



ESCOLA NAVAL

talant de bi-faire



Alexandre Henriques Soares

Conforto térmico e *stress* térmico Avaliação nas condições de embarque

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências Militares Navais,
na especialidade de Engenharia Naval, Ramo de Mecânica



Alfeite
2021



ESCOLA NAVAL

talant de bi-faire



Alexandre Henriques Soares


*Conforto térmico e stress térmico
Avaliação nas condições de embarque*

**Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências
Militares Navais, na especialidade de Engenharia Naval – Ramo
de Mecânica**

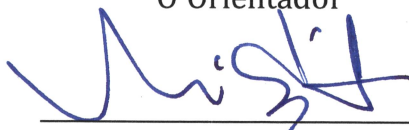
Orientação de: Prof. Doutor Miguel José Pereira Sales Cavique Santos

Co-orientação de: Prof. Doutor Eusébio Zeferino Encarnação da Conceição

O Aluno Mestrando


Alexandre Henriques Soares
ASPOF EN-MEC

O Orientador


Miguel José Pereira Sales Cavique Santos
Prof. Doutor

Alfeite
2021

“O que prevemos raramente ocorre, o que menos esperamos geralmente acontece.”
(Benjamin Disraeli)

Aos meus pais, José e Maria.

Agradecimentos

A conclusão de uma dissertação de mestrado simboliza com ela, o final de um ciclo de cinco anos de ensinamentos, aprendizagens e momentos que para sempre ficarão retidos na minha memória. Dada a importância deste trabalho aproveito para agradecer aqueles que de forma direta ou indireta contribuíram para a conclusão desta importante etapa na minha vida.

Numa primeira instância gostaria de agradecer aos meus familiares, nomeadamente aos meus pais e irmã que me acompanhar durante toda esta fase, e que em todos os momentos souberam iluminar o caminho correto quando o futuro parecia tomar um desenrolar tenebroso.

Ao Prof. Doutor Cavique Santos que, na qualidade de orientador, apesar da continuidade das dificuldades interpessoais devido à pandemia COVID-19, sempre se disponibilizou para acompanhar de perto o desenvolvimento deste trabalho de investigação, contribuindo com o vasto conhecimento que possui na área em estudo.

Ao Eng. Pires da Silva que como Diretor de Curso se demonstrou interessado em fornecer um acompanhamento acrescido por forma a contornar os problemas que, por diversos motivos, tomaram lugar no decorrer deste ano letivo.

Ao Eng. Rodrigues Mateus que por possuir um vasto currículo como engenheiro e docente da Escola naval, se voluntariou para detetar vários dos lapsos e incongruências presentes no trabalho elaborado até então.

Ao SCH CM Ramos e à Técnica superior Têxtil Ana Maria Silva pela ajuda prestada relativamente à documentação referente às especificações técnicas da classe de navios Viana do Castelo e às características técnicas nos uniformes de embarque respetivamente.

Aos colaboradores do Instituto Português da qualidade pelo fornecimento expedito de todas as normas necessárias.

Aos meus amigos que sempre estiveram ao meu lado, demonstrando sempre o seu orgulho e apoio ao longo desta jornada.

A todos vós o meu sincero obrigado.

Resumo

O presente trabalho recai sobre a temática da Saúde e Segurança no trabalho relativamente às atividades realizadas por militares destacados em navios da esquadilha da Marinha Portuguesa, com especial foco para os navios patrulha oceânica da classe Viana do Castelo. Estes são frequentemente solicitados ao longo dos anos para efetuar missões em diferentes pontos do globo encontrando-se sujeitos a diversas condições térmicas.

Por este motivo, e também dependendo do compartimento onde os militares destas guarnições se encontrem, irão experienciar diferentes tipos de ambientes térmicos. O estudo e identificação destes ambientes representa uma importante tarefa na medida que permite a melhoria das condições de trabalho e por conseguinte, a produtividade de cada indivíduo. Outro motivo que consolida a necessidade de efetuar estudos nesta área, passa por fornecer ferramentas que permitam suprir a suscetibilidade de se sucederem episódios de perdas materiais e humanas no decorrer de uma missão devido à diminuição do bem-estar e aumento da fadiga provocados pela interação com ambientes quentes e frios.

Numa primeira fase, com recurso ao *ASHRAE Handbook Fundamentals* foi feito o levantamento teórico para a aquisição de conhecimento na área de estudo permitindo de forma experimental calcular o isolamento térmico do uniforme de embarque utilizado atualmente na Marinha Portuguesa. No entanto, as condições do COVID não permitiram o acesso ao laboratório.

De seguida com recurso às *ISO 7730, 7933 e 11079* foi possível quantificar e caracterizar os compartimentos e zonas de conforto, stress térmico quente (cozinha de bordo e espaço de máquinas) e frio (câmaras térmicas e espaços exteriores) respetivamente.

Com os resultados obtidos é de supor que no verão, o uniforme de embarque não se adequa às condições térmicas de projeto nos espaços interiores, uma vez que é estimada a sensação de calor na maioria das situações. No entanto, para os restantes espaços analisados, a prestação dos mesmos é satisfatória, porém poderá comprometer o sucesso de algumas tarefas para climas mais severos.

Palavras-chave: Saúde e Segurança no trabalho, Navios de patrulha oceânica, Conforto térmico, Ambientes térmicos quentes, confortáveis e frios, uniforme de embarque.

Abstract

The present work is focused on the thematic of Health and Safety at work in relation to the activities deployed by the ships fleet members, with a special focus on the oceanic patrol vessels from the Viana do Castelo's class. These are frequently requested over the years to accomplish goals in different parts of the globe, facing different thermal conditions.

For this reason, and depending on the position where the military are located, they intend to experience different thermal environments. The study and identification of these environments represent an important task as it allows the improvement of working conditions and, consequently, the productivity of each worker. Another reason that solidifies the need to carry out studies in this area involves the tools that improve the susceptibility of material and human loss episodes occurring during a mission due to the increased fatigue caused by the interaction with hot and cold environments.

Firstly, using *ASHRAE Handbook Fundamentals*, a theoretical survey was carried out to acquire knowledge in this area of study and calculate using experiments the thermal insulation of the uniforms currently used in the Portuguese Navy. However, due to COVID, it was not possible to access the thermal Laboratory.

Then, using *ISO 7730*, *7933*, and *11079* it was possible to quantify and characterize the comfort compartments and the others that could provide episodes of hot (onboard kitchen and machinery space) and cold stress (refrigeration chambers and outdoor spaces), respectively.

With the results obtained, it was possible to conclude that, in the summer, the uniform is not recommended for the thermal conditions of the project present in the internal compartments since the sensation of heat could be experienced in most cases. However, for the remaining spaces, their use is satisfactory, but it can compromise the success of some tasks for more severe climates.

Keywords: Health and Safety at work, Ocean Patrol Vessels, Thermal Comfort, Hot, and Cold Environments, Uniform.

Índice

AGRADECIMENTOS.....	V
RESUMO	VII
ABSTRACT	IX
LISTA DE TABELAS.....	XV
LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS E SÍMBOLOS.....	XVII
1. INTRODUÇÃO	1
2. CONFORTO TÉRMICO	3
2.1 Introdução	3
2.2 Termorregulação	4
2.3 Metabolismo e Trabalho	7
2.4 Mecanismos de transferência de calor	11
2.4.1 Calor sensível perdido pela pele	11
2.4.2 Calor latente perdido pela pele:	15
2.4.3 Transferência de calor pela respiração:	17
2.5 Modelo de Fanger	19
3. <i>STRESS</i> TÉRMICO	23
3.1 Introdução	23
3.2 Stress térmico em ambientes térmicos quentes	24
3.2.1 Limites extremos de temperaturas toleráveis para ambientes térmicos quentes e respetivos efeitos sobre o ser humano	24
3.2.2 Medidas de prevenção perante a exposição ao calor	27
3.2.3 Índices térmicos utilizados para a caracterização de ambientes térmicos quentes.....	30
3.2.5 Índice da tensão de calor prevista (PHS).....	32
3.3 Stress térmico em ambientes térmicos frios	35
3.3.1 Limites extremos de temperaturas toleráveis para ambientes térmicos frios e respetivos efeitos sobre o ser humano.....	35
3.3.2 Seleção de trabalhadores para desenvolvimento de atividades em climas frios.....	38

