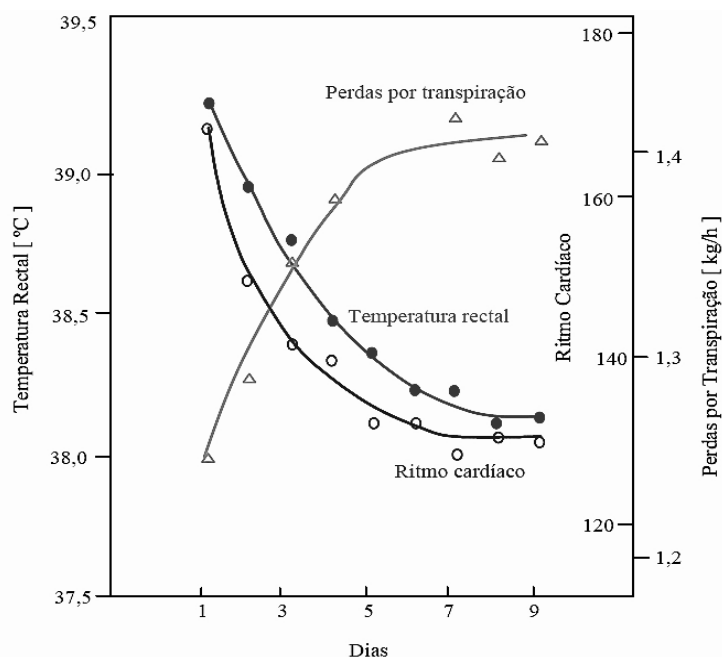


Figura 2.3 - Influência da aclimação (adaptado de *WHO, 1969*).

- **Preparação Física**

Uma melhor preparação física oferece ao trabalhador uma maior resistência física durante a realização de tarefas principalmente em ambientes termicamente severos onde o desgaste físico sentido pelo trabalhador é maior.

- **Reposição Hídrica E Eletrolítica**

Durante uma atividade física intensa, combinada com a exposição ao calor, ocorre uma perda significativa de água e sais minerais através da sudorese. A desidratação causada pelo esforço físico pode influenciar negativamente o desempenho do trabalhador. Dessa forma, é fundamental que seja feita uma boa reposição hídrica e eletrolítica.

- **Monitorização Médica**

A monitorização médica com recurso a exames médicos, constitui uma medida de prevenção fundamental, pelo que a sua realização principalmente a trabalhadores com idades mais avançadas e na admissão de novos trabalhadores, possibilitam diagnosticar problemas de saúde que possam ser agravados pela exposição ao calor.

Deve-se prestar atenção aos agentes tóxicos que existam no ambiente de trabalho e que reduzam a tolerância ao calor, nomeadamente o monóxido de carbono (Chande, 2009).

- **Equipamento De Proteção Individual**

A utilização de vestuário de proteção é muitas vezes necessário para evitar o sobreaquecimento do corpo humano, servindo como barreira à penetração de calor, mantendo a temperatura corporal dentro dos limites desejados.

O vestuário apropriado à proteção térmica deverá favorecer a reflexão de calor e reduzir trocas térmicas que originem ganhos de calor. Adicionalmente, o vestuário de proteção deve permitir a evacuação do calor gerado pelo corpo humano, mediante a evaporação de suor que é gerado para garantir a manutenção do equilíbrio térmico do corpo.

Em Portugal o *Decreto-Lei n.º 348/93* de 1 de Outubro e a *Portaria 988/93* de 6 de Outubro, definem as regras de utilização dos equipamentos de proteção individual contra vários riscos, porém devem-se privilegiar os meios técnicos de proteção coletiva e ainda as medidas, métodos ou processos de organização do trabalho na qual o trabalhador deve estar comprometido (Oliveira, 1998).

- **Limitação Do Tempo De Exposição**

A limitação do tempo de exposição tem como objetivo reduzir a sobrecarga térmica a níveis suportáveis pelo organismo humano. A determinação de critérios com limites rígidos de exposição é impossível de obter, pelas diferenças de carácter individual de tolerância, tipo de atividade desenvolvida, vestuário utilizado e circulação de ar no local de trabalho. Apesar disso, é possível recorrer a valores limite de exposição que reduzem os riscos para a saúde dos trabalhadores. Sempre que possível deve ser estipulado períodos de repouso de forma a reduzir o tempo de exposição a que o trabalhador está submetido.

3. ÍNDICES TÉRMICOS PARA CARACTERIZAR AMBIENTES TÉRMICOS QUENTES

3.1. Introdução

O stress térmico pode ser considerado como um estado psicofisiológico a que está submetido o trabalhador quando exposto a ambientes termicamente severos.

O trabalhador quando se encontra sujeito a condições que propiciam ocorrência de stress térmico, durante a sua atividade laboral, a sua capacidade de concentração é afetada e o risco de falha humana aumenta.

Ponderados estes factos, é fundamental desenvolver mecanismos de caracterização da exposição térmica em ambientes severos, nomeadamente metodologias de análise das condições ambiente, da atividade desenvolvida e do tempo de exposição.

Atualmente, a análise de stress térmico, bem como a sua determinação e prevenção está dividida em duas categorias: estudo do stress térmico em ambientes quentes e em ambientes frios. Como o presente trabalho é focalizado para a análise de ambientes quentes, apenas serão referidos Índices de Caracterização Térmica relacionados com a exposição ao calor.

Até aos dias de hoje, vários têm sido os desenvolvimentos para analisar as condições ambiente que interferem com a saúde do trabalhador quando exposto a ambientes termicamente severos e fixar um índice aceitável que possa caracterizar o ambiente térmico de trabalho. Para a caracterização de um ambiente térmico quente, são necessárias quatro grandezas fundamentais (*WHO*, 1969): a temperatura de bolbo seco (T_a), a temperatura de bolbo húmido (T_{bh}), a temperatura de globo negro (T_g) e a velocidade do ar (v_a). Estas variáveis são consideradas como sendo variáveis base, pois é a partir delas que se podem obter outras grandezas, tais como, a pressão de vapor de água, a temperatura média radiante e a temperatura de bolbo húmido natural (*Oliveira*, 1998). Outra informação também necessária no processo de análise de situações de stress térmico, é o isolamento térmico do vestuário (I_{cl}) e a classe de metabolismo (M).

A dificuldade de compatibilizar num único índice todos os fatores envolvidos na troca térmica entre o indivíduo e o meio que o rodeia é traduzida pelo elevado número de variáveis envolvidas. Tem sido difícil desenvolver um índice que para condições ambientais distintas, mas com a mesma solicitação térmica sobre o ser humano, apresente os mesmos resultados. As diferenças individuais também constituem um problema na concretização deste objetivo.

Na tentativa de encontrar um índice que permita ser utilizado num amplo conjunto de condições ambiente garantido resultados fiáveis, duas vias distintas têm sido seguidas. Uma sugere expressões ou monogramas com base empírica ou teórica, que estime a sobrecarga fisiológica numa larga faixa de condições de trabalho e/ou ambiente, enquanto que a outra

incorpora o desenvolvimento de equipamentos que permitem simular o efeito de um ou mais parâmetros sobre o ser humano (*Oliveira, 1998*).

Ao longo dos tempos, vários têm sido os índices propostos. No entanto, até aos dias de hoje ainda nenhum foi considerado suficiente para traduzir todas as combinações possíveis de temperatura seca, temperatura radiante, humidade, velocidade do ar, taxa metabólica e isolamento térmico do vestuário. O índice recentemente proposto para prever situações de stress térmico em ambientes quentes (Índice PHS), é considerado como o índice que melhor traduz estas combinações.

No subcapítulo seguinte são apresentados alguns dos principais índices associados a ambientes térmicos quentes, sendo alguns classificados como índices de stress térmico onde é considerado o esforço fisiológico e outros de sensação térmica onde é considerada a sensação de conforto térmico. A apresentação de cada um deles é feita segundo o seu aparecimento cronológico, possibilitando uma melhor compreensão da sua evolução com o decorrer dos anos.

3.2. Índices de Caracterização De Ambientes Térmicos Quentes

3.2.1. Temperatura Efetiva (ET)

Houghten e Yaglou, a partir de estudos desenvolvidos em laboratórios da *ASHVE* (1923), propuseram a Temperatura Efetiva (ET), determinada através da combinação entre a temperatura de bolbo seco, temperatura de bolbo húmido e velocidade do ar. Era representada por um conjunto de “linhas de igual conforto” no diagrama psicrométrico. Essas linhas foram identificadas através da correspondência da temperatura de bolbo seco no ponto de interceção com a linha de saturação. Segundo este índice a sensação térmica num ambiente com uma Temperatura Efetiva de 25°C, corresponderá à sensação térmica num ambiente a essa mesma temperatura, com o ar saturado e estagnado. A Temperatura Efetiva é numericamente sempre inferior à temperatura de bolbo seco, exceto quando o ar se encontra saturado.

Nos estudos em laboratório foram utilizados diferentes tempos de exposição nas condições de teste. Nos testes, doze pessoas foram expostas por três horas, catorze por duas horas e cem por um período de quinze minutos. Para se definir o intervalo de conforto foram incluídas as Temperaturas Efetivas em que pelo menos 50% das pessoas se sentiam confortáveis.

A Temperatura Efetiva pode ser obtida diretamente do diagrama psicrométrico com isolinhas de conforto (Figura 3.1), ou através da seguinte expressão:

$$ET = T_a - 0,4 \times (T_a - 10) \times \left(1 - \frac{HR}{100}\right) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (3.1)$$

em que, T_a [$^{\circ}\text{C}$] é a temperatura de bolbo seco e HR [%] a humidade relativa do ar.

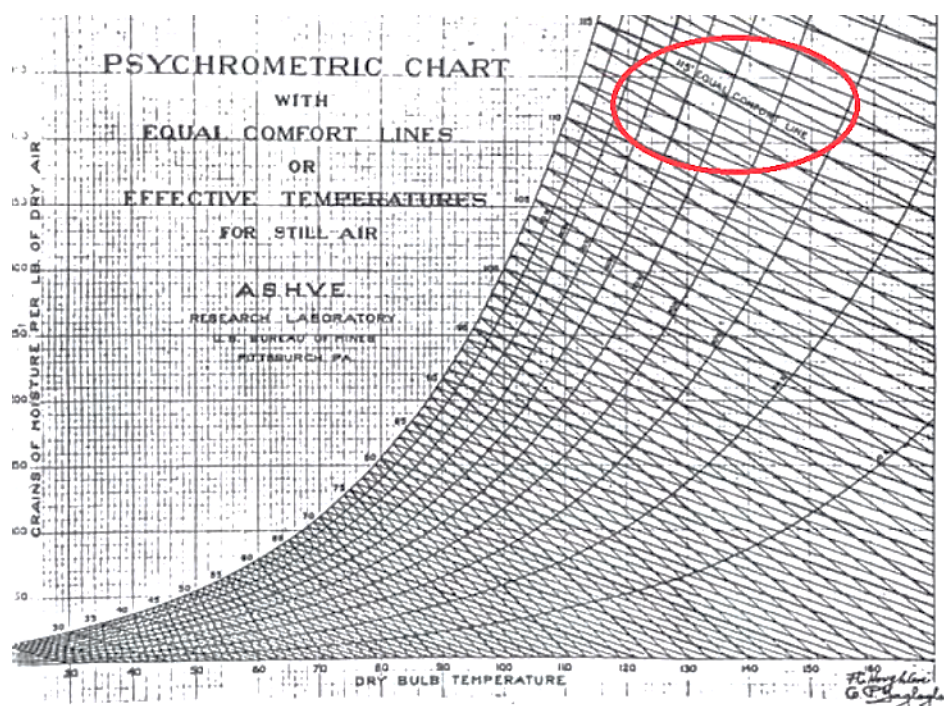


Figura 3.1 - Representação original da Temperatura Efetiva no Diagrama Psicrométrico (Yaglou, 1923).

Tornou-se no índice mais utilizado nos 50 anos seguintes ao seu aparecimento, acabando por ser superado (Auliciens e Szokolay, 2007).

Yaglou em 1947 já tinha referido que a Temperatura Efetiva sobrestimava o efeito da humidade, especialmente para temperaturas baixas, facto constatado também por Glickman (1950). Smith (1955) descobriu que a relação não era linear e que o Índice P4SR, que será descrito mais à frente, dava uma melhor correlação com a estimativa de conforto.

3.2.2. Temperatura Efetiva Corrigida (CET)

A ASHVE (1932) publicou uma representação do Índice ET sob a forma de ábacos. Esses ábacos resultaram de experiência adicionais que foram realizadas para incorporar os efeitos da velocidade do ar (Houghten e Yaglou, 1924) e do vestuário (Yaglou e Miller, 1925). O vestuário usado nos testes era composto por meias, roupa interior de algodão, camisa de manga comprida (de algodão e com o colarinho abotoado), fato de lã com colete e sapatos. Dessas experiências resultou um novo intervalo de conforto que mostrou haver uma influência das estações do ano no conforto térmico das pessoas, isto devido aos diferentes conjuntos de vestuário usados nas diferentes estações do ano. Vernon e Warner (1932) incluíram o efeito da radiação substituindo a temperatura de bolbo seco pela temperatura de globo, para a escala da temperatura de bolbo seco, adotada também por Bedford (1940).

O índice passou assim a ser tratado como Temperatura Efetiva Corrigida (CET), sendo representado em dois ábacos, um válido para pessoas despidas da cintura para cima, chamado de escala básica e outro para pessoas normalmente vestidas, chamado de escala normal. Nesses ábacos as temperaturas efetivas eram obtidas em função da velocidade do ar e das temperaturas de bolbo seco e bolbo húmido (Figura 3.2).

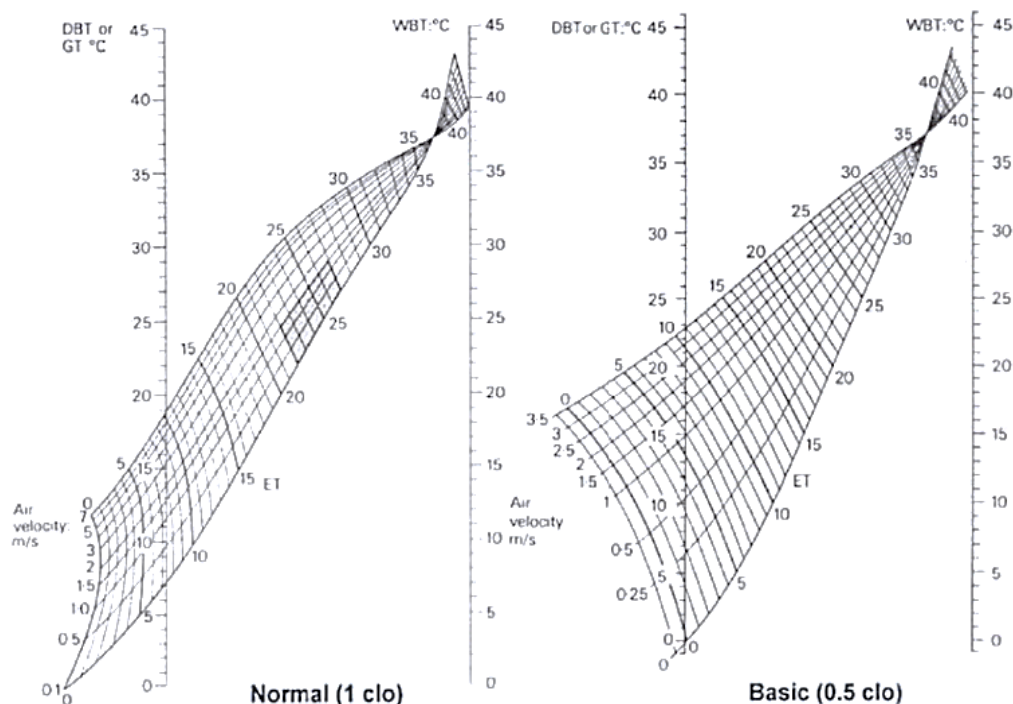


Figura 3.2 - Ábacos para a obtenção da Temperatura Efetiva Corrigida (*Auliciems e Szokolay, 2007*).

As expressões seguintes permitem-nos calcular o valor da temperatura efetiva para uma velocidade do ar de 0,1m/s, segundo a escala:

$$\text{Normal} \rightarrow \text{CET} = \frac{1,21 \times T_g - 0,21 \times T_{bh}}{1 + 0,029 \times (T_g \times T_{bh})} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (3.2)$$

$$\text{Básica} \rightarrow \text{CET} = \frac{0,944 \times T_g - 0,056 \times T_{bh}}{1 + 0,022 \times (T_g \times T_{bh})} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (3.3)$$

em que, T_g [$^{\circ}\text{C}$] é a temperatura de globo e T_{bh} [$^{\circ}\text{C}$] a temperatura de bolbo húmido.

Smith (1955) descobriu que em ambientes quentes o efeito da humidade era subestimado, como também em casos adversos com velocidades do ar entre 0,5m/s e 1,5m/s e temperaturas elevadas. *Givoni* (1963) estabeleceu no entanto que acima de 32 $^{\circ}\text{C}$ o movimento do ar causaria um maior efeito de aquecimento do que aquele sugerido pelo Índice ET. Ambos foram ao encontro daquilo que já tinha sido defendido por *Glickman* (1950).

Este índice foi adotado pela *ASHRAE* em 1967 com a designação de Temperatura Efetiva Corrigida (*Monteiro e Alucci, 2007*).

3.2.3. Temperatura Equivalente (EqT)

Esta escala de temperatura foi introduzida por *Dufton* (1932 e 1933) e a delineação da sua utilização veio através de *Bedford* (1951). Define-se como a temperatura uniforme de um ambiente fechado em que o ar se encontra estagnado no qual um corpo negro (considerável) a

24°C perderia calor há mesma taxa que o ganharia. Por análise de regressão, *Bedford* desenvolveu a seguinte expressão:

$$EqT = 0,522 \times T_a + 0,478 \times T_m - 0,21 \times \sqrt{v_a \times (37,8 - T_a)} \quad [^{\circ}C] \quad (3.4)$$

em que, T_m [$^{\circ}C$] é a temperatura média radiante e v_a [m/s] é a velocidade do ar.

Bedford (1936) desenvolveu um ábaco para determinar a Temperatura Equivalente a partir da medição individual de parâmetros ambientais. Este índice não entra em consideração com a humidade, pelo que não é adequado em temperaturas superiores a 24°C, onde os níveis de humidade do ar são extremamente importantes.

3.2.4. Calor Equivalente (EqW)

Este índice foi desenvolvido por *Bedford* com base experimental em 2000 operários fabris, sob diferentes condições interiores de trabalho, modificando o índice térmico referido anteriormente (EqT). A temperatura do ar, humidade e temperatura média radiante, foram medidas, registadas e correlacionadas com as respostas subjetivas dos trabalhadores. A temperatura do vestuário e temperatura superficial da pele também foram registadas. Esta correlação originou uma nova escala. A sua definição é “a temperatura de um ambiente uniforme com uma temperatura do ar igual á temperatura média radiante e uma humidade relativa de 50%, que produz a mesma sensação de calor que um ambiente real”.

Este índice mostrou-se fiável dentro da gama de conforto, até uma temperatura de 35°C com humidades relativas baixas ou até uma temperatura de 30°C mas com humidades relativas elevadas. No entanto, o índice subestimava o efeito do arrefecimento causado pela movimentação do ar em ambiente húmidos e não entrava em consideração com o isolamento térmico do vestuário e com o nível de atividade física do trabalhador.

3.2.5. Temperatura Operativa (OT)

Este índice foi desenvolvido por *Winslow, Herrington e Gagge* em 1937, como resultado de um trabalho semelhante ao preconizado anteriormente por *Bedford*. Este índice é definido como sendo a temperatura uniforme de um ambiente fechado, em que um ocupante trocava a mesma quantidade de calor por radiação e convecção, como se encontrasse num ambiente real não uniforme, pelo que o seu conceito é semelhante aos descritos anteriormente. O seu valor pode ser obtido calculando a média ponderada entre a temperatura média radiante e a temperatura de bolbo seco, recorrendo aos seus respetivos coeficientes de transferência de calor:

$$OT = \frac{h_r \times T_m + h_c \times T_a}{h_r + h_c} \quad [^{\circ}C] \quad (3.5)$$

onde, h_r e h_c [W/(m²·°C)] são respetivamente os coeficientes de transferência de calor radiativo e convectivo.

Este índice apesar de integrar o efeito da temperatura do ar e da radiação ignora o efeito da humidade e da movimentação do ar. O estudo foi conduzido ao abrigo de condições frias, onde o efeito da humidade do ar era pequeno e a movimentação do ar era insignificante. Posteriormente foi proposta uma expressão que considera a velocidade do ar, representada pela seguinte expressão:

$$OT = \frac{h_r \times T_m + h_c \times \left[T_a \times \sqrt{\frac{v_a}{v_{a0}}} - T_{sk} \times \left(\sqrt{\frac{v_a}{v_{a0}}} - 1 \right) \right]}{h_r + h_c} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (3.6)$$

onde, v_{a0} [m/s] corresponde à velocidade de referência ($\approx 0,076$ m/s) e T_{sk} [$^{\circ}\text{C}$] é a temperatura da pele.

Mesmo assim esta correção não foi bem aceite, uma vez que no caso da temperatura média radiante ser igual à temperatura seca do ar e a humidade do ar for desprezável, a Temperatura Operativa esperada seria igual à temperatura seca do ar. A *ASHRAE* sugeriu que o cálculo da média aritmética entre a temperatura média radiante e a temperatura seca do ar apresenta resultados aceitáveis.

Com a Temperatura Operativa, surgiu uma nova versão da equação para o cálculo do balanço térmico:

$$R + C_v = h \times (OT - T_{sk}) \times F_{cl} \quad (3.7)$$

onde R [W/m^2] é a troca de calor por radiação, C_v [W/m^2] a troca de calor por convecção e h [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$] obtém-se pela soma entre os coeficientes de transmissão de calor por radiação e convecção. A eficiência térmica do vestuário (F_{cl}) é obtida através da seguinte expressão:

$$F_{cl} = \frac{1}{1 + 0,155 \times f_{cl} \times h \times I_{cl}} \quad (3.8)$$

onde I_{cl} [clo] corresponde ao isolamento térmico do vestuário e o fator do vestuário (f_{cl}) é obtido pelo cálculo da razão entre a área superficial do corpo (A_{cl}) e a área da superfície do corpo segundo DuBois (A_{Du}).

Pelo facto do índice não considerar a troca de calor evaporativa, torna-se inadequada a sua utilização para temperaturas acima dos 27°C (*Givoni*, 1962).

3.2.6. Taxa De Sudação Prevista Para Quatro Horas (P4SR)

McAriel et al. (1947) desenvolveram o Índice de Taxa de Sudação Previsto para Quatro Horas (P4SR), com base em resultados experimentais. Nessas experiências avaliava as respostas fisiológicas de pessoas aclimatadas durante um período de quatro horas, sob determinadas condições ambiente. O índice combina o efeito da temperatura de globo, temperatura de bolbo húmido, velocidade do ar, taxa metabólica e isolamento térmico do vestuário.

Em condições de temperaturas elevadas, o índice apresentou uma maior fiabilidade nos resultados, relativamente aos que foram enunciados anteriormente. No entanto, para temperaturas abaixo dos 28°C a sua utilização é inadequada. *Smith* (1955) encontrou uma melhor concordância de resultados nas situações em que o nível de atividade era menor e, também em situações onde o vestuário usado era mais ligeiro. Já *Givoni e Macpherson* (1962) encontraram uma boa concordância entre os resultados medidos e o Índice P4SR, embora *Givoni* (1963) considerasse que o efeito de arrefecimento causado pela movimentação do ar em ambiente húmidos era subestimado.

O índice obtém-se com o auxílio de um ábaco de onde é obtido o valor da taxa de sudação básica para 4 horas (B4SR). Pelo facto do ábaco ter sido concebido com base em resultados experimentais realizados sob determinadas circunstâncias, existe a necessidade prévia de realizar correções no valor da temperatura de bolbo húmido, conseguindo-se assim ultrapassar algumas das limitações referidas anteriormente. Essas correções terão de ser efetuadas sempre que se verifique algum dos seguintes pontos:

- sempre que o valor do metabolismo exceder os 63 W/m², a temperatura de bolbo húmido terá um aumento segundo o valor retirado do gráfico existente no canto superior esquerdo do ábaco, para assim se fazer a devida correção;
- se a temperatura de globo for diferente da temperatura do ar, a temperatura de bolbo húmido terá um aumento de $0,4 \times (T_g - T_a)$ [°C];
- caso o indivíduo não use vestuário ligeiro, a temperatura de bolbo húmido terá um aumento de $1,5 \times I_{clo}$ [°C].

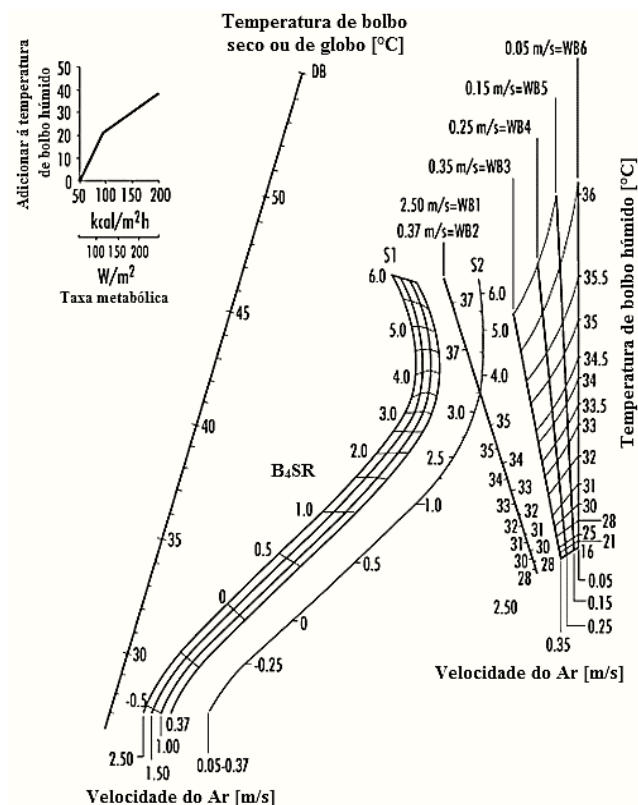


Figura 3.3 - Diagrama para o cálculo do Índice P4SR, para homens vestidos, com calções (adaptado de *McAriel et al*, 1947).

Conhecido o valor da taxa de sudção básica para 4 horas, o Índice P4SR é determinado recorrendo à seguinte expressão:

$$P_4SR = B_4SR + 0,37 \times I_{clo} + (0,012 + 0,001 \times I_{clo}) \times (M - 63) [L] \quad (3.9)$$

Em condições muito quentes em que a taxa de sudção não consegue responder às exigências do ambiente, o valor de P4SR sobrestima claramente a taxa de sudção. A temperatura interna do corpo também se eleva menos em condições quentes e secas do que em condições húmidas. Neste caso o valor de P4SR subestima a taxa de sudção em ambientes quentes e secos (*Oliveira, 1998*).

3.2.7. Temperatura Resultante (RT)

Este índice foi desenvolvido por *Missénard (1948)*, baseado em experiências semelhantes às que tinham sido realizadas por *Houghten* (em laboratório), mas com um período de exposição maior. Este índice trata-se de um aperfeiçoamento do Índice CET para as situações de repouso ou de baixa atividade física, pelo que o diagrama apresentado é semelhante ao do índice CET. É referido como sendo um índice indicado para ambientes temperados mas não aconselhável para ambientes tropicais uma vez que subestima o efeito de arrefecimento causado pela movimentação do ar para temperaturas superiores a 35°C e uma humidade relativa superior a 80%. Por outro lado, para valores baixos de RT o efeito de arrefecimento causado pela movimentação do ar é sobrestimado.

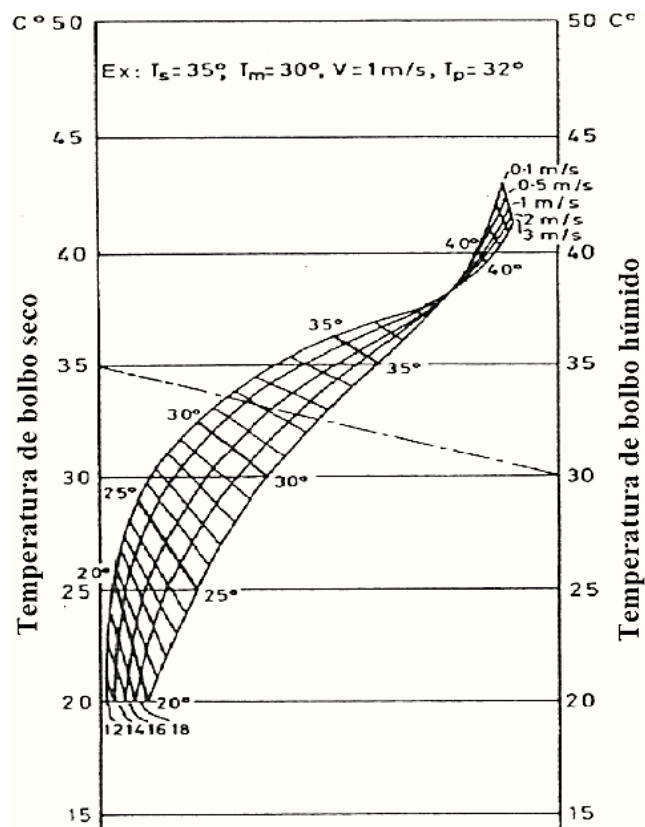


Figura 3.4 – Diagrama da Temperatura Resultante (adaptado de *Missénard, 1948*).

Givoni (1969) descobriu que o Índice RT se aproximava melhor das respostas fisiológicas que o Índice CET, embora tenha verificado que abaixo dos 30°C existia uma ligeira sobrestimação dos efeitos da humidade. O efeito do arrefecimento causado pela movimentação do ar é subestimado em níveis elevados e sobrestimados em níveis inferiores.

3.2.8. Índice De Stress Por Calor (HSI)

Belding e Hatch (1955 e 1963) propuseram este Índice de Stress Térmico devido ao calor (HSI), baseado no modelo analítico do balanço térmico entre o corpo humano e o ambiente, assumindo uma temperatura constante da pele de 35°C e uma área superficial do corpo de 1,86 m² (*Kerslake*, 1972). É definido como sendo a razão entre o arrefecimento causado pela evaporação de suor necessária para manter o equilíbrio térmico (E_{req}) e o arrefecimento máximo possível resultante da evaporação do suor ($E_{máx}$). A diferença entre eles traduz assim a troca de calor entre o corpo humano e o ambiente que o rodeia.

$$HSI = \frac{E_{req}}{E_{máx}} \times 100 \quad [\%] \quad (2.10)$$

Considera-se que a taxa máxima de evaporação ($E_{máx}$) que um indivíduo comum consegue manter durante um período de 8 horas é de 11/h (390 W/m²).

O Quadro que se segue apresenta o procedimento de cálculo do Índice HSI, baseado nos coeficientes recomendados por *Belding* (1972).

Quadro 3.1- Procedimento de cálculo do índice HSI (*Oliveira*, 1998).

	Com Vestuário	Sem Vestuário
Calor perdido por radiação R [W/m ²]	$4,4 \times (35 - \bar{T}_r)$	$7,3 \times (35 - \bar{T}_r)$
Calor perdido por convecção C_v [W/m ²]	$4,6 \times v_a^{0,6} \times (35 - T_a)$	$7,6 \times v_a^{0,6} \times (35 - T_a)$
Quantidade de calor máxima perdida por evaporação $E_{máx}$ [W/m ²]	$7 \times v_a^{0,6} \times (56 - p_a)$	$11,7 \times v_a^{0,6} \times (56 - p_a)$
Quantidade de calor que é necessário perder por evaporação para manter o equilíbrio térmico E_{req} [W/m ²]	$E_{req} = M \pm R \pm C_v$	
Índice de “Stress” Térmico HSI [%]	$HSI = \frac{E_{req}}{E_{máx}} \times 100$	
Tempo de exposição permitido A_{et} [min]	$A_{et} = \frac{2440}{E_{req} - E_{máx}}$	

A escala do índice foi pensada para dar bons resultados quando a temperatura do ar se encontra entre os 27°C e os 35°C, com uma humidade relativa entre os 30 e os 80% e o ar “estagnado” e para temperaturas mais elevadas mas com uma humidade relativa baixa. O índice sobrestima o efeito da velocidade do ar em ambientes pouco húmidos ou em ambientes muito húmidos com uma temperatura do ar média/alta, sendo indesejável utiliza-lo nestas situações. O índice também não deverá ser utilizado na zona dita de conforto.

A interpretação para os valores de HSI encontra-se no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 - Interpretação dos valores de HSI para um período de 8 horas de exposição (adaptado de *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety*, 1998).

HSI	Efeito para 8 horas de exposição
-20	Ligeira sensação de stress devido ao frio.
0	Sem sensação de desconforto térmico.
10 a 30	Ligeira a moderada sensação de stress térmico. Pequeno efeito no trabalho físico mas possível decréscimo das habilidades laborais.
40 a 60	“Stress” térmico severo, perigo para a saúde, diminuição da concentração e consequentemente perda de produtividade. Aumento da possibilidade de “falha humana”. Aclimação requerida.
70 a 90	Stress Térmico elevado, aconselhável apenas para indivíduos extremamente aptos e aclimatados selecionados através de exames médicos. Deve ser assegurada uma boa hidratação e reposição de sal.
100	Máximo stress térmico aconselhável apenas para indivíduos jovens, fisicamente aptos e bem aclimatados. Limite superior do balanço térmico, com uma taxa de sudação de 1 L/h.
Mais de 100	Tempo de exposição limitado, pelo aumento da temperatura interna do corpo humano.

Belding e Hatch consideram como máximo admissível um aumento da temperatura interna de 1,8 °C, correspondendo a um armazenamento energético adicional de 264kJ (*Oliveira*, 1998).

Givoni (1969) reconheceu a importância do índice, mas duvidou da sua aptidão para avaliar quantitativamente o stress térmico. O principal problema apontado era o facto de o índice se basear apenas num individuo que usava camisa de manga comprida e calças. Na sua opinião o índice sobrestimava o efeito de arrefecimento resultante da movimentação do ar e do “efeito de aquecimento” como resultado da humidade.

3.2.9. Índice de Oxford (WDI)

Lind et al (1957) desenvolveu o Índice de Oxford (também conhecido como WDI) a partir de dados recolhidos de trabalhadores resgatados de minas.

O Índice de Oxford é obtido a partir do cálculo ponderado entre a Temperatura de Bolbo Seco (T_a) e Temperatura de Bolbo Húmido (T_{bh}), não existindo na equação a integração da radiação, velocidade do ar, isolamento térmico do vestuário e metabolismo. Assim, este índice é adequado para ambientes termicamente semelhantes aos das minas. O índice é representado pela seguinte equação:

$$WDI = 0,15 \times T_a + 0,85 \times T_{bh} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (3.11)$$

Este índice deriva de uma série de experiências com o objetivo de determinar o tempo de tolerância [min] em equipas de salvamento em minas, com diferentes taxas metabólicas até 180W/m². O tempo de tolerância depende da carga de trabalho, uma vez que esta afeta a quantidade de calor armazenado/produzido pelo corpo humano (*Oliveira*, 1998).

Mcintyre (1980) referiu que este índice se revelava mais adequado para ambientes extremos, relativamente aos índices WBGT, P4SR, HSI e ITS, devendo ser utilizado apenas em situações onde a radiação térmica não seja elevada.

3.2.10. Temperatura De Globo E De Bolbo Húmido (WBGT)

O Índice WBGT (Temperatura de Globo e de Bolbo Húmido) foi desenvolvido por *Yaglou* e *Minard* (1957) como método de medição simples possível de ser realizado em “campo” e assim possibilitar um controlo das baixas derivadas de situações de calor extremo em campos de treino militar. O índice combina a temperatura do bolbo seco (T_a), temperatura de globo (T_g) e temperatura de bolbo húmido (T_{bh}), para condições internas (WBGT_i) e externas (WBGT_e), sem e com radiação solar direta. Este índice é dado respetivamente por:

$$WBGT_i = 0,7 \times T_{bh} + 0,3 \times T_g \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (3.12)$$

$$WBGT_e = 0,7 \times T_{bh} + 0,2 \times T_g + 0,1 \times T_a \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (3.13)$$

O Índice de Temperatura de Globo e de Bolbo Húmido (WBGT), foi desenvolvido por *Yaglou* e *Minard* (1957) para avaliar a severidade do ambiente térmico e evitar acidentes derivado à elevada exposição ao calor por parte dos soldados da Marinha dos Estados Unidos da América, durante o treino militar. Nos dias de hoje, o Índice WBGT é de longe o índice térmico mais utilizado em todo o mundo.

Yaglou estabeleceu uma lista de valores máximos de WBGT com base na análise de dados recolhidos. Depois, usando esses valores limite para indicar a possibilidade de realização dos treinos militares, verificou que as baixas derivadas ao calor e o baixo rendimento no treino eram reduzidos usando o Índice WBGT em vez de usar simplesmente a temperatura do ar. O Quadro 3.3 mostra-nos os valores limite acima dos quais o treino militar deve ser limitado.

Quadro 3.3 - Níveis de WBGT acima dos quais o treino militar deve ser limitado (*Oliveira*, 1998).

WBGT [°C]	
27	Treino dos novos recrutas limitado a três horas por dia na primeira semana. Ausência de marchas prolongadas.
29	Suspender treino aos novos recrutas; reduzir treino dos restantes recrutas. Evitar aulas em ambientes exteriores sob influência direta do sol.
31	Cancelar toda a atividade física.
32,2	Limitar a atividade de tropas aclimatadas; não exceder seis horas por dia.

O Quadro 3.4 tem um significado idêntico ao anterior, tendo a diferença de abranger todo o tipo de atividade física, indicado os cuidados a ter, se determinadas circunstâncias forem reunidas.

Quadro 3.4 - Níveis de WBGT acima dos quais a atividade física deve ser limitada (adaptado de *USAF*, 2003).

WBGT [°C]	Situações/Ações
26	Em situação de trabalho pesado, existem riscos para a saúde do trabalhador, podendo levar ao aparecimento de lesões derivado ao excesso de exposição ao calor. Portanto o trabalho físico deve ser limitado e a reposição de água deve ser boa.
28	Em situação de trabalho moderado/elevado, o trabalho físico deve ser limitado e a reposição de água deve ser boa.
29	Em situações de trabalho moderado/elevado, deve-se prolongar os períodos de descanso e a reposição de água deve ser boa. Deve-se evitar trabalhos em ambiente exterior sob influência direta do sol.
32	Todas as atividades físicas devem ser limitadas. Deverá ser garantida uma boa reposição de água. Os trabalhos pesados deverão ser suspensos (excetuando trabalhos indispensáveis, onde os riscos para a saúde como as lesões poderão ser justificadas).

Para ambientes industriais a *American Industrial Hygiene Association (AIHA, 1975)*, recomendou uma série de valores limite de exposição ao calor em função do tipo de atividade física e do período de trabalho. Esses valores são apresentados na Quadro 3.5.

Quadro 3.5 - Valores limite de exposição ao calor, recomendados em ambientes industriais (*Oliveira, 1998*).

Trabalho desenvolvido	Metabolismo médio [W/m ²]	Máximo WBGT por período de trabalho				
		Contínuo	3 horas	2 horas	1 hora	½ hora
Ligeiro	65	32	34	36	38	42
Moderado	130	30	32	33	35	38
Pesado (intermitente)	195	27	29	30	32	35

O índice foi adotado pela *The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH, 1972)*, *American Conference of Industrial Hygienists (ACGIH, 1990)* e pela *International Standard Organisation (ISO, 1989)* através da Norma *ISO 7243*.

A Norma *ISO 7243:1989* estabelece um método de avaliação de trabalhadores em possível situação de stress térmico, com base neste índice. A facilidade do método de análise para prever situações de stress térmico num determinado local de trabalho, foi um dos motivos que fez a *ISO* adotar este índice térmico.

O índice terá destaque num capítulo subsequente, com uma explicação mais detalhada, pela sua importância no trabalho em discussão.

3.2.11. Índice De Tensão Térmica (TSI)

Lee (1958) desenvolveu este índice com base na observação e análise de mecanismos de transferência de calor, traçando um conjunto de isolinhas no diagrama psicrométrico. Para níveis de carga térmica elevada as isolinhas do Índice TSI (Índice de Tensão Térmica) são quase paralelas com as linhas da temperatura de bolbo húmido, enquanto para níveis de carga térmica baixos as isolinhas são verticais coincidindo com as linhas da temperatura de bolbo seco.

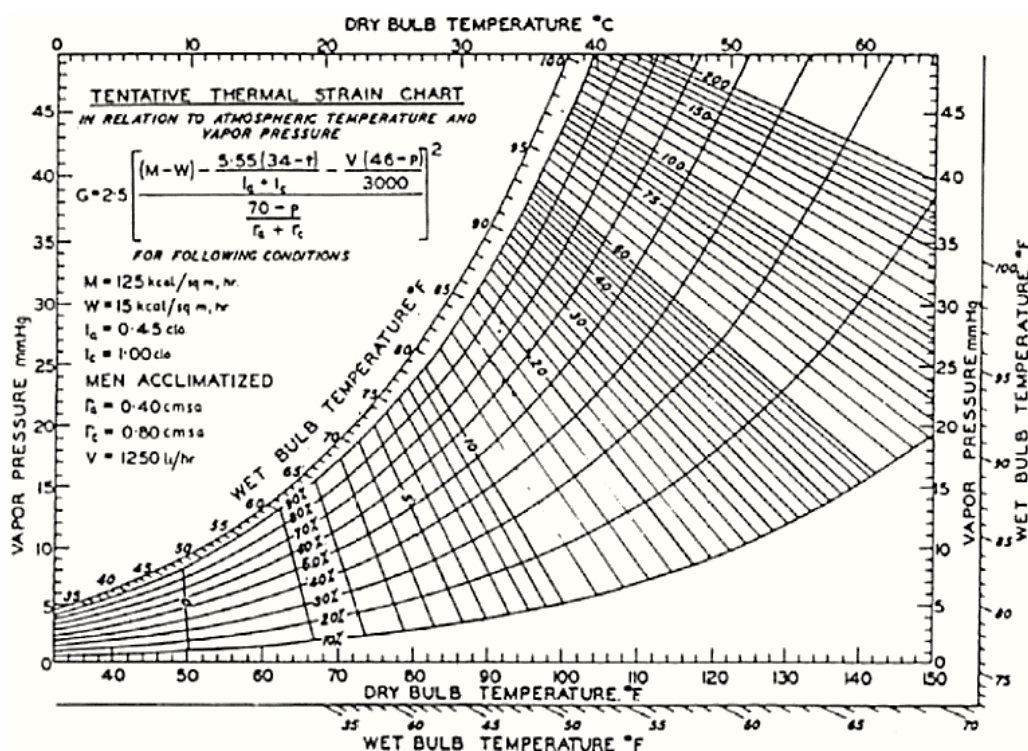


Figura 3.5 - Diagrama psicrométrico com isolinhas TSI (Lee, 1958).

3.2.12. Índice Equatorial De Conforto (ECI)

Webb desenvolveu este índice enquanto trabalhava na Malásia e Singapura, tratando-se de um desenvolvimento do seu “Índice de Singapura”. Publicado em 1959, teve como base um conjunto de 393 observações, resultantes das respostas subjetivas de indivíduos aclimatados executando tarefas leves, conjuntamente com a medição da temperatura de bolbo seco, da temperatura de bolbo húmido e da velocidade do ar. Os dados obtidos por Bedford (1936) e McArdle et al. (1947) também foram tidos em conta. Webb analisou os dados que tinha ao seu dispor e desenvolveu uma expressão e um ábaco semelhante ao da Temperatura Efetiva.

O índice define-se como sendo a temperatura de um ambiente saturado que é fisiologicamente equivalente ao ambiente analisado. O índice não permite níveis de atividade física ou isolamento térmico de vestuário, diferentes daqueles usados em teste

A expressão do índice é dada por:

$$ECI = T_{bh} + X \times (T_a - T_{bh}) - Y \times \sqrt{v_a} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (3.14)$$

Os coeficientes X e Y são obtidos através do gráfico no canto inferior direito da Figura 3.6.

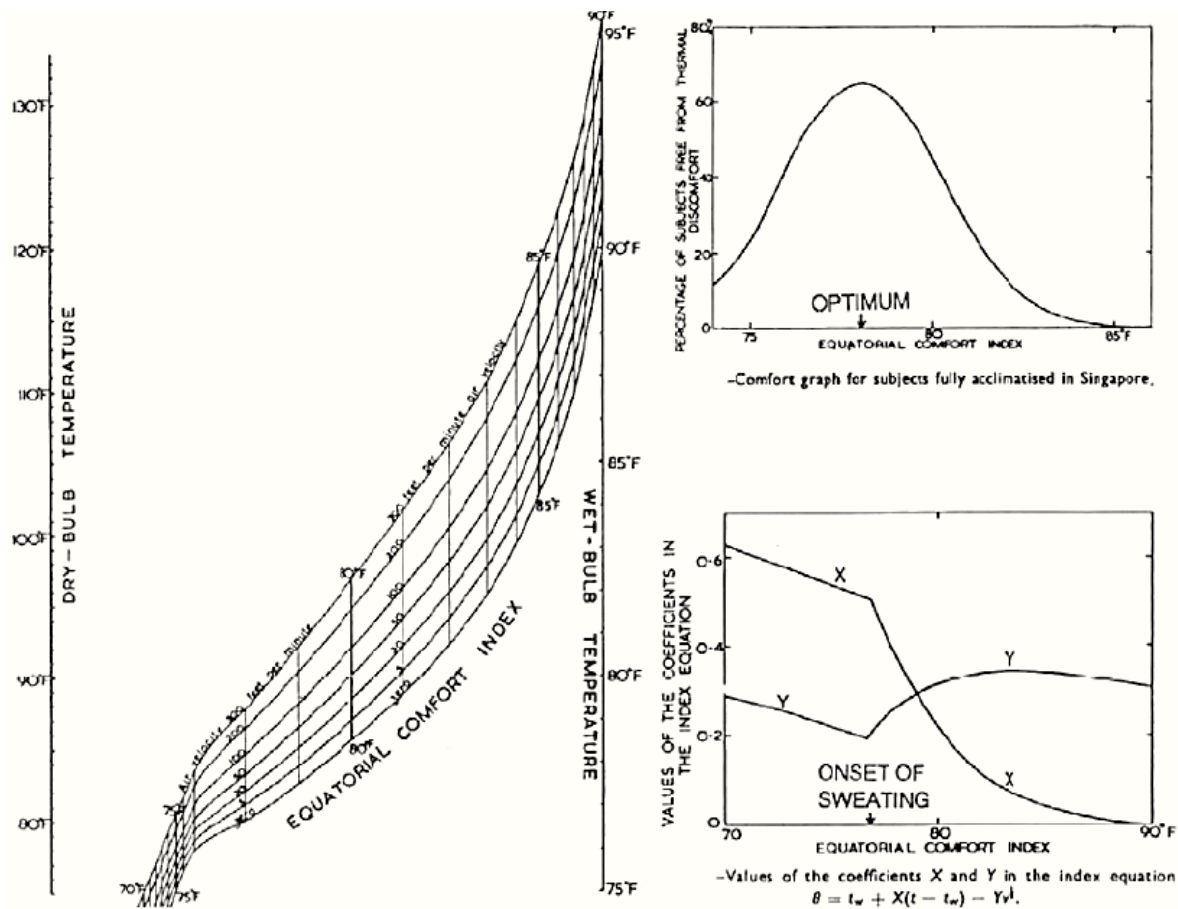


Figura 3.6 - Diagrama do Índice Equatorial de Conforto (Webb, 1959).

3.2.13. Índice De Tensão Relativa (RSI)

Lee e Henschel (1963) trabalharam no Departamento de Saúde dos Estado Unidos, continuando com o trabalho desenvolvido anteriormente por Belding e Hatch. Eles definiram o Índice de Stress Relativo como:

$$RSI = \frac{M \times (I_{clo} + I_a) + 6,45 \times (T_a - 35) + \bar{R} \times I_a}{0,0654 \times (5866 - p_a)} \quad (3.15)$$

onde, I_a [clo] é a resistência térmica superficial da camada de ar que se encontra em contacto com o vestuário, e o $\bar{R}$ [W/m²] é a energia média radiante incidente.

No intervalo de temperaturas de 24 a 27 °C o Índice RSI aproxima-se dos valores de ET. Mas para temperaturas mais elevadas do que aquelas referidas e para ambientes extremamente húmidos o Índice ET subestima a tensão térmica, em comparação com o Índice RSI.

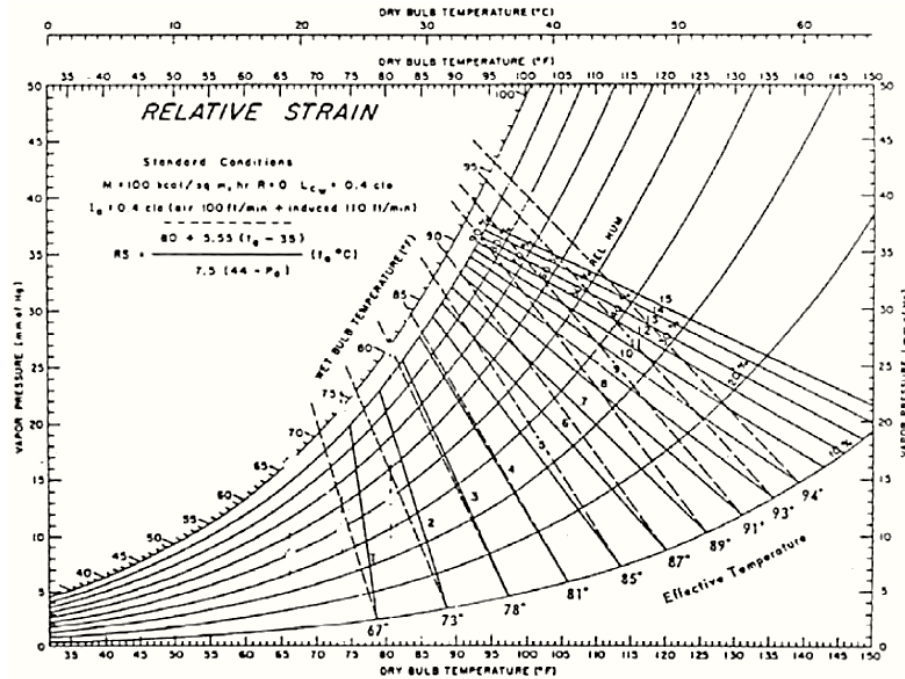


Figura 3.7 - Diagrama psicrométrico com isolinhas de RSI (Lee, 1963).

3.2.14. Índice De Stress Térmico (ITS)

Givoni (1963) desenvolveu este índice baseado em índices anteriores (nomeadamente o HSI e P4SR). O índice calcula o arrefecimento corporal conseguido com a taxa de sudação (S_w) para manter o equilíbrio térmico do corpo sob determinadas condições. O cálculo é baseado num modelo biofísico entre o indivíduo e o ambiente térmico que o rodeia. A sua aplicação vai desde situações de conforto até situações de stress térmico, na medida em que os ajustes fisiológicos são (ou deveriam ser) capazes de manter o equilíbrio térmico do corpo.

O débito evaporativo requerido (E_{req}) é obtido fazendo o balanço térmico entre o calor que é gerado pelo corpo durante uma determinada atividade, recorrendo ao valor da taxa metabólica (M), subtraindo o valor da carga solar (R_s) e das perdas de calor por convecção (C_v) e radiação (R) ocorridas entre o corpo e o ambiente. Assim a equação da perda de calor do índice é dada por:

$$E_{req} = M - (C_v + R) - R_s \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (3.16)$$

Uma melhoria importante foi reconhecer que nem todo o suor que é segregado evapora. Geralmente nas zonas do corpo humano em equilíbrio térmico, a taxa de sudação real (S_w) é maior que a taxa de sudação requerida (E_{req}). Tal facto acontece porque tanto a secreção de suor, como a sua evaporação, ocorrem de uma forma desigual nas diferentes zonas do corpo, pelo que antes do corpo estar completamente humedecido, algumas zonas ficam totalmente humedecidas e perdem suor através da queda de gotas (Kerslake, 1972). A eficiência de sudação (η_{sc}) obtém-se calculando a razão entre a taxa de sudação requerida e a taxa de sudação real. Assim a taxa de sudação real (S_w) define-se como:

$$S_w = \frac{E_{req}}{\eta_{sc}} \quad [W/m^2] \quad (3.17)$$

Utilizada em ambientes fechados, a expressão que traduz a troca de calor sensível pelo corpo humano é dada por:

$$R + C_v = \alpha \times v_a^{0,3} \times (35 - T_g) \quad [W/m^2] \quad (3.18)$$

onde, α corresponde a um coeficiente que depende do tipo de vestuário usado.

O valor da temperatura de globo (T_g) é usado em ambientes interiores. Para incluir o efeito da radiação, em ambientes exteriores sob influência direta do sol, deve ser usada a temperatura do ar (T_a) na equação 3.18.

A carga solar (R_s) é dada por:

$$R_s = - E_s \times K_{pe} \times K_{cl} \times [1 - a \times (v_a^{0,2} - 0,88)] \quad [W/m^2] \quad (3.19)$$

onde, E_s [W/m^2] é a irradiância solar medida na direção normal à radiação solar, K_{cl} e a correspondem a coeficientes dependentes do vestuário usado e K_{pe} é um coeficiente que depende da postura corporal e o tipo de terreno.

A quantidade máxima de calor ($E_{máx}$) que é possível perder por evaporação do suor da superfície da pele, é dada pela seguinte expressão:

$$E_{máx} = K_p \times v_a^{0,3} \times (56 - p_a) \quad [W/m^2] \quad (3.20)$$

onde, K_p é um coeficiente dependente do vestuário.

Quadro 3.6 - Valores dos coeficientes de vestuário (Oliveira, 1998).

Descrição	α	K_{cl}	a	K_p
Fato de banho e chapéu	10,2	1,0	0,35	15,3
Conjunto de vestuário leve de Verão	8,4	0,5	0,52	9,8
Conjunto de vestuário militar	7,5	0,4	0,52	6,3

Quadro 3.7 - Valores do coeficiente solar (adaptado de Auliciems e Szokolay, 2007).

Postura \ Ambiente	Deserto	Floresta
Sentado, de costas para o sol	0,386	0,379
De pé, de costas para o sol	0,306	0,266

Assim, a eficiência de sudção obtém-se através da expressão seguinte:

$$\eta_{sc} = \exp \left[-0,6 \times \left(\frac{E_{req}}{E_{m\acute{a}x}} \right) - 0,12 \right] \quad (3.21)$$

Tendo em conta os seguintes limites:

$$\eta_{sc} = 1 \quad \text{se} \quad \frac{E_{req}}{E_{m\acute{a}x}} < 0,12 \quad \text{ou} \quad \eta_{sc} = 0,29 \quad \text{se} \quad \frac{E_{req}}{E_{m\acute{a}x}} > 2,15 \quad (3.22)$$

Combinando as equações anteriores, obtém-se a expressão do índice ITS em g/h. Utilizando o fator de conversão de 0,37 que converte a taxa de sudação de W/m² para g/h, considerando uma área corporal de 1,8 m². Assim a expressão final é dada por:

$$ITS = \frac{M - (R + C) - R_s}{0,37 \times \eta_{sc}} \quad [\text{g/h}] \quad (3.23)$$

3.2.15. Tempo Limite De Exposição Fisiológico (PHEL)

Dasler (1974) através de dados experimentais, apresentou um conjunto de curvas que definiam o tempo limite de exposição em função do Índice WBGT para uma série de taxas metabólicas. O tempo limite de exposição fisiológico é dado por:

$$PHEL = (17,25 \times 10^8 - 12,97 \times M_m \times 10^6 + 18,61 \times M_m^2 \times 10^3) \times WBGT^{-5,36} \quad [\text{horas}] \quad (3.24)$$

onde, M_m [W/m²] é o metabolismo médio por unidade de área de superfície do corpo nu durante o tempo de exposição.

A forma das curvas do tempo limite de exposição fisiológico é puramente empírica, não resultando de qualquer análise física e não devendo ser usado para além dos intervalos em que foram realizadas as experiências:

- $85 < M < 150 \text{ W/m}^2$
- $31 < WBGT < 50^\circ\text{C}$

Os tempos limite de exposição são considerados seguros em mais de 95% dos casos, para indivíduos aptos e com idades compreendidas entre os 19 e os 43 anos.

3.2.16. Índice De Sudação Requerida (SR)

O Índice de Sudação Requerida foi desenvolvido por *Vogt et al.* (1981), a partir do Índice de Stress por Calor, estabelecido por *Belding e Hatch* (1955) e do Índice de Stress Térmico desenvolvido por *Givoni* (1963).

A Norma *ISO 7933:1989* baseia-se neste modelo para avaliar o stress térmico, calculando a taxa de sudação requerida (Sw_{req}).

Tratando-se de um método analítico baseado na troca de calor entre um individuo e o ambiente que o rodeia. Ele descreve o método de cálculo do balanço térmico do corpo e da taxa

de sudção (Sudção requerida) em função das necessidades termorreguladoras que asseguram o equilíbrio térmico do corpo, determinando os limites de exposição para minimizar as consequências fisiológicas. A Norma avalia a tensão térmica que conduz a um aumento excessivo da temperatura corporal ou à excessiva perda de água e estabelece alterações para reduzir os seus efeitos.

A metodologia de avaliação baseia-se na equação balanço térmico do corpo, em função de parâmetros característicos do ambiente e parâmetros individuais do trabalhador.

Os parâmetros característicos do ambiente, utilizados neste método de avaliação são os seguintes:

- Temperatura do ar (T_a);
- Temperatura média radiante (T_r);
- Pressão parcial de vapor de água (p_a);
- Velocidade do ar (v_a).

Enquanto, os parâmetros individuais necessários são os seguintes:

- Taxa metabólica (M);
- Isolamento térmico do vestuário (I_{cl}).

A equação geral de equilíbrio térmico do corpo pode ser representada pela seguinte expressão:

$$M - W = C_{res} + E_{res} + C_d + C_v + R + E + S \quad [\text{W/m}^2] \quad (3.25)$$

A expressão representa a produção interna de calor, correspondente à energia metabólica (M) menos a energia mecânica efetiva (W) que é equilibrada pelas trocas de calor através da respiração, nomeadamente por convecção (C_{res}) e evaporação (E_{res}), pelas trocas de calor por condução (C_d , que são desprezadas), convecção (C_v), radiação (R) e evaporação (E) e pelo eventual calor acumulado no corpo (S).

A evaporação de suor da superfície da pele quando esta está totalmente humedecida ($E_{m\acute{a}x}$), é tratada como a taxa de evaporação máxima é descrita pela seguinte expressão:

$$E_{m\acute{a}x} = \frac{(p_{sk,s} - p_a)}{R_T} \quad [\text{W/m}^2] \quad (3.12)$$

em que, p_a [kPa] é a pressão parcial de vapor de água, $p_{sk,s}$ [kPa] é a pressão parcial de vapor de água à temperatura da pele e R_T [$\text{m}^2 \cdot \text{kPa/W}$] é a resistência da camada de ar e do vestuário à evaporação.

O cálculo da taxa de sudção requerida (Sw_{req}) é determinado com base na taxa de evaporação requerida, porém, é também influenciada pela eficiência relacionada com a eliminação de suor da superfície da pele, uma vez que este pode escorrer ou pingar sem evaporar, não contribuindo dessa forma para um arrefecimento efetivo.

$$Sw_{req} = \frac{E_{req}}{r_{req}} \quad [W/m^2] \quad (3.11)$$

em que, r_{req} [adm] é a eficiência da evaporação do suor da pele.

A fração requerida da pele humedecida (w_{req}) é a razão entre a taxa de evaporação requerida (E_{req}) e a taxa de evaporação máxima ($E_{máx}$):

$$w_{req} = \frac{E_{req}}{E_{máx}} \quad (3.10)$$

Este método analítico obedece a dois critérios de stress e a dois limites admissíveis (considerando que a maioria dos trabalhadores é saudável e está aclimatado).

Os dois critérios de stress são:

- Humedecimento cutâneo máximo, $w_{máx}$ [adimensional];
- Taxa de sudação máxima, $Sw_{máx}$ [W/m^2 ou g].

e os dois limites admissíveis para não haver riscos para a saúde são:

- Limite máximo para armazenamento de calor no corpo, $Q_{máx}$ [$W \cdot h/m^2$];
- Limite máximo para a perda de água do organismo, $D_{máx}$ [$W \cdot h/m^2$ ou g].

