



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Condições de Trabalho na Indústria Vidreira: Avaliação da Exposição ao Calor

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade de Produção e Projeto

Autor

Telmo Fernando Simões Fernandes

Orientadores

Professor Doutor Divo Augusto Alegria Quintela

Professor Doutor Avelino Virgílio Monteiro de Oliveira

Júri

Presidente Professor Doutor António Manuel Mendes Raimundo
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Vogal Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Orientador Professor Doutor Avelino Virgílio Fernandes Monteiro de
Oliveira
Professor Adjunto do DEM-ISEC

Coimbra, Setembro, 2016

“A persistência é o menor caminho do êxito”

Charles Chaplin

Aos meus pais.

À minha namorada.

Agradecimentos

Jamais teria sido possível a realização desta dissertação sem a colaboração e apoio de algumas pessoas, as quais quero deixar, desde já, o meu mais sincero agradecimento.

Aos Professores Avelino Oliveira e Divo Quintela pela disponibilidade, paciência e acompanhamento durante todo o trabalho efetuado.

A todas as empresas e associações que, de algum modo, tentaram colaborar positivamente neste trabalho.

Ao Eng^o Carlos Martins pela amável disponibilidade.

Ao Nuno Rosa e ao Cláudio Sousa pela amizade e companheirismo ao longo de todos estes anos.

Aos meus pais e à minha namorada, que foram incansáveis no apoio que me deram.

Resumo

Sendo a indústria transformadora como das mais delicadas a nível de postos de trabalho em ambientes térmicos quentes, é necessária uma avaliação correta e precisa da ocorrência de stresse térmico entre os trabalhadores com vista à prevenção de acidentes de trabalho e, conseqüentemente, o aumento da produtividade.

A indústria vidreira é, no campo da exposição ao calor, das mais problemáticas e o método para realizar esta avaliação passa pela realização de um conjunto de medições nos postos de trabalho mais críticos.

Para tal, este estudo é apoiado num conjunto de ferramentas que passam pela aplicação de normas internacionais, nomeadamente a norma ISO 7243:1989 e a norma 7933:2004.

A norma ISO 7243:1989 tem como base o índice WBGT (*Wet Bulb Globe Temperature*), enquanto a norma ISO 7933:2004 apoia-se no modelo PHS (*Predicted Heat Strain*). Para aplicação do modelo PHS, devido à sua complexidade de cálculo, recorreu-se a um programa em linguagem *matlab* que aplica o algoritmo de cálculo da norma.

Com vista a uma realista e alargada avaliação dos resultados, foram compiladas o maior número de medições possíveis, reunidas de contribuições de trabalhos de investigação anteriormente desenvolvidos na área da indústria vidreira. Foi, ainda, avaliado o stresse térmico presente nos postos de trabalho e foi estudada a influência de vários parâmetros nas variáveis físicas de saída do modelo PHS.

No total, foram avaliados os ambientes térmicos de 19 postos de trabalho provenientes de 5 indústrias vidreiras localizadas na zona centro de Portugal, resultado de medições realizadas ao longo dos últimos 22 anos.

Conclui-se, no geral, que grande parte dos postos analisados estão em risco de stresse térmico e que este pode ser diminuído ou mesmo anulado com a alteração de alguns parâmetros físicos.

Palavras-chave: Stresse Térmico, Ambientes Térmicos Quentes, Índices Térmicos, Índice WBGT, Índice PHS, Indústria Vidreira Portuguesa,

Abstract

As manufacturing is one of the most sensitive in terms of jobs in hot thermal environments a proper and accurate assessment of the occurrence of heat stress of workers is necessary in order to prevent accidents and therefore increase productivity.

The glass industry is the most problematic in the matter of heat exposure and the method to carry out this evaluation involves the realization of a set of measurements of the most critical workplaces.

To that end, this study is supported by a set of tools that undergo the application of international standards, including ISO 7243:1989 and standard 7933:2004.

The ISO 7243:1989 norm is based on the WBGT index (Wet Bulb Globe Temperature), while the ISO 7933:2004 norm is supported by the PHS model (Predicted Heat Strain). For the application of the PHS model due to its complex calculation, it was used a matlab language program that applies the standard calculation algorithm

With a view to a realistic and comprehensive evaluation of the results, the largest possible number of measurements were compiled, which were gathered from contributions from previous research in glass industry. Furthermore, the thermal stress in the workplaces was evaluated and the influence of various parameters on physical variables output from the PHS model was also studied.

In total, the thermal environments of 19 workplaces of 5 glass industries located in central Portugal were evaluated. This was the result of measurements made over the past 22 years.

It was concluded, in general, that the majority of the analyzed work places are at risk of heat stress and that this can be decreased or even eliminated with the change of some physical parameters.

Keywords Heat Stress, Thermal Hot Environments, Heat Index, WBGT Index, PHS Index, Portuguese Glass Industry.

Índice

Índice de Figuras	vi
Índice de Tabelas	vii
Simbologia e Siglas	viii
Simbologia.....	viii
Siglas	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Estatísticas da indústria vidreira em Portugal.....	2
1.2. Breve nota histórica e enquadramento legal	4
1.3. Objetivos.....	5
1.4. Estrutura do trabalho.....	6
2. AMBIENTES TÉRMICOS QUENTES: NOÇÕES GERAIS	8
2.1. Conforto térmico.....	9
2.1.1. Fatores influenciadores do ambiente térmico.....	10
2.1.2. Termorregulação.....	11
2.1.3. Aclimatação	12
2.1.4. Consequências do stresse térmico	13
2.2. Índices Térmicos.....	14
3. NORMA ISO 7243:1989.....	17
3.1. INDICE WBGT	17
3.1.1. Generalidades	17
3.1.2. Limitações do WBGT.....	18
3.1.3. Cálculo.....	19
3.1.4. Medição das variáveis ambientais	22
3.1.5. Medição do metabolismo	23
4. NORMA ISO 7933:2004.....	25
4.1. Princípios e métodos de avaliação	26
4.2. Principais etapas de cálculo	26
4.2.1. Equação do balanço térmico.....	26
4.2.2. Taxa metabólica, M	27
4.2.3. Trabalho Mecânico Externo, W	27
4.2.4. Troca De Calor Por Convecção Na Respiração, C_{res}	27
4.2.5. Troca De Calor Por Evaporação Na Respiração, E_{res}	28
4.2.6. Troca de calor por condução, K	28
4.2.7. Troca De Calor Por Convecção, C	29
4.2.8. Troca de calor por radiação, R	29
4.2.9. Troca de calor por evaporação de suor da superfície da pele, E	31
4.2.10. Armazenamento de calor no corpo, S	31
4.2.11. Cálculo da troca de calor requerida por evaporação, E_{req} , do humedecimento cutâneo requerido, w_{req} e da taxa de sudção requerida, Sw_{req} ..	31

4.3.	Etapas de cálculo necessárias no modelo PHS	32
4.3.1.	Armazenamento de calor associado à taxa metabólica, <i>dSeq</i>	33
4.3.2.	Temperatura média da pele.....	34
4.3.3.	Parâmetros do isolamento térmico do vestuário.....	34
4.3.4.	Cálculo da eficiência evaporativa, <i>rreq</i>	36
4.3.5.	Cálculo da temperatura retal, <i>tr</i>	37
4.4.	Interpretação de resultados e validação do modelo	38
5.	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	40
5.1.	Metodologia	40
5.1.1.	Dificuldades.....	41
5.2.	Resultados baseados no índice WBGT	44
5.3.	Resultados baseados no modelo PHS	46
5.3.1.	Resultados experimentais	46
5.3.2.	Influência de parâmetros físicos nas variáveis de saída do modelo PHS.....	49
5.3.3.	Notas conclusivas	56
6.	CONCLUSÕES	57
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
	ANEXO A	63
	ANEXO B	65
	ANEXO C	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Comportamento do desempenho com a temperatura (Seppänen, 2003)	1
Figura 2.1 Variação do rendimento com a sazonalidade (Bedford, 1949)	8
Figura 2.2 - Variação do número de acidentes de trabalho com a sazonalidade (Bedford, 1949).....	9
Figura 2.3 - Processo de termorregulação para estímulos quentes.....	12
Figura 2.4. Influência da aclimatização (OMS, 1969)	13
Figura 2.5 - Dermatite	14
Figura 2.6 - Cataratas.....	14
Figura 2.7 - Conjuntivite	14
Figura 3.1 - Figura ilustrativa da localização dos sensores (Estrela, 2013)	20
Figura 3.2. Exemplos de sensores usados na avaliação do WBGT	22
Figura 5.1 - Avaliação do índice WBGT.....	45
Figura 5.2 - Débitos Evaporativos experimentais	47
Figura 5.3 - Humedecimentos experimentais	47
Figura 5.4 - Temperaturas experimentais	48
Figura 5.5 - Tempo máximo admissível de exposição para armazenamento de calor experimentais.....	48
Figura 5.6 - Perda de água por minuto experimentais.....	49
Figura 5.7 - Influência da velocidade do ar na taxa de sudção prevista	50
Figura 5.8 - Influência da velocidade do ar na temperatura retal	51
Figura 5.9 - Influência da pressão parcial de vapor de água no tempo de exposição.....	52
Figura 5.10 - Influência da pressão parcial de vapor de água na temperatura retal	53
Figura 5.11 - Influência da pressão parcial de vapor de água no humedecimento cutâneo	54
Figura 5.12 - Influência do tempo de trabalho na temperatura retal	55
Figura 5.13 - Influência do tempo de trabalho no humedecimento.....	55

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1. Acidentes de trabalho por atividade económica, segundo o sexo, Gabinete de Estratégia e Estudos (2012).....	2
Tabela 1.2. Localização geográfica das indústrias vidreiras, GEE (2013).....	3
Tabela 1.3. Principais disposições legais (Portaria 702/80 de 22 de Setembro).....	5
Tabela 2.1 – Principais variáveis envolvidas no balanço térmico entre o Homem e o ambiente (tabela 1 da ISO 7726, 1998).....	11
Tabela 2.2. Consequências do stresse térmico (Sá, 1999).....	14
Tabela 3.1 - Níveis de WBGT limite no treino militar (Oliveira, 1998).....	18
Tabela 3.2 - Alturas recomendadas para localização dos sensores (ISO 7243:1989).....	20
Tabela 3.3. Valores de referência de WBGT (ISO 7243:1989)	21
Tabela 3.4. Exemplos de atividades para as diferentes classes metabólicas (adaptado da ISO 7243:1989)	23
Tabela 4.1. Valor da fração da superfície de pele envolvida nas trocas de calor por radiação em função da posição	30
Tabela 4.2. Valores de referência máximos (Rodrigues, 2006)	38
Tabela 4.3. Gamas de valores para validação do modelo PHS (ISO 7933:2004).....	39
Tabela 5.1 – Compilação dos locais de estudo.....	40
Tabela 5.2 - Código dos locais de trabalho	43

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

$\frac{A_r}{A_{Du}}$ – Fração da superfície de pele envolvida nas trocas de calor por radiação

A_{Du} – Área da superfície corporal de *DuBois*

A_p – Fração de superfície corporal coberta pelo vestuário refletivo

C – Troca de calor por convecção

$C_{orr,E}$ – Correção para o índice de permeabilidade dinâmica

$C_{orr,la}$ – Correção para o isolamento térmico total de 0 clo

$C_{orr,cl}$ – Correção para o índice de permeabilidade dinâmico “vestido”

$C_{orr,tot}$ – Correção para o isolamento térmico dinâmico total

C_{res} – Troca de calor por convecção na respiração

C_v – Troca de calor por convecção

C_e – Calor latente da evaporação de água

C_p – Calor específico do ar a pressão constante

C_{sp} – Calor específico do corpo

D – Diâmetro do globo negro

D_{max} – Limite máximo para a perda de água do organismo

dS_{eq} – Armazenamento de calor acumulado, associado à taxa metabólica

E – Troca de calor por evaporação

E_{max} – Débito evaporativo máximo

E_p – Débito evaporativo previsto

E_{req} – Débito evaporativo requerido

E_{res} – Troca de calor por evaporação na respiração

f_{cl} – Fator de área do vestuário

$f_{cl,R}$ – Fator de correção para o uso de roupa refletiva

F_r – Emissividade do vestuário refletivo

h_{cdyn} – Coeficiente de transferência de calor por convecção entre o vestuário e o meio envolvente

h_r – Coeficiente de transferência de calor por radiação entre o vestuário e ar envolvente

$I_{a\ dyn}$ – Resistência térmica dinâmica da camada superficial

$I_{a\ st}$ – Resistência térmica estática da camada superficial

$I_{cl\ st}$ – Resistência térmica estática do vestuário

I_{cl} – Isolamento térmico do vestuário

i_{mdyn} – Índice de permeabilidade dinâmica à humidade

i_{mst} – Índice de permeabilidade estática à humidade

$I_{tot\ dyn}$ – Resistência térmica total dinâmica do vestuário

$I_{tot\ st}$ – Resistência térmica total estática do vestuário

K – Troca de calor por condução

M – Taxa metabólica

p_a – Pressão parcial de vapor de água

$p_{a,s}$ – Pressão de vapor de água saturada a 1 atm e à temperatura da pele

$p_{a,sbh}$ – Pressão de vapor de água saturada, a 1 atm e à temperatura do bolbo húmido

$p_{sk,s}$ – Pressão de saturação do vapor de água à temperatura da pele

R – Troca de calor por radiação

r_{req} – Eficiência evaporativa

R_{tdyn} – Resistência total de evaporação entre a camada limite de ar e o vestuário

S – Armazenamento de calor

SW_{max} – Taxa de sudação máxima

SW_p – Taxa de sudação prevista

SW_{req} – Taxa de sudação requerida

t_a – Temperatura do ar inspirado

t_{bh} – Temperatura do bolbo húmido

t_{bhn} – Temperatura do bolbo húmido natural

t_{cl} – Temperatura da superfície de vestuário

$t_{cr,i}$ – Temperatura interna no instante i

$t_{cr,eq\ i}$ – Temperatura interna como função da taxa metabólica no instante i

$t_{cr,eq\ i-1}$ – Temperatura interna em função da taxa metabólica no instante $i-1$

$t_{cr,eq}$ – Temperatura interna de equilíbrio

t_{cr} – Temperatura interna

t_{ex} – Temperatura do ar expirado

t_g – Temperatura do globo

t_r – Temperatura média radiante

$t_{re,max}$ – Temperatura retal máxima

$t_{re,i}$ – Temperatura retal no instante i

$t_{re,i-1}$ – Temperatura retal no instante $i-1$

t_{re} – Temperatura retal

$t_{sk,i-1}$ – Temperatura da pele instantânea no instante $i-1$

$t_{sk,i}$ – Temperatura da pele instantânea

$t_{sk,eq\ cl}$ – Temperatura média da pele em estado estático para indivíduos

“vestidos”

$t_{sk,eq\ nu}$ – Temperatura média da pele para indivíduos “nus”

$t_{sk,eq}$ – Temperatura média da pele em estado estático

t_{sk} – Temperatura média da pele

V – Caudal mássico da respiração

v_a – Velocidade do ar

v_w – Velocidade de caminhada

W – Trabalho mecânico externo

w – Fração equivalente da superfície da pele

W_a – Humidade específica do ar inspirado

W_{ex} – Humidade específica do ar expirado

w_{max} – Humedecimento cutâneo máximo

w_p – Humedecimento cutâneo previsto

w_{req} – Humedecimento cutâneo requerido

ΔS – Variação de calor armazenado

ε – Emissividade

ε_g – Emissividade do globo negro

α – Fração de massa corporal à temperatura da pele

α_i – Fração de massa corporal à temperatura da pele no instante i

α_{i-1} – Fração de massa corporal à temperatura da pele no instante $i-1$

Siglas

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

CAE - Classificação das Atividades Económicas

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

GEE – Gabinete de Estratégia e Estudos

GEE – Gabinete de Estratégia e Estudos

IAPMEI - Agência para a Competitividade e Inovação

ISO – International Standard Organization

OMS – Organização Mundial de Saúde

PHS – Predicted Heat Strain Index

VAB – Valor Acrescentado Bruto

VVN – Volume de Negócios

WBGT – Wet Bulb Globe Temperature

1. INTRODUÇÃO

No panorama mundial, estudos realizados por Shin-ichi Tanabe, professor de arquitetura na universidade de Waseda (Tóquio), mostram que cada grau acima dos 25°C resulta num decréscimo de 2% na produtividade. Ou seja, no final de um dia, o tempo de trabalho tem uma diminuição de 30 minutos, segundo este autor.

Estudos de outros autores vão de encontro a este resultado, como revela a Figura 1.1 que reúne vários estudos que comparam o desempenho do trabalhador com a temperatura.