3.3.3 Índices térmicos utilizados para a caracterização de ambientes térmicos frios.....	38
3.3.3.1 Índice de isolamento térmico requerido (IREQ).....	39
3.3.3.2 Índice de sensação térmica (WCI-Wind Chill Index).....	40
4. APLICAÇÃO EXPERIMENTAL PARA AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO E STRESS TÉRMICO PARA ATIVIDADES PRATICADAS A BORDO DOS NAVIOS DA ESQUADRA DA MARINHA PORTUGUESA	43
4.1 Vestuário envergado e estimativa de variáveis	43
4.1.1 Introdução	43
4.1.2 Estimativa teórica do isolamento térmico do uniforme de embarque.....	44
4.1.3 Estimativa do isolamento térmico do uniforme de embarque recorrendo a métodos experimentais	45
5. ESTUDO DAS SITUAÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO	49
5.1 Introdução	49
5.2 Sistema de climatização inserido a bordo.....	49
5.3 Aquisição de variáveis.....	50
5.4 Aplicação do modelo de Fanger.....	52
6. ESTUDO DAS SITUAÇÕES DE <i>STRESS</i> TÉRMICO QUENTE	55
6.1 Introdução	55
6.2 Estudo da cozinha de bordo.....	55
6.3 Estudo do espaço de máquinas.....	58
7. ESTUDO DAS SITUAÇÕES DE <i>STRESS</i> TÉRMICO FRIO	62
7.1 Introdução	62
7.2 Estudo das câmaras de refrigeração	62
7.3 Estudo dos espaços exteriores	64
8. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	68
BIBLIOGRAFIA.....	71
APÊNDICE A – TAXA METABÓLICA MÉDIA POR <i>AIR CONDITION UNIT (ET 0340)</i>	75
APÊNDICE B – ANÁLISE <i>STRESS</i> TÉRMICO NA SALA DAS MÁQUINAS (ENTRE 2 MOTORES)	77
APÊNDICE C – ANÁLISE <i>STRESS</i> TÉRMICO NA SALA DAS MÁQUINAS (1 MOTOR).....	79

APÊNDICE D – CÁLCULO DO ISOLAMENTO TÉRMICO REQUERIDO E DO TEMPO DE LIMITE DE PERMANÊNCIA EM CÂMARAS DE REFRIGERAÇÃO FRACAS ENVERGANDO O UNIFORME DE EMBARQUE SEM CORTA VENTO.....	81
APÊNDICE E - CÁLCULO DO ISOLAMENTO TÉRMICO REQUERIDO E DO TEMPO DE LIMITE DE PERMANÊNCIA EM CÂMARAS DE REFRIGERAÇÃO FRACAS ENVERGANDO O UNIFORME DE EMBARQUE COM CORTA VENTO.....	83
APÊNDICE F - CÁLCULO DO ISOLAMENTO TÉRMICO REQUERIDO E DO TEMPO DE LIMITE DE PERMANÊNCIA EM CÂMARAS DE REFRIGERAÇÃO FORTES ENVERGANDO O UNIFORME DE EMBARQUE SEM CORTA VENTO.	85
APÊNDICE G - CÁLCULO DO ISOLAMENTO TÉRMICO REQUERIDO E DO TEMPO DE LIMITE DE PERMANÊNCIA EM CÂMARAS DE REFRIGERAÇÃO FORTES ENVERGANDO O UNIFORME DE EMBARQUE COM CORTA VENTO.	87
ANEXOS A – CARACTERÍSTICAS DO UNIFORME DE EMBARQUE	89

Lista de figuras

Figura 1 Fluxograma para determinar a taxa de sudação prevista (S_{2p}) e troca de calor prevista por evaporação (E_p)	34
Figura 2 Uniforme de embarque (desenho/projeto, uniforme de embarque (DA, ET 0340) e casaco corta vento respetivamente).....	43
Figura 3 Programa PHS para avaliação das condições de stress térmico quente (Programa Fame Lab)	55
Figura 4 Cálculo do fator de forma relativamente a superfícies horizontais e verticais (ASHRAE Fundamentals, 2013).....	57
Figura 5 Programa fornecido pela ISO 11079 para a avaliação das condições de stress frio	63

Lista de tabelas

Tabela 1 - Isolamento térmico para algumas peças de roupa (ISO 7730)	10
Tabela 2 - Equações para determinação de h_c , (ASHRAE Handbook, 2013)	12
Tabela 3 - Valores máximos admissíveis (Anexo A ISO 7933) 7933)	32
Tabela 4 - Reações associadas ao stress térmico frio (Holmér, Granberg e Dahlstrom, 1999)	37
Tabela 5 - Índice de sensação térmica para uma velocidade v_{10} de 4,2 Km/h, (ISO 11079)	41
Tabela 6 - Legenda relativa à sensação térmica do corpo e danos causados às extremidades da pele, (ISO 11079).....	41
Tabela 7 - Isolamento térmico teórico do uniforme de embarque com e sem casaco corta vento	45
Tabela 8 - Coeficiente de troca de calor por convecção e radiação (De Dear, 1997)	46
Tabela 9 - Variáveis relativas ao uniforme de embarque	47
Tabela 10 - Cálculo do isolamento térmico do uniforme de embarque.....	47
Tabela 11 - Condições de Projeto classe Viana do Castelo	50
Tabela 12 - Taxa metabólica média por cada grupo de compartimentos climatizados pelas Air Condition Units.....	51
Tabela 13 - Cálculo PMV/PPD - Fato de embarque (s/ corta vento)	52
Tabela 14 - Cálculo PMV/PPD - Fato de embarque (c/corta vento).....	52
Tabela 15 - Categorias para avaliação de um ambiente térmico (ISO 7730).....	53
Tabela 16 - Cálculo temperatura ideal fato de embarque (c/ corta vento).....	53
Tabela 17 - Cálculo temperatura ideal fato de embarque (s/ corta vento).....	54
Tabela 18 - Cálculo do fator de forma e da temperatura média radiante	57
Tabela 19 - Análise stress térmico quente relativamente à cozinha de bordo.....	58
Tabela 20 - Cálculo do fator de forma e da temperatura média radiante (Operando entre 2 motores).....	60
Tabela 21- Cálculo do fator de forma e da temperatura média radiante (Operando em 1 motor isoladamente).....	Erro! Marcador não definido.
Tabela 22 - Cálculo do índice de sensação térmica para ambientes exteriores	65

Lista de abreviaturas, acrónimos e símbolos

Abreviaturas

w	Molhabilidade
kg	Kilograma

Acrónimos

ACU	Unidade de tratamento de ar
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
AVAC	Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado
CET	Temperatura efetiva corrigida
DA	Direção de Abastecimento
ECl	Índice equatorial de conforto
EqT	Temperatura equivalente
EqW	Calor equivalente
ET	Temperatura efetiva
HSI	Índice de Stress por calor
IREQ	<i>Required basic clothing insulation</i>
ITS	Índice de stress térmico
ISO	International Organization for Standardization
MATLAB	<i>MATrix LABoratory</i>
MFZ	<i>Main Fire Zone</i>
NPO	Navio de patrulha oceânico
OT	Temperatura Operativa
P4SR	Taxa de sudação prevista para quatro horas
PHEL	Tempo limite de exposição fisiológica
PHS	<i>Predicted Heat Strain</i>
PMV	<i>Predicted Mean Value</i>
PPD	<i>Predicted Percentage Dissatisfied</i>
PPI	Porcentagem de pessoas insatisfeitas

RSI	Índice de tensão relativa
RT	Temperatura resultante
SR	Índice de sudação requerida
VMP	Voto médio previsível
WBGT	Temperatura de globo e de bolbo húmido
WCI	<i>Wind Chill Index</i>
WDI	Índice de Oxford

Símbolos

θ : Tempo, s;

ε : Emissividade média da superfície da pele ou das roupas envergadas, adimensional;

σ : Constante de Stefan-Boltzmann, $5,67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$;

A_{cl} : Área da superfície de um indivíduo vestido, m^2 ;

A_D : Área da superfície corporal de uma pessoa nua, proposta por Dubois (1916), m^2 ;

A_r : Área efetiva de radiação do corpo, m^2 ;

a_{sk} : Fração de massa corporal contida no compartimento da pele;

$C + R$: Calor sensível perdido pela pele por convecção e radiação respetivamente, $\frac{W}{m^2}$;

$c_{p,b}$: Capacidade calorífica específica corporal = $3490 \frac{J}{Kg * K}$

C_{res} : Calor sensível perdido através da respiração por convecção, $\frac{W}{m^2}$;

D_{lim} : Tempo limite de permanência, s;

E_{res} : Calor latente perdido através da respiração, $\frac{W}{m^2}$;

E_{sk} : Calor latente perdido através da pele, $\frac{W}{m^2}$;

f_{cl} : Fator de correção, adimensional;