Quadro 3.8 - Valores limite para cada um dos critérios (adaptado da ISO 7933, 1989).

CRITÉRIOS		Pessoas não aclimatadas		Pessoas aclimatadas	
		Alarme	Perigo	Alarme	Perigo
Humedecimento cutâneo máximo w _{máx} [adimensional]		0,85	0,85	1,0	1,0
Taxa de sudação máxima Sw _{máx}		Descanso (<i>M</i> < 65 W/m ²)			
	[W/m ²]	100	150	200	300
	[g]	260	390	520	780
		Trabalho (<i>M</i> > 65 W/m ²)			
	[W/m ²]	200	250	300	400
	[g]	520	650	780	1040
Limite máximo para armazenamento de calor no corpo Q _{máx}	[W.h/m ²]	50	60	50	60
Limite máximo para a perda de água do organismo D _{máx}	[W.h/m ²]	1000	1250	1500	2000
	[g]	2600	3250	3900	5200

3.2.17. Índice Da Tensão De Calor Prevista (PHS)

O Índice da Sobrecarga Térmica Prevista (Predicted Heat Strain) é o índice térmico atualmente usado na Norma *ISO 7933* que o adota desde 2004. O índice foi apresentado por *Malchaire et al.* em 2001. Este índice teve origem numa revisão realizada à norma apresentada em 1989 que adotou na altura o Índice de Sudação Requerida (SR). Ambos os índices possuem o mesmo fundamento e têm o mesmo objetivo em analisar e interpretar de uma forma mais exaustiva e detalhada, comparativamente ao Índice WBGT, o stress térmico a que um indivíduo poderá estar sujeito perante uma determinada situação de trabalho. Ambos os algoritmos que fazem parte destes dois modelos foram desenvolvidos com base na literatura científica disponível na data da sua criação.

Importa referir que a alteração na designação do índice foi a forma encontrada para distinguir as versões da Norma *ISO 7933* apresentadas em 1989 e 2004.

O modelo da Sobrecarga Térmica Prevista (PHS) adotou os seguintes critérios para determinar o tempo admissível de exposição em ambientes quentes de trabalho:

- **Indivíduos aclimatados e indivíduos não aclimatados** – os indivíduos aclimatados comparativamente aos não aclimatados, transpiram mais, começam a transpirar mais cedo e transpiram de uma forma mais uniforme. Isso permite que o armazenamento de calor, a temperatura interna do corpo e a contração cardiovascular, sejam menores.
- **Humedecimento cutâneo máximo** – o humedecimento cutâneo máximo para indivíduos aclimatados é 1,0 (assumindo que este é capaz de evaporar o suor através da superfície total da pele, quando necessário), e 0,85 para indivíduos não aclimatados (assumindo que a sua eficiência de evaporar o suor é menor e que este apenas evapora através de 85% da camada superficial da pele).
- **Taxa de sudação máxima** – a taxa de sudação pode ser calculada utilizando a equação prevista, podendo variar entre 650 e 1000g/h. Para indivíduos aclimatados a taxa de sudação máxima é aproximadamente maior em 25% em relação a indivíduos não aclimatados.
- **Desidratação e perda de água máximas** – a perda máxima de água está fixada em 7,5% da massa corporal, caso se trate um indivíduo comum e em 5% para garantir a proteção de 95% da população trabalhadora.
- **Temperatura rectal máxima** – a temperatura rectal máxima está fixada nos 38°C. O limite que assegura que a probabilidade de um trabalhador atingir as temperaturas 39,2°C e 42 °C são mais baixas que 10^{-4} e 10^{-7} , respetivamente.

O índice terá destaque num capítulo subsequente, onde será apresentado de uma forma mais detalhada, pela sua importância no trabalho em discussão.

3.2.18. Limite De Trabalho Térmico (TWL)

O índice do Limite de Trabalho Térmico (TWL) foi proposto por *Brake e Bates* em 2001, por considerarem que os índices térmicos atualmente disponíveis e utilizados eram mal aplicados em muitas situações ou simplesmente difíceis de aplicar. O que os motivou foi

acharem que era necessário existir uma forma que possibilitasse identificar as situações de stress térmico que comprometem a saúde dos trabalhadores e que seja fácil de aplicar em ambientes de trabalho. O índice anteriormente descrito (PHS) apesar de analisar essas situações tem uma aplicação complexa. Pelo que o índice WBGT é utilizado com mais frequência, mesmo se sabendo que ele tem muitas limitações.

Para qualquer conjunto de condições ambientais, existe uma taxa máxima à qual um indivíduo pode dissipar calor, isto é, uma taxa metabólica limite (máxima) em que se pode trabalhar com segurança.

Os avanços tecnológicos possibilitaram ultrapassar limitações que existem no índice WBGT, nomeadamente, a falta de compatibilizar a velocidade do ar e a dificuldade em prever a taxa metabólica do trabalhador, principalmente quando este se move constantemente e executa várias tarefas. O índice TWL utiliza cinco parâmetros ambientais (temperatura de bolbo seco, temperatura de bolbo húmido, temperatura de globo, velocidade do ar, pressão atmosférica) e acomoda as características térmicas do vestuário, para assim prever uma taxa metabólica máxima que garante a segurança dos trabalhadores, sendo essa taxa metabólica máxima o TWL [W/m^2]. O TWL é definido como o limite da taxa metabólica que um indivíduo aclimatado e hidratado pode manter num determinado ambiente térmico que garante que a temperatura interna do corpo não ultrapassa um determinado limite ($<38.2^\circ\text{C}$), bem como a taxa de sudção ($1,2 \text{ kg/h}$).

O algoritmo para determinação deste índice foi desenvolvido através de estudos experimentais publicados sobre balanço térmico do corpo e transferência de calor tendo em consideração o vestuário. Os parâmetros relacionados com o vestuário podem variar e a análise pode ser estendida a indivíduos não aclimatados. O índice é projetado especificamente para trabalhadores individualizados e não depende da previsão da taxa metabólica real (processo que origina muitos erros). A zona de trabalho é medida e classificada com base numa equação do equilíbrio térmico metabólico, usando a temperatura de bolbo húmido e deslocamento do ar, para medir o potencial de arrefecimento.

O índice TWL é direcionado para trabalhadores que estejam preparados para trabalhar em ambientes termicamente quentes, saudáveis, bem hidratados e com uma boa preparação física.

Para valores elevados de TWL podem ser impostos limite nas condições de trabalho. Para valores moderados de TWL os trabalhadores bem hidratados serão capazes de reduzir os níveis de stress térmico ajustando o seu ritmo de trabalho. Caso o valor de TWL seja baixo, poderá ocorrer armazenamento de calor no corpo e o TWL poderá ser utilizado para estipular tempos de repouso periódicos. Por fim, se o TWL for muito reduzido nenhuma atividade deve ser realizada nas condições existentes, a menos que seja trabalhos de emergência executados com as devidas precauções.

O índice TWL foi inicialmente validado para situações onde não existe exposição direta ao sol (*Brake e Bates, 2002*), sendo no entanto, confirmado que ele também poderá ser utilizado em ambientes exteriores (*Brake e Bates, 2007*).

4. PRINCIPAIS REFERÊNCIAS NORMATIVAS

4.1. Norma ISO 7243:1989

A Norma *ISO 7243:1989* é baseada no Índice WBGT, que apresenta uma metodologia fácil de aplicar em ambientes industriais de modo a avaliar a tensão térmica em trabalhadores submetidos a uma exposição ao calor excessiva e promover um diagnóstico rápido.

Este método aplica-se na avaliação dos efeitos causados pela exposição ao calor a que um trabalhador está sujeito durante um período de tempo representativo da atividade laboral. Não devendo aplicá-lo nas situações em que o trabalhador está exposto apenas por um curto período de tempo ou em situações onde a atividade física é esporadicamente intensa, nem para avaliações da tensão térmica muito próxima da zona de conforto.

4.1.1. Princípios E Generalidades Da Norma ISO 7243:1989

O stress térmico a que um indivíduo está sujeito quando exposto a um ambiente quente, depende do calor gerado no interior do seu corpo como resultado da atividade física desenvolvida e das características do ambiente. Isso resulta numa troca de calor entre o indivíduo e o ambiente que o rodeia.

O Índice WBGT é determinado a partir da medição *in situ* dos parâmetros que possibilitam caracterizar o local em análise. Assim, é necessário medir a temperatura de bolbo húmido natural (T_{bhn}), temperatura de globo (T_g) e em alguns dos casos é também necessária a medição da temperatura do ar (T_a).

A expressão que melhor relaciona estes parâmetros, tendo em consideração que o indivíduo se encontra num espaço interior ou num espaço exterior mas sem influência direta do Sol, é a seguinte:

$$WBGT = 0,7 \times T_{bhn} + 0,3 \times T_g \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4.1)$$

Numa situação em que o indivíduo se encontra sob influência direta do Sol, verificou-se que considerar apenas a temperatura de globo sobestimava a influência da radiação. Por isso nestas situações também se deve considerar a temperatura do ar. Assim a expressão que melhor se adapta a estas situações é a seguinte:

$$WBGT = 0,7 \times T_{bhn} + 0,2 \times T_g + 0,1 \times T_a \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4.2)$$

Em qualquer ambiente, existe sempre uma flutuação dos valores de cada parâmetro necessário. Devendo-se usar nas expressões, um valor médio dos registados durante o período de recolha de dados.

Uma vez determinado o Índice WBGT, o seu valor pode ser comparado com os valores de referência indicados no Quadro 4.1. No caso do valor de WBGT calculado ultrapassar o seu valor de referência, é necessário tomar medidas. Podendo atuar no tempo de exposição do trabalhador e/ou na carga física a que está submetido. Deve-se também efetuar uma análise mais detalhada e precisa para prever situações de stress térmico utilizando métodos mais elaborados, com a desvantagem destes serem mais difíceis de aplicar.

Quadro 4.1 - Valores de metabolismo e valores limite de WBGT (adaptado de *ISO 7243*, 1989).

Classe de metabolismo	Taxa metabólica (M)		Valor Limite de WBGT	
	Relativo á unidade de superfície de pele [W/m^2]	Total (para um homem com uma área de superfície de pele de $1,8 \text{ m}^2$) [W]	Pessoa aclimatada ao calor [$^{\circ}\text{C}$]	Pessoa não aclimatada ao calor [$^{\circ}\text{C}$]
0 (Repouso)	$M < 65$	$M < 117$	33	32
1	$65 < M < 130$	$117 < M < 234$	30	29
2	$130 < M < 200$	$234 < M < 360$	28	26
3	$200 < M < 260$	$360 < M < 468$	Sem movimento de ar sensível 25	Sem movimento de ar sensível 22
			Com movimento de ar sensível 26	Com movimento de ar sensível 23
4	$M > 260$	$M > 468$	Sem movimento de ar sensível 23	Sem movimento de ar sensível 18
			Com movimento de ar sensível 25	Com movimento de ar sensível 20

Nota – Os valores apresentados na tabela foram estabelecidos para a situação em que o indivíduo está vestido normalmente ($I_{cl} \approx 0,6 \text{ clo}$), fisicamente apto para a atividade que desenvolve e em boas condições de saúde. Tendo em consideração que temperatura rectal máxima permitida é de 38°C para um indivíduo aclimatado.

4.1.2. Mediação Dos Parâmetros Característicos Do Ambiente

Para a determinação do Índice WBGT é necessário proceder *in situ* à medição da temperatura de bolbo húmido natural (T_{bhn}), da temperatura de globo (T_g) e da temperatura do ar (T_a), utilizando equipamento apropriado e que cumpra os requisitos impostos pela Norma.

A medição dos diferentes parâmetros é realizada a três cotas diferentes (Figura 4.1), por forma a precaver a existência de uma estratificação térmica no local analisado. Assim, cada estágio de sensores (canal) é colocado a uma cota respeitando as alturas indicadas no Quadro 4.2, dependendo se a atividade é desenvolvida de pé ou sentada.

No caso do ambiente térmico ser considerado homogéneo (heterogeneidade inferior 5%), a medição poderá ser efetuada apenas ao nível do abdómen. No entanto, sempre que exista

dúvidas relativamente à heterogeneidade térmica do local dever-se-á efetuar a medição aos três níveis especificados.

Quadro 4.2 - Alturas normalizadas para a colocação dos sensores de temperatura.

	Pessoa em pé	Pessoa sentada
Canal A – Nível da cabeça	1,7 m	1,1 m
Canal B – Nível do abdómen	1,1 m	0,6 m
Canal C – Nível do tornozelo	0,1 m	0,1 m

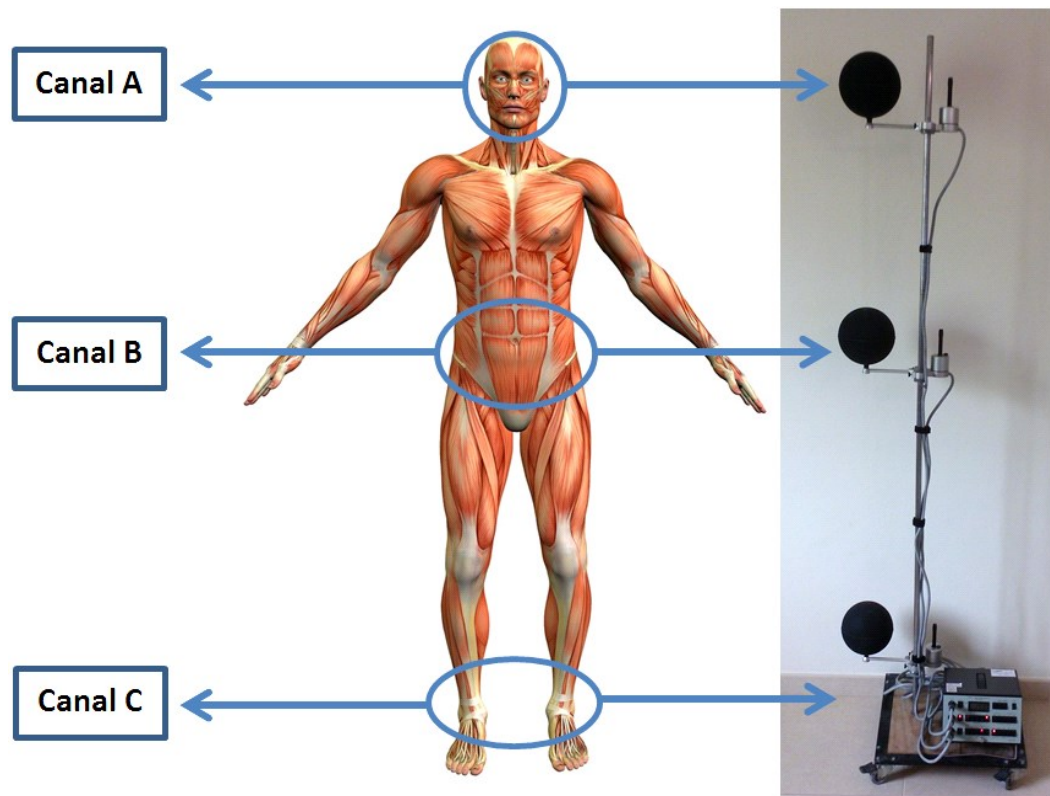


Figura 4.1 - Posicionamento dos sensores de temperatura.

Quando são efetuadas medições aos três níveis, o valor final a considerar para cada parâmetro será uma média ponderada segundo a seguinte expressão:

$$\text{Valor}_{\text{Final}} = \frac{\text{Medição}_{\text{Cabeça}} + (2 \times \text{Medição}_{\text{Abdómen}}) + \text{Medição}_{\text{Tornozelo}}}{4} \quad (4.3)$$

4.1.3. Temperatura De Bolbo Húmido Natural (T_{bhn})

O registo da temperatura de bolbo húmido natural prevê o efeito de evaporação do suor da superfície da pele. O valor registado no sensor refere-se à temperatura de um bolbo coberto por uma mecha humedecida e colocado ao ar calmo. Caso ocorra evaporação de água na mecha, o bolbo do sensor arrefece.

O sensor de temperatura deverá ter um tempo de resposta de 5 minutos para uma variação de temperatura de 90% e as seguintes características definidas na Norma *ISO 7243:1989*.

- Forma da parte sensível do sensor: cilíndrica.
- Diâmetro externo da parte sensível: 6 mm ± 1 mm.
- Comprimento do sensor: 30 mm ± 5 mm.
- Intervalo de medição: 5 °C a 40 °C.
- Precisão de medição: ± 0,5 °C.
- Toda a parte sensível do sensor deverá encontrar-se envolvida por uma mecha branca de um material altamente absorvente de água (por exemplo algodão).
- O suporte do sensor deve ter um diâmetro de 6 mm e 20 mm, devendo estar cobertos pela mecha, de forma a reduzir a condução de calor do suporte para o sensor.
- A mecha deverá ser tecida em forma de manga e ajustada de uma maneira precisa sobre o sensor. O facto de a mecha se encontrar muito apertada ou com demasiada folga é determinante na precisão de medição.
- A mecha deverá ser mantida perseverantemente limpa.
- A parte inferior da mecha deverá está imersa num reservatório de água destilada. O comprimento livre da mecha deve ser de 20 mm a 30 mm.
- O reservatório deverá ser concebido de maneira a que a temperatura da água no seu interior não sofra o efeito radiação térmica do meio envolvente.

Importa referir que a temperatura de bolbo húmido natural não tem o mesmo significado que a temperatura de bolbo húmido psicrométrica. A temperatura de bolbo húmido psicrométrica apesar de ser igualmente medida com um sensor coberto por uma mecha humedecida, é submetido a uma determinada velocidade, refletindo-se também a influência da humidade do ar e da temperatura de bolbo seco. Fazendo com que a temperatura de bolbo húmido psicrométrica seja inferior à temperatura de bolbo húmido natural, cujo valor depende da temperatura média radiante, temperatura de bolbo seco, velocidade do ar e humidade do ar.

A partir da temperatura de bolbo húmido psicrométrica (T_{bh}), também é possível determinar a temperatura de bolbo húmido natural, recorrendo à temperatura da superfície da pele (T_{sk}) e à temperatura de globo (T_g) e aplicando as seguintes expressões (*Oliveira, 1998*):

$$T_{bhn} = T_{bh} + 1,5 + 0,13 \times (T_g - T_{sk}) \text{ [}^\circ\text{C]} \quad \text{se } v_a < 1 \text{ m/s} \quad (4.4)$$

$$T_{bhn} = T_{bh} + 0,5 + 0,13 \times (T_g - T_{sk}) \text{ [}^\circ\text{C]} \quad \text{se } v_a > 1 \text{ m/s} \quad (4.5)$$

4.1.4. Temperatura De Globo (T_g)

O sensor de temperatura de globo é usado para contabilizar as trocas de calor por radiação entre o individuo e o meio que o rodeia. O sensor de temperatura encontra-se posicionado no centro de um globo feito em chapa fina de um material condutor (cobre) e revestido por uma camada de tinta preto mate. O gradiente térmico entre a temperatura sentida no interior fechado do globo e a temperatura média exterior do globo, deverá ser praticamente nula. A temperatura

de globo é influenciada pela temperatura de bolbo seco do ar, temperatura média radiante e velocidade do ar.

O sensor de temperatura deverá ter um tempo de resposta de 7 minutos para uma variação de temperatura de 90% e as seguintes características referidas na Norma *ISO 7243:1989*:

- Diâmetro: 150mm.
- Coeficiente médio de emissividade: 0,95 (globo de superfície preto mate).
- Espessura: o mais fina possível.
- Intervalo de medição: 20°C a 120°C.
- Precisão de medição:

intervalo de 20 a 50°C → ± 0,5°C

intervalo de 50 a 120°C → ± 1°C

O sensor de temperatura de globo, devido á sua inercia térmica, não deve ser usado em locais onde os parâmetros ambientais variem de uma forma rápida.

4.1.5. Temperatura De Bolbo Seco (T_a)

A temperatura de bolbo seco influencia os processos de transferência de calor por convecção (natural ou mista) e evaporação. Necessita de ser quantificada uma vez que para determinadas situações, a utilização apenas da temperatura de globo poderá sobrestimar a influência da radiação direta.

A Norma não estabelece nenhum tipo de sensor específico para a determinação da temperatura de bolbo seco. No entanto, não descarta a existência de cuidados na sua medição, sendo conveniente evitar a radiação proveniente de fontes de calor vizinhas, de modo a que a temperatura registada não seja uma temperatura intermédia entre a temperatura média radiante e a temperatura de bolbo seco. Pelo que, a norma aconselha o uso de um dispositivo de proteção que não impeça a circulação natural do ar em redor do sensor.

O intervalo de medição do sensor de temperatura de bolbo seco é de 10°C a 60°C com uma precisão de ±1°C e um tempo de resposta de 50 segundos, para uma variação de temperatura de 90%. Recomenda-se ainda, que não se execute nenhuma leitura sem que tenha decorrido 1,5 vezes o tempo de resposta.

4.1.6. Determinação Da Taxa Metabólica (M)

A quantidade de energia gerada no interior do corpo é um elemento de stress térmico, pelo que é importante determinar a taxa metabólica do individuo.

A determinação do metabolismo deverá obedecer aos requisitos definidos na Norma *ISO 8996:2004*, podendo ser determinado a partir da medição direta do oxigénio consumido pelo trabalhador ou a partir de tabelas com valores de referência. Devido à natureza do Índice WBGT é suficiente estimar a taxa metabólica através de tabelas com valores de referência.

Para determinar o metabolismo a Norma *ISO 8996* apresenta quatro níveis de avaliação, sendo o quarto nível o que nos dá resultados mais fidedignos, mas que envolve maiores custos.

O Quadro 4.3 é uma adaptação da tabela existente na Norma *ISO 8996:2004*, que indica a exatidão na determinação da taxa metabólica, em função da metodologia adotada.

Recorrendo ao método simplificado de análise e na ausência de tabelas de referência, a classificação da atividade desenvolvida pelo trabalhador pode ser limitada a cinco classes principais, nomeadamente: repouso, baixa taxa metabólica, taxa metabólica moderada, elevada taxa metabólica e taxa metabólica muito elevada. Assim, recorrendo ao Quadro 4.1 e atribuída uma classe de metabolismo, é possível determinar a taxa metabólica, sabendo que a classe 0 é para uma situação de repouso e que a classe 4 é para uma situação onde a atividade é muito elevada. Importa referir que os valores foram estabelecidos para situações onde a atividade é contínua.

Quadro 4.3 - Níveis de determinação da taxa metabólica em trabalhadores (adaptado da *ISO 8996:2004*).

Nível	Método	Exatidão	Inspeção no local de trabalho
1 (Triagem)	1A: Classificação de acordo com a ocupação	Informação generalizada Grande risco de cair em erro	Não é necessária, mas necessita-se da informação sobre equipamentos técnicos e organização de trabalho
	1B: Classificação de acordo com a atividade		
2 (Observação)	2A: Avaliação de grupos de tabelas	Risco de errar elevado Exatidão: $\pm 20\%$	Necessita-se de tempo e de realizar um estudo
	2B: Tabelas para atividades específicas		
3 (Análise)	Medição da frequência cardíaca sob condições definidas	Risco de errar médio Exatidão: $\pm 10\%$	Necessita-se de um estudo durante um período representativo
4 (Experiência)	4A: Medição do consumo de oxigénio	Erros com limites de precisão, de medição ou de tempo e realização do estudo	Necessita-se de tempo e de realizar um estudo
	4B: Método de águas duplamente marcadas ⁵		Não necessita de uma inspeção no local de trabalho, mas as atividades de descanso devem ser avaliadas
	4C: Calorimetria direta	Exatidão: $\pm 5\%$	Não necessita de uma inspeção no local de trabalho

⁵ **Método de águas duplamente marcadas** – esta técnica permite medir a energia gasta por um período previamente estipulado (no mínimo dois dias). O método realiza-se a partir da ingestão de água com isótopos estáveis de hidrogénio e oxigénio. Depois são medidos os seus declínios através da análise das suas concentrações na urina, e assim estimar a produção de oxigénio e o gasto energético nesse período de tempo.

4.2. NORMA ISO 7933:2004

A Norma *ISO 7933* (2004) recorre ao Índice de Sobrecarga Térmica Prevista (PHS) para avaliar e interpretar o stress térmico a que um indivíduo poderá estar submetido num determinado ambiente. Esta versão da Norma surge com o desenvolvimento do processo de análise da tensão térmica de trabalhadores expostos a ambiente quentes, substituindo o antigo modelo de análise, baseado no Índice de Sudação Requerida (SR). A Norma continua a descrever o método de cálculo do balanço térmico do corpo e da taxa de sudação prevista que o corpo humano desenvolve em resposta às condições de trabalho existentes. A isso foi acrescentado a previsão da temperatura interna do corpo, algo que no anterior modelo não era previsto.

A Norma avalia a tensão térmica que conduz a um aumento excessivo da temperatura corporal ou à excessiva perda de água e determina o tempo máximo de exposição admissível para o qual a carga fisiológica é aceitável, isto é, que não exista qualquer risco para a saúde do trabalhador.

4.2.1. Desenvolvimento Do Modelo Da Sobrecarga Térmica Prevista (PHS)

A necessidade de realizar uma revisão exaustiva no Índice SR vem das muitas críticas feitas ao longo dos anos em vários artigos publicados (*Malchaire, 2001*), onde foram demonstradas a existência de limitações na sua aplicação.

Algumas das principais limitações enunciadas e que mereceram destaque no processo de revisão da Norma e na criação do Índice PHS foram as seguintes (*Malchaire, 2006*):

- A previsão da temperatura da pele;
- Influência do vestuário na troca de calor por convecção e evaporação;
- O efeito do movimento do corpo no isolamento térmico do vestuário;
- O aumento da temperatura interna do corpo em função da atividade desenvolvida;
- A previsão do tempo limite máximo de exposição permitido;
- A perda máxima de água permitida.

Os pontos identificados para revisão foram os seguintes (*Malchaire, 2006*):

- Coeficiente de transferência de calor por convecção, radiação e evaporação em condições extremas.
- A modelação do comportamento psicológico durante o trabalho em ambientes quentes e em particular da temperatura média da pele, temperatura corporal (rectal) e taxa de sudação.
- O critério para a determinação do tempo limite de exposição, tendo em consideração as diferenças entre trabalhadores.

Considerando as grandes limitações constatadas no Índice de Sudação Requerida, foram desenvolvidos esforços entre várias equipas de pesquisa no sentido de apresentar uma proposta para um novo índice que cumprisse todos os objetivos enunciados.

O desenvolvimento de um novo índice térmico partiu dos objetivos fundamentados nas limitações constatadas no Índice SR. Recorrendo à literatura científica disponível, trabalhou-se perante cada objetivo separadamente para que no final surgisse assim o Índice PHS.

Um dos primeiros objetivos visou dar importância à estratégia de avaliação e prevenção de risco em ambientes térmicos de trabalho, por forma a se conseguir criar uma ferramenta de campo que possibilitasse uma utilização simples e um diagnóstico rápido. A ISO sempre defendeu que a Norma ISO 7243 (Índice WBGT) seria uma ferramenta de triagem e a Norma ISO 7933 (Índice SR), uma ferramenta de análise e de interpretação quando fossem verificadas possíveis situações de risco. Todavia, como se sabe a complexidade desta última levou à sua repulsa no sector industrial. A descrição e validação dessa nova estratégia foi publicada por *Malchaire et al.* (1999).

Procurou-se melhorar a previsão das trocas de calor entre o individuo e o ambiente que o rodeia, levando em consideração as características do conjunto de vestuário usado (normal ou especial). O novo algoritmo foi descrito por *Havenith et al.* (1999).

4.2.2. Pontos Revistos Para A Criação Do Novo Modelo De Cálculo

Nos pontos seguintes é feita uma apresentação sucinta das alterações realizadas no processo de revisão da Norma ISO 7933 que deu origem ao novo modelo de cálculo.

1) Influência Do Vestuário Na Transferência De Calor Por Convecção E Por Evaporação

Numa situação de exposição ao calor a perda de calor por convecção é uma parte importante na troca de calor entre o corpo humano e o ambiente, principalmente em climas moderados. Em ambientes quentes, com o aumento da temperatura ambiente, a importância da evaporação no processo de manutenção do balanço térmico do corpo é maior, sendo diretamente influenciada pelas características do vestuário utilizado pelo trabalhador, que atenua essa troca de calor.

A troca de calor por convecção é dificultada pela resistência térmica imposta pela camada de ar entre a superfície do corpo e o vestuário. Como importantes aspetos a considerar no processo de transferência de calor por convecção, é a influência da velocidade do ar, do movimento da pessoa, da camada de ar e do tipo de vestuário.

A informação referente ao isolamento térmico para diferentes combinações de vestuário, encontra-se descrita na Norma ISO 9920. Importa referir que a utilização de vestuário aumenta a superfície de troca de calor entre o corpo e o ambiente, aumento esse que é maior para roupas mais espesas (encontra-se diretamente relacionado com o índice de isolamento térmico do vestuário).

No desenvolvimento do novo Índice Térmico, houve a preocupação de considerar o efeito combinado entre o movimento do corpo e a ação do vento sobre o vestuário. A partir de experiências efetuadas em manequins térmicos e diretamente em pessoas, desenvolveram-se expressões que fazem a correção das características térmicas do vestuário sob a influência da velocidade do vento, da direção e velocidade de deslocamento da pessoa e da atividade

desenvolvida, dando origem a expressões simples que correspondem às condições mais comuns de trabalho.

2) Previsão Da Temperatura Da Pele (T_{sk})

Desenvolveu-se uma estrutura de forma a se reunir na mesma base de dados, todos os dados provenientes de 1113 experiências realizadas por diversos parceiros de investigação (Malchaire, 2006). Para cada experiência, estavam reunidos valores minuto a minuto de 10 parâmetros avaliados, entre os quais a temperatura da pele observada, obtida a partir do cálculo da média ponderada de pelo menos 4 medições locais.

Poucos dados referentes a indivíduos do sexo feminino estiveram disponíveis (menos de 10%), optando-se assim por usar no modelo de previsão da temperatura da pele dados referentes apenas a indivíduos do sexo masculino. Consequentemente, na base de dados finais constava 1999 valores correspondentes a 377 indivíduos.

A análise foi feita separadamente para indivíduos dito “nus” (1212 valores para situações de um isolamento térmico inferior a 0,2clo) e indivíduos dito “vestidos” (787 valores para situações de um isolamento térmico entre 0,6clo e 1 clo). A relação entre a média da temperatura da pele, dos parâmetros climáticos, da taxa metabólica e da temperatura rectal fora representado por um modelo adicional.

No subconjunto de dados referentes aos indivíduos dito “nus”, um modelo de previsão excluindo a taxa metabólica não significativa foi desenvolvido, tendo sido sugerida a seguinte expressão:

$$T_{sk} = 7,19 + 0,064 \times T_a + 0,061 \times T_r + 0,198 \times p_a - 0,348 \times v_a + 0,616 \times T_{re} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4.6)$$

em que, T_a [°C] é a temperatura do ar, T_r [°C] a temperatura média radiante, p_a [kPa] a pressão parcial do vapor de água, v_a [m/s] a velocidade do ar e T_{re} [°C] a temperatura rectal.

O coeficiente de correlação múltiplo entre os valores observados e os previstos foi de 0,86 e 83,3% dos valores da temperatura prevista para a pele, encontravam-se numa gama de $\pm 1^\circ\text{C}$ em relação àquela que tinha sido observada.

Já quando se trata de indivíduos dito “vestidos” a expressão passa a ser a seguinte:

$$T_{sk} = 12,17 + 0,020 \times T_a + 0,044 \times T_r + 0,194 \times p_a - 0,253 \times v_a + 0,00297 \times M + 0,513 \times T_{re} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4.7)$$

em que, M [W/m²] é a taxa metabólica.

O coeficiente de correlação (0,77) foi menor comparativamente ao apresentado para a situação anteriormente descrita, mas 81,8% dos valores previstos estavam numa gama de $\pm 1^\circ\text{C}$ em relação àquela que tinha sido observada.

3) Perdas De Calor Na Respiração Por Evaporação E Convecção

Embora estas perdas sejam relativamente limitadas durante a atividade em ambientes quentes, encontram-se muitas das vezes na mesma ordem de grandeza que as perdas de calor por convecção. No entanto, o armazenamento de calor determina-se pela diferença entre a evaporação necessária e a prevista. Em ambientes extremamente quentes, as perdas de calor na respiração podem consequentemente vir a desempenhar um papel extremamente importante no equilíbrio térmico do corpo. As expressões que tinham sido apresentadas anteriormente foram reexaminadas e modificadas com base no trabalho de *Livingstone et al.* (1994) e de *Varene* (1986), de modo a que a humidade e a temperatura ambiente, sejam tidas em conta ao mesmo tempo.

4) Temperatura Média Do Corpo

De artigos publicados por *Kähkönen* (1993) e *Colin et al.* (1971), foi desenvolvido um algoritmo para prever a temperatura média do corpo através de uma média ponderada das temperaturas, rectal e da pele. O peso atribuído a esta última foi de 30% quando a temperatura rectal é de 36,8°C e apenas 10% quando ela é igual a 39°C. Assim, o algoritmo tem em consideração a vasodilatação periférica associada a um aumento da temperatura interna do corpo.

5) Distribuição Do Calor Acumulado No Corpo

O algoritmo desenvolvido para antever a distribuição de calor entre o núcleo do corpo e a camada superficial da pele, considera que a temperatura no núcleo é constante e pressupõe que a temperatura varia linearmente entre a temperatura superficial da pele e a temperatura rectal, através da espessura da camada da pele.

6) Previsão Da Temperatura Rectal

Com base no trabalho desenvolvido por *Edward et al.* (1978), foi desenvolvido um algoritmo para prever o aumento da temperatura rectal resultante do armazenamento interno de calor.

7) Ponderação Exponencial Para A Temperatura Da Pele (t_{sk}) E Taxa De Sudação (S_w)

Como foi demonstrado por *Malchaire* (1991), a temperatura da pele e a taxa de sudação para um determinado período de tempo podem ser calculadas por um modelo de repetição exponencial, de acordo com os valores existentes no momento anterior e do estado estacionário para o qual ocorre a evolução destes parâmetros, se as condições térmicas atuais existissem infinitamente.

Essa ponderação exponencial torna possível prever o estado térmico em qualquer instante, para qualquer variável climática de acordo com as condições a que a pessoa se encontra sujeita naquele determinado momento e nos subsequentes.

8) Taxa De Sudação Máxima

Publicações de *Araki et al.* (1979) e *Gosselin* (1974) sugeriram que a taxa de sudação máxima para um indivíduo comum não aclimatado poderia variar entre os 650 e 1000g/h, de acordo com a taxa metabólica. Em indivíduos aclimatados, sabe-se que a taxa de sudação num determinado ambiente poderá ser duas vezes maior comparativamente a um indivíduo não aclimatado. No entanto, isto refere-se à taxa de sudação real e não à taxa de sudação máxima. Excluindo-se estudos para a qual a capacidade máxima não foi atingida, na revisão bibliográfica, foi possível concluir que a taxa de sudação máxima aumenta apenas em média 25% para indivíduos aclimatados (*Malchaire*, 2006).

9) Aumento Da Temperatura Central Do Corpo (t_{cr}) Relacionado Com A Taxa Metabólica (M)

De acordo com *Saltin* e *Hermansen* (1966), em condições neutras, o equilíbrio da temperatura central do corpo correspondente a uma taxa metabólica pode ser estimado por:

$$t_{cr} = 36,6 + \frac{M}{500} \text{ [}^{\circ}\text{C]} \quad (4.8)$$

com a taxa metabólica (M) expressa em watts.

A temperatura central do corpo atinge o equilíbrio para um tempo de aproximadamente 10 minutos.

Pode-se supor que o corpo não tenta perder o calor armazenado durante esta adaptação e portanto não ocorra o processo de transpiração. Consequentemente, a taxa de sudação necessária não deve ser estimada a partir da taxa de evaporativa requerida (E_{req}), mas sim através da diferença $E_{req} - dSR$, onde dSR é o calor acumulado para alcançar a temperatura de equilíbrio, num dado momento.

10) Limite Da Temperatura Interna

O relatório 412 da *WHO* publicado em 1969 mencionou que “*não é recomendável que a temperatura interna do corpo exceda os 38°C para uma exposição diária ao trabalho pesado ...*”. Desde então, esse valor foi considerado como sendo o valor máximo para o qual a probabilidade do risco para a saúde (patologias devidas ao calor) não se impõe.

Do trabalho realizado por *Wyndham et al.* (1965), dois limites máximos para a temperatura rectal, foram sugeridos:

- 39,2°C: pode levar rapidamente à invalidez total na maioria dos indivíduos, com excessiva e muitas das vezes perturbantes, alterações fisiológicas.
- 42°C: temperatura máxima rectal a fim de evitar quaisquer consequências fisiológicas.

A probabilidade de se alcançar estas temperaturas pode ser limitada, podendo ser:

- Para 39,2°C, menos de 10^{-3} (menos de uma pessoa em risco entre 1000 turnos).

- Para 42°C, menos de 10^{-6} (menos de uma insolação grave a cada 4 anos de entre 1000 trabalhadores).

A partir dos dados de *Wyndhame Heyns* (1973) e *Kampmann* (1997), determinou-se que a temperatura média rectal teria de ser limitada aos 38°C, como já tinha sido sugerido no documento publicado pela *WHO*, de forma a respeitar as probabilidades indicadas anteriormente.

11) Desidratação E Perda Máxima De Água

Candas et al. (1985) relatou que uma desidratação de 3% da massa corporal aumenta o ritmo cardíaco e diminui a sensibilidade à transpiração. Esses 3% podem portanto ser aceites como a desidratação máxima permitida num ambiente industrial. *Kampmann* (1997) demonstrou que em minas de carvão, após uma exposição de 4 a 8 horas, a taxa média de reidratação era de 60%, independentemente da quantidade total de suor que era produzido e que 95% dos indivíduos tinham uma taxa de reidratação superior a 40%.

Com base nos valores apresentados anteriormente foi proposto que a perda máxima de água, tendo em conta as compensações normais, deve ser igual a:

- 7,5% da massa corporal para um o individuo comum.
- 5% da massa corporal para 95% da classe trabalhadora.

4.2.3. Validação Do Modelo PHS

O modelo que correspondia à Taxa de Sudação Requerida conhecido como Índice SR foi revisto usando os conteúdos descritos anteriormente, alterando a designação do Índice para PHS. O Índice de Sobrecarga Térmica Prevista (PHS) prevê parâmetros fisiológicos (taxa de sudação e temperatura rectal), minuto a minuto de acordo com as condições de trabalho.

Para a sua validação utilizou-se a base de dados descrita. Utilizando um intervalo de confiança de 95% e para os parâmetros primários, definiu-se a gama de valores para qual o modelo é indicado (Quando 4.4). A sua validação teve como base, resultados experimentais realizados em laboratório e em locais de trabalho reais.

Quadro 4.4 - Intervalos de validação do Índice PHS.

	T_a [°C]	p_a [kPa]	$T_r - T_a$ [°C]	v_a [m/s]	M [W]	I_{cl} [clo]
Mínimo	15	0	0	0	100	0,1
Máximo	50	4,5	60	3	450	1,0

4.2.4. Conclusões Sobre O Modelo PHS

Devido à elevada complexidade que envolve o Índice da Taxa de Sudação Requerida (SR), este não foi bem compreendido nem aplicado diretamente à indústria. Percebendo-se que o Índice WBGT, apesar da sua falta de validade era a principal ferramenta para descrever ambientes térmicos quentes, principalmente devido à sua simplicidade e pelo facto de ser expresso numa escala de temperatura. No entanto, pode suceder alguma confusão em

determinadas situações, como por exemplo ter-se um valor de WBGT de 25°C quando o termómetro de bolbo seco indica uma temperatura de 36°C. Dai houve a tentativa de se desenvolver um índice expresso em termos de temperatura “equivalente”. Essa tentativa falhou e ao mesmo tempo provou a falta de eficiência do índice WBGT.

Assim, procurou-se implementar o Índice de Sobrecarga Térmica Prevista (PHS) como uma estratégia na melhoria das condições de trabalho. Contudo devido à sua elevada complexidade matemática, o índice deve ser usado apenas como sendo uma “caixa preta” que estima a temperatura corporal e a taxa de sudção, não sendo necessário ter um conhecimento de todo processo matemático interno. Só assim é que o índice pode ser entendido como sendo uma ferramenta de campo que visa determinar o tempo limite de exposição e otimizar o ambiente de trabalho.

4.2.5. Princípios Do Método De Avaliação Da Norma ISO 7933:2004

A metodologia de avaliação analisa o balanço térmico do corpo em função de parâmetros característicos do ambiente e parâmetros individuais do trabalhador.

Os parâmetros característicos, do ambiente, utilizados neste método de avaliação são os seguintes:

- Temperatura do ar (T_a);
- Temperatura média radiante (T_r);
- Pressão parcial de vapor de água (p_a);
- Velocidade do ar (v_a).

Nota: Estes parâmetros são estimados ou medidos de acordo com as especificações definidas na Norma ISO 7726.

Os parâmetros individuais necessários são os seguintes:

- Taxa metabólica (M), medido ou estimada de acordo com a Norma ISO 8996;
- Isolamento térmico do vestuário (I_{cl}), estimado segundo a Norma ISO 9920.

4.2.6. Principais Etapas De Cálculo Da Norma ISO 7933:2004

A equação do balanço térmico do corpo pode ser apresentada da seguinte forma:

$$M - W = C_{res} + E_{res} + C_d + C_v + R + E + S \quad [\text{W/m}^2] \quad (4.9)$$

Esta equação mostra que a produção de calor no interior do corpo que corresponde à taxa metabólica (M) menos o trabalho mecânico externo (W), é equivalente ao somatório das restantes trocas de calor, nomeadamente, trocas de calor por convecção (C_{res}) e evaporação (E_{res}) na respiração, trocas de calor por condução (C_d), convecção (C_v), radiação (R) e evaporação (E) e pelo eventual armazenamento de calor no corpo (S).

Nos pontos seguintes, são indicadas as metodologias ou expressões para calcular cada uma dessas variáveis. No Anexo E do presente trabalho, pode ser encontrada informação complementar relacionada com os termos dessas expressões.

- **Taxa Metabólica (M)**

A estimativa ou medição da taxa metabólica (em W/m^2) é descrita na Norma *ISO 8996:2004*. As indicações para avaliar o metabolismo são dadas no Anexo B do presente trabalho, onde consta alguma informação do Anexo C da Norma.

- **Trabalho Mecânico Externo (W)**

Na maioria das situações industriais, o trabalho mecânico externo (W/m^2) é em muitas das situações reduzindo, podendo ser desprezado.

- **Troca De Calor Por Convecção Na Respiração (C_{res})**

A troca de calor por convecção na respiração pode ser expressa pela seguinte equação:

$$C_{res} = 0,072 \times c_p \times V \times \frac{t_{ex} - t_a}{A_{Du}} \quad [\text{W/m}^2] \quad (4.10)$$

em que, c_p [$\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$] é calor específico do ar seco a pressão constante, V [l/min] é o caudal mássico da respiração, t_{ex} [$^\circ\text{C}$] é a temperatura do ar expirado, t_a [$^\circ\text{C}$] é a temperatura do ar ambiente e A_{Du} [m^2] é área da superfície corporal de *DuBois*.

- **Troca De Calor Por Evaporação Na Respiração (E_{res})**

A troca de calor na respiração por evaporação pode ser expressa pela seguinte equação:

$$E_{res} = 0,072 \times c_e \times V \times \frac{w_{ex} - w_a}{A_{Du}} \quad [\text{W/m}^2] \quad (4.11)$$

em que, c_e [$\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$] é o calor latente da evaporação de água, w_{ex} [$\text{kg}_{\text{água}}/\text{kg}_{\text{ar seco}}$] é a humidade específica do ar expirado e w_a [$\text{kg}_{\text{água}}/\text{kg}_{\text{ar seco}}$] é a razão entre a humidade do ar.

- **Troca De Calor Por Condução (C_d)**

A troca de calor por condução entre a superfície do corpo em contacto com objetos sólidos pode ser quantitativamente assimilada às perdas de calor por convecção e radiação, que ocorreriam se essa superfície não estivesse em contacto com qualquer corpo sólido. Desta forma, o fluxo de calor por condução não é diretamente tido em conta.

- **Troca De Calor Por Convecção (C_v)**

A troca de calor por convecção ocorrida entre a superfície da pele e o meio que a rodeia pode ser expressa por:

$$C_v = h_{cdyn} \times f_{cl} \times (t_{sk} - t_a) \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (4.12)$$

em que, h_{cdyn} [W/(m²·°C)] é o coeficiente de transferência de calor por convecção entre o vestuário e a envolvente, fator que tem em consideração as características do vestuário, do movimento do corporal e da movimentação do ar. O f_{cl} [adm] é o fator de área do vestuário e t_{sk} [°C] é a temperatura média da pele.

O Anexo C do presente trabalho fornece indicações para avaliar algumas das características térmicas do vestuário.

- **Troca De Calor Por Radiação (R)**

A troca de calor por radiação ocorrida entre a superfície da pele e o meio que a rodeia pode ser expressa por:

$$R = h_r \times f_{cl} \times (t_{sk} - t_r) \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (4.13)$$

onde, h_r [W/(m²·°C)] é o coeficiente de transferência de calor por radiação entre o vestuário e a envolvente. Este coeficiente tem em conta as características do vestuário, do movimento do corporal e da movimentação do ar. E t_r [°C] é a temperatura média radiante.

- **Troca De Calor Por Evaporação De Suor Da Superfície Da Pele (E)**

A troca de calor máxima por evaporação de suor da superfície da pele ($E_{máx}$), é atingida quando a superfície da pele está completamente humedecida, podendo ser expressa por:

$$E_{máx} = \frac{p_{sk,s} - p_a}{R_{tdyn}} \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (4.14)$$

onde, R_{tdyn} [m²·kPa/W] é a resistência total de evaporação entre a camada limite de ar e o vestuário, que tem em conta as características do vestuário, do movimento corporal e da movimentação do ar. E $p_{sk,s}$ [kPa] é a pressão de saturação do vapor de água à temperatura da pele e p_a [kPa] é a pressão parcial do vapor de água.

Caso a pele apenas esteja parcialmente humedecida a troca de calor por evaporação (E) é dada por:

$$E = w \times E_{máx} \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (4.15)$$

em que, w [adm] é o humedecimento cutâneo.

- **Armazenamento De Calor Para Aumento Da Temperatura Corporal Associado Com A Taxa Metabólica**

Mesmo em ambientes neutros, a temperatura corporal sobe para um valor estacionário ($t_{cr,eq}$), como função do metabolismo relacionado com potência aeróbia máxima da pessoa.

A temperatura corporal atinge o estado estacionário de uma forma exponencial com o tempo. O armazenamento de calor associado a esse aumento (dS_{eq}), não contribui para o aparecimento de suor e deve portanto ser deduzido da equação do balanço térmico.

- **Armazenamento De Calor**

O armazenamento de calor no corpo (S) é dado pela soma algébrica dos fluxos de calor definidos anteriormente.

- **Cálculo Da Taxa De Sudação Requerida**

Tendo em conta as considerações anteriores sobre a troca de calor por condução, a equação geral de equilíbrio 6.1 pode ser escrita como:

$$E + S = M - W - C_{res} - E_{res} - C_v - R \quad [W/m^2] \quad (4.16)$$

A troca de calor requerida por evaporação (E_{req}) é a troca de calor através da evaporação de suor da pele que garante a manutenção do equilíbrio térmico do corpo e portanto não ocorre armazenamento de calor no corpo. A expressão é dada por:

$$E_{req} = M - W - C_{res} - E_{res} - C - R - dS_{req} \quad [W/m^2] \quad (4.17)$$

O humedecimento cutâneo requerido (w_{req}) é a relação entre a troca de calor requerida por evaporação e a troca de calor máxima por evaporação de suor da superfície da pele, sendo dada por:

$$w_{req} = \frac{E_{req}}{E_{máx}} \quad (4.18)$$

O cálculo da taxa de sudação requerida é feito com base na troca de calor por evaporação, mas tendo em conta a porção de suor que cai devido à elevada variação de humedecimento cutâneo localizado. A taxa de sudação requerida é dada por:

$$Sw_{req} = \frac{E_{req}}{r_{req}} \quad [W/m^2] \quad (4.19)$$

em que, r_{req} [adm] é a eficiência da evaporação requerida da sudação.

Nota: A taxa de sudação em W/m^2 representa a equivalência térmica da taxa de sudação expressa em gramas de suor por metro quadrado de superfície de pele e por hora. $1W/m^2$ corresponde a um fluxo de $1,47g/(m^2 \cdot h)$ ou $2,67g/h$ para um indivíduo comum ($1,8 m^2$ de superfície corporal).

4.2.7. Interpretação Da Taxa De Sudação Requerida

A interpretação dos valores calculados pelo presente método é baseada em dois critérios de stress:

- Humedecimento cutâneo máximo ($w_{máx}$);

- Taxa de sudção máxima ($Sw_{m\acute{a}x}$).

E em dois critérios de tensão:

- Temperatura máxima rectal ($T_{re,m\acute{a}x}$);
- Perda máxima de  gua ($D_{m\acute{a}x}$).

A taxa de sudção requerida (Sw_{req}) não pode exceder a taxa máxima de sudção ($Sw_{m\acute{a}x}$), possível num indivíduo. O humedecimento cutâneo requerido (w_{req}) também não pode exceder o humedecimento cutâneo máximo ($w_{m\acute{a}x}$). Estes dois valores máximos são baseados no estado de aclimação do indivíduo.

No caso de desequ brio no balanço térmico, o aumento da temperatura rectal deve ser limitado a um valor máximo ($T_{re,m\acute{a}x}$), para que a probabilidade de ocorrência de efeitos patológicos seja limitada.

Finalmente, qualquer que seja o equilíbrio térmico, a perda de água deve ser restringida a um valor ($D_{m\acute{a}x}$), compatível com o sistema de manutenção do equilíbrio hidromineral do corpo.

No Anexo F são referidos os valores de referência para os critérios de stress ($w_{m\acute{a}x}$ e $Sw_{m\acute{a}x}$) e para os critérios de tensão ($t_{re,m\acute{a}x}$ e $D_{m\acute{a}x}$). São apresentados diferentes valores para trabalhadores aclimatados e trabalhadores não aclimatados, de acordo com o grau de protecção desejado.

4.2.8. Análise Das Situações De Trabalho

As trocas de calor são calculadas para o instante t_i em função das condições anteriormente existentes a esse instante e em função das condições climáticas e metabólicas que prevalecerem durante o momento do cálculo.

Primeiro são calculadas as trocas de calor requeridas por evaporação (E_{req}), o humedecimento cutâneo requerido (w_{req}) e a taxa de sudção requerida (Sw_{req}). Depois são calculadas as trocas previstas por evaporação (E_p), o humedecimento cutâneo previsto (w_p) e a taxa de sudção prevista (Sw_p), considerando as limitações do corpo ($w_{m\acute{a}x}$ e $Sw_{m\acute{a}x}$), bem como a resposta exponencial do sistema de sudção.

A taxa de armazenamento de calor é estimada pela diferença entre a troca de calor requerida e a prevista. Este calor contribui para a variação da temperatura da pele e do corpo.

A partir desses valores são calculadas as trocas de calor no instante seguinte. A evolução do Sw_p e t_{re} são desta forma calculados de uma forma iterativa.

Este processo permite considerar as variações nas condições de trabalho e também qualquer variação nas condições relacionadas com os parâmetros climáticos ou com as características da carga de trabalho, com o tempo.

4.2.9. Determinação Do Tempo Máximo De Exposição

O tempo máximo de exposição permitido (D_{lim})   atingido quando a temperatura rectal ou a perda de água acumulada atingem os seus valores máximos respetivos.

Em situações de trabalho para as quais:

- ou a troca de calor por evaporação de suor da superfície da pele é máxima ($E_{máx}$) e negativa, levando à condensação do vapor de água na pele;
- ou o tempo de exposição admissível estimado é menor que 30 minutos, de modo que a sudação desempenha o maior papel na previsão da perda de calor por evaporação, no trabalhador.

Perante as situações anteriormente referidas é necessário tomar medidas especiais de precaução e uma supervisão direta e individualizada dos trabalhadores. As condições de realização desta supervisão e as técnicas de medição a serem utilizadas são descritas na Norma *ISO 9886* (Avaliação da tensão térmica através de medições fisiológicas).

5. CARATERIZAÇÃO DE AMBIENTES TÉRMICOS QUENTES DE LOCAIS DE TRABALHO DA INDÚSTRIA PORTUGUESA

5.1. Introdução

O presente trabalho desenvolve-se no âmbito da Segurança Higiene e Saúde no Trabalho com o objetivo de caraterizar ambientes térmicos quentes de locais de trabalho da indústria portuguesa. Tendo como base trabalhos anteriormente desenvolvidos de caracter idêntico, perspetivou-se alargar o número de locais estudados e reestruturar os estudos anteriormente realizados, aplicando a nova metodologia de análise associada ao novo Índice Térmico (PHS). Numa perspetiva complementar, comparam-se os resultados obtidos com a aplicação das diferentes versões da Norma *ISO 7933*, nomeadamente, a versão de 1989 e a versão de 2004.

Face à inexistência de estudos realizados no nosso país aplicando esta nova metodologia de cálculo (Índice PHS), constatou-se a necessidade de criar uma ferramenta de cálculo que implementasse o algoritmo proposto na última versão da Norma *ISO 7933*.

Com a realização do trabalho de campo, pretendeu-se ainda averiguar a existência de alguma evolução por parte das entidades empregadoras na abordagem deste tipo de assuntos, de modo a estabelecer uma análise comparativa com o cenário observado aquando a realização dos primeiros estudos neste domínio, em Portugal.

5.2. Metodologia De Avaliação

A metodologia de avaliação utilizada no presente trabalho teve como base o conjunto de Normas que fazem parte da avaliação de situações de tensão térmica em ambientes térmicos quentes. A tensão térmica a que está submetido um trabalhador, encontra-se relacionada com parâmetros físicos do ambiente térmico de trabalho e com parâmetros individuais do trabalhador.

A Norma *ISO 7243* (1989) foi adotada na realização do presente trabalho pela sua facilidade de aplicação em campo. Esta Norma recorre ao Índice Térmico WBGT como metodologia de avaliação da tensão térmica. O Índice WBGT é determinado a partir de medições *in situ* de um conjunto de parâmetros que possibilitam caracterizar o local em análise, nomeadamente a temperatura de bolbo húmido natural (T_{bhn}), a temperatura de globo (T_g) e a temperatura do ar (T_a). Adicionalmente é necessário caracterizar a atividade física desenvolvida pelo trabalhador para obter a sua classe metabólica. De acordo com esta Norma, a avaliação assenta na média horária com o intuito de avaliar as situações durante um período representativo de exposição, não sendo possível recorrer a este método de avaliação em situações de carácter esporádico, quer a nível de condições ambientais ou de atividade desenvolvida pelo trabalhador (especialmente a intensa). Apesar disso, em muitas das situações estudadas verificou-se a

alternância de atividade ou a alternância do posto de trabalho durante o período de avaliação (+/- 1 hora). Nas situações onde a meta horária de registo não foi alcançada, procurou-se que o tempo mínimo de permanência dos sensores no local, fosse suficiente para estabilizar o sensor de temperatura de globo (20 a 30 minutos segundo a *ISO 7243*), visto ser aquele que mais tempo demora a estabilizar. Outra das recomendações que a Norma estabelece é para tentar que a análise seja sempre efetuada nos períodos mais desfavoráveis, entendendo como tal, o meio-dia dos meses mais quentes do ano e situações em que os equipamentos causadores da carga térmica se encontrem em funcionamento.

A metodologia de análise da Norma *ISO 7243* não possibilita determinar o tempo máximo de exposição em função do grau de desidratação, nem o aumento da temperatura corporal interna. Assim sendo, como complemento adotou-se a *Norma ISO 7933* (2004), baseada no modelo do Índice PHS.

Nas situações onde se registaram valores de WBGT excessivamente elevados (risco de Stress Térmico), recorreu-se à análise mais cuidada do Índice PHS. Este índice baseia-se nos mecanismos termorreguladores do corpo humano e no seu balanço térmico, tratando-se de uma metodologia de avaliação da tensão térmica extensa, razão essa que não faz dele um índice de uso corrente, implementando-o apenas em situações onde é verificada a necessidade de uma análise aprofundada das condições de trabalho. Para implementar este modelo de avaliação, para além da informação necessária à determinação do índice WBGT, é necessário conhecer também a velocidade do ar e o isolamento térmico do vestuário utilizado pelo trabalhador.

Os locais selecionados para o estudo foram sempre que possível locais entendidos como os mais críticos. Esta escolha realizou-se tendo em atenção locais onde trabalhadores exerciam uma atividade mais intensa ou onde a severidade térmica do local era elevada. Essa seleção foi efetuada durante a visita, em função dos diferentes parâmetros do ambiente e com o auxílio de entidades internas à indústria analisada. Sempre que o processo produtivo o permitiu, o posicionamento dos equipamentos de aquisição de dados foi o mais próximo possível do trabalhador, para que os dados registados pudessem ser os mais “realistas” possíveis.

5.3. Quantificação dos Diferentes Parâmetros

5.3.1. Medição E Quantificação Dos Parâmetros Característicos Do Ambiente

Os parâmetros necessários para a determinação do Índice WBGT foram medidos recorrendo ao Monitor de Stress Térmico 1219 da *Brüel & Kjær*, cujas especificações se encontram descritas no Anexo A. Ao monitor foram conectados sensores de temperatura de bolbo seco, temperatura de bolbo húmido e temperatura de globo, utilizando um transdutor de referência *MM0030*.

Nos casos onde foi verificada a existência de estratificação térmica no local, o registo dos diferentes parâmetros foi efetuado aos três níveis de referência e em simultâneo. Assim cada conjunto de sensores foi colocado à cota indicada pela Norma, correspondente à altura da cabeça, abdómen e tornozelos, dependendo se a atividade é desenvolvida de pé ou sentada.

Nos casos em que o ambiente térmico apresentava uma uniformidade (heterogeneidade inferior 5%) as medições foram efetuadas apenas ao nível do abdómen. No entanto, sempre que exista dúvida relativamente à heterogeneidade térmica do local em estudo, realizou-se o procedimento normal (medição aos três níveis).

Nas situações onde foram efetuadas medições a três níveis, o valor final a considerar para cada parâmetro é uma média ponderada segundo a expressão 4.3.

Para medir a velocidade do ar foi utilizado um anemómetro de copos da *Testo* (Figura 5.1a) e para medir a humidade relativa do ar foi utilizado um sensor de humidade relativa também da *Testo* (Figura 5.1b). Ambos os sensores foram conectados ao *data-logger* *Testo 400* (Figura 5.1c).



Figura 5.1 - a) Anemómetro de copos *Testo*; b) Sensor de temperatura *Testo*; c) *Testo 400*.

Na maioria das situações os parâmetros medidos não têm um valor constante no tempo, pelo que é determinado um valor médio. As razões destas variações são as constantes flutuações nas condições do ambiente, sejam elas interiores ou exteriores ao local de trabalho. Paralelamente é necessário considerar as alternâncias do posto de trabalho e das tarefas desenvolvidas pelo trabalhador, normalmente associadas a especificidades dos processos produtivos.

Em determinadas situações os equipamentos de registo foram posicionados em diferentes locais de forma a ficarem submetidos sob a mesma influência que o trabalhador.

A Norma *ISO 7243* recomenda que os cálculos dos valores médios se baseiem num período de uma hora. Assim sendo, o período de análise estabelecido para registo foi uma hora de atividade. Nos casos em que não foi possível efetuar medições durante esse período, estas foram efetuadas num período suficiente para a estabilização de todos os sensores de temperatura.

O valor médio ponderado de um determinado parâmetro ($\bar{Y}$) é assim determinado a partir da seguinte expressão:

$$\bar{Y} = \frac{(Y_1 \times T_1) + (Y_2 \times T_2) + \dots + (Y_n \times T_n)}{T_1 + T_2 + \dots + T_n} \quad (5.1)$$

onde, $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$, são os parâmetros obtidos durante os períodos T_1, T_2, T_n , respetivamente.

5.3.2. Quantificação Dos Parâmetros Individuais

Os parâmetros individuais quantificados no decorrer de uma análise são a idade, altura, massa corporal, sexo, estado de aclimatação, taxa metabólica e isolamento térmico do vestuário usado. Para simplificar a análise e possibilitar cruzar resultados entre diferentes estudos, utiliza-se como referência as características de um “indivíduo padrão”, pelo que é apenas necessário quantificar a taxa metabólica e o índice de isolamento térmico do vestuário.