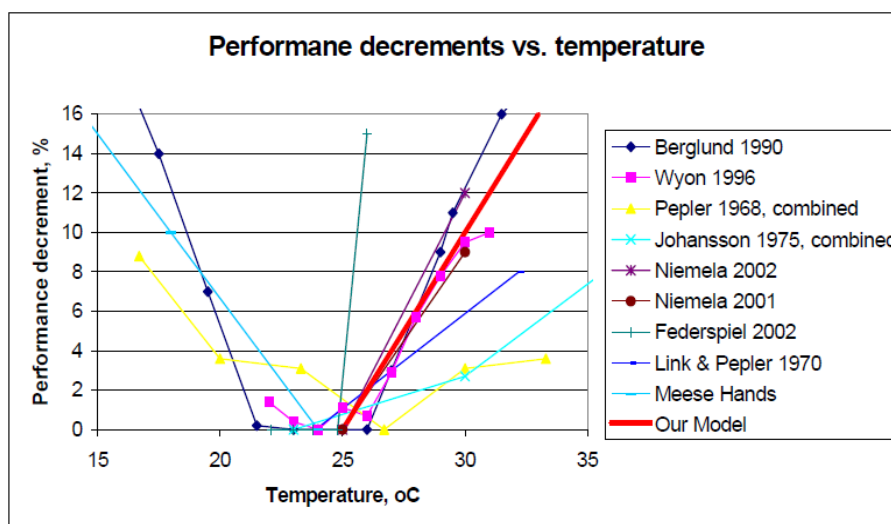


Figura 1.1 - Comportamento do desempenho com a temperatura (Seppänen, 2003)

Na ausência de uma adaptação forte, calcula-se que o impacto na produtividade pode reduzir a produção *per capita* em aproximadamente 9% em 2080-2099 (Hsiang, 2010)

A importância que a Europa deposita nesta problemática fica bem patente, por exemplo, no “Horzion 2020” que é o maior programa de investigação e inovação da União Europeia. Este programa conta já com cerca de 80 mil milhões de euros em financiamento disponível ao longo de 7 anos (até 2020). O HEAT-SHIELD (<http://heat-shield.eu/>) é um projeto europeu bastante interessante que vai beneficiar deste financiamento e que visa

fornecer estratégias de adaptação nas áreas da construção, transporte, turismo, agricultura e indústrias transformadoras tentando, nesta última área, controlar e elevar a qualidade do ambiente de trabalho.

A cada vez maior competitividade entre as indústrias faz com que todos os fatores que possam influenciar a produtividade tenham que ser rigorosamente examinados. Sendo a produtividade o resultado final comportamental de manifestações psicológicas, fisiológicas e alterações neurais funcionais do ser humano (Lan, Lian e Pan, 2010), é, como já visto, inegável que o impacto das condições ambientais influencia a produtividade humana.

Os ambientes térmicos das indústrias podem ser quentes, moderados ou frios e é nos primeiros que este estudo vai dar particular destaque.

1.1. Estatísticas da indústria vidreira em Portugal

O setor da indústria transformadora foi, desde sempre, onde se verificaram postos de trabalho com atividades mais propensas à existência de condições de stresse térmico, dado que a exposição dos trabalhadores a fontes de calor é mais frequente, potenciando, assim, o risco de acidentes de trabalho. A Tabela 1.1 revela que, em 2012, este setor era responsável por mais de 25% do total de acidentes de trabalho que ocorreram no país.

Tabela 1.1. Acidentes de trabalho por atividade económica, segundo o sexo, Gabinete de Estratégia e Estudos (2012)

		TOTAL	HOMENS	MULHERES
	TOTAL	184 482	126 558	57 924
A	Agricultura, produção animal, caça, floresta e pesca	5 519	4 400	1 119
B	Indústrias extrativas	1 228	1 192	36
C	Indústrias transformadoras	50 854	40 091	10 763
D	Eletricidade, gás, vapor, água quente e frio e ar frio	127	118	8
E	Captação, tratamento e distribuição de água; saneamento, gestão de resíduos e despoluição	2 387	2087	299
F	Construção	24 845	24 169	676
G	Comércio por grosso e a retalho: reparação de veículos automóveis e motociclos	33 063	21 104	676

H	Transportes e armazenagem	12 406	9 992	2 413
I	Alojamento, restauração e similares	10 874	4 351	6 523
J	Atividades de informação e de comunicação	690	475	214
K	Atividades financeiras	652	293	359
L	Atividades imobiliárias	561	383	178
M	Ativ. de consultoria, científicas, técnicas e similares	2 237	1 392	845
N	Atividades administrativas e dos serviços de apoio	12 182	7 765	4 416
O	Administ. Pública e Defesa; Segurança Social Obrigatória	5 097	4 105	1 991
P	Educação	1 610	417	1 193
Q	Atividades de saúde humana e apoio social	14 580	2 091	12 489
R	Ativ. artísticas de espetáculos, desportivas e recreativas	1 641	1 150	491
S	Outras atividades de serviços	2 627	953	1 675
T	Ativ. das famílias empreg. de pessoal domést. e ativ. de prod. das famílias para uso próprio	267	14	272
U	Ativ. das organ. Internac e outras instit. extraterritoriais	4	4	0
CAE IGNORADA		13	7	6

Segundo o GEE, em 2014, as indústrias de fabricação de vidro e artigos de vidro tinham um VVN (Volume de negócios) que ascendia aos 928 milhões de euros, representando 1,2% de todo o sector das indústrias transformadoras. A indústria vidreira era responsável, na mesma data, por 5832 postos de trabalho num total de 404 empresas que tinham, em média, 14,4 pessoas por empresa. A localização geográfica das empresas, em 2013, pode ser verificada na tabela 1.2.

Tabela 1.2. Localização geográfica das indústrias vidreiras, GEE (2013)

LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA		
CAE 231 - 2013		
	Empresas	
	Nº	Estrutura Regional (%)
Portugal	407	100%
Continente	402	98,8%
Norte	153	37,6%
Centro	134	32,9%
Lisboa	82	20,1%
Alentejo	16	3,9%
Algarve	17	4,2%
R.A. Açores	3	0,7%
R.A. Madeira	2	0,5%

1.2. Breve nota histórica e enquadramento legal

Desde o século XVIII até aos princípios do século XX, o ofício de vidreiro permanece essencialmente idêntico. A primeira grande fábrica mecanizada nasceu em Santa Maria da Azóia em 1938.

Dentro da indústria do vidro existem três grandes setores: a vidraça, a garrafaria e a cristalaria. Era no fabrico da vidraça que o trabalho era, de longe, o mais agressivo e que era exigida maior robustez física do operário para que fosse possível lidar com um ambiente térmico bastante violento:

“De pé num estrado, debruçado sobre uma vala seca aberta no soalho, um vidreiro ia soprando através da «cana», tubo de ferro com cerca de 1,50 m de comprimento, até conseguir um balão cilíndrico de aproximadamente 2 m, sendo o vidro constantemente aquecido ao mesmo tempo que soprado e agitado dentro da vala...” (Mónica, 1981, p. 508).

“As condições de trabalho eram muito más. A reação mais comum por parte de quem entrava nas oficinas era de espanto perante o ambiente tórrido, de admiração pela articulação gestual dos indivíduos que compunham as diversas equipas e de indignação perante a violência e o esforço físico necessários, quer para o sopro, quer para resistir ao horrendo calor dos fornos abertos, em frente dos quais os vidreiros trabalhavam. Na realidade, a robustez física era um traço indispensável para se ser vidreiro: um bom cilindro de vidraça exigia uma excecional caixa torácica¹⁵.” (Mónica, 1981, p. 510).

“Ainda na década de 1920, as composições eram frequentemente feitas ao lado dos fornos, tendo os operários de usar lenços atados à boca para não comerem o pó. E lembrava que, devido à poluição do ambiente, quando bebiam água - coisa que os vidreiros tinham de fazer constantemente devido ao calor - aquela lhes sabia horrorosamente mal” (Mónica, 1981, p. 511).

Com esta descrição, é fácil entender que todo o calor proveniente dos enormes fornos abertos, a sede, o pó, e o sopro constante da “cana”, eram os grandes responsáveis pelas doenças profissionais na época. Os problemas respiratórios faziam com que os operários das oficinas de vidraça tivessem uma vida muito curta e aos 40 anos estivessem incapacitados de exercer a profissão. (Mónica, 1981)

A legislação portuguesa acerca das condições do ambiente térmico em contexto laboral industrial encontra-se na Portaria nº 53/71 (revista pela Portaria nº 702/80 de 22 de Setembro) onde se podem retirar as principais disposições no contexto deste trabalho:

Tabela 1.3. Principais disposições legais (Portaria 702/80 de 22 de Setembro)

Artigo 3º (Deveres da entidade patronal)	b) Adotar as medidas necessárias, de forma a obter uma correta organização e uma eficaz prevenção dos riscos que podem afetar a vida, integridade física e saúde dos trabalhadores ao seu serviço
Artigo 4º (Deveres dos trabalhadores)	c) Usar corretamente os dispositivos de proteção individual que lhes forem fornecidos e zelar pelo seu bom estado e conservação
Artigo 24º (Temperatura e humidade)	1 – As condições de temperatura e humidade dos locais de trabalho devem ser mantidas dentro de limites convenientes para evitar prejuízos à saúde dos trabalhadores ¹ 2- Nas indústrias em que os trabalhadores estejam expostos a temperaturas extremamente altas ou baixas devem existir câmaras de transição para aqueles trabalhadores possam arrefecer-se ou aquecer-se gradualmente até à temperatura ambiente 4 – Sempre que necessário, serão colocados resguardos, fixos ou amovíveis, para proteger os trabalhadores contra as radiações intensas de calor

1.3. Objetivos

¹ Recomendação – Quando, por condicionalismos tecnológicos não for possível ou conveniente modificar as condições de temperatura e humidade, deve providenciar-se de modo a proteger os trabalhadores contra temperaturas e humidades prejudiciais através de medidas técnicas localizadas ou meios de proteção individual ou, ainda, pela redução da duração dos períodos de trabalho no local. Não devem ser adotados sistemas de aquecimento que possam prejudicar a qualidade do ar ambiente (Portaria nº 702/80, de 22 de Setembro, artigo 24º)

Na sequência de outros estudos semelhantes desenvolvidos noutras áreas da indústria transformadora, nomeadamente nas áreas da metalúrgica, cerâmica, papelreira, fundição e panificação e, no âmbito da área da Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho, o presente trabalho pretende não só analisar o ambiente térmico na indústria vidreira mas também estudar os efeitos da exposição ao calor e analisar os possíveis casos de stresse térmico.

Para tal, as normas ISO 7243:1989, baseada no índice WBGT (*Wet Bulb Globe Temperature*), e ISO 7933:2004, apoiada no modelo PHS (*Predicted Heat Strain*), serão os instrumentos principais de avaliação do stresse térmico.

É objetivo deste estudo fazer uma compilação o mais vasta possível de todos os dados referentes a medições efetuadas nas indústrias vidreiras em Portugal ao longo dos últimos anos à luz destas duas normas internacionais. Além disso, analisar-se-á a influência da velocidade do ar, da pressão parcial de vapor e do tempo de trabalho, fazendo uma análise comparativa com a situação real e tentando apresentar soluções que minimizem o risco de stresse térmico.

1.4. Estrutura do trabalho

Este trabalho está estruturado por capítulos. Primeiramente, faz-se uma breve abordagem estatística e histórica das vidreiras portuguesas bem como a definição dos principais objetivos do trabalho

Seguidamente, abordam-se alguns conceitos fundamentais acerca de ambiente e conforto térmico, bem como o processo de termorregulação e a aclimatação. Irá também ser feito um breve resumo de alguns índices térmicos.

O terceiro capítulo refere-se à norma ISO 7243:1989 e ao seu índice térmico associado (WBGT). Serão aprofundados os conceitos gerais da norma, suas limitações e o seu processo de cálculo.

No quarto capítulo apresenta-se a norma ISO 7933:2004 e o modelo PHS que lhe serve de base. Abordar-se-á de uma forma pormenorizada todas as etapas de cálculo do modelo bem como a sua interpretação e validação.

No quinto capítulo procede-se à recolha, tratamento e organização de todos os dados e medições provenientes de trabalhos anteriores para análise bem como a

fundamentação de todos os valores que foram assumidos. É também feita a análise de resultados experimentais e o estudo do comportamento e influência de vários parâmetros, tendo como ferramenta base o modelo PHS.

O sexto capítulo será dedicado às conclusões finais.

2. AMBIENTES TÉRMICOS QUENTES: NOÇÕES GERAIS

O conhecimento de todas as características do ambiente térmico que rodeia o trabalhador é fundamental para empregar as melhores estratégias preventivas com vista a reduzir ao máximo possíveis riscos económicos e, principalmente, pessoais.

No entanto, foi apenas na década de 50 que foram realizadas as primeiras experiências com vista proteger os trabalhadores fazendo com que desempenhassem funções consoante as suas aptidões (Fanger, 1970).

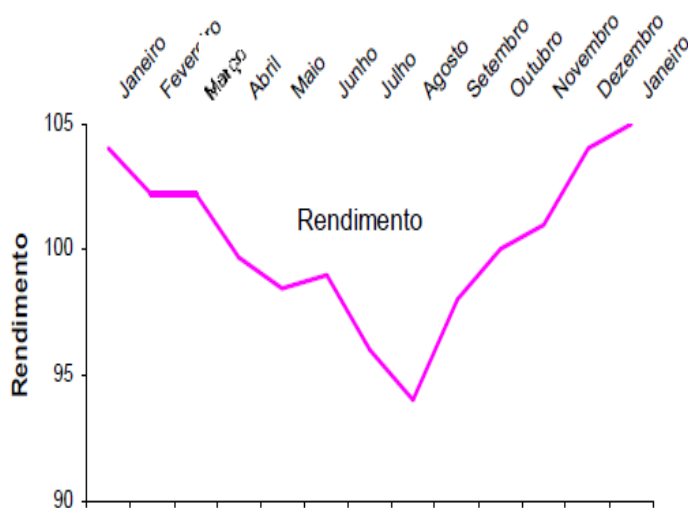


Figura 2.1 Variação do rendimento com a sazonalidade (Bedford, 1949)

Bedford (1949) estudou o impacto da temperatura ambiente em ambientes industriais fechados e concluiu que é nos meses de maior calor que se verifica o maior número de acidentes de trabalho (figura 2.1) e que, nesses meses, o rendimento do trabalhador diminui substancialmente (figura 2.2).

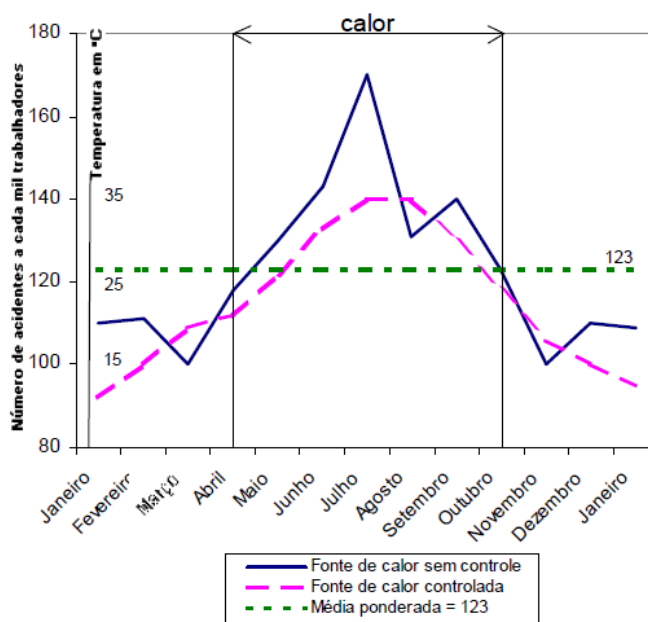


Figura 2.2 - Variação do número de acidentes de trabalho com a sazonalidade (Bedford, 1949)

2.1. Conforto térmico

Podemos definir ambientes térmicos quentes a partir da equação de balanço térmico:

$$M - W = C_{res} + E_{res} + K + C + R + E + S \quad [\text{W/m}^2] \quad (2.1)$$

A expressão iguala a diferença entre a taxa metabólica (M) e o trabalho mecânico externo (W) à soma das trocas de calor que englobam as trocas de calor por convecção (C_{res}) e evaporação (E_{res}) na respiração, trocas de calor por condução (K), convecção (C), radiação (R) e evaporação (E) e o armazenamento de calor no corpo (S)

Quando existe a percepção psicológica deste equilíbrio, pode-se falar em conforto térmico. A norma ASHRAE Standard 55 caracteriza o conforto térmico como uma condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico. Dependendo, deste modo, de aspetos físicos, biológicos e emocionais do indivíduo, concluímos que o conforto térmico é uma noção subjetiva: não é possível todos os ocupantes de um espaço,

com uma determinada condição térmica, estarem em concordância com o conforto ou desconforto térmico.

Fora deste equilíbrio térmico, os mecanismos de termorregulação do corpo humano podem, em certas circunstâncias, não conseguir manter a temperatura interna constante (37°C). Nestas situações, pode-se falar de stresse térmico, por calor ou frio.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) define o stresse térmico como a quantidade de calor que o corpo necessita produzir ou dissipar de modo a que se mantenha em equilíbrio térmico.

2.1.1. Fatores influenciadores do ambiente térmico

O conjunto de quatro variáveis de carácter ambiental e duas de carácter pessoal definem o ambiente térmico (Parsons, 2003).

Variáveis ambientais:

- Temperatura do ar, T_a
- Temperatura radiante, T_r
- Humidade, H
- Velocidade do ar, V_a

Variáveis pessoais:

- Taxa metabólica, M
- Vestuário, I_{cl}

Estas variáveis influenciam de diferentes formas os vários parâmetros da equação do balanço térmico, tal como mostra a Tabela 2.1

Tabela 2.1 – Principais variáveis envolvidas no balanço térmico entre o Homem e o ambiente (tabela 1 da ISO 7726, 1998)

Elementos do balanço térmico	Variáveis							
	T_{ar} Temp. ar	T_r Temp. média rad,	V_a Vel. ar	H Hum. ar	I_{cl} Isol. Vest.	R_{cl} Resist. Evap.	M Taxa metab.	W Trabalho mec.
Produção de calor, W							X	X
Transferência por radiação, R		X			X			
Transferência por convecção, C	X		X		X			
Evaporação pela pele, E			X	X		X		
Evaporação pela respiração, E_{res}				X			X	

2.1.2. Termorregulação

Em geral, a temperatura normal média nos humanos adultos situa-se entre 36,7°C e 37°C, quando medida na boca. A temperatura retal é geralmente usada como estimativa da temperatura interna, e é cerca de 0,6°C maior que na boca (Guyton; Hall, 2006). Pode-se definir a temperatura interna como a temperatura dos tecidos profundos do corpo.