F_{p-N} : Fator de forma entre o individuo e a superfície N;

h : Coeficiente de transferência de calor combinado, $\frac{W}{m^2 K}$;

h_a : Entalpia do ar (ambiente) inspirado, $\frac{J}{Kg}$;

h_c : Coeficiente de transferência de calor sensível, $\frac{W}{m^2 K}$;

h_e : Coeficiente de transferência de calor latente, $\frac{W}{m^2 kPa}$;

h_{ex} : Entalpia de ar expirado, $\frac{J}{kg}$;

h_{fg} : Calor de vaporização da água, $2.43 * 10^6 \frac{J}{kg}$ a 30°C ;

h_r : Coeficiente de radiação, $\frac{W}{m^2 kPa}$;

I_{cl} : isolamento térmico da roupa, clo ;

K_{res} : Constante de proporcionalidade, $1,43 * 10^{-6} \frac{kg}{J}$

l : Altura, m

M : Taxa metabólica, $\frac{W}{m^2}$;

m : Massa corporal, kg ;

\dot{m}_{res} : Taxa de ventilação pulmonar, $\frac{kg}{s}$;

\dot{m}_{rsW} : Taxa de geração de calor devido ao mecanismo de termorregulação, $\frac{kg}{s * m^2}$;

$\dot{m}_{w,res}$: Taxa de perdas de água por respiração, $\frac{kg}{s}$;

p_a : Pressão de vapor de água no ar ambiente, kPa ;

$p_{sk,s}$: Pressão parcial de vapor à superfície da pele, kPa ;

Q_{lim} : Perda máxima de calor pelo corpo ($W \cdot h / m^2$)

R_{cl} : Resistência da roupa às trocas de calor sensível, $\frac{m^2 k}{W}$;

$R_{e,cl}$: Resistência das camadas de roupa à transferência de calor latente, $\frac{m^2 kPa}{W}$;

RQ: Quociente respiratório, $\frac{O_2}{CO_2}$ adimensional;

S_{cr} : Calor acumulado no interior do corpo, $\frac{W}{m^2}$;

S_{sk} : Calor acumulado à superfície da pele, $\frac{W}{m^2}$;

S_{sk} : Taxa de sudação máxima, $\frac{W}{m^2}$;

t_a : Temperatura ambiente, $^\circ\text{C}$;

t_{bh} : Temperatura de bolbo húmido, $^\circ\text{C}$;

t_{cl} : Temperatura à superfície das roupas envergadas, $^\circ\text{C}$;

t_{cr} : Temperatura do núcleo corporal, $^\circ\text{C}$;

t_g : Temperatura de globo, $^\circ\text{C}$;

t_o : Temperatura operativa, $^\circ\text{C}$;

t_n : Temperatura das superfícies envolventes, K ;

\bar{t}_r : Temperatura radiante média, $^\circ\text{C}$;

t_{sk} : Temperatura da pele, °C;

V : Velocidade do ar, m/s;

v_a : Velocidade do ar, m/s;

V_{O_2} : Caudal volúmico de consumo de oxigénio, $\frac{L}{h}$;

v_{10} : Velocidade do vento a 10 metros do solo; m/s;

R_{cl} : Resistência da roupa às trocas energéticas, $\frac{m^2k}{W}$;

W : Trabalho desenvolvido, $\frac{W}{m^2}$;

w : Molhabilidade da pele, adimensional;

W_a : Taxa de humidade do ar inspirado, $\frac{kg(vapor\ de\ água)}{Kg(ar\ seco)}$;

W_{ex} : Taxa de humidade do ar expirado, $\frac{kg(vapor\ de\ água)}{Kg(ar\ seco)}$;

Capítulo 1

Introdução

O cumprimento da missão da Marinha portuguesa visa “Contribuir para que Portugal use o mar”¹ realizando diversas tarefas nas vertentes operacionais, científicas e culturais. Podem-se destacar algumas das atividades inseridas nos pontos anteriormente mencionados como: “o combate à pirataria, as missões de embargo e de interdição marítima, o controlo da proliferação de armas de destruição massiva ou o resgate de cidadãos nacionais de territórios em situação de conflito; as ações de busca e salvamento marítimo, a fiscalização da pesca, o apoio à repressão de ilícitos marítimos em estreita colaboração com outros agentes do Estado, a investigação científica no apoio ao projeto de extensão da plataforma continental portuguesa e as atividades culturais museológicas, entre outras.”¹ Em todas estas missões, por norma, são empregues uma ou mais unidades navais em que, os militares que as guarnecem, são expostos a uma grande diversidade de condições climatéricas enquanto embarcados. Isto deve-se ao fato dos militares destacados, poderem desempenhar funções em diversos tipos de clima, ou consoante o ofício das suas tarefas. Podem ser dados como exemplos extremos o caso dos indivíduos a operar na casa das máquinas que, durante longos períodos, são sujeitos a altas temperaturas provocadas pelo calor dissipado pelos equipamentos inseridos no local. De forma oposta, mas ainda neste raciocínio, é o caso dos militares a operarem no exterior do navio visto que, dependendo da hora e/ou localização, poderão enfrentar situações de frio intensas.

Para combater possíveis condições adversas, ao ser humano, é-lhe adquirida a capacidade de inconscientemente ativar certos mecanismos termorreguladores capazes de, em certos casos, restabelecer o conforto térmico. Podem-se evidenciar três situações distintas: caso não seja despoletado nenhuma reação para a estabilização da temperatura interna do corpo, poder-se-á identificar uma condição de conforto térmico; caso esse esforço se evidencie poder-se-á estar perante uma situação de desconforto térmico; por fim, caso sejam ativados de forma exagerada os mecanismos

¹ Página oficial da internet da Marinha Portuguesa

termorreguladores, irá ser criado um cenário de *stress* térmico, trazendo por isso consequências severas ao indivíduo em causa que deverão ser estudadas.

Em certas condições em que um indivíduo possa estar sujeito a condições adversas, irá experienciar diretamente o efeito dos mecanismos de regulação térmica. Numa primeira fase sentir-se-á a ação da vasodilatação/vasoconstrição seguida do aumento/diminuição do ritmo cardíaco e ainda o efeito da piloereção ou a segregação de suor pelas glândulas sudoríparas. No entanto, consoante a intensidade calorífica do ambiente, outros mecanismos poderão ainda ser ativados, porém, em condições que não permitam estabelecer o equilíbrio térmico do corpo poderá ser notório o decréscimo dos níveis de concentração, reduções ao nível da capacidade física e psicológica, podendo resultar em danos físicos e outras patologias. De um modo geral serão evidentes comprometimentos ao nível da segurança dos militares assim como outros ao nível da sua produtividade. Posto isto, esta dissertação tem como objetivo avaliar as condições climatéricas às quais os militares da marinha portuguesa estão sujeitos enquanto embarcados numa unidade naval em operação envergando o uniforme de embarque. Para este estudo escolheram-se os navios patrulha oceânica (NPO) da classe Viana do Castelo dada a sua elevada participação em exercícios/missões ao longo da vida operacional e ainda à sua polivalência na execução das mesmas.

Para realizar o estudo referido, este trabalho dedica o seu quarto capítulo ao cálculo do isolamento térmico do uniforme de forma prática e teórica com a base nos documentos vertidos na *ASHRAE Fundamentals* (também utilizada na caracterização de trocas térmicas, sendo utilizada à posteriori nos capítulos seguintes). No capítulo seguinte, recorrendo ao modelo de *Fanger (ISO 7730)*, foram analisadas as condições de conforto nos compartimentos de bordo, fazendo ainda uma proposta de alteração à programação dos sistemas de bordo. Por fim, nos dois capítulos subsequentes, avaliaram-se ainda os ambientes térmicos quentes (cozinha de bordo e espaço de máquinas) e ambientes térmicos frios (câmaras de refrigeração e espaços exteriores) por forma a quantificar as limitações provocadas no desempenho das funções de bordo.