A determinação da taxa metabólica obedece a Norma *ISO 8996:2004*. Devido à natureza do Índice WBGT é suficiente estimar a taxa metabólica a partir de tabelas com valores de referência, baseados num “indivíduo padrão” (Anexo B). Assim, a sua quantificação assenta na observação *in situ* da atividade desenvolvida pelos trabalhadores, cruzando depois essa informação com os valores de referência da Norma.

Quando várias atividades são executadas pelo mesmo trabalhador durante o período de análise, o valor médio da taxa metabólica (M_m) é conseguido usando a seguinte expressão:

$$M_m = \frac{(M_1 \times T_1) + (M_2 \times T_2) + \dots + (M_n \times T_n)}{T_1 + T_2 + \dots + T_n} \quad (5.2)$$

onde, M_1 , M_2 , ..., M_n são os valores medidos ou estimados durante o tempo T_1 , T_2 , ..., T_n , respetivamente.

Nem sempre é possível diferenciar os vários tipos de atividade desenvolvidos pelo trabalhador. Nessas situações a quantificação da taxa metabólica foi medida diretamente no trabalhador, através de um dispositivo de medição da frequência cardíaca.

O Quadro 5.1 define a classe de metabolismo consoante a taxa metabólica média considerada.

O isolamento térmico do vestuário foi obtido com o somatório dos isolamentos parcelares de cada peça de vestuário (cálculo em série), usada pelos trabalhadores nos diferentes postos de trabalho analisados. Deste método de cálculo resultam maiores valores de isolamento térmico (*Oliveira et al.*, 2008), analisando para este parâmetro a situação mais crítica. A informação do índice de isolamento térmico de cada peça de vestuário encontra-se referida na Norma *ISO 9920:2007* (Anexo C do presente trabalho). Importa referir que em algumas situações o índice de isolamento térmico ultrapassou os 0,6clo, que foi o valor utilizado, na determinação dos valores de referência propostos pela Norma *ISO 7243:1989* para o Índice WBGT. Nessas situações foram adotados os mesmos valores de referência.

Quadro 5.1- Classificação dos níveis de metabolismo (adaptado da *ISO 7243:1989*).

Classe	Taxa metabólica (M)		Exemplo
	[W/m ²]	[W]	
0 (Repouso)	$M < 65$	$M < 117$	Situação de repouso;
1 (Baixa Taxa Metabólica)	$65 < M < 130$	$117 < M < 234$	Sentado: trabalho manual leve (escrever, escrever à máquina, desenhar, costurar, organizar livros); Trabalho de mãos e de braços (manusear ferramentas, inspeção, montagem ou classificação de materiais leves); Trabalho de braços e pernas (conduzir um veículo em condições normais, acionar botões ou pedais) Em pé: operar com berbequim, fresadoras, laminadoras, bobinadoras, deformação de pequenas armações de madeira; operar com ferramentas de baixa potência, caminhar (velocidade até de 3,5 km/h)
2 (Taxa Metabólica Moderada)	$130 < M < 200$	$234 < M < 360$	Trabalho contínuo de mãos e braços (martelar, movimentar objetos); Trabalho de braços e pernas (equipamento de construção, tratores, condução de camiões); Trabalho de braços e tronco (com um martelo pneumático, trabalho manual intermitente com material moderadamente pesado, colocação de reboco, apanhar fruta ou vegetais, cavar); caminhar a uma velocidade entre 3,5 e 5,5 km/h; trabalho de forja
3 (Taxa Metabólica Elevada)	$200 < M < 260$	$360 < M < 468$	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 velocidade entre 5,5 e 7 km/h; Puxar ou carregar carros de mão cheios; cinzelamento de peças de fundição, colocação de blocos de betão
4 (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 a velocidades superiores a 7 km/h.

5.4. Dificuldades

As dificuldades encontrados durante a realização da componente prática do presente trabalho, deveram-se à sua natureza e aos objetivos pretendidos com a sua concretização.

As primeiras dificuldades surgiram desde logo na fase de seleção das empresas para realização dos estudos. Das empresas contactadas apenas parte delas mostrou disponibilidade para colaborar.

Antes de serem estabelecidas datas para as visitas, existiu o cuidado de que todas elas fossem realizadas nos meses quentes do ano (junho, julho, agosto e setembro). Por razões pessoais, apenas existiu possibilidade de efetuar estudos nos meses de junho e julho.

O planeamento das visitas teve em consideração as previsões meteorológicas, com o objetivo de realizar estudos em dias climatericamente favoráveis. Esse objetivo nem sempre foi conseguido, tendo ainda sido agravado pela grande antecipação das marcações das visitas, como garantia da disponibilidade das empresas. Estes factos levaram a que muitas das visitas fossem realizadas em dias pouco favoráveis à realização deste tipo de avaliações.

A visita a cada uma das empresas foi restringida a um dia limitando assim o número de locais analisados em cada uma delas. Esta restrição impossibilitou que todas as análises fossem efetuadas no período mais severo do dia (próximo do meio dia solar). A juntar a esta situação existiu a agravante do tempo despendido para a preparação dos equipamentos, entre medições. As medições também nem sempre coincidiram com o funcionamento dos equipamentos produtores da maior carga térmica.

O processo produtivo limitou em muitas das situações o posicionamento dos equipamentos, obrigando a sua colocação em locais distantes do trabalhador com o objetivo de não interferir com a sua atividade ou para salvaguardar os equipamentos (aplicando uma distância de segurança), existindo também, a impossibilidade de realizar registo durante o período de tempo estipulado pela Norma.

5.5. Resultados

5.5.1. Locais analisados

Com o objetivo de dar continuidade a trabalhos anteriormente desenvolvidos, realizaram-se estudos em locais de trabalho da indústria portuguesa, conseguindo-se ampliar o número de locais analisados segundo o Índice WBGT. De projetos anteriormente realizados, existiam num total 42 locais analisados com base neste índice, correspondentes a diversos sectores da indústria portuguesa, nomeadamente, da indústria cerâmica, indústria gráfica, indústria da panificação, indústria vidreira, indústria de fundição, indústria papeleira, indústria têxtil e confeção. Com a realização do presente trabalho foram analisados mais 26 locais de trabalho pertencentes às indústrias da cerâmica, vidreira, fundição e da panificação. Dando apenas importância aos sectores que em trabalhos anteriores demonstraram ser mais críticos (à exceção do sector da panificação).

Na Tabela 5.1 são indicados os locais novos que foram analisados, bem como algumas informações genéricas de cada um deles. No Anexo D é efetuada uma descrição detalhada de cada um deles.

Tabela 5.1 - Novos locais analisados.

Sector	Designação Do Local Estudado	Data	Horas De Início Do Estudo	Duração [min]	Temperatura Exterior [°C]	Humidade Exterior [%]
Cerâmica	Em Cima Do Forno De Cozedura	26-06-2012	12:30 h	60	27	57
	Zona De Fiação	26-06-2012	15:01 h	35	30	35
	Zona Da Empacotadora	26-06-2012	16:20 h	60	33	32
	Olaria Local 1	21-06-2012	11:07 h	60	18	71
	Olaria Local 2	21-06-2012	13:20 h	60	18	72
	Olaria Niv 3	14-06-2012	12:40 h	60	17	80
	Zona Próxima Do Forno Keramisher	14-06-2012	15:20 h	60	22	67
	Olaria 11	06-06-2012	11:30 h	40	23	60
	Junto Ao Forno De Secagem	06-06-2012	14:27 h	60	23	70
	Zona Próxima À Cabine De Retoque A Quente	06-06-2012	16:36 h	30	25	70
	Zona Junto À Saída Do Forno De Recozimento	06-06-2012	17:43	40	25	70
	Plataforma Superior Do Atomizador I	12-06-2012	11:35 h	60	23	63
	Plataforma Superior Do Atomizador II	12-06-2012	14:30 h	60	22	44
Fundição	Plataforma Por Cima Dos Fornos	27-06-2012	14:30 h	50	23	68
	Zona Próxima Ao Cadinho	27-06-2012	16:11 h	35	23	68
	Zona Superior Próxima Ao Forno	28-06-2012	12:05 h	60	26	41
	Em Cima Da Plataforma De Vazamento	28-06-2012	15:00 h	60	23	64
	Injeção De Alumínio 1 - Máquina De Câmara Fria	17-07-2012	16:15 h	45	22	63
	Injeção De ZAMAK - Máquina De Câmara Quente	17-07-2012	17:38 h	35	20	54
	Injeção De Alumínio 2 - Máquina De Câmara Fria	17-07-2012	18:42 h	30	20	60
	Zona Próxima Da Fundição Tipo 1	22-06-2012	14:00 h	60	18	59
	Zona Próxima Da Fundição Tipo 2	22-06-2012	15:55 h	60	18	59
Panificação	Zona De Fabricação	27-06-2012	03:50 h	60	20	60
Vidreira	Junto À Linha De Produção	02-07-2012	15:00 h	40	22	52
	Junto À Bancada De Inspeção	02-07-2012	16:19 h	40	22	49
	Zona Próxima À Linha De Produção C3	02-07-2012	17:50 h	60	22	52

A discussão dos resultados engloba os 68 locais estudados, dando uma ligeiro destaque aos locais analisados para efeito do presente estudo. Importa referir que apesar dos 42 locais vindos de trabalhos anteriores terem já sido analisados segundo a Norma *ISO 7243:1989*, ainda nenhum deles tinha sido analisado segundo a Norma *ISO 7933:2004*.

O Gráfico 5.1 apresenta o número de locais estudados por sector de atividade. Os sectores com maior número de avaliações realizadas correspondem às indústrias da cerâmica, papelreira, vidreira e de fundição. Nestes sectores, face às características do processo produtivo, a probabilidade de ocorrência de situações de stress térmico nos trabalhadores é maior.

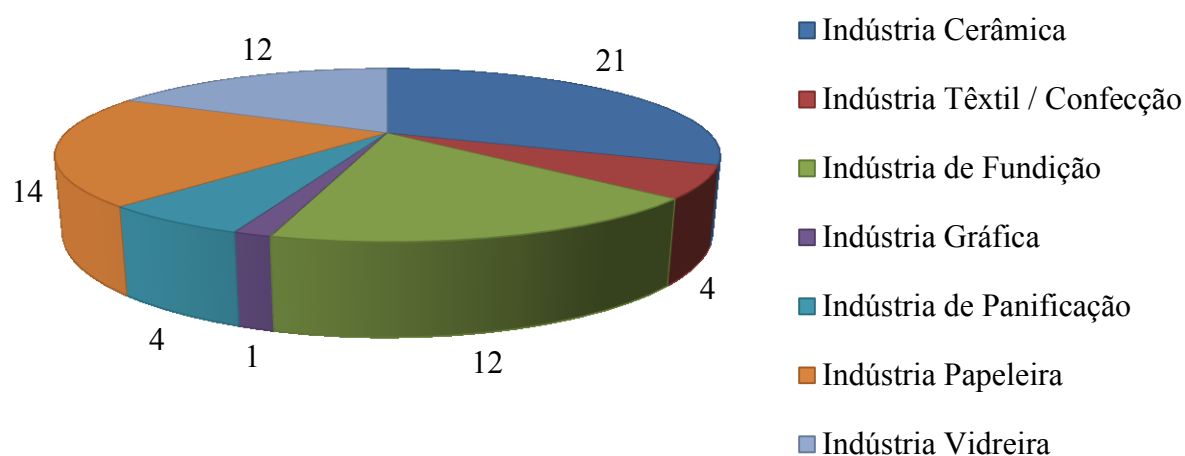


Gráfico 5.1 - Número de locais estudados por sector de atividade.

5.5.2. Apresentação E Interpretação Dos Resultados Com Base No Índice Térmico WBGT

De seguida são apresentados os gráficos correspondentes aos valores máximos, mínimos e médios ponderados, para o Índice WBGT, Temperatura de Bolbo Seco, Temperatura de Bolbo Húmido e Temperatura de Globo, registados em cada um dos locais analisados. Os gráficos incluem os 68 locais de trabalho. No Anexo D podem ser encontrados todos os registos efetuados para cada um destes parâmetros, para 26 novos locais de trabalho.

Para determinar os valores de WBGT de referência foi necessário estimar a taxa metabólica de cada trabalhador. Para os 26 novos locais de trabalho analisados, no Anexo D, podem ser encontrados os resultados das taxas metabólicas dos trabalhadores, conjuntamente com a descrição de cada um desses locais. Para os restantes locais foram considerados os valores citados nos trabalhos anteriores. As taxas metabólicas foram estimadas segundo a metodologia (de observação) referida na Norma *ISO 8996:2004*, mediante uma análise da informação recolhida *in situ*.

No Gráfico 5.2 são apresentados os valores da Temperatura de Bolbo Seco, medidos em cada local. Verifica-se que os maiores valores (médios) foram registados na Industria Vidreira,

nomeadamente 60,2°C (Junto ao Fider) e 61,1°C (Junto aos Queimadores). Os valores mais baixos foram encontrados na Indústria Papeleira em locais estratégicos de “repouso”. Mas olhando para os resultados de uma forma mais generalizada, pode-se dizer que em média os valores mais baixos foram registados nas Industrias Gráfica e da Panificação.

Os valores da Temperatura de Bolbo Húmido são apresentados no Gráfico 5.3, verificando que os maiores valores (médios) foram registados na Indústria da Papeleira e Vidreira. Na Indústria Papeleira o maior valor registado foi de 38°C (Zona Seca do Porão Pré-secaria) e na Indústria Vidreira o maior valor registado foi de 38,7°C (Linha de Produção C3). Os valores mais baixos pertencem à Indústria de Fundição.

O Gráfico 5.4 refere-se à Temperatura de Globo. Observa-se que os maiores valores (médios) foram registados na Indústria Vidreira, destacando-se o valor de 83,3°C registado na zona Junto ao Queimador. Os valores mais baixos foram encontrados na Indústria Gráfica (descartando as salas de controlo da Industria Papeleira).

Por fim, o Gráfico 5.5 apresenta para cada um dos locais, os valores máximo, mínimo, médio e de referência, do Índice Térmico WBGT. Quando os valores registados *in situ* são maiores que os seus valores de referência, verifica-se a possibilidade de ocorrência de stress térmico nos trabalhadores, pelo que nessas situações efetuou-se uma análise mais detalhada. Verifica-se que o sector da Indústria Vidreira é aquele que apresenta um maior número de situações de risco e que nos sectores têxtil, confeção e gráfica não se verificou qualquer situação de risco. É necessário ainda salientar que em algumas situações um posto de trabalho pode corresponder a mais que um local e que a análise dessas situações deve ser baseada em médias ponderadas. Nesse caso, as Indústrias da Cerâmica e do Vidro apresentam o maior número de situações de risco. Tendo como base a diferença entre o valor de WBGT registado e o de referência, verificou-se que os trabalhadores em maior risco foram: o trabalhador 53 (OP53) que apresentou um WBGT de 37,5°C com 9,5°C acima do WBGT de referência, o trabalhador 42 (OP42) que apresentou um WBGT de 33,2°C com 5,2°C acima do WBGT de referência e o trabalhador 4 (OP4) que apresentou um WBGT de 33,8°C com 3,8°C acima do WBGT de referência, pertencentes à indústria vidreira, papeleira e cerâmica, respetivamente.

Gráfico 5.2 - Temperatura De Bolbo Seco [°C]

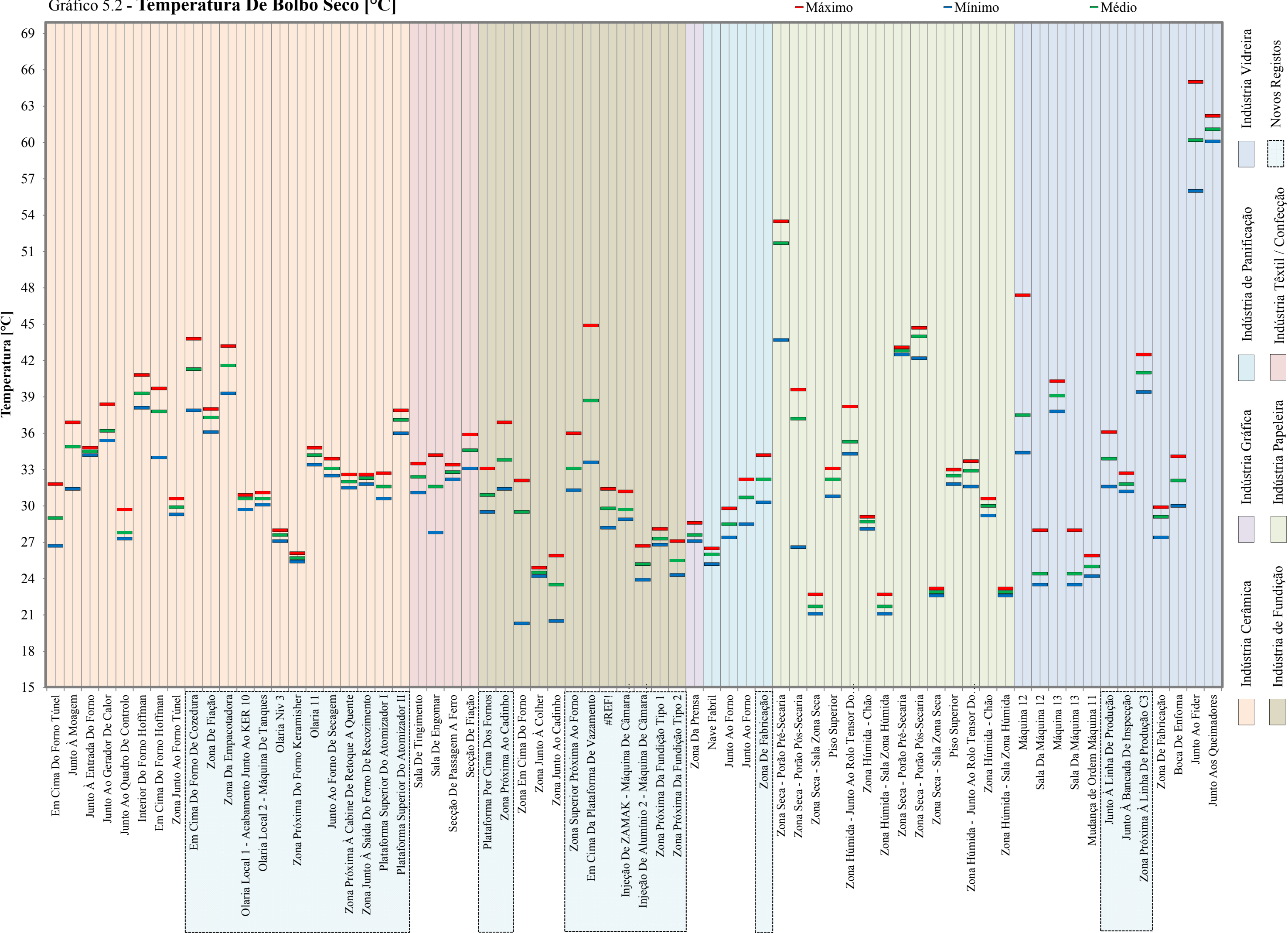


Gráfico 5.3 - Temperatura De Bolbo Húmido [°C]

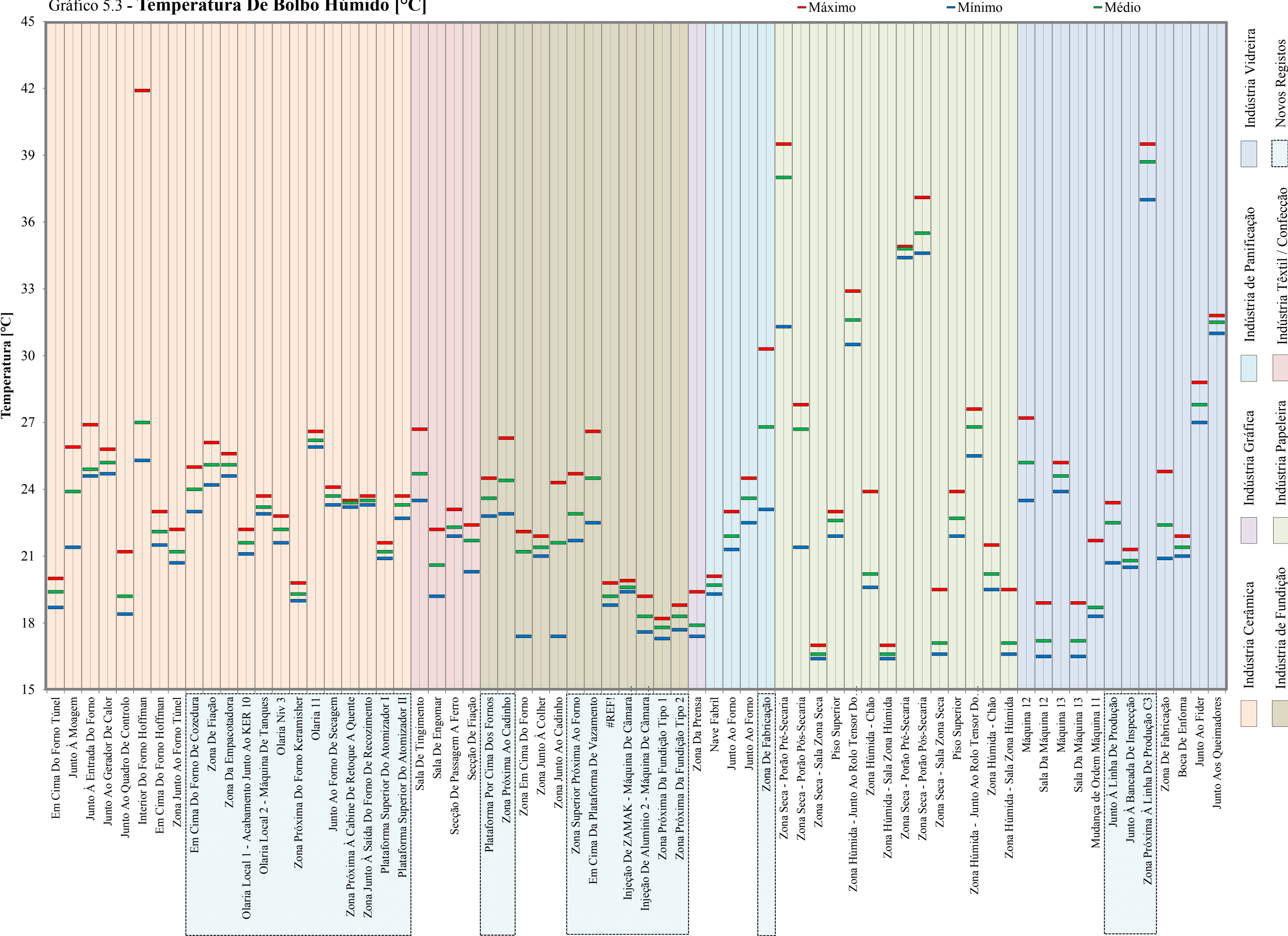


Gráfico 5.4 - Temperatura De Globo[°C]

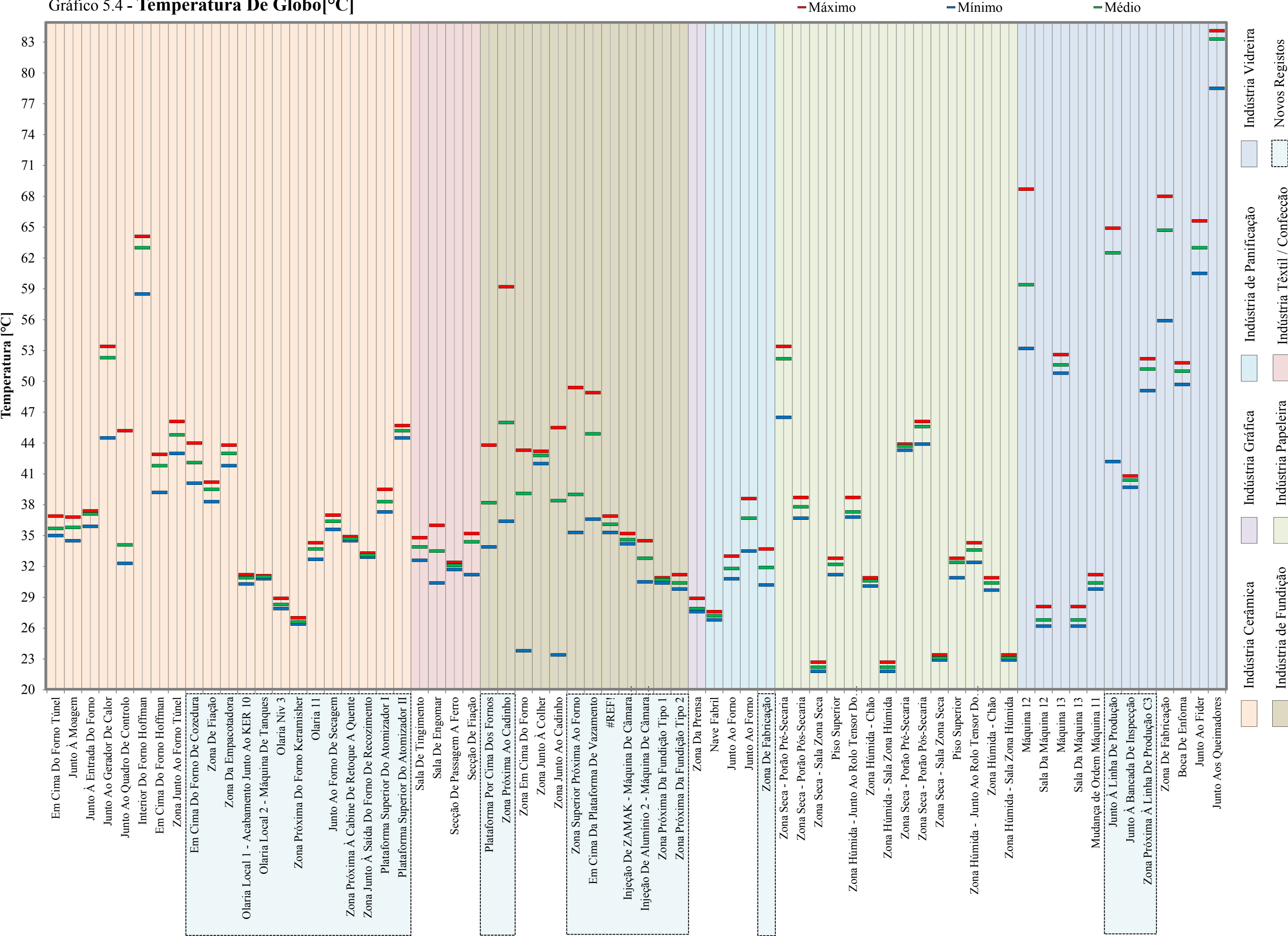
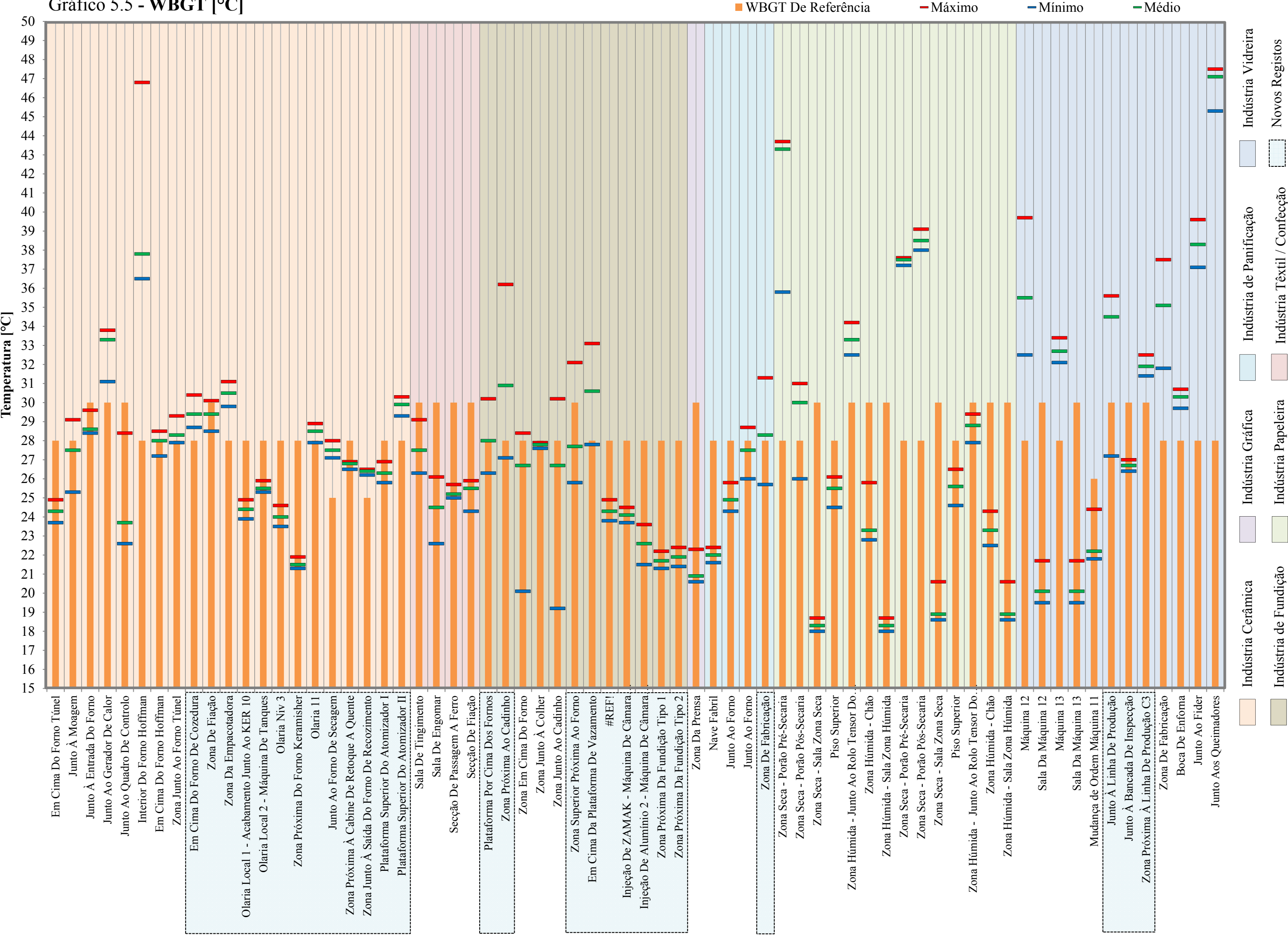


Gráfico 5.5 - WBGT [°C]

WBGT De Referência Máximo Mínimo Médio



5.5.3. Tempos De Repouso

Nas situações em que o valor de WBGT registado foi superior ao seu valor de referência, foram calculados os tempos de repouso que evitam a manutenção de condições de stress térmico. O tempo de repouso não é mais do que uma redução da atividade física do trabalhador ou a sua mobilização para um local com condições menos severas. No cálculo dos tempos de repouso para os novos locais analisados apenas foi considerada a redução da atividade, o que resulta em tempos de repouso maiores. Para os restantes locais são indicados os tempos de repouso apresentados nos trabalhos anteriormente desenvolvidos.

Na Tabela 5.2 são apresentados os tempos de repouso para todos os postos de trabalho que evidenciaram possíveis situações de risco para o trabalhador. Para o caso do trabalhador 4 (OP4) que pertence a um dos casos anteriormente estudados é desconhecido o tempo de repouso. No caso do trabalhador 52 (OP52) não foi possível calcular o tempo de repouso devido a incompatibilidades com a metodologia de cálculo usada, isto é, nesta situação o tempo de repouso não pode ser estimado com base na redução da atividade física por não ser suficiente para evitar uma situação de stress térmico, pelo que, nesta situação a solução passaria por mobilizar periodicamente o trabalhador para uma zona com condições menos severa.

Tabela 5.2 - Tempos de repouso.

Trabalhador	Sector	Local	Tempo de Repouso [min]
OP2	Cerâmica	Junto À Moagem	21
OP4	Cerâmica	Junto Ao Gerador De Calor	-
OP6	Cerâmica	Interior Do Forno Hoffman	6
OP7	Cerâmica	Em Cima Do Forno Hoffman	3
OP8	Cerâmica	Zona Junto Ao Forno Túnel	5
OP9	Cerâmica	Em Cima Do Forno De Cozedura	15
OP11	Cerâmica	Zona Da Empacotadora	24
OP16	Cerâmica	Olaria 11	28
OP17	Cerâmica	Junto Ao Forno De Secagem	10
OP19	Cerâmica	Zona Junto À Saída Do Forno De Recozimento	8
OP21	Cerâmica	Plataforma Superior Do Atomizador II	9
OP26	Fundição	Plataforma Por Cima Dos Fornos / Zona Próxima Ao Cadinho	13
OP27	Fundição	Zona Em Cima Do Forno	21
OP29	Fundição	Zona Junto Ao Cadinho	21
OP31	Fundição	Em Cima Da Plataforma De Vazamento	12
OP41	Panificação	Zona De Fabricação	17
OP42	Papeleira	Zona Seca - Porão Pré-Secaria / Porão Pós-Secaria / Sala Zona Seca	12
OP45	Papeleira	Zona Seca - Porão Pré-Secaria / Porão Pós-Secaria / Sala Zona Seca	5
OP48	Vidreira	Máquina 12 / Sala Da Máquina 12	17
OP49	Vidreira	Máquina 13 / Sala Da Máquina 13	17
OP52	Vidreira	Zona Próxima À Linha De Produção C3	?
OP53	Vidreira	Zona De Fabricação	26
OP54	Vidreira	Boca De Enforna / Junto Ao Fider / Junto Aos Queimadores / Sala de controlo	5

5.5.4. Análise Do Isolamento Térmico Do Vestuário

Os valores de WBGT de referência indicados na Norma *ISO 7243* baseiam-se num valor fixo para o isolamento térmico do vestuário de 0,6clo. Nos sectores de atividade analisados, em muitas das situações foi verificado que os trabalhadores utilizavam vestuário cujo seu isolamento térmico ultrapassava esse valor, como medida de proteção individual face às circunstâncias de risco verificadas no processo produtivo. Nessas situações existirá um agravamento dos riscos de stress térmico além dos associados à severidade do local.

No Anexo H são apresentados os valores para o isolamento térmico dos diferentes conjuntos de vestuário usados pelos trabalhadores nos diferentes postos de trabalho analisados segundo a Norma *ISO 7933*. Os valores individuais para o isolamento térmico de cada peça de vestuário foram obtidos através da Norma *ISO 9920:2007* (Anexo C do presente trabalho). O valor do isolamento térmico de cada conjunto foi obtido pelo somatório dos isolamentos parcelares de cada peça de vestuário. A informação sobre o vestuário usado pelos trabalhadores nos novos locais analisados encontra-se no Anexo D. Nos restantes são adotados os valores indicados nos estudos anteriores.

5.5.5. Apresentação E Interpretação Dos Resultados Com Base No Índice PHS

Nas situações em que o valor de WBGT medido no local de trabalho foi superior ao valor de referência definido na Norma *ISO 7243*, procedeu-se a uma análise complementar recorrendo à Norma *ISO 7933* (2004), baseada no Índice de Stress Térmico PHS. Esta metodologia possibilita uma caracterização mais detalhada de cada situação mediante informação recolhida *in situ* que engloba características individuais do trabalhador e características térmicas do posto de trabalho. Assim, através desta metodologia é possível entender a forma como o sistema termorregulador do trabalhador responderá à severidade do local e avaliar os riscos inerentes. Estes são quantificados com base nos resultados da temperatura interna do corpo e da taxa de sudção, resultando numa previsão do tempo máximo admissível para o armazenamento de calor e tempo máximo admissível para a perda hídrica (desidratação), para um período de 8 horas de trabalho (todos os casos foram analisados para esse período de tempo).

Além da análise aos postos de trabalho⁶, foi efetuado um estudo pormenorizado de cada local de trabalho. Em determinadas situações a análise do posto de trabalho pode não ser o suficiente para apurar as situações de risco. Assim, apresentam-se os resultados relativos a cada local de trabalho, analisando aquelas situações em que o trabalhador fica submetido a condições extremamente severas durante um curto período de tempo, mas que pode ser suficiente para representar uma situação de risco.

⁶ Cada posto de trabalho pode englobar mais que um local de trabalho.

Devido à complexidade dos cálculos que envolvem esta análise, foi desenvolvido um programa de cálculo em linguagem *Matlab* elaborado a partir do algoritmo apresentado na Norma *ISO 7933*. No Anexo G apresenta-se esta ferramenta de cálculo, nomeadamente no que se refere às funcionalidades do programa, algoritmos e um excerto do programa (correspondente às linhas de programação).

Nos casos onde a velocidades do ar não foi registada, adotou-se a velocidade de 0,2m/s, por ser reconhecida como a velocidade limite perceptível ao ser humano e que não lhe cria uma sensação de desconforto. No caso das avaliações efetuadas no âmbito do presente trabalho, o equipamento disponível para a medição da velocidade do ar restringiu-se a um anemómetro de copos cujo limite inferior da gama de medição corresponde a 0,7m/s, pelo que, nos casos onde a média da velocidade do ar registada foi inferior a 0,2m/s, adotou-se o valor de referência de 0,2m/s.

A inexistência de informação sobre um dos locais do posto de trabalho correspondente ao trabalhador 54 (OP54) obrigou a que os restantes locais desse posto, fossem analisados em separado.

Os Gráficos 5.6 a 5.11 apresentam os resultados obtidos com a aplicação do modelo de análise do Índice PHS. Nas Tabelas do Anexo H, são apresentados ao detalhe as informações utilizadas nos cálculos efetuados a cada um dos locais de trabalho analisados por esta metodologia, bem como os resultados obtidos e que são apresentados nos gráficos seguintes.

O Gráfico 5.6 mostra os resultados da taxa de sudção máxima, requerida e prevista para cada uma das situações analisadas, enquanto nos Gráficos 5.7 e 5.8 são apresentados os resultados para o débito evaporativo e humedecimento cutâneo, respetivamente.

Teoricamente a taxa de sudção é a quantidade de calor dissipado para o ambiente através da evaporação do suor que é produzido, como resposta do sistema termorregulador para garantir o equilíbrio térmico do corpo. O que por vezes pode acontecer é que nem todo o suor produzido chegue a contribuir para o arrefecimento, isto é, por vezes parte dele acaba por cair para o solo ou é “limpo” pelo trabalhador, não chegando a contribuir para o arrefecimento através da sua evaporação.

No Gráfico 5.6 consta-se que em nenhuma das situações a taxa de sudção requerida e prevista ultrapassa a taxa de sudção máxima, como seria de esperar. O algoritmo apresentado pela Norma evita que situações contrárias a essas possam ocorrer.

Nas situações onde se verificou que o valor da taxa de sudção prevista foi inferior ao valor da taxa de sudção máxima, significa que o sistema termorregulador é suficiente para garantir a manutenção do equilíbrio térmico do corpo. Nas situações em que o valor da taxa de sudção prevista coincide com o valor máximo, existe o risco do sistema termorregulador não conseguir garantir o equilíbrio térmico do corpo e consequentemente ocorrerá um aumento da temperatura interna. Isso ocorre quando o calor gerado e armazenado no interior do corpo é superior ao calor que é libertado através do mecanismo de termorregulação.

Das situações analisadas, aquelas que à partida não representam risco para um trabalhador aclimatado são as seguintes: OP11, OP16, OP17, OP19, OP41, OP42.2, OP45, e OP49. Caso o

trabalhador não se encontre aclimatado ao seu ambiente de trabalho, as situações passam a ser as seguintes: OP16, OP17, OP19, OP41 e OP45. Nas restantes situações o trabalhador poderá encontrar-se perante uma situação de tensão térmica.

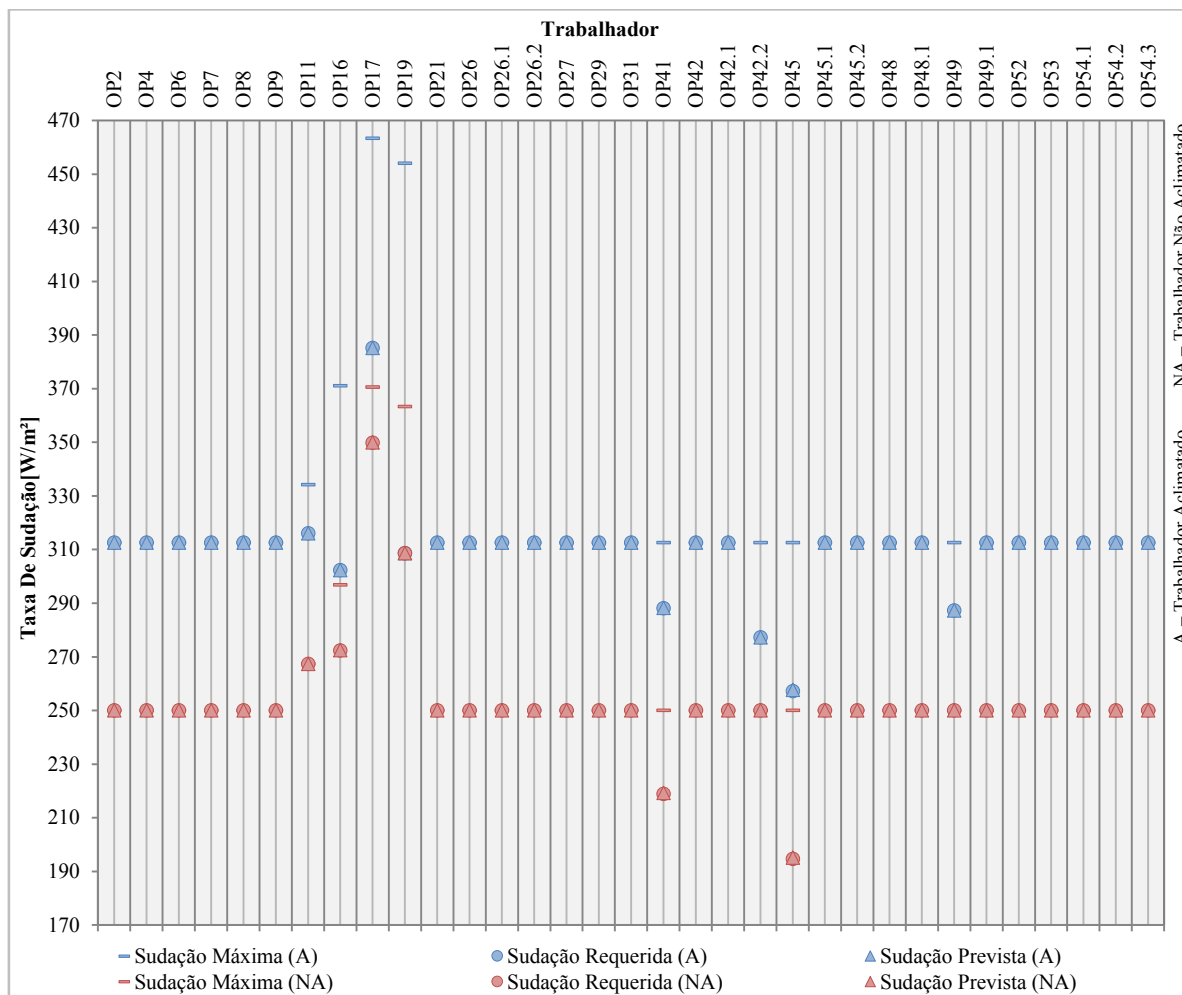


Gráfico 5.6 – Resultados Para Taxa de Sudação [W/m²].

A evaporação de suor da superfície da pele (débito evaporativo) é o mecanismo de manutenção que garante o equilíbrio térmico do corpo, evitando o armazenamento de calor no seu interior. Essa troca pode atingir o seu máximo no caso da superfície da pele se encontrar totalmente humedecida, estando dependente do nível de saturação do ar húmido, da resistência térmica do vestuário, do deslocamento do corpo e da movimentação do ar.

Um ambiente termicamente mais severo ou uma atividade física mais intensa resulta numa maior necessidade do corpo libertar calor e desde logo num débito evaporativo (requerido) maior. No entanto, o nível de saturação do ar húmido e a resistência térmica do vestuário influenciam o débito evaporativo (previsto), tornando-o por vezes insuficiente para garantir a manutenção do equilíbrio térmico do corpo, resultando assim num aumento da temperatura interna do corpo.

No Gráfico 5.7 pode-se observar, como já seria de esperar, que o débito evaporativo requerido não ultrapassa o máximo. Nas situações onde o débito evaporativo previsto foi significativamente inferior ao requerido, indica que a troca de calor ocorrida não se processa da forma mais eficiente, como pode ser observado no Gráfico 5.8 relativo ao humedecimento cutâneo. O humedecimento cutâneo (requerido) não é mais que a relação entre a troca de calor por evaporação requerida e a troca de calor por evaporação máxima da superfície da pele. O isolamento térmico do vestuário usado pelo trabalhador e a humidade relativa do ar são os principais fatores que condicionam a eficiência dessa troca. Assim, quando o débito evaporativo previsto é significativamente inferior ao requerido, verifica-se que nessas situações o isolamento térmico do vestuário utilizado pelo trabalhador ou a humidade relativa do ar, são elevadas (complementar informação com o Anexo H).

Analisando as piores situações e entendendo como tal os casos onde se verificou que os valores para o débito evaporativo previsto são significativamente inferiores aos valores do débito requerido, destacam-se os seguintes casos: trabalhador 6 (OP6), trabalhador 26 (OP26.2), trabalhador 48 (OP48.1), trabalhador 53 (OP53) e trabalhador 54 (OP54.2 e OP54.3).

Na situação OP6 o trabalhador realizava uma atividade moderada (165W/m^2), vestia um conjunto com um índice de isolamento térmico considerável ($0,9\text{ clo}$) e operava sob condições severas, onde se destacava a temperatura de globo (63°C). A humidade relativa do ar neste local era de aproximadamente 39%. Apesar da humidade relativa no local não ser elevada, a sua conjugação com o isolamento térmico do vestuário serão a razão pelo qual o débito evaporativo previsto foi significativamente inferior ao requerido, principalmente devido ao elevado isolamento térmico do vestuário.

Na situação OP26.2 o trabalhador realizava uma atividade moderada (153W/m^2), vestia um conjunto com um índice de isolamento térmico considerável ($1,1\text{ clo}$) e operava sob condições severas, onde se destacava a temperatura de globo (59°C). A humidade relativa do ar neste local era de aproximadamente 34%. À semelhança da situação anteriormente, a conjugação entre o isolamento térmico do vestuário e a humidade relativa do ar, poderão ser a razão pelo qual o débito evaporativo previsto foi significativamente inferior ao requerido, culpabilizando principalmente o isolamento térmico do vestuário.

Na situação OP48.1 o trabalhador realizava uma atividade moderada (165W/m^2), vestia um conjunto com um índice de isolamento térmico considerável ($0,9\text{ clo}$) e operava sob condições severas, com uma temperatura de bolbo seco (48°C), temperatura de bolbo húmido ($27,3^\circ\text{C}$) e temperatura de globo ($69,1^\circ\text{C}$), elevadas. A humidade relativa do ar neste local era de aproximadamente 13%. Neste caso, apesar da humidade relativa ser extremamente baixa o isolamento térmico do vestuário será a razão pelo qual o débito evaporativo previsto foi significativamente inferior ao requerido, tendo em conta que a severidade do local era extremamente elevada.

Na situação OP53 o trabalhador realizava uma atividade moderada (165W/m^2), vestia um conjunto com um índice de isolamento térmico considerável ($0,9\text{ clo}$) e operava sob condições severas, onde se destacava a temperatura de globo (68°C). A humidade relativa do ar neste local era de aproximadamente 67%. A conjugação entre o isolamento térmico do vestuário e a

humidade relativa do ar no local, serão a razão pelo qual o débito evaporativo previsto foi significativamente inferior ao requerido.

Na situação OP54.2 o trabalhador realizava uma atividade leve (133W/m^2), vestia um conjunto com um índice de isolamento térmico considerável ($0,9\text{clo}$) e operava num ambiente severo, com uma temperatura de bolbo seco (65°C), temperatura de bolbo húmido ($28,8^\circ\text{C}$) e temperatura de globo ($65,6^\circ\text{C}$), elevadas. Na situação OP54.3 o ambiente era mais severo, com uma temperatura de bolbo seco de $62,2^\circ\text{C}$, uma temperatura de bolbo húmido de $31,8^\circ\text{C}$ e uma temperatura de globo de $84,1^\circ\text{C}$. Nestes locais, a humidade relativa era extremamente baixa. O facto do débito evaporativo previsto ter sido significativamente inferior ao requerido deve-se ao isolamento térmico do vestuário, face às exigências impostas pelo ambiente térmico.

De uma forma geral as situações mais desfavoráveis ocorreram na Indústria Vidreira, o que vai ao encontro dos resultados obtidos por outros autores. Esta observação vem evidenciar que os riscos nos trabalhadores expostos ao calor neste sector são elevados.

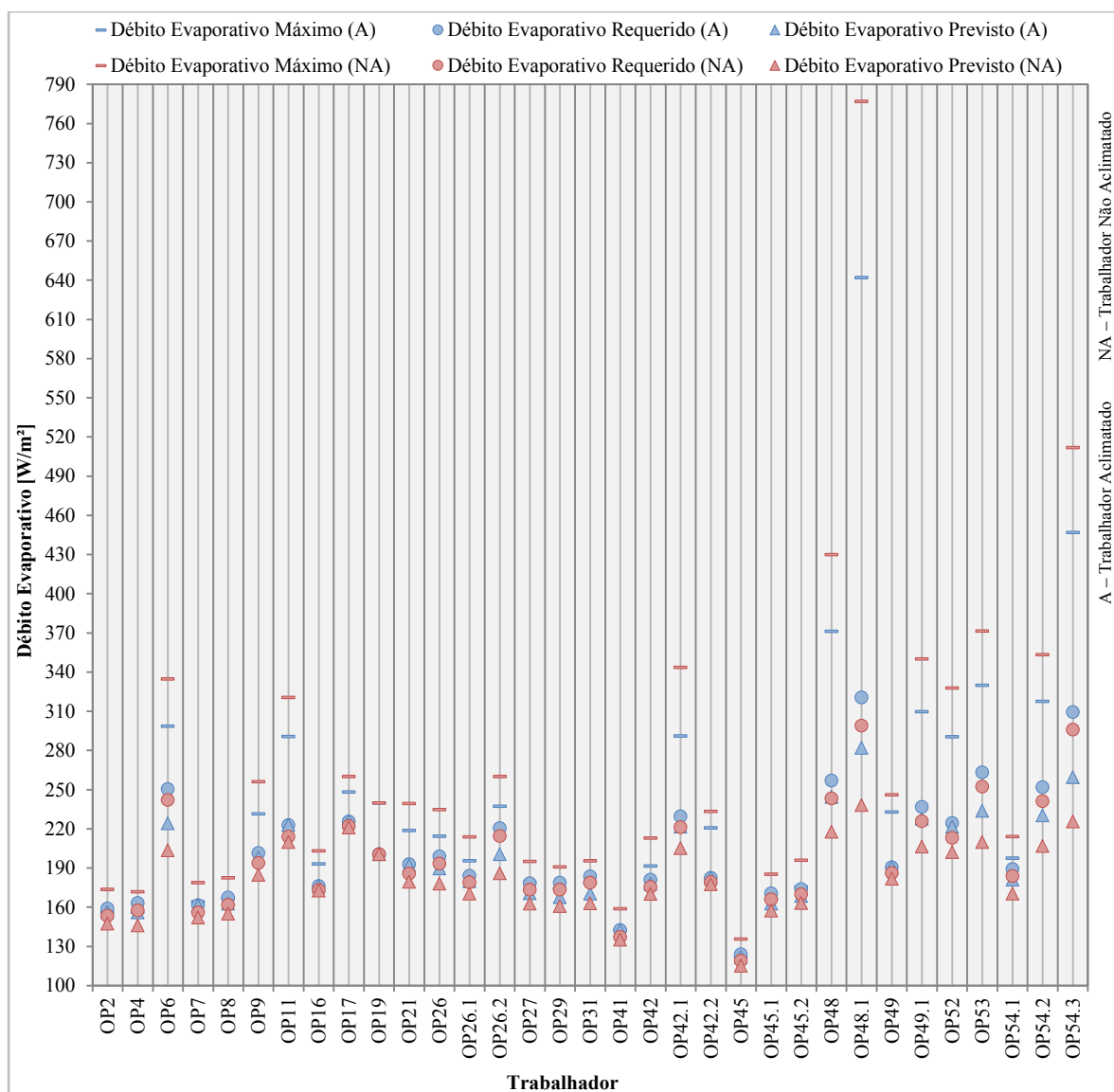


Gráfico 5.7 – Resultados do Débito Evaporativo [W/m^2].

No Gráfico 5.8 pode-se ainda observar que em algumas das situações o valor do humedecimento cutâneo requerido foi superior a 1. O humedecimento cutâneo requerido pode ser teoricamente superior a 1 no cálculo da taxa de sudação prevista. Mas como a perda de calor por evaporação é limitada à camada de água superficial, o humedecimento cutâneo previsto tem de ser sempre igual ou inferior a 1. Esta situação ocorre quando a taxa de sudação prevista é praticamente duas vezes superior à taxa de calor por evaporação (débito evaporativo previsto).

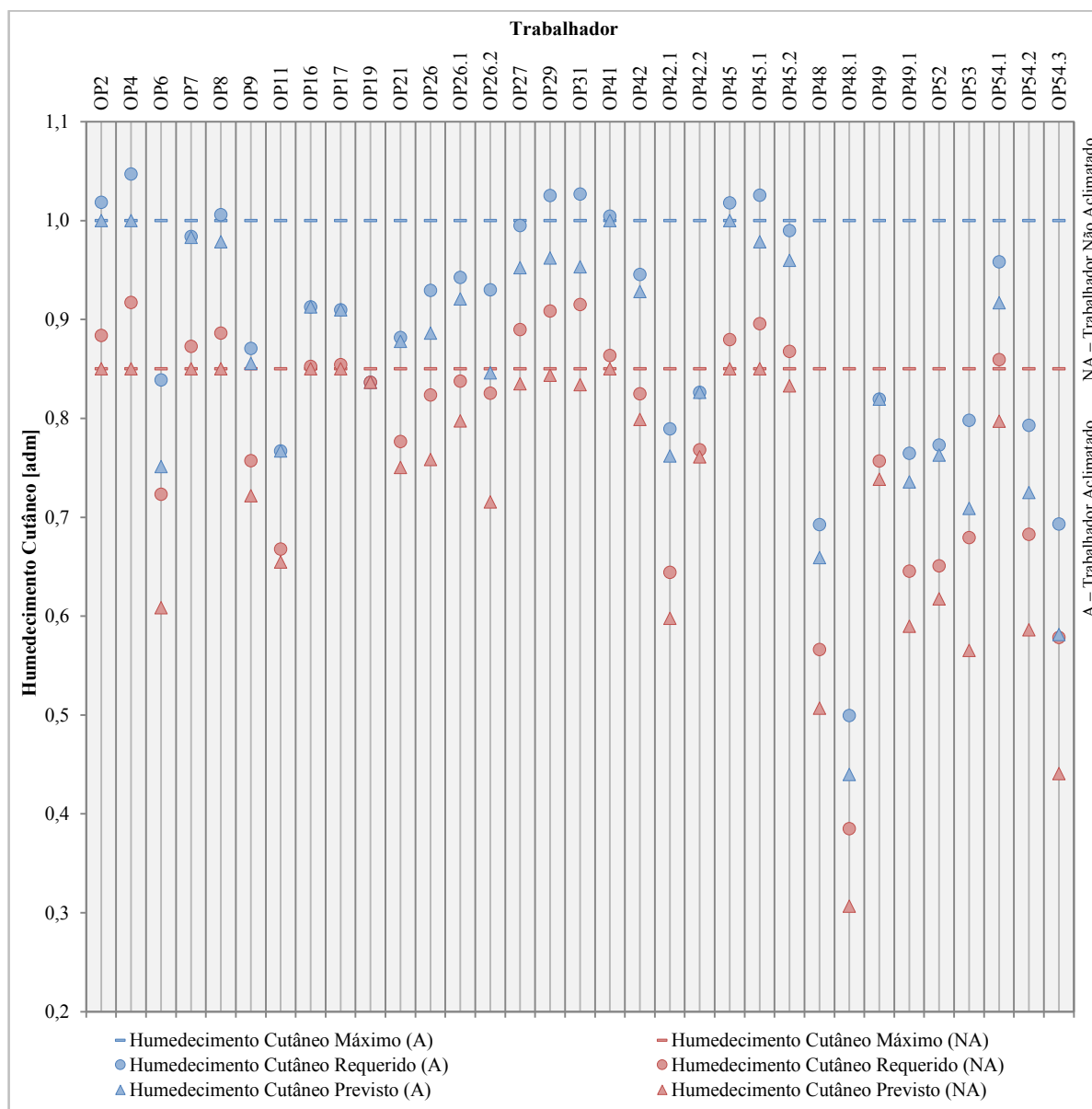


Gráfico 5.8 – Resultados do Humedecimento Cutâneo [adm].

Nos resultados obtidos para as temperaturas rectais (para um período de 8 horas de trabalho), verificou-se que as temperaturas rectais previstas nos trabalhadores não aclimatados foram maiores. Isso deve-se ao facto dos trabalhadores aclimatados transpiram mais e de uma forma mais uniforme pelo corpo, o que lhes possibilita um armazenamento de calor menor.

Cruzando os dados da temperatura retal com a severidade térmica do local, observou-se que as temperaturas retais prevista foram maiores nas situações onde o ambiente encontrado era mais severo.

O aumento da temperatura corporal verifica-se quando os mecanismos de termorregulação deixam de conseguir responder às necessidades exigidas, isto é, o calor libertado não é o suficiente para manter o equilíbrio térmico, nesses casos o tempo de exposição do trabalhador deve ser limitado. O tempo de exposição fica limitado quando a temperatura retal ou a perda hídrica atingem os valores máximos admissíveis.

No Gráfico 5.9 são apresentados os tempos limite para armazenamento de calor para um período contínuo de oito horas de trabalho. Em determinadas situações o tempo de exposição permitido não vai para além de poucos minutos, sabendo que os riscos para o trabalhador aumentando quando esse tempo de exposição é ultrapassado. Assim, existe em determinadas situações a necessidade do trabalhador realizar períodos de interrupção da atividade ou alternar a sua atividade para um local em que as condições ambientais sejam menos severas.

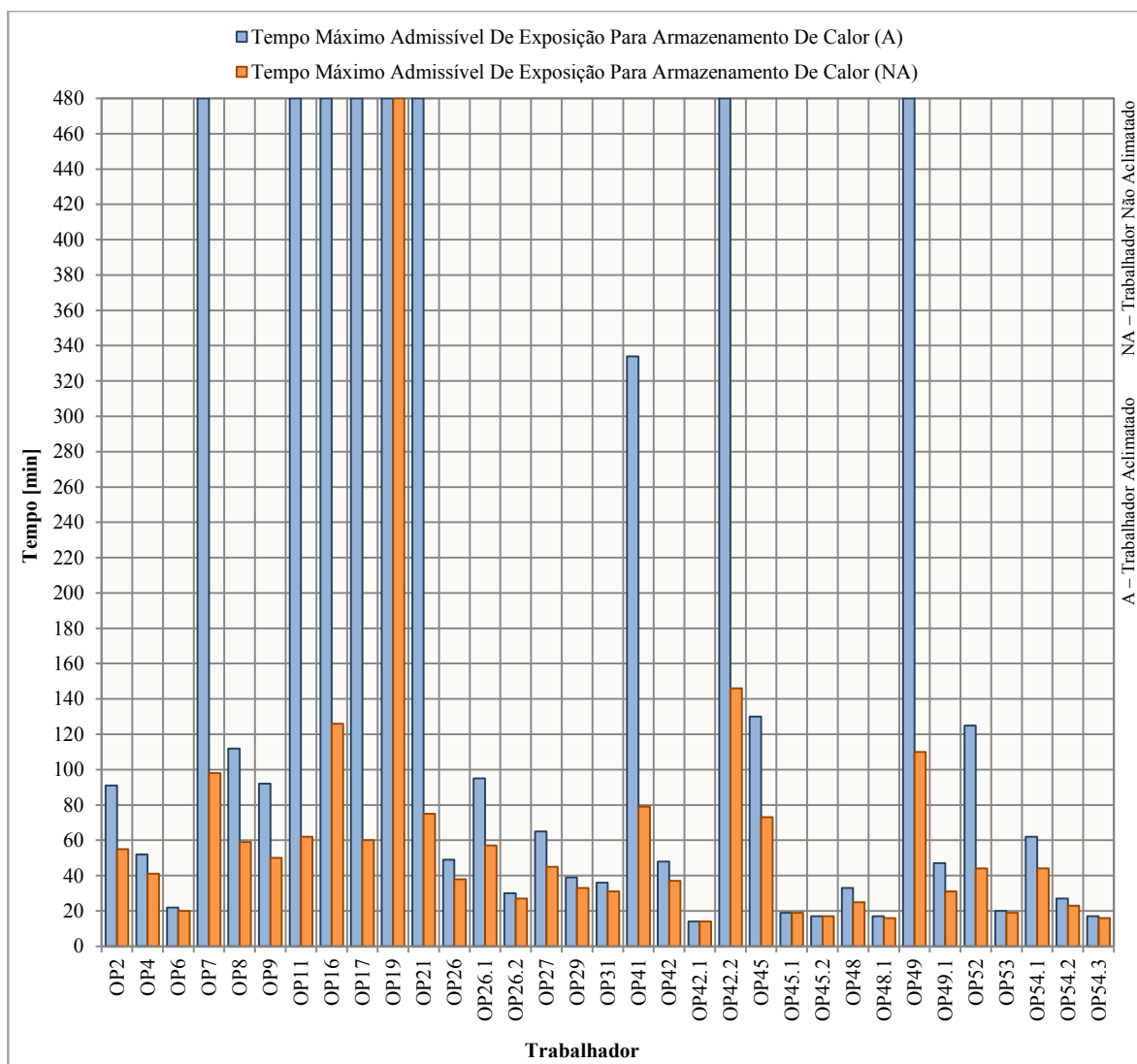


Gráfico 5.9 - Tempo máximo admissível de exposição para armazenamento de calor [min].