A homeostasia é a propriedade que os seres vivos possuem de controlar a sua temperatura interna, de modo a ter uma condição estável, controlada por mecanismos termorreguladores.

A termorregulação faz-se a partir de recetores cutâneos térmicos, situados imediatamente debaixo da pele, em conjunto com os recetores de dor, que fornecem informação aos neurónios do hipotálamo anterior. Este, faz atuar diferentes mecanismos físicos e fisiológicos, consoante a intensidade e o tipo de estímulo (quente ou frio) (Estrela, 2013).

Estas respostas termorreguladoras mantêm, com uma variação de cerca de 1,5°C, a temperatura da pele a 35°C e a temperatura interna a 36,7°C. Na Figura 2.3 podemos ver um sumário do processo de termorregulação para estímulos quentes.

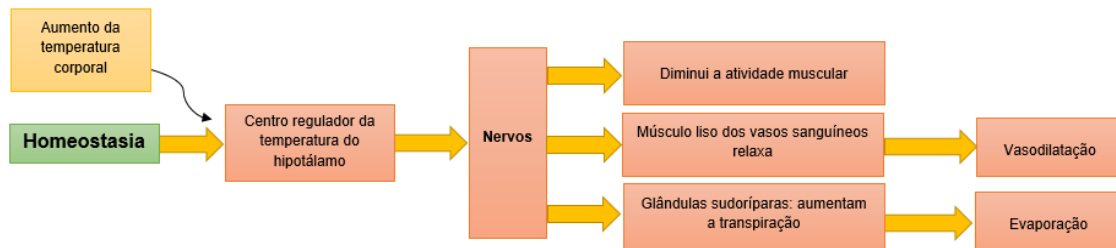


Figura 2.3 - Processo de termorregulação para estímulos quentes

2.1.3. Aclimação

A aclimação é o processo de adaptação fisiológica que aumenta a tolerância de um indivíduo a um dado ambiente térmico por um período longo (Martinet e Meyer, 1999). Todo este processo faz-se essencialmente à custa de variações do fluxo sanguíneo e ritmo cardíaco.

Bennet (1977) concluiu que a exposição progressiva a temperaturas extremas durante períodos de tempo cada vez maiores, vai fazendo com que o organismo do trabalhador se adapte a tempos de exposição maiores, ou seja, o trabalhador fica aclimatado ao calor. A Figura 2.4 mostra que, sendo aclimatado, o trabalhador tem uma diminuição na temperatura retal quando exposto a sobrecargas de trabalho em ambientes quentes. A exposição contínua nesse ambiente, por cerca de 90 minutos diários durante uma semana, melhora a transferência de calor corporal central para a pele devido às alterações fisiológicas ocorridas (Gambrell, 2002).

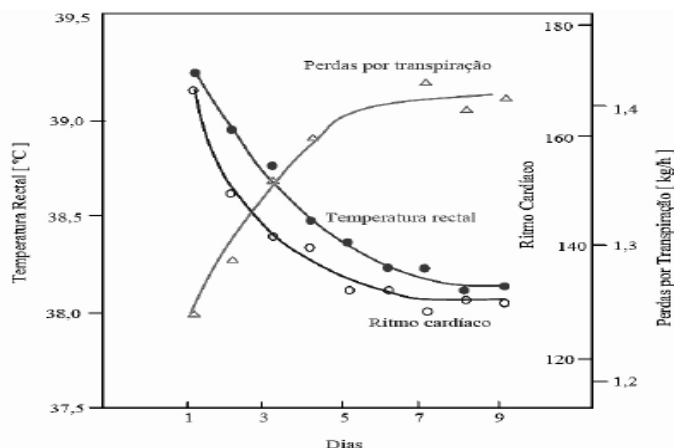


Figura 2.4. Influência da aclimatização (OMS, 1969)

Contudo, esta capacidade de aclimação não é igual de trabalhador para trabalhador e pode até variar no mesmo trabalhador, dependendo do seu estado e hábitos de saúde e do seu grau de aclimação para o ambiente em causa.

Podemos, deste modo, depreender que a aclimação é um fenómeno pessoal de adaptação ao calor e ao frio. Deve-se, também, ter em conta outros aspetos tais como uma boa preparação física, uma adequada reposição hídrica e eletrolítica, uma constante monitorização médica, o uso de equipamento de proteção individual e limitar o tempo de exposição (Estrela, 2003).

Concluindo, tanto o tema da termorregulação humana como do stresse térmico são questões cruciais que devem ser rigorosamente analisadas com vista a um planeamento adequado das instalações laborais, horários de trabalho e do tipo de vestuário a usar.

2.1.4. Consequências do stresse térmico

Ambientes termicamente violentos podem conduzir a uma situação de stresse térmico e originar malefícios irrecuperáveis no trabalhador.

Logo após o nível de conforto térmico, podem estar em causas perturbações psicológicas que vão desde uma simples sensação de incómodo a uma diminuição considerável da produtividade em tarefas que exigem agilidade manual. Assim que o nível de stresse térmico aumenta, verificam-se os mecanismos de atuação da termorregulação

(aumento do ritmo cardíaco, aumento da taxa de sudção, etc.) e só quando estes mecanismos não forem suficientes para manterem o equilíbrio térmico corporal é que se verificará o aumento da temperatura interna do corpo.

Tabela 2.2. Consequências do stresse térmico (Sá, 1999)

Designação	Consequência
Choque térmico (Subida contínua da temperatura)	- Convulsões e alucinações; - Coma (42 – 45 °C); - Morte
Colapso térmico (Aumento acentuado da pressão arterial, incremento do fluxo sanguíneo)	- Vertigens, tonturas; - Transpiração muito intensa; - Dores de cabeça fortes;
Desidratação (Perda de água excessiva, taxa de sudção muito elevada)	- Diminuição da capacidade mental; - Diminuição da destreza; - Aumento do tempo de reação
Desmineralização (Perda de sais não compensada, ingestão de água não compensada)	- Cãibras térmicas

As consequências físicas da exposição ao calor vão desde insuficiências respiratórias ao aumento da frequência cardíaca, conjuntivites, cataratas, vermelhidões, lesões cerebrais e mesmo a morte. (Figura 2.7, Figura 2.6 e Figura 2.5)



Figura 2.7 - Conjuntivite



Figura 2.6 - Cataratas



Figura 2.5 - Dermatite

2.2. Índices Térmicos

O melhor método para avaliação do nível de stresse térmico seria, naturalmente, a medição de indicadores fisiológicos (taxa de sudção, nível de

desidratação, temperatura corporal, etc.). No entanto, como é compreensível, a medição destes indicadores, principalmente a nível industrial, não é exequível.

Deste modo, foi necessário criar indicadores que possibilitassem fazer uma avaliação do nível de stresse térmico a que o trabalhador está sujeito em função dos parâmetros térmicos e pessoais presentes. Estes indicadores denominam-se índices térmicos e na Tabela 2.3. podemos ver o resumo de alguns índices mais relevantes.

Neste trabalho, os índices a serem utilizados serão o WBGT, que serve de base à norma ISO 7943:1989, e o modelo PHS que serve de base à norma ISO 7933:2004. O motivo do uso destes dois índices prende-se com o facto da facilidade de aplicação do índice WBGT e com a vasta e detalhada informação que o modelo PHS fornece.

Tabela 2.3 - Resumo de alguns índices térmicos (Carvalhais, 2011)

Índice	Nome	Desenvolvido por:	Método	Tipo de Índice
EC	Índice Equatorial de Conforto	Webb (1960)	Correlação entre a temperatura, pressão e velocidade do ar com a temperatura do ar saturado e parado	Sensação Térmica
ET	Temperatura efetiva	Houghten et al (1923)	Baseada na combinação da temperatura de bolbo seco e de bolbo húmido e da velocidade do vento.	Sensação Térmica
ET*	Nova Temperatura efetiva ou temperatura efetiva corrigida	Vernon e Warner (1932)	Substitui a temperatura de bolbo seco pela temperatura de globo (para consideração dos efeitos da radiação).	Sensação Térmica
HRP	Taxa Cardíaca Prevista	Fuller e Brouha, (1966)	Índice simples que se baseia na estimativa da taxa cardíaca em batimentos/min	Esforço fisiológico
HSI	Índice de Stress por calor	Belding e Hatch (1955)	Baseado no balanço térmico	Esforço fisiológico
HU	Humidex	Richardson (1979)	Fornecer uma temperatura equivalente em função dos valores da temperatura e da humidade do ar.	Esforço fisiológico
ITS	Índice de Stress Térmico	Givoni (1963)	Versão melhorada do HSI	Esforço fisiológico
P4SR	Taxa de suor estimada para 4 horas	McAriel et al (1947)	Com base na avaliação de respostas fisiológicas num período de 4 horas sob determinada condição térmica	Esforço fisiológico
PHS	Sobrecarga Térmica Prevista	Malchaire et al (2004)	Consiste numa versão revista e melhorada do SWreq. Serve de base para a versão atual da ISO 7933	Esforço fisiológico
RT	Temperatura resultante	Missenard (1948)	A partir de experiências similares às da T. Efetiva.	Sensação Térmica
SWreq	Sudação requerida	Vogt et al (1981)	Baseado na taxa de suor requerida, a partir do HSI e do ITS. Segue a norma ISO7933	Esforço fisiológico

WBGT	Índice de Bolbo húmido e temperatura de Globo	Yaglou e Minard (1957)	Baseado na temperatura de globo e de bolbo húmido. A Avaliação deste índice segue as normas ISSO/DIS 7243 1982	Esforço fisiológico
WD	Índice de Oxford	Linde et al, 1957	Baseia-se na temperatura de bolbo húmido e de bolbo seco. Não é apropriado quando existe calor radiante.	Esforço fisiológico
WGT	Índice de bolbo húmido	Olesen (1985)	Baseado na temperatura de globo húmida. Em certas condições pode ser relacionado com o WBGT	Esforço fisiológico

3. NORMA ISO 7243:1989

A Norma ISO 7243:1989 é baseada no Índice WBGT (*Wet-bulb globe temperature*) 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, funcionando, deste modo, como uma ferramenta de triagem. Contudo, para uma avaliação mais rigorosa do stresse térmico, deve ser complementado com outros métodos que serão analisados adiante.

3.1. INDICE WBGT

3.1.1. Generalidades

O WBGT é hoje em dia o índice de stresse térmico mais utilizado, no entanto, muitos utilizadores não conhecem a sua história e as suas limitações. O WBGT foi criado por David Minard e Constantine Yaglou em 1957 e utilizado pela primeira vez durante a década de 50 como um elemento numa bem-sucedida campanha que visava controlar surtos de doença causada pelo calor em campos de treino do exército dos Estados Unidos e corporações de Marines. A aplicação de medidas de controlo, a todos os recrutas por igual, baseadas na temperatura e humidade do ar foi eficaz mas acarretava custos excessivos relacionados com a diminuição do tempo de treino. Em 1956 foram introduzidas novas medidas de controlo que vieram contribuir para uma redução da incidência de doenças relacionadas com o calor e que implicavam um menor tempo de treino perdido. As principais inovações passavam por:

- Substituir as medições de temperatura e humidade do ar pelo índice WBGT que, adicionalmente, tem em consideração o sol e o vento;

- Utilizar registos epidemiológicos de causalidade para identificar os níveis de WBGT prejudiciais e quais seriam os recrutas mais vulneráveis;
- Na presença de baixos níveis de WBGT, proteger os indivíduos mais vulneráveis suspendendo as atividades e, posteriormente, aumentar a sua tolerância ao calor integrando-os em unidades especiais.

Tabela 3.1 - Níveis de WBGT limite no treino militar (Oliveira, 1998)

WBGT [°C]	Atuação
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 influencia direta do sol
31	Cancelar toda a atividade física
32,2	Limitar a atividade a tropas aclimatadas; não exceder seis horas por dia

A ISO (International Standard Organisation) validou este índice em 1982 como metodologia para a avaliação de condições de trabalho em ambientes térmicos quentes.

3.1.2. Limitações do WBGT

A maior limitação do WBGT relaciona-se com o facto de que ambientes num determinado valor do índice em que a evaporação por transpiração é restrita (por elevados níveis de humidade ou velocidades baixas do ar) representam um maior nível de stresse térmico do que ambientes em que a evaporação se faz livremente. Não se recomenda a sua utilização para ambientes muito secos (humidades relativas inferiores a 30%), uma vez que não considera a excessiva perda de água por sudação. Como qualquer índice que integra elementos do ambiente térmico, a interpretação dos níveis de WBGT observados requer uma avaliação cuidada da atividade do indivíduo, vestuário e de muitos outros fatores que podem introduzir erros na previsão dos efeitos adversos. Além disso, a precisão do WBGT

é afetada por erros de medição associados a instrumentação não padronizada e procedimentos de calibração incorretos.

Segundo d'Ambrosio Alfano et al. (2014) verifica-se que, apesar das aproximações e inconsistências deste índice, mesmo 60 anos após a sua primeira formulação, o índice WBGT não se atualizou. É “*desconhecida, errónea ou incompreensível*” (idem, pág. 14) a justificação para que sejam tidos em conta os parâmetros em falta na atualização do índice, sendo recomendável, segundo os mesmos autores, optar por um novo índice.

Deste modo, o WBGT apenas pode ser visto como um guia generalizado para a probabilidade da ocorrência de efeitos adversos relacionados com o calor e não deve ser aplicável a avaliação de stresse térmico em períodos muito pequenos ou próximos da zona de conforto térmico.

3.1.3. Cálculo

A influência das características ambientais básicas (temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade e humidade do ar) podem ser calculadas através de parâmetros ambientais derivados: a temperatura de bolbo húmido natural (T_{bhn}) e a temperatura de globo (T_g). Em casos de medições exteriores (com presença de radiação solar) é necessária também a temperatura do ar (T_a):

- Em ambientes interiores e/ou sem exposição solar direta:

$$WBGT = 0,7 \times T_{bhn} + 0,3 \times T_g \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (3.1)$$

- Em ambientes exteriores com exposição solar direta:

$$WBGT = 0,7 \times T_{bhn} + 0,2 \times T_g + 0,1 \times T_a \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (3.2)$$

Em casos de ambientes heterogêneos², onde os parâmetros do espaço em redor do indivíduo não são constantes, o WBGT deve ser calculado em três posições diferentes (nível da cabeça, abdómen e tornozelo da pessoa) nas seguintes posições (Tabela 3.2 e Figura 3.1):

Tabela 3.2 - Alturas recomendadas para localização dos sensores (ISO 7243:1989)

Localização dos sensores	Alturas recomendadas	
	Pessoa sentada	Pessoa em Pé
Nível da cabeça	1.1 m	1.7 m
Nível do abdómen	0.6 m	1.1 m
Nível do tornozelo	0.1 m	0.1 m

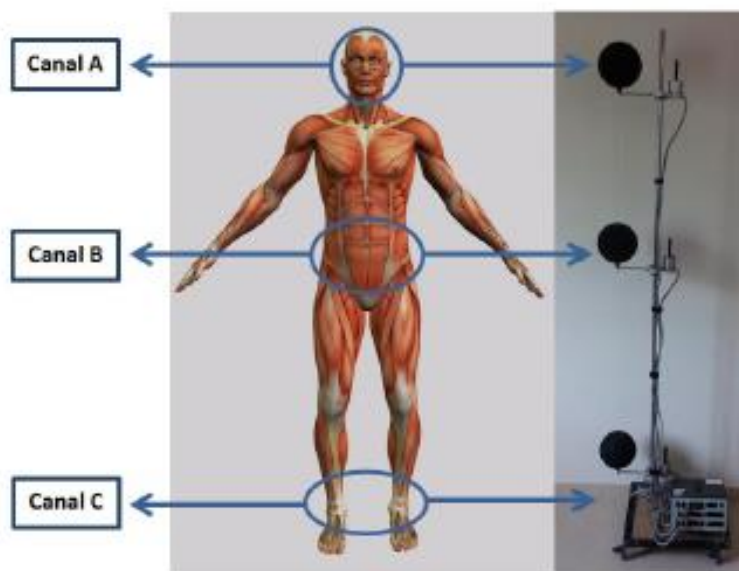


Figura 3.1 - Figura ilustrativa da localização dos sensores (Estrela, 2013)

O valor médio ponderado para o cálculo do WBGT é dado pela equação:

$$WBGT_p = \frac{WBGT_{cabeça} + 2 \times WBGT_{abdómen} + WBGT_{tornozelo}}{4} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (3.3)$$

² O cálculo do WBGT pode ser realizado apenas para o nível do abdómen em casos de ambientes homogêneos (heterogeneidade < 5%) (Estrela, 2003)

Se durante o horário de trabalho o trabalhador estiver a diferentes condições ambientais, então o WBGT médio deve ser ponderado em função do tempo (t_i) a que está sujeito em cada condição:

$$WBGT_{pm\u00e9dio} = \frac{\sum_{i=1}^n WBGT_i \times t_i}{t_i} \quad (3.4)$$

Caso os trabalhadores estejam sujeitos a funções com diferentes exigências metabólicas:

$$met_{m\u00e9dio} = \frac{\sum_{i=1}^n met_i \times t_i}{t_i} \quad (3.5)$$

Calculado o WBGT, é necessário fazer a comparação com os valores da tabela de referência Tabela 3.3:

Tabela 3.3. Valores de referência de WBGT (ISO 7243:1989)

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

Os valores da Tabela 3.3 assumem que o indivíduo é aclimatado, tem um isolamento térmico, $I_{cl} = 0,6$, a temperatura retal máxima é 38 °C e está fisicamente apto para o exercício da função.