Capítulo 2

Conforto Térmico

2.1 Introdução

Neste capítulo², para que fosse possível abordar a temática “Conforto térmico” recorreu-se ao *ASHRAE Handbook Fundamentals* sendo nele descrito que esta pode ser traduzida como a sensação provocada num determinado indivíduo humano, situando-se num campo subjetivo dependente de fatores psicológicos, físicos e fisiológicos, podendo desta forma diferir de pessoa para pessoa. Estes fatores físicos podem ser entendidos como as trocas de calor entre a plenitude do corpo humano com o meio ambiente, sejam elas por radiação, evaporação, convecção ou ainda pela própria respiração (*ASHRAE Handbook Fundamentals*, 2013). Relativamente aos fatores fisiológicos pode-se dizer que estes correspondem às respostas fisiológicas impostas pelas acentuadas trocas térmicas ou pela exposição contínua a condições térmicas excessivas. Por fim associou-se ainda os fatores psicológicos àqueles em que a resposta a diversos estímulos sensoriais será diferente de indivíduo para indivíduo devido ao fato destes possuírem experiências e hábitos também diferentes. Desta forma, quando se procura atingir certas condições para um espaço, devem-se procurar aquelas que satisfaçam a maior parte de elementos e não a de todos. São ainda descritos seis fatores (os dois primeiros de natureza pessoal e os restantes quatro de natureza ambiental) fundamentais aquando do estudo da obtenção de um clima termicamente favorável, das quais se destacam os seguintes: Taxa de metabolismo, isolamento térmico do vestuário envergado, temperatura do ar, temperatura radiante, velocidade do ar e humidade. Por outro lado, o conforto pode ainda ser regularizado eficazmente através de comportamentos conscientes ou inconscientes capazes de alterar as diversas variáveis por forma a reduzir o desconforto. Algumas dessas atividades são por exemplo a ação de tirar ou colocar uma peça de roupa, alterar a postura corporal ou local de

² Até ao subcapítulo 2.4 são utilizadas expressões matemáticas de uso geral utilizadas nos capítulos seguintes para o estudo das situações de stress térmico quente e frio. Apenas no subcapítulo 2.5 é abordado o modelo de *Fanger* com aplicabilidade em ambientes de conforto

permanência, optar por uma atividade mais ativa, abrir uma janela, entre tantas outras (ASHRAE Handbook, 2013).

Os estudos relacionados com a temática “Conforto Térmico” têm como principal objetivo estudar um determinado ambiente térmico para que se torne favorável ao desenvolvimento das variadíssimas atividades desenvolvidas pelos seres vivos/humanos aí inseridos, estabelecendo ainda métodos e ferramentas fundamentais para a monitorização e análise desses espaços. Pode-se então destacar três fatores pertinentes no que toca ao estudo desta área nomeadamente: A necessidade do indivíduo em questão se sentir satisfeito/confortável termicamente na realização das suas atividades; o rendimento no trabalho, diretamente influenciado positivamente pelo aumento do conforto térmico e a conservação de energia (isto porque as guarnições dos navios da esquadra Portuguesa passam grande parte das suas vidas militares em ambientes alterados de forma artificial para as condições ideais e, ao conhecer os parâmetros anteriormente evidenciados poderemos evitar desperdícios ao nível energético utilizado para alimentar os sistemas de climatização nos diferentes compartimentos ocupados).

2.2 Termorregulação

O ser humano é classificado como sendo homeotérmico onde, tal como tantos outros mamíferos e aves, é capaz de manter a sua temperatura interna constante (isto é, com baixas variações) independentemente das condições do meio externo. Esta capacidade deve-se ao fato destes serem detentores de uma capacidade intitulada de termorregulação, mantida através de processos metabólicos. O metabolismo (caracterizado pelos processos de anabolismo e catabolismo) consiste na capacidade de produzir energia interna através da ação de enzimas sobre os alimentos ingeridos, com o objetivo de permitir que um indivíduo possa realizar normalmente todas as suas atividades do quotidiano (exercício físico, capacidade de raciocínio e tantas outras) libertando a restante em forma de calor. Desta forma um aspeto importante a ter em conta, é o fato de se tornar necessário atingir o equilíbrio térmico, ou seja, a energia produzida pelo metabolismo, assim como aquela recebida pelo meio envolvente, deve

ser igualada àquela que é expelida por forma a não interferir com a temperatura corporal interna. Caso ocorra uma grande retenção de calor dar-se-á um sobreaquecimento do sistema (hipertermia) e caso ocorra uma excessiva libertação de calor observar-se-á um rápido arrefecimento corporal (hipotermia).

Um adulto em repouso produz cerca de 100 W de calor transferindo-o maioritariamente pela pele para o ambiente envolvente. Torna-se então necessário caracterizar a produção de calor por área corporal. Como é evidente, cada indivíduo é um indivíduo, possuindo cada um delas medidas corporais distintas, no entanto a área corporal padrão para um homem europeu médio é de 1,8 m², enquanto para uma mulher, também europeia, é de 1,6 m². Como a energia é transferida pela pele para o ambiente, é conveniente caracterizar a atividade metabólica em termos de produção de calor por área corporal (ASHRAE, 2010). Para uma pessoa em repouso, tendo em conta as áreas corporais médias mencionadas, esta variável tomará valores entre os 58W/m² ou de outra forma, 1 *met*, (trabalhos que requeiram uma taxa metabólica duas vezes maior corresponderão a uma taxa metabólica de 2 *met*). A atividade praticada por uma pessoa consiste na prática de várias outras atividades ou na combinação de períodos de trabalho e descanso. Note-se o exemplo de alguém que trabalhe de forma polivalente num supermercado: Parte do tempo será passado a registar produtos na caixa de atendimento, outra será dedicada à reposição de stock e as restantes poderão passar por períodos de descanso ou outras tarefas que a ela lhe compitam. Para que se possa obter uma estimativa razoável do metabolismo realizado nestas condições deverá ser realizada a média ponderada tendo em conta o metabolismo para cada uma das tarefas, associada à fração temporal em que foi realizada.

Para que as funções vitais não sejam comprometidas, o ser humano deverá assegurar que a sua temperatura corporal se mantenha idealmente nos 37°C, ou então no intervalo compreendidos entre os 36,1°C e os 37,8°C. Para tal, terá de ser garantida a ação da termorregulação pelo sistema nervoso autónomo através dos seguintes mecanismos: Termos recetores centrais e periféricos, sistema de condução aferente, controlo central de integração dos impulsos térmicos e o sistema de respostas eferentes. É mais precisamente no hipotálamo anterior, localizado no cérebro, que se

situa o sistema de controlo central onde, através de impulsos térmicos, permite a regularização térmica de grande parte dos tecidos humanos e não apenas da temperatura interna/central. Estes impulsos só se realizarão assim que os recetores distintos para frio e calor detetem temperaturas que difiram dos *set-points* estabelecidos de forma inata. A resposta termoregulatória é semelhante em ambos os sexos, no entanto pode sofrer danos com o aumento da idade ou no caso da presença de certas patologias. Dito isto, e como referido anteriormente, poderão ocorrer duas situações distintas que ativem os mecanismos de termorregulação, ou seja, ou é dada uma admissão excessiva de carga térmica (podendo, por ventura, levar a casos de hipertermia caso a temperatura corporal ultrapasse os 42°C) ou então é libertada energia em demasia (possíveis cenários de hipotermia para temperaturas corporais inferiores a 24°C). Caso ocorra o primeiro caso, o corpo humano é incentivado a despoletar mecanismos que proporcionem a perda de calor, já para o segundo o comportamento deverá ser completamente distinto e proporcionar a produção/receção de calor, proporcionado em ambos devido a trocas por radiação, condução, convecção, respiração e evaporação:

Nos processos de regulação da temperatura, o calor é transferido desde o interior do corpo para o seu exterior, passando pelos tecidos adjacentes e pela pele até encontrar o vestuário envergado ou o ambiente. Caso a camada mais exterior esteja a uma temperatura superior, a condução térmica tomará o caminho inverso.

Por sua vez, a convecção, envolve as trocas energéticas com base no movimento relativo entre o corpo e a camada de fluido que o envolve. Estas trocas serão tanto mais significativas quanto maior for a capacidade térmica mássica desse mesmo fluido.

Um dos mecanismos capazes de realizar maiores quantidades de energia sob a forma de calor entre o ambiente e o corpo é a radiação. Este fenómeno consiste na emissão ou receção de ondas na gama de frequência dos infravermelhos entre o corpo e o meio, do mais quente para o menos quente.

Aquando a exposição a climas quentes, as glândulas sudoríparas localizadas na pele são estimuladas a produzir suor, este consiste numa mistura de água e outros sais minerais que se depositará à superfície corporal.

É o suor e outros intervenientes no estado líquido que, em contato com a energia irradiada pelo exterior, irá através da evaporação, permitir libertar grandes quantidades de energia térmica acumulado no corpo.

Algumas das respostas corporais que assentam sobre estes mecanismos, com vista a combater os desvios das temperaturas corporais padrão são: resposta vasomotora que se caracteriza pela vasoconstrição e vasodilatação, sudorese, aumento ou diminuição da frequência respiratória, alterações ao nível do metabolismo, lipólise da gordura castanha e ainda a piloereção.