Em algumas das situações analisadas é desconhecido o tempo de permanência contínua do trabalhador no seu posto de trabalho. Por esta razão a discussão dos resultados está condicionada à informação existente. Nesta análise considera-se que o trabalhador se encontrava aclimatado.

Nas situações onde o posto de trabalho se resume a um local, considera-se que num período de 8 horas de trabalho o trabalhador apenas permanece 4 horas contínuas no mesmo local, isto porque cada trabalhador fará pelo menos uma pausa por turno. Assim sendo, verifica-se que nas situações OP2, OP4, OP6, OP8, OP9, OP26, OP27, OP29, OP31, OP42, OP45, OP48, OP52 e OP53, devem ser feitas mais que uma pausa por turno ou deve existir uma alternância de atividade ou local, durante o seu turno.

Nas situações OP26.1, OP26.2, OP49.1, OP54.1, OP54.2 e OP54.3 os trabalhadores permanecem continuamente no mesmo local de trabalho durante 40, 20, 45, 7, 13 e 10 minutos, respetivamente. Em nenhuma destas situações os trabalhadores ultrapassaram os tempos limite de exposição, como pode ser observado no Gráfico 5.9.

Nas situações OP42.1 e OP42.2 o trabalhador permanece continuamente no mesmo local de trabalho durante 30 e 15 minutos, respetivamente, verificando-se que na situação OP42.1 o tempo limite de exposição (14 minutos) é ultrapassado. Nas situações OP45.1 e OP45.2 o trabalhador permanece continuamente no mesmo local de trabalho durante 30 e 15 minutos, respetivamente, constatando-se que na situação OP45.1 o trabalhador ultrapassa o tempo limite de exposição (19 minutos). E na situação OP48.1 o trabalhador permanece continuamente no mesmo local de trabalho durante 45 minutos, ultrapassando o tempo limite de exposição (16 minutos). Nos casos em que o tempo de permanência contínua do trabalhador ultrapassou o tempo limite de exposição, aconselha-se aos trabalhadores a alterar a sua estratégia de atuação.

Os resultados dos tempos de exposição máxima para desidratação são apresentados no Gráfico 5.10, com a distinção entre resultados para um “Trabalhador Comum” e resultados para “95% Da Classe Trabalhadora”. A diferença entre eles está em que uma delas (95% Da Classe Trabalhadora) tem uma amostragem maior, o que resulta em tempos de exposição menores. Por norma o trabalhador comum a uma determinada atividade efetua uma melhor reidratação, comparativamente à maioria da classe trabalhadora. É nesse princípio que é feita a distinção entre resultados.

A desidratação de 3% da massa corporal induz um aumento da frequência cardíaca e da sensibilidade à transpiração, sendo o valor adotado como limite máximo de desidratação na indústria, caso o trabalhador não efetue uma reposição de água adequada. Nos cálculos foi considerado que todos os trabalhadores teriam água ao seu dispor e que por isso reidratavam-se com frequência. Assim, os limites para a desidratação considerados são de 7,5% para trabalhadores comuns e de 5% para 95% da classe trabalhadora.

Os trabalhadores aclimatados tendem a transpirar mais, mais cedo e com uma maior uniformidade, comparativamente aos trabalhadores não aclimatados, como já tinha sido referido anteriormente. Isso explica porque no Gráfico 5.10 o tempo máximo admissível para a perda de hídrica é sempre maior nos indivíduos não aclimatados. Além disso, os trabalhadores

aclimatados perdem menos sal através da transpiração, os que lhes dá a possibilidade de perder maiores quantidades de água.

Dos resultados obtidos a situação OP17 é aquela que apresentou o menor tempo de exposição. Esta situação ocorre porque o grau de atividade física desenvolvido pelo trabalhador era elevado, comparativamente aos restantes casos analisados. Isso reflete-se numa maior necessidade de libertar calor através da perda de água por transpiração, como mecanismo de libertar o excesso de calor produzido durante a atividade do trabalhador.

Considerando que num período de 8 horas de trabalho o trabalhador efetua pelo menos uma pausa por turno, onde se poderá reidratar, verifica-se que apenas na situação referida anteriormente (OP17), o trabalhador não deverá esperar pelas 4 horas de trabalho (pausa) para se reidratar.

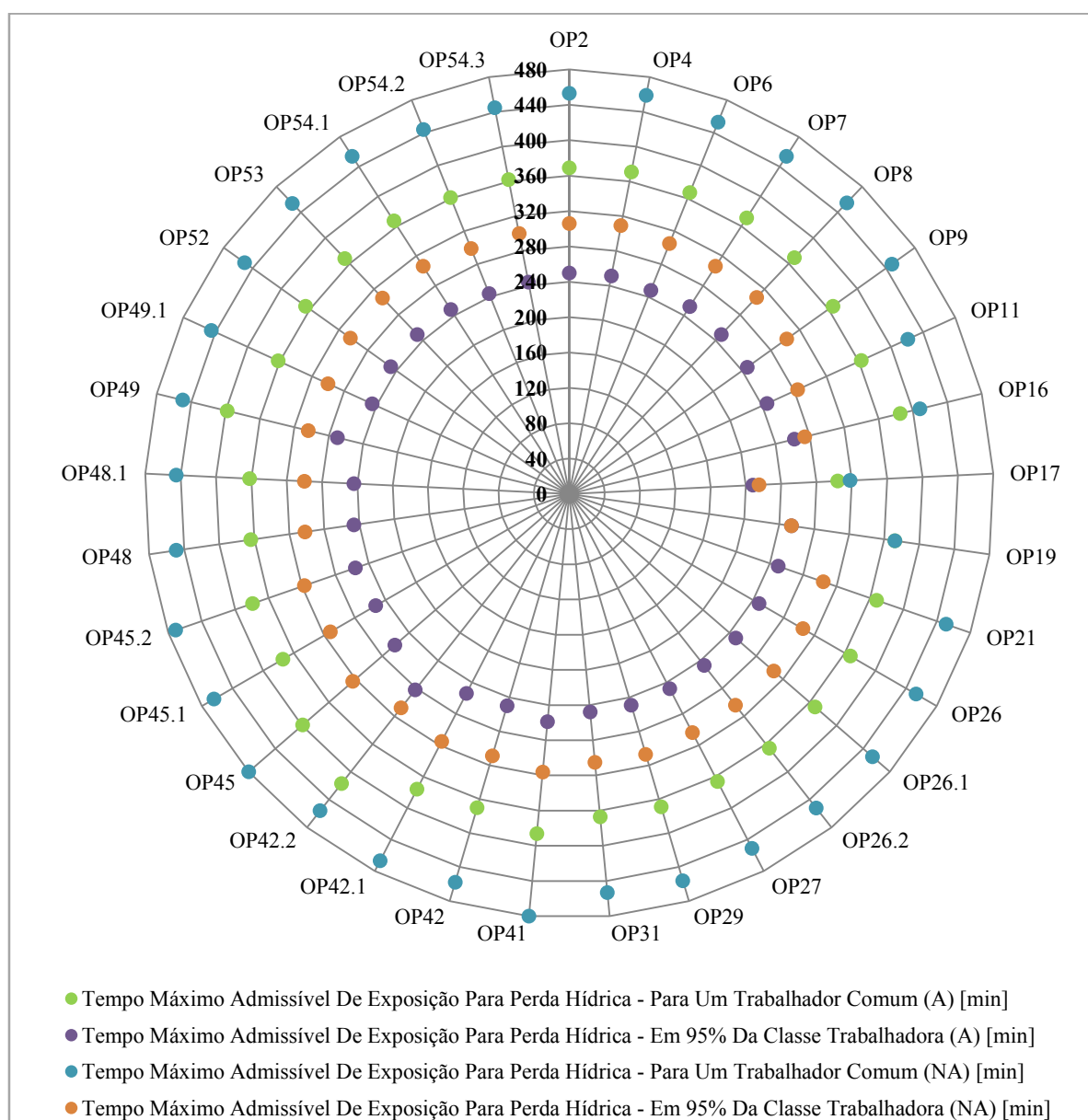


Gráfico 5.10 - Tempo máximo admissível de exposição para desidratação [min].

5.6. Comparação Dos Resultados Conseguídos Utilizando As Duas Versões Da Norma ISO 7933

Este subcapítulo surge com a necessidade de comparar os resultados obtidos, quando são aplicados os dois modelos de cálculo das diferentes versões da Norma *ISO 7933*. Apesar de existirem claras diferenças entre as duas versões, estas não se comparam com as modificações trazidas com o aparecimento do Índice SR (*ISO 7933:1989*), face aos anteriormente existentes. Mesmo assim, a discussão das diferenças nos resultados com a aplicação dos diferentes modelos da Norma, é uma medida que nos permite entender a evolução que esta teve.

O número de variáveis envolvidas em cada análise dificulta a discussão dos resultados e a tentativa de padronizar as diferenças encontradas. No capítulo 5 foi referido o conjunto de alterações efetuadas na revisão da Norma, pelo que, neste subcapítulo apenas é feita uma análise comparativa e generalizada dos resultados conseguidos com a aplicação das duas versões da Norma.

Para aplicar a antiga metodologia de cálculo da norma, foi utilizado um programa de cálculo já existente e que teve origem em trabalhos anteriormente realizados.

Com o aparecimento do Índice PHS (*ISO 7933:2004*) a análise deixou de ser realizada para as situações de “alarme” e de “perigo”, passando a haver apenas distinção nos resultados do tempo máximo admissível para a perda de água, entre resultados para um trabalhador comum e para 95% da classe trabalhadora. A antiga versão da Norma (Índice SR) não prevê a temperatura rectal, pelo que, são apenas discutidas as diferenças entre os resultados da taxa de sudação, débito evaporativo e tempos de exposição máxima para armazenamento de calor e desidratação.

O conjunto de locais analisados são os mesmos do subcapítulo anterior. No entanto, para simplificar a análise apenas são apresentados resultados para trabalhadores aclimatados, utilizando a mesma combinação de dados (por local analisado) e realizando uma análise para 480 minutos de atividade laboral.

É de salientar que em algumas das situações analisadas pelo menos o valor de um dos parâmetros utilizados ultrapassou o intervalo de validação indicado na Norma *ISO 7933:2004*, dificultando a sua análise. Nomeadamente verificou-se que a pressão parcial de vapor de água ultrapassou o seu intervalo de validação nos locais OP42.1, OP45.1 e OP45.2 e o isolamento térmico do vestuário nos locais OP26, OP26.1, OP26.2, OP27, OP29, OP31.

Nos Gráficos de 5.11 a 5.17 são apresentados os resultados obtidos para esta análise, fazendo a separação de resultados para o critério de “alarme” (ACA) e para o critério de “perigo” (ACP), de forma a entender qual dos critérios se aproxima mais do atualmente utilizado pela Norma.

Os Gráficos 5.11 e 5.12 mostram os resultados para o débito evaporativo previsto utilizando a nova e antiga versões da Norma. Verifica-se que os resultados obtidos com a nova metodologia são quase sempre superiores, tanto para o critério de “alarme” como para o critério de “perigo”, constatando-se que maiores pressões parciais de vapor de água resultam em maiores diferenças entre resultados. As maiores diferenças foram encontradas nas situações

onde a pressão parcial de vapor de água ultrapassou os limites de validação referidos na nova versão da Norma.

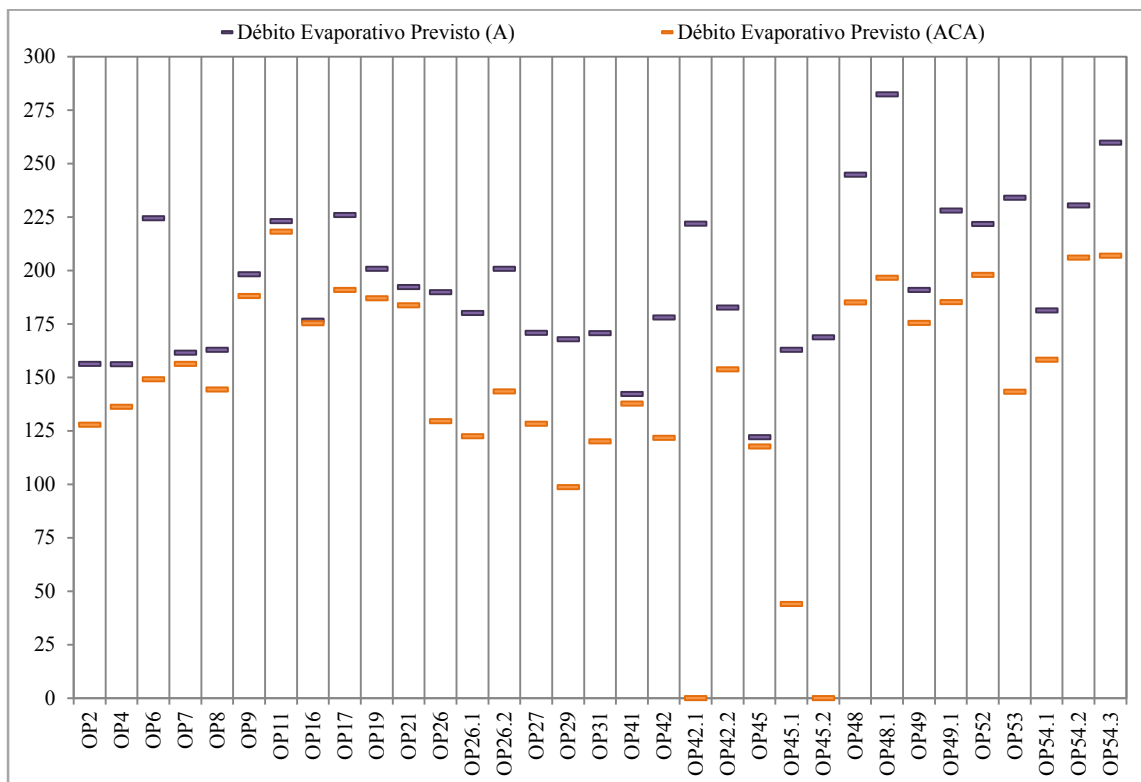


Gráfico 5.11 - Débito Evaporativo Previsto A/ACA [W/m²].

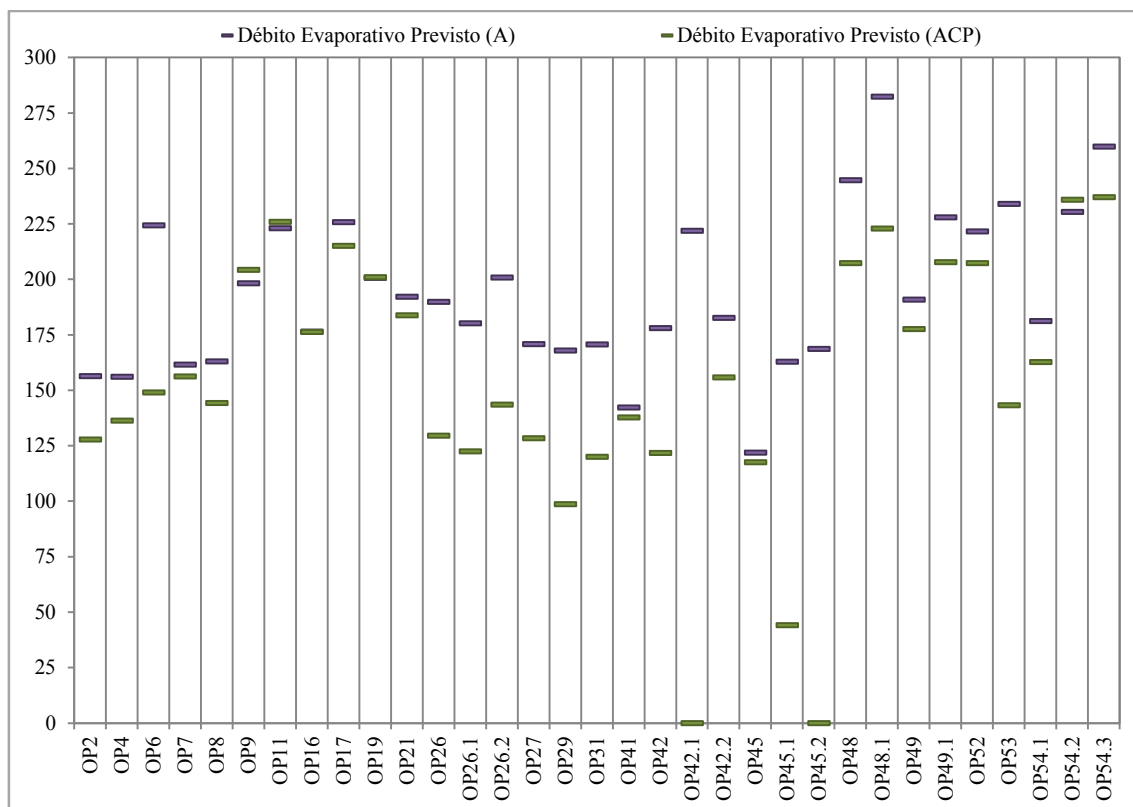


Gráfico 5.12 - Débito Evaporativo Previsto A/ACP [W/m²].

Os Gráficos 5.13 e 5.14 apresentam os resultados da taxa de sudação obtidos com as duas versões da Norma, verificando que os resultados obtidos com a nova versão da Norma são quase sempre superiores.

Cruzando os resultados com os dados de cada local, constata-se que de uma forma geral, na anterior metodologia a taxa de sudação prevista tem tendência a decrescer com o aumento da pressão parcial de vapor de água. Na atual versão isso não se verifica, pois esta tem em consideração a diminuição da eficiência da evaporação.

A radiação tem praticamente a mesma influência em ambas as versões da Norma, caso se trate de vestuário não refletor. Uma vez que o modelo que prevê a troca de calor por radiação é o mesmo, as diferenças entre os resultados não são influenciadas pela temperatura de globo de cada local.

A velocidade do ar tem maior influência sobre a taxa de sudação no novo modelo da Norma. De facto verifica-se que no Índice PHS houve alterações nos algoritmos correspondentes à troca de calor por convecção e evaporação.

A influência da taxa metabólica na taxa de sudação é a mesma em ambos os modelos da Norma, existindo algumas exceções quando as taxas metabólicas são elevadas. Nessas situações a taxa de sudação tende a aumentar com o aumento da taxa metabólica no modelo atual, enquanto no antigo modelo a taxa de sudação permanece constante.

Relativamente à influência do isolamento térmico do vestuário, a nova versão permite uma melhor aproximação da realidade, o que faz com que em alguns casos os valores da taxa de sudação nela sejam maiores.

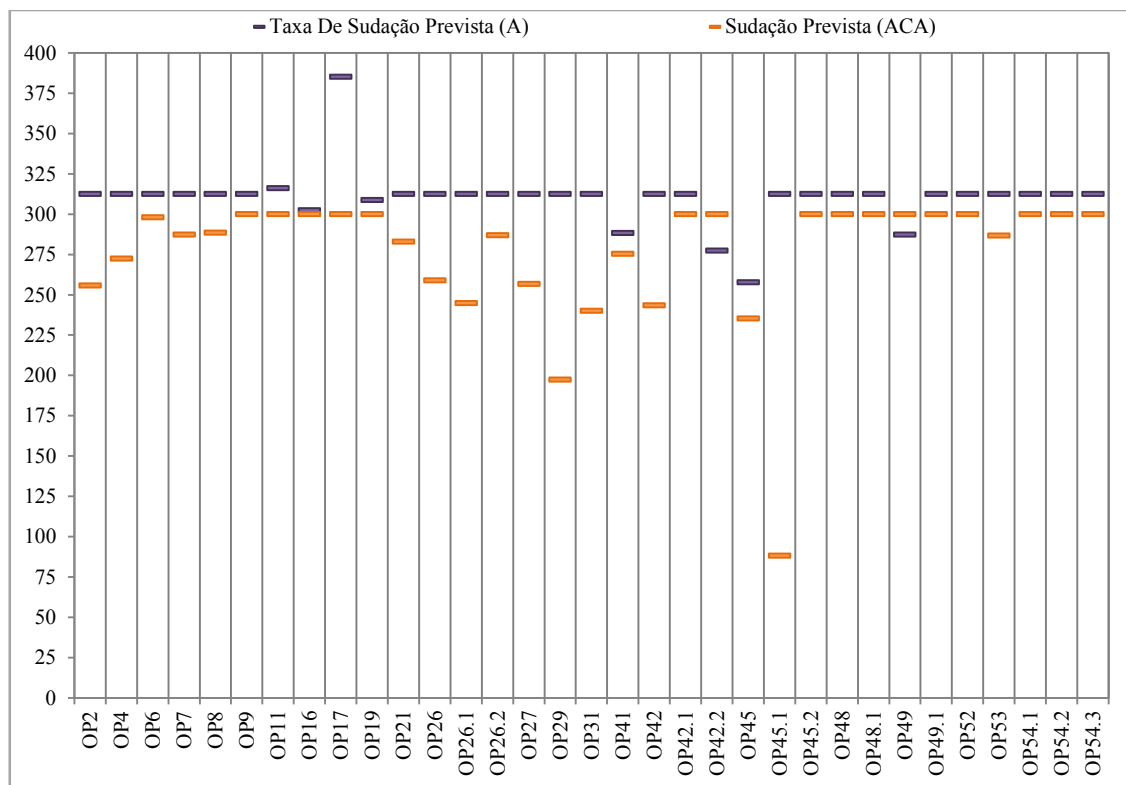


Gráfico 5.13 - Taxa De Sudação Prevista A/ACA [W/m²].

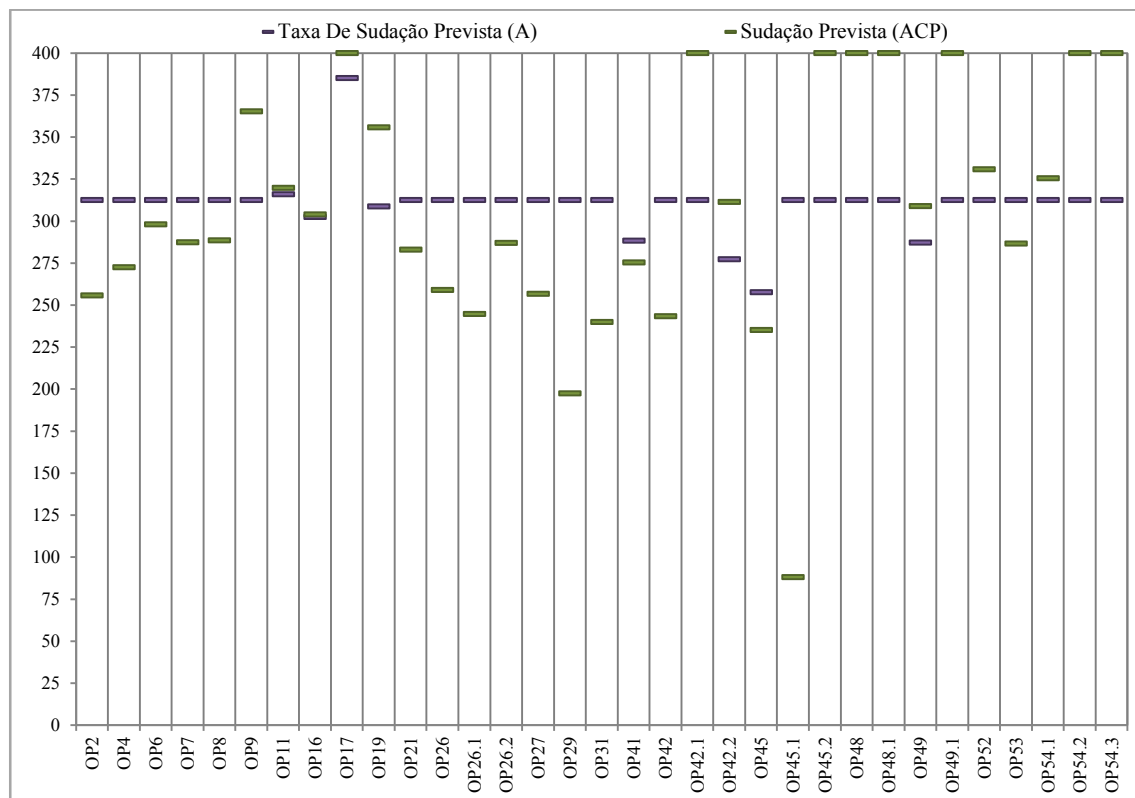


Gráfico 5.14 - Taxa De Sudação Prevista A/ACP [W/m²].

Nos Gráficos 5.15, 5.16 e 5.17 são apresentados os resultados dos tempos limite de exposição para armazenamento de calor e para desidratação, obtidos com a aplicação das duas metodologias. O programa de cálculo utilizado para aplicar a antiga metodologia da Norma apresenta apenas resultados para o critério que deve ser aplicado a cada situação (tempos limite para armazenamento de calor ou para desidratação). Pelo que, nos gráficos dos diferentes critérios não são apresentados resultados em todos os locais.

Os resultados evidenciam ainda algumas singularidades nos tempos de exposição em ambientes muito húmidos (OP42.1, OP45.1, OP45.2). Quando o critério de limite de exposição é a perda de água, os tempos obtidos são maiores na nova versão (para um trabalhador comum), como mostra o Gráfico 5.17, sendo no entanto sistematicamente menores quando é aplicado o critério de armazenamento de calor. Os tempos obtidos no critério de “alarme” da antiga versão da Norma são aqueles que mais se aproximam dos tempos da atual versão da Norma.

Os resultados conseguidos não possibilitaram fazer muitas observações relativamente às diferenças entre os dois modelos e seus resultados. O elevado número de variáveis envolvidas nos cálculos de cada um deles, dificultam a tarefa de padronizar as suas diferenças, pelo que, a discussão apresentada não foi mais aprofundada.

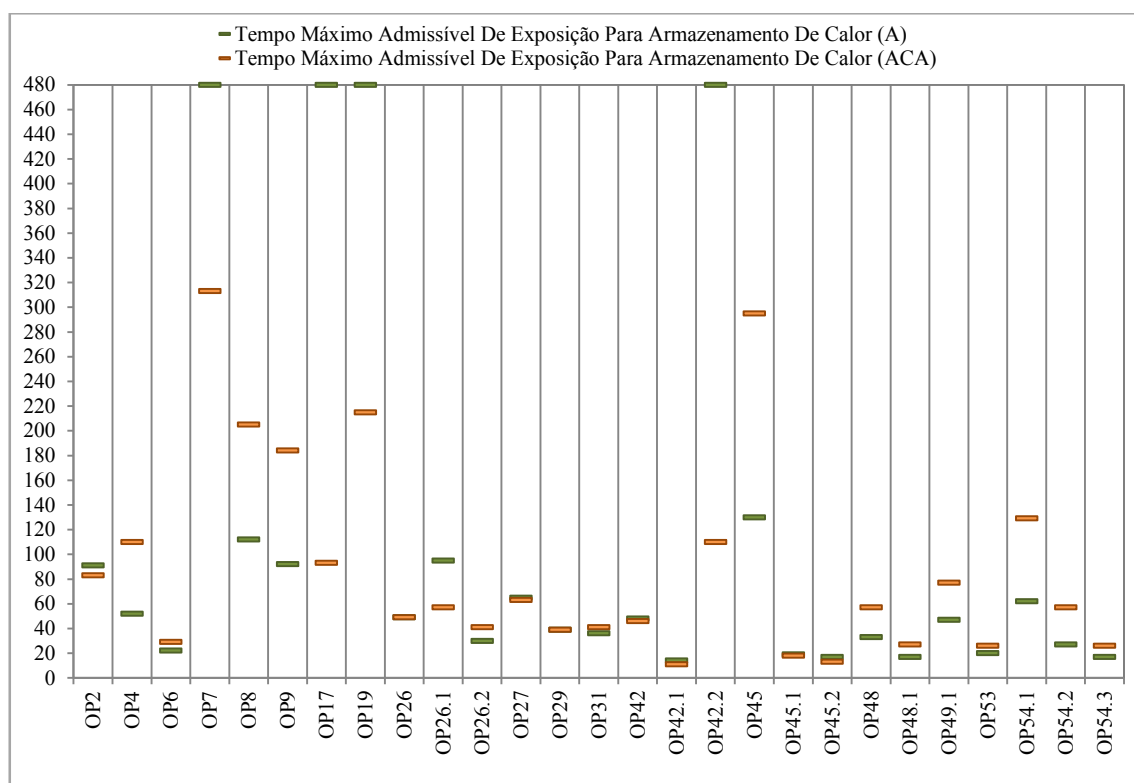


Gráfico 5.15 - Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Armazenamento De Calor A/ACA [min].

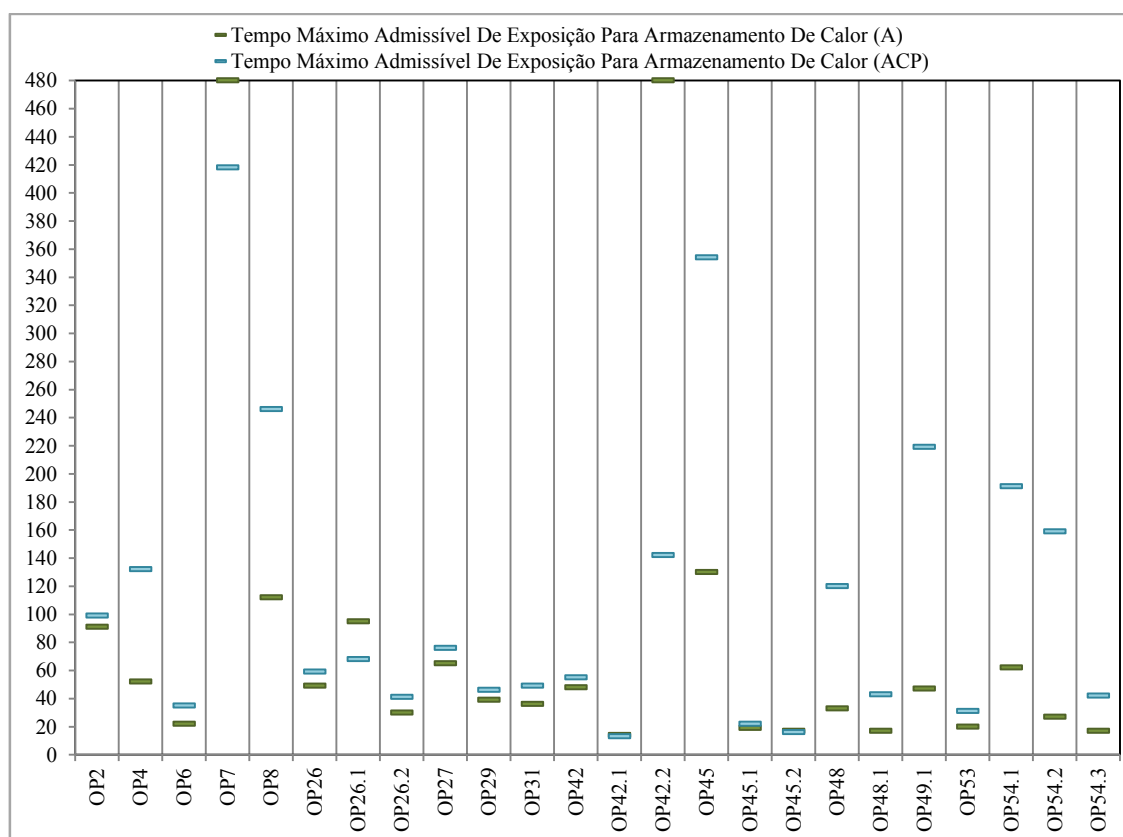


Gráfico 5.16 - Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Armazenamento De Calor A/ACP [min].

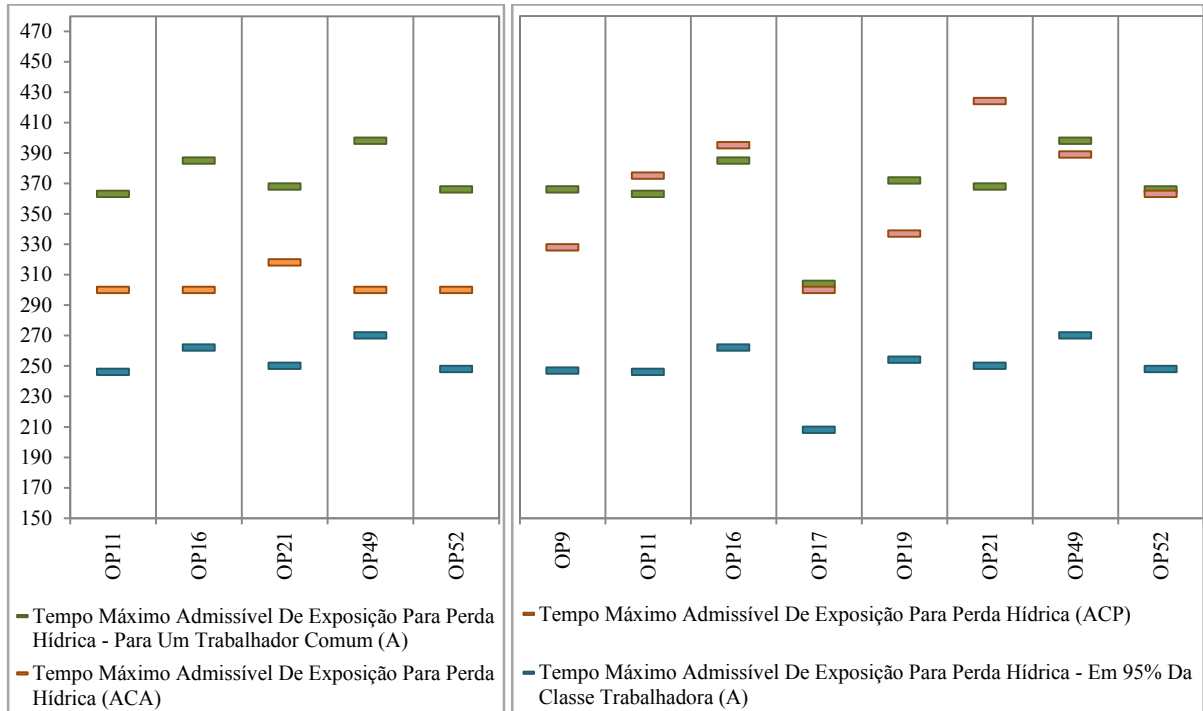


Gráfico 5.17 - Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Desidratação [min].

6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O presente trabalho teve o objetivo de aumentar o número de estudos de locais de trabalho onde o calor é um fator inerente ao processo produtivo e a presença de trabalhadores não pode ser dispensada. Assim, foram avaliados diversos locais de trabalho dos diferentes sectores da indústria portuguesa onde os trabalhadores são expostos a condições termicamente severas. Nele foram apresentados e discutidos os resultados obtidos nas diversas situações estudadas, que incluíram um conjunto de locais já analisados em trabalhos anteriores e um conjunto de novos locais de trabalho, incorporados no estudo propositadamente para o presente trabalho. Nos parágrafos seguintes são feitas as principais apreciações sobre os ensinamentos e conclusões do presente trabalho.

Na revisão bibliográfica foram abordados de uma forma sucinta os conteúdos relacionados com a termorregulação, alterações fisiológicas e patologias associadas à elevada exposição ao calor, para compreender de que forma o ser humano responde a situações de desequilíbrio térmico e quais os seus limites. Ainda na revisão bibliográfica, foi feita uma apresentação sucinta de diversos índices de caracterização térmica para ambientes quentes. Estes conteúdos foram inseridos neste trabalho com o objetivo de ajudar a compreender a evolução que esta temática tem tido com o decorrer dos anos. Permitindo entender que a evolução do Índice SR para o Índice PHS foi importante e que múltiplos esforços foram efetuados, onde a informação adquirida com os antigos índices é um fator chave para que outros novos índices possam surgir e que o seu enquadramento à realidade seja melhor.

A metodologia de análise adotada baseou-se na utilização da Norma *ISO 7243:1989* (Índice WBGT) como ferramenta de “triagem” das possíveis situações de risco e a Norma *ISO 7933:2004* (Índice PHS) para averiguar a sua severidade. Esta metodologia mostrou ser uma boa estratégia para avaliar situações de stress térmico em ambientes quentes. Até à data não existem quaisquer registos que na indústria portuguesa tenham sido feitos estudos segundo a Norma *ISO 7933:2004* a locais reais de trabalho, pelo que o presente trabalho foi pioneiro nesse aspeto. O programa desenvolvido para implementar o algoritmo de cálculo da Norma *ISO 7933:2004* facilitou o processo de análise, não existindo até à data registo de um programa que implementasse a norma.

Da primeira análise com o Índice WBGT constatou-se que das 54 situações analisadas referentes a 68 locais de trabalho, em 23 existia a possibilidade de existir stress térmico nos trabalhadores. Pegando nessas situações foram analisados 39 cenários que incluíram análises individuais a cada local de trabalho e a análises dos postos de trabalho, ficando-se a saber quais as situações a analisar segundo o Índice PHS. No final foram analisados 33 cenários segundo a Norma *ISO 7933:2004*. Dos resultados obtidos e tendo como base a razão entre o número de locais analisados por sector e o número de situações de risco averiguadas por sector, pode-se concluir que os trabalhadores da indústria vidreira estão mais vulneráveis a situações de stress

térmico. Apesar desta conclusão, a meu ver ela só deveria ser feita se as condições climatéricas exteriores fossem tidas em conta. Em muitas das situações elas influenciam diretamente os locais de trabalho interiores, dependendo é claro do tipo de construção, morfologia do edifício e entre outros fatores. Durante as visitas e numa tentativa de recolher informação junto dos trabalhadores, foi-me dito que em dias mais quentes a severidade térmica dos locais de trabalho era maior. Sobre os novos locais analisados existe a informação das condições climáticas exteriores durante os registos e que por infelicidade, na maioria das situações não foram favoráveis aos estudos, refletindo-se em resultados pouco críticos. Relativamente aos antigos estudos é desconhecida essa informação, pelo que, esta informação não foi considerada na análise de resultados. Relembro que para comparar estudos efetuados em dias, indústrias ou sectores diferentes, as informações relacionadas com as condições climatéricas deveriam ser tidas em consideração.

Nos casos onde foi identificada a possibilidade de existir risco de stress térmico nos trabalhadores, é aconselhada uma mudança nas estratégias de atuação e medidas preventivas ou corretivas deverão ser tomadas, a fim de reduzir ou mesmo suprir a probabilidade de situações de stress térmico e patologias que daí possam advir a curto ou longo prazo.

Na análise comparativa entre os resultados das duas versões da Norma *ISO 7933*, utilizando situações reais de trabalho, observou-se a existência de claras diferenças nos resultados dos dois modelos de análise distintos. Também se sabe que o novo modelo tem a vantagem de prever a temperatura rectal, possibilitando uma análise mais completa. A descontinuação dos dois critérios de cálculo existentes no antigo modelo, também veio simplificar a análise dos resultados no novo modelo.

Relativamente à questão prática desta temática nas empresas, foi averiguado que na maioria delas esta já não era ignorada. Isso apesar de internamente, só terem sido efetuadas análises segundo a Norma *ISO 7243:1989* em algumas delas. Relativamente ao modo de atuação, muitas delas já tinham tomado medidas nomeadamente no modo organizacional de tarefas, em que o trabalhador realizava uma mudança periódica de atividade/posto. Outras medidas observadas têm a ver com os pontos de reidratação que eram disponibilizados aos trabalhadores e os meios de proteção que lhes eram fornecidos. Para além disso, em algumas delas existiam sistemas de ventilação mecânica que facilitavam a redução da carga térmica ou que simplesmente ventilavam o espaço de trabalho. Por fim, também foram conhecidas situações em que o processo produtivo sofreu alteração para evitar que o trabalhador estivesse exposto a condições severas. Apesar disso, foram também presenciados maus exemplos, muitas das vezes por desconhecimento desta temática. De uma forma geral verificou-se que existe uma crescente preocupação por parte das empresas em zelar pelos seus colaboradores.

O conteúdo bibliográfico atualmente disponível mostrou ser muito mais vasto comparativamente à quele que existia quando foram elaborados os trabalhos anteriores sobre a mesma temática. Essa diversificação de conteúdos vem proporcionando o crescimento desta temática e consequentemente o seu progresso, dando origem a novos índices térmicos que cada vez mais se aproximam da realidade experimentada pelo ser humano.

Em trabalhos futuros, vários rumos podem ser adotados. A análise da influência das condições climáticas exteriores nos locais de trabalhos interiores pode ser entendida como um tema a analisar em trabalhos futuros, conjuntamente com o aumento do número de estudos principalmente nos sectores da vidreira e da fundição. Neste trabalho tinha sido objetivado realizar estudos em locais de trabalho de minas, mas por diversos fatores isso não foi possível. Até à data são desconhecidos estudos neste sector utilizando a metodologia de análise adotada neste trabalho. Assim, seria importante estudar este sector e verificar se a nova versão da Norma *ISO 7933* oferece melhores resultados comparativamente à antiga, particularmente nos ambientes extremamente húmidos das minas. O programa de cálculo elaborado para auxiliar este trabalho mostrou-se uma ferramenta essencial para a sua concretização, mas muitas melhorias poderão ser feitas. Poderia ser desenvolvido um novo programa de cálculo que aplicasse em conjunto a Norma *ISO 7243* e a Norma *ISO 7933* e que no final facultasse automaticamente relatórios de análise. Ferramentas adicionais poderiam ser introduzidas nesse programa, nomeadamente uma para simular a taxa metabólica, aplicando a Norma *ISO 8996* e outra para calcular o isolamento térmico do vestuário, aplicando a Norma *ISO 9920*. Isso possibilitaria ao operador fazer uma análise rápida de cada situação de trabalho. Por fim, num trabalho futuro, poderia ser analisado de uma forma aprofundada o índice do Limite de Trabalho Térmico, desenvolvendo estudos comparativos entre este índice e os índices WBGT e PHS.

No geral o trabalho desenvolvido cumpriu os objetivos inicialmente propostos, apesar das diversas condicionantes e dificuldades que se interpuseram durante a sua concretização.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Águas, Miguel (2000). *Conforto Térmico*. Módulo da Disciplina de Mestrado Métodos Instrumentais em Energia e Ambiente. Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Alfano, G. (1999). *Measurement Of The Climatic Parameters: Techniques, instruments, accuracy,...* Dipartimento di Energetica, Termodinamica Applicata, Condizionamenti ambientali, University of Napoli “Federico II”, Italy
- American Industrial Hygiene Association (AIHA), (1975a). *Heat exchange and human tolerance limits*. In: *Heating and cooling for man in industry*. American Industrial Hygiene Association, 2d Ed., Ohio.
- American Industrial Hygiene Association (AIHA), (1975b). *Heating and cooling for man in industry*. American Industrial Hygiene Association, 2d Ed., Ohio.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), (2003). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. ASHRAE, Third Public Review, Atlanta.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), (2009). *Handbook of Fundamentals*. ASHRAE, New York.
- Ashley, C.; Luecke, C.; Schwartz, S.; Islam, M.; Bernard, T. (2008). *Heat strain at the critical WBGT and the effects of gender, clothing and metabolic rate*. International Journal of Industrial Ergonomics. University of South Florida, USA.
- Auliciems, Andris; Szokolay, Steven V. (2007). *Thermal Comfort*. Second edition. Department of Architecture, The University of Queensland, Australia.
- Bechtel, Robert B.; Churchman, Arza (2002). *Handbook Of Environmental Psychology*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Bedford, T. (1936). *The Warmth Factor in Comfort at Work. A Physiological Study of Heating and Ventilation*. Medical Research Council, Industrial Health Research Board Report, Report No 76.
- Belding, H. S.; Hatch, T. F. (1955). *Index for evaluating heat stress in terms of resulting physiological strain, Heating, Piping and Air Conditioning*. Vol. 24: 129-136.
- Belding, H. S. (1972). *Engineering approach to analysis and control of heat exposures*. In *Industrial Environmental Health*. Academic Press, New York.
- Bernard, Thomas E. (1999). *Wet Bulb Globe Temperature: Implications In The Analysis Of Heat Stress*. College of Public Health, University of South Florida, USA.
- Brake, Rick; Bates, Graham (2001). *A Valid Method for Comparing Rational and Empirical Heat Stress Indices*. School of Public Health, Curtin University, Australia.

-
- Braz, José (2005). *Fisiologia da termorregulação normal*. Revista Neurociências. Departamento de Anestesiologia da Faculdade de Medicina de Botucatu, Universidade Estadual de São Paulo, Brasil.
 - Candas, Victor (1999). *Local Insulation, Local Evaporative Capacity And Local Sweat Output Also Influence The Overall Thermal Responses And The Associated Tolerance Time*. CEPA - CNRS, Strasbourg.
 - Carter, Robert *et al.* (2007). *Doenças provocadas pelo calor*. Gatorade Sport Science Institute, Brasil.
 - Cena, K.; Clark, J. A. (1981). *Bioengineering, Thermal Physiology and Comfort*. Elsevier Scientific Publishing Company, Poland.
 - Chande, Adnilo Faizal (2009). *Risco De Stress Térmico Em Ambiente Fabril – Análise comparativa entre a indústria papeleira e vidreira*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Dinâmicas Sociais, Riscos Naturais e Tecnológicos, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Faculdade de Letras e Faculdade Economia da Universidade de Coimbra, Coimbra.
 - Colin, J.; Timbal, J.; Houdas, Y.; Boutelier, C.; Guieu, J. (1971). *Computation of mean body temperature from rectal and skin temperatures*. Journal of Applied Physiology 31(3), 484-489.
 - Costa, E.; Baptista J.; Diogo, M.; Magalhães, A. (2011). *Ambiente Térmico Quente e o seu impacto na produtividade e sinistralidade*. Centro de Investigação em Geo-Ambientes e Recursos, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
 - Crutchfield, Clifton (2011). *A Guide to Preventing Heat Stress and Cold Stress. Occupational Safety and Health Division*, N. C. Department of Labor (NCDOL), North Carolina.
 - Davies, Brian; Henderson, John (2009). *Thermal Environment*. Student Manual. School of Health Sciences, University of Wollongong, Australia.
 - Dasler, A. R. (1974). *Ventilation and Thermal Stress*. Ashore and Afloat, Chapter 3 in Manual of Naval Preventive Medicine. Navy Department, Bureau of Medicine and Surgery, Washington.
 - Dowell, Chad H.; Tapp, Loren C. (2007). *Evaluation of Heat Stress at a Glass Bottle Manufacturer*. Department Of Health And Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, Health Hazard Evaluation Report, Indiana.
 - Edwards, R. J.; Belyavin, A. J.; Harrison, M. H. (1978). *Core temperature measurement in man*. Aviation, Space, and Environmental Medicine November, 1289–1294.
 - Epstein, Yoram; Moran, Daniel (2006). *Thermal Comfort and the Heat Stress Indices*. Heller Institute of Medical Research, Sheba Medical Center, Tel Hashomer and the Sackler Faculty of Medicine, Tel Aviv University, Israel.
 - Frota, Anésia Barros; Schiffer, Sueli Ramos (1987). *Manual de Conforto Térmico*. Studio Nobel, 5ª edição, Brasil.
-

-
- Gabinete de Estratégia e Planeamento (2010). *Séries Cronológicas Acidentes De Trabalho 2000 - 2007*. Ministério da Solidariedade e da Segurança Social, Lisboa.
 - Gabinete de Estratégia e Planeamento (2011). *Séries Cronológicas Acidentes De Trabalho 2000 - 2008*. Ministério da Solidariedade e da Segurança Social, Lisboa.
 - Gabinete de Estratégia e Planeamento (2012). *Acidentes De Trabalho 2009*. Ministério da Solidariedade e da Segurança Social, Lisboa.
 - Gaspar, Adélio; Quintela, Divo (2009). *Physical modelling of globe and natural wet bulb temperatures to predict WBGT heat stress index in outdoor environments*. Department of Mechanical Engineering, Faculty of Sciences and Technology, University of Coimbra, Coimbra.
 - Giampaoli, Eduardo; Saad, Irene Ferreira; Cunha, Irlon (2002). *Norma de Higiene Ocupacional: Procedimento Técnico - Avaliação da Exposição Ocupacional ao Calor*. Ministério do Trabalho, Fundacentro, Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho, Brasil.
 - Givoni, B. (1976). *Man, Climate and Architecture*. Applied Science Publishers, London.
 - Griefahn, Barbara (1999). *Medical Aspects: Selection And Surveillance Of Personnel Working In The Heat*. Institute for Occupational Physiology, University of Dortmund, Germany.
 - Hatch, T. F. (1963). *Assesment of heat stress. In: Temperature – Its measurement and control in science and industry*. Vol.3, Part 3, Biology and Medicine, New York.
 - Havenith, G. (1997). *Individual Heat Stress Response*. Tese para a obtenção do grau de Doutor. Universidade Católica de Nijmegen, Países Baixos.
 - Havenith, G.; Holmér, I.; Hartog, E. A.; Parsons, K. (1999). *Clothing Evaporative Heat Resistance - Proposal for Improved Representation in Standards and Models*. Department of Human Sciences, Loughborough University, United Kingdom.
 - Health and Safety Executive (HSE), (2006). *Prevention of heat illness in mines*. Occupational Health in Mines subcommittee, Mining Industry Committee, United Kingdom.
 - Holmer, Ingvar (1999). *Evaluation Of The Metabolic Rate*. National Institute for Working Life, Solna, Sweden.
 - Holmer, Ingvar (2006). *Protective Clothing in Hot Environments*. Thermal Environment Laboratory, Department of Design Sciences, Lund University, Sweden.
 - Hudson, Joel *et al.* (2003). *Heat Stress Control and Casually Management – Technical Bulletin*. Headquarters Department of the Army and Air Force, Washington.
 - Ilmarinen, Raija; Lindholm, Harri (1999). *Traditional And Modern Monitoring Methods Of Heat Strain In Workers Exposed To Extreme Heat At Work*. Finnish Institute of Occupational Health, Vantaa, Finland.
 - International Labour Organization (2001). *Ambient factors in the workplace*. International Labour Office, First Edition, Geneva.
-

-
- Islam, Maeen Zakaria (2005). *Influence of gender on heart rate and core temperature at critical wbgt for five clothing ensembles at three levels of metabolic rate*. University of South Florida, South Florida.
 - ISO 7243:1989 (1989). *Hot Environments – Estimation of the Heat Stress on Working Man, Based on the WBGT – index (Wet Bulb Globe Temperature)*. International Standard, Second Edition, Geneve.
 - ISO 7726:1998 (1998). *Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities*. International Standard, Geneve.
 - ISO 7933:1989 (1989). *Hot Environments – Analytical Determination and Interpretation of Thermal Stress Using Calculation of Required Sweat Rate*. International Standard, First Edition, Geneve.
 - ISO 7933:2004 (2004). *Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain*. International Standard, Final Draft, Geneve.
 - ISO 8996:2004 (2004). *Determination of metabolic rate*. International Standard, Final Draft, Geneve.
 - ISO 9886:2003 (2003). *Ergonomics - Evaluation of thermal strain by physiological measurements*. International Standard, Geneve.
 - ISO 9920:2007 (2007). *Ergonomics of the thermal environment - Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble*. International Standard, Final version, Geneve.
 - ISO 12894:2001 (2001). *Ergonomics of the thermal environment - Medical supervision of individuals exposed to extreme hot or cold environments*. International Standard, Geneve.
 - ISO 15265:2004 (2004). *Risk assessment strategy for the prevention of stress or discomfort in thermal working conditions*. International Standard, Geneve.
 - Juang, Yow-Jer; Lin, Yi-Chang (2007). *The Effect of Thermal Factors on the Measurement of Wet Bulb Globe Temperature*. Institute of Environmental Health, College of Public Health, National Taiwan University, Taiwan.
 - Kähkönen, E. (1993). *Comparison and Error Analysis of Instrumentation and Methods for Assessment of Neutral and Hot Environment on the Basis of ISO Standards*. Kuopio University Publications, Finland.
 - Kampmann, B.; Malchaire, J.; Piette, A. (1999). *Comparison Between The Phs Model And The ISO7933 Standard*. Institut für Arbeitswissenschaften der Ruhrkohle AG, Dortmund.
 - Kampmann, B.; Piekarski, C. (2000). *The evaluation of workplaces subject to heat stress: can ISO 7933 (1989) adequately describe heat strain in industrial workplaces?*. Applied Ergonomics 31, 59–72.
 - Kampmann, Bernhard; Bröde, Peter (2009). *Physiological responses to temperature and humidity compared with predictions of PHS and WBGT*. Castellani JW, Endrusick TL (eds) Environmental ergonomics XIII. University of Wollongong, Australia.
-

- Kerslake, D. (1972). *The stress of hot environments*. Monographs of the Physiological Society, Cambridge University, Cambridge.
- Lamberts, Roberto; Xavier, Antônio (2002). *Conforto Térmico e Stress Térmico*. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.
- Lenzuni, Paolo; Gaudio, Michele (2007). *Thermal Comfort Assessment in Comfort-Prone Workplaces*. Italian National Institute for Occupational Prevention and Safety, Department of Florence, Italy.
- Lind, A. R.; Hellon, R. F.; Jones, R. M.; Weiner, J. S.; Fraser, D. C. (1957). *Reactions of mines – rescue personnel to work in hot environments*. Medical Research Bulletin N°1, National Coal Board, London.
- Livingstone, S. D.; Nolan, R. W.; Cain, J. B.; Keefe, A. A. (1994). *Effect of working in hot environments on respiratory air temperatures*. European Journal of Applied Physiology 69, 98–101.
- Macpherson, R. K. (1962). *The Assessment Of The Thermal Environment A Review*. School of Public Health and Tropical Medicine, University of Sydney, Australia.
- Magalhães, Sónia; Albuquerque, Roberto Roncon; Pinto, Jorge Correia; Moreira, Adelino Leite (2001). *Termorregulação*. Texto de Apoio. Serviço de Fisiologia, Faculdade de Medicina da Universidade do Porto, Porto.
- Mairiaux, Philippe; Malchaire, Jacques (1995). *Comparison and validation of heat stress indices in experimental studies*. Occupational Hygiene and Work Physiology, Catholic University of Louvain, Belgium.
- Malchaire, J (1991). *Predicted Sweat Rate In Fluctuating Thermal Conditions*. Occupational Hygiene and Work Physiology, Catholic University of Louvain, Belgium.
- Malchaire, J.; Gebhardt, H. J.; Piette, A. (1999a). *Strategy for Evaluation and Prevention of Risk Due to Work in Thermal Environments*. Occupational Hygiene and Work Physiology, Catholic University of Louvain, Belgium.
- Malchaire, J. (1999b). *BIOMED "HEAT" Proceedings of the conference: Evaluation And Control Of Warm Thermal Working Conditions*. The Conference Is Organised By The Network Of Scientists Participating In The BIOMED-HEAT Research Project, SPonsored By The European Commission. Barcelona.
- Malchaire, J.; Piette, A. (1999). *Comparison Between The PHS Model And The WBGT Index*. Unité Hygiène et Physiologie du Travail, Université catholique de Louvain, Belgium.
- Malchaire, J.; Kampmann, B.; Havenith, G.; Mehnert, P.; Gebhardt, H. J. (2000). *Criteria for estimating acceptable exposure times in hot working environments: a review*. Int Arch Occup Environ Health.
- Malchaire, J.; Piette, A.; Kampmann, B.; Mehnert, P.; Gebhardt, H. J.; Havenith, G.; Hartong, E.; Holmer, I.; Parsons, K.; Alfano, G.; Griefahn, B. (2001). *Development and*

-
- Validation of the Predicted Heat Strain Model*. Occupational Hygiene and Work Physiology, Catholic University of Louvain, Belgium.
- Malchaire, J.; Piette, A.; Kampmann, B.; Mehnert, P.; Gebhardt, H. J.; Havenith, G.; Holmer, I.; Parsons, K.; Alfano, G.; Griefahn, B. (2002). *Assessment of the risk of heat disorders encountered during work in hot conditions*. International Archives of Occupational and Environmental Health publishes, Belgium.
 - Malchaire, J. (2006). *Occupational Heat Stress Assessment by the Predicted Heat Strain Model*. Occupational Hygiene and Work Physiology, Catholic University of Louvain, Belgium.
 - Hartog, E.; Holmer, I.; Havenith, G.; Parsons, K. (1999). *Evaluation And Selection Of The Clothing: Influence On Convective Heat Transfer*. Thermal Physiology Group, TNO Human Factors Research Institute, Soesterberg.
 - Havenith, G.; Holmer, I.; Hartog, E.; Parsons, K. (1999). *Clothing Evaporative Heat Resistance - Proposal for Improved Representation in Standards and Models*. Department of Human Sciences, Loughborough University, United Kingdom.
 - McIntyre, D. A. (1980). *Indoor Climate*. Applied Science Publishers, London.
 - Mehnert, P.; Malchaire, J.; Kampmann, B.; Piette, A.; Griefahn, B.; Gebhardt, H. J. (2000). *Prediction of the average skin temperature in warm and hot environments*. European Journal of Applied Physiology.
 - Miller, Veronica; Bates, Graham (2007). *The Thermal Work Limit Is a Simple Reliable Heat Index for the Protection of Workers in Thermally Stressful Environments*. School of Public Health, Curtin University of Technology, Australia.
 - Monteiro, Leonardo Marques; Alucci, Marcia Peinado (2007). *Questões teóricas de conforto térmico em espaços abertos: consideração histórica, discussão do estado da arte e proposição de classificação de modelos*. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo.
 - Muñoz, Ingrid; Silva, Juliana; Hagiwara, Estevan; Zângaro, Renato; Lima, Carlos (2004). *Sistema De Aquecimento De Soro Fisiológico*. Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Engenharia Biomédica, Universidade do Vale do Paraíba, Brasil.
 - Oğulata, R. Tuğrul (2007). *The Effect of Thermal Insulation of Clothing on Human Thermal Comfort*. Department of Textile Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Cukurova University, Turkey.
 - Oliveira, Avelino Virgílio (1998). *Avaliação De Condições De Trabalho Em Sectores De Actividade Com Elevada Exposição Ao Calor*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.
 - Oliveira, A. V.; Branco, V. J.; Gaspar, A. R.; Quintela D. A. (2008). *Measuring Thermal Insulation Of Clothing With Different Manikin Control Methods - Comparative Analysis Of The Calculation Methods*. Department of Mechanical Engineering, Superior Institute of Engineering, Polytechnic Institute of Coimbra, Coimbra.
-

-
- OSHA (1997). *Work in Extremes of Temperature*. Department of Labor and Industry, Occupational Safety and Health Division, New Zealand.
 - OSHA (2011). *Heat stress*. Minnesota Department of Labor and Industry, Occupational Safety and Health Division, Minnesota.
 - Parsons, K. (1999a). *International Standards for the Assessment of the Risk of Thermal Strain on Clothed Workers in Hot Environments*. Human Thermal Environments Laboratory, Loughborough University, United Kingdom.
 - Parsons, K.; Havenith, G.; Holmer, I.; Nilsson, H.; Malchaire, J. (1999b). *The Effects of Wind and Human Movement on the Heat and Vapour Transfer Properties of Clothing*. Department of Human Sciences, Loughborough University, United Kingdom.
 - Parsons, K. (1999c). *Existing And Future Standards On Ergonomics Of The Thermal Environment And Thermal Indices*. Department of Human Sciences, Loughborough University, United Kingdom.
 - Parsons, Ken (2006). *Heat Stress Standard ISO 7243 and its Global Application*. Human Thermal Environments Laboratory, Department of Human Sciences, Loughborough University, United Kingdom.
 - Parsons, Ken (2012). *Occupational Health Impacts of Climate Change: Current and Future ISO Standards for the Assessment of Heat Stress*. Department of Human Sciences, Loughborough University, United Kingdom.
 - Pereira, Luís Carlos (2011). *Conforto e desconforto térmico numa nave industrial*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Física, Departamento de Engenharia Física, Universidade de Aveiro, Aveiro.
 - Pinto, Paul (2006). *Avaliação das condições ambientais na mineração em subsolo*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.
 - Piette, A.; Malchaire, J. (1999). *Validation Of The PHS Model*. Unité Hygiène et Physiologie du Travail, Université catholique de Louvain, Belgium.
 - Pourmahabadian, M.; Adelkhah, M.; Azan, K. (2008). *Heat Exposure Assessment In The Work Environment Of A Glass Manufacturing Unit*. Department of Occupational Health, Tehran University of Medical Sciences, Iran.
 - Racinais, S.; Gaoua, N.; Grantham, J. (2008). Hyperthermia impairs short-term memory and peripheral motor drive transmission. Qatar Orthopaedic and Sports Medicine Hospital, Exercise and Sports Science Department, Qatar.
 - Rodrigues, Filomena (2007). *Conforto e Stress Térmico: uma Avaliação em Ambiente Laboral*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Física Aplicada. Departamento de Física da Universidade de Aveiro, Aveiro.
 - Ruas, Álvaro César (1999). *Conforto Térmico nos Ambientes de Trabalho*. Ministério do Trabalho, Fundacentro, Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho, Brasil.
-

- Ruas, Álvaro César (2001). *Avaliação de Conforto Térmico - Contribuição à aplicação prática das normas internacionais*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Brasil.
- Sesi - Serviço Social da Indústria (2007). *Técnicas De avaliação De Agentes Ambientais: Manual Sesi*. Confederação Nacional da Indústria, Serviço Social da Indústria, Departamento Nacional, Brasília.
- Sousa, Jerónimo; Silva, Carlos; Pacheco, Elsa; Moura, Madalena; Araújo, Maria; Fabela, Sérgio (2005). *Acidentes de Trabalho e Doenças Profissionais em Portugal Riscos Profissionais: Factores e Desafios*. Centro de Reabilitação Profissional de Gaia, Gaia.
- Srivastava, A.; Kumar, R.; Joseph, E.; Kumar, A. (2000). *Heat Exposure Study in the Workplace in a Glass Manufacturing Unit in India*. Mumbai Zonal Laboratory, National Environmental Engineering Research Institute, India.
- Stellman, Jeanne Mager (1998). *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety*. 4th Ed. International Labour Office, Geneva.
- Subramanian, Anand; Coutinho Antonio (2006). *Avaliação Das Condições Termoambientais Em Uma Fábrica De Cerâmicas*. Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal da Paraíba, Brasil.
- Taylor, Nigel (2006). *Challenges to Temperature Regulation When Working in Hot Environments*. Human Performance Laboratories, School of Health Sciences, University of Wollongong, Australia.
- United States Armed Forces (USAF), (2003). *Heat Stress Control And Heat Casualty Management*. Technical bulletin medical. Headquarters, Department of the Army and Air Force, Washington.
- Varene, P. (1986). *Computation of respiratory heat exchanges*. Journal of Applied Physiology 61(4), 1586-1589.
- Vernon, H. M.; Warner, C.G. (1932). *The influence of humidity of the air on capacity of work at high temperatures*. Journal of Hygiene, Cambridge University Press, Volume 32: 431 – 462, Cambridge.
- Vogt, J. J.; Candas, V.; Libert, J. P. (1982). *Graphical determination of heat tolerance limits*. Ergonomics 25(4), 285-294.
- Webb, C.G. (1959). *An Analysis Of Some Observations Of Thermal Comfort In An Equatorial Climate*. British Journal of Industrial Medicine.
- World Health Organisation (WHO), (1969). *Health factors involved in working under conditions of heat stress*. World Health Organisation (WHO), Technical Report Series, no. 412, Geneva.
- Wright, K.; Hull, J; Czeisler, C. (2002). *Relationship between alertness, performance, and body temperature in humans*. Division of Sleep Medicine, Department of Medicine, Brigham and Women's Hospital, Harvard Medical School, Boston, Massachusetts.