3.1.4. Medição das variáveis ambientais

As medições dos parâmetros ambientais (temperatura de bolbo húmido natural, temperatura de globo e temperatura do ar) devem ser realizadas no período do dia mais desfavorável, ou seja, perto do meio-dia solar e nos meses de maior calor, com vista a potenciar os resultados.

A duração das medições deve ser de 60 minutos, a ser efetuada após a estabilização dos sensores. As características dos sensores de temperatura estão referidas no ANEXO A (ISO 7243:1989).

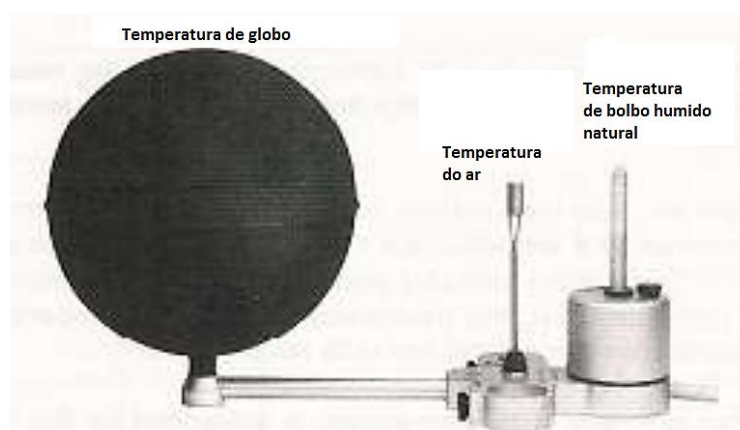


Figura 3.2. Exemplos de sensores usados na avaliação do WBGT

A medição da temperatura de globo tem em consideração o calor radiante existente no ambiente de trabalho. O sensor de temperatura fica posicionado no centro de um globo negro e as diferenças de temperaturas entre o interior e exterior do globo não deverão ser significativas.

O sensor da temperatura de bolbo húmido natural é coberto por uma mecha humedecida sujeita a convecção natural. O efeito da evaporação de suor na pele é previsto se se verificar a evaporação da água na mecha, que diminuirá a temperatura do sensor.

A norma não faz referência às características do sensor de temperatura do ar, apenas aconselha um mecanismo de proteção que permita a convecção natural em torno do sensor.

3.1.5. Medição do metabolismo

A determinação da taxa metabólica está descrita na norma ISO 8996:2004. Esta pode ser determinada através de avaliações ao consumo de oxigénio ou a partir de valores de referência descritos na norma. Dado que as medições diretas do consumo de oxigénio não são facilmente aplicáveis em meio industrial, estima-se o valor da taxa metabólica dependendo da atividade física contínua que o trabalhador está a desempenhar (Tabela 3.4).

A norma em questão refere, ainda, a possibilidade do cálculo da taxa metabólica em função da área de corpo envolvida e da intensidade de trabalho para determinada parte do corpo ou em função de uma atividade específica.

Tabela 3.4. Exemplos de atividades para as diferentes classes metabólicas (adaptado da ISO 7243:1989)

Classe da Taxa M	Relativa à Unidade de área ($W.m^{-2}$)	Taxa Total (W)	Exemplos
0 (repouso)	$M \leq 65$	$M \leq 117$	Repouso
1 (taxa metabólica baixa)	$65 < M \leq 130$	$117 < M \leq 234$	Sentado: trabalho manual leve (escrever, desenhar, costurar...); trabalho de braços e mãos (pequenas ferramentas de bancada); trabalho de pernas e braços (guiar um veículo em condições normais, acionar botões e pedais). Em pé: operar com ferramentas de baixo esforço; operar com berbequins, fresadoras, laminadoras, etc. Caminhar (até 3,5km/h)
2 (taxa metabólica)	$130 < M \leq 200$	$234 < M \leq 360$	Em pé: trabalho contínuo de mãos e braços (martelar, etc.); trabalho contínuo de braços e pernas (conduzir tratores,

moderada)			<p>camiões); trabalho de braços e tronco (cavar, forjar, usar martelo pneumático, empacotar, limpar, apanhar frutas ou vegetais, etc.)</p> <p>Caminhar (3,5km/h a 5,5km/h)</p>
3 (taxa metabólica elevada)	$200 < M \leq 260$	$360 < M \leq 468$	<p>Trabalho intenso de tronco e braços, carregar material pesado. Trabalho com pá, martelo de forja, serrar, podar, trabalhar com plaina ou torno mecânico etc.)</p> <p>Puxar ou empurrar carros de mão cheios.</p> <p>Caminhar (5.5km/h a 7km/h)</p>
4 (taxa metabólica muito elevada)	$M > 260$	$M > 468$	<p>Atividades fatigantes com ritmos intensos. Trabalhos com machado, cavar em ritmo acelerado. Subir escadas ou rampas. Correr ou caminhar com velocidades superiores a 7km/h</p>

4. NORMA ISO 7933:2004

A Norma ISO 7933:2004 surge de uma revisão da Norma ISO 7933:1989 que se apoia no índice SR (Sudação Requerida). Este índice descreve um método para o cálculo do balanço térmico e da taxa de suor requerida pelo corpo, para manter esse balanço em equilíbrio. Contudo, a norma de 1989 é bastante criticada em vários estudos (Malchaire, 2001) que apontam as suas limitações:

- Previsão da temperatura da pele;
- Influência do vestuário na troca de calor por convecção e evaporação;
- Efeito do movimento do corpo no isolamento térmico do vestuário;
- Aumento da temperatura interna do corpo em função da atividade desenvolvida;
- Previsão do tempo limite máximo de exposição permitido;
- Perda máxima de água permitida.

A partir destas necessidades, foi efetuada a revisão da norma ISO 7933:1989 nos seguintes aspetos (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 (retal) e taxa de sudação;
- O critério para a determinação do tempo limite de exposição, tendo em consideração as diferenças entre os trabalhadores.

4.1. Princípios e métodos de avaliação

O método de interpretação da norma ISO 7933 (2004) estuda o balanço térmico do trabalhador em função de:

(a) Parâmetros característicos do ambiente, calculados de acordo com a norma ISO 7726:

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

(b) Parâmetros característicos individuais:

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

4.2. Principais etapas de cálculo

O processo de cálculo da norma ISO 7933:2004 é semelhante ao da norma ISO 7933:1989 até ao sub-capítulo 4.3.1. Só a partir desse ponto são considerados os aspetos de revisão.

As etapas de cálculo da norma ISO 7933:2004 vão, de seguida, ser expostas.

4.2.1. Equação do balanço térmico

A equação do balanço térmico pode ser escrita da seguinte forma:

$$M - W = C_{res} + E_{res} + K + C + R + E + S \quad [\text{W/m}^2] \quad (4.1)$$

em que o significado de cada um dos termos encontra-se anteriormente na equação (2.1)

4.2.2. Taxa metabólica, M

O cálculo da taxa metabólica é descrito na Norma *ISO 8996:2004* que pode ser encontrada no ANEXO C

Esta norma especifica os diferentes métodos de cálculo da taxa metabólica que se podem fazer, associando os respetivos erros, e estima o valor da taxa consoante o cargo ocupado pelo trabalhador ou pelo tipo de atividade específica desenvolvida ou até em função das partes do corpo envolvidas na atividade.

4.2.3. Trabalho Mecânico Externo, W

Em ambiente industrial, o trabalho mecânico externo é reduzido, podendo ser desprezável.

4.2.4. Troca De Calor Por Convecção Na Respiração, C_{res}

A convecção respiratória é descrita pela seguinte equação:

$$C_{res} = 0,072 \times C_p \times V \times \frac{t_{ex} - t_a}{A_{Du}} \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (4.2)$$

C_p [J/ (Kg. °C)] é o calor específico do ar seco a pressão constante, V [L/min] o caudal mássico da respiração, t_{ex} [°C] é a temperatura do ar expirado, t_a [°C] é a temperatura ambiente e A_{Du} [m²] a área da superfície corporal de *DuBois*.

Na aplicação do algoritmo do programa de cálculo, o cálculo da troca de calor por convecção na respiração, C_{res} , é feito com base na expressão empírica:

$$C_{res} = 0,0152 \times M \times (28,56 + 0,885 \times t_a + 0,641p_a) \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (4.3)$$

4.2.5. Troca De Calor Por Evaporação Na Respiração, E_{res}

A evaporação respiratória pode ser descrita pela equação:

$$E_{res} = 0,072 \times C_e \times V \times \frac{w_{ex} - w_a}{A_{Du}} \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (4.4)$$

C_e [J/ (Kg. °C)] é o calor latente de evaporação de água, w_{ex} [Kg_{água}/Kg_{ar seco}] é a humidade específica do ar expirado e w_a [Kg_{água}/Kg_{ar seco}] é a humidade específica do ar inspirado

O cálculo da evaporação respiratória no modelo PHS é feita com base na expressão empírica:

$$E_{res} = 0,00127 \times M \times (59,34 + 0,53 \times t_a - 11,63p_a) \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (4.5)$$

4.2.6. Troca de calor por condução, K

O fluxo de calor por condução nas superfícies do corpo em contato com objetos sólidos é semelhante (quantitativamente) às perdas de calor por convecção e radiação que ocorreriam se essas superfícies não estivessem em contato com qualquer corpo sólido. Assim, o fluxo de calor por condução não é diretamente tido em conta.

4.2.7. Troca De Calor Por Convecção, C

A troca de calor por convecção na superfície da pele é expressa pela equação:

$$C = h_{cdyn} \times f_{cl} \times (t_{sk} - t_a) \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (4.6)$$

h_{cdyn} [W/ (m².°C)] é o coeficiente de transferência de calor por convecção entre o vestuário e o meio envolvente. Este fator tem em consideração não só as características do vestuário mas também o movimento da pessoa e do ar. O f_{cl} [adm] é o fator de redução para trocas de calor sensível devido ao uso de roupas e t_{sk} [°C] é a temperatura média da pele.

O coeficiente h_{cdyn} pode ser calculado a partir do maior valor das seguintes expressões:

$$2,38 \times |t_{sk} - t_a|^{0,25} \quad (4.7)$$

$$3,25 + 5,2 \times v_{ar} \quad (4.8)$$

$$8,7 \times v_{ar}^{0,6} \quad (4.9)$$

em que v_{ar} [m/s] é a velocidade do ar

4.2.8. Troca de calor por radiação, R

A troca de calor por radiação na superfície da pele, R é uma função característica do vestuário, postura, temperatura média da pele, e da temperatura radiante média do meio. Pode ser calculada a partir de:

$$R = h_r \times f_{cl} \times (t_{sk} - t_r) \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (4.10)$$

em que h_r [W/ (m². °C)] representa o coeficiente de transferência de calor por radiação entre o vestuário e o meio ambiente e t_r é a temperatura média radiante.

h_r pode ser avaliado aplicando a equação:

$$h_r = 5,67 \times 10^{-8} \times \varepsilon \times \frac{A_r}{A_{Du}} \times \frac{(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4}{t_{cl} - t_r} \quad (4.11)$$

em que ε [adm] é a emissividade e $\frac{A_r}{A_{Du}}$ a parte da superfície de pele envolvida nas trocas de calor por radiação.

Tabela 4.1. Valor da fração da superfície de pele envolvida nas trocas de calor por radiação em função da posição

Posição	$\frac{A_r}{A_{Du}}$
Agachado	0,67
Sentado	0,70
Em pé	0,77

A temperatura da superfície de vestuário, t_{cl} pode ser calculada mediante processos iterativos e, no caso de roupa refletiva, h_r deve ser multiplicado por um fator de correção, $F_{cl,r}$:

$$F_{cl,r} = (1 - A_p) \times 0,97 + A_p \times F_r \quad (4.12)$$

A_p [adm] é a fração da superfície corporal coberta pelo vestuário refletivo, e F_r [adm] é a emissividade do vestuário refletivo.

4.2.9. Troca de calor por evaporação de suor da superfície da pele, E

A evaporação de suor da superfície da pele apresenta duas situações diferentes:

4.2.9.1. No caso de pele totalmente humedecida (troca de calor máxima):

$$E_{m\acute{a}x} = \frac{p_{sk,s} - p_a}{R_{tdyn}} \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (4.13)$$

R_{tdyn} [m².kPa/W] é a resistência total entre a camada limite de ar e o vestuário à evaporação (resistência evaporativa). $p_{sk,s}$ é a pressão de saturação de vapor de água à temperatura da pele e p_a é a pressão atmosférica, ambas expressas em [kPa].

O cálculo de R_{tdyn} está descrito no ANEXO C

4.2.9.2. No caso de pele parcialmente humedecida:

$$E = w \times E_{m\acute{a}x} \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (4.14)$$

w [adm] é o humedecimento cutâneo.

4.2.10. Armazenamento de calor no corpo, S

O armazenamento de calor no corpo, S [W/m²] é calculado através da soma algébrica de todos os fluxos de calor calculados anteriormente

4.2.11. Cálculo da troca de calor requerida por evaporação, E_{req} , do humedecimento cutâneo requerido, w_{req} e da taxa de sudação requerida, Sw_{req}

Com todas as anteriores considerações, a equação geral do balanço térmico (4.1) pode-se escrever:

$$E + S = M - W - C_{res} - E_{res} - C - R \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (4.15)$$

Partindo do princípio que o equilíbrio térmico está garantido, não ocorre armazenamento de calor no corpo, logo $S = 0$.

Deste modo, a troca de calor requerida por evaporação (E_{req}) vem:

$$E_{req} = M - W - C_{res} - E_{res} - C - R - dS_{eq} \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (4.16)$$

O humedecimento cutâneo requerido vem:

$$w_{req} = \frac{E_{req}}{E_{m\acute{a}x}} \quad (4.17)$$

Finalmente, a taxa de suor requerida, Sw_{req} :

$$Sw_{req} = \frac{E_{req}}{r_{req}} \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (4.18)$$

em que r_{req} [adm] é a eficiência evaporativa.

4.3. Etapas de cálculo necessárias no modelo PHS

Seguidamente, serão clarificados os processos de cálculo e equações presentes exclusivamente no algoritmo do modelo PHS.

4.3.1. Armazenamento de calor associado à taxa metabólica, dS_{eq}

Mesmo em ambientes neutros, a temperatura corporal interna sobe exponencialmente e atinge um valor constante após um determinado tempo. Esta temperatura interna de equilíbrio é função da taxa metabólica e da potência aeróbia da pessoa.

A temperatura interna de equilíbrio pode ser calculada de acordo com a expressão:

$$t_{cr,eq} = 0,0036 (M - 55) + 36,8 \quad (4.19)$$

Esta temperatura atinge o equilíbrio de acordo com um sistema de primeira ordem com uma constante de dez minutos:

$$t_{cr} = 36,8 + (t_{cr,eq} - 36,8) \times \left(1 - \exp\left(\frac{-t}{10}\right)\right) \quad (4.20)$$

Como o armazenamento de calor associado a este aumento de temperatura, dS_{eq} , não contribui para o aparecimento de suor e deve portanto ser incluído na equação do balanço térmico:

$$dS_{eq} = C_{sp} \times (t_{cr,eqi} - t_{cr,eqi-1}) \times (1 - \alpha) \quad (4.21)$$

em que C_{sp} [W/m²] é o calor específico do corpo, $t_{cr,eq i-1}$ [°C] a temperatura interna como função da taxa metabólica em $t = i - 1$ e α [adm] representa a fração de massa corporal à temperatura da pele.

4.3.2. Temperatura média da pele

As 1113 experiências desenvolvidas (Malchaire, 2006) levaram à apresentação de modelos de previsão da temperatura em indivíduos “nus” ($I_{cl} \leq 0,2 \text{ clo}$):

$$T_{sk,eq \text{ nu}} = 7,19 + 0,064 \times T_a + 0,061 \times T_r + 0,198 \times p_a - 0,348 \times v_a + 0,616 \times T_{re} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4.22)$$

e em indivíduos “vestidos” (I_{cl} entre $0,6 \text{ clo}$ e 1 clo):

$$T_{sk,eq \text{ cl}} = 12,17 + 0,020 \times T_a + 0,044 \times T_r + 0,194 \times p_a - 0,253 \times v_a + 0,00297 \times M + 0,513 \times T_{re} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4.23)$$

Se I_{cl} se encontrar entre 0,2 e 0,6 clo:

$$T_{sk,eq} = T_{sk,eq \text{ nu}} + 2,5 \times (T_{sk,eq \text{ cl}} - T_{sk,eq \text{ nu}}) \times (I_{cl} - 0,2) \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Em ambos os modelos, mais de 80% dos valores previstos estavam numa gama de $\pm 1^\circ\text{C}$ em relação aos valores observados experimentalmente.

A temperatura da pele instantânea, $T_{sk,i}$ [°C] é dada por:

$$T_{sk,i} = 0,7165 \times T_{sk,i-1} + 0,2835 \times T_{sk,eq}$$

4.3.3. Parâmetros do isolamento térmico do vestuário

No desenvolvimento deste novo modelo, foi tida em atenção a influência da velocidade e direção do ar, bem como da velocidade de deslocamento da pessoa e da atividade. O efeito combinado entre o movimento do corpo e a ação do vento sobre o vestuário é um dos pontos mais importantes que esta norma apresenta, algo que a norma ISO 7933:1989 não contemplava.