2.3 Metabolismo e Trabalho

Para a sustentação da vida humana é essencial garantir o equilíbrio térmico, dando-se sempre que a energia produzida pelo corpo humano iguala a energia cedida para o exterior através da pele e da respiração.

O calor produzido internamente tem origem na diferença entre a taxa metabólica do individuo em estudo, M (dependendo diretamente das atividades realizadas M_{act} , assim como a possível necessidade de estimular tremores musculares M_{shiv}) e o trabalho mecânico desenvolvido, W (que será mínimo para baixos esforços).

Para que se possa obter a taxa metabólica, foi desenvolvida a *ISO 8996* (1990) que compila três métodos diferentes com graus de exatidão também distintos:

O primeiro baseia-se na utilização de uma fórmula empírica, desenvolvida por *NISHI* (1981) que defende a extração de amostras relativas ao consumo de oxigénio e produção de dióxido de carbono para o cálculo desta variável num período representativo do ciclo de trabalho a realizar, não excedendo por norma os trinta minutos (variando significativamente a dieta, metabolismo e comportamentos praticados). O raciocínio utilizado baseia-se na necessidade de o corpo humano, ter de absorver continuamente oxigénio para proporcionar a oxidação dos alimentos ingeridos

para a produção de energia, visto que o organismo não é capaz de armazenar grandes quantidades deste elemento.

$$M = \frac{5,88(0,23RQ + 0,77)V_{O_2}}{A_D} \quad (2.1)$$

$$A_D = 0,202m^{0,425} * l^{0,725} \quad (2.2)$$

onde:

M: Metabolismo, $\frac{W}{m^2}$;

l: Altura do indivíduo, m;

m: Massa corporal, kg;

RQ: Quociente respiratório, $\frac{O_2}{CO_2}$ adimensional;

V_{O₂}: Caudal volúmico de consumo de oxigénio, $\frac{L}{h}$;

A_D: Área da superfície corporal de uma pessoa nua, proposta por *Dubois* (1916), m^2 ;

A extração destes dados é feita de formas distintas mediante a intensidade das atividades realizadas. Caso a intensidade seja baixa ou moderada, a extração de dados é iniciada cinco minutos depois do início da ação, prolongando-se até quinze minutos. Já nas tarefas mais exigentes a colheita dá-se desde o início da mesma até um período de cinco minutos, sendo retomado posteriormente quando o indivíduo em estudo retome o débito de oxigênio atingido durante o trabalho. Alguns investigadores como *Malchaire* (1984) e *Louhevaara* (1985) apesar de reconhecerem a validade do método, identificaram algumas fragilidades no mesmo devido ao fato do período máximo de trinta minutos não permitir retirar com eficácia, o verdadeiro metabolismo das atividades desenvolvidas. Outro dos pontos apresentados deve-se ao fato das ferramentas a serem envergadas, devido ao seu peso (cerca de três quilos e meio em alguns casos), para além de limitada devido ao acesso dos recursos técnicos, contribuem para o aumento da frequência cardíaca, adulterando por isso o consumo de oxigênio.

Outro método enunciado pela norma supracitada, apesar de não ser tão eficaz como o anterior, é o da obtenção do metabolismo através do registo da frequência

cardíaca, baseando-se na teoria de que cada pessoa possui uma relação direta entre a frequência cardíaca e o consumo de oxigênio e conseqüentemente com a taxa metabólica. Do ponto de vista prático, a obtenção dos dados consiste na submissão de uma pessoa relaxada, a uma bicicleta ou passadeira fixa através de elétrodos ligados a dispositivos portáteis colocados em áreas específicas da zona peitoral, por forma a registar a atividade elétrica do coração. Estes testes são realizados em sucessivas etapas para um determinado esforço físico contínuo, tomando cada uma três minutos, extraíndo-se os dados de forma contínua ou no minuto final de cada etapa. Apesar dos instrumentos utilizados permitirem a livre movimentação dos trabalhadores submetidos a teste e em nada perturbarem a rotina do mesmo, *ASTRAND* e *RODAHL* (1977) encontraram fatores que poderiam prejudicar a validade do método nomeadamente o estado emocional, a temperatura do espaço e ainda a posição do corpo. Desta forma, a *ISO 8996* (1990) recomenda apenas o seu uso para atividades dinâmicas com o uso de grandes grupos musculares realizando primeiramente um diagnóstico que negue a ação de sobrecargas psicológicas/mentais ou térmicas.

Por fim, e como último método disponível, é ainda descrita a possibilidade da utilização de quatro tabelas diferentes. Estas diferem entre si pelo fato das duas primeiras possuírem uma eficiência mais reduzida devido à generalidade dos trabalhos apresentados enquanto que as restantes por apresentarem atividades mais concretas apresentam taxas de rigor mais elevadas. Neste sentido, para se obter a taxa metabólica total, torna-se necessário adicionar o metabolismo requerido para um determinado trabalho ao metabolismo basal do indivíduo e ainda ao que dependa da parte do corpo utilizada para a realização desse mesmo trabalho. Este metabolismo basal foi obtido através das características médias de homens (44 W/m^2) e mulheres (41 W/m^2) a nível mundial (homens com 1,70 metros e 70 kg e mulheres com 1,60 metros e 60 kg) ambos com cerca de 35 anos de idade. No entanto, segundo *MCARDLE, KATCH e KATCH* (1985) estes valores poderão variar consoante o peso e o avanço da idade após os 25 anos.

Retomando a temática deste capítulo, torna-se necessário mencionar que para igualar a diferença anteriormente enunciada (M-W) o corpo humano é encarregue de realizar trocas energéticas através da superfície da pele, q_{sk} e da respiração, q_{res}

podendo ainda acumular por ventura calor em dois compartimentos distintos (pele e núcleo corporal, S), (ASHRAE Handbook, 2013).

$$M - W = q_{sk} + q_{res} + S \quad (2.3)$$

$$M - W = (C + R + E_{sk}) + (C_{res} + E_{res}) + (S_{sk} + S_{cr}) \quad (2.4)$$

onde:

$C + R$: Calor sensível perdido pela pele por convecção e radiação respetivamente, $\frac{W}{m^2}$;

E_{sk} : Calor latente perdido através da pele, $\frac{W}{m^2}$;

C_{res} : Calor sensível perdido através da respiração por convecção, $\frac{W}{m^2}$;

E_{res} : Calor latente perdido através da respiração, $\frac{W}{m^2}$;

S_{sk} : Calor armazenado no compartimento da pele, $\frac{W}{m^2}$;

S_{cr} : Calor armazenado no compartimento do núcleo corporal, $\frac{W}{m^2}$;

Para o cálculo do calor sensível perdido pela pele, a ASHRAE (2013) Handbook – Fundamentals, recomenda o uso de um fator de correção, f_{cl} em função do tipo de vestuário. Pode ser obtido pela em função do isolamento da roupa ou por recurso a tabelas (Tabela 1) criadas para diversas combinações de roupas (Equação 2.6).

Tabela 1 Isolamento térmico para algumas peças de roupa (ISO 7730)

Ensemble Description ^a	I_{cl}^a clo	I_{cr}^b clo	f_{cl}	i_{cl}	i_m^b
Walking shorts, short-sleeved shirt	0.36	1.02	1.10	0.34	0.42
Trousers, short-sleeved shirt	0.57	1.20	1.15	0.36	0.43
Trousers, long-sleeved shirt	0.61	1.21	1.20	0.41	0.45
Same as above, plus suit jacket	0.96	1.54	1.23		
Same as above, plus vest and T-shirt	1.14	1.69	1.32	0.32	0.37
Trousers, long-sleeved shirt, long-sleeved sweater, T-shirt	1.01	1.56	1.28		
Same as above, plus suit jacket and long underwear bottoms	1.30	1.83	1.33		
Sweat pants, sweat shirt	0.74	1.35	1.19	0.41	0.45
Long-sleeved pajama top, long pajama trousers, short 3/4 sleeved robe, slippers (no socks)	0.96	1.50	1.32	0.37	0.41
Knee-length skirt, short-sleeved shirt, panty hose, sandals	0.54	1.10	1.26		
Knee-length skirt, long-sleeved shirt, full slip, panty hose	0.67	1.22	1.29		
Knee-length skirt, long-sleeved shirt, half slip, panty hose, long-sleeved sweater	1.10	1.59	1.46		
Same as above, replace sweater with suit jacket	1.04	1.60	1.30	0.35	0.40
Ankle-length skirt, long-sleeved shirt, suit jacket, panty hose	1.10	1.59	1.46		
Long-sleeved coveralls, T-shirt	0.72	1.30	1.23		
Overalls, long-sleeved shirt, T-shirt	0.89	1.46	1.27	0.35	0.40
Insulated coveralls, long-sleeved thermal underwear, long underwear bottoms	1.37	1.94	1.26	0.35	0.39