8. ANEXOS

Anexo A – Monitor E Sensor De Stress Térmico WBGT.

Anexo B – Valores De Referência Para Avaliar O Metabolismo Nos Trabalhadores Através Da Observação.

Anexo C – Valores De Referência Do Isolamento Térmico Do Vestuário.

Anexo D – Informação Sobre Os Novos Locais De Trabalho Analisados.

Anexo E – Expressões De Cálculo Necessária Para O Cálculo Do Balanço Térmico.

Anexo F – Critérios Para Calcular O Tempo De Exposição Admissível Para Trabalhar Em Ambientes Quentes.

Anexo G – Programa De Cálculo Para Análise E Interpretação Da Norma ISO 7933:2004.

Anexo H – Resultados Da Análise Segundo A Norma ISO 7933:2004.

Anexo A – Monitor E Sensor De Stress Térmico WBGT.

Para medir os parâmetros necessários à determinação do índice de stress térmico WBGT, foi utilizada uma unidade de registo e monitorização (ref. 1219) e uma unidade de medida (ref. MM0030) da *Brüel & Kjær*.

O monitor (Figura A.1) encontra-se pré-programado, permitindo períodos de registo de 1, 2, 3, 4 e 8 horas. Qualquer que seja o período escolhido o monitor armazena um conjunto de 60 valores, ou seja, o intervalo de tempo entre dois registos consecutivos é igual a 1/60 do período total.



Figura A.1 – Monitor de stress térmico WBGT (ref. 1219) da *Brüel & Kjær*.

O sensor de WBGT inclui os três transdutores necessários à determinação do índice WBGT, nomeadamente, os sensores de temperatura de bolbo seco, bolbo húmido natural e globo negro (Figura A.2). Todos os sensores são baseados em elementos sensores de temperatura feitos em platina (Pt 100⁷).



Figura A.2 – Sensor de stress térmico WBGT (ref. MM0030) da *Brüel & Kjær*.

⁷ Pt 100 - é uma termorresistência de platina que a 0°C apresenta uma resistência de 100Ω.

A.1 – Sensor de Temperatura de Globo

Um sensor de temperatura de globo (Figura A.3) é usado para contabilizar a troca de calor devida à radiação. O transdutor consiste num elemento sensor de temperatura em platina (Pt 100), situado no centro de um globo de 150mm de diâmetro, feito em chapa de cobre de 0,4mm de espessura. De modo a absorver a radiação proveniente do ambiente, a superfície exterior do globo dispõe de um revestimento pintado de preto mate. A temperatura medida no centro do globo é a temperatura de equilíbrio entre as trocas de calor radiativas e convectivas que se verificam entre o globo e o ambiente. Com efeito, a temperatura da superfície interior do globo (de pequena espessura) e a temperatura do ar interior do globo (espaço fechado) são praticamente iguais à temperatura média exterior do globo. A temperatura de globo é influenciada pela temperatura de bolbo seco, temperatura média radiante e velocidade do ar.

O tempo de resposta deste sensor é relativamente elevado, sendo de 7 minutos para uma variação de temperatura 90%. O termómetro de globo negro, devido à sua inércia não deve ser utilizado em locais onde os parâmetros do ambiente variem de forma rápida.

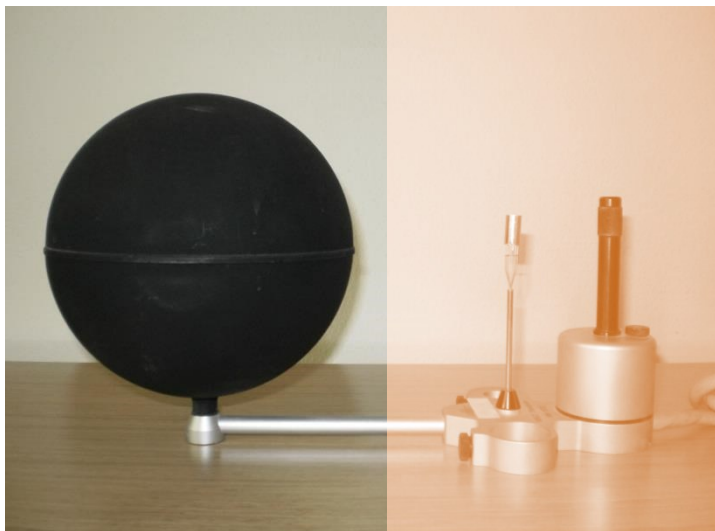


Figura A.3 – Sensor de Temperatura de Globo (em destaque).

As especificações segundo a Norma *ISO 7243* são as seguintes:

- Diâmetro: 150mm.
- Coeficiente médio de emissividade: 0,95 (globo de superfície preto mate).
- Espessura: o mais fina possível.
- Intervalo de medição: 20°C a 120°C.
- Precisão de medição:

intervalo de 20 a 50°C → ± 0,5°C

intervalo de 50 a 120°C → ± 1°C

A.2 – Sensor de Temperatura de Bolbo Húmido Natural

O sensor de temperatura de bolbo húmido natural simula o efeito da evaporação das partículas de suor da superfície da pele.

O termómetro de bolbo húmido feito em platina (Pt 100) dispõe de um bolbo não protegido coberto por uma mecha de algodão humedecida. A humedificação permanente da mecha é conseguida com água destilada que por capilaridade sobe de um pequeno reservatório de 40ml. A evaporação de água na mecha arrefece o sensor do mesmo modo que a evaporação das partículas de suor resultantes da transpiração arrefece o corpo humano. Devido a este efeito arrefecedor, a temperatura de bolbo húmido natural é normalmente mais baixa que a temperatura do ar e a diferença positiva entre estes dois valores é conhecida como Depressão de Bolbo Húmido. A temperatura de bolbo húmido natural é influenciada pela humidade do ar, temperatura de bolbo seco, temperatura média radiante e velocidade do ar.



Figura A.4 – Sensor de Temperatura de Bolbo Húmido Natural (em destaque).

O tempo de resposta deste sensor de temperatura de bolbo húmido natural é de 5 minutos para uma variação de temperatura 90%.

As especificações segundo a Norma ISO 7243 são as seguintes:

- Forma da parte sensível do sensor: cilíndrica.
- Diâmetro externo da parte sensível: 6 mm $\pm$ 1 mm.
- Comprimento do sensor: 30 mm $\pm$ 5 mm.
- Intervalo de medição: 5 °C a 40 °C.
- Precisão de medição: $\pm$ 0,5 °C.
- Toda a parte sensível do sensor deverá encontrar-se envolvida por uma mecha branca de um material altamente absorvente de água (por exemplo algodão).
- O suporte do sensor, deve ter um diâmetro de 6 mm e 20 mm, devendo estar cobertos pela mecha, de forma a reduzir a condução de calor do suporte para o sensor.

- A mecha deverá ser tecida em forma de manga e ajustada de uma maneira precisa sobre o sensor. O facto de a mecha se encontrar muito apertada ou com demasiada folga é determinante na precisão de medição. A mecha deverá ser mantida perseverantemente limpa.
- A parte inferior da mecha deverá está imersa num reservatório de água destilada. O comprimento livre da mecha deve ser de 20 mm a 30 mm.
- O reservatório deverá ser concebido de maneira a que a temperatura da água no seu interior não sofra o efeito radiação térmica do meio envolvente.

A.3 – Sensor de Temperatura de Bolbo Seco

A temperatura de bolbo seco influencia os processos de transmissão de calor por evaporação e por convecção, natural ou mista. Este parâmetro básico, medido com um sensor de platina (Pt 100), necessita de ser quantificado uma vez que a temperatura de globo sobrestima a influência da radiação direta. A medição desta grandeza não é tão simples como se pensa, pois podem ser cometidos erros importantes, se não forem tomadas as devidas precauções. É importante evitar que a radiação proveniente de fontes vizinhas não influenciem o sensor, pois deste modo a temperatura medida não seria a temperatura de bolbo seco real, mas sim uma temperatura intermédia entre a temperatura radiante e a temperatura de bolbo seco. Por essa razão entre o sensor e o ambiente existe uma barreira de reflexão em alumínio de pequena espessura, na forma de cilindro, aberto nas extremidades para que possa existir uma circulação de ar no seu interior por convecção natural. Para ajudar a diminuir a influência da radiação, o sensor e a barreira são polidos, com o objetivo de reduzir o fator de emissão destes.

O intervalo de medição do sensor de temperatura de bolbo seco é de 10°C a 60°C com uma precisão de $\pm 1^\circ\text{C}$ e um tempo de resposta de 50 segundos, para uma variação de temperatura de 90%. Recomenda-se, ainda, que não se execute nenhuma leitura sem que tenha decorrido 1,5 vezes o tempo de resposta.



Figura A.4 – Sensor de Temperatura de Bolbo Seco (em destaque).

Anexo B – Valores De Referência Para Avaliar O Metabolismo Nos Trabalhadores Através Da Observação.

Este anexo fornece valores de referência a usar na caracterização de atividades das situações médias de trabalho, de acordo com o método de observação. Nos quadros seguintes apresentam-se os valores propostos pela Norma *ISO 8996:2004* para o metabolismo. Estes valores de referência são baseados no indivíduo “padrão”. Este facto, deve ser tido em consideração particularmente nas atividades que necessitam de um movimento relacionado com o peso do corpo, tais como subir escadas e levantar cargas, onde o peso do corpo influencia o metabolismo destas atividades.

As características do indivíduo “padrão” são apresentadas no Quadro B.1.

Quadro B.1 – Dados referentes a um indivíduo “padrão” (adaptado da *ISO 8996:2004*).

	Homem	Mulher
Altura [m]	1,75	1,70
Peso [kg]	70	60
Área superficial de corpo nu de DuBois [m ²]	1,8	1,6
Idade [anos]	30	30

Quadro B.2 – Metabolismo em função da postura (adaptado da *ISO 8996:2004*).

Postura	Metabolismo [W/m ²]
Sentado	0
Ajoelhado	10
Agachado	10
De pé	15
De pé inclinado	20

Quadro B.3 – Metabolismo em função das partes do corpo envolvidas (adaptado da *ISO 8996:2004*).

Tipo de atividade		Metabolismo [W/m ²]	
		Valor médio	Intervalo
Com as mãos	Ligeiro	70	<70
	Moderado	85	75-90
	Intenso	95	>90
Com um só braço	Ligeiro	90	<100
	Moderado	110	100-120
	Intenso	130	>120
Com dois braços	Ligeiro	120	<130
	Moderado	140	130-150
	Intenso	160	>150
Com o tronco	Ligeiro	180	<210
	Moderado	245	210-285
	Intenso	335	>285

Quadro B.4 – Metabolismo em função da actividade desenvolvido (adaptado da *ISO 8996:2004*).

Tipo de atividade			Metabolismo [W/m²]
Dormir			40
Reclinado			45
Descansar sentado			55
Descansar em pé			70
Caminhar	Em terreno plano sem carga	2 km/h	110
		3 km/h	140
		4 km/h	165
		5 km/h	200
	Em terreno plano com carga	10 kg	185
		30 kg	250
	Subir: 4 km/h	Terreno com inclinação de 5°	180
	Subir: 3 km/h	Terreno com inclinação de 15°	210
		Terreno com inclinação de 25°	300
	Subir com carga de 20kg: 4 km/h	Terreno com inclinação de 15°	270
		Terreno com inclinação de 25°	410
	Descer sem carga: 5 km/h	Terreno com inclinação de 5°	135
		Terreno com inclinação de 15°	140
		Terreno com inclinação de 25°	180
Subir escadas	Subir uma escada com Inclinação de 70° com velocidade média de 11,2 m/min	Sem carga	290
		Com carga de 20 kg	360
Empurrar empilhador	Velocidade 4,5 km/h	Com carga 100 kg	230
Empurrar ou puxar porta paletes	Velocidade 3,6 km/h	Empurrar: 12kg	290
		Puxar: 16kg	375
Manusear um martelo com as duas mãos, com uma massa de 4,4kg, 15 golpes por minuto			290
Trabalhos de carpintaria	Serrar à mão		220
	Utilizar máquina de serrar		100
	Utilizar uma plaina de mão		300
Colocação de tijolos		5 tijolos por minuto	170
Aparafusar			100
Cavar um buraco			290
Atividade sedentária (de escritório, domestica, escolar, laboratório)			70
Atividade leve de pé (compras, laboratório, industria leve)			95
Atividade média de pé (assistente de loja, trabalhos domésticos, trabalhar com uma máquina)			115
Trabalhar com ferramentas de mão	Leve		100
	Médio		160
	Pesado		230

Anexo C – Valores De Referencia Do Isolamento Térmico Do Vestuário.

No presente anexo, apresentam-se os valores de isolamento térmico do vestuário propostos pela Norma *ISO 7933:2007*. O isolamento térmico é definido em clo. O Quadro C.1 apresenta os valores típicos para o isolamento térmico para uma seleção de conjuntos de vestuário. Enquanto no Quadro C.2 são apresentados os valores de isolamento térmico de peças de vestuário.

Quadro C.1 – Isolamento térmico para conjuntos de vestuário típicos (adaptado da *ISO 9920:2007*).

Vestuário De Trabalho	I _{cl} [clo]	I _{cl} [m ² ·K/W]	Vestuário Diário	I _{cl} [clo]	I _{cl} [m ² ·K/W]
Ceroulas, combinação, calças e meias	0,70	0,11	Cuecas, T-shirt, calções, meias finas e sandálias	0,3	0,05
Ceroulas, camisa, calças, meias e sapatos	0,75	0,115	Cuecas, saíote, meias-calças, vestido de tecido fino e sandálias.	0,45	0,07
Ceroulas, camisa, combinação, meias e sapatos	0,80	0,125	Ceroulas, camisa de manga curta, calças finas, meias finas e sapatos	0,5	0,8
Ceroulas, camisa, calças, casaco curto, meias e sapatos	0,85	0,135	Cuecas, meias-calças, camisa de manga curta, saia e sandálias	0,55	0,085
Ceroulas, camisa, calças, blusa, meias e sapatos	0,90	0,14	Ceroulas, camisa, calças finas, meias e sapatos.	0,6	0,095
Roupa interior curta, camisa, calças, casaco curto, meias e sapatos.	1,00	0,155	Cuecas, saíote, meias-calças, vestido e sapatos	0,7	0,105
Roupa interior curta, camisa, calças, ceroulas, meias e sapatos.	1,10	0,170	Roupa interior, camisa, calças, meias e sapatos	0,7	0,11
Roupa interior comprida, casaco térmico, calças, meias e sapatos	1,2	0,185	Roupa interior, fato de treino (camisola e calças), meias compridas e ténis	0,75	0,115
Roupa interior curta, camisa, calças, casaco, casaco térmico, meias e sapatos	1,25	0,190	Cuecas, saíote, camisa, saia, meias grossas até aos joelhos e sapatos	0,8	0,12
Roupa interior curta, Fato-macaco, casaco e calças térmicas, meias e sapatos	1,4	0,22	Cuecas, camisa, saia, blusa, meias grossas até aos joelhos e sapatos	0,9	0,14

Continuação do Quadro C.1

Vestuário De Trabalho	I_{cl} [clo]	I_{cl} [m²·K/W]	Vestuário Diário	I_{cl} [clo]	I_{cl} [m²·K/W]
Roupa interior curta, camisa, calças, casaco, casaco e calças térmicas, meias e sapatos	1,55	0,225	Cuecas, camisola de mangas curtas, camisa, calças, camisola com decote em V, meias e sapatos	0,95	0,145
Roupa interior curta, camisa, calças, casaco, casaco e fato-macaco grossos e almofadados, meias e sapatos	1,85	0,285	Cuecas, camisa, calças, casaco, meias e sapatos	1	0,155
Roupa interior curta, camisa, calças, casaco, casaco e fato-macaco grossos e almofadados, meias, sapatos boné e luvas	2	0,31	Cuecas, meias, camisa, saia, colete e casaco	1	0,155
Roupa interior comprida, calças e casaco térmicos, casaco grosso com capuz, fato-macaco grosso, meias, sapatos, boné e luvas	2,55	0,395	Cuecas, meias, camisa, saia comprida, casaco e sapatos	1,1	0,17
			Roupa interior, body de manga curta, camisa, calças e casaco curto	1,1	0,17
			Roupa interior, body de manga curta, camisa, calças, casaco curto, colete, meias e sapatos	1,15	0,18
			Roupa interior, camisa, calças, camisola de decote em V, casaco curto, meias e sapatos	1,3	0,2
			Roupa interior curta, camisa, calças, colete, casaco curto, casaco comprido, meias e sapatos	1,5	0,23

Quadro C.2 – Isolamento térmico de peças de vestuário (adaptado da *ISO 9920:2007*).

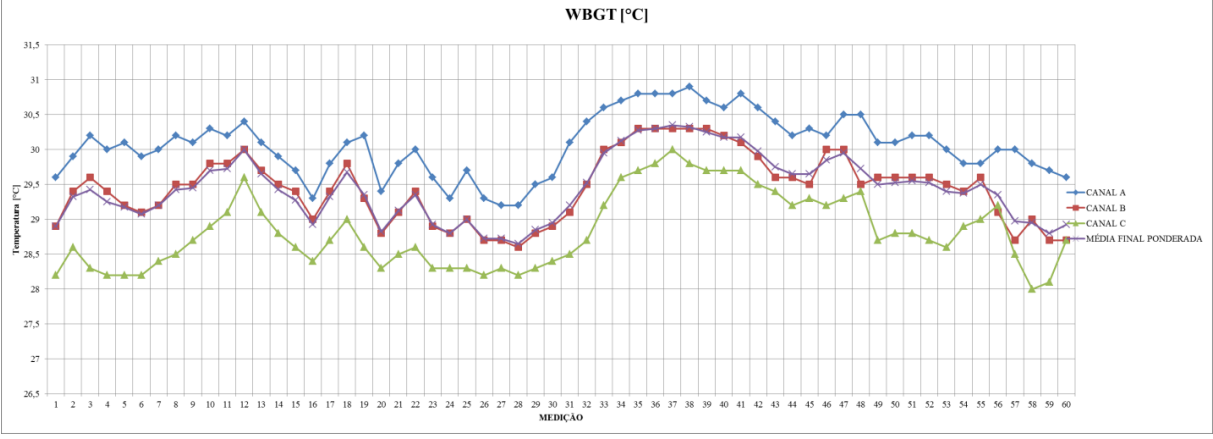
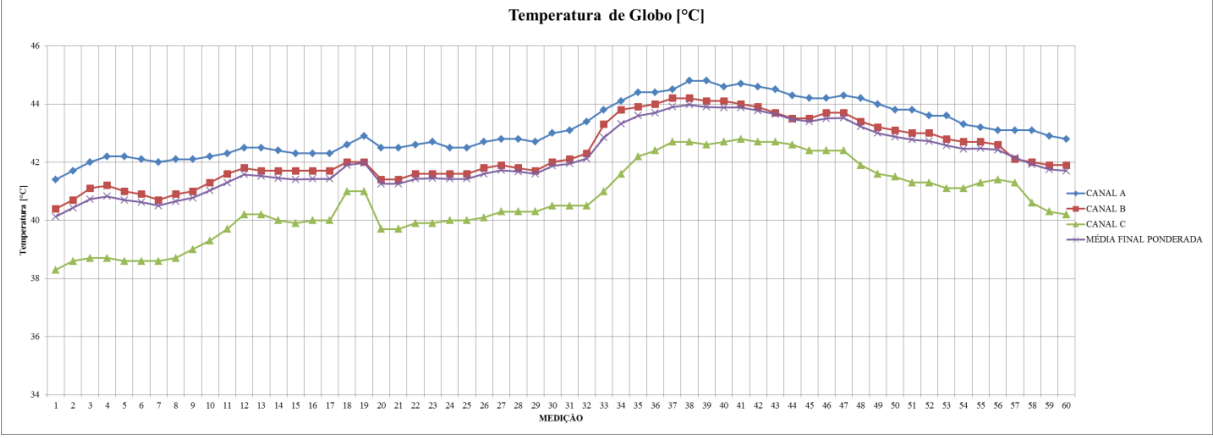
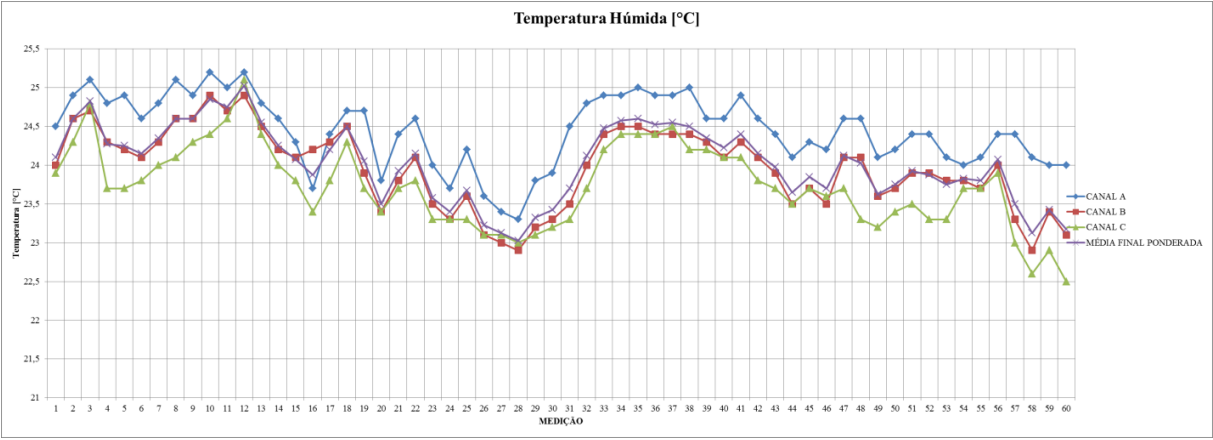
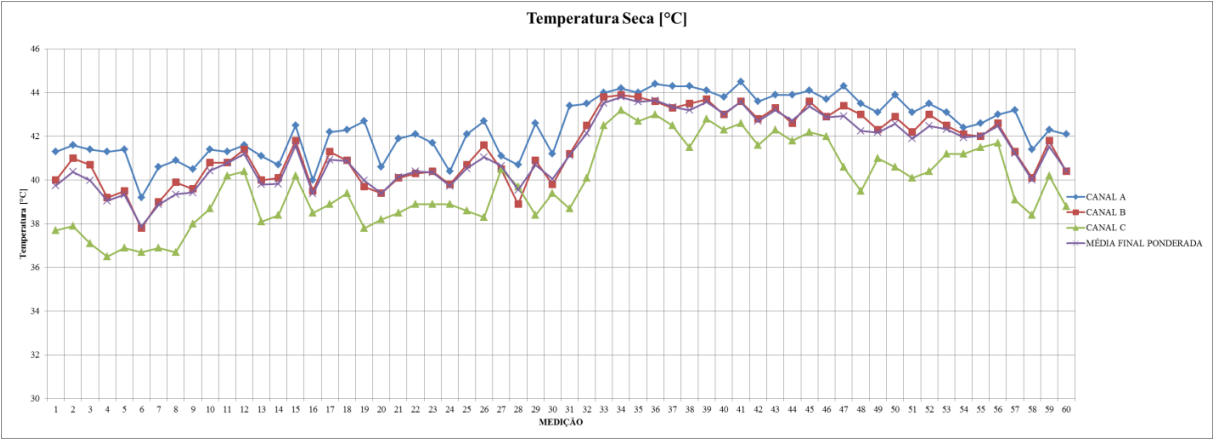
Descrição do vestuário		I _{cl} [clo]
Roupa Interior	Cuecas	0,03
	Ceroulas	0,10
	“Body”	0,04
	T-shirt	0,09
	Camisa de mangas longas	0,12
	Cuecas e soutien	0,03
Camisas/Blusas	Camisa de manga curta	0,15
	Camisa ligeira de manga comprida	0,20
	Camisa normal de manga comprida	0,25
	Camisa de flanela de manga comprida	0,30
	Blusa leve de manga comprida	0,15
Calças	Calças curtas	0,06
	Calças ligeiras	0,20
	Calças normais	0,25
	Calças de flanela	0,28
Vestidos/Saias	Saia ligeira (verão)	0,15
	Saia grossa (inverno)	0,25
	Vestido ligeiro de mangas curtas	0,20
	Vestido de inverno de mangas compridas	0,40
	Combinação	0,55
Camisolas	Colete	0,12
	Camisola fina	0,20
	Camisola	0,28
	Camisola grossa	0,35
Casaco	Casaco curto de verão	0,25
	Casaco	0,35
	Bata	0,30
Vestuário com grande poder isolante (forro sintético)	Combinação	0,90
	Calças	0,35
	Casaco	0,40
	Colete	0,20
Roupa exterior	Casaco comprido	0,60
	Casaco e pernas	0,55
	Blusão	0,70
	Fato-macaco com forro sintético	0,55
Diversos	Meias	0,02
	Soquetes grossos	0,05
	Meias grossas	0,10
	Meia calça	0,03
	Sapatos de solas finas	0,02
	Sapatos de solas grossas	0,04
	Botas	0,10
	Luvras	0,05

Anexos D – Informação Sobre Os Novos Locais De Trabalho Analisados.

No presente anexo, encontra-se toda a informação sobre os novos locais que foram analisados, bem como, toda a informação recolhida *in situ* e registos efetuados.

Local		Zona Em Cima Do Forno De Cozedura		
Dados Gerais				
Indústria		Indústria 4		
Sector		Cerâmica		
Operário		OP9		
Data		26-06-2012		
Hora		12:30		
Duração do registo [min]		60		
Dados Meteorológicos				
Temperatura Exterior [°C]		27		
Humidade Exterior [%]		57		
Dados Registados (Médias Ponderadas)				
WBGT	Máximo	30,4		
	Mínimo	28,7		
	Médio	29,4		
Temperatura de Bolbo Seco [°C]	Máximo	43,8		
	Mínimo	37,9		
	Médio	41,3		
Temperatura de Bolbo Húmido [°C]	Máximo	25,0		
	Mínimo	23,0		
	Médio	24,0		
Temperatura de Globo [°C]	Máximo	44,0		
	Mínimo	40,1		
	Médio	42,1		
Velocidade do Ar [m/s]		Médio	0,2	
Dados trabalhador				
Atividade	30% do tempo agachado a utilizar os dois braços de forma moderada.		Taxa Metabólica Média [W]	273
	40% do tempo em pé inclinado a utilizar os dois braços de forma moderada.			
	10% do tempo a movimentar peças (+/- 5kg). Deslocação até 3m.			
	20% do tempo a caminhar sem carga.			
Vestuário	T-shirt, calças, roupa interior, meias, botas, luvas e boné.		Isolamento térmico do conjunto [clo]	0,6
Descrição do local				
Plataforma em cima do forno de cozedura, neste local o trabalhador executa trabalhos de manutenção esporádicos, que se poderão prolongar por períodos de tempo significativos, obrigando ao trabalhador a permanecer neste local durante essas operações. Trata-se de uma zona onde a carga térmica advém do processo de fabrico, encontrando-se próxima da cobertura do edifício, o leva a que o calor acumule nesta zona. As condições climáticas exteriores influenciam também as condições térmicas do local.				

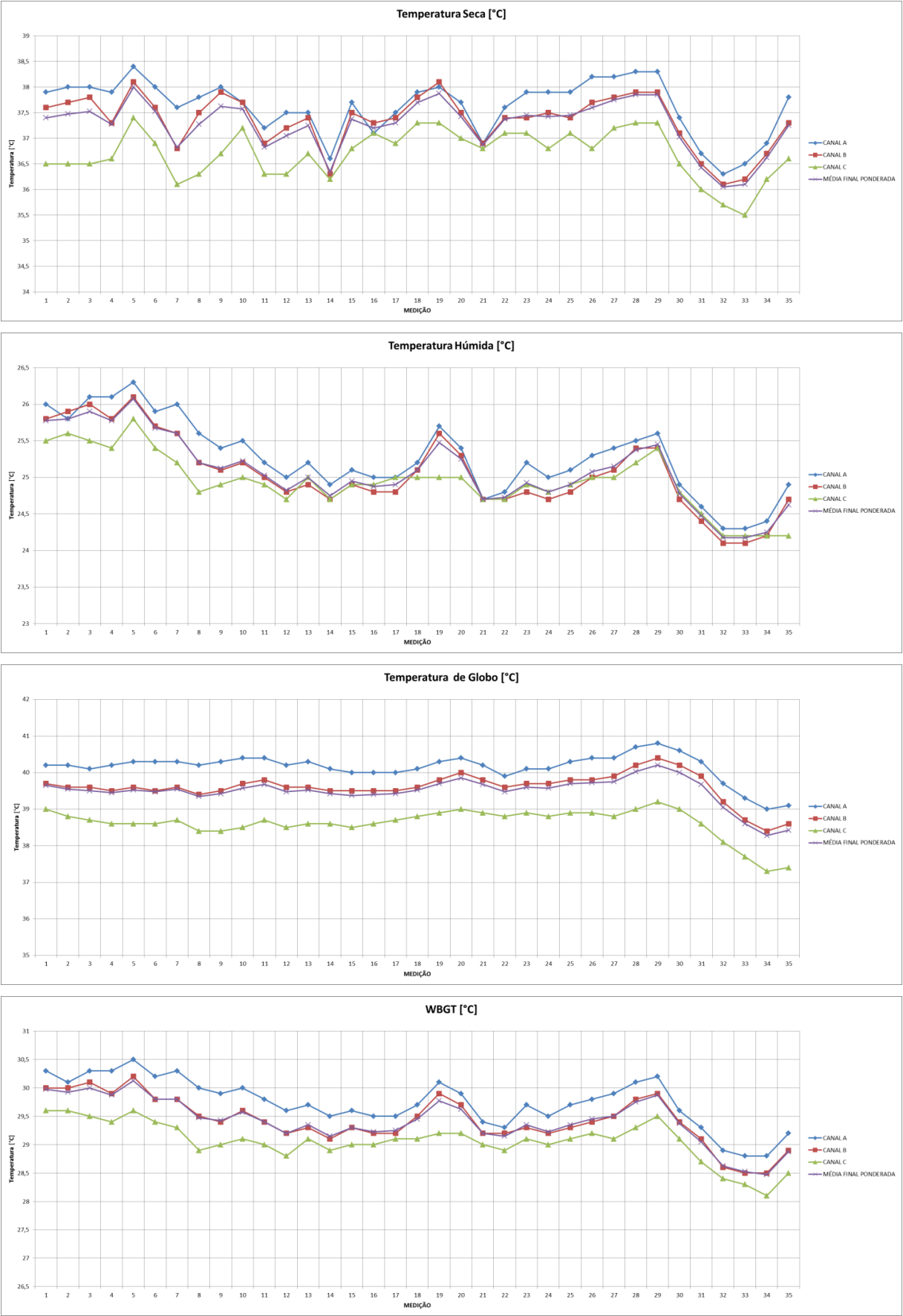
Registos *in situ*: Zona Em Cima Do Forno De Cozedura



Local	Zona De Fiação		
Dados Gerais			
Indústria	Indústria 4		
Sector	Cerâmica		
Operário	OP10		
Data	26-06-2012		
Hora	15:01		
Duração do registo [min]	35		
Dados Meteorológicos			
Temperatura Exterior [°C]	30		
Humidade Exterior [%]	35		
Dados Registados (Médias Ponderadas)			
WBGT	Máximo	30,1	
	Mínimo	28,5	
	Médio	29,4	
Temperatura de Bolbo Seco [°C]	Máximo	38,0	
	Mínimo	36,1	
	Médio	37,3	
Temperatura de Bolbo Húmido [°C]	Máximo	26,1	
	Mínimo	24,2	
	Médio	25,1	
Temperatura de Globo [°C]	Máximo	40,2	
	Mínimo	38,3	
	Médio	39,5	
Velocidade do Ar [m/s]	Médio	0,2	
Dados trabalhador			
Atividade	70% do tempo em pé a utilizar os dois braços de forma ligeira.	Taxa Metabólica Média [W]	224
	20% do tempo a caminhar sem carga.		
Vestuário	T-shirt, calças, roupa interior, meias, botas, luvas e boné.	Isolamento térmico do conjunto [clo]	0,6
Descrição do local			
Zona de fiação, nesta zona não existe grande carga térmica causada pelo processo de fabrico, não se verificando grande risco para o trabalhador. A maior influência neste local são as condições climáticas exteriores, pois trata-se de uma zona ampla com abertura direta para a zona exterior. Verificou-se <i>in situ</i> a existência de uma corrente de ar natural vinda da zona exterior, causapelas pelo gradiente térmico exterior/interior, que ajuda a eliminar a carga térmica daquela zona. Neste local a atividade desenvolvida pelo trabalhador é reduzida.			

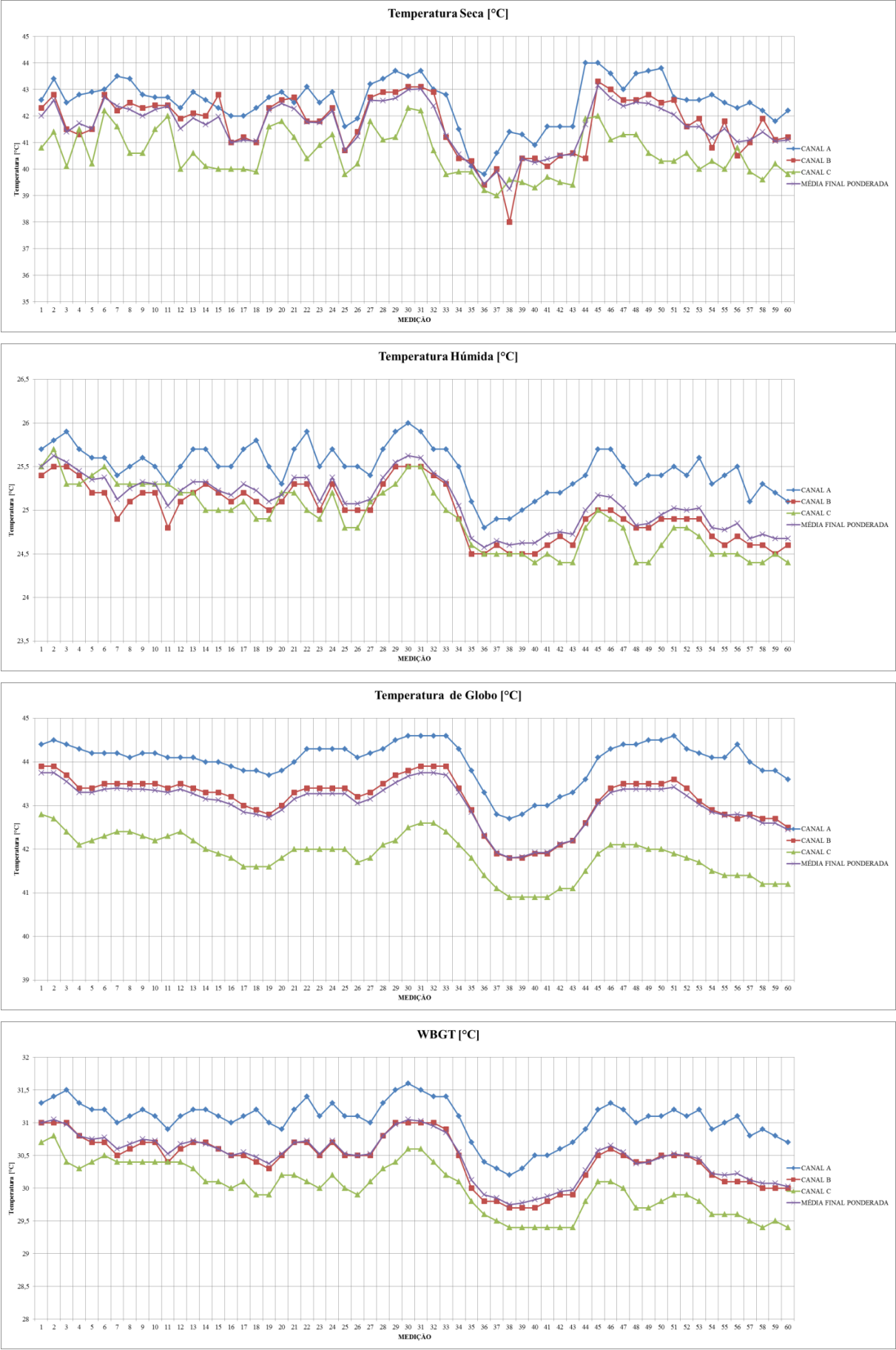


Registos *in situ*: Zona De Fiação



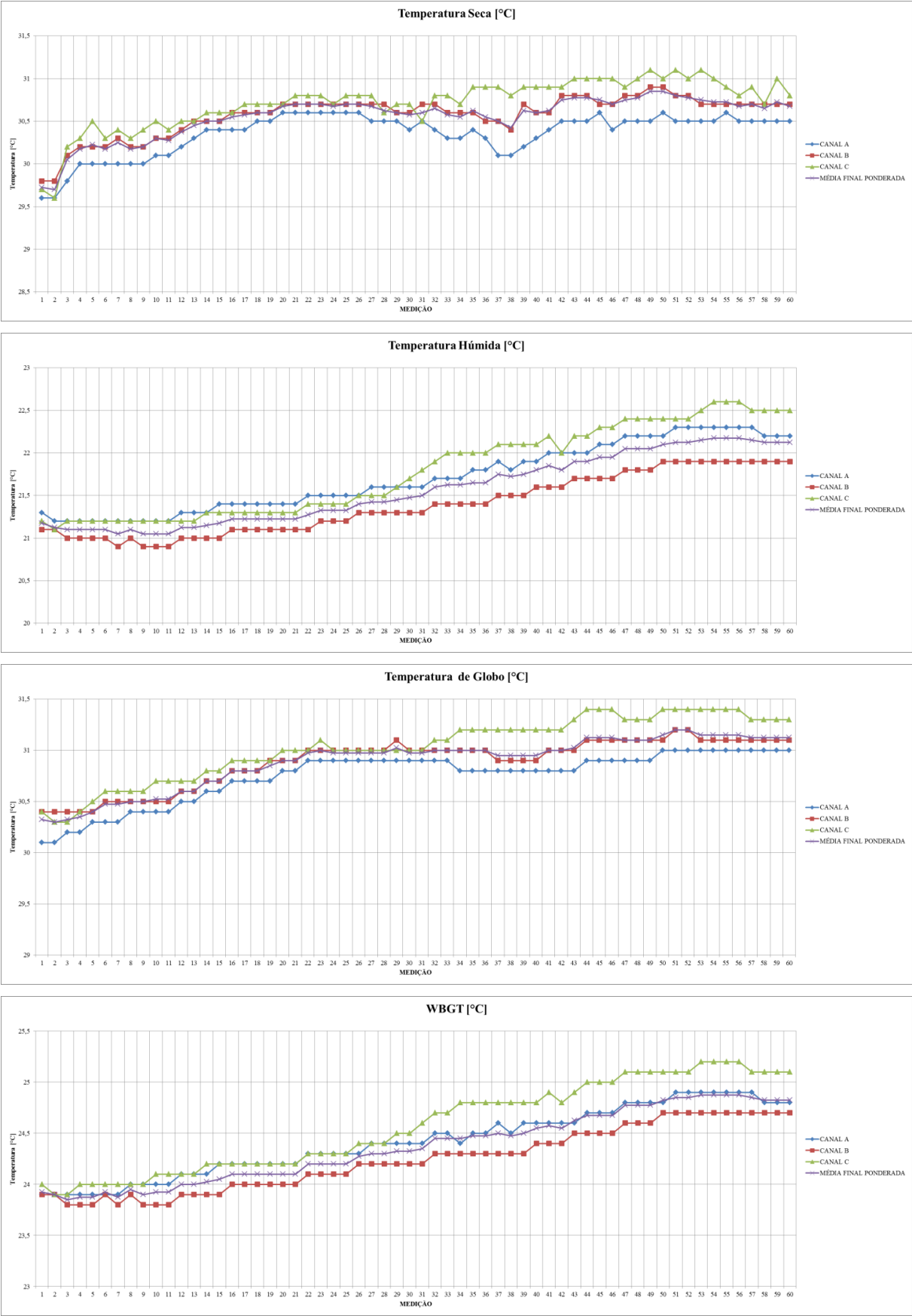
Local		Zona Da Empacotadora		
Dados Gerais				
Indústria	Indústria 4			
Sector	Cerâmica			
Operário	OP11			
Data	26-06-2012			
Hora	16:20			
Duração do registo [min]	60			
Dados Meteorológicos				
Temperatura Exterior [°C]	33			
Humidade Exterior [%]	32			
Dados Registados (Médias Ponderadas)				
WBGT	Máximo	31,1		
	Mínimo	29,8		
	Médio	30,5		
Temperatura de Bolbo Seco [°C]	Máximo	43,2		
	Mínimo	39,3		
	Médio	41,6		
Temperatura de Bolbo Húmido [°C]	Máximo	25,6		
	Mínimo	24,6		
	Médio	25,1		
Temperatura de Globo [°C]	Máximo	43,8		
	Mínimo	41,8		
	Médio	43,0		
Velocidade do Ar [m/s]	Médio	0,2		
Dados trabalhador				
Atividade	10% do tempo em pé a utilizar os mãos de forma ligeira.		Taxa Metabólica Média [W]	310
	60% do tempo em pé a utilizar os dois braços de forma moderada.			
	30% do tempo a subir/descer degraus sem carga.			
Vestuário	T-shirt, calções, roupa interior, meias, botas e luvas.		Isolamento térmico do conjunto [clo]	0,35
Descrição do local				
Zona da Empacotadora, nesta zona existe uma grande carga térmica causada pelo processo de fabrico, em que a situação mais crítica é verifica no trabalhador que executa trabalhos entre vagões. Os registos não foram efetuados na zona mais crítica para não interferir com o processo de fabrico. Trata-se de uma zona “fechada” com um pé direito reduzido, o que leva a que o calor fique acumulado naquela zona. Issa situação é agravada pela falta de aberturas para o exterior ou de qualquer dispositivo de ventilação mecânica. Neste local o trabalhador não executa uma tarefa pesada, apesar de exigir uma movimentação contante entre diferentes pontos, bem como, alguma rapidez.				

Registos *in situ*: Zona Da Empacotadora



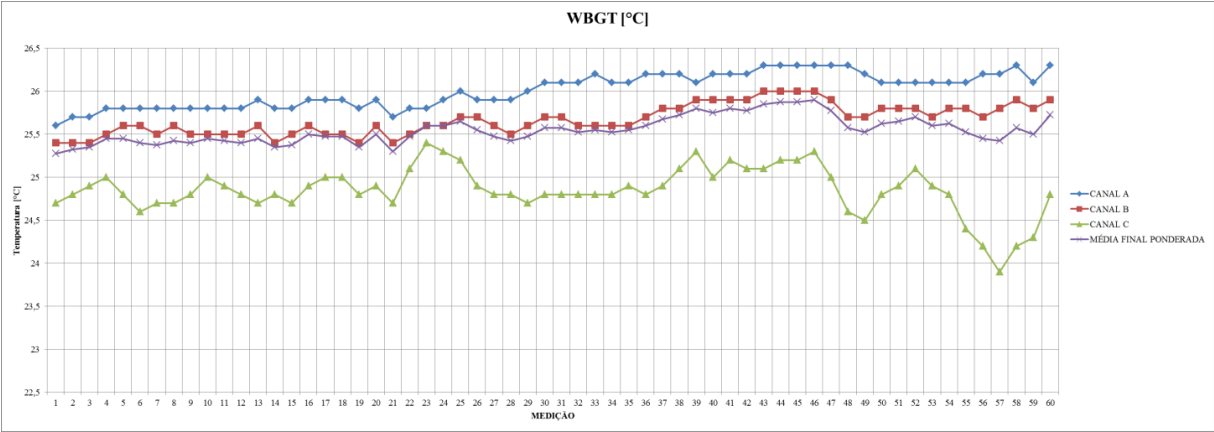
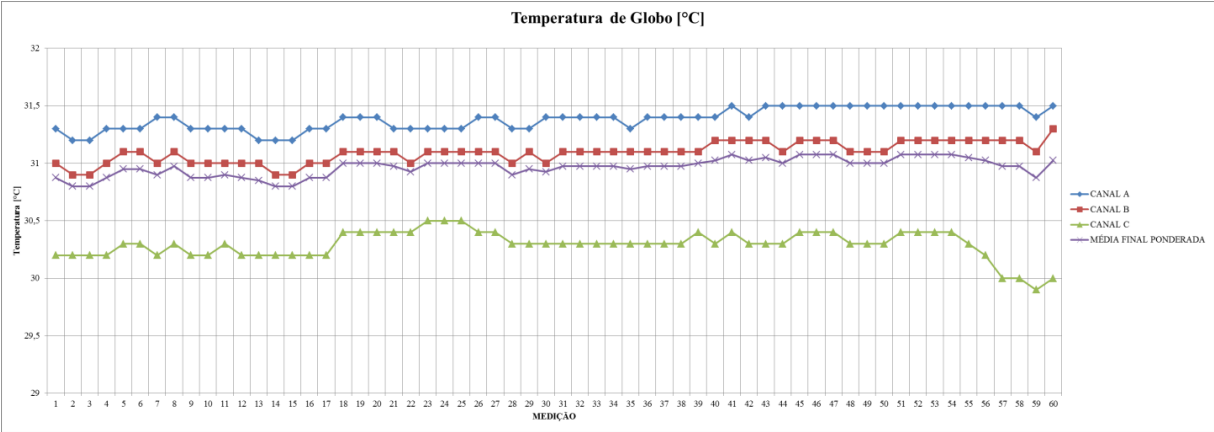
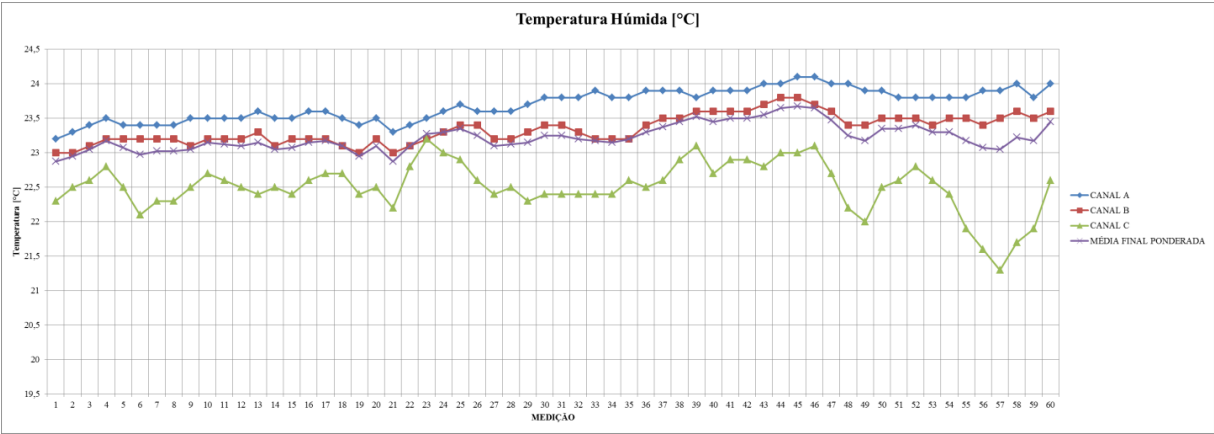
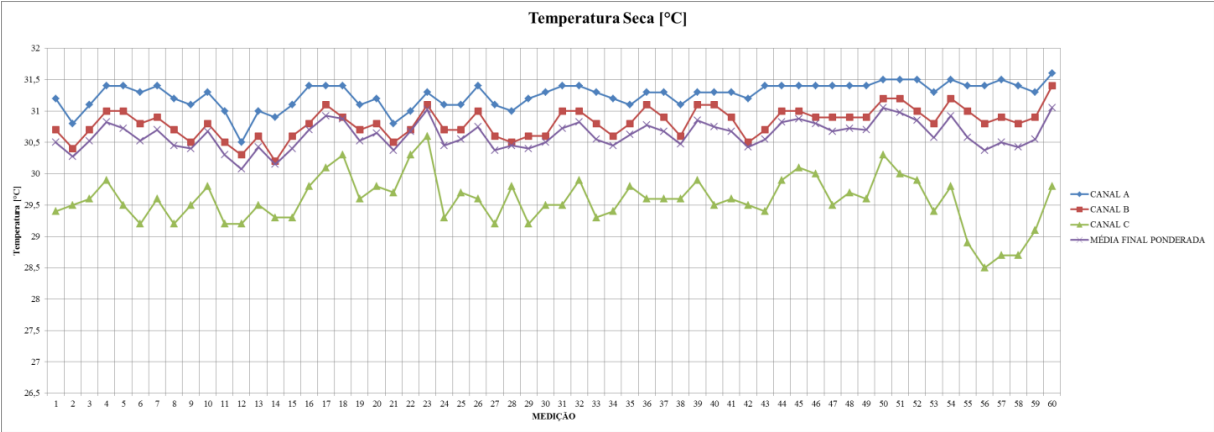
Local		Olaria Local 1 - Acabamento Junto Ao KER 10			
Dados Gerais					
Indústria		Indústria 5			
Sector		Cerâmica			
Operário		OP12			
Data		21-06-2012			
Hora		11:07			
Duração do registo [min]		60			
Dados Meteorológicos					
Temperatura Exterior [°C]		18			
Humidade Exterior [%]		71			
Dados Registados (Médias Ponderadas)					
WBGT	Máximo	24,9			
	Mínimo	23,9			
	Médio	24,4			
Temperatura de Bolbo Seco [°C]	Máximo	30,9			
	Mínimo	29,7			
	Médio	30,6			
Temperatura de Bolbo Húmido [°C]	Máximo	22,2			
	Mínimo	21,1			
	Médio	21,6			
Temperatura de Globo [°C]	Máximo	31,2			
	Mínimo	30,3			
	Médio	30,9			
Velocidade do Ar [m/s]		Médio		0,2	
Dados trabalhador					
Atividade	20% do tempo inclinado a utilizar um braço de forma moderada.			Taxa Metabólica Média [W]	235
	80% do tempo em pé a utilizar os dois braços de forma ligeira.				
Vestuário	T-shirt, calções, roupa interior, meias, botas e luvas.			Isolamento térmico do conjunto [clo]	0,35
Descrição do local					
Olaria Local 1, neste local a temperatura e humidade são controlados dentro de intervalos pré-determinados por razões inerentes ao processo de fabrico. Onde a conjugação temperatura/humidade necessárias no processo, originam uma atmosfera termicamente severa para os trabalhadores. É de destacar que na altura das medições, a produção não se encontrava no seu pico logo a severidade térmica do local não seria máxima. As condições climatéricas exteriores têm pouca influência neste local, mas é de referir que este local encontra-se no piso 1 do edifício, o que origina a uma maior acumulação de calor naquela zona. A existência de ventiladores no local proporcionavam uma circulação do ar, mas em muitos dos pontos do local não era significativa.					

Registos *in situ*: Olaria Local 1 - Acabamento Junto Ao KER 10



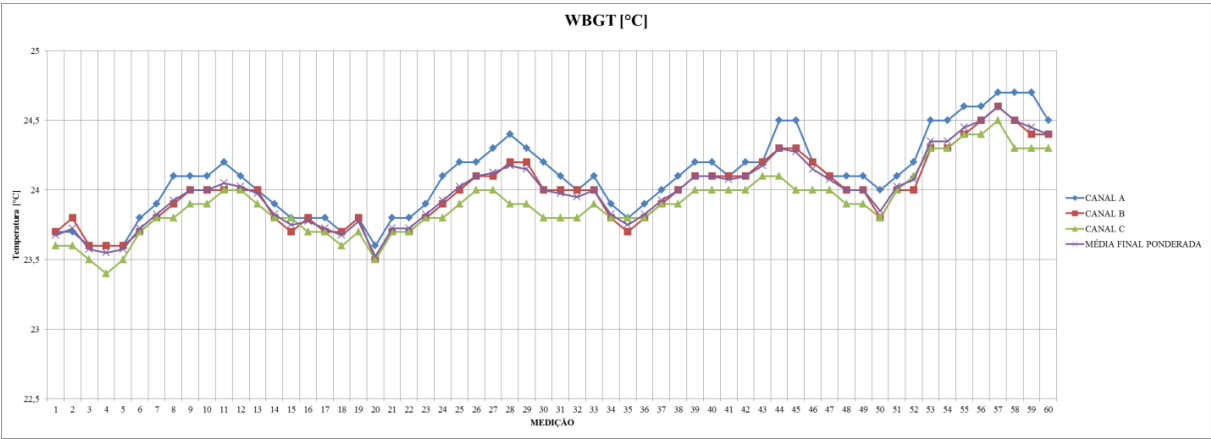
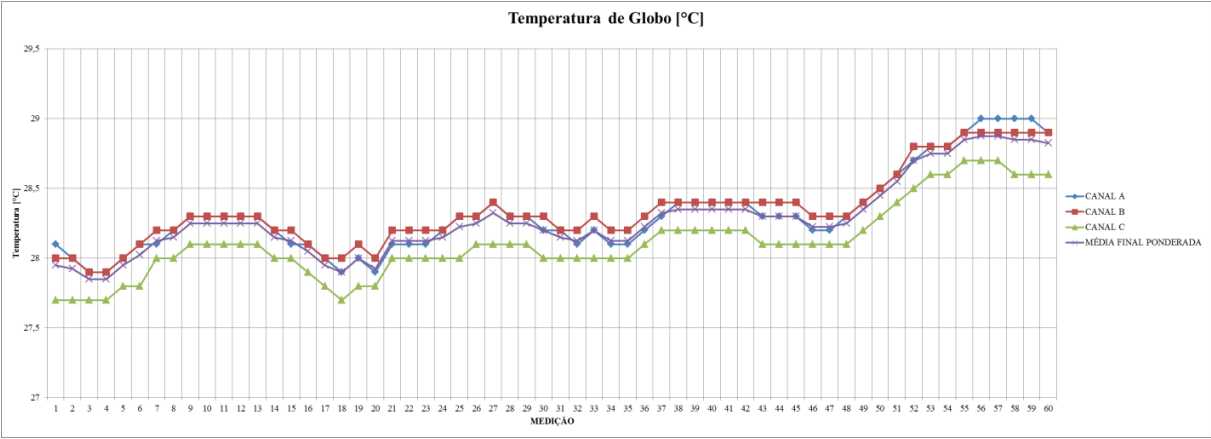
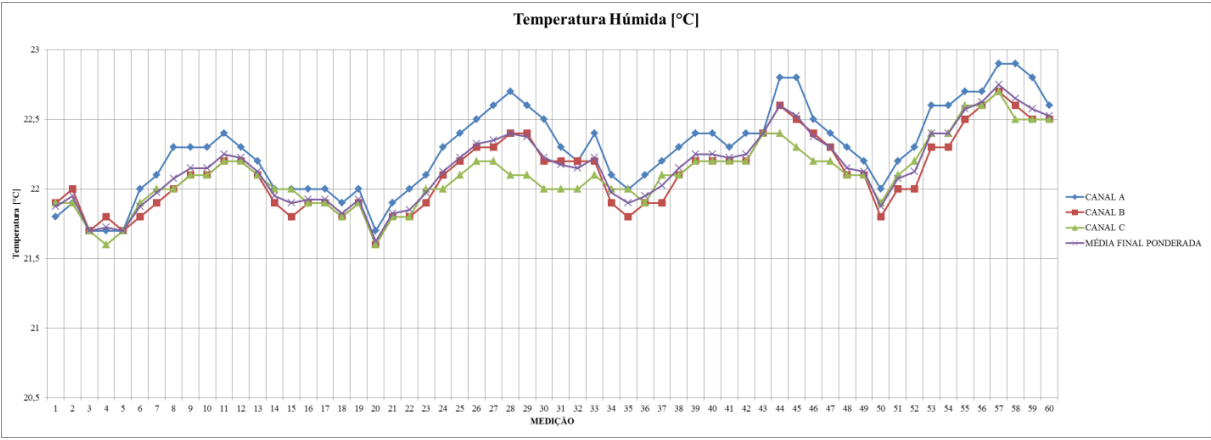
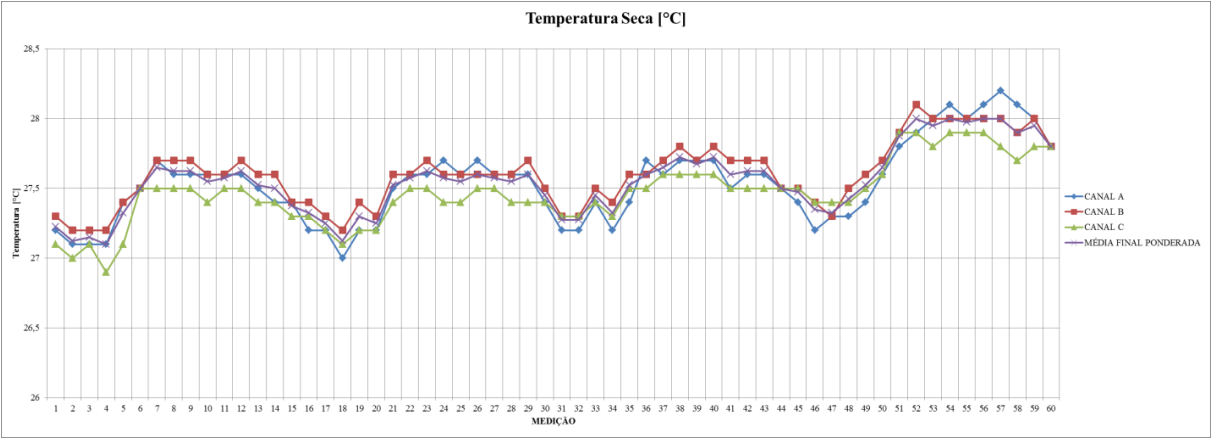
Local		Olaria Local 2 - Máquina de Tanques		
Dados Gerais				
Indústria		Indústria 5		
Sector		Cerâmica		
Operário		OP13		
Data		21-06-2012		
Hora		13:20		
Duração do registo [min]		60		
Dados Meteorológicos				
Temperatura Exterior [°C]		18		
Humidade Exterior [%]		72		
Dados Registados (Médias Ponderadas)				
WBGT	Máximo	25,9		
	Mínimo	25,3		
	Médio	25,5		
Temperatura de Bolbo Seco [°C]	Máximo	31,1		
	Mínimo	30,1		
	Médio	30,6		
Temperatura de Bolbo Húmido [°C]	Máximo	23,7		
	Mínimo	22,9		
	Médio	23,2		
Temperatura de Globo [°C]	Máximo	31,1		
	Mínimo	30,8		
	Médio	31,0		
Velocidade do Ar [m/s]	Médio	0,2		
Dados trabalhador				
Atividade	10% do tempo em pé a utilizar um braço de forma ligeira.		Taxa Metabólica Média [W]	280
	10% do tempo inclinado a utilizar um braço de forma ligeira.			
	40% do tempo a movimentar peças (+/- 10kg). Deslocação até 3m.			
	40% do tempo inclinado a utilizar os dois braços de forma moderada.			
Vestuário	T-shirt, calções, roupa interior, meias, botas e luvas.		Isolamento térmico do conjunto [clo]	0,35
Descrição do local				
Olaria Local 2, neste local a temperatura e humidade são controlados dentro de intervalos pré-determinados por razões inerentes ao processo de fabrico. Onde a conjugação temperatura/humidade necessárias no processo, originam uma atmosfera termicamente severa para os trabalhadores. É de destacar que na altura das medições, a produção não se encontrava no seu pico logo a severidade térmica do local não seria máxima. As condições climatéricas exteriores têm pouca influência neste local, mas é de referir que este local encontra-se no piso 1 do edifício, o que origina a uma maior acumulação de calor naquela zona. A existência de ventiladores no local proporcionavam uma circulação do ar, mas em muitos dos pontos do local não era significativa.				