4.3.3.1. Para condições estáticas de trabalho:

Em indivíduos “nus”, as trocas sensíveis de calor são dadas por:

$$C + R = \frac{t_{SK} - t_a}{I_{tot\ st}} \quad (4.24)$$

$I_{tot\ st}$ é a resistência de calor estática, $I_{tot\ st} = 0,111 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$

Em indivíduos “vestidos”:

$$I_{tot\ st} = I_{cl\ st} + \frac{I_{a\ st}}{f_{cl}} \quad (4.25)$$

em que $f_{cl} = 1 + 1,97 I_{cl\ st}$ é o fator de área do vestuário

4.3.3.2. Para condições dinâmicas de trabalho:

Em condições dinâmicas, é necessária a correção do isolamento do vestuário.

Assim:

$$I_{tot\ dyn} = C_{orr,tot} \times I_{tot\ st} \quad (4.26)$$

$$I_{a\ dyn} = C_{orr,la} \times I_{a\ st} \quad (4.27)$$

$$C_{orr,tot} = C_{orr,cl} = e^{(0,043+0,398v_{ar}+0,06v_{ar}^2-0,378v_w+0,094v_w^2)} \quad (4.28)$$

Para $I_{cl} \geq 0,6 \text{ clo}$:

$$C_{orr,tot} = C_{orr,la} = e^{(-0,472v_{ar}+0,047v_{ar}^2-0,342v_w+0,117v_w^2)} \quad (4.29)$$

Para $0 \leq I_{cl} \leq 0,6$ clo:

$$C_{orr,tot} = (0,6 - I_{cl})C_{orr,la} + I_{cl} \times C_{orr,cl} \quad (4.30)$$

com $v_{ar} \leq 3m/s$ e $v_w \leq 1,5m/s$

Se v_w não estiver definido ou se o indivíduo estiver em repouso, então:

$$v_w = 0,0052(M - 58), \quad v_w \leq 0,7m/s \quad (4.31)$$

Finalmente, $I_{cl\ dyn}$ pode ser derivado de:

$$I_{cl\ dyn} = I_{tot\ dyn} - \frac{I_{a\ dyn}}{f_{cl}} \quad (4.32)$$

4.3.4. Cálculo da eficiência evaporativa, r_{req}

Em situações que $w_{req} = \frac{E_{req}}{E_{m\acute{a}x}} > 1$ significa que a taxa de evaporação requerida é maior que a taxa de evaporação máxima, ou seja, a superfície da pele irá estar completamente coberta por água, fazendo com que seja mais difícil o processo de evaporação, ou seja, a eficiência de evaporação é baixa.

Se $w_{req} = \frac{E_{req}}{E_{m\acute{a}x}} \leq 1$:

$$r_{eq} = \frac{1 - w_{req}^2}{2}$$

Se $w_{req} = \frac{E_{req}}{E_{m\acute{a}x}} \geq 1$:

$$r_{eq} = \frac{2 - w_{req}^2}{2}$$

Este valor é, no mínimo, 5%, quando se verifica um humedecimento teórico de 1,684

4.3.5. Cálculo da temperatura retal, t_r

O armazenamento de calor, S, leva a um aumento da temperatura interna.

$$S = E_{req} - E_p + S_{eq}$$

A fração de massa corporal que se encontra à temperatura interna é dada por:

$$(1 - \alpha) = 0,7 + 0,09 \times (t_{cr} - 36,8)$$

Esta fração é limitada por:

$$0,7 \text{ para } t_{cr} < 36,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$0,9 \text{ para } t_{cr} > 39,0 \text{ }^\circ\text{C}$$

A temperatura interna no instante $t = i$ ou $t = i - 1$:

$$t_{cr,i} = \frac{1}{1 - \frac{\alpha}{2}} \times \left(\frac{dS_i}{C_p W_b} + t_{cr,i-1} - \frac{t_{cr,i-1} - t_{sk,i-1}}{2} \alpha_{i-1} t_{sk,i} \times \frac{\alpha_i}{2} \right)$$

Finalmente, a temperatura retal:

$$t_{re,i} = t_{re,i-1} + \frac{2 \times t_{cr,i} - 1,962 \times t_{re,i-1} - 1,31}{9}$$

4.4. Interpretação de resultados e validação do modelo

No modelo PHS são utilizados dois critérios de stresse térmico:

- Humedecimento cutâneo máximo (w_{max})
- Taxa de sudação máxima (Sw_{max})

E dois critérios de tensão térmica:

- Temperatura retal máxima ($t_{re,max}$)
- Perda de água máxima (D_{max})

Os valores requeridos da taxa de sudação e do humedecimento cutâneo não devem ultrapassar os seus valores máximos respetivos tal como a temperatura retal não deve ultrapassar os 38 °C (OMS, 1969).

Se o individuo tiver uma boa reposição de água, a perda máxima de água está fixada em 7,5% da massa corporal (para indivíduos comuns) ou 5% (para 95% da classe trabalhadora). Se não houver uma reposição de água adequada, este valor não deve ultrapassar 3% da massa corporal do individuo.

Os valores máximos destes parâmetros não podem ultrapassar os valores de referência definidos na norma, resumidos na Tabela 4.2

Tabela 4.2. Valores de referência máximos (Rodrigues, 2006)

	Não aclimatado	Aclimatado
Humedecimento cutâneo máximo, w_{max} [adm]	0,85	1,0
Taxa de sudação máxima Sw_{max} [W/m^2]	$(M-32)A_{Du}$	$1,25(M-32)A_{Du}$
Perda de água e desidratação máximas,		
D_{max50} [% de massa corporal]	7,5	7,5
D_{max95} [% de massa corporal]	5	5
Temperatura retal máxima, $T_{re,max}$ [°C]	38	38

Todas as equações descritas nas diferentes etapas de cálculo do modelo PHS podem, futuramente, vir a ser alteradas em função do conhecimento que se vá adquirindo e foram validadas em 747 experiências laboratoriais e 366 avaliações de campo. A Tabela 4.3 descreve os valores dos parâmetros que podem ser considerados para que o modelo seja válido. Se um ou mais valores estiverem fora deste intervalo, a norma ISO 7933:2004 recomenda especial precaução na aplicação do modelo atual.

Tabela 4.3. Gamas de valores para validação do modelo PHS (ISO 7933:2004)

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

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

5.1. Metodologia

A metodologia deste trabalho parte de uma recolha, estruturação e análise de avaliações realizadas nos últimos 22 anos em indústrias vidreiras em Portugal com vista a fazer uma caracterização pormenorizada dos ambientes quentes na indústria vidreira Portuguesa.

Os dados de medições presentes neste trabalho foram retirados de estudos de Oliveira, 1994; Chande, 2009; Estrela, 2013 e Torres, 2016 num total de 19 postos de trabalho provenientes de 5 unidades fabris e estão sintetizados na Tabela 5.1 Tabela 1.1

Tabela 5.1 – Compilação dos locais de estudo

Autor das medições, ano da publicação	Data	Hora de início	Duração da medição [min]	Designação Do Local	Distrito	Código do Posto de Trabalho
Oliveira, 1994	24-11-1994	12:00h	30	Zona de Fabricação		V1
	24-11-1994	13:00h	60	Boca de Enforna		V2
	24-11-1994	15:05h	60	Junto ao Fider		V3
	24-11-1994	17:00h	60	Junto aos Queimadores		V4
Chande, 2009	16-04-2009	09:10h	60	Máquina 1,2		A1
	16-04-2009	11:30h	60	Sala de Controlo da Máquina 1,2		A2
	16-04-2009	15:30h	60	Sala de Controlo da Máquina 1,3		A3
	22-04-2009	08:10h	60	Maquina 1,1 - mudança de fabrico		A4
Estrela, 2013	02-07-2012	15:00h	40	Junto À Linha De Produção	Leiria	T1
	02-07-2012	16:19h	40	Junto À Bancada De Inspeção		T2
	02-07-2012	17:50h	60	Zona Próxima À Linha De Produção		T3
	01-09-2015	10:00h	60	Boca de Enforna		D1
	01-09-2015	11:30h	60	Boca de Enforna 2		D2
	01-09-2015	14:00h	60	Moldagem por sopro		D3
	01-09-2015	15:15h	60	Prensagem		D4
	02-09-2015	10:00h	60	Prensagem 2		D5
	02-09-2015	11:15h	60	Centrifuga		D6

02-09-2015	12:30h	60	Máquina garrafeira	D7
02-09-2015	14:00h	60	Máquina garrafeira 2	D8

5.1.1. Dificuldades

Várias foram as tentativas, ao longo do presente ano letivo, em contactar empresas do sector vidreiro para que colaborassem neste estudo. Contudo, em mais de 6 meses de tentativas de contacto, em particular na zona centro, não houve uma única resposta positiva.

Apenas uma indústria da área farmacêutica/cosmética aceitou colaborar. Todavia, esta empresa não tem fornos, importando o vidro (vidro borossilicato) em forma de tubos. As únicas fontes de calor que existem na empresa são os maçaricos das máquinas que transformam os tubos de vidro em ampolas e as respetivas arcas por onde passam as ampolas (+/- 600°C). Além disto, esta unidade fabril possui uma nave de grandes dimensões, pelo que se considerou que não seria uma opção de estudo viável.

Além disso, a resposta por *e-mail* dada por uma associação do setor que, por motivos de sigilo não vai ser divulgada, foi bastante esclarecedora do quão difícil é a colaboração por parte das empresas do setor, dada a delicadeza do tema:

“Caro Aluno

Julgo que não vai ter grande sucesso na colaboração das vidreiras para o seu estudo. É um assunto melindroso, porque pode vir a estar associado a profissões de desgaste rápido, em que a SS obriga as empresas a terem de compensar os trabalhadores pelas reformas antecipadas. E por isso elas não querem colaborar neste tipo de trabalhos, se bem que todas elas tenham essas medições efectuadas.”

Mais acrescenta:

*“Não sendo pelo lado do vidro de embalagem ou altera o sector/ tema da tese ou vai ter de encontrar solução a nível ou do Vidro doméstico”...
“ou de outro sector de actividade. Tenho pena de não o poder ajudar mais”*

Dada, então, esta falta de colaboração por parte das empresas, a metodologia a usar passou por recolher a maior quantidade possível de dados disponíveis acerca de medições anteriormente realizadas noutros estudos, compilá-las e fazer uma análise geral ao ambiente térmico presente na indústria vidreira, avaliando os possíveis casos de stresse térmico.

Além desta análise global, procurou-se estudar que influência tem a variação de determinados parâmetros físicos no índice PHS.

Deste modo, e resumidamente, o estudo realizado assenta em 4 cenários:

1. Análise da situação real, baseada nas medições efetuadas anteriormente
2. Influência da velocidade do ar
3. Influência da pressão parcial de vapor
4. Influência do tempo de trabalho

A análise de possíveis casos de stresse térmico, bem como o estudo da variação dos diferentes parâmetros ambientais e pessoais será realizada com base nos procedimentos descritos nas normas ISO 7243:1989 e ISO 7933:2004.

A simplicidade de aplicação da norma ISO 7243:1989 será vantajosa, numa primeira análise, ao ambiente térmico para um despiste rápido de situações de stresse térmico. Como já referido, são apenas necessários os dados relativos à temperatura de bolbo húmido natural, temperatura de globo, temperatura do ar e metabolismo. Podemos, com alguma segurança, garantir que o trabalhador não está em condições prejudiciais para a saúde se o valor do índice WBGT estiver dentro dos limites de referência definidos na norma (Tabela 3.3. Valores de referência de WBGT (ISO 7243:1989)).

Para uma avaliação mais completa e precisa do ambiente térmico será aplicado o modelo PHS, recorrendo à sua programação em *matlab* desenvolvido por Estrela (2013). Apesar da complexidade deste modelo, o conjunto de variáveis de saída é fundamental para uma correta avaliação do risco a que o trabalhador está exposto.

O código dos locais de trabalho encontra-se descrito na Tabela 5.2, bem como a compilação dos parâmetros básicos ponderados medidos nas unidades fabris.

Tabela 5.2 - Código dos locais de trabalho

Código do Local de Trabalho	Temperatura exterior	Humidade [%]	Vel. do ar [m/s]	Metabolismo [W]	Classe Metab.		Ta seco [°C]	Temp. bolbo húmido [°C]	Temp. Globo [°C]	WBGT pond. [°C]	WBGT ref.	Pressão Parcial de Vapor [kPa]	Isolamento do Vestuário [clo]
V1	N/A	N/A	0,2*	297	2	Méd.	29,1	22,4	64,7	35,1	28,0	2,8	0,6***
						Máx.	29,9	24,8	68,0	37,5			
						Mín.	27,4	20,9	55,9	31,8			
V2	N/A	N/A	0,2*	239	2	Méd.	32,1	21,4	51,0	30,3	28,0	1,8	0,6***
						Máx.	34,1	21,9	51,8	30,7			
						Mín.	30,0	21,0	49,7	29,7			
V3	N/A	N/A	0,2*	239	2	Méd.	60,2	27,8	63,0	38,3	28,0	0,3	0,6***
						Máx.	65,0	28,8	65,6	39,6			
						Mín.	56,0	27,0	60,5	37,1			
V4	N/A	N/A	0,2*	239	2	Méd.	61,1	31,5	83,3	47,1	28,0	0,6	0,6***
						Máx.	62,2	31,8	84,1	47,5			
						Mín.	60,1	31,0	78,5	45,3			
A1	N/A	8,8	0,8	297	2	Méd.	37,5	25,2	59,4	35,5	28,0	1,4	0,6***
						Máx.	48,0	27,3	69,1	39,8			
						Mín.	32,8	23,2	52,8	32,2			
A2	N/A	40,5	0,3	268	1	Méd.	24,4	17,2	26,8	20,1	30,0	1,4	0,6***
						Máx.	28,0	19,0	28,1	21,7			
						Mín.	23,4	16,5	26,2	19,4			
A3	N/A	13,3	0,4	268	2	Méd.	39,1	24,6	51,6	32,7	28,0	1,1	0,6***
						Máx.	40,5	25,3	52,6	33,4			
						Mín.	37,7	23,9	50,5	32,0			
A4	N/A	55,9	0,6	414	3	Méd.	25,0	18,7	30,4	22,2	26,0	2,0	0,6***
						Máx.	26,3	21,7	31,4	24,4			
						Mín.	24,0	18,2	29,6	21,8			
T1	22,0	52,0	0,2	220	1	Méd.	33,9	22,5	62,5	34,5	30,0	0,4	0,7**
						Máx.	36,1	23,4	64,9	35,6			
						Mín.	31,6	20,7	42,2	27,2			
T2	22,0	49,0	0,6	220	1	Méd.	31,8	20,8	40,4	26,7	30,0	1,3	0,7**
						Máx.	32,7	21,3	40,8	27,0			
						Mín.	31,2	20,5	39,7	26,4			
T3	22,0	52,0	0,5	226	1	Méd.	41,0	38,7	51,2	31,9	30,0	5,7	0,7**
						Máx.	42,5	39,5	52,2	32,5			
						Mín.	39,4	37,0	49,1	31,4			
D1	20,0	76,0	0,2*	297	2	Méd.	25,7	32,7	38,7	34,5	28,0	2,3	0,5**
						Máx.	27,7	33,8	39,6	35,4			
						Mín.	24,4	32,2	38,0	34,1			
D2	22,0	69,0	0,2*	176	1	Méd.	26,5	31,0	40,3	33,8	30,0	2,6	0,5**
						Máx.	28,5	32,1	42,1	34,9			
						Mín.	24,8	30,4	38,9	33,0			
D3	24,0	61,0	0,2*	297	1	Méd.	26,0	28,2	32,0	29,3	30,0	3,0	0,6**
						Máx.	29,1	29,1	33,9	30,5			
						Mín.	24,6	27,6	29,9	28,3			
D4	24,0	59,0	0,2*	414	3	Méd.	33,7	34,8	38,2	35,8	25,0	3,0	0,6**

						Máx.	38,5	35,8	39,5	36,6			
						Mín.	30,0	33,5	30,0	33,8			
D5	19,0	69,0	0,2*	297	2	Méd.	25,3	29,6	37,3	31,9	28,0	2,2	0,6**
						Máx.	27,4	31,4	40,5	33,9			
						Mín.	23,9	27,2	35,8	30,1			
D6	20,0	66,0	0,2*	297	2	Méd.	25,3	28,7	33,3	30,0	28,0	2,3	0,5**
						Máx.	27,9	29,9	35,5	31,5			
						Mín.	23,9	27,8	31,8	29,1			
D7	21,0	63,0	0,2*	176	1	Méd.	36,2	37,2	39,9	38,0	30,0	2,5	0,5**
						Máx.	38,2	38,6	40,7	39,2			
						Mín.	34,0	32,3	37,0	33,7			
D8	22,0	61,0	0,2*	176	1	Méd.	29,8	33,7	37,4	34,8	30,0	2,6	0,6**
						Máx.	31,3	35,3	39,0	35,9			
						Mín.	28,1	32,7	36,3	33,8			

*Por não ter sido medida a velocidade do ar, assumiu-se um valor de $v=0,2\text{m/s}$, por ser limite perceptível ao ser humano que não lhe causa sensação de desconforto térmico.

**O isolamento térmico do vestuário foi obtido com o somatório dos isolamentos parcelares de cada peça de vestuário (cálculo em série).