Source: From McCullough and Jones (1984) and McCullough et al. (1989).
^aAll ensembles include shoes and briefs or panties. All ensembles except those with panty hose include socks unless otherwise noted.
^bFor $t_a = t_a$ and air velocity less than 0.2 m/s ($I_a = 0.72$ clo and $i_m = 0.48$ when nude).
1 clo = 0.155 (m²·K/W).

$$f_{cl} = \frac{A_{cl}}{A_D} \quad (2.5)$$

onde:

f_{cl} : Fator de correção, adimensional;

A_{cl} : Área da superfície de um indivíduo vestido, m^2 ;

$$I_{cl} = \sum_i I_{clu,i} \quad (2.6)$$

A acumulação de calor, assim como referido, pode-se dar em dois locais distintos do corpo, sendo eles na pele (S_{sk}) e no núcleo corporal (S_{cr}), podendo ser quantificada com recurso a duas fórmulas distintas em função da capacidade térmica corporal, tempo de exposição e temperatura de ambos os compartimentos, (*ASHRAE Handbook*, 2013):

$$S_{cr} = \frac{(1 - a_{sk})mc_{p,b}}{A_D} * \frac{dt_{cr}}{d\theta} \quad (2.7)$$

$$S_{sk} = \frac{a_{sk}mc_{p,b}}{A_D} * \frac{dt_{sk}}{d\theta} \quad (2.8)$$

onde:

a_{sk} : Fração de massa corporal contida no compartimento da pele;

m : Massa corporal, kg ;

$c_{p,b}$: Capacidade calorífica específica corporal = $3490 \frac{J}{kg \cdot K}$

A_D : Área da superfície corporal proposta por Dubois, m^2 ;

t_{cr} : Temperatura do núcleo corporal, $^{\circ}C$;

t_{sk} : Temperatura da pele, $^{\circ}C$;

θ : Tempo, s .

2.4 Mecanismos de transferência de calor

2.4.1 Calor sensível perdido pela pele

O calor sensível a ser libertado pela superfície da pele para o ambiente envolvente deverá tomar duas etapas. Primeiramente, a transmissão calorífica começará na superfície da pele onde, de seguida, passará pelas camadas da roupa

envergada com melhor ou pior eficácia tendo em conta as propriedades de isolamento das mesmas. Por fim, a energia deverá passar deste último para o meio exterior. Todas estes processos de transferência de calor devem-se aos fenómenos de transferência por convecção, C e radiação, R, que poderão ser facilmente determinados com recurso ao produto dos respetivos coeficientes de transferência de calor, h, com a diferença entre a temperatura média da superfície da roupa, t_{cl} , com o tipo de temperatura relativa ao ambiente apropriada, (ASHRAE Handbook, 2013).

$$C = f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \quad (2.9)$$

$$R = f_{cl} h_r (t_{cl} - \bar{t}_r) \quad (2.10)$$

onde:

f_{cl} : Fator de correção, adimensional;

h_c : Coeficiente de convecção $\frac{W}{m^2K}$;

h_r : Coeficiente de transferência de calor radiativo linear, $\frac{W}{m^2K}$;

t_{cl} : Temperatura à superfície das roupas envergadas, °C;

t_a : Temperatura ambiente, °C;

\bar{t}_r : Temperatura radiante média, °C;

Para o caso das transferências caloríficas por convecção, foram desenvolvidas tabelas (2013 ASHRAE Handbook – Fundamentals) que devolvem o coeficiente de convecção para certas condições em função da velocidade do ar.

Tabela 2 Equações para determinação de h_c , (ASHRAE Handbook, 2013)

Equation	Limits	Condition	Remarks/Sources
$h_c = 8.3V^{0.6}$ $h_c = 3.1$	$0.2 < V < 4.0$ $0 < V < 0.2$	Seated with moving air	Mitchell (1974)
$h_c = 2.7 + 8.7V^{0.67}$ $h_c = 5.1$	$0.15 < V < 1.5$ $0 < V < 0.15$	Reclining with moving air	Colin and Houdas (1967)
$h_c = 8.6V^{0.53}$	$0.5 < V < 2.0$	Walking in still air	V is walking speed (Nishi and Gagge 1970)
$h_c = 5.7(M - 0.8)^{0.39}$	$1.1 < M < 3.0$	Active in still air	Gagge et al. (1976)
$h_c = 6.5V^{0.39}$	$0.5 < V < 2.0$	Walking on treadmill in still air	V is treadmill speed (Nishi and Gagge 1970)
$h_c = 14.8V^{0.69}$ $h_c = 4.0$	$0.15 < V < 1.5$ $0 < V < 0.15$	Standing person in moving air	Developed from data presented by Seppänen et al. (1972)

Note: h_c in $W/(m^2 \cdot K)$, V in m/s, and M in mets, where 1 met = 58.1 W/m^2 .

De forma análoga, é também possível calcular o coeficiente de transferência de calor radiativo linear, h_r , (ASHRAE Handbook, 2013):

$$h_r = 4\varepsilon\sigma \frac{A_r}{A_d} \left(273,2 + \frac{t_{cl} + \bar{t}_r}{2} \right)^3 \quad (2.11)$$

onde:

ε : Emissividade média da superfície da pele ou das roupas envergadas, adimensional;

σ : Constante de Stefan-Boltzmann, $5,67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2K^4}$;

A_r : Área efetiva de radiação do corpo, m^2 ;

Segundo Fanger (1967), o quociente entre A_r e A_d tomará valores de 0,70 para uma pessoa sentada e de 0,73 para uma pessoa em pé. Seguidamente, para a emissividade, deverá-se considerá-la perto da unitariedade, (tipicamente 0,95) a não ser que sejam usados materiais com grandes propriedades refletivas ou, caso estejam envolvidas grandes fontes de calor. Por vezes esta formulação pode ser inutilizável visto que, em alguns casos, pode ser difícil determinar t_{cl} , pelo que será necessário recorrer a iterações em situações que seja necessário uma resposta mais exata. Geralmente, esta variável apresenta valores constantes, não variando significativamente dos $4,7 \frac{W}{m^2K}$. Caso a emissividade varie dos valores anteriormente mencionados poderá-se aplicar o seguinte ajuste:

$$h_r = 4,7\varepsilon \quad (2.12)$$

A temperatura média radiante, \bar{t}_r consiste numa variável chave no que diz respeito aos cálculos térmicos do corpo humano. Esta define-se como a temperatura uniforme num recinto imaginário onde o calor radiante transferido pelo corpo humano iguala a transferência de calor radiante num recinto real não uniforme. A exatidão para a extração de \bar{t}_r depende do ambiente em estudo e da forma das ferramentas de aquisição de dados. Por exemplo, uma forma mais arredondada fornece uma precisão razoável para testes em pessoas sentadas, enquanto que formas elipsoidais permitem obter aproximações mais precisas tanto para a posição anteriormente enunciada como

para pessoas levantadas. Pode-se ainda recorrer à sua medição direta em paredes e outras superfícies nas imediações do indivíduo,:

$$\bar{t}_{r^4} = t_1^4 F_{p-1} + t_2^4 F_{p-2} + \dots + t_N^4 F_{p-N} \quad (2.13)$$

onde:

t_n : Temperatura das superfícies envolventes, K;

F_{p-N} : Fator de forma entre o individuo e a superfície N

Esta variável pode ainda ser calculada conhecendo a temperatura radiante plana, t_{pr} em seis direções diferentes (baixo, cima, esquerda, direita, frente, trás). Para uma pessoa levantada, a temperatura média radiante pode ser estimada da seguinte forma, (*ASHRAE Handbook*, 2013):

$$\bar{t}_r = \{0,08[t_{pr}(cima) + t_{pr}(baixo)] + 0,23[t_{pr}(direita) + t_{pr}(esquerda)] + 0,35[t_{pr}(frente) + t_{pr}(trás)]\} / [2(0,08 + 0,23 + 0,35)] \quad (2.14)$$

Para uma pessoa sentada:

$$\bar{t}_r = \{0,18[t_{pr}(cima) + t_{pr}(baixo)] + 0,22[t_{pr}(direita) + t_{pr}(esquerda)] + 0,30[t_{pr}(frente) + t_{pr}(trás)]\} / [2(0,18 + 0,22 + 0,30)] \quad (2.15)$$

Relativamente aos coeficientes de h_c e h_r pode-se afirmar que estes são ambos extraídos a partir da superfície da roupa, por isso, são comumente combinadas as equações anteriormente enunciadas por forma a descrever o calor sensível totalmente perdido C+R, desta vez com recurso à temperatura operativa t_o e a um coeficiente de transferência de calor combinado, h .