Registos *in situ*: Olaria Local 2 - Máquina de Tanques



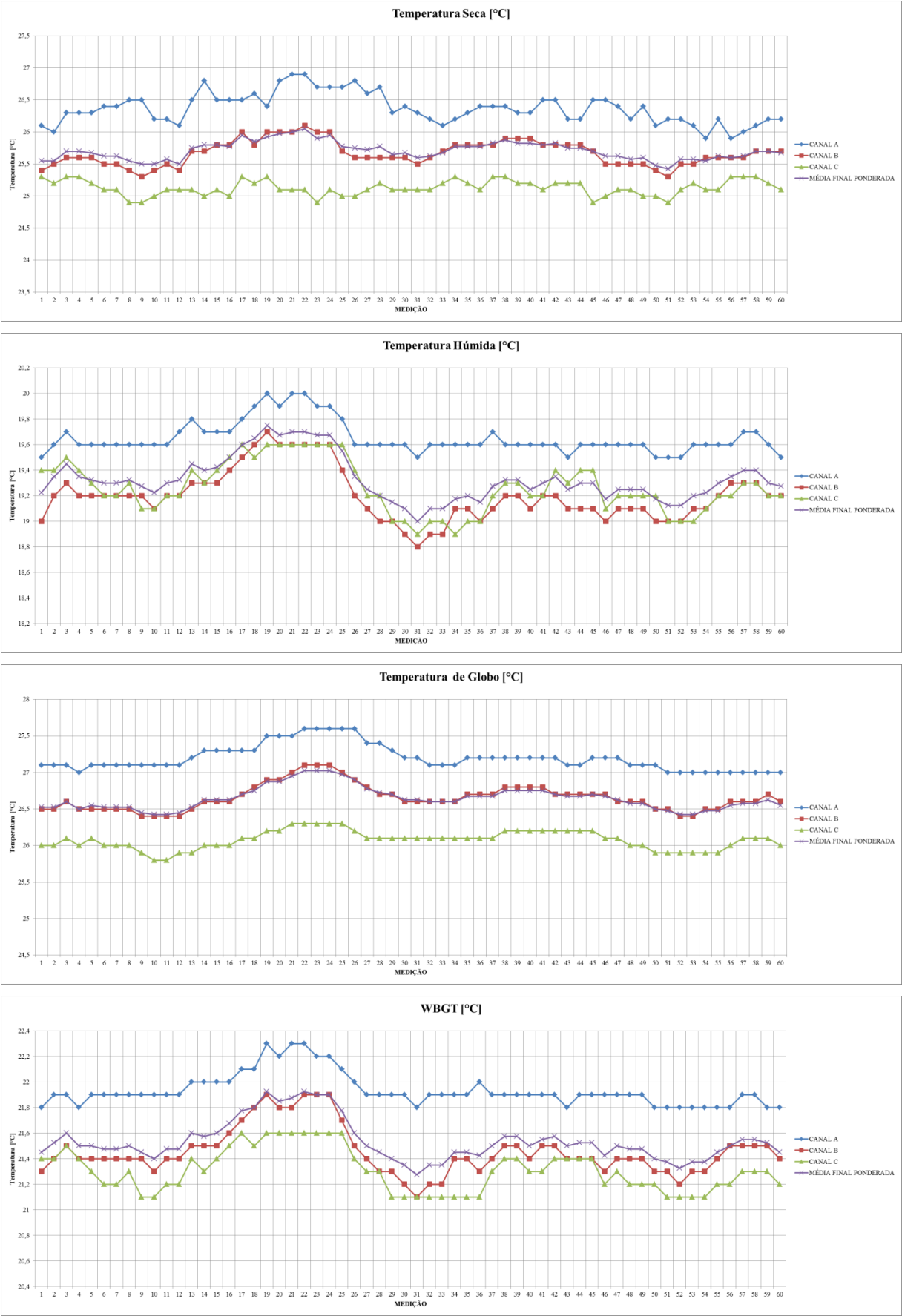
Local		Olaria Niv 3		
Dados Gerais				
Indústria	Indústria 6			
Sector	Cerâmica			
Operário	OP14			
Data	14-06-2012			
Hora	12:40			
Duração do registo [min]	60			
Dados Meteorológicos				
Temperatura Exterior [°C]	17			
Humidade Exterior [%]	80			
Dados Registados (Médias Ponderadas)				
WBGT	Máximo	24,6		
	Mínimo	23,5		
	Médio	24,0		
Temperatura de Bolbo Seco [°C]	Máximo	28,0		
	Mínimo	27,1		
	Médio	27,6		
Temperatura de Bolbo Húmido [°C]	Máximo	22,8		
	Mínimo	21,6		
	Médio	22,2		
Temperatura de Globo [°C]	Máximo	28,9		
	Mínimo	27,9		
	Médio	28,3		
Velocidade do Ar [m/s]	Médio	0,2		
Dados trabalhador				
Atividade	60% do tempo em pé a utilizar os dois braços de forma moderada.		Taxa Metabólica Média [W]	331
	10% do tempo em pé a utilizar o tronco de forma ligeira.			
	10% do tempo a caminhar sem carga.			
	20% do tempo a caminhar com carga (+/- 30kg).			
Vestuário	T-shirt, calças, roupa interior, meias, botas e luvas.		Isolamento térmico do conjunto [clo]	0,49
Descrição do local				
Olaria Niv 3, neste local a temperatura e humidade são controlados dentro de intervalos pré-determinados por razões inerentes ao processo de fabrico. É de destacar que na altura das medições, a produção não se encontrava no seu pico logo a severidade térmica do local não seria máxima. As condições climatéricas exteriores têm pouca influência neste local.				

Registos *in situ*: Olaria Niv 3



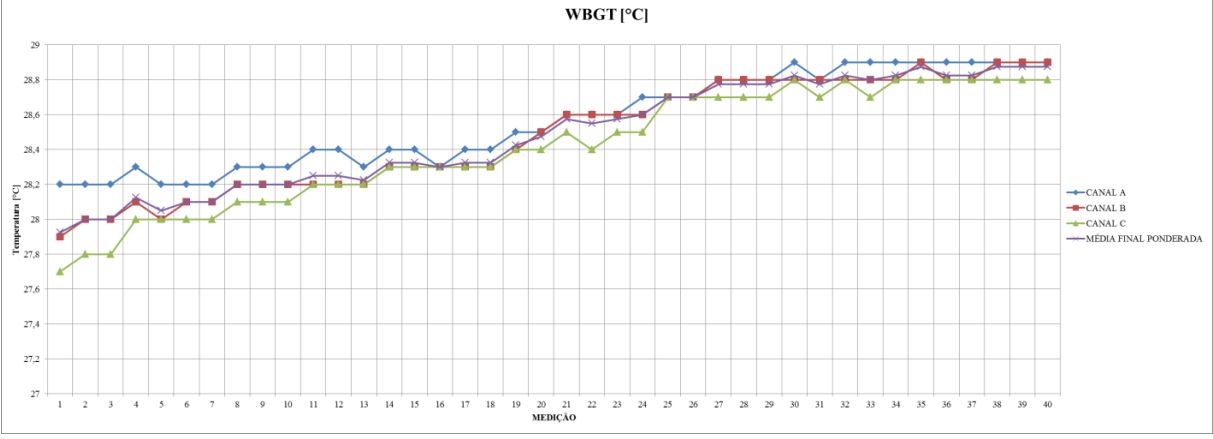
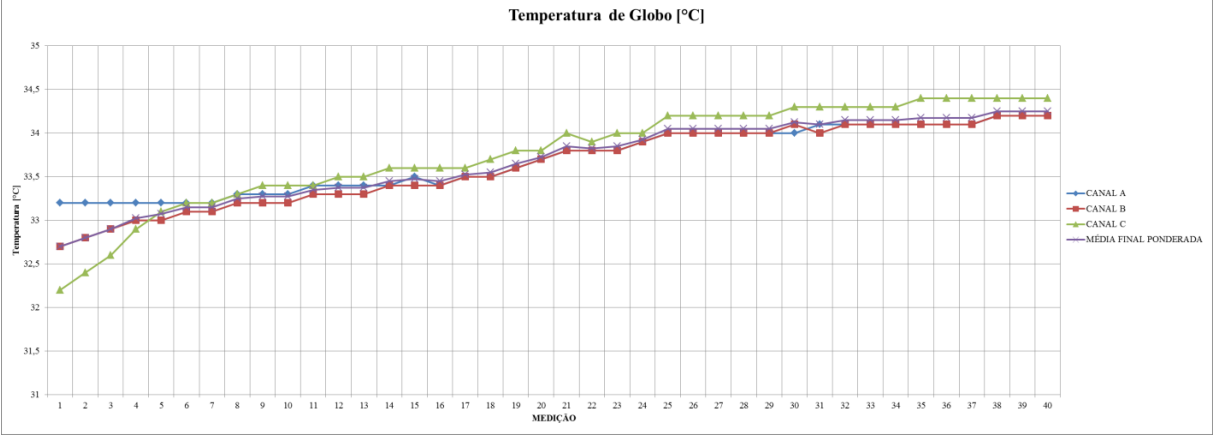
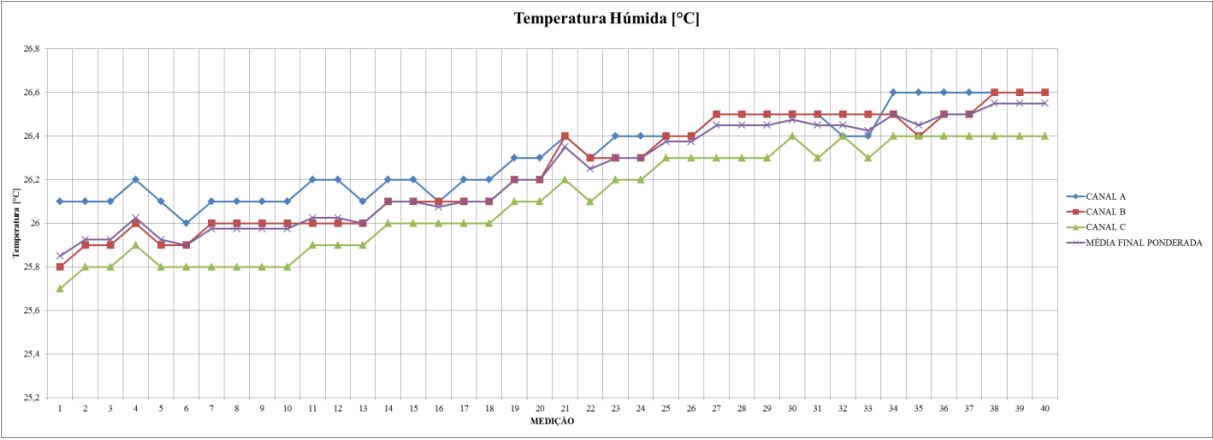
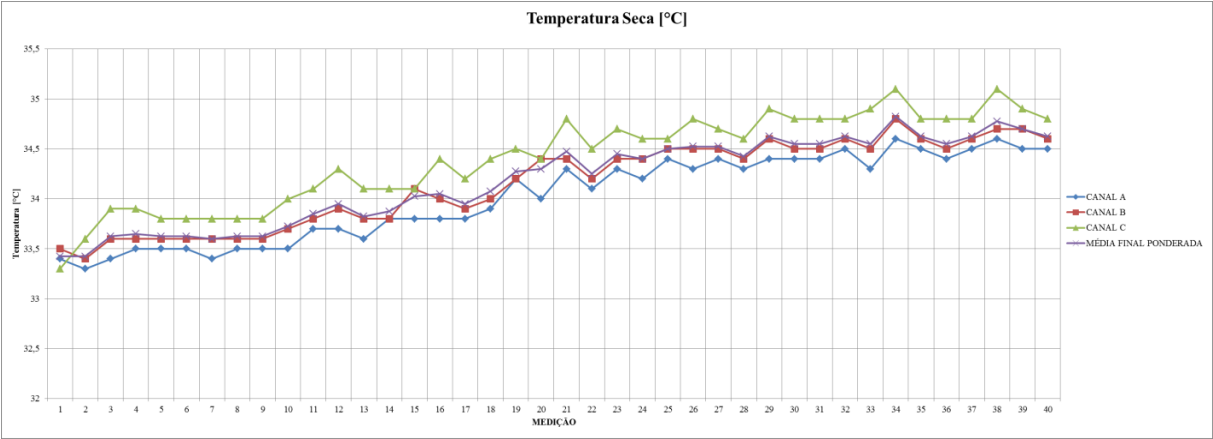
Local	Zona Próxima Do Forno Keramisher				
Dados Gerais					
Indústria	Indústria 6				
Sector	Cerâmica				
Operário	OP15				
Data	14-06-2012				
Hora	15:20				
Duração do registo [min]	60				
Dados Meteorológicos					
Temperatura Exterior [°C]	22				
Humidade Exterior [%]	67				
Dados Registados (Médias Ponderadas)					
WBGT	Máximo	21,9			
	Mínimo	21,3			
	Médio	21,5			
Temperatura de Bolbo Seco [°C]	Máximo	26,1			
	Mínimo	25,4			
	Médio	25,7			
Temperatura de Bolbo Húmido [°C]	Máximo	19,8			
	Mínimo	19,0			
	Médio	19,3			
Temperatura de Globo [°C]	Máximo	27,0			
	Mínimo	26,4			
	Médio	26,6			
Velocidade do Ar [m/s]	Médio	0,2			
Dados trabalhador					
Atividade	10% do tempo em pé a utilizar os dois braços de forma ligeira.		Taxa Metabólica Média [W]	331	
	10% do tempo em pé a utilizar o tronco de forma ligeira.				
	40% do tempo a caminhar sem carga.				
	40% do tempo a caminhar com carga (+/- 20kg).				
Vestuário	T-shirt, calças, roupa interior, meias, botas e luvas.		Isolamento térmico do conjunto [clo]	0,49	
Descrição do local					
Zona Próxima Do Forno Keramisher, neste local a carga térmica é gerada pelo processo de fabrico, nomeadamente pelo forno de cozedura. Trata-se de uma zona “aberta” logo o calor não tende a acumular nesta zona. As condições climatéricas exteriores têm pouca influência neste local.					

Registos *in situ*: Zona Próxima Do Forno Keramisher



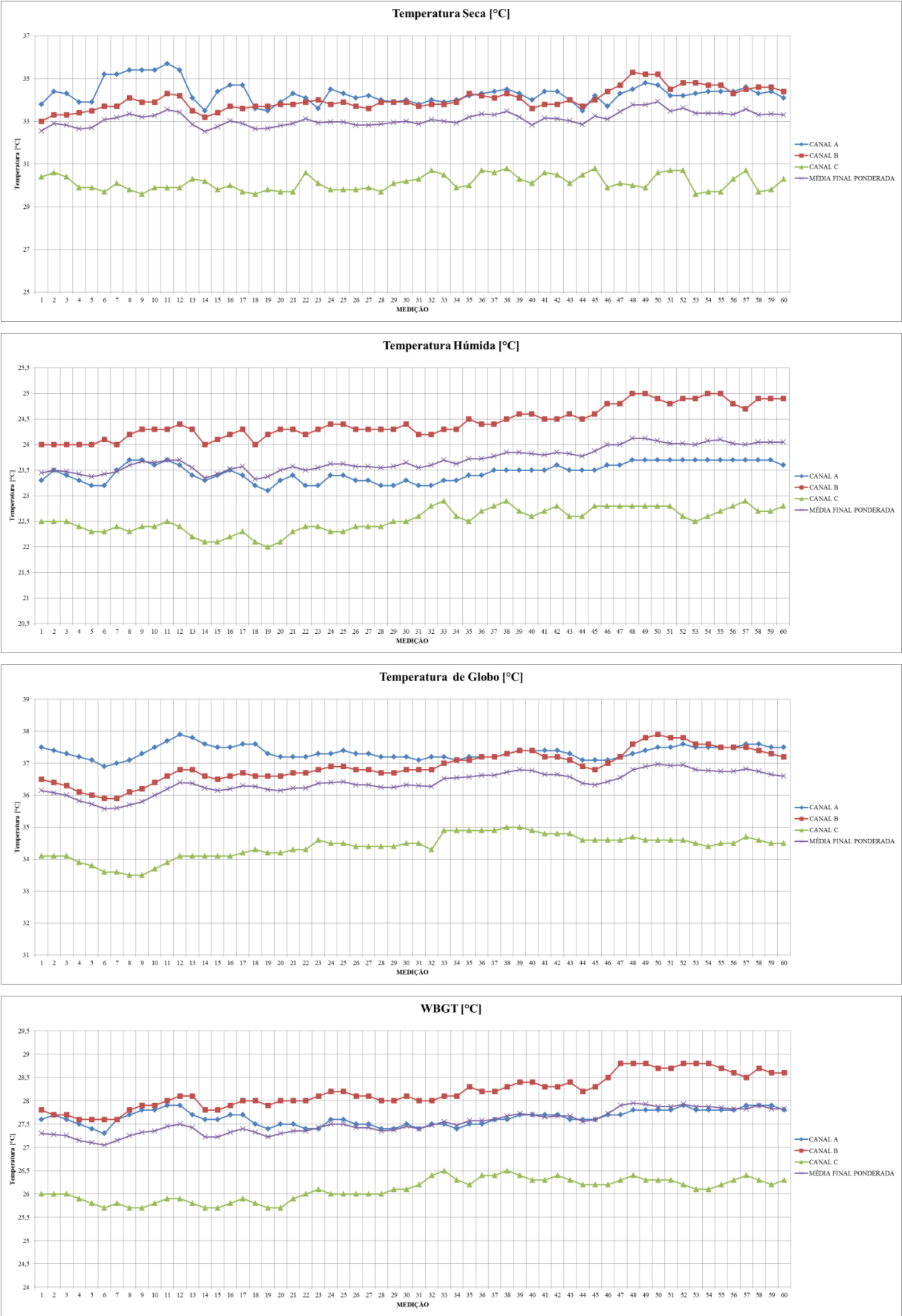
Local		Olaria 11		
Dados Gerais				
Indústria	Indústria 7			
Sector	Cerâmica			
Operário	OP16			
Data	06-06-2012			
Hora	11:30			
Duração do registo [min]	40			
Dados Meteorológicos				
Temperatura Exterior [°C]	23			
Humidade Exterior [%]	60			
Dados Registados (Médias Ponderadas)				
WBGT	Máximo	28,9		
	Mínimo	27,9		
	Médio	28,5		
Temperatura de Bolbo Seco [°C]	Máximo	34,8		
	Mínimo	33,4		
	Médio	34,2		
Temperatura de Bolbo Húmido [°C]	Máximo	26,6		
	Mínimo	25,9		
	Médio	26,2		
Temperatura de Globo [°C]	Máximo	34,3		
	Mínimo	32,7		
	Médio	33,7		
Velocidade do Ar [m/s]	Médio	0,2		
Dados trabalhador				
Atividade	50% do tempo a movimentar peças (+/- 20kg). Deslocação até 3m.		Taxa Metabólica Média [W]	338
	50% do tempo em pé a utilizar os dois braços de forma ligeira.			
Vestuário	T-shirt, calções, roupa interior, meias, botas, luvas e avental.		Isolamento térmico do conjunto [clo]	0,35
Descrição do local				
Olaria 11, neste local a temperatura e humidade são controlados dentro de intervalos pré-determinados por razões inerentes ao processo de fabrico. Onde a conjugação temperatura/humidade necessárias no processo, originam uma atmosfera termicamente severa para os trabalhadores. É de destacar que na altura das medições, a produção não se encontrava no seu pico logo a severidade térmica do local não seria máxima. As condições climatéricas exteriores têm pouca influência neste local. A existência de ventiladores no local proporcionavam uma circulação do ar, mas em muitos dos pontos do local não era significativa.				

Registos *in situ*: Olaria 11



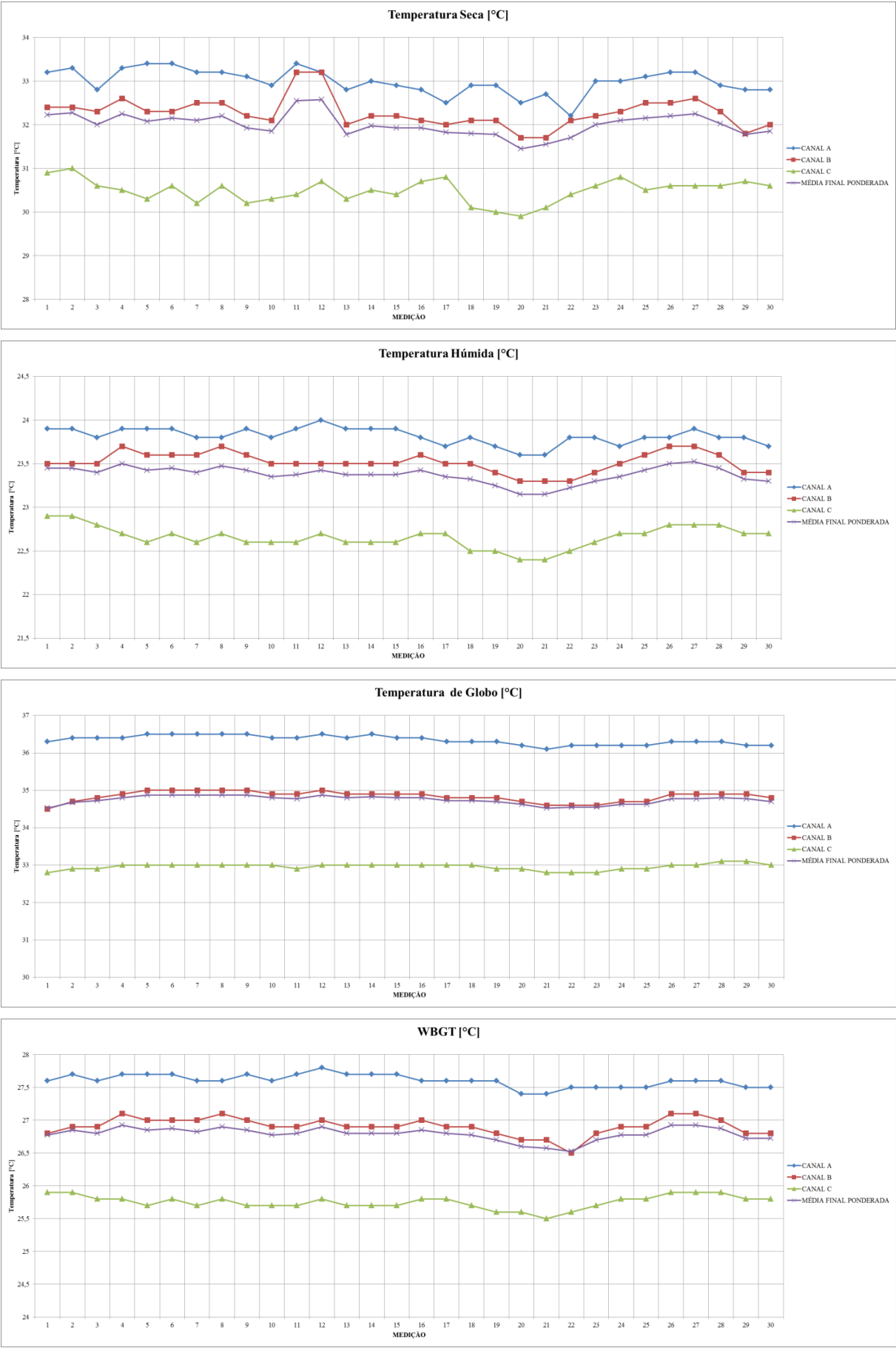
Local		Zona Junto Ao Forno De Secagem		
Dados Gerais				
Indústria	Indústria 7			
Sector	Cerâmica			
Operário	OP17			
Data	06-06-2012			
Hora	14:27			
Duração do registo [min]	60			
Dados Meteorológicos				
Temperatura Exterior [°C]	23			
Humidade Exterior [%]	70			
Dados Registados (Médias Ponderadas)				
WBGT	Máximo	28,0		
	Mínimo	27,1		
	Médio	27,5		
Temperatura de Bolbo Seco [°C]	Máximo	33,9		
	Mínimo	32,5		
	Médio	33,1		
Temperatura de Bolbo Húmido [°C]	Máximo	24,1		
	Mínimo	23,3		
	Médio	23,7		
Temperatura de Globo [°C]	Máximo	37,0		
	Mínimo	35,6		
	Médio	36,4		
Velocidade do Ar [m/s]	Médio	0,2		
Dados trabalhador				
Atividade	80% do tempo a movimentar peças (+/- 20kg). Deslocação até 3m.		Taxa Metabólica Média [W]	407
	10% do tempo em pé a utilizar os dois braços de forma moderada.			
	10% do tempo em pé a utilizar os dois braços de forma intensa.			
Vestuário	T-shirt, calças, roupa interior, meias, botas e luvas.		Isolamento térmico do conjunto [clo]	0,49
Descrição do local				
Zona Junto Ao Forno De Secagem, neste local a carga térmica é gerada pelo processo de fabrico, nomeadamente por estar próximo do forno de secagem. Trata-se de uma zona “aberta” onde as condições climatéricas exteriores podem ter alguma influência neste local. O trabalhador neste local executa uma atividade física muito intensa.				

Registos *in situ*: Zona Junto Ao Forno De Secagem



Local	Zona Próxima À Cabine De Retoque A Quente			
Dados Gerais				
Indústria	Indústria 7			
Sector	Cerâmica			
Operário	OP18			
Data	06-06-2012			
Hora	16:36			
Duração do registo [min]	30			
Dados Meteorológicos				
Temperatura Exterior [°C]	25			
Humidade Exterior [%]	70			
Dados Registados (Médias Ponderadas)				
WBGT	Máximo	26,9		
	Mínimo	26,5		
	Médio	26,8		
Temperatura de Bolbo Seco [°C]	Máximo	32,6		
	Mínimo	31,5		
	Médio	32,0		
Temperatura de Bolbo Húmido [°C]	Máximo	23,5		
	Mínimo	23,2		
	Médio	23,4		
Temperatura de Globo [°C]	Máximo	34,9		
	Mínimo	34,5		
	Médio	34,7		
Velocidade do Ar [m/s]	Médio	0,2		
Dados trabalhador				
Atividade	50% do tempo a movimentar peças (+/- 20kg). Deslocação até 3m.		Taxa Metabólica Média [W]	355
	50% do tempo em pé a utilizar os dois braços de forma moderada.			
Vestuário	T-shirt, calças, roupa interior, meias, botas e luvas.		Isolamento térmico do conjunto [clo]	0,49
Descrição do local				
Zona Próxima À Cabine De Retoque A Quente, neste local a carga térmica é gerada pelo processo de fabrico, nomeadamente pelo do forno de secagem, apesar deste ainda se encontrar distante do local. Trata-se de uma zona “aberta” onde as condições climatéricas exteriores podem ter alguma influência neste local. Por motivos do processo de fabrico, os sensores não foram colocados próximo do trabalhador.				

Registos *in situ*: Zona Próxima À Cabine De Retoque A Quente



Local	Zona Junto À Saída Do Forno De Recozimento			
Dados Gerais				
Indústria	Indústria 7			
Sector	Cerâmica			
Operário	OP19			
Data	06-06-2012			
Hora	17:43			
Duração do registo [min]	40			
Dados Meteorológicos				
Temperatura Exterior [°C]	23			
Humidade Exterior [%]	70			
Dados Registados (Médias Ponderadas)				
WBGT	Máximo	26,5		
	Mínimo	26,2		
	Médio	26,4		
Temperatura de Bolbo Seco [°C]	Máximo	32,6		
	Mínimo	31,8		
	Médio	32,3		
Temperatura de Bolbo Húmido [°C]	Máximo	23,7		
	Mínimo	23,3		
	Médio	23,5		
Temperatura de Globo [°C]	Máximo	33,3		
	Mínimo	32,9		
	Médio	33,1		
Velocidade do Ar [m/s]	Médio	0,2		
Dados trabalhador				
Atividade	70% do tempo a movimentar peças (+/- 20kg). Deslocação até 3m.		Taxa Metabólica Média [W]	400
	20% do tempo em pé a utilizar os dois braços de forma moderada.			
	10% do tempo a empurrar porta paletes.			
Vestuário	T-shirt, calças, roupa interior, meias, botas e luvas.		Isolamento térmico do conjunto [clo]	0,49
Descrição do local				
Zona Junto À Saída Do Forno De Recozimento, neste local a carga térmica é gerada pelo processo de fabrico, nomeadamente por estar próximo do forno de recozimento. Trata-se de uma zona “aberta” onde as condições climatéricas exteriores podem ter alguma influência neste local. O trabalhador neste local executa uma atividade física intensa.				

Registos *in situ*: Zona Junto À Saída Do Forno De Recozimento



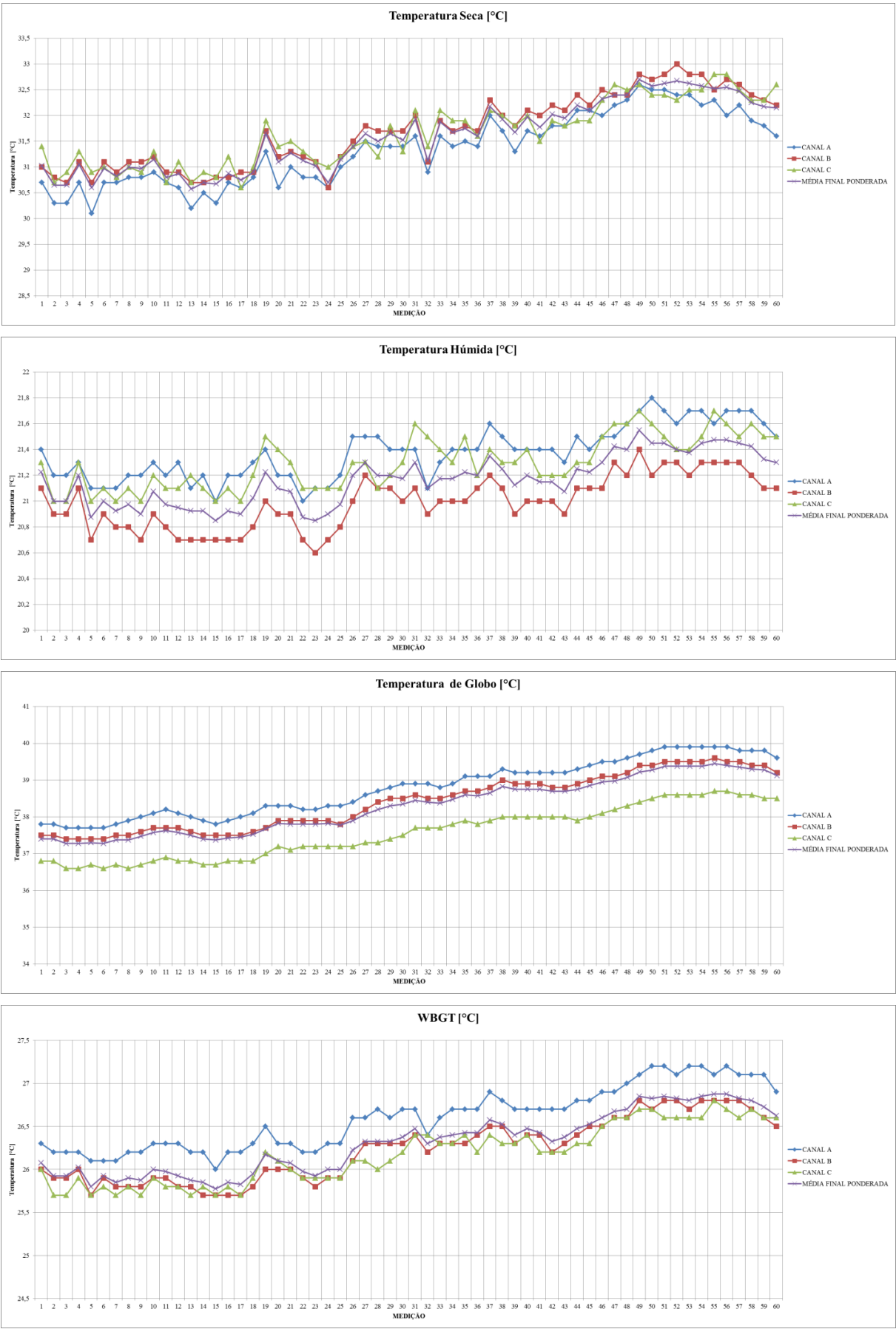
Local		Plataforma Superior Do Atomizador I	
Dados Gerais			
Indústria	Indústria 8		
Sector	Cerâmica		
Operário	OP20		
Data	12-06-2012		
Hora	11:35		
Duração do registo [min]	60		
Dados Meteorológicos			
Temperatura Exterior [°C]	23		
Humidade Exterior [%]	63		
Dados Registados (Médias Ponderadas)			
WBGT	Máximo	26,9	
	Mínimo	25,8	
	Médio	26,3	
Temperatura de Bolbo Seco [°C]	Máximo	32,7	
	Mínimo	30,6	
	Médio	31,6	
Temperatura de Bolbo Húmido [°C]	Máximo	21,6	
	Mínimo	20,9	
	Médio	21,2	
Temperatura de Globo [°C]	Máximo	39,5	
	Mínimo	37,3	
	Médio	38,3	
Velocidade do Ar [m/s]	Médio	0,2	



Dados trabalhador			
Atividade	50% do tempo em pé a utilizar os dois braços de forma ligeira.	Taxa Metabólica Média [W]	254
	25% do tempo a caminhar sem carga.		
	25% do tempo agachado a utilizar os dois braços de forma moderada.		
Vestuário	T-shirt, calças, roupa interior, meias, botas e luvas.	Isolamento térmico do conjunto [clo]	0,49

Descrição do local	
Plataforma Superior Do Atomizador I, neste local o trabalhador executa normalmente trabalhos de inspeção e por norma não permanece muito tempo neste local. Mas também pode realizar trabalhos de manutenção esporádicos, que se poderão prolongar por períodos de tempo significativos, obrigando ao trabalhador a permanecer neste local durante essas operações. Trata-se de uma zona onde a carga térmica advém do processo de fabrico, encontrando-se numa zona alta, próxima da cobertura do edifício, o leva a que o calor acumule nesta zona. As condições climáticas exteriores podem ter alguma influência nas condições térmicas do local.	

Registos *in situ*: Plataforma Superior Do Atomizador I



Local		Plataforma Superior Do Atomizador II	
Dados Gerais			
Indústria	Indústria 8		
Sector	Cerâmica		
Operário	OP21		
Data	12-06-2012		
Hora	14:30		
Duração do registo [min]	60		
Dados Meteorológicos			
Temperatura Exterior [°C]	22		
Humidade Exterior [%]	44		
Dados Registados (Médias Ponderadas)			
WBGT	Máximo	30,3	
	Mínimo	29,3	
	Médio	29,9	
Temperatura de Bolbo Seco [°C]	Máximo	37,9	
	Mínimo	36,0	
	Médio	37,1	
Temperatura de Bolbo Húmido [°C]	Máximo	23,7	
	Mínimo	22,7	
	Médio	23,3	
Temperatura de Globo [°C]	Máximo	45,7	
	Mínimo	44,5	
	Médio	45,2	
Velocidade do Ar [m/s]	Médio	0,2	



Dados trabalhador			
Atividade	50% do tempo em pé a utilizar os dois braços de forma ligeira.	Taxa Metabólica Média [W]	254
	25% do tempo a caminhar sem carga.		
	25% do tempo agachado a utilizar os dois braços de forma moderada.		
Vestuário	T-shirt, calças, roupa interior, meias, botas e luvas.	Isolamento térmico do conjunto [clo]	0,49

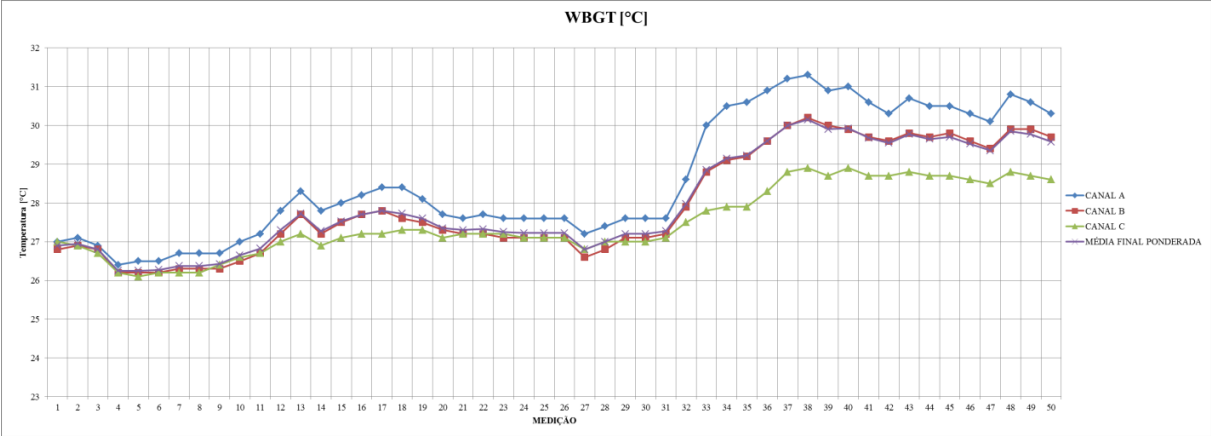
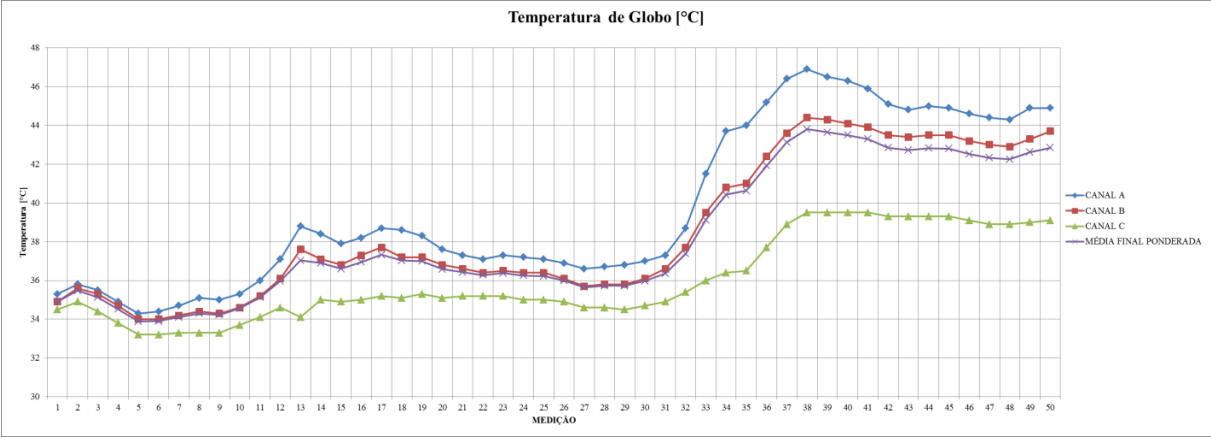
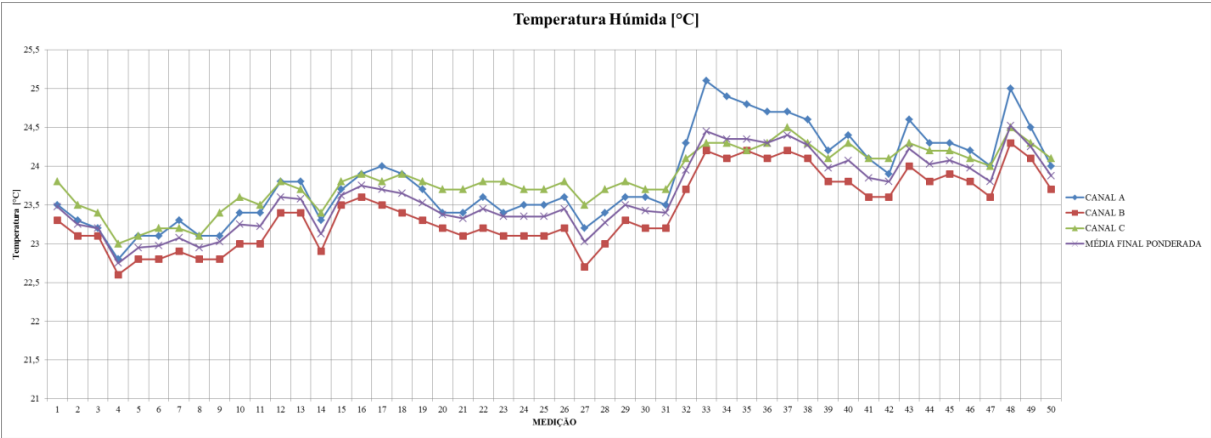
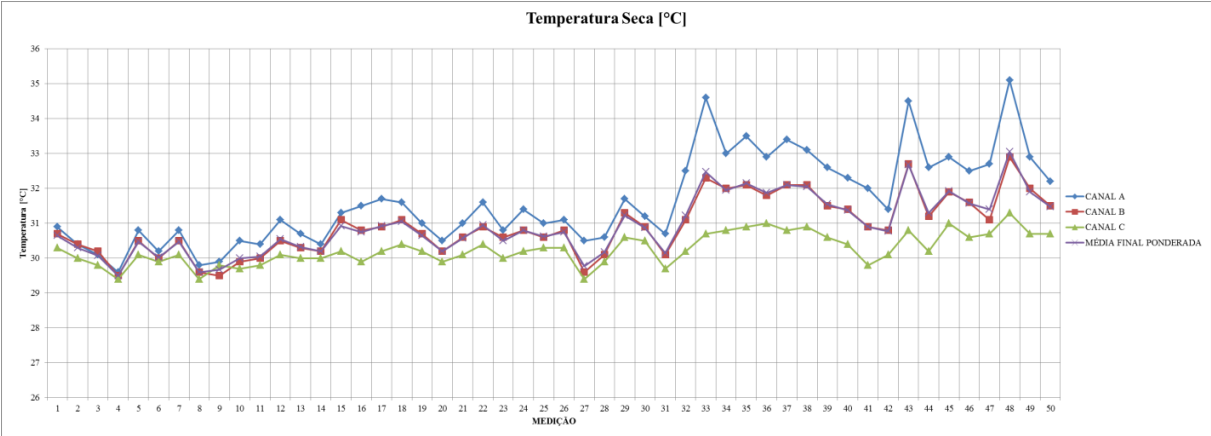
Descrição do local
Plataforma Superior Do Atomizador II, neste local o trabalhador executa normalmente trabalhos de inspeção e por norma não permanece muito tempo neste local. Mas também pode realizar trabalhos de manutenção esporádicos, que se poderão prolongar por períodos de tempo significativos, obrigando ao trabalhador a permanecer neste local durante essas operações. Trata-se de uma zona onde a carga térmica advém do processo de fabrico, encontrando-se numa zona alta, próxima da cobertura do edifício, o leva a que o calor acumule nesta zona. As condições climáticas exteriores podem ter alguma influência nas condições térmicas do local.

Registos *in situ*: Plataforma Superior Do Atomizador II



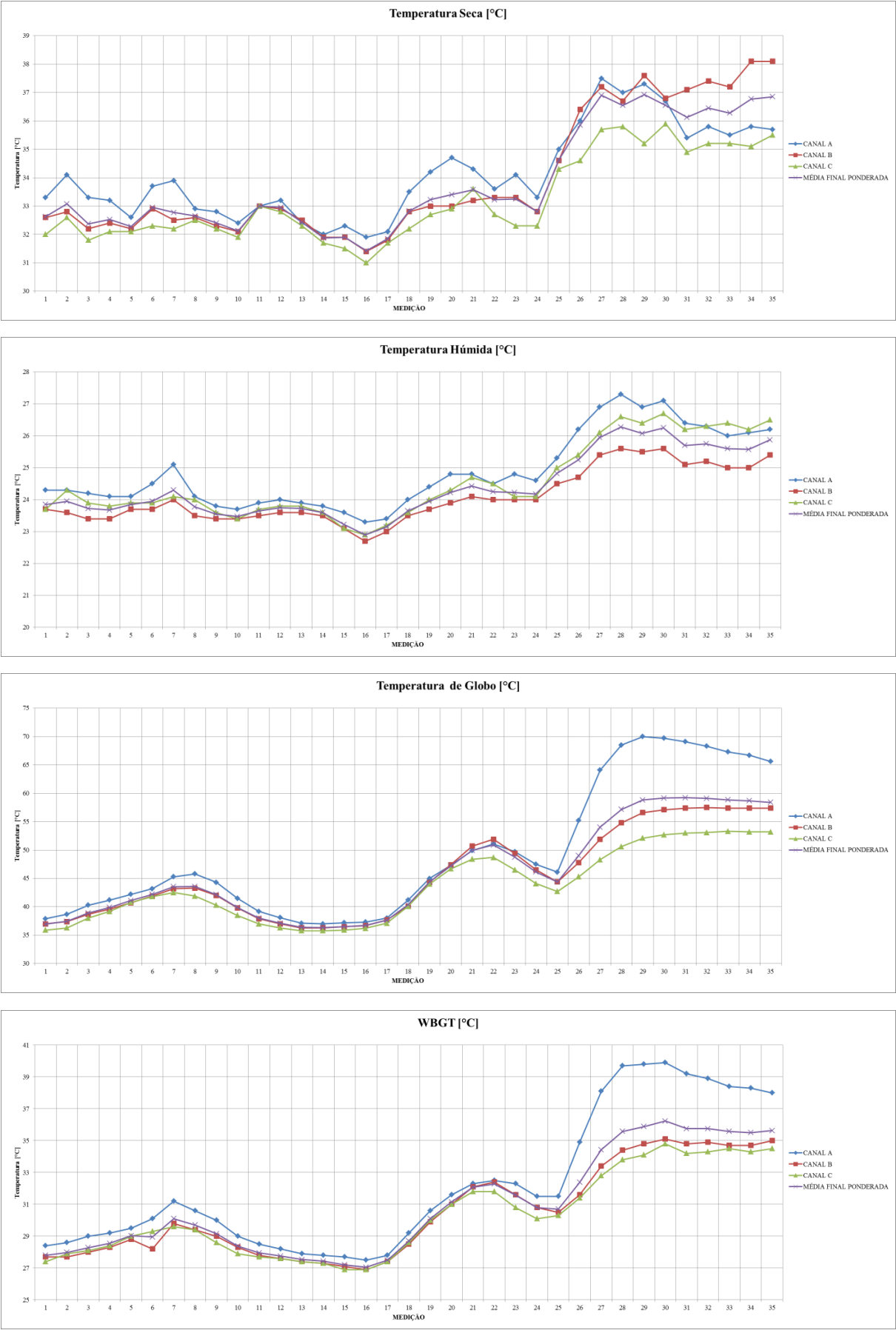
Local		Plataforma Por Cima Dos Fornos			
Dados Gerais					
Indústria		Indústria 13			
Sector		Fundição			
Operário		OP26			
Data		27-06-2012			
Hora		14:30			
Duração do registo [min]		50			
Dados Meteorológicos					
Temperatura Exterior [°C]		23			
Humidade Exterior [%]		68			
Dados Registados (Médias Ponderadas)					
WBGT	Máximo	30,2			
	Mínimo	26,3			
	Médio	28,0			
Temperatura de Bolbo Seco [°C]	Máximo	33,1			
	Mínimo	29,5			
	Médio	30,9			
Temperatura de Bolbo Húmido [°C]	Máximo	24,5			
	Mínimo	22,8			
	Médio	23,6			
Temperatura de Globo [°C]	Máximo	43,8			
	Mínimo	33,9			
	Médio	38,2			
Velocidade do Ar [m/s]	Médio	0,53			
Dados trabalhador					
Atividade	35% do tempo em pé a utilizar os dois braços de forma ligeira.			Taxa Metabólica Média [W]	267
	20% do tempo em pé a utilizar um braço de forma moderada.				
	30% do tempo a caminhar sem carga.				
	5% do tempo a subir degraus sem carga.				
	10% do tempo em pé a utilizar os dois braços de forma intensa.				
Vestuário	T-shirt, calças, roupa interior, meias, óculos, botas e luvas.			Isolamento térmico do conjunto [clo]	0,49
Descrição do local					
Plataforma Por Cima Dos Fornos, neste local a carga térmica é criada por dois fornos, entre os quais o trabalhador executa tarefas. Esses fornos trabalham a temperaturas que poderão atingir os 1500°C, dependendo do metal a ser utilizado no processo de fabrico. A situação mais crítica é quando estes se encontram abertos ou quando é realizada a operação de vazamento para o cadinho. Nesta zona não existe qualquer dispositivo de ventilação mecânica, mas verificou-se no momento de registo, existir uma corrente de ar natural vinda de uma abertura para o exterior, que ajuda a eliminar a carga térmica gerada no processo de fabrico. Caso essa corrente de ar não exista, a severidade do local terá um aumento significativo. As condições climáticas exteriores podem ter alguma influência nas condições térmicas do local.					

Registos *in situ*: Plataforma Por Cima Dos Fornos



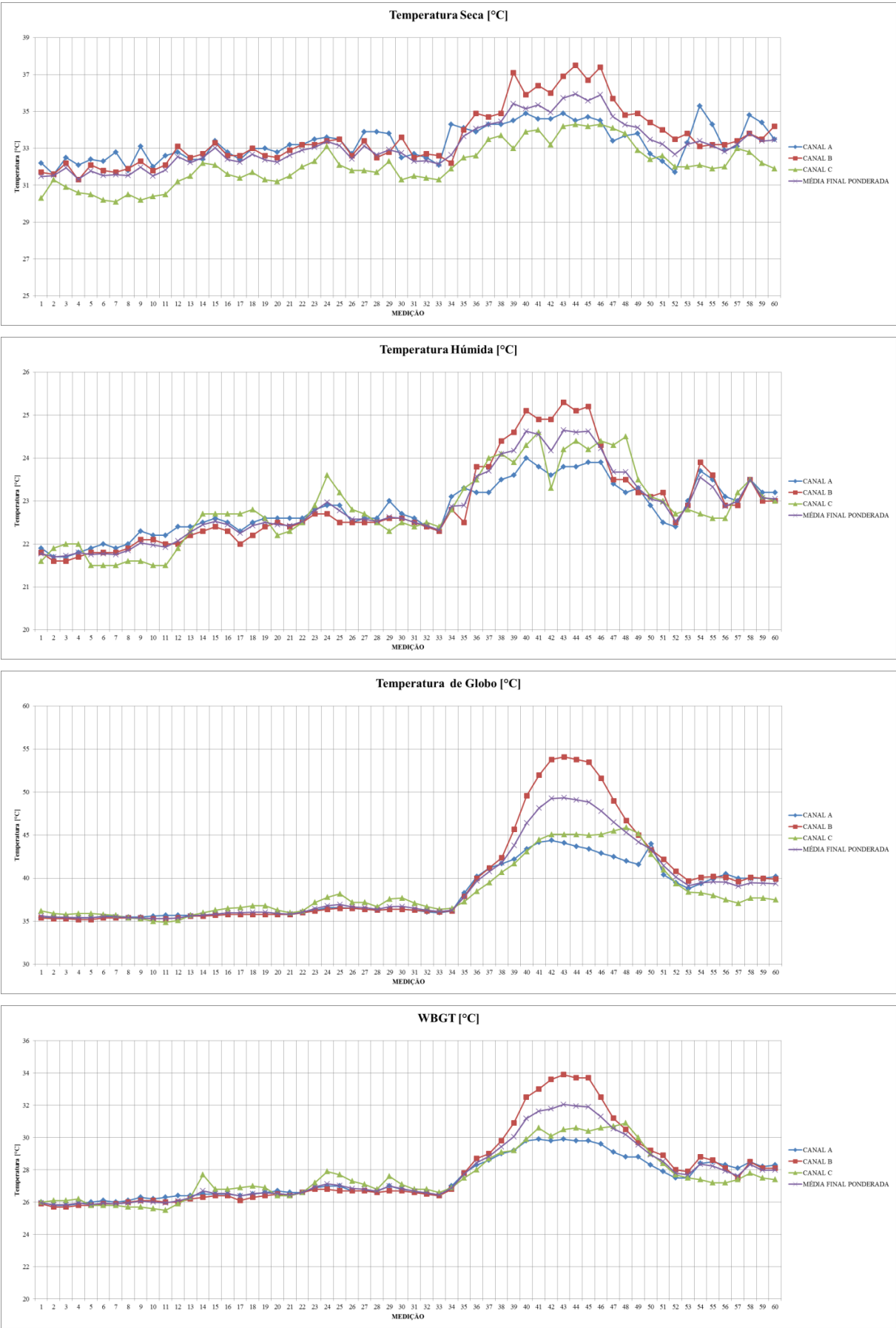
Local		Zona Próxima Ao Cadinho		
Dados Gerais				
Indústria		Indústria 13		
Sector		Fundição		
Operário		OP26		
Data		27-06-2012		
Hora		16:11		
Duração do registo [min]		50		
Dados Meteorológicos				
Temperatura Exterior [°C]		23		
Humidade Exterior [%]		68		
Dados Registados (Médias Ponderadas)				
WBGT	Máximo	36,2		
	Mínimo	27,1		
	Médio	30,9		
Temperatura de Bolbo Seco [°C]	Máximo	36,9		
	Mínimo	31,4		
	Médio	33,8		
Temperatura de Bolbo Húmido [°C]	Máximo	26,3		
	Mínimo	22,9		
	Médio	24,4		
Temperatura de Globo [°C]	Máximo	59,2		
	Mínimo	36,4		
	Médio	46,0		
Velocidade do Ar [m/s]		Médio	0,2	
Dados trabalhador				
Atividade	35% do tempo em pé a utilizar os dois braços de forma ligeira.		Taxa Metabólica Média [W]	267
	20% do tempo em pé a utilizar um braço de forma moderada.			
	30% do tempo a caminhar sem carga.			
	5% do tempo a subir degraus sem carga.			
	10% do tempo em pé a utilizar os dois braços de forma intensa.			
Vestuário	Camisola, calças, roupa interior, meias, máscara de proteção, botas, avental de couro e luvas de couro.		Isolamento térmico do conjunto [clo]	1,1
Descrição do local				
Zona Próxima Ao Cadinho, nesta zona o trabalhador encontra-se junto ao cadinho que contém metal no estado líquido. A sua função é movimentar o cadinho para os moldes e fazer o vazamento do metal líquido de uma forma manual, estando assim, submetido a condições termicamente muito severas, principalmente a nível da temperatura radiativa. Nesta zona não existia qualquer dispositivo de ventilação mecânica, averiguando a sua falta para que pudesse haver uma corrente de ar e também para que pudesse ocorrer uma remoção da carga térmica imposta pelo processo. As condições climáticas exteriores podem ter alguma influência nas condições térmicas do local. O processo obriga a que o trabalhador deslocar-se juntamente com o cadinho para diferentes pundos, assim sendo, o equipamento de registo também acompanhou esse deslocamento durante o período de registo, deixando sempre uma distância de segurança para salvaguardar os equipamentos.				