***Baseado no valor fixo que a norma ISO 7243 adota: 0,6 clo

Com a análise da tabela anterior verifica-se que existem postos de trabalho com valores fora dos limites de validade da norma ISO 7993 (Tabela 4.3) e que devem ser estudados com particular atenção.

Não serão tidos em conta os postos de trabalho cujos resultados se encontram fora dos limites de validade do modelo PHS. Nestes casos, a norma internacional recomenda especial atenção.

Os postos de trabalho em questão são V3 e V4 que apresentam uma temperatura ambiente de 60,2 e 61,1, respetivamente, que é superior ao limite definido na norma. O posto T3 também não será considerado, uma vez que apresenta uma pressão parcial de vapor de água de 5,4 kPa, superior ao limite máximo da norma que é 4,5 kPa.

5.2. Resultados baseados no índice WBGT

Neste capítulo, faz-se uma avaliação do índice WBGT com vista a fazer uma avaliação sucinta do risco de stresse térmico dos trabalhadores.

Na Figura 5.1 - Avaliação do índice WBGT pode-se verificar o resultado das medições do índice WBGT ponderado (valores médios, mínimos e máximos) bem como os seus valores de referência.

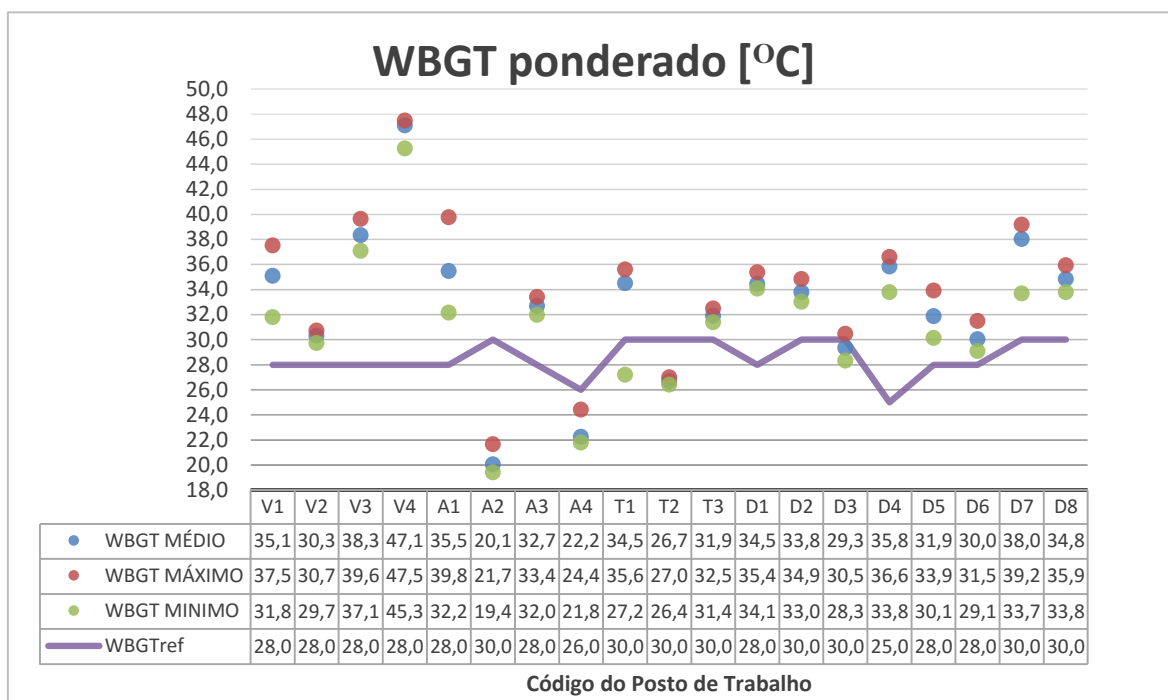


Figura 5.1 - Avaliação do índice WBGT

A linha representada a roxo representa o valor limite para a classe de metabolismo considerada. Sempre que o valor medido é superior ao valor de referência o trabalhador está numa situação de stresse térmico.

Deste modo, com a análise da Figura 5.1 verifica-se facilmente que a maioria dos postos de trabalho estudados estão sujeitos a stresse térmico. Os postos de trabalho em questão são V1, V2, V3, V4, A1, A3, T1, T3, D1, D2, D4, D5, D6, D7 e D8.

Os dados do código V são os mais preocupantes, com valores do índice mais elevados.

Os únicos postos que não se encontram sujeitos ao risco de stresse térmico são A2, A4, T2 e D3. Pode-se verificar que A2 e A4 encontram-se com valores médios de WBGT de 20,1 e 22,4, respetivamente, bem abaixo dos valores limite que são 30,0 e 26,0. T2 e D3 têm valores médios de WBGT de 26,7 e 29,3, respetivamente, sendo 30°C o valor de referência em ambos os casos.

5.3. Resultados baseados no modelo PHS

Nos postos de trabalho onde o WBGT medido se verificou superior ao WBGT de referência, fez-se uma análise mais detalhada recorrendo ao modelo PHS da norma ISO 7933:2004.

Deste modo, através da medição e/ou estimativa dos parâmetros físicos e individuais, é possível fazer uma recolha mais alargada do ambiente térmico local, e ter mais informações, por exemplo, acerca do tempo máximo a que o trabalhador pode estar exposto até ao início da acumulação de calor ou a quantidade de água perdida no período laboral, entre outros.

Como já referido anteriormente, é de notar que os casos em que existem parâmetros fora dos limites definidos pela norma, não serão tidos em conta nesta análise (postos V3, V4 e T3).

5.3.1. Resultados experimentais

Os gráficos Figura 5.2, Figura 5.3, Figura 5.4, Figura 5.5, Figura 5.6 dizem respeito às várias variáveis de saída do modelo PHS. Estes, revelam o comportamento dos débitos evaporativos, humedecimentos, temperaturas, tempos máximos admissíveis para acumulação de calor e perdas de água.

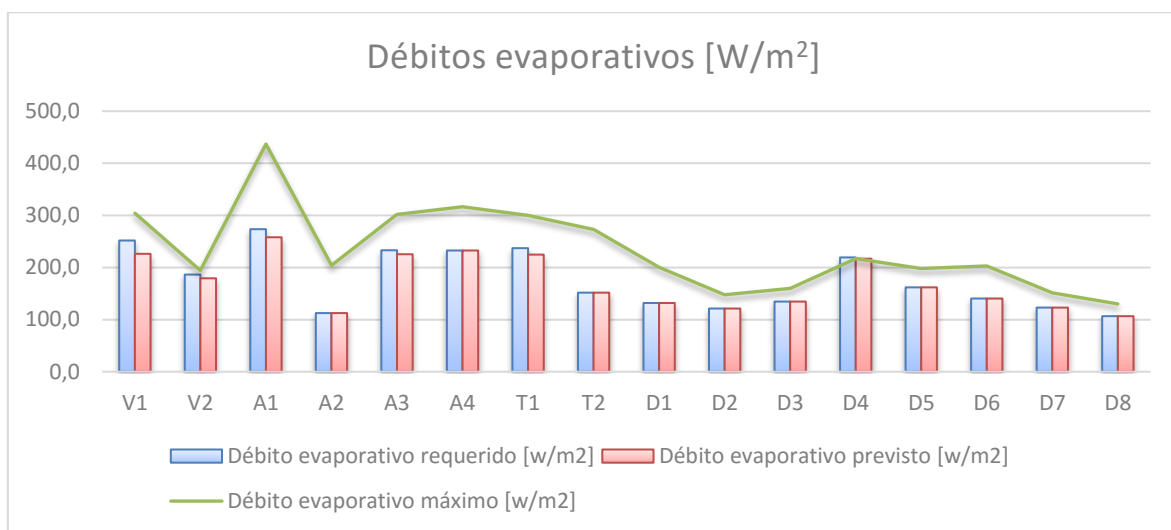


Figura 5.2 - Débitos Evaporativos experimentais

A1 e A3 têm temperaturas retais de 45°C e 41,1°C, respectivamente. Os débitos evaporativos previstos estão um pouco abaixo dos requeridos, como se verifica na Figura 5.3. Ambos se encontram, então, em stress térmico.

A Figura 5.3 - Humedecimentos experimentais apresenta os níveis de humedecimento experimentais.

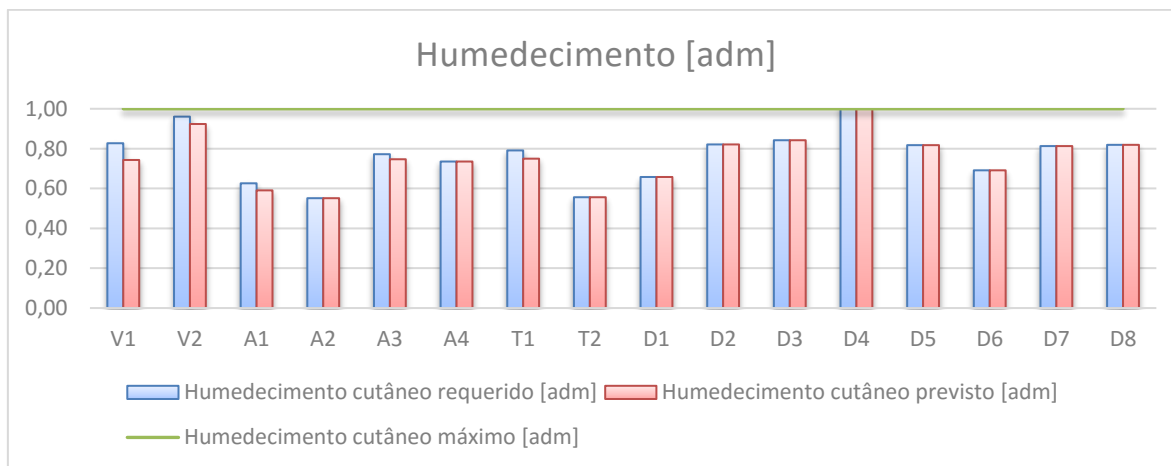


Figura 5.3 - Humedecimentos experimentais

Os postos de trabalho V1 e V2 encontram-se em stress térmico, com temperaturas retais de 52°C e 40,9°C, respectivamente, bem acima dos 38°C recomendados pela norma (Figura 5.4). Nestes dois postos de trabalho as taxas de sudação previstas e requeridas são máximas.

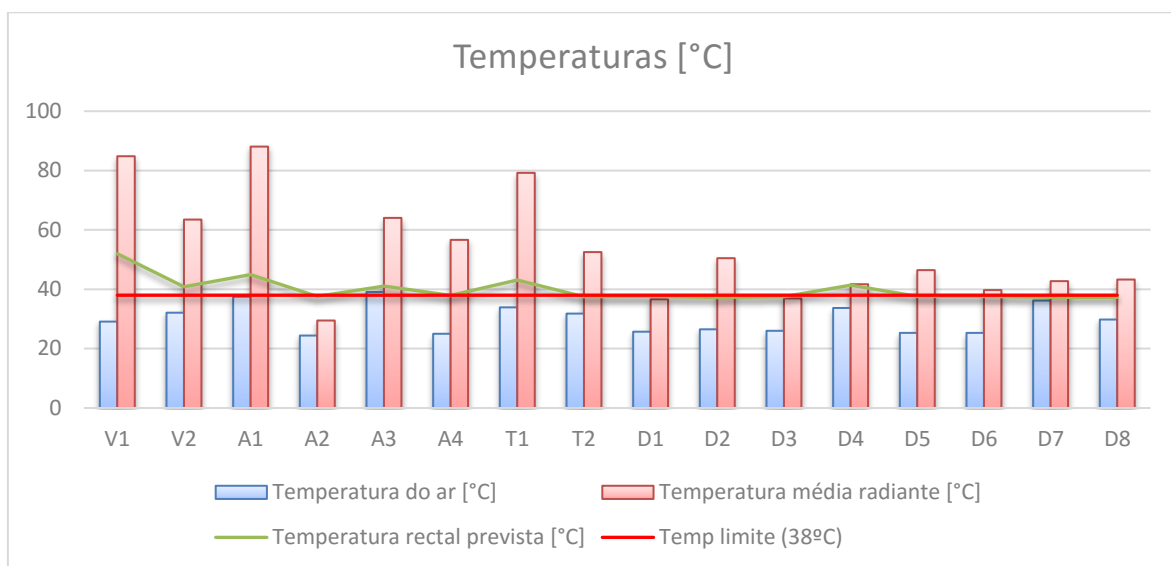


Figura 5.4 - Temperaturas experimentais

A2, A4, T2, D1, D2, D3, D5, D6, D7 e D8 são postos de trabalho que não estão sujeitos a stresse térmico. Não existe aumento do armazenamento de calor nos trabalhadores destes postos após as 8h laborais, como revela a Figura 5.5. Em todas estas situações os humedecimentos cutâneos, taxas de sudção e débitos evaporativos previstos são iguais aos requeridos e estão abaixo do valor máximo. É de notar que A4, com uma temperatura retal de 38°C, está no limite da temperatura definida pela norma (Figura 5.4).

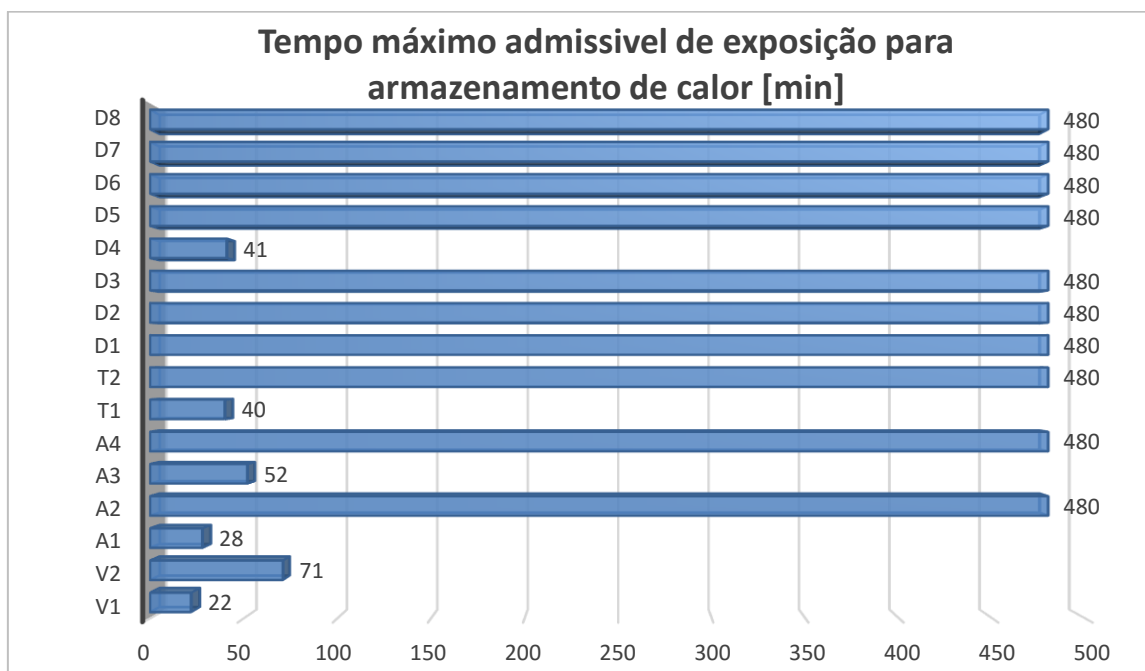


Figura 5.5 - Tempo máximo admissível de exposição para armazenamento de calor experimentais

Os postos T1 e D4 encontram-se em stress térmico. São necessários apenas 40 minutos para que se verifique um aumento do armazenamento de calor nos trabalhadores (Figura 5.5) e as temperaturas retais encontram-se acima dos 40°C em ambas as situações. No posto D4, o débito evaporativo requerido é mesmo superior ao valor máximo e todos os humedecimentos cutâneos estão no valor máximo. Tais valores são explicados, em parte, por uma elevada taxa metabólica neste posto (230W/m²), aliada a uma velocidade do ar de apenas 0,2m/s.

A Figura 5.6 mostra a perda de água por parte dos trabalhadores em cada posto de trabalho.



Figura 5.6 - Perda de água por minuto experimentais

5.3.2. Influência de parâmetros físicos nas variáveis de saída do modelo PHS

De seguida, é feito o estudo da influência da velocidade do ar, da pressão parcial de vapor e do tempo de trabalho nas variáveis de saída do modelo PHS.

A escolha destas variáveis é fundamentada pela importância das mesmas em ambiente fabril. A alteração destes parâmetros num posto de trabalho em concreto pode, deste modo, ter uma importância significativa no conforto térmico do trabalhador. Contudo, esta mesma análise pode ser efetuada para outras variáveis, por exemplo, a influência da aclimação do indivíduo ou da sua posição de trabalho.

Este estudo é realizado variando estas propriedades físicas de acordo com valores típicos da indústria vidreira. É importante referir que a comparação destes valores será sempre efetuada em relação à situação experimental.

5.3.2.1. Influência da velocidade do ar

A influência da velocidade do ar é feita com variações de velocidade de 0,2; 0,5 e 0,8 m/s, que são os valores típicos encontrados em ambientes fabris. A influência deste parâmetro na taxa de sudação prevista está patente na Figura 5.7.