$$C + R = f_{cl} h (t_{cl} - t_o) \quad (2.16)$$

$$t_o = \frac{h_r \bar{t}_r + h_c t_a}{h_r + h_c} \quad (2.17)$$

$$h = h_c + h_r \quad (2.18)$$

onde:

h : Coeficiente de transferência de calor combinado, $\frac{W}{m^2K}$;

t_o : Temperatura operativa, °C

Na realidade, a transferência de calor sensível pela roupa envolve os fenômenos de condução, convecção e radiação. Desta forma torna-se conveniente combinar estes processos em relação a uma única variável de resistência que é encontrada na roupa, R_{cl} definida por:

$$C + R = \frac{t_{sk} - t_{cl}}{R_{cl}} \quad (2.19)$$

onde:

t_{sk} : Temperatura à superfície da pele, °C;

t_{cl} : Temperatura à superfície da roupa, °C;

R_{cl} : Resistência da roupa às trocas energéticas, $\frac{m^2k}{W}$;

Por em grande parte das vezes se tornar inconveniente incluir a temperatura à superfície da roupa, torna-se frequente recorrer novamente a associações de fórmulas, eliminando assim t_{cl} , (ASHRAE Handbook, 2013):

$$C + R = \frac{(t_{sk} - t_o)}{R_{cl} + 1/(f_{cl}h)} \quad (2.20)$$

2.4.2 Calor latente perdido pela pele:

O calor latente perdido pela pele E_{sk} depende da quantidade de molhabilidade presente na pele e na diferença entre a pressão de vapor na pele e no ambiente.

$$E_{sk} = \frac{w(p_{sk,s} - p_a)}{R_{e,cl} + 1/(f_{cl}h_e)} \quad (2.21)$$

onde:

w : Molhabilidade da pele, adimensional;

$p_{sk,s}$: Pressão parcial de vapor à superfície da pele, kPa;

p_a : Pressão de vapor de água no ar ambiente, kPa;

$R_{e,cl}$: Resistência das camadas de roupa à transferência de calor latente, $\frac{m^2kPa}{W}$;

h_e : Coeficiente de transferência de calor latente, $\frac{W}{m^2kPa}$;

A molhabilidade da pele consiste numa variável importantíssima relativamente ao cálculo do calor latente transferido para o ambiente que tomará maiores valores quando a molhabilidade máxima, ou seja, $w = 1$. Por outro lado, o calor latente dissipado pela pele E_{sk} , consiste na combinação do suor estimulado pelos mecanismos de termorregulação do corpo humano, E_{rsw} (diretamente proporcional à taxa de geração de suor), com a difusão natural de água através da pele E_{dif} , (*ASHRAE Handbook*, 2013).

$$E_{sk} = E_{rsw} + E_{dif} \quad (2.22)$$

$$E_{rsw} = \dot{m}_{rsw} h_{fg} \quad (2.23)$$

onde:

\dot{m}_{rsw} : Taxa de geração de calor devido ao mecanismo de termorregulação, $\frac{kg}{s \cdot m^2}$;

h_{fg} : Calor de vaporização da água, $2,43 \cdot 10^6 \frac{J}{kg}$ a $30^\circ C$;

Assim sendo, por forma a evaporar o suor gerado, a porção do corpo que se deverá encontrar húmida é dada pela seguinte equação:

$$w_{rsw} = \frac{E_{rsw}}{E_{max}} \quad (2.24)$$

Sem que o sistema de sudação seja ativado ou seja, para condições normais, a humidade será apenas gerada pelos mecanismos normais de difusão natural, correspondendo apenas a 6% da superfície corporal. Caso seja necessário dissipar mais calor, este valor percentual aplicar-se-á apenas às porções de pele que não se encontram cobertas por este fluido ($1 - w_{rsw}$), pelo que o valor de E_{dif} pode ser encontrado recorrendo à seguinte equação, (*ASHRAE Handbook*, 2013):

$$E_{dif} = (1 - w_{rsw}) 0,06 E_{max} \quad (2.25)$$

Esta pode ser resolvida em ordem a w caso seja conhecido o máximo potencial de calor latente, E_{max} , e o calor libertado pela evaporação do suor proporcionado pelos mecanismos de termorregulação, E_{rsw} :

$$w = w_{rsw} + 0,06(1 - w_{rsw}) = 0,06 + \frac{0,94E_{rsw}}{E_{max}} \quad (2.26)$$

Assim que for determinado w , o calor latente dissipado passa a também ser possível extrair-se com recurso a uma nova formulação:

$$E_{sk} = wE_{max} \quad (2.27)$$

Embora o calor latente libertado pela pele se deva à molhabilidade, o corpo não regula diretamente a humidade da pele, mas sim a taxa de geração de suor, \dot{m}_{rsw} . Desta forma a humidade da pele consiste como uma consequência direta das glândulas sudoríparas e do potencial evaporativo do meio ambiente. Na teoria, o limite máximo para a humidade máxima da pele é de 1,0, pelo que, se este valor for excedido, a expressão ($E_{rsw} = \dot{m}_{rsw}h_{fg}$) tornar-se-á inválida. A humidade da pele pode ser facilmente relacionada com o desconforto térmico podendo ainda ser uma ferramenta importante na quantificação do *stress* térmico (*ASHRAE Handbook*, 2013). O corpo humano conseguirá ainda manter o mecanismo de termorregulação com valores de até 1,0 para esta variável, sendo que atingir os 0,8 já serão necessárias condições bastante adversas. Desta forma Azer (1982) recomenda que o limite seja de 0,5 para uma pessoa saudável em ambiente climatizado.

2.4.3 Transferência de calor pela respiração:

No processo de respiração podem ser destacados duas etapas distintas, a inalação e a expiração. Neste primeiro processo, o ar é admitido nas condições exteriores do ambiente enquanto que na segunda o ar é expirado a uma temperatura ligeiramente inferior à temperatura interna corporal praticamente saturado. Estas diferenças podem ser justificadas devido ao fato de existirem trocas de calor sensível e latente tanto por convecção como por evaporação da humidade do ar admitida na inalação do mesmo. Estas trocas de energia serão mais relevantes com o aumento da atividade praticada e conseqüentemente da taxa metabólica do indivíduo (*ISO 8996*), e podem ser quantificadas da seguinte forma, (*ASHRAE Handbook*, 2013):

$$q_{res} = C_{res} + E_{res} = \frac{\dot{m}_{res}(h_{ex} - h_a)}{A_D} \quad (2.28)$$

$$\dot{m}_{w,res} = \frac{\dot{m}_{res}(W_{ex} - W_a)}{A_D} \quad (2.29)$$

$$\dot{m}_{res} = K_{res}MA_D \quad (2.30)$$

onde:

\dot{m}_{res} : Taxa de ventilação pulmonar, $\frac{kg}{s}$;

h_{ex} : Entalpia de ar expirado, $\frac{J}{kg}$;

h_a : Entalpia do ar (ambiente) inspirado, $\frac{J}{kg}$;

$\dot{m}_{w,res}$: Taxa de perdas de água por respiração, $\frac{kg}{s}$;

W_{ex} : Taxa de humidade do ar expirado, $\frac{kg(vapor\ de\ água)}{kg(ar\ seco)}$;

W_a : Taxa de humidade do ar inspirado, $\frac{kg(vapor\ de\ água)}{kg(ar\ seco)}$;

M : Taxa metabólica, W/m^2

K_{res} : Constante de proporcionalidade, $1,43 * 10^{-6} \frac{kg}{J}$

Geralmente, para ambiente interiores, a temperatura e a taxa do ar expirado (em graus *Celsius*) são obtidas em função das condições do meio envolvente, (*McCutchan e Taylor, 1951*). No entanto, caso a experimentação seja feita em condições extremas como ambientes exteriores em climas inverniais, deverão ser aplicadas formulações diferentes (*Holmer, 1984*)

$$t_{ex} = 32,6 + 0,066t_a + 32W_a \quad (2.31)$$

$$W_{ex} = 0,0277 + 0,000065t_a + 0,2W_a \quad (2.32)$$

Relativamente à taxa de humidade do ar inspirado pode ser expressa em termos da pressão total ou barométrica, p_t e da pressão do vapor de água p_a .

$$W_a = \frac{0,622p_a}{p_t - p_a} \quad (2.33)$$

Assim como mencionado anteriormente, as perdas de calor pela respiração são devidas a perdas de calor sensível C_{res} e calor Latente E_{res} .