Registos in situ: Zona Próxima Ao Cadinho



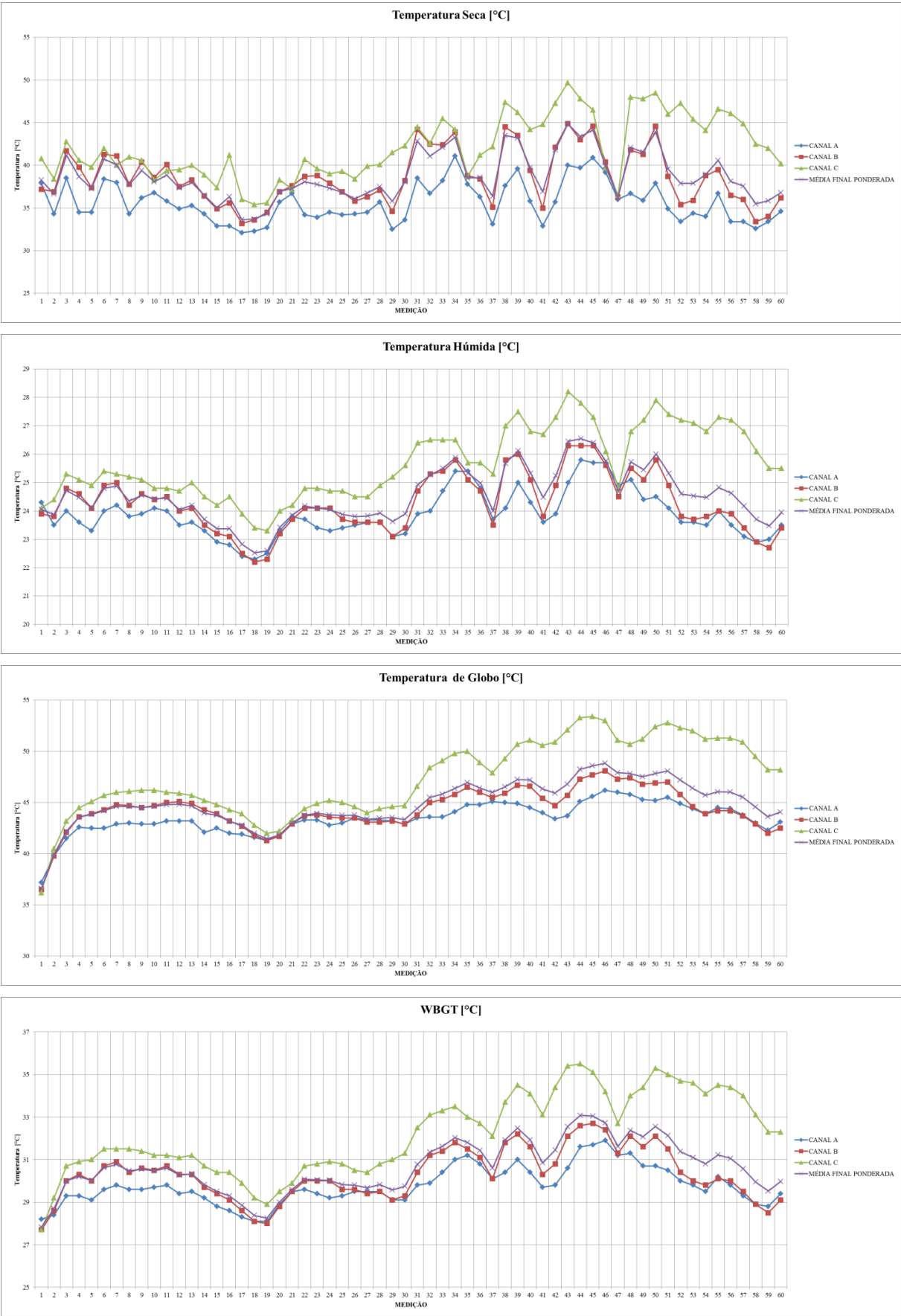
Local	Zona Superior Próxima Ao Forno			
Dados Gerais				
Indústria	Indústria 15			
Sector	Fundição			
Operário	OP30			
Data	28-06-2012			
Hora	12:05			
Duração do registo [min]	60			
Dados Meteorológicos				
Temperatura Exterior [°C]	26			
Humidade Exterior [%]	41			
Dados Registados (Médias Ponderadas)				
WBGT	Máximo	32,1		
	Mínimo	25,8		
	Médio	27,7		
Temperatura de Bolbo Seco [°C]	Máximo	36,0		
	Mínimo	31,3		
	Médio	33,1		
Temperatura de Bolbo Húmido [°C]	Máximo	24,7		
	Mínimo	21,7		
	Médio	22,9		
Temperatura de Globo [°C]	Máximo	49,4		
	Mínimo	35,3		
	Médio	39,0		
Velocidade do Ar [m/s]	Médio	0,2		
Dados trabalhador				
Atividade e	50% do tempo em pé a utilizar os dois braços de forma ligeira.		Taxa Metabólica Média [W]	215
	50% do tempo a caminhar sem carga.			
Vestuário	Camisola, calças, roupa interior, meias, máscara de proteção, botas, avental de couro e luvas de couro.		Isolamento térmico do conjunto [clo]	1,1
Descrição do local				
Zona Superior Próxima Ao Forno, neste local a carga térmica é criada por dois fornos, entre os quais o trabalhador executa tarefas. Esses fornos trabalham a temperaturas que poderão atingir os 1500°C. A situação mais crítica são quando estes se encontram abertos ou quando é realizada a operação de vazamento para o cadinho. Nesta zona existe ventiladores que possibilitam uma melhor circulação do ar e uma remoção da carga térmica gerada durante o processo de fabrico. As condições climáticas exteriores podem ter alguma influência nas condições térmicas do local.				

Registos *in situ*: Zona Superior Próxima Ao Forno



Local		Zona Em Cima Da Plataforma De Vazamento		
Dados Gerais				
Indústria		Indústria 15		
Sector		Fundição		
Operário		OP31		
Data		28-06-2012		
Hora		15:00		
Duração do registo [min]		60		
Dados Meteorológicos				
Temperatura Exterior [°C]		23		
Humidade Exterior [%]		64		
Dados Registados (Médias Ponderadas)				
WBGT	Máximo	33,1		
	Mínimo	27,8		
	Médio	30,6		
Temperatura de Bolbo Seco [°C]	Máximo	44,9		
	Mínimo	33,6		
	Médio	38,7		
Temperatura de Bolbo Húmido [°C]	Máximo	26,6		
	Mínimo	22,5		
	Médio	24,5		
Temperatura de Globo [°C]	Máximo	48,9		
	Mínimo	36,6		
	Médio	44,9		
Velocidade do Ar [m/s]		Médio	0,2	
Dados trabalhador				
Atividade	50% do tempo em pé a utilizar os dois braços de forma ligeira.		Taxa Metabólica Média [W]	262
	20% do tempo em pé a utilizar os dois braços de forma moderada.			
	20% do tempo a caminhar sem carga.			
	10% do tempo a subir/descer degraus sem carga			
Vestuário	Camisola, calças, roupa interior, meias, máscara de proteção, botas, avental de couro e luvas de couro.		Isolamento térmico do conjunto [clo]	1,1
Descrição do local				
Zona Em Cima Da Plataforma De Vazamento, nesta zona o trabalhador encontra-se junto ao cadinho que contém metal no estado líquido. A sua função é movimentar o cadilho para a plataforma de vazamento, estado submetido a condições extremamente severas por um curto período de tempo. Nesta zona existe ventiladores que possibilitam uma melhor circulação do ar e uma remoção da carga térmica gerada durante o processo de fabrico. As condições climáticas exteriores podem ter alguma influência nas condições térmicas do local.				

Registos *in situ*: Zona Em Cima Da Plataforma De Vazamento



Local		Injeção De Alumínio 1 - Máquina De Câmara Fria		
Dados Gerais				
Indústria	Indústria 16			
Sector	Fundição			
Operário	OP32			
Data	17-07-2012			
Hora	16:15			
Duração do registo [min]	45			
Dados Meteorológicos				
Temperatura Exterior [°C]	23			
Humidade Exterior [%]	63			
Dados Registados (Médias Ponderadas)				
WBGT	Máximo	24,9		
	Mínimo	23,8		
	Médio	24,3		
Temperatura de Bolbo Seco [°C]	Máximo	31,4		
	Mínimo	28,2		
	Médio	29,8		
Temperatura de Bolbo Húmido [°C]	Máximo	19,8		
	Mínimo	18,8		
	Médio	19,2		
Temperatura de Globo [°C]	Máximo	36,9		
	Mínimo	35,3		
	Médio	36,1		
Velocidade do Ar [m/s]	Médio	0,2		
Dados trabalhador				
Atividade	70% do tempo em pé a utilizar os dois braços de forma ligeira.		Taxa Metabólica Média [W]	268
	30% do tempo em pé a utilizar o tronco de forma ligeira.			
Vestuário	T-shirt, calças, roupa interior, meias, botas, boné e luvas.		Isolamento térmico do conjunto [clo]	0,46
Descrição do local				
Injeção De Alumínio 1 - Máquina De Câmara Fria, neste local a carga térmica advém do processo de fabrico, nomeadamente do forno onde é derretido o alumínio, tratando-se de um local bastante aberto, o que impede que o calor se acumule naquela zona. O trabalhador executa uma tarefa leve/média. As condições climáticas exteriores podem ter alguma influência nas condições térmicas do local.				

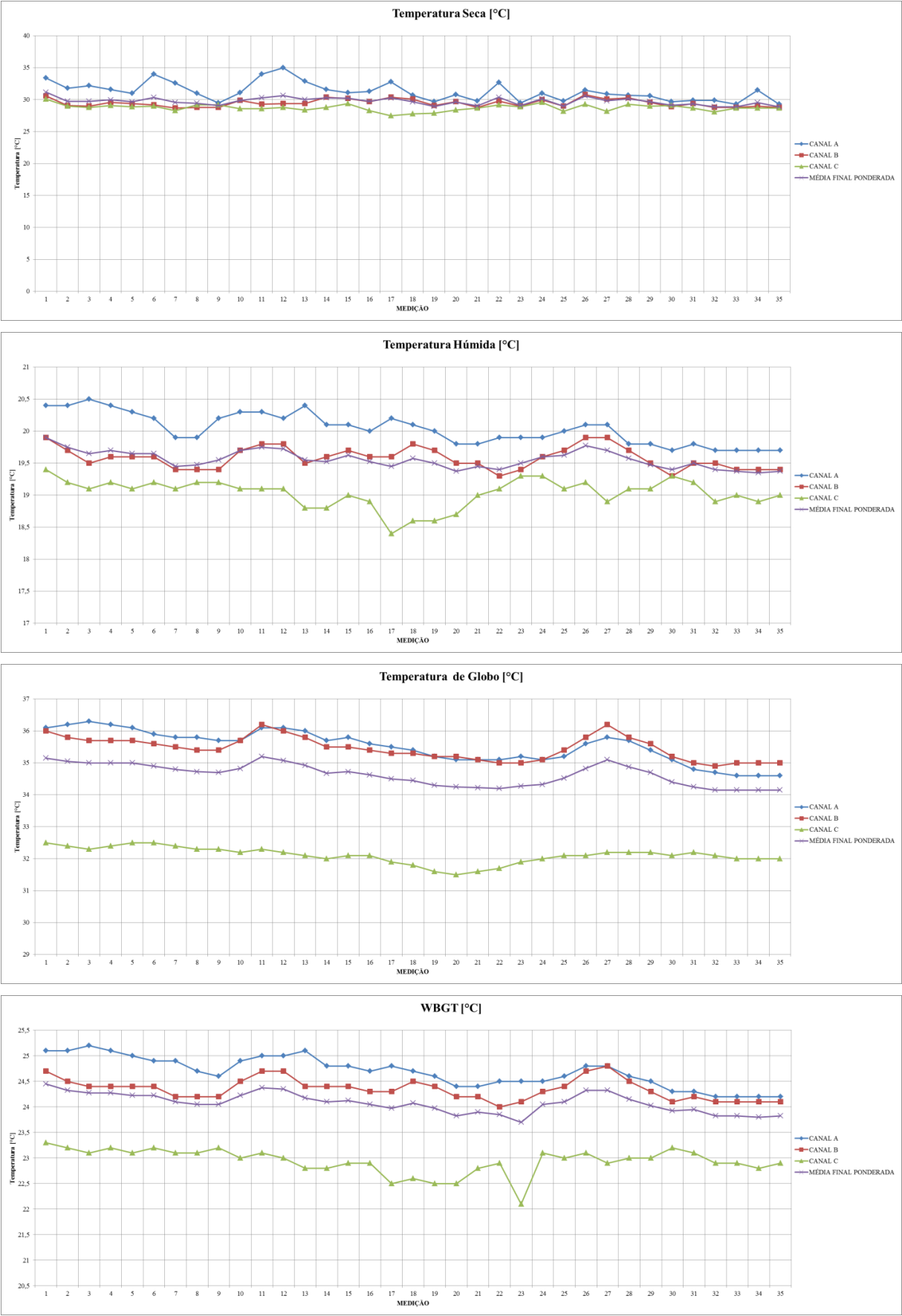


Registos *in situ*: Injeção De Alumínio 1 - Máquina De Câmara Fria



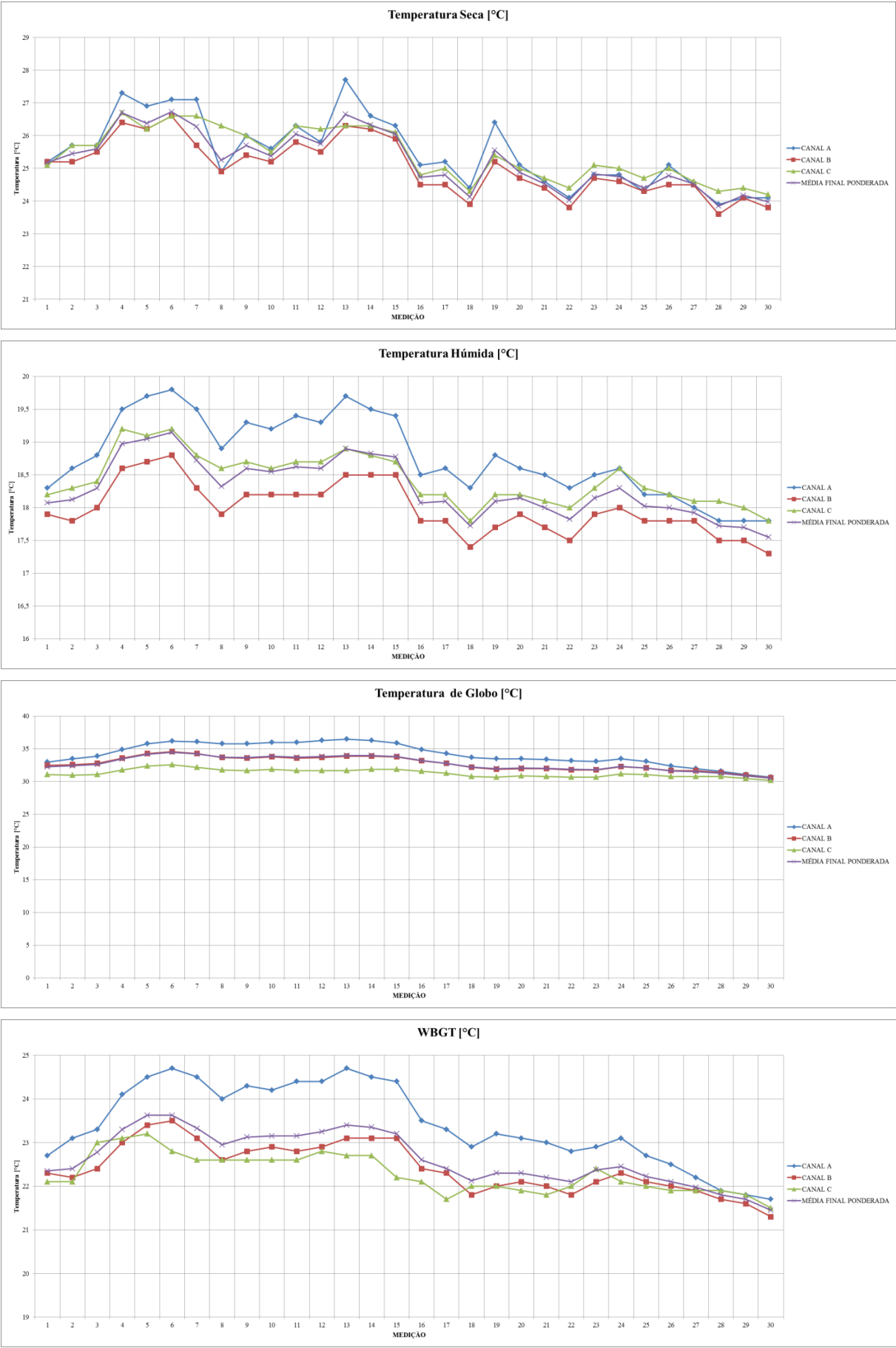
Local		Injeção De ZAMAK - Máquina De Câmara Quente	
Dados Gerais			
Indústria	Indústria 16		
Sector	Fundição		
Operário	OP32		
Data	17-07-2012		
Hora	17:38		
Duração do registo [min]	35		
Dados Meteorológicos			
Temperatura Exterior [°C]	20		
Humidade Exterior [%]	54		
Dados Registados (Médias Ponderadas)			
WBGT	Máximo	24,5	
	Mínimo	23,7	
	Médio	24,1	
Temperatura de Bolbo Seco [°C]	Máximo	31,2	
	Mínimo	28,9	
	Médio	29,7	
Temperatura de Bolbo Húmido [°C]	Máximo	19,9	
	Mínimo	19,4	
	Médio	19,6	
Temperatura de Globo [°C]	Máximo	35,2	
	Mínimo	34,2	
	Médio	34,6	
Velocidade do Ar [m/s]	Médio	0,2	
			
Dados trabalhador			
Atividade	70% do tempo em pé a utilizar os dois braços de forma ligeira.	Taxa Metabólica Média [W]	268
	30% do tempo em pé a utilizar o tronco de forma ligeira.		
Vestuário	T-shirt, calças, roupa interior, meias, botas, boné e luvas.	Isolamento térmico do conjunto [clo]	0,46
Descrição do local			
Injeção De ZAMAK - Máquina De Câmara Quente, neste local a carga térmica advém do processo de fabrico, nomeadamente do forno onde é derretido a liga de zinco, tratando-se de um local bastante aberto, o que impede que o calor se acumule naquela zona. O trabalhador executa uma tarefa leve/média. As condições climáticas exteriores podem ter alguma influência nas condições térmicas do local.			

Registos *in situ*: Injeção De ZAMAK - Máquina De Câmara Quente



Local		Injeção De Alumínio 2 - Máquina De Câmara Fria		
Dados Gerais				
Indústria	Indústria 16			
Sector	Fundição			
Operário	OP34			
Data	17-07-2012			
Hora	18:42			
Duração do registo [min]	30			
Dados Meteorológicos				
Temperatura Exterior [°C]	20			
Humidade Exterior [%]	60			
Dados Registados (Médias Ponderadas)				
WBGT	Máximo	23,6		
	Mínimo	21,5		
	Médio	22,6		
Temperatura de Bolbo Seco [°C]	Máximo	26,7		
	Mínimo	23,9		
	Médio	25,2		
Temperatura de Bolbo Húmido [°C]	Máximo	19,2		
	Mínimo	17,6		
	Médio	18,3		
Temperatura de Globo [°C]	Máximo	34,5		
	Mínimo	30,5		
	Médio	32,8		
Velocidade do Ar [m/s]	Médio	0,2		
Dados trabalhador				
Atividade	60% do tempo em pé a utilizar os dois braços de forma ligeira.		Taxa Metabólica Média [W]	290
	30% do tempo em pé a utilizar o tronco de forma ligeira.			
	5% do tempo a subir/descer degraus sem carga			
	5% do tempo a empurrar porta paletes.			
Vestuário	T-shirt, calças, roupa interior, meias, botas, boné e luvas.		Isolamento térmico do conjunto [clo]	0,46
Descrição do local				
Injeção De Alumínio 2 - Máquina De Câmara Fria, neste local a carga térmica advém do processo de fabrico, nomeadamente do forno onde é derretido o alumínio, tratando-se de um local bastante aberto, o que impede que o calor se acumule naquela zona. O trabalhador executa uma tarefa leve/média. As condições climáticas exteriores podem ter alguma influência nas condições térmicas do local.				

Registos *in situ*: Injeção De Alumínio 2 - Máquina De Câmara Fria



Local	Zona Próxima Da Fundição Tipo 1		
Dados Gerais			
Indústria	Indústria 17		
Sector	Fundição		
Operário	OP35		
Data	22-06-2012		
Hora	14:00		
Duração do registo [min]	60		
Dados Meteorológicos			
Temperatura Exterior [°C]	18		
Humidade Exterior [%]	59		
Dados Registados (Médias Ponderadas)			
WBGT	Máximo	22,2	
	Mínimo	21,3	
	Médio	21,7	
Temperatura de Bolbo Seco [°C]	Máximo	28,1	
	Mínimo	26,8	
	Médio	27,3	
Temperatura de Bolbo Húmido [°C]	Máximo	18,2	
	Mínimo	17,3	
	Médio	17,8	
Temperatura de Globo [°C]	Máximo	30,9	
	Mínimo	30,4	
	Médio	30,7	
Velocidade do Ar [m/s]	Médio	0,2	
Dados trabalhador			
Atividade	70% do tempo em pé a utilizar os dois braços de forma ligeira.	Taxa Metabólica Média [W]	268
	30% do tempo em pé a utilizar o tronco de forma ligeira.		
Vestuário	T-shirt, calças, roupa interior, meias, botas e luvas.	Isolamento térmico do conjunto [clo]	0,46
Descrição do local			
Zona Próxima Da Fundição Tipo 1, neste local a carga térmica advém do processo de fabrico, nomeadamente do forno onde é derretido o alumínio, tratando-se de um local bastante aberto, o que impede que o calor se acumule naquela zona. Existe ainda uma hotte de extração por de cima do forno que remove parte do calor por ele libertado. O trabalhador executa uma tarefa leve/média. As condições climáticas exteriores podem ter alguma influência nas condições térmicas do local.			

Registos *in situ*: Zona Próxima Da Fundição Tipo 1



Local		Zona Próxima Da Fundição Tipo 2	
Dados Gerais			
Indústria	Indústria 17		
Sector	Fundição		
Operário	OP34		
Data	22-06-2012		
Hora	15:55		
Duração do registo [min]	60		
Dados Meteorológicos			
Temperatura Exterior [°C]	18		
Humidade Exterior [%]	59		
Dados Registados (Médias Ponderadas)			
WBGT	Máximo	22,4	
	Mínimo	21,4	
	Médio	21,9	
Temperatura de Bolbo Seco [°C]	Máximo	27,1	
	Mínimo	24,3	
	Médio	25,5	
Temperatura de Bolbo Húmido [°C]	Máximo	18,8	
	Mínimo	17,7	
	Médio	18,3	
Temperatura de Globo [°C]	Máximo	31,2	
	Mínimo	29,8	
	Médio	30,4	
Velocidade do Ar [m/s]	Médio	0,2	
Dados trabalhador			
Atividade	70% do tempo em pé a utilizar os dois braços de forma ligeira.	Taxa Metabólica Média [W]	268
	30% do tempo em pé a utilizar o tronco de forma ligeira.		
Vestuário	T-shirt, calças, roupa interior, meias, botas, boné e luvas.	Isolamento térmico do conjunto [clo]	0,46
Descrição do local			
Zona Próxima Da Fundição Tipo 2, neste local a carga térmica advém do processo de fabrico, nomeadamente do forno onde é derretido o alumínio, tratando-se de um local bastante aberto, o que impede que o calor se acumule naquela zona. O trabalhador executa uma tarefa leve/média. As condições climáticas exteriores podem ter alguma influência nas condições térmicas do local.			

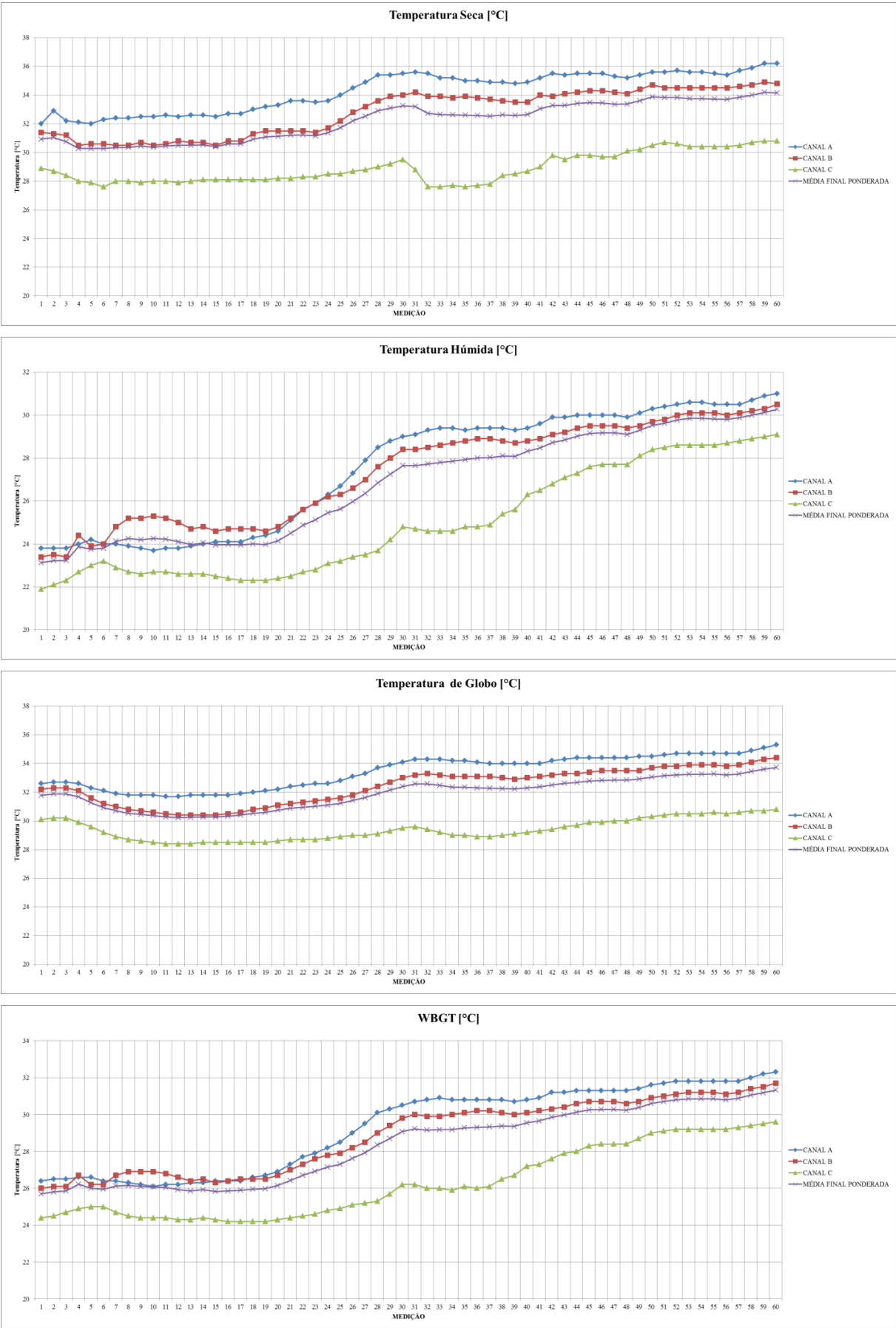


Registos *in situ*: Zona Próxima Da Fundição Tipo 2



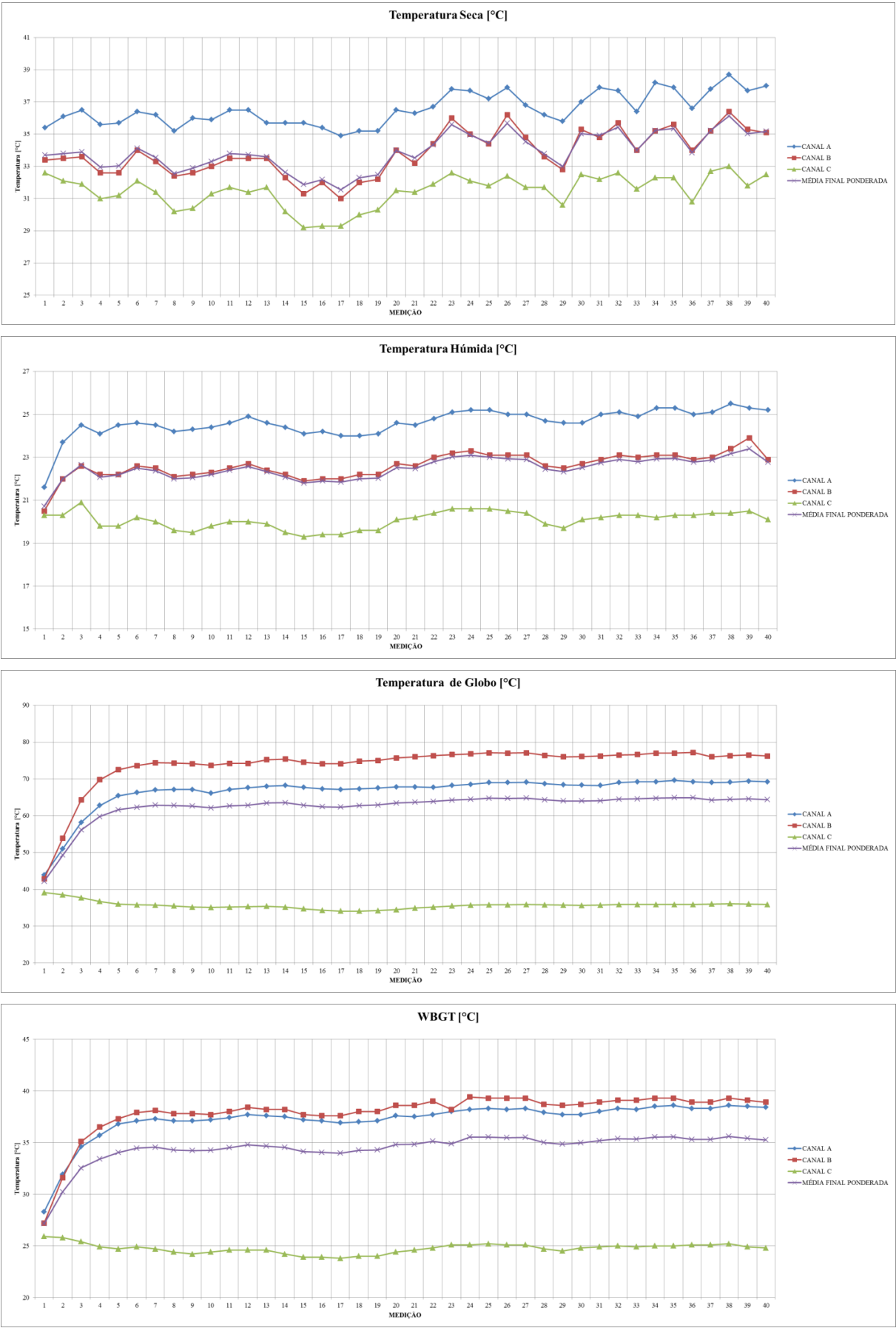
Local	Zona De Fabricação			
Dados Gerais				
Indústria	Indústria 21			
Sector	Panificação			
Operário	OP41			
Data	27-06-2012			
Hora	03:50			
Duração do registo [min]	60			
Dados Meteorológicos				
Temperatura Exterior [°C]	20			
Humidade Exterior [%]	60			
Dados Registados (Médias Ponderadas)				
WBGT	Máximo	31,3		
	Mínimo	25,7		
	Médio	28,3		
Temperatura de Bolbo Seco [°C]	Máximo	34,2		
	Mínimo	30,3		
	Médio	32,2		
Temperatura de Bolbo Húmido [°C]	Máximo	30,3		
	Mínimo	23,1		
	Médio	26,8		
Temperatura de Globo [°C]	Máximo	33,7		
	Mínimo	30,2		
	Médio	31,9		
Velocidade do Ar [m/s]	Médio	0,2		
Dados trabalhador				
Atividade	25% do tempo em pé a utilizar os dois braços de forma ligeira.		Taxa Metabólica Média [W]	281
	25% do tempo em pé a utilizar os dois braços de forma moderada.			
	25% do tempo em pé a utilizar o tronco de forma ligeira.			
	20% do tempo a caminhar sem carga.			
	5% do tempo a empurrar carrinhos.			
Vestuário	T-shirt, calças, roupa interior, meias e botas.		Isolamento térmico do conjunto [clo]	0,46
Descrição do local				
Zona De Fabricação, neste local a carga térmica é gerada pelos fornos que são periodicamente abertos. Trata-se de um local “fechado” e sem ventilação, logo o calor facilmente acumula naquela zona, bem como o calor latente originário do processo de fabrico. As condições climáticas exteriores têm pouca influência nas condições térmicas do local.				

Registos *in situ*: Zona De Fabricação



Local		Zona Junto À Linha De Produção		
Dados Gerais				
Indústria		Indústria 25		
Sector		Panificação		
Operário		OP51		
Data		02-07-2012		
Hora		15:00		
Duração do registo [min]		40		
Dados Meteorológicos				
Temperatura Exterior [°C]		22		
Humidade Exterior [%]		52		
Dados Registados (Médias Ponderadas)				
WBGT	Máximo	35,6		
	Mínimo	27,2		
	Médio	34,5		
Temperatura de Bolbo Seco [°C]	Máximo	36,1		
	Mínimo	31,6		
	Médio	33,9		
Temperatura de Bolbo Húmido [°C]	Máximo	23,4		
	Mínimo	20,7		
	Médio	22,5		
Temperatura de Globo [°C]	Máximo	64,9		
	Mínimo	42,2		
	Médio	62,5		
Velocidade do Ar [m/s]		Médio	0,2	
Dados trabalhador				
Atividade	40% do tempo em pé a utilizar um braço de forma ligeira.		Taxa Metabólica Média [W]	220
	10% do tempo em pé a utilizar os dois braços de forma ligeira.			
	50% do tempo a caminhar sem carga.			
Vestuário	Camisola, calças, roupa interior, meias, boné e botas.		Isolamento térmico do conjunto [clo]	0,7
Descrição do local				
Zona Junto À Linha De Produção, neste local a carga térmica é gerada pelo processo de fabrico, que obriga o trabalhador estar submetido a condições severas. Trata-se de um local “aberto” que evita que o calor se acumule naquela zona. O trabalhador realiza uma atividade leve. As condições climáticas exteriores têm pouca influência nas condições térmicas do local.				

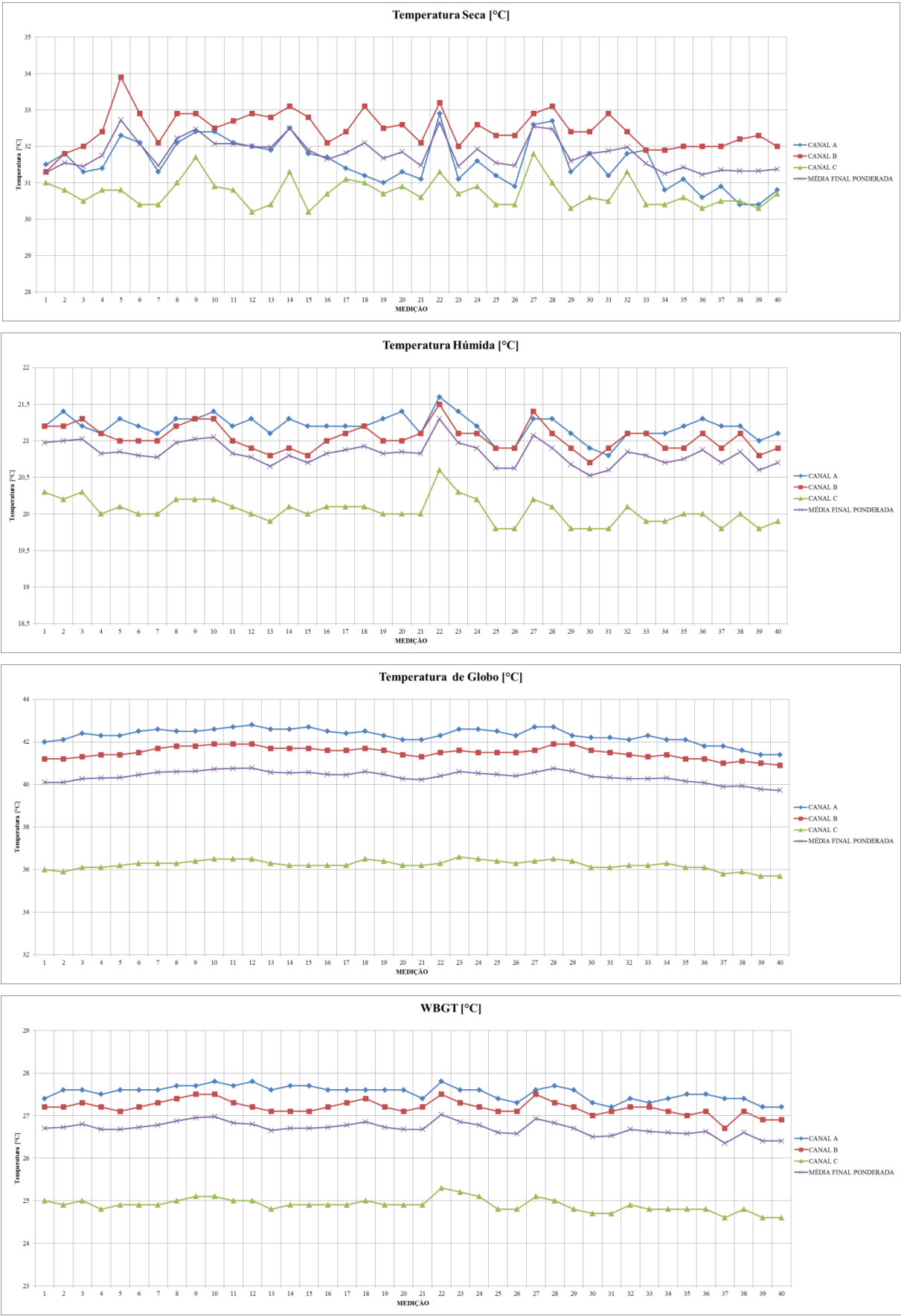
Registos *in situ*: Zona Junto À Linha De Produção



Local		Zona Junto À Bancada De Inspeção		
Dados Gerais				
Indústria	Indústria 25			
Sector	Panificação			
Operário	OP51			
Data	02-07-2012			
Hora	16:19			
Duração do registo [min]	40			
Dados Meteorológicos				
Temperatura Exterior [°C]	22			
Humidade Exterior [%]	49			
Dados Registados (Médias Ponderadas)				
WBGT	Máximo	27,0		
	Mínimo	26,4		
	Médio	26,7		
Temperatura de Bolbo Seco [°C]	Máximo	32,7		
	Mínimo	31,2		
	Médio	31,8		
Temperatura de Bolbo Húmido [°C]	Máximo	21,3		
	Mínimo	20,5		
	Médio	20,8		
Temperatura de Globo [°C]	Máximo	40,8		
	Mínimo	39,7		
	Médio	40,4		
Velocidade do Ar [m/s]	Médio	0,55		
Dados trabalhador				
Atividade	40% do tempo em pé a utilizar um braço de forma ligeira.		Taxa Metabólica Média [W]	220
	10% do tempo em pé a utilizar os dois braços de forma ligeira.			
	50% do tempo a caminhar sem carga.			
Vestuário	Camisola, calças, roupa interior, meias, boné e botas.		Isolamento térmico do conjunto [clo]	0,7
Descrição do local				
Zona Junto À Bancada De Inspeção, neste local a carga térmica é gerada pelo processo de fabrico. Trata-se de um local “aberto” que evita que o calor se acumule naquela zona. O trabalhador realiza uma atividade leve. As condições climáticas exteriores têm pouca influência nas condições térmicas do local.				



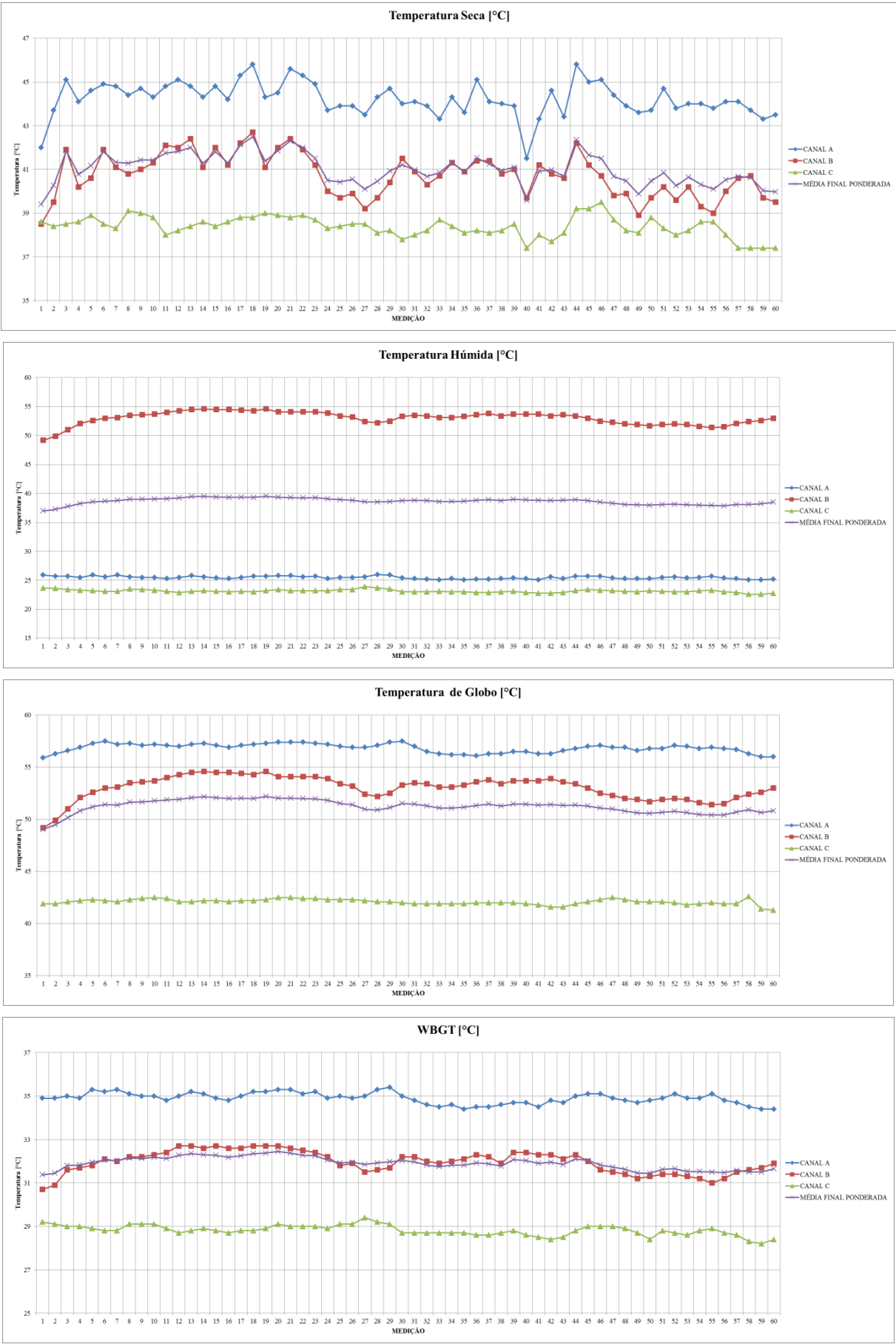
Registos *in situ*: Zona Junto À Bancada De Inspeção



Local		Zona Próxima À Linha De Produção C3		
Dados Gerais				
Indústria	Indústria 25			
Sector	Panificação			
Operário	OP52			
Data	02-07-2012			
Hora	17:50			
Duração do registo [min]	60			
Dados Meteorológicos				
Temperatura Exterior [°C]	22			
Humidade Exterior [%]	52			
Dados Registados (Médias Ponderadas)				
WBGT	Máximo	32,5		
	Mínimo	31,4		
	Médio	31,9		
Temperatura de Bolbo Seco [°C]	Máximo	42,5		
	Mínimo	39,4		
	Médio	41,0		
Temperatura de Bolbo Húmido [°C]	Máximo	39,5		
	Mínimo	37,0		
	Médio	38,7		
Temperatura de Globo [°C]	Máximo	52,2		
	Mínimo	49,1		
	Médio	51,2		
Velocidade do Ar [m/s]	Médio	0,52		
Dados trabalhador				
Atividade	30% do tempo em pé a utilizar um braço de forma ligeira.		Taxa Metabólica Média [W]	226
	10% do tempo em pé a utilizar os dois braços de forma ligeira.			
	60% do tempo a caminhar sem carga.			
Vestuário	Camisola, calças, roupa interior, meias, boné e botas.		Isolamento térmico do conjunto [clo]	0,7
Descrição do local				
Zona Próxima À Linha De Produção C3, neste local a carga térmica é gerada pelo processo de fabrico, que obriga o trabalhador estar submetido a condições severas. Trata-se de um local pouco “aberto” e numa zona intermédia entre outras linhas de produção, onde o calor se acumula. Existe dispositivos de ventilação mecânica, que obrigam o ar a circular naquela zona, criando uma sensação de frescura no trabalhador. O trabalhador realiza uma atividade leve. As condições climáticas exteriores têm pouca influência nas condições térmicas do local.				



Registos *in situ*: Zona Próxima À Linha De Produção C3



Anexo E – Expressões De Cálculo Necessária Para O Cálculo Do Balanço Térmico.

O presente anexo apresenta os valores numéricos e as equações apresentadas no Anexo A da Norma *ISO 7933:2004*. Todo o seu conteúdo encontra-se nesse mesmo anexo.

E.1 Intervalo De Validação

Os algoritmos de cálculo descritos neste anexo foram validados num conjunto de dados que incluíram 747 experiência realizadas em laboratório e 366 experiências realizadas em campo, efetuadas por 8 centros de investigação. O Quadro E.1 apresenta o intervalo de valores para o qual o modelo PHS pode ser considerado válido. Quando um ou mais dos parâmetros indicados possuir valores fora do intervalo de validação, é recomendada a utilização deste modelo com um maior cuidado.

Quadro E.1 – Intervalo de validação do modelo PHS.

Parâmetros	Mínimo	Máximo
T_a [°C]	15	50
P_a [kPa]	0	4,5
$T_r - T_a$ [°C]	0	60
v_a [m/s]	0	3
M [W]	100	450
I_{cl} [clo]	0,1	1,0

E.2 Determinação Da Troca De Calor Por Convecção Na Respiração (C_{res})

A troca de calor convectiva através da respiração pode ser estimada seguindo a seguinte expressão empírica:

$$C_{res} = 0,00152 \times M \times (28,56 + 0,885 \times T_a + 0,641 \times p_a) \quad (E.1)$$

E.3 Determinação Da Troca De Calor Por Evaporação Na Respiração (E_{res})

A troca de calor evaporativa através da respiração pode ser estimada seguindo a seguinte expressão empírica:

$$C_{res} = 0,00127 \times M \times (59,34 + 0,53 \times T_a - 11,63 \times p_a) \quad (E.2)$$

E.4 Determinação Do Estado De Equilíbrio Da Temperatura Média Da Pele ($T_{sk,eq}$)

Em condições climáticas para o qual a Norma *ISO 7933:2004* é aplicável, a temperatura média da pele do estado estacionário pode ser estimada em função dos parâmetros da situação de trabalho, usando as seguintes expressões empíricas.

Quadro E.2 – Expressões para estimar a temperatura média da pele.

Para indivíduos “nus” ($I_{cl} \leq 0,2$)	Para indivíduos “vestidos” ($I_{cl} \geq 0,6$)
$T_{sk,eq\ nu} = 7,19$ $+ 0,064 \times T_a$ $+ 0,061 \times T_r$ $- 0,348 \times v_a$ $+ 0,198 \times p_a$ $+ 0,000 \times M$ $+ 0,616 \times T_{re}$	$T_{sk,eq\ cl} = 12,17$ $+ 0,020 \times T_a$ $+ 0,044 \times T_r$ $- 0,253 \times v_a$ $+ 0,194 \times p_a$ $+ 0,0005346 \times M$ $+ 0,51274 \times T_{re}$

Para valores de I_{cl} entre 0,2 e 0,6 a temperatura média da pele no estado estacionário é extrapolada entre esses dois valores através da seguinte expressão:

$$T_{sk,eq} = T_{sk,eq\ nu} + 2,5 \times (T_{sk,eq\ cl} - T_{sk,eq\ nu}) \times (I_{cl} - 0,2) \quad (E.3)$$

E.5 Determinação Do Valor Instantâneo Da Temperatura Da Pele ($T_{sk,i}$)

A temperatura da pele no instante t_i pode ser estimada a partir da temperatura da pele $T_{sk,i-1}$ no tempo t_{i-1} (num instante anterior) e a partir da previsão do estado estacionário da temperatura da pele ($T_{sk,eq}$) para as condições que prevalecem durante o último incremento de tempo, pela equação E.4.

O tempo de resposta da temperatura da pele é 3 minutos, utilizando a seguinte expressão:

$$T_{sk,i} = 0,7165 \times T_{sk,i-1} + 0,2835 \times T_{sk,eq} \quad [^\circ\text{C}] \quad (E.4)$$

E.6 Determinação Do Calor Armazenado Associado Ao Metabolismo (S_{eq})

Em ambiente neutro, a temperatura corporal aumenta com o tempo durante a atividade, como uma função do metabolismo em relação à potência aeróbia máxima.

Para um individuo comum, pode presumir-se que o equilíbrio da temperatura interna do corporal aumenta em função do metabolismo, de acordo com a seguinte expressão:

$$t_{cr,eq} = 0,0036 \times (M - 55) + 36,8 \quad (E.5)$$

A temperatura interna do corpo atinge o equilíbrio numa sequência de um sistema de primeira ordem com uma constante de tempo igual a 10 minutos:

$$t_{cr} = 36,8 + (t_{cr,eq} - 36,8) \times \left(1 - e^{-\frac{t}{10}}\right) \quad (E.6)$$

A expressão E.6 pode ser apresentada da seguinte forma:

$$t_{cr,eq\ i} = t_{cr,eq\ i-1} \times k + t_{cr,eq} \times (1 - k) \quad (E.7)$$

onde $k = e^{\frac{-\text{incr}}{10}}$

O calor armazenado associado a esse aumento é:

$$dS_{eq} = c_{sp} \times (t_{cr,eq\ i} - t_{cr,eq\ i-1}) \times (1 - \alpha) \quad (E.8)$$

E.7 Determinação Das Características Do Isolamento Estático Do Vestuário

Para um indivíduo “nu” (isolamento térmico do vestuário baixo) e em condições estáticas sem circulação de ar ou deslocação do indivíduo, a troca de calor sensível ($C_v + R$) pode ser obtida pela seguinte expressão:

$$C_v + R = \frac{t_{sk} - T_a}{I_{tot\ st}} \quad (E.9)$$

em que, a resistência térmica estática ($I_{tot\ st}$) para indivíduos “nus”, pode ser igual a $0,111\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$.

Para um indivíduo “vestido”, esta resistência térmica estática pode ser calculada utilizando a seguinte expressão:

$$I_{tot\ st} = I_{cl\ st} + \frac{I_{a\ st}}{f_{cl}} \quad (E.10)$$

em que a razão entre área do corpo vestida e despida (f_{cl}), é dada por:

$$f_{cl} = 1 + 1,97 \times I_{cl\ st} \quad (E.11)$$

E.8 Determinação Das Características Do Isolamento Dinâmico Do Vestuário

A atividade do indivíduo e ventilação do espaço alteram as características do isolamento térmico do vestuário e da camada de ar adjacente. Isto porque, tanto a circulação de ar como o movimento do corpo reduzem o isolamento, daí ser necessário corrigi-lo. O fator de correção para o isolamento estático do vestuário e da camada de ar externa pode ser calculado com a seguinte expressão:

$$I_{tot\ dyn} = C_{orr,tot} \times I_{tot\ st} \quad (E.12)$$

$$I_{a\ dyn} = C_{orr,la} \times I_{a\ st} \quad (E.13)$$

$$C_{orr,tot} = C_{orr,cl} = e^{(0,043 - 0,398 \times v_{ar} + 0,066 \times v_{ar}^2 - 0,378 \times v_w + 0,094 \times v_w^2)} \quad (E.14)$$

Para $I_{cl} \geq 0,6$, para indivíduos “nus” ou para a camada de ar adjacente, é dada por:

$$C_{orr,tot} = C_{orr,la} = e^{(-0,472 \times v_{ar} + 0,047 \times v_{ar}^2 - 0,342 \times v_w + 0,117 \times v_w^2)} \quad (E.15)$$

e para $0 \leq I_{cl} \leq 0,6$ é dado por:

$$C_{\text{orr,tot}} = (0,6 - I_{cl}) \times C_{\text{orr,la}} + I_{cl} \times C_{\text{orr,cl}} \quad (\text{E.16})$$

com v_{ar} limitado a 3m/s e v_w limitado a 1,5m/s.

Quando a velocidade de deslocamento do indivíduo é desconhecida ou este está parado, o valor de v_w pode ser calculado através de:

$$v_w = 0,0052 \times (M - 58) \quad \text{com } v_w \leq 0,7 \text{ m/s} \quad (\text{E.17})$$

Finalmente, $I_{cl \text{ dyn}}$ pode ser determinado por:

$$I_{cl \text{ dyn}} = I_{\text{tot dyn}} - \frac{I_{a \text{ dyn}}}{f_{cl}} \quad (\text{E.18})$$

E.9 Cálculo Da Troca De Calor Por Convecção e Radiação

As trocas de calor sensíveis podem ser calculadas usando a seguinte expressão:

$$C_v + R = f_{cl} \times [h_{cdyn} \times (t_{cl} - t_a) + h_r \times (t_{cl} - T_m)] \quad (\text{E.19})$$

que descreve as trocas de calor entre o vestuário e o ambiente, e

$$C_v + R = \frac{t_{sk} - t_{cl}}{I_{cl \text{ dyn}}} \quad (\text{E.20})$$

que descreve as trocas de calor entre a superfície da pele e a superfície do vestuário.

A troca de calor dinâmica por convecção (h_{cdyn}), pode ser obtida através do maior valor calculado a partir do seguinte conjunto de expressões:

$$2,38 \times |t_{sk} - t_a|^{0,25} \quad (\text{E.21})$$

$$3,5 + 5,2 \times v_{ar} \quad (\text{E.22})$$

$$8,7 \times v_{ar}^{0,6} \quad (\text{E.23})$$

Na troca de calor por radiação, h_r pode ser obtido utilizando a seguinte expressão:

$$h_r = 5,67 \times 10^{-8} \times \epsilon \times \frac{A_r}{A_{Du}} \times \frac{(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4}{t_{cl} - t_r} \quad (\text{E.24})$$

a fração da superfície da pele envolvida na troca de calor por radiação ($\frac{A_r}{A_{Du}}$), é igual a 0,67 para uma situação em que o indivíduo se encontre agachado, 0,70 para uma situação em que o indivíduo se encontre sentado e 0,77 caso ele esteja de pé.

Quando um indivíduo usa um vestuário refletor, o valor de h_r deve ser corrigido por um fator $F_{cl,R}$ dado por:

$$F_{cl,R} = (1 - A_p) \times 0,97 + A_p \times F_r \quad (E.25)$$

Ambas as expressões que calculam $C+R$ deveram ser resolvidas iterativamente a fim de se obter t_{cl} .

E.10 Calculo Da Troca Máxima De Calor Por Evaporação Através Da Superfície Da Pele ($E_{máx}$)

A troca máxima de calor por evaporação através da superfície da pele é dada por:

$$E_{máx} = \frac{p_{sk,s} - p_a}{R_{tdyn}} \quad (E.26)$$

A resistência à evaporação (R_{tdyn}) é calculada através da seguinte expressão:

$$R_{tdyn} = \frac{I_{tot\ dyn}}{i_{mdyn} / 16,7} \quad (E.27)$$

onde, o índice da permeabilidade dinâmica do vestuário (i_{mdyn}), é igual ao índice de permeabilidade estática do vestuário (i_{mst}) corrigido pela influência da camada de ar e do movimento do corpo.

$$i_{mdyn} = i_{mst} \times C_{orr,E} \quad (E.28)$$

com

$$C_{orr,E} = 2,6 \times C_{orr,tot}^2 - 6,5 \times C_{orr,tot} + 4,9 \quad (E.29)$$

Nesta expressão (E.29), i_{mdyn} é limitado a 0,9.

E.11 Determinação Da Taxa De Sudação Prevista (Sw_p) E Troca De Calor Prevista Por Evaporação (E_p)

O fluxograma da secção F.2 mostra como a avaliação é executada. Este diagrama necessita das seguintes explicações:

R1: Quando a troca de calor prevista por evaporação (E_{req}) é maior que a taxa de evaporação máxima, espera-se que a pele esteja totalmente humedecida: w_{req} é maior que 1. w_{req} implica então que a espessura da camada de água sobre a pele, em que a fração equivalente da pele, esteja coberta de suor. Como em teoria w_{req} é maior que 1, espera-se que a eficiência de evaporação se torne menor.

Para $w_{req} \leq 1$, então a eficiência é dada por :

$$r_{req} = \frac{1 - w_{req}^2}{2} \quad (E.30)$$

Para $w_{req} \geq 1$, é dada por :

$$r_{req} = \frac{2 - w_{req}^2}{2} \quad (E.31)$$

Este valor no entanto é no mínimo de 5%. Isto é alcançado para um humedecimento teórico de 1,684.

R2: A produção de suor pode ser descrita num sistema de primeira ordem com uma constante de tempo igual a 10 minutos. Portanto, a taxa de sudção prevista no instante t_i ($Sw_{p,i}$), é igual a uma fração k_{Sw} da taxa de sudção prevista no instante t_{i-1} ($Sw_{p,i-1}$), um incremento de tempo anterior adicional à fração $(1 - k_{Sw})$ da taxa de sudção requerida pelas condições que prevalecem durante o último incremento de tempo (Sw_{req}), e k_{Sw} é dado por:

$$k_{Sw} = \exp(-incr/10) \quad (E.32)$$

R3: Tal como foi explicado anteriormente, o humedecimento cutâneo requerido pode ser teoricamente maior que 1 no cálculo da taxa de sudção prevista. Como a perda de calor por evaporação é limitada à camada de água superficial, isto é, o humedecimento cutâneo previsto não pode ser maior que 1. Isto ocorre logo que a taxa de sudção prevista seja duas vezes maior que a taxa de calor por evaporação.

E.12 Avaliação Da Temperatura Rectal

O calor armazenado durante o ultimo tempo incrementado é dada por:

$$S = E_{req} - E_p + S_{eq} \quad (E.33)$$

Este armazenamento de calor conduz a um aumento da temperatura interna do corpo, tendo em conta o aumento da temperatura da pele. A fração da massa corporal à temperatura média interna é dada por:

$$(1 - \alpha) = 0,7 + 0,09 \times (t_{cr} - 36,8) \quad (E.34)$$

Esta fração é limitada a

$$0,7 \text{ para } t_{cr} < 36,8^\circ\text{C}$$

$$0,9 \text{ para } t_{cr} > 39,0^\circ\text{C}$$

A Figura E.1 ilustra a distribuição da temperatura no corpo no instante t_{i-1} e instante t_i . A partir disso pode ser calculado

$$t_{cr,i} = \frac{1}{1 - \frac{\alpha}{2}} \times \left[\frac{dS_i}{C_p \times W_b} + t_{cr,i-1} - \frac{t_{cr,i-1} - t_{sk,i-1}}{2} \times \alpha_{i-1} - t_{sk,i} \times \frac{\alpha_i}{2} \right] \quad (E.35)$$

A temperatura rectal é calculada de acordo com a seguinte expressão:

$$t_{re,i} = t_{re,i-1} + \frac{2 \times t_{cr,i} - 1,962 \times t_{re,i-1} - 1,31}{9} \quad (E.36)$$

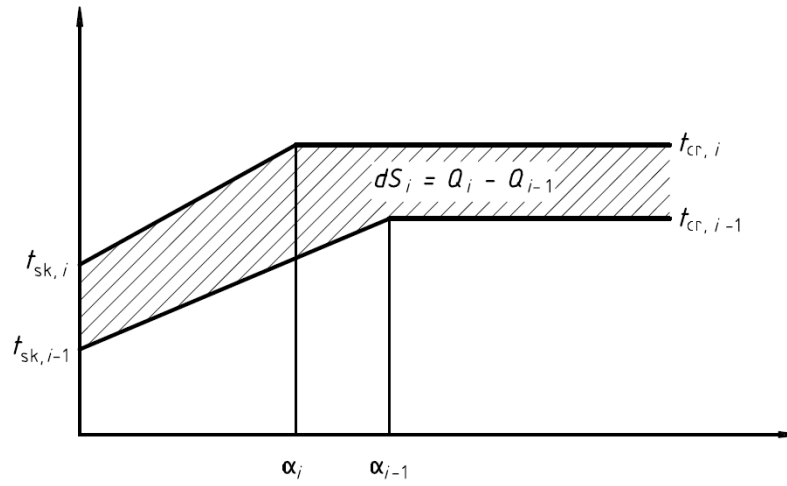


Figura E.1 – Distribuição do calor armazenado no corpo no instante t_{i-1} e no instante t_i .

Anexo F – Critérios Para Calcular O Tempo De Exposição Admissível Para Trabalhar Em Ambientes Quentes.

Neste anexo são apresentados os valores de referência para os critérios de stress ($w_{máx}$ e $Sw_{máx}$) e para os critérios de tensão ($tre,máx$ e $D_{máx}$). São apresentados diferentes valores para trabalhadores aclimatados e trabalhadores não aclimatados, de acordo com o grau de proteção desejado.

Os critérios fisiológicos utilizados para determinar o tempo máximo de exposição admissível são os seguintes:

- Trabalhador aclimatado ou trabalhador não aclimatado;
- Humedecimento cutâneo máximo (w_{max});
- Taxa de sudção máxima (Sw_{max});
- Consideração de 50% (trabalhador comum) e 95% da classe trabalhadora (maioria dos trabalhadores);
- Perda máxima de água (D_{max});
- Temperatura rectal máxima.

F.1 – Trabalhadores Aclimatados E Trabalhadores Não Aclimatados

Indivíduos aclimatados transpiram mais, com uma maior uniformidade na superfície da pele e começam a transpirar mais cedo, comparativamente aos indivíduos não aclimatados. Numa situação de trabalho, isto resulta num armazenamento de calor menor (temperatura corporal mais baixa) e numa vasodilatação menor (frequência cardíaca mais baixa). Além disso, os indivíduos aclimatados perdem menos sal através da transpiração, o que lhes dá a possibilidade de perder maiores quantidades de água.

Esta distinção entre indivíduos aclimatados e não aclimatados é importante, no que diz respeito ao w_{max} e Sw_{max} .