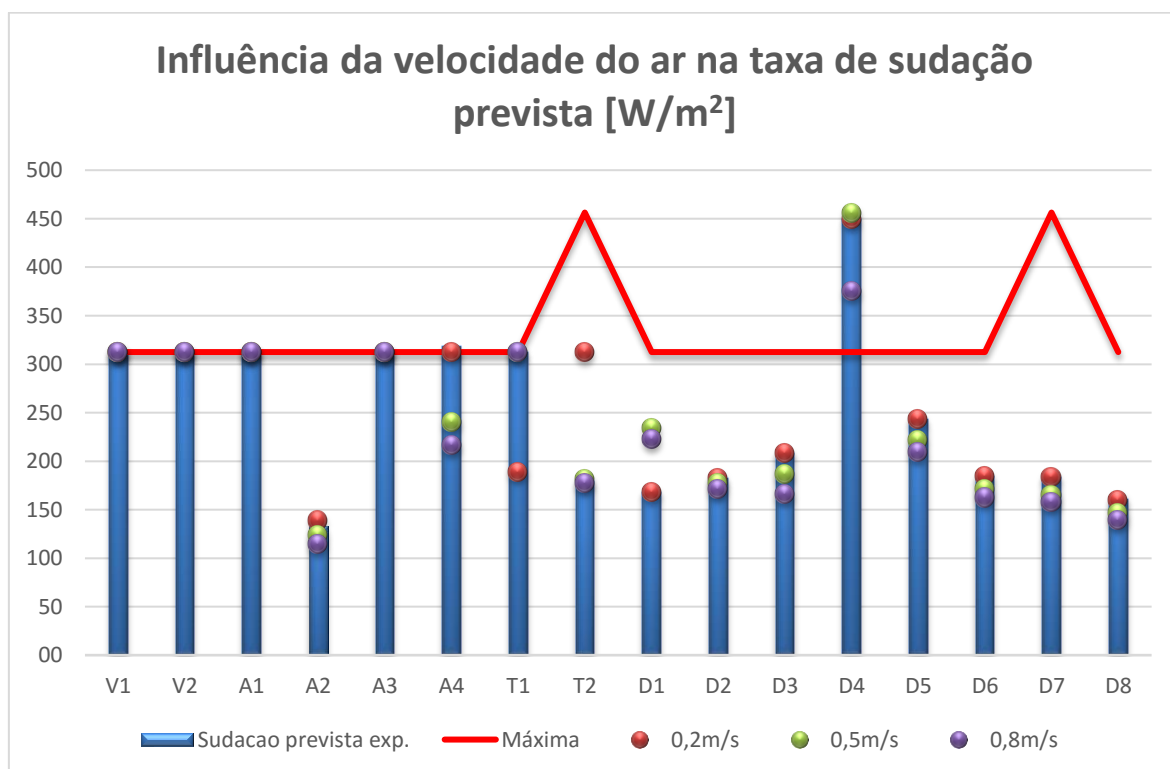


Figura 5.7 - Influência da velocidade do ar na taxa de sudação prevista

Basicamente, verifica-se que o tempo de exposição para armazenamento de calor melhora, em V2, com uma velocidade do ar de 0,8m/s, passando de 71min para 154

minutos. Em D4, o aumento da velocidade do ar para 0,5 m/s aumenta substancialmente este tempo para 100 min e para 480min (8h) com velocidades do ar de 0,8m/s.

A Figura 5.7 mostra, ainda, que o aumento da velocidade para 0,8m/s baixa consideravelmente a taxa de sudação prevista no posto A4 (posto sem stresse térmico). D4 também tem um decréscimo desta taxa e A2, T2, D2, D3, D5, D6, D7 e D8 com diminuições da taxa de sudação prevista menos acentuadas.

Pela análise da Figura 5.8 verificamos que em V2 e A3 a temperatura retal baixa se a velocidade do ar for elevada (0,8m/s), não sendo suficiente para ficar abaixo dos 38°C desejados. Contudo, em D4, esta temperatura fica desejavelmente nos 37,9°C para esta velocidade do ar.

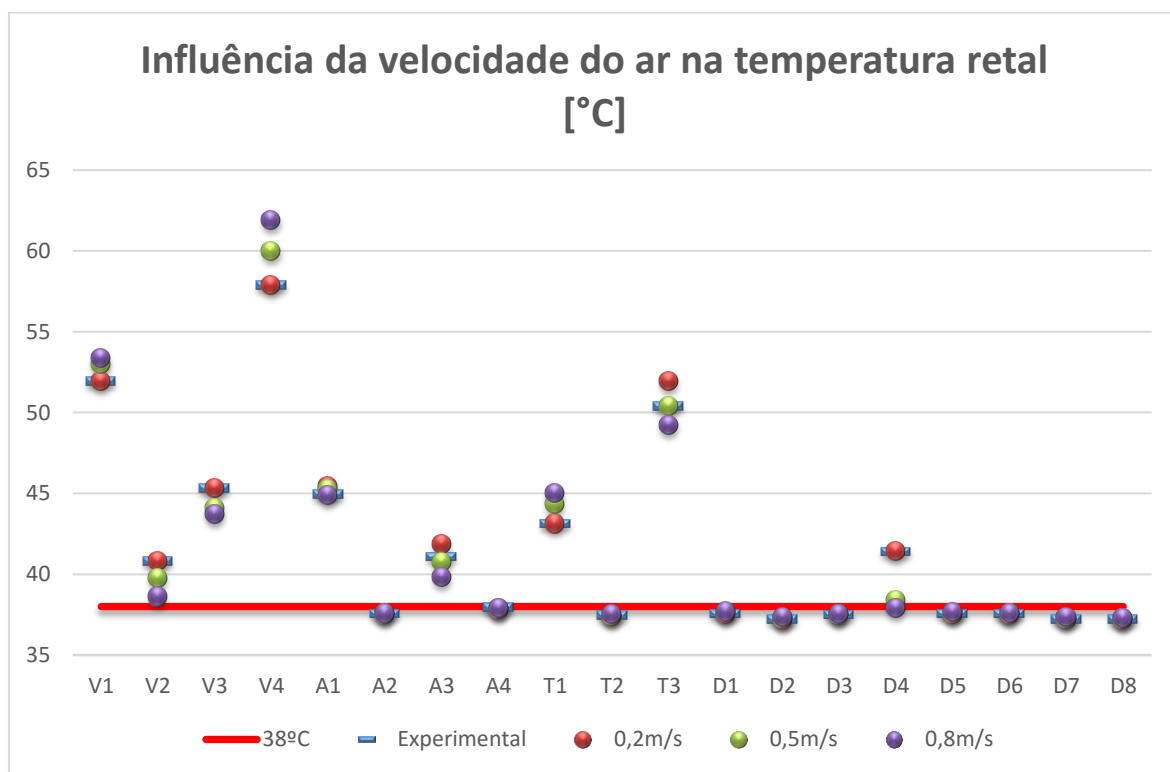


Figura 5.8 - Influência da velocidade do ar na temperatura retal

Com o aumento de velocidade, a perda de água é nula ou pouco significativa nos postos sujeitos a stresse térmico. Apenas em A4 e D4 as perdas de água diminuem mais de 20%, se a velocidade do ar for 0,8m/s, em relação à situação experimental.

Os humedecimentos cutâneos (previstos e requeridos) diminuem em todos os casos face à situação experimental, se a velocidade do ar for 0,8m/s.

Apenas em D4, com 0,8m/s de velocidade do ar, o humedecimento cutâneo requerido iguala o previsto, ficando os restantes postos sujeitos a stress térmico, com um humedecimento cutâneo previsto um pouco aquém do requerido.

5.3.2.2. Influência da pressão parcial de vapor

Os valores típicos da pressão parcial de vapor na indústria vidreira variam de 1kPa a 3kPa. Deste modo, esta análise é efetuada variando esta pressão para valores de 1, 2 e 3kPa e fazendo a respetiva comparação com a situação experimental.

A influência da pressão de vapor no tempo de exposição para armazenamento de calor pode ser analisado através da análise da Figura 5.9 - Influência da pressão parcial de vapor de água no tempo de exposição

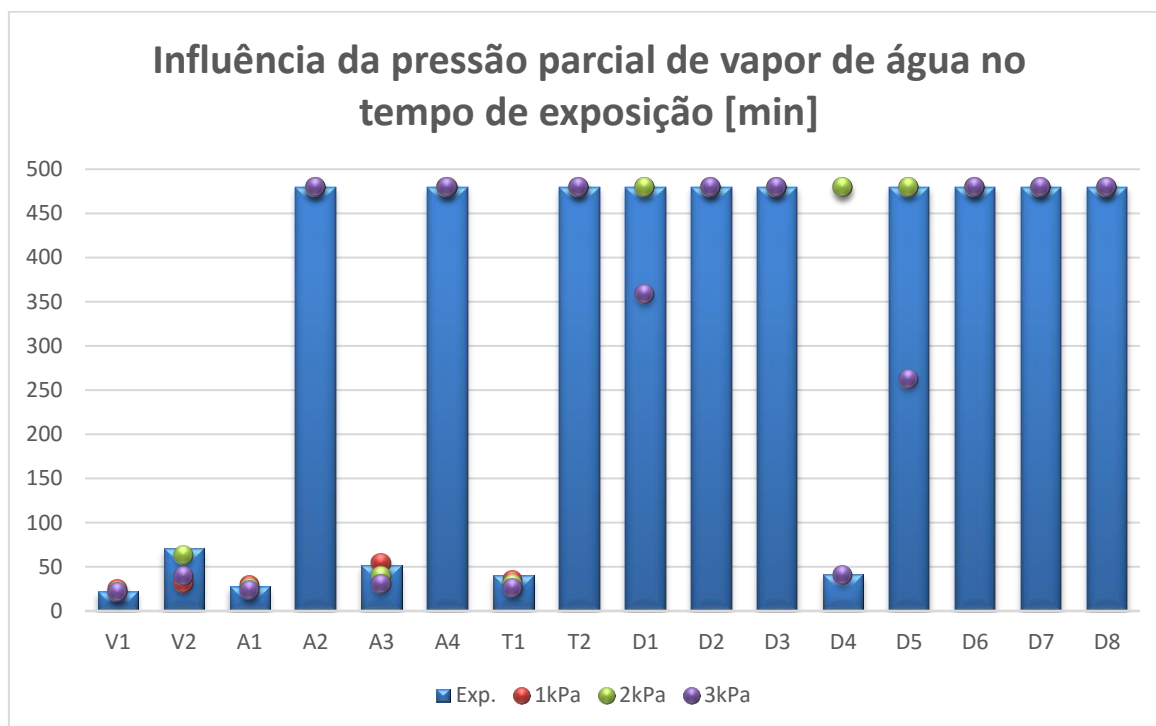


Figura 5.9 - Influência da pressão parcial de vapor de água no tempo de exposição

Verifica-se que, para uma pressão parcial de vapor de 1kPa, este tempo diminui 32 minutos em V2 e, se esta pressão for 3kPa, diminui 22 min em A3. É relevante notar que, em D4, este tempo de exposição pode ser igual às 8h laborais se a pressão parcial de vapor baixasse dos 3kPa experimentais. Verificamos que, com 2kPa, este cenário já é possível. Além disso, verificamos que em D1 e D5 não é benéfico o aumento da pressão parcial de vapor para valores de 3kPa.

Em D4, a diminuição da pressão parcial de vapor é altamente benéfica, pois a redução de 3kPa (situação experimental) para 1kPa faz com que a taxa de sudação prevista diminua dos valores máximos ($448,6\text{W/m}^2$) para $319,1\text{W/m}^2$.

No que respeita ao comportamento da temperatura retal, verifica-se que apenas em D4 a diminuição da pressão parcial de vapor para 2kPa faz com que a temperatura retal baixe para os 38°C (Figura 5.10). Pode, ainda, verificar-se que, neste mesmo posto, tanto a diminuição desta pressão como o aumento da velocidade do ar, incutem comportamentos semelhantes à temperatura retal, ou seja, ambas as situações provocam um decréscimo da temperatura retal.

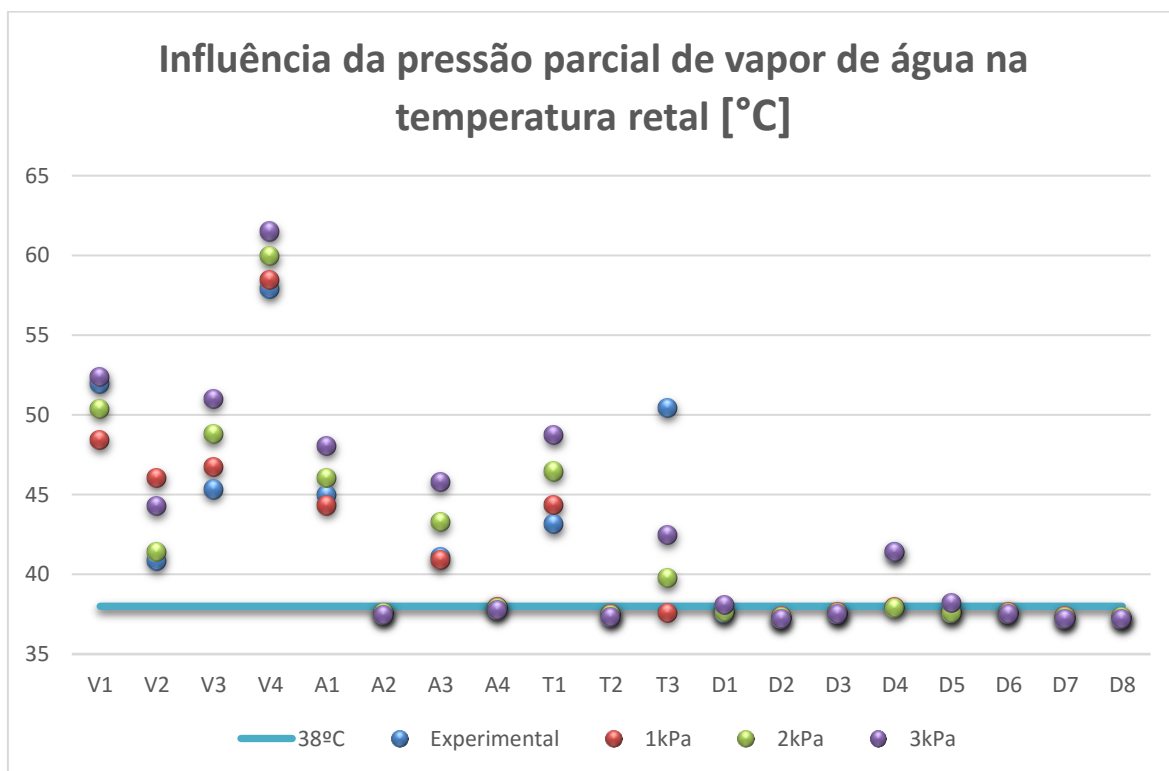


Figura 5.10 - Influência da pressão parcial de vapor de água na temperatura retal

A Figura 5.11 revela claramente que sendo menor a pressão parcial de vapor, menor será o humedecimento cutâneo. Este resultado torna-se particularmente interessante em D4 cujos humedecimentos experimentais (requerido e previsto) que estão no limite (igual a 1), baixam para valores de 0,76 se a pressão parcial de vapor for da ordem de 1kPa.