F.2 – Humedecimento Cutâneo Máximo (w_{max})

O humedecimento cutâneo máximo para indivíduos não aclimatados é de 0,85 e 1,00 para indivíduos aclimatados.

F.3 – Taxa De Sudção Máxima (Sw_{max})

A taxa de sudção máxima pode ser calculada através das seguintes fórmulas:

$$Sw_{max} = 2,9 \times (M - 32) \times A_{Du} \quad [\text{g/h}] \quad \text{para intervalos entre 650g/h e 1000g/h}$$

ou

$$Sw_{max} = (M - 32) \times A_{Du} \quad [\text{W/m}^2] \quad \text{para intervalos entre 250W/m}^2 \text{ e } 400 \text{ W/m}^2$$

Para indivíduos aclimatados a taxa de sudção máxima é em média 25% maior do que em indivíduos não aclimatados.

F.4 – Perda De Água E Desidratação Máximas

A desidratação de 3% induz num aumento da frequência cardíaca e da sensibilidade de transpiração, adotado este valor para o limite máximo de desidratação na indústria (mas não se aplica para militares ou atletas).

Para exposições entre 4 a 8 horas em média pode-se observar uma reidratação de 60%, independentemente do suor que é produzido, e maior que 40% em 95% das situações.

Baseado nisto, a perda máxima de água está fixada em:

- 7,5% da massa corporal para indivíduos comuns (D_{max50}),
ou
- 5% da massa corporal para 95% da classe trabalhadora (D_{max95}).

Por isso quando um indivíduo se pode reidratar livremente ($DRINK = 1$), o tempo máximo de exposição admissível pode ser calculado para um indivíduo comum, com base numa perda máxima de água de 7,5% da massa corporal e de 5% da massa corporal para 95% da classe trabalhadora.

Mas se não existir água ao dispor do indivíduo ($DRINK = 0$), a perda máxima de água deve ser limitada a 3% da massa corporal.

F.4 – Temperatura Rectal Máxima

Seguindo as recomendações do relatório 412 da *WHO* (1969), que indicam que a partir da temperatura rectal deve ser estimado o tempo necessário de interrupção para curtos tempos de exposição a ambientes termicamente severos e que não é aconselhado a que a temperatura corporal ultrapasse os 38°C em exposição diária prolongada a atividade física elevada.

Quando para um grupo de trabalhadores para determinadas condições de trabalho, a temperatura rectal média é de 38°C, pode-se prever que a probabilidade de um individuo atingir temperaturas rectais superiores é limitada ao seguinte:

- Para 42,0°C → inferior a 10^{-7} (menos que uma em 40 anos em 1000 trabalhadores e em 250 dias por ano).
- Para 39,2°C → inferior a 10^{-4} (menos de uma pessoa em risco entre 10000 turnos de trabalho).

ANEXO G - Programa De Cálculo Para Análise E Interpretação Da Norma *ISO 7933:2004*.

No presente anexo, é descrito o programa de cálculo que auxiliou o processo de análise e interpretação dos casos estudados segundo a Norma *ISO 7933:2004*. Foi utilizada a linguagem de programação *Matlab*, para desenvolver o respetivo programa de cálculo. No Anexo G.1 é apresentado e explicado de uma forma sucinta o modo de funcionamento do programa. No Anexo G.2 é apresentado um fluxograma para determinar a taxa de sudção prevista (Sw_p) e a troca de calor prevista por evaporação (E_p). No Anexo G.3 é apresentada a simbologia utilizada no programa de cálculo. E no Anexo G.4 um excerto do programa de cálculo em linguagem *Matlab*.

ANEXO G.1 – Descrição Da *GUI* E Do Seu Funcionamento

Ao iniciar o programa é nos apresentado a *GUI* da Figura G.1, cabe depois ao operador optar por uma das situações apresentadas.

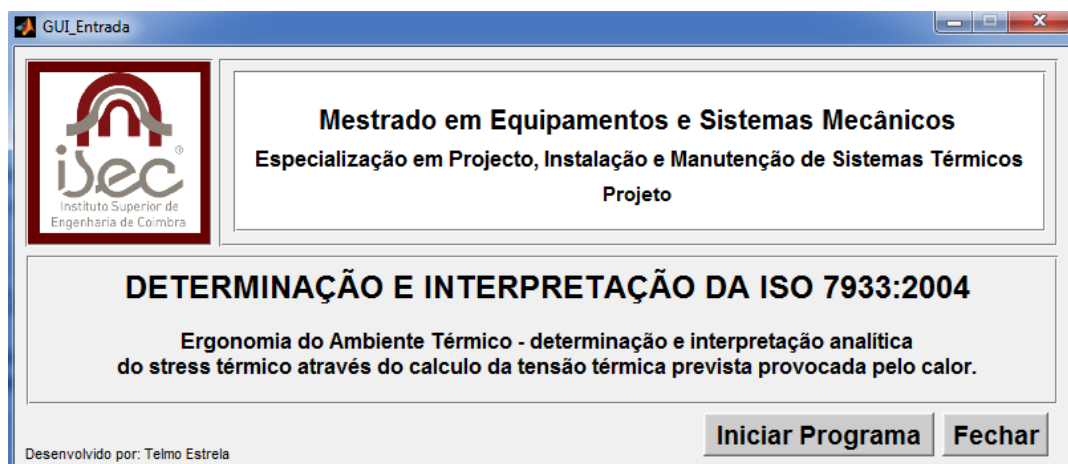


Figura G.2

Ao clicar em **Fechar** o operador fecha automaticamente o programa de cálculo.

No caso de clicar em **Iniciar Programa** aparecerá a *GUI* (janela principal do programa de cálculo) com o aspeto apresentado na Figura G.2, onde, o operador poderá colocar todos os dados necessários para efetuar uma simulação. Essa janela encontra-se teoricamente subdividida para facilitar cada processo de análise. Nos parágrafos seguintes, será explicado o *layout* da *GUI* principal e o seu modo de funcionamento.

O operador na janela principal poderá fechar o programa carregando no ícone .

Determinação e Interpretação da ISO 7933:2004

Dados: Trabalhador

Características Morfológicas:

Peso: 70 [kg]
 Altura: 1.75 [m]

Trabalhador Acimatado?

☒ Sim
☐ Não

Posição de Trabalho

☐ Sentado
☒ De Pé
☐ Agachado

Existe Uma Boa Reposição De Água?

☒ Sim
☐ Não

Metabolismo: 0 [W/m²]
 Isolamento Térmico Do Vestuário: 0 [clo]

Duração Do Período De Trabalho

8 hora(s)

Dados: Ambiente De Trabalho

Temperatura do ar: 0 [°C]
 Temperatura de Globo: 0 [°C]
 Pressão parcial do vapor de água: 0 [kPa]
 Velocidade do ar: 0 [m/s]
 Trabalho mecânico externo: 0 [W]

Considerar a direcção de deslocamento do trabalhador?

☒ Não
☐ Sim Ângulo entre direcção do deslocamento e a direcção do vento [°] 0

Considerar a velocidade de deslocamento do trabalhador?

☒ Não
☐ Sim Velocidade do deslocamento [m/s] 0

TABELA DE RESULTADOS

	1	2	3	4	5	6	7	8
Acimatado								
Postura								
DRINK								
Ta [°C]								
Pa [kPa]								
Tg [°C]								
Va [m/s]								
Met [W/m²]								
Icl [clo]								
Work [w/m²]								
THETA [°]								
Walksp [m/s]								
Tre [°C]								
Time [min]								
SWtota [a]								

Desenvolvido Por: Telmo Estrela

Figura G.3

Na janela principal existe uma zona para o operador colocar os dados correspondentes ao trabalhador, como pode ser observado na Figura G.3. Por defeito, os campos correspondente às características morfológicas já se encontra preenchido para um individuo padrão, podendo à posteriori ser alterados pelo operador.

Dados: Trabalhador

Características Morfológicas:

Peso: 70 [kg]
 Altura: 1.75 [m]

Trabalhador Acimatado?

☒ Sim
☐ Não

Posição de Trabalho

☐ Sentado
☒ De Pé
☐ Agachado

Existe Uma Boa Reposição De Água?

☒ Sim
☐ Não

Metabolismo: 0 [W/m²]
 Isolamento Térmico Do Vestuário: 0 [clo]

Duração Do Período De Trabalho

8 hora(s)

Dados: Ambiente De Trabalho

Temperatura do ar: 0 [°C]
 Temperatura de Globo: 0 [°C]
 Pressão parcial do vapor de água: 0 [kPa]
 Velocidade do ar: 0 [m/s]
 Trabalho mecânico externo: 0 [W]

Considerar a direcção de deslocamento do trabalhador?

☒ Não
☐ Sim Ângulo entre direcção do deslocamento e a direcção do vento [°] 0

Considerar a velocidade de deslocamento do trabalhador?

☒ Não
☐ Sim Velocidade do deslocamento [m/s] 0

TABELA DE RESULTADOS

	1	2	3	4	5	6	7	8
Acimatado								
Postura								
DRINK								
Ta [°C]								
Pa [kPa]								
Tg [°C]								
Va [m/s]								
Met [W/m²]								
Icl [clo]								
Work [w/m²]								
THETA [°]								
Walksp [m/s]								
Tre [°C]								
Time [min]								
SWtota [a]								

Desenvolvido Por: Telmo Estrela

Figura G.4

Noutro campo o operador deverá indicar a duração do período de trabalho (Figura F.4), que por defeito aparece as 8 horas diárias de trabalho, podendo ser alterado pelo operador.

The screenshot shows the 'ISO_7933_2004_by_Telmo_E' application window. The title bar reads 'Determinação e Interpretação da ISO 7933:2004'. The interface is divided into several sections:

- Dados: Trabalhador:**
 - Características Morfológicas:** Peso: 70 [kg], Altura: 1.75 [m].
 - Trabalhador Aclimatado?** ☒ Sim, ☐ Não.
 - Posição de Trabalho:** ☐ Sentado, ☒ De Pé, ☐ Agachado.
 - Existe Uma Boa Reposição De Água?** ☒ Sim, ☐ Não.
 - Metabolismo: 0 [W/m²], Isolamento Térmico Do Vestuário: 0 [clo].
- Dados: Ambiente De Trabalho:**
 - Temperatura do ar: 0 [°C], Temperatura de Globo: 0 [°C], Pressão parcial do vapor de água: 0 [kPa], Velocidade do ar: 0 [m/s], Trabalho mecânico externo: 0 [W].
- Considerar a direcção de deslocamento do trabalhador?** ☒ Não, ☐ Sim. Ângulo entre direcção do deslocamento e a direcção do vento [°]: 0.
- Considerar a velocidade de deslocamento do trabalhador?** ☒ Não, ☐ Sim. Velocidade do deslocamento [m/s]: 0.
- TABELA DE RESULTADOS:** A table with 8 columns and multiple rows for various parameters like Aclimatado, Postura, DRINK, etc.
- Duração Do Período De Trabalho:** A field containing '8 hora(s)', which is highlighted with a red box and a red arrow pointing to it from the caption.

At the bottom left, it says 'Desenvolvido Por: Telmo Estrela'.

Figura G.5

No campo destacado na Figura G.5, o operador coloca os dados correspondentes ao ambiente térmico, registados *in situ* e nas unidades indicadas.

This screenshot shows the same software interface as Figure G.5, but with a different section highlighted. A red box encloses the 'Dados: Ambiente De Trabalho' section, and a red arrow points from the caption to this box. The highlighted section contains the following fields:

- Temperatura do ar: 0 [°C]
- Temperatura de Globo: 0 [°C]
- Pressão parcial do vapor de água: 0 [kPa]
- Velocidade do ar: 0 [m/s]
- Trabalho mecânico externo: 0 [W]

The other parts of the interface, including the worker data, displacement considerations, and the results table, are visible in the background but not highlighted.

Figura G.6

O campo destacado na Figura F.6 não é de carácter “obrigatório”, isto é, na maioria das situações analisadas esta informação não é tida em conta, mas mesmo assim o programa necessita dela para efetuar os cálculos/análise, pelo que, na maioria dos casos analisados o operador não introduz nenhuns dados nestes campos.

The screenshot shows the 'Determinação e Interpretação da ISO 7933:2004' software interface. It features several input sections: 'Dados: Trabalhador' (Worker Data) with fields for weight (70 kg) and height (1.75 m); 'Dados: Ambiente De Trabalho' (Work Environment Data) with fields for air temperature, clothing temperature, vapor pressure, and air velocity, all currently set to 0. Two red boxes highlight decision prompts: 'Considerar a direcção de deslocamento do trabalhador?' (Consider worker movement direction?) and 'Considerar a velocidade de deslocamento do trabalhador?' (Consider worker movement velocity?). Both prompts have radio buttons for 'Não' (No) and 'Sim' (Yes), with 'Não' selected. The 'Sim' option includes a text input for 'Ângulo entre direcção do deslocamento e a direcção do vento [°]' (Angle between movement direction and wind direction [°]), which is currently 0. Below these prompts is a table for output results, with columns numbered 1 to 8. The bottom section includes 'Trabalhador Acimatado?' (Worker acclimated?), 'Posição de Trabalho' (Work position), 'Existe Uma Boa Reposição De Água?' (Is there good water replacement?), 'Metabolismo:' (Metabolism:), 'Isolamento Térmico Do Vestuário:' (Clothing thermal insulation:), and 'Duração Do Período De Trabalho' (Duration of work period: 8 hours).

Figura G.7

The screenshot shows the 'TABELA DE RESULTADOS' (Results Table) in the software. The table has 9 columns (1-8) and 15 rows of data. The rows are: 'Acimatado', 'Postura', 'DRINK', 'Ta [°C]', 'Pa [kPa]', 'Tg [°C]', 'Va [m/s]', 'Met [W/m²]', 'Icl [clo]', 'Work [w/m²]', 'THETA [°]', 'Walksp [m/s]', 'Tre [°C]', 'Time [min]', and 'SWtotq [q]'. A red box highlights the table and the input fields for 'Metabolismo:' (0 W/m²), 'Isolamento Térmico Do Vestuário:' (0 clo), and 'Duração Do Período De Trabalho' (8 hours). The background shows the same software interface as Figure G.7, with the decision prompts and output table visible.

Figura G.8

Após o operador ter inserido todos os dados nos respetivos campos, basta clicar no ícone  para realizar a simulação da situação a analisar. Podendo de imediato visualizar os resultados numa tabela existente na *GUI* principal (Figura G.7).

Importante: O programa não recolhesse as vírgulas, por isso, o operador deve utilizar sempre pontos.

Sempre que o operador queira apagar da tabela, por algum motivo, a última simulação efetuada presente na tabela, basta clicar no ícone .

O programa permite exportar todos os resultados existentes na tabela da *GUI* principal para um ficheiro Excel, clicando no ícone . Após essa operação, basta o operador abrir a pasta do programa, que encontra lá um ficheiro com o nome *Resultados_ISO_7933.xls*.

Ao clicar no ícone  o programa abrirá uma *GUI* de conteúdo informativo sobre o programa (Figura G.8).

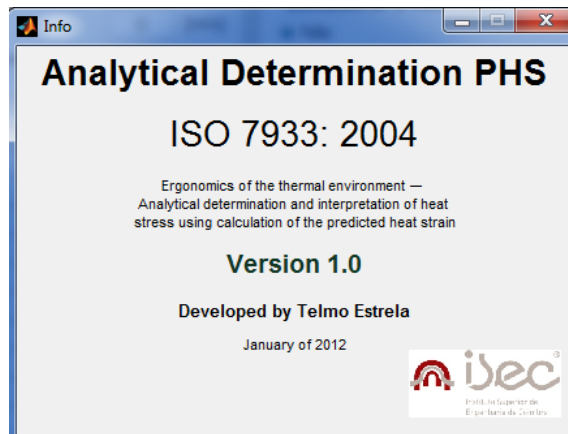
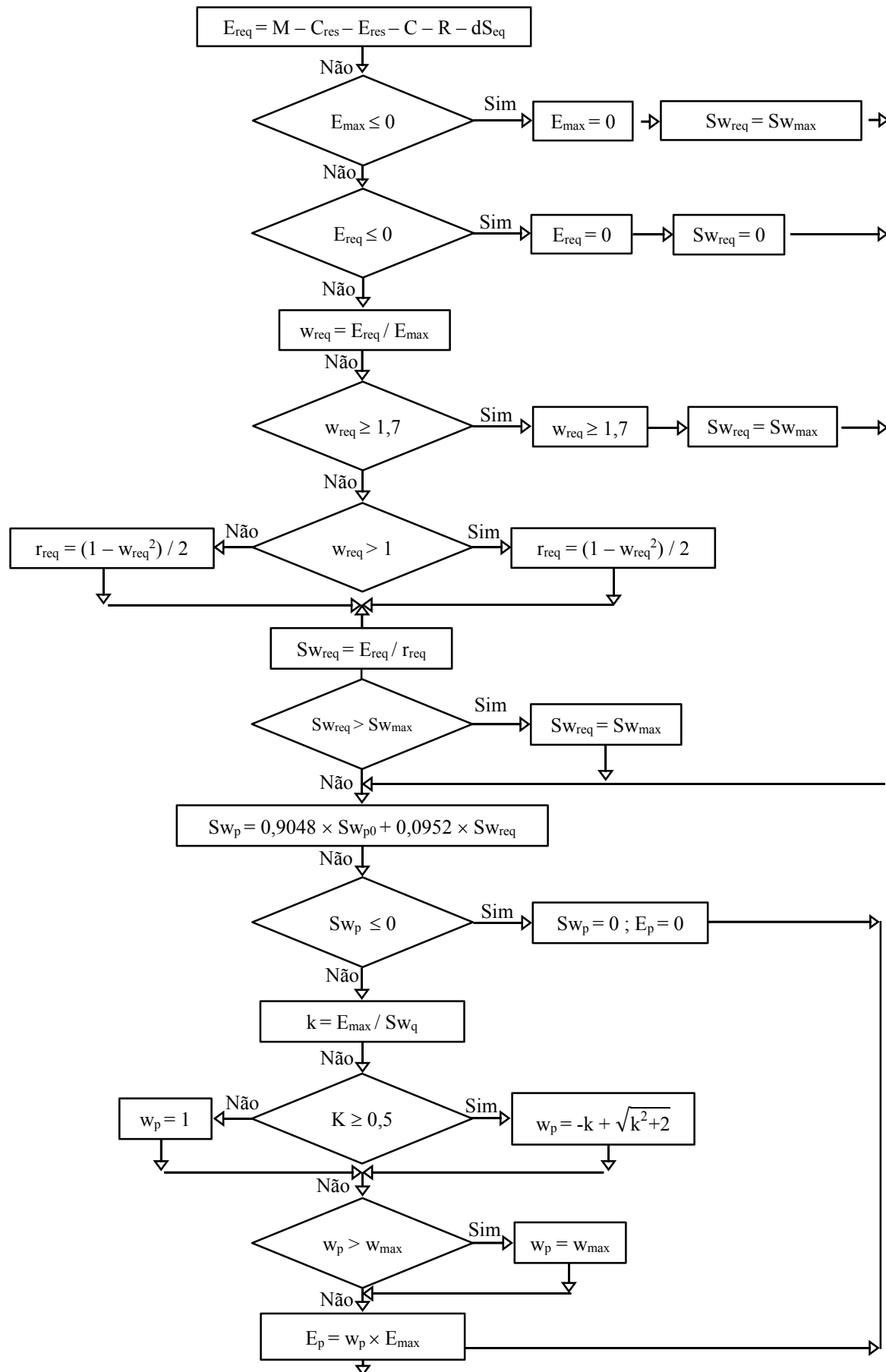


Figura G.9

Se por eventual esquecimento do operador, não existir quaisquer valores nos campos correspondente ao metabolismo do trabalhador ou do isolamento térmico do vestuário por ele usado, o programa abrirá uma mensagem de erro, pelo que, o operador deverá retificar a situação para que o programa possa realizar a simulação pretendida pelo operador.

ANEXO G.2 – Fluxograma Para Determinar A Taxa De Sudação Prevista (Sw_p) E Troca De Calor Prevista Por Evaporação (E_p).



ANEXO G.3 – Simbologia E Respetivas Unidades Das Variáveis Utilizadas No Programa De Cálculo.

Simbologia	Descrição	Unidades
Adu	Área superficial do corpo nu de DuBois	m ²
Ap	Fração da superfície corporal coberta por vestuário refletor	adm
Ardu	Área efetiva do corpo radiante	adm
Conv	Troca de calor por convecção	W/m ²
CORcl	Correção do isolamento térmico dinâmico, igual ou superior a 0,6clo	adm
CORe	Correção para o índice de permeabilidade dinâmica	adm
CORia	Correção para o isolamento térmico dinâmico de 0clo	adm
CORTot	Correção para o isolamento dinâmico do vestuário em função do vestuário corrente	adm
Cres	Troca de calor por convecção na respiração	W/m ²
Dlimloss50	Tempo máximo de exposição admissível para desidratação num indivíduo comum	min
Dlimloss95	Tempo máximo de exposição admissível para desidratação em 95% da classe trabalhadora	min
Dlimtre	Tempo máximo de exposição admissível para armazenamento de calor	min
Dmax50	Perda máxima de água para proteção do indivíduo comum	g
Dmax95	Perda máxima de água para proteção de 95% da classe trabalhadora	g
dStorage	Calor armazenado no corpo durante o último período de tempo decorrido	W/m ²
dStoreq	Taxa de armazenamento de calor no corpo para o aumento da temperatura corporal relacionado com a taxa metabólica	W/m ²
E _{max}	Débito evaporativo máximo entre a pele e o ambiente	W/m ²
E _p	Débito evaporativo previsto	W/m ²
E _{req}	Débito evaporativo requerido	W/m ²
E _{res}	Troca de calor latente por respiração	W/m ²
E _{eff}	Eficiência requerida para a evaporação de suor	adm
fcl	Fator de área vestida	adm
FclR	Coefficiente de redução para a troca de calor por radiação devido ao vestuário usado	adm
Fr	Emissividade do vestuário refletor	adm
Hcdyn	Coefficiente dinâmico de transferência de calor por convecção	W/(m ² .K)
height	Altura da pessoa	m
Hr	Coefficiente de transferência de calor por radiação	W/(m ² .K)
IAdyn	Isolamento dinâmico da camada limite térmica	m ² .K/W
Iast	Isolamento estático da camada limite térmica	m ² .K/W
Icl	Isolamento térmico do vestuário	clo

Continuação Anexo G.3

Simbologia	Descrição	Unidades
Icldyn	Isolamento dinâmico do vestuário	$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
Iclst	Isolamento estático do vestuário	$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
imdyn	Índice de permeabilidade dinâmico à humidade	adm
imst	Índice de permeabilidade estático à humidade	adm
Itotdyn	Isolamento dinâmico total do vestuário	$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
Itotst	Isolamento estático total do vestuário	$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
k	Troca de calor por condução	W/m^2
Met	Metabolismo	W/m^2
Pa	Pressão parcial do vapor de água	kPa
Psk	Pressão parcial do vapor de água à temperatura da pele	kPa
Rad	Troca de calor radiativa	W/m^2
Rtdyn	Resistência dinâmica total de evaporação entre a camada limite de ar e o vestuário	$\text{m}^2 \cdot \text{kPa}/\text{W}$
spHeat	Calor específico do corpo	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
SWmax	Taxa de sudção máxima	W/m^2
SWp	Taxa de sudção prevista	W/m^2
SWreq	Taxa de sudção requerida	W/m^2
Ta	Temperatura de bolbo seco	$^{\circ}\text{C}$
Tcl	Temperatura da superfície exterior do vestuário	$^{\circ}\text{C}$
Tcr	Temperatura corporal	$^{\circ}\text{C}$
Tcreq	Temperatura corporal em função do metabolismo no instante t_i	$^{\circ}\text{C}$
Tcreqm	Valor estacionário da temperatura corporal em função do metabolismo	$^{\circ}\text{C}$
Texp	Temperatura do ar expirado	$^{\circ}\text{C}$
Tg	Temperatura de globo	$^{\circ}\text{C}$
THETA	Angulo entre a direção de deslocamento e a direção do vento	graus
Tr	Temperatura média radiante	$^{\circ}\text{C}$
Tre	Temperatura rectal	$^{\circ}\text{C}$
Tsk	Temperatura média da pele num determinado instante	$^{\circ}\text{C}$
Tskeq	Temperatura estacionária média da pele	$^{\circ}\text{C}$
Tskeqcl	Temperatura estacionária média da pele para um individuo vestido	$^{\circ}\text{C}$
Tskeqnu	Temperatura estacionária média da pele para um individuo "nu"	$^{\circ}\text{C}$
TskTcrwg	Ponderação pele-núcleo no tempo t_i	adm
TskTcrwg0	Ponderação pele-núcleo no tempo $t_i - 1$	adm
Va	Velocidade do ar	m/s
Var	Velocidade relativa do ar	m/s
Walksp	Velocidade de deslocamento do individuo	m/s

Continuação Anexo G.3

Simbologia	Descrição	Unidades
weight	Massa corporal	kg
wmax	Humedecimento cutâneo máximo	adm
Work	Trabalho mecânico externo	W/m ²
wp	Humedecimento cutâneo previsto	adm
wreq	Humedecimento cutâneo requerido	adm

ANEXO G.3 – Excerto Do Programa De Cálculo Em Linguagem MatLab

```

...

weight = str2num(get(handles.e_weight, 'String'));
height = str2num(get(handles.e_height, 'String'));
Met = str2num(get(handles.e_metabolismo, 'String'));
Icl = str2num(get(handles.e_isolamento_termico, 'String'));
if Met==0 | Icl==0
    ERRO_1;
Else
    aclimatacao = find([handles.rb_sim_aclimatacao, ...
        handles.rb_nao_aclimatacao] == get(handles.aclimatacao, 'SelectedObject'));
    switch (aclimatacao)
        case 1
            accl = 100;
        case 2
            accl = 0;
    end
    posicao = find([handles.rb_sentado_posicao, handles.rb_de_pe_posicao, ...
        handles.rb_agachado_posicao] == get(handles.posicao, 'SelectedObject'));
    switch (posicao)
        case 1
            posture = 1;
        case 2
            posture = 2;
        case 3
            posture = 3;
    end
    reposicao_agua = find([handles.rb_sim_reposicao_agua, ...
        handles.rb_nao_reposicao_agua] == ...
        get(handles.reposicao_agua, 'SelectedObject'));
    switch (reposicao_agua)
        case 1
            DRINK = 1;
        case 2
            DRINK = 0;
    end
    Ta = str2num(get(handles.e_temperatura_ar, 'String'));
    Pa = str2num(get(handles.e_pressao_parcial_de_vapor, 'String'));
    Tg = str2num(get(handles.e_temperatura_media_radiante, 'String'));
    Va = str2num(get(handles.e_velocidade_do_ar, 'String'));
    Work = str2num(get(handles.e_trabalho_mecanico_externo, 'String'));
    Tr = ((Tg+273)^4+2.5*10^8*Va^0.6*(Tg-Ta))^(1/4)-273;
    direccao_do_deslocamento = find([handles.rb_nao_deslocamento, ...
        handles.rb_sim_deslocamento] == get(handles.deslocamento, 'SelectedObject'));
    switch (direccao_do_deslocamento)
        case 1
            defdir = 0;
            THETA = 0;
        case 2
            defdir = 1;
            THETA = str2num(get(handles.e_angulo_deslocamento, 'String'));
    end
    velocidade_deslocamento = find([handles.rb_nao_velocidade_deslocamento ...
        handles.rb_sim_velocidade_deslocamento] == ...
        get(handles.velocidade_deslocamento, 'SelectedObject'));
    switch (velocidade_deslocamento)
        case 1
            defspeed = 0;
            Walksp = 0;
        case 2
            defspeed = 1;
            Walksp = str2num(get(handles.e_velocidade_deslocamento, 'String'));
    end
End
Adu = 0.202*weight^0.425*height^0.725;
spHeat = 57.83*weight/Adu;
SWp = 0;
SWtot = 0;

```

```
Tre = 36.8;

Tcr = 36.8;
Tsk = 34.1;
Tcreq = 36.8;
TskTcrwg = 0.3;
Dlimtre = 0;
Dlimloss50 = 0;
Dlimloss95 = 0;
Dmax50 = 0.075*weight*1000;
Dmax95 = 0.05*weight*1000;
ConstTeq = exp(-1/10);
ConstTsk = exp(-1/3);
ConstSW = exp(-1/10);
Duration_h = str2num(get(handles.e_horas_trabalho, 'String'));
Duration = Duration_h*60;
for time = 1:Duration
    Tsk0 = Tsk;
    Tre0 = Tre;
    Tcr0 = Tcr;
    Tcreq0 = Tcreq;
    TskTcrwg0 = TskTcrwg;
    imst = 0.38;
    Ap = 0.54;
    Fr = 0.97;
    if posture == 1
        Ardu = 0.7;
    elseif posture == 2
        Ardu = 0.77;
    elseif posture == 3
        Ardu = 0.67;
    end
    SWmax = (Met-32)*Adu;
    if SWmax > 400
        SWmax = 400;
    elseif SWmax < 250
        SWmax = 250;
    end
    if accl >= 50
        SWmax = SWmax*1.25;
    end
    if accl < 50
        wmax = 0.85;
    else
        wmax = 1;
    end
    Tcreqm = 0.0036*(Met-55)+36.8;
    Tcreq = Tcreq0*ConstTeq+Tcreqm*(1-ConstTeq);
    dStoreq = spHeat*(Tcreq-Tcreq0)*(1-TskTcrwg0);
    Tskeqcl = 12.165+0.02017*Ta+0.04361*Tr+0.19354*Pa-0.25315*Va;
    Tskeqcl = Tskeqcl+0.005346*Met+0.51274*Tre;
    Tskeqnu = 7.191+0.064*Ta+0.061*Tr+0.198*Pa-0.348*Va;
    Tskeqnu = Tskeqnu+0.616*Tre;
    if Icl >= 0.6
        Tskeq = Tskeqcl;
    elseif Icl <= 0.2
        Tskeq = Tskeqnu;
    else
        Tskeq = Tskeqnu+2.5*(Tskeqcl-Tskeqnu)*(Icl-0.2);
    end
    Tsk = Tsk0*ConstTsk+Tskeq*(1-ConstTsk);
    Psk = 0.6105*exp(17.27*Tsk/(Tsk+237.3));
    Iclst = Icl*0.155;
    fcl = 1+0.3*Icl;
    Iast = 0.111;
    Itotst = Iclst+Iast/fcl;
    if defspeed > 0
        if defdir == 1
```

```
        Var = abs(Va-Walksp*cos(3.14159*THETA/180));
    Else

        if Va < Walksp
            Var = Walksp;
        else
            Var = Va;
        end
    end
else
    Walksp = 0.0052 * (Met - 58);
    if Walksp > 0.7
        Walksp = 0.7;
    end
    Var = Va;
end
Vaux = Var;
if Var > 3
    Vaux = 3;
end
Waux = Walksp;
if Walksp > 1.5
    Waux = 1.5;
end
CORcl = 1.044*exp((0.066*Vaux-0.398)*Vaux+(0.094*Waux-0.378)*Waux);
if CORcl > 1
    CORcl = 1;
end
CORia = exp((0.047*Var-0.472)*Var+(0.117*Waux-0.342)*Waux);
if CORia > 1
    CORia = 1;
end
CORTot = CORcl;
if Icl <= 0.6
    CORTot = ((0.6-Icl)*CORia+Icl*CORcl)/0.6;
end
Itotdyn = Itotst*CORTot;
IAdyn = CORia*Iast;
Icldyn = Itotdyn-IAdyn/fcl;
CRe = (2.6*CORTot-6.5)*CORTot+4.9;
imdyn = imst*CRe;
if imdyn > 0.9
    imdyn = 0.9;
end
Rtdyn = Itotdyn/imdyn/16.7;
Texp = 28.56+0.115*Ta+0.641*Pa;
Cres = 0.001516*Met*(Texp-Ta);
Eres = 0.00127*Met*(59.34+0.53*Ta-11.63*Pa);
Z = 3.5+5.2*Var;
if Var > 1
    Z = 8.7*Var^0.6;
end
Hcdyn = 2.38*abs(Tsk-Ta)^0.25;
if Z > Hcdyn
    Hcdyn = Z;
end
auxR = 5.67e-08*Ardu;
FclR = (1-Ap)*0.97+Ap*Fr;
Tcl = Tr+0.1;
while(1)
    Hr = FclR*auxR*((Tcl+273)^4-(Tr+273)^4)/(Tcl-Tr);
    Tcl1 = ((fcl*(Hcdyn*Ta+Hr*Tr)+Tsk/Icldyn))/(fcl*(Hcdyn+Hr)+1/Icldyn);
    if abs(Tcl-Tcl1) <= 0.001
        break
    end
    Tcl = (Tcl+Tcl1)/2;
end
Conv = fcl*Hcdyn*(Tcl-Ta);
Rad = fcl*Hr*(Tcl-Tr);
```

```
Emax = (Psk-Pa)/Rtdyn;
Ereq = Met-dStoreq-Work-Cres-Eres-Conv-Rad;

wreq = Ereq/Emax;
if Ereq <= 0
    Ereq = 0;
    SWreq = 0;
elseif Emax <= 0
    Emax = 0;
    SWreq = SWmax;
elseif wreq >= 1.7
    wreq = 1.7;
    SWreq = SWmax;
else
    Eveff = (1-wreq^2/2);
    if wreq > 1
        Eveff = (2-wreq)^2/2;
    end
    SWreq = Ereq/Eveff;
    if SWreq > SWmax
        SWreq = SWmax;
    end
end
SWp = SWp*ConstSW+SWreq*(1-ConstSW);
if SWp <= 0
    Ep = 0;
    SWp = 0;
else
    k = Emax/SWp;
    wp = 1;
    if k >= 0.5
        wp = -k+sqrt(k*k+2);
    end
    if wp > wmax
        wp = wmax;
    end
    Ep = wp*Emax;
end
dStorage = Ereq-Ep+dStoreq;
Tcr1 = Tcr0;
while(1)
    TskTcrwg = 0.3-0.09*(Tcr1-36.8);
    if TskTcrwg > 0.3
        TskTcrwg = 0.3;
    elseif TskTcrwg < 0.1
        TskTcrwg = 0.1;
    end
    Tcr = dStorage/spHeat+Tsk0*TskTcrwg0/2-Tsk*TskTcrwg/2;
    Tcr = (Tcr+Tcr0*(1-TskTcrwg0/2))/(1-TskTcrwg/2);
    if abs(Tcr - Tcr1) <= .001
        break
    end
    Tcr1 = (Tcr1+Tcr)/2;
end
Tre = Tre0+(2*Tcr-1.962*Tre0-1.31)/9;
if Dlimtre == 0 && Tre >= 38
    Dlimtre = time;
end
SWtot = SWtot+SWp+Eres;
SWtotg = SWtot*2.67*Adu/1.8/60;
if Dlimloss50 == 0 && SWtotg >= Dmax50
    Dlimloss50 = time;
end
if Dlimloss95 == 0 && SWtotg >= Dmax95
    Dlimloss95 = time;
end
if DRINK == 0
    Dlimloss95 = Dlimloss95*0.6;
```

```

        Dlimloss50 = Dlimloss95;
    end
end
if Dlimloss50 == 0

    Dlimloss50 = Duration;
end
if Dlimloss95 == 0
    Dlimloss95 = Duration;
end
if Dlimtre == 0
    Dlimtre = Duration;
end
meusDados = get(handles.figure1,'userdata');
meusDados.resultados_tabela = [meusDados.resultados_tabela,[aclimatacao; ...
posture;reposicao_agua;Ta;Pa;Tr;Va;Met;Icl;Work;THETA;Walksp;Tre;Duration; ...
SWtotg;Dlimtre;Dlimloss50;Dlimloss95;wmax;wreq;wp;SWmax;SWreq;SWp;Emax; ...
Ereq;Ep]];
set(handles.Tabela,'data',num2cell(meusDados.resultados_tabela));
set(handles.figure1,'userdata',meusDados)
end

% -----
function Apagar_ClickedCallback(hObject, eventdata, handles)
meusDados=get(handles.figure1,'userdata');
meusDados.resultados_tabela=meusDados.resultados_tabela(:,1:end-1);
set(handles.Tabela,'data',num2cell(meusDados.resultados_tabela));
set(handles.figure1,'userdata',meusDados)

% -----
function Excel_ClickedCallback(hObject, eventdata, handles)
cabecalho1={'Aclimatado';'Postura';'DRINK';'Ta';'Pa';'Tr';'Va';'Met';'Icl';...
'Work';'THETA';'Walksp';'Tre';'Time';'SWtotg';'Dlimtre';'Dlimloss50';...
'Dlimloss95';'Wmáx';'Wreq';'Wp';'SWmáx';'SWreq';'SWp';'Emáx';'Ereq';'Ep'};
xlswrite('Resultados_ISO_7933.xls',cabecalho1,1,'A3');
cabecalho2={'Trabalhador Aclimatado (1-Sim/2-Não)'; ...
'Postura de trabalho (1-Sentado/2-De Pé/3-Agachado)'; ...
'Boa reposição de água? (1-Sim/2-Não)';...
'Temperatura do ar [°C]';'Pressão parcial de vapor de água [kPa]'; ...
'Temperatura média radiante [°C]';'Velocidade do ar [m/s]'; ...
'Metabolismo [W/m2]';'Isolamento térmico do vestuário [clo]'; ...
'Trabalho mecânico externo [w/m2]'; ...
'Ângulo entre direção do deslocamento e a direção do vento [°]'; ...
'Velocidade do deslocamento [m/s]';'Temperatura rectal prevista [°C]'; ...
'Duração de um período de trabalho [min]';'Perda de água por minuto[g]';...
'Tempo máximo admissível de exposição para armazenamento de calor [min]';...
'Tempo máximo admissível de exposição para perda de água, num trabalhador ...
comum [min]';'Tempo máximo admissível de exposição para perda de água em ...
95% da população trabalhadora [min]'; ...
'Humedecimento cutâneo máximo [adm]'; ...
'Humedecimento cutâneo requerido [adm]';'Humedecimento cutâneo previsto [adm]';...
'Sudação máxima [w/m2]';'Sudação requerida [w/m2]'; ...
'Sudação prevista [w/m2]';'Débito evaporativo máximo [w/m2]';...
'Débito evaporativo requerido [w/m2]';'Débito evaporativo previsto [w/m2]'};
xlswrite('Resultados_ISO_7933.xls',cabecalho2,1,'B3');
tabela=get(handles.Tabela,'data');
xlswrite('Resultados_ISO_7933.xls',tabela,1,'C3');
informacao1 = {'CÁLCULO DA ISO 7933:2004'};
xlswrite('Resultados_ISO_7933.xls',informacao1,1,'A1');
informacao2 = {'by Telmo Estrela'};
xlswrite('Resultados_ISO_7933.xls',informacao2,1,'A32');
informacao2 = {'Instituto Superior de Engenharia de Coimbra'};
xlswrite('Resultados_ISO_7933.xls',informacao2,1,'A31');
informacao2 = {'2012'};
xlswrite('Resultados_ISO_7933.xls',informacao2,1,'A33');

```


Anexos H – Resultados Da Análise Segundo A Norma ISO 7933:2004.

No presente anexo, apresentam-se os resultados obtidos para os locais de trabalho analisados segundo a Norma ISO 7933:2004. São apresentados resultados para trabalhadores aclimatados e trabalhadores não aclimatados.

			Indústria 1	Indústria 2	Indústria 3	Indústria 3	Indústria 3	Indústria 4	Indústria 4
			OP2	OP4	OP6	OP7	OP8	OP9	OP11
			Junto À Moagem	Junto Ao Gerador De Calor	Interior Do Forno Hoffman	Em Cima Do Forno Hoffman	Zona Junto Ao Forno Túnel	Em Cima Do Forno De Cozedura	Zona Da Empacotadora
Dados Gerais	Permanência Contínua No Período De 1 hora	min/hora	60	60	60	60	60	60	60
	Duração de um período de trabalho	min	480	480	480	480	480	480	480
	Taxa Metabólica Média	W/m2	165	100	165	133	133	165	177
	Tempo de Repouso	min	21	?	6	3	5	15	24
	Isolamento Térmico Do Vestuário	clo	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,6	0,35
	Temperatura De Bolbo Seco	°C	36,9	38,4	39,3	39,7	30,6	43,8	43,2
	Temperatura De Bolbo Húmido	°C	25,9	25,8	27	23	22,2	25	25,6
	Temperatura De Globo	°C	36,8	53,4	63	42,9	46,1	44	43,8
	Velocidade do Ar	m/s	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	Pressão Parcial do Vapor de Água	kPa	2,624	2,505	2,769	1,724	2,132	1,957	1,967
	Trabalho Mecânico Externo	W	0	0	0	0	0	0	0
	Temperatura Rectal Prevista	°C	39,46	42,48	51,60	37,46	39,46	39,25	37,73
Resultados (Aclimatado)	Perda de água	g	6888,6	6842,6	6922,0	6855,0	6883,3	6953,2	7013,99
	Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Armazenamento De Calor	min	91	52	22	480	112	92	480
	Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Perda Hídrica - Para Um Trabalhador Comum	min	369	371	367	371	369	366	363
	Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Perda Hídrica - Em 95% Da Classe Trabalhadora	min	250	251	248	252	249	247	246
	Humedecimento Cutâneo Máximo	Adm.	1	1	1	1	1	1	1
	Humedecimento Cutâneo Requerido	Adm.	1,02	1,05	0,84	0,98	1,01	0,87	0,77
	Humedecimento Cutâneo Previsto	Adm.	1,00	1,00	0,75	0,98	0,98	0,86	0,77
	Sudação Máxima	W/m2	312,50	312,50	312,50	312,50	312,50	312,50	334,19
	Sudação Requerida	W/m2	312,50	312,50	312,50	312,50	312,50	312,50	316,02
	Sudação Prevista	W/m2	312,50	312,50	312,50	312,50	312,50	312,50	316,02
	Débito Evaporativo Máximo	W/m2	156,28	156,08	298,64	164,27	166,50	231,63	290,82
	Débito Evaporativo Requerido	W/m2	159,14	163,43	250,51	161,61	167,48	201,68	223,06
	Débito Evaporativo Previsto	W/m2	156,27	156,08	224,33	161,49	162,91	198,15	223,06
Resultados (Não Aclimatado)	Temperatura Rectal Prevista	°C	41,6	44,76	54,71	39,61	41,67	41,74	39,86
	Perda de água	g	5571,7	5502,2	5581,6	5569,7	5549,3	5633,6	6014,1
	Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Armazenamento De Calor	min	55	41	20	98	59	50	62
	Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Perda Hídrica - Para Um Trabalhador Comum	min	453	459	453	454	455	448	421
	Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Perda Hídrica - Em 95% Da Classe Trabalhadora	min	306	309	305	306	307	302	284
	Humedecimento Cutâneo Máximo	Adm.	0,9	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
	Humedecimento Cutâneo Requerido	Adm.	0,9	0,92	0,72	0,87	0,89	0,76	0,67
	Humedecimento Cutâneo Previsto	Adm.	0,9	0,85	0,61	0,85	0,85	0,72	0,65
	Sudação Máxima	W/m2	250,0	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	267,36
	Sudação Requerida	W/m2	250,0	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	267,36
	Sudação Prevista	W/m2	250,0	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	267,36
	Débito Evaporativo Máximo	W/m2	173,7	172,03	334,94	178,98	182,68	256,19	320,82
	Débito Evaporativo Requerido	W/m2	153,5	157,79	242,16	156,17	161,86	193,94	214,17
	Débito Evaporativo Previsto	W/m2	147,6	146,23	203,75	152,13	155,28	184,89	210,05

			Indústria 7	Indústria 7	Indústria 7	Indústria 8	Indústria 13	Indústria 13	Indústria 13
			OP16	OP17	OP19	OP21	OP26	OP26.1	OP26.2
			Olaria 11	Junto Ao Forno De Secagem	Zona Junto À Saída Do Forno De Recozimento	Plataforma Superior Do Atomizador II	Plataforma Por Cima Dos Fornos / Zona Próxima Ao Cadinho	Plataforma Por Cima Dos Fornos	Zona Próxima Ao Cadinho
Dados Gerais	Permanência Contínua No Período De 1 hora	min/hora	60	60	60	60	60	40	20
	Duração de um período de trabalho	min	480	480	480	480	480	480	480
	Taxa Metabólica Média	W/m2	193	233	229	145	153	153	153
	Tempo de Repouso	min	28	10	8	9	13	-	-
	Isolamento Térmico Do Vestuário	clo	0,35	0,49	0,49	0,6	1,1	1,1	1,1
	Temperatura De Bolbo Seco	°C	34,8	33,9	32,6	37,9	34,4	33,1	36,9
	Temperatura De Bolbo Húmido	°C	26,6	24,1	23,7	23,7	25,1	24,5	26,3
	Temperatura De Globo	°C	34,3	37	33,3	45,7	48,9	43,8	59,2
	Velocidade do Ar	m/s	0,2	0,2	0,2	0,2	0,42	0,53	0,2
	Pressão Parcial do Vapor de Água	kPa	3,173	2,139	2,157	1,689	2,385	2,481	2,081
	Trabalho Mecânico Externo	W	0	0	0	0	0	0	0
	Temperatura Rectal Prevista	°C	37,66	37,92	37,90	37,91	42,42	39,61	47,40
Resultados (Aclimatado)	Perda de água	g	6610,9	8476,1	6846,8	6901,8	6914,0	6894,8	6934,7
	Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Armazenamento De Calor	min	480	480	480	480	49	95	30
	Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Perda Hídrica - Para Um Trabalhador Comum	min	385	304	372	368	367	368	366
	Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Perda Hídrica - Em 95% Da Classe Trabalhadora	min	262	208	254	250	248	249	247
	Humedecimento Cutâneo Máximo	Adm.	1	1	1	1	1	1	1
	Humedecimento Cutâneo Requerido	Adm.	0,91	0,91	0,84	0,88	0,93	0,94	0,93
	Humedecimento Cutâneo Previsto	Adm.	0,91	0,91	0,84	0,88	0,89	0,92	0,85
	Sudação Máxima	W/m2	371,07	463,26	454,04	312,50	312,50	312,50	312,50
	Sudação Requerida	W/m2	302,33	385,14	308,60	312,50	312,50	312,50	312,50
	Sudação Prevista	W/m2	302,33	385,14	308,60	312,50	312,50	312,50	312,50
	Débito Evaporativo Máximo	W/m2	193,26	248,23	239,87	218,88	214,29	195,62	237,33
	Débito Evaporativo Requerido	W/m2	176,40	225,80	200,64	192,98	199,14	184,33	220,71
	Débito Evaporativo Previsto	W/m2	176,40	225,80	200,64	192,12	189,86	180,09	200,73
Resultados (Não Aclimatado)	Temperatura Rectal Prevista	°C	38,38	38,92	37,90	40,22	44,63	41,57	49,96
	Perda de água	g	6179,2	7965,7	6846,8	5597,9	5573,5	5565,9	5594,2
	Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Armazenamento De Calor	min	126	60	480	75	38	57	27
	Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Perda Hídrica - Para Um Trabalhador Comum	min	408	318	372	451	453	454	452
	Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Perda Hídrica - Em 95% Da Classe Trabalhadora	min	274	215	254	304	305	306	304
	Humedecimento Cutâneo Máximo	Adm.	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
	Humedecimento Cutâneo Requerido	Adm.	0,85	0,85	0,84	0,78	0,82	0,84	0,83
	Humedecimento Cutâneo Previsto	Adm.	0,85	0,85	0,84	0,75	0,76	0,80	0,72
	Sudação Máxima	W/m2	296,86	370,61	363,23	250,00	250,00	250,00	250,00
	Sudação Requerida	W/m2	272,37	349,80	308,60	250,00	250,00	250,00	250,00
	Sudação Prevista	W/m2	272,46	349,94	308,60	250,00	250,00	250,00	250,00
	Débito Evaporativo Máximo	W/m2	203,36	260,16	239,87	239,45	234,91	213,89	260,04
	Débito Evaporativo Requerido	W/m2	173,38	222,21	200,64	185,91	193,48	179,15	214,63
	Débito Evaporativo Previsto	W/m2	172,86	221,14	200,64	179,64	178,13	170,54	186,03

			Indústria 14	Indústria 14	Indústria 15	Indústria 21	Indústria 22	Indústria 22	Indústria 22
			OP27	OP29	OP31	OP41	OP42	OP42.1	OP42.2
			Zona Em Cima Do Forno	Zona Junto Ao Cadinho	Em Cima Da Plataforma De Vazamento	Zona De Fabricação	Zona Seca - Porão Pré-Secaria / Porão Pós-Secaria / Sala Zona Seca	Porão Pré-Secaria	Porão Pós-Secaria
Dados Gerais	Permanência Contínua No Período De 1 hora	min/hora	60	60	10	60	60	30	15
	Duração de um período de trabalho	min	480	480	480	480	480	480	480
	Taxa Metabólica Média	W/m2	165	165	150	161	149	165	165
	Tempo de Repouso	min	21	21	12	17	12	-	-
	Isolamento Térmico Do Vestuário	clo	1,1	1,1	1,1	0,49	0,6	0,6	0,6
	Temperatura De Bolbo Seco	°C	32,1	25,9	44,9	34,2	42,8	54,2	39,9
	Temperatura De Bolbo Húmido	°C	22,1	24,3	26,6	30,3	31,1	39,7	28
	Temperatura De Globo	°C	43,3	45,5	48,9	33,7	42,5	53,6	38,7
	Velocidade do Ar	m/s	0,2	0,2	0,2	0,2	0,7	0,9	0,8
	Pressão Parcial do Vapor de Água	kPa	2,115	2,936	2,740	3,414	3,953	6,810	3,195
	Trabalho Mecânico Externo	W	0	0	0	0	0	0	0
Resultados (Aclimatado)	Temperatura Rectal Prevista	°C	41,15	44,21	45,04	38,06	41,02	54,76	37,64
	Perda de água	g	6932,5	6880,6	6915,8	6525,9	6851,4	6742,7	6085,2
	Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Armazenamento De Calor	min	65	39	36	334	48	14	480
	Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Perda Hídrica - Para Um Trabalhador Comum	min	366	369	367	386	370	376	417
	Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Perda Hídrica - Em 95% Da Classe Trabalhadora	min	248	249	248	259	250	254	282
	Humedecimento Cutâneo Máximo	Adm.	1	1	1	1	1	1	1
	Humedecimento Cutâneo Requerido	Adm.	0,99	1,03	1,03	1,00	0,95	0,79	0,83
	Humedecimento Cutâneo Previsto	Adm.	0,95	0,96	0,95	1,00	0,93	0,76	0,83
	Sudação Máxima	W/m2	312,50	312,50	312,50	312,50	312,50	312,50	312,50
	Sudação Requerida	W/m2	312,50	312,50	312,50	288,04	312,50	312,50	277,22
	Sudação Prevista	W/m2	312,50	312,50	312,50	288,22	312,50	312,50	277,22
	Débito Evaporativo Máximo	W/m2	179,38	174,45	178,99	142,19	191,72	291,15	220,99
	Débito Evaporativo Requerido	W/m2	178,45	178,88	183,80	142,80	181,24	229,82	182,59
	Débito Evaporativo Previsto	W/m2	170,82	167,85	170,58	142,19	177,92	221,81	182,59
Resultados (Não Aclimatado)	Temperatura Rectal Prevista	°C	43,22	46,19	47,10	39,64	42,51	56,86	38,50
	Perda de água	g	5599,0	5540,1	5575,4	5231,8	5510,9	5402,3	5533,6
	Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Armazenamento De Calor	min	45	33	31	79	37	14	146
	Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Perda Hídrica - Para Um Trabalhador Comum	min	451	456	453	480	458	467	456
	Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Perda Hídrica - Em 95% Da Classe Trabalhadora	min	304	307	305	316	309	315	308
	Humedecimento Cutâneo Máximo	Adm.	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
	Humedecimento Cutâneo Requerido	Adm.	0,89	0,91	0,92	0,86	0,82	0,64	0,77
	Humedecimento Cutâneo Previsto	Adm.	0,83	0,84	0,83	0,85	0,80	0,60	0,76
	Sudação Máxima	W/m2	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00
	Sudação Requerida	W/m2	250,00	250,00	250,00	218,90	250,00	250,00	250,00
	Sudação Prevista	W/m2	250,00	250,00	250,00	219,22	250,00	250,00	250,00
	Débito Evaporativo Máximo	W/m2	195,11	191,01	195,58	159,05	213,05	343,64	233,44
	Débito Evaporativo Requerido	W/m2	173,57	173,50	178,97	137,32	175,74	221,37	179,28
	Débito Evaporativo Previsto	W/m2	162,88	161,09	163,08	135,19	170,21	205,36	177,63

			Indústria 23	Indústria 23	Indústria 23	Indústria 24	Indústria 24	Indústria 24	Indústria 24
			OP45	OP45.1	OP45.2	OP48	OP48.1	OP49	OP49.1
			Zona Seca - Porão Pré-Secaria / Porão Pós-Secaria / Sala Zona Seca	Porão Pré-Secaria	Porão Pós-Secaria	Máquina 12 / Sala Da Máquina 12	Máquina 12	Máquina 13 / Sala Da Máquina 13	Máquina 13
Dados Gerais	Permanência Contínua No Período De 1 hora	min/hora	60	30	15	60	45	60	45
	Duração de um período de trabalho	min	480	480	480	480	480	480	480
	Taxa Metabólica Média	W/m2	138	165	165	149	165	149	165
	Tempo de Repouso	min	12	-	-	17	-	17	-
	Isolamento Térmico Do Vestuário	clo	0,6	0,6	0,6	0,9	0,9	0,9	0,9
	Temperatura De Bolbo Seco	°C	35,4	43,2	45	41,6	48	35,98	40,5
	Temperatura De Bolbo Húmido	°C	29,1	35,1	37,1	24,3	27,3	22,78	25,3
	Temperatura De Globo	°C	34,3	43,9	46,1	57,5	69,1	45,07	52,6
	Velocidade do Ar	m/s	0,2	0,2	0,5	0,66	0,8	0,36	0,4
	Pressão Parcial do Vapor de Água	kPa	3,450	5,506	7,234	1,403	1,397	1,176	1,085
	Trabalho Mecânico Externo	W	0	0	0	0	0	0	0
Resultados (Aclimatado)	Temperatura Rectal Prevista	°C	38,87	50,12	54,34	43,63	54,37	37,59	41,71
	Perda de água	g	6245,6	6785,5	6697,8	6971,5	7016,3	6374,4	7013,6
	Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Armazenamento De Calor	min	130	19	17	33	17	480	47
	Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Perda Hídrica - Para Um Trabalhador Comum	min	399	374	379	364	362	398	362
	Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Perda Hídrica - Em 95% Da Classe Trabalhadora	min	261	253	256	246	244	270	245
	Humedecimento Cutâneo Máximo	Adm.	1	1	1	1	1	1	1
	Humedecimento Cutâneo Requerido	Adm.	1,02	1,03	0,99	0,69	0,50	0,82	0,76
	Humedecimento Cutâneo Previsto	Adm.	1,00	0,98	0,96	0,66	0,44	0,82	0,74
	Sudação Máxima	W/m2	312,50	312,50	312,50	312,50	312,50	312,50	312,50
	Sudação Requerida	W/m2	257,18	312,50	312,50	312,50	312,50	287,22	312,50
	Sudação Prevista	W/m2	257,70	312,50	312,50	312,50	312,50	287,22	312,50
	Débito Evaporativo Máximo	W/m2	121,92	166,45	175,73	371,29	642,11	232,86	309,78
	Débito Evaporativo Requerido	W/m2	124,08	170,72	173,96	257,12	320,70	190,80	236,83
	Débito Evaporativo Previsto	W/m2	121,92	162,88	168,62	244,66	282,30	190,80	227,92
Resultados (Não Aclimatado)	Temperatura Rectal Prevista	°C	40,47	51,57	55,43	48,07	60,85	39,19	45,50
	Perda de água	g	4983,8	5445,1	5357,8	5631,1	5675,9	5614,0	5674,3
	Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Armazenamento De Calor	min	73	19	17	25	16	110	31
	Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Perda Hídrica - Para Um Trabalhador Comum	min	480	464	471	449	445	450	445
	Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Perda Hídrica - Em 95% Da Classe Trabalhadora	min	324	312	317	302	300	304	300
	Humedecimento Cutâneo Máximo	Adm.	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
	Humedecimento Cutâneo Requerido	Adm.	0,88	0,90	0,87	0,57	0,38	0,76	0,65
	Humedecimento Cutâneo Previsto	Adm.	0,85	0,85	0,83	0,51	0,31	0,74	0,59
	Sudação Máxima	W/m2	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00
	Sudação Requerida	W/m2	194,57	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00
	Sudação Prevista	W/m2	195,11	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00
	Débito Evaporativo Máximo	W/m2	135,62	185,48	196,06	430,03	777,17	246,32	350,23
	Débito Evaporativo Requerido	W/m2	119,29	166,13	170,09	243,38	299,11	186,40	225,98
	Débito Evaporativo Previsto	W/m2	115,27	157,65	163,29	217,90	238,25	181,86	206,53

			Indústria 25	Indústria 26	Indústria 26	Indústria 26	Indústria 26
			OP52	OP53	OP54.1	OP54.2	OP54.3
			Zona Próxima À Linha De Produção C3	Zona De Fabricação	Boca De Enforna	Junto Ao Fider	Junto Aos Queimadores
Dados Gerais	Permanência Contínua No Período De 1 hora	min/hora	60	60	7	13	10
	Duração de um período de trabalho	min	480	480	480	480	480
	Taxa Metabólica Média	W/m2	129	165	133	133	133
	Tempo de Repouso	min	?	26	-	-	-
	Isolamento Térmico Do Vestuário	clo	0,7	0,9	0,9	0,9	0,9
	Temperatura De Bolbo Seco	°C	42,5	29,9	34,1	65	62,2
	Temperatura De Bolbo Húmido	°C	39,5	24,8	21,9	28,8	31,8
	Temperatura De Globo	°C	52,2	68	51,8	65,6	84,1
	Velocidade do Ar	m/s	0,52	0,2	0,2	0,2	0,2
	Pressão Parcial do Vapor de Água	kPa	1,323	2,800	1,835	0,256	0,585
	Trabalho Mecânico Externo	W	0	0	0	0	0
	Temperatura Rectal Prevista	°C	38,83	53,76	41,43	47,21	58,44
Resultados (Aclimatado)	Perda de água	g	6933,5	6897,5	6909,3	7037,7	7018,1
	Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Armazenamento De Calor	min	125	20	62	27	17
	Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Perda Hídrica - Para Um Trabalhador Comum	min	366	368	367	361	362
	Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Perda Hídrica - Em 95% Da Classe Trabalhadora	min	248	249	248	244	244
	Humedecimento Cutâneo Máximo	Adm.	1	1	1	1	1
	Humedecimento Cutâneo Requerido	Adm.	0,77	0,80	0,96	0,79	0,69
	Humedecimento Cutâneo Previsto	Adm.	0,76	0,71	0,92	0,73	0,58
	Sudação Máxima	W/m2	312,50	312,50	312,50	312,50	312,50
	Sudação Requerida	W/m2	312,50	312,50	312,50	312,50	312,50
	Sudação Prevista	W/m2	312,50	312,50	312,50	312,50	312,50
	Débito Evaporativo Máximo	W/m2	290,54	330,02	197,64	317,75	446,88
	Débito Evaporativo Requerido	W/m2	224,52	263,29	189,39	251,95	309,66
	Débito Evaporativo Previsto	W/m2	221,60	233,97	181,19	230,37	259,72
	Temperatura Rectal Prevista	°C	42,29	57,09	43,54	51,06	63,54
	Perda de água	g	5599,9	5557,1	5568,9	5697,3	5677,7
Resultados (Não Aclimatado)	Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Armazenamento De Calor	min	44	19	44	23	16
	Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Perda Hídrica - Para Um Trabalhador Comum	min	451	454	454	444	445
	Tempo Máximo Admissível De Exposição Para Perda Hídrica - Em 95% Da Classe Trabalhadora	min	304	306	306	299	300
	Humedecimento Cutâneo Máximo	Adm.	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
	Humedecimento Cutâneo Requerido	Adm.	0,65	0,68	0,86	0,68	0,58
	Humedecimento Cutâneo Previsto	Adm.	0,62	0,57	0,80	0,59	0,44
	Sudação Máxima	W/m2	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00
	Sudação Requerida	W/m2	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00
	Sudação Prevista	W/m2	250,00	250,00	250,00	250,00	250,00
	Débito Evaporativo Máximo	W/m2	327,87	371,61	214,09	353,40	512,04
	Débito Evaporativo Requerido	W/m2	213,34	252,49	183,97	241,24	296,19
	Débito Evaporativo Previsto	W/m2	202,38	210,06	170,61	207,08	225,71