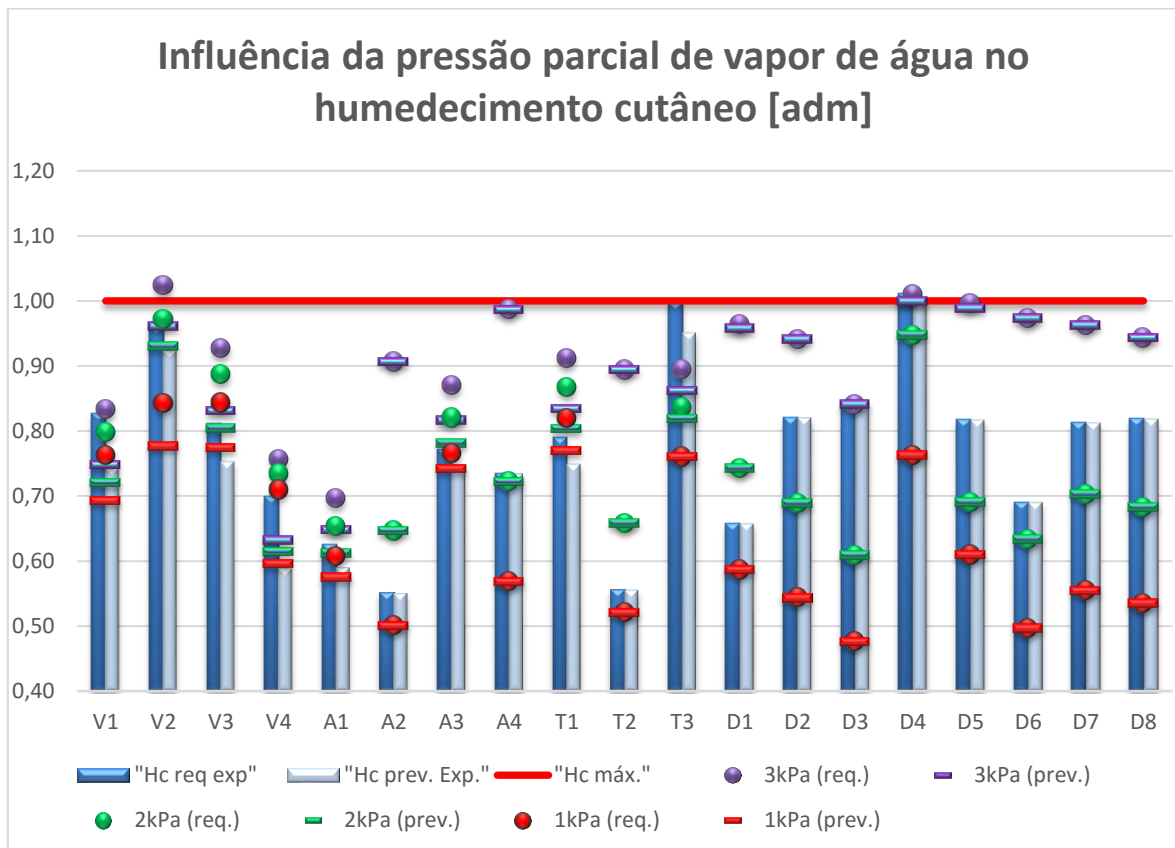


Figura 5.11 - Influência da pressão parcial de vapor de água no humedecimento cutâneo

5.3.2.3. Influência do tempo de trabalho

A análise principal à influência do tempo de trabalho demonstra que em nenhum dos postos sujeitos a stresse térmico, a mudança, só por si, do tempo de trabalho de 8h para 4h, faz a temperatura retal baixar para valores inferiores aos 38°C. Esta diminuição baixa, em média, 2°C a estes postos e é em V1 onde a diferença de temperaturas é maior (Figura 5.12)

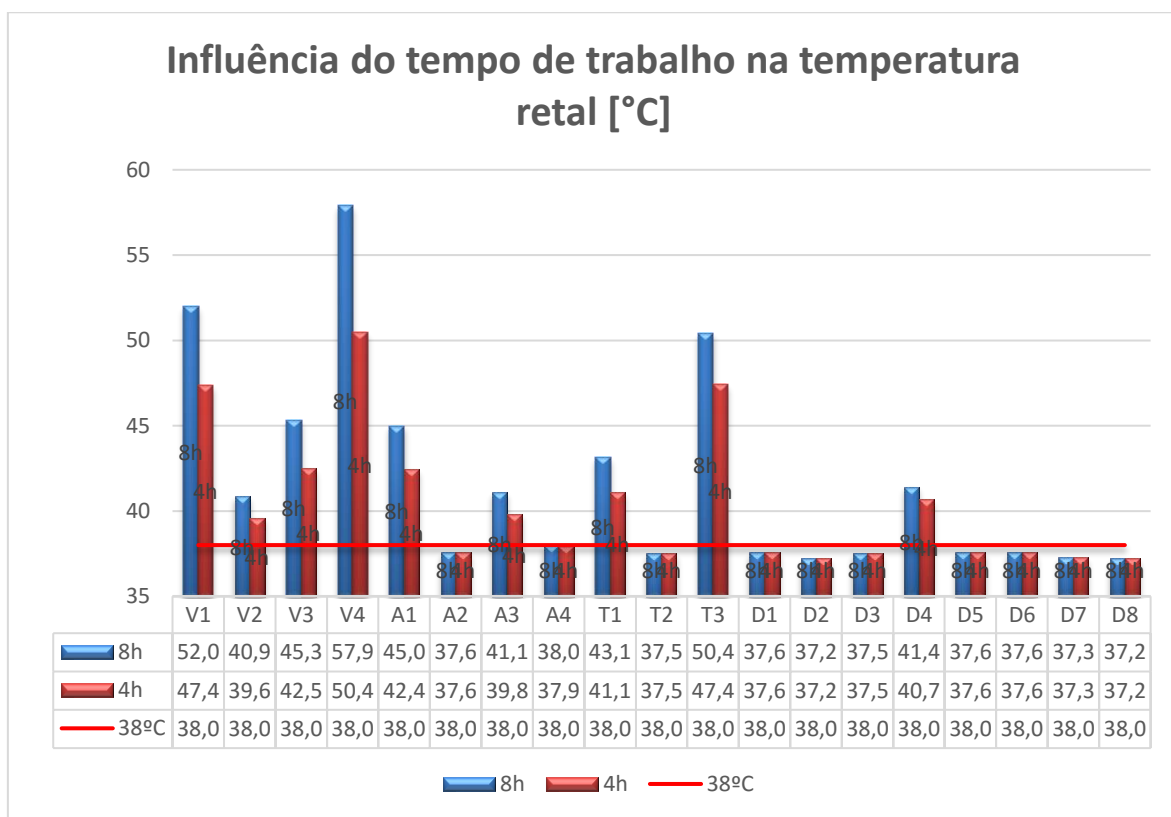


Figura 5.12 - Influência do tempo de trabalho na temperatura retal

A Figura 5.13 mostra que em todos os postos em stress térmico, os humedecimentos cutâneos ficariam acima dos experimentais. Além disso, em V1, V2, e D4, os humedecimentos cutâneos requeridos ultrapassariam o valor máximo definido pela norma.

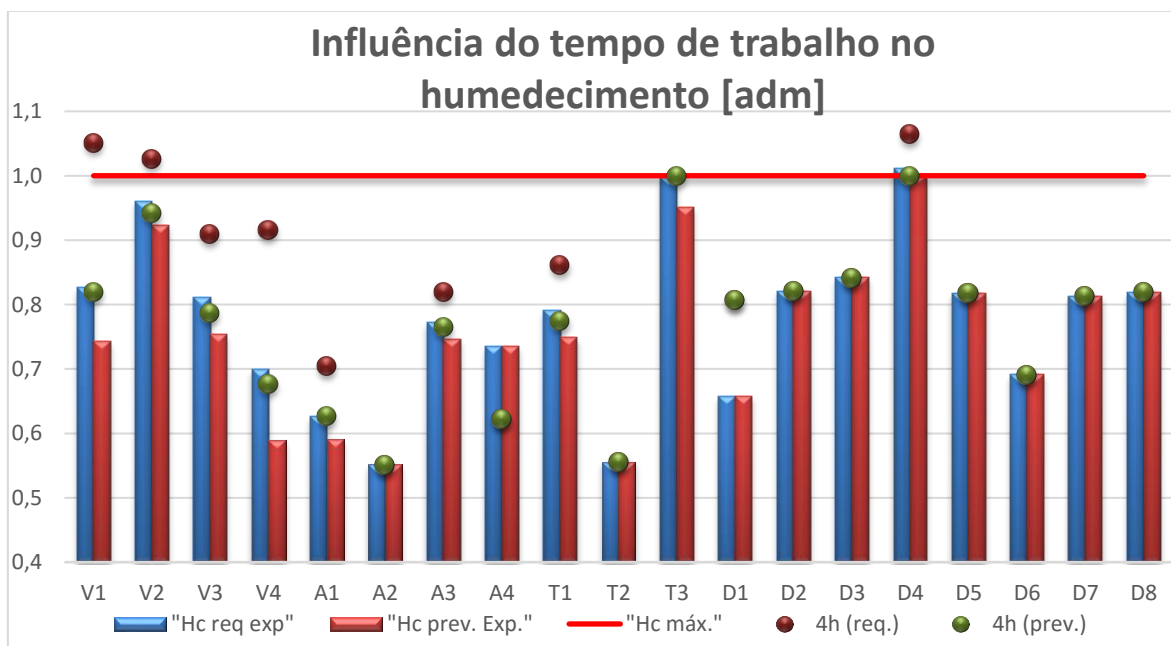


Figura 5.13 - Influência do tempo de trabalho no humedecimento

5.3.3. Notas conclusivas

O aumento da velocidade do ar aumenta a taxa de sudção prevista. Dependendo dos casos, o aumento da velocidade do ar tanto pode originar um aumento como uma diminuição da temperatura retal.

No que respeita à influência da velocidade do ar, verifica-se que se esta temperatura for relativamente alta (0,8m/s), no posto D4, a temperatura retal fica desejavelmente nos 37,9°C, fazendo com que o posto não sofra de risco de stresse térmico.

Verifica-se que o aumento da pressão parcial de vapor pode levar quer a um aumento quer a uma diminuição do tempo de exposição e, na maioria dos casos, leva ao aumento da temperatura retal. É de salientar, também, que maiores valores de pressão de vapor de água levam a um maior humedecimento da pele.

Conclui-se, também, que a diminuição da pressão parcial de vapor, em D4, é altamente benéfica. Esta diminuição não só aumenta substancialmente o tempo de exposição ao calor para as 8h laborais como reduz os valores de humedecimento experimentais (requerido e previsto) que estão no limite (igual a 1) para valores de 0,76 se a pressão parcial de vapor for da ordem de 1kPa.

No que respeita à influência do tempo de trabalho, conclui-se que em nenhum dos postos em risco de stresse térmico, a mudança, só por si, do tempo de trabalho de 8h para 4h, faz com que a temperatura retal diminua para valores inferiores aos 38°C

Para valores de temperatura retal superiores a 38°C, observa-se que a diminuição do tempo de trabalho diminui esta temperatura. Nos restantes, a temperatura não sofre alterações. De frisar, ainda, que com a diminuição do tempo de trabalho, os valores do humedecimento cutâneo requerido podem mesmo ser superiores aos valores limite definido pela norma ISO 7933:2004.

6. CONCLUSÕES

Num ambiente industrial onde a competitividade é cada vez mais feroz, os acidentes de trabalho devido ao calor são uma realidade que não pode ser menosprezada.

Sendo a indústria vidreira dos sectores onde imperam os ambientes térmicos quentes mais severos, é fundamental fazer uma análise realista à possibilidade de stresse térmico entre os trabalhadores, com vista a minimizar ao máximo este risco.

A revisão bibliográfica efetuada enquadrou concisamente este tema no panorama mundial e nacional e estudou alguns dados estatísticos, referências legais e notas históricas da indústria do vidro em Portugal. Foram também abordados conceitos gerais relacionados com o ambiente térmico tais como os fatores que o influenciam, os conceitos de termorregulação e aclimatação, as consequências do stresse térmico e foi feito um breve resumo dos índices térmicos.

Fez-se uma análise pormenorizada do índice WBGT (norma ISO 7243:1989) e do modelo PHS (ISO 7933:2004) estudando detalhadamente os seus princípios, limitações e métodos de cálculo.

Para tal, e dada a falta de colaboração das empresas do setor, foi realizada uma compilação de dados referentes a estudos de Oliveira, 1994; Chande, 2009; Estrela, 2013 e Torres, 2016. No total, foram reunidas medições relativas a 19 postos de trabalho provenientes de 5 unidades fabris da zona centro de Portugal. Seguidamente foi estudado o risco de stresse térmico nas situações experimentais, segundo as duas normas, e foi estudada a influência da velocidade do ar, da pressão parcial de vapor e do tempo de trabalho em diferentes variáveis de saída do modelo PHS.

Os resultados alcançados revelaram claramente que, segundo a norma ISO 7243:1989, 15 dos 19 postos de trabalho encontravam-se com valores superiores ao limite definido por esta norma, ou seja, mais de 75% dos postos de trabalho estavam sujeitos a stresse térmico.

Segundo o modelo PHS, verificou-se que 3 postos de trabalho estavam fora dos limites da norma (V3, V4 e T3) e os postos sujeitos a stresse térmico são V1, V2, A1, A3, T1 e D4, ou seja, 9 dos 19 postos de trabalho encontravam-se em risco de stresse térmico.

As conclusões desta dissertação podem, certamente, ser um pilar de apoio no que respeita a medidas preventivas técnicas que as empresas podem adotar para diminuir o risco de stresse térmico.

Vários aspetos ficam em aberto para futuros estudos, como por exemplo, a influência que o modelo PHS tem diretamente na produtividade e o alargamento deste mesmo estudo para todas as áreas da indústria transformadora em Portugal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

Bethea, D., Parsons, K. (2002). “The development of a practical heat stress assessment methodology for use in UK industry”. Department of Human Sciences, Loughborough University, Leicestershire

Chande, Adnilo Faizal (2009). “Risco De Stress Térmico Em Ambiente Fabril – Análise comparativa entre a indústria papelreira 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.

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.

d’Ambrosio Alfano, F.R., Malchaire, J., Palella, B.I. e Riccio, G. (2014) “WBGT Index Revisited After 60 Years of Use”. Annals of occupational Hygiene. pp.1–16

Estrela, T.F.C. (2013), “Avaliação de Ambientes Térmicos Quentes. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica na especialidade de Equipamentos e Sistemas Mecânicos”. Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra.

Fanger, P. O. (1970), “Thermal Comfort Analysis and Applications in environmental Engineering”. McGraw-Hill, New York.

Gabinete de Estratégia e Estudos (2014). Acidentes De Trabalho 2012. Ministério da Economia, Lisboa.

Gabinete de Estratégia e Estudos (2015). Estatísticas de bolso. Ministério da Economia, Lisboa acessado em 2 de janeiro em <http://www.gee.min-economia.pt/?cn=64676567AAAAAAAAAAAAAAAAAAAA>

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.

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

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.

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.

Lamberts, R.; Xavier, A.; Goulart, S. (2008). “Conforto Térmico e Stress Térmico”. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.

Mónica, M.F. (1981). “Poder e saber : os vidreiros da Marinha Grande”. *Análise Social*, vol. XVII (67-68), pp 505-571

Malchaire, J.; et al (2014). “WBGT Index Revisited After 60 Years of Use”, Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università degli Studi di Napoli Federico II.

Malchaire, J. (2006). “Occupational Heat Stress Assessment by the Predicted Heat Strain Model”. *Industrial Health* 2006, 44, pp. 380–387

Malchaire, J. et al (2001). “Development and Validation of the Predicted Heat Strain Model”. *Occupational Hygiene and Work Physiology*, Catholic University of Louvain, Belgium.

Oliveira, A. Virgílio M.; Gaspar, Adélio R.; Raimundo, António M.; Quintela, Divo A. (2015). “Assessment of thermal environments: Working conditions in the Portuguese ceramic industry in 1994 and 2012”. *Journal Work*, no. 3, pp. 457-470, 2015.

Parsons, K. (1999). “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 (2006). “Heat Stress Standard ISO 7243 and its Global Application”. Human Thermal Environments Laboratory, Department of Human

Sciences, Loughborough University, United Kingdom.

Portaria nº 53/71 (revista pela Portaria nº 702/80 de 22 de Setembro). (1980) Ministérios do Trabalho, dos Assuntos Sociais, da Agricultura e Pescas, da Energia e da Indústria, Lisboa.

Rodrigues, C. (2015), “Condições de Trabalho na Indústria Cerâmica: Avaliação da Exposição ao Calor. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente na Especialidade de Tecnologia e Gestão do Ambiente”. Departamento de Engenharia Mecânica. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra

Tol, Richard S.J. (2009). “The Economic Effects of Climate Change”. *Journal of Economic Perspectives*, volume 23, 2009, pp 29–51

Torres, D. (2016). “Análise de Condições de Trabalho: Stresse Térmico na Indústria Vidreira. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial”. Departamento de Engenharia Mecânica. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra

World Health Organization (WHO), (1969). “Health factors involved in working under conditions of heat stress”. *Technical Report Series*, no. 412, Genève.

ANEXO A

Características dos sensores de temperatura

Sensor de temperatura de bolbo húmido natural:

- Tempo de resposta: 5min para uma variação de temperatura de 90%
- Formato da parte sensível do sensor: cilíndrica
- Diâmetro externo do da parte sensível: 6 mm \pm 1 mm.
- Comprimento: 30 mm \pm 5 mm
- Intervalo: 5 °C a 40 °C
- Precisão: \pm 0,5 °C
- A parte sensível do sensor deve estar coberta por uma mecha branca altamente absorvente (algodão, por exemplo)
- O suporte do sensor, deve ter um diâmetro entre 6 mm e 20 mm, devendo estar coberto pela mecha, de forma a reduzir a condução de calor do suporte para o sensor.
- A mecha deve ser em forma de manga e ajustada sobre o sensor. Esse ajuste é determinante na precisão da medição
- A mecha deve ser mantida limpa
- A parte inferior da mecha deve estar submersa em água destilada. O comprimento livre da mecha deve ser entre 20 mm a 30 mm
- A água destilada não deve sofrer o efeito da radiação térmica do meio envolvente

Sensor de temperatura de globo:

- Tempo de resposta: 7min para uma variação de temperatura de 90%
- Diâmetro: 150mm

- Coeficiente médio de emissividade: 0,95 (globo de superfície preto mate)
- Espessura o mais fina possível
- Intervalo: 20°C a 120°C
- Precisão: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ para intervalos de 20 a 50°C e $\pm 1^{\circ}\text{C}$ para intervalos de 50 a 120°C

Sensor de temperatura de bolbo seco:

- Intervalo: 10°C a 60°C
- Precisão: $\pm 1^{\circ}\text{C}$
- Tempo de resposta: 50 segundos para uma variação de temperatura de 90%
- Primeira leitura após 1,5 vezes o tempo de resposta

ANEXO B

Valores de referência para o cálculo da taxa metabólica (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

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

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 dois braços	Ligeiro	180	<210
	Moderado	245	210-285
	Intenso	335	>285

Tipo de atividade		Metabolismo [W/m ²]	
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, doméstica, escolar, laboratório)		70	
Atividade leve de pé (compras, laboratório, indústria 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

Cálculo da resistência evaporativa, R_{tdyn}

O cálculo da resistência evaporativa, R_{tdyn} , pode ser estimado a partir da equação:

$$R_{tdyn} = \frac{I_{tot\ dyn}}{\frac{i_{mdyn}}{16,7}}$$

i_{mdyn} representa o índice de permeabilidade dinâmica do vestuário e é igual ao índice de permeabilidade estático corrigido com a influencia do movimento do ar e do corpo

$$i_{mdyn} = i_{mst} \times C_{orr,E}$$

$$\text{com } C_{orr,E} = 2,6 \times C_{orr,tot}^2 - 6,5C_{orr,tot} + 4,9$$

Nesta expressão i_{mdyn} é limitado a 0,9.