Para tal foram desenvolvidas novas equações que permitiram simplificar a obtenção destas variáveis entrando com p_a em kPa e t_a em °C, (*ASHRAE Handbook*, 2013).

$$C_{res} = 0,0014M(34 - t_a) \quad (2.34)$$

$$E_{res} = 0,0173M(5,87 - p_a) \quad (2.35)$$

2.5 Modelo de *Fanger*

A avaliação do conforto térmico, ao longo dos anos, tem vindo a ser uma temática de grande foco, sofrendo estudos por parte de inúmeros investigadores. Um deles foi o professor dinamarquês *Povl Ole Fanger*, especializado na área do conforto térmico e análise de ambientes internos. Este foi responsável pela realização de estudos em câmaras climatizadas em laboratórios americanos e dinamarqueses, resultando na criação de um modelo merecedor do desenvolvimento de uma norma internacional, (*ISO 7730 (2005) – “Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria”*).

Fanger relacionou dados relativos ao conforto térmico com variáveis fisiológicas. Desta forma, para certos níveis de taxa metabólica M , e caso o corpo não se encontre longe do equilíbrio térmico, a temperatura média da pele t_{sk} , e a taxa de sudação E_{rsw} , serão as únicas variáveis fisiológicas que influenciarão o balanço térmico. No entanto o balanço térmico por si só não é suficiente para atingir o conforto térmico. Numa vasta gama de condições ambientais, onde o balanço térmico pode ser atingido, apenas uma pequena gama poderá corresponder a conforto térmico. *Rohles e Nevins (1971)* obtiveram expressões para os parâmetros acima mencionados que asseguram conforto térmico:

$$t_{sk,req} = 35,7 - 0.0275(M - W) \quad (2.36)$$

$$E_{rsw,req} = 0.42(M - W - 58,15) \quad (2.37)$$

Para atividades mais exigentes, a taxa de sudação aumentará e a temperatura média da pele diminuirá, aumentando assim as trocas térmicas com o ambiente envolvente.

Estas duas equações permitem assim relacionar o balanço térmico corporal com a sensação de conforto térmico. Substituindo estas expressões na equação (2.20) para C+R, (2.25) e (2.26), a equação (2.3) (equação relativa ao balanço energético) poderá ser utilizada para obter combinações das seis variáveis quer fisiológicas quer pessoais responsáveis pela sensação de conforto térmico para condições estacionárias: isolamento da roupa; metabolismo; velocidade do ar; temperatura do ar; temperatura média radiante e humidade relativa.

Fanger simplificou estes conceitos desenvolvendo uma equação menos complexa, assumindo que todo o suor gerado será evaporado, assumindo uma permeabilidade total das vestimentas. Esta consideração será apenas válida para casos em que seja utilizada roupa de interior e atividades de baixa intensidade, caso contrário poderão ser devolvidos valores pouco precisos. A equação desenvolvida é ligeiramente diferente visto que a equação de transferência de calor por radiação é dada em função da lei de *Stefan-Boltzman* (não utilizando h_r) e a equação para a difusão natural de vapor de água E_{dif} , é expressa sob a forma de um coeficiente de difusão e de uma aproximação linear para da pressão de saturação do vapor avaliada à temperatura da pele t_{sk} . A combinação de variáveis pessoais e ambientais que produzem o equilíbrio térmico podem ser expressas da seguinte forma:

$$\begin{aligned} M - W = & 3,96 * 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \\ & + 3,05 [5,73 - 0,007(M - W) - p_a] \\ & + 0,42 [(M - W) - 58,15] + 0,0173M(5,87 - p_a) \\ & + 0,0014M(34 - t_a) \end{aligned} \quad (2.38)$$

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 \cdot (M - W) - I_{cl} \cdot \{3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a)\} \quad (2.39)$$

Os valores de h_c e de f_{cl} poderão ser extraídos de diversas tabelas e outras expressões, no entanto *Fanger* utilizou as abaixo:

$$h_c = \begin{cases} 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} & 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} > 12,1\sqrt{V} \\ 12,1\sqrt{V} & 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} < 12,1\sqrt{V} \end{cases} \quad (2.40)$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,0 + 0,2I_{cl} & I_{cl} < 0,5 \text{ clo} \\ 1,05 + 0,1I_{cl} & I_{cl} > 0,5 \text{ clo} \end{cases} \quad (2.41)$$

Nas experimentações realizadas, *Fanger* selecionou uma população de cerca de 1300 pessoas por forma a idealizar uma equação (VMP) capaz de estimar a sensação térmica de um grupo de indivíduos (em atividades de baixo esforço) presentes numa determinada área baseada numa escala média de 7 pontos qualitativos: +3 Muito quente; +2 Quente; +1 Ligeiramente Quente; 0 Neutro; -1 Ligeiramente frio; -2 Frio e -3 Muito frio.

Durante este estudo as pessoas envolvidas foram testadas dentro de uma câmara climática (permitindo variar a temperatura ambiente entre os 18,9°C e os 32,2°C sem alterar as restantes variáveis que influenciem a sensação térmica) utilizavam um vestuário com um isolamento de 0,6 *clo* desempenhando atividades metabólicas do tipo sedentária correspondentes a 1,2 *met* por três horas. Desta forma foi possível formular uma expressão capaz de relacionar o voto médio real dado individualmente por cada pessoa e o balanço energético, S verificado (esta variável é um desequilíbrio às equações de conforto e não um *Storage*). Com o intuito de prever condições de conforto, e utilizando a relação acima citada surgiu então o voto real por voto médio previsível (VMP) dado pela seguinte expressão:

$$VMP = (0,303e^{-0,036M} + 0,028) S \quad (2.42)$$

Surgiu ainda a necessidade de associar o voto médio previsível com a percentagem de pessoas insatisfeitas (referentes aqueles que votar para além de -1,0 ou +1) imersos num dado ambiente, surgindo por isso a *PPI* (percentagem de pessoas insatisfeitas):

$$PPI = 100 - 95e^{-0,003353VMP^4 - 0,2179VMP^2} \quad (2.43)$$

Um valor de PPI de 10% corresponde a um VMP de $\pm 0,5$, no entanto mesmo com um VMP=0, 5% das pessoas poderão possivelmente encontrar-se insatisfeitas termicamente no ambiente inserido.

Capítulo 3

Stress Térmico

3.1 Introdução

Os estudos relativos a ambientes térmicos extremos tiveram a sua origem nas diferentes áreas militares a nível global e, com o passar dos anos, a comunidade científica classificou esta temática como uma área prioritária, visando atualizar/criar doutrina por forma a promover a saúde pública, segurança e higiene no trabalho e ainda a educação e investigação neste campo.

As condições climatéricas, assim como as funções desempenhadas por militares destacados em missões operacionais poderão, em certos casos, constituir uma combinação de fatores propícia ao desenvolvimento de condicionantes prejudiciais às capacidades físicas, psicológicas e de produtividade. Condições extremas de temperatura e humidade poderão afetar a competência naquilo que toca ao desempenho de atividades práticas e outras do foro racional, aumentando por isso, a probabilidade de se sucederem danos quer materiais quer pessoais devido a falhas humanas.

Assim como enunciado no capítulo anterior, o corpo humano possui a capacidade de estimular o efeito de medidas termorreguladoras capazes de suprimir os efeitos de um ambiente termicamente adverso. No entanto, em circunstâncias extremas, o corpo poderá perder a capacidade de resposta resultando numa de duas situações possíveis; ou o corpo torna-se incapaz de produzir/receber calor para climas de baixas temperaturas, ou então demonstra-se incapaz para evacuar calor em ambientes sujeitos a elevadas temperaturas. Em ambas estas circunstâncias o indivíduo entrará numa situação de *stress* térmico que consiste num estado psicofisiológico em que é dada a alteração das reações psicossensoriais.

O fato de se estudar este tema inserido à realidade operacional da Marinha Portuguesa (tanto para ambientes térmicos quentes como frios) toma uma dimensão maior relativamente a tantos outros setores do ramo civil, isto porque, quaisquer dos danos referidos anteriormente influenciarão diretamente o sucesso da missão. Caso se

testemunhe a inoperacionalidade de um equipamento fundamental (leia-se sistemas de propulsão, governo, produção de energia...) proporcionado pelo lapso técnico de um membro da tripulação, poderá resultar num atraso em horas ou dias ao tempo estipulado para a conclusão de um determinado objetivo. Por outro lado, ocorrendo determinadas lesões que ponham em causa a rotatividade de quartos/bordadas de serviço ocorrerá uma sobrecarga horária dos restantes membros, contribuindo também para o desgaste físico e psicológico dos mesmos.

3.2 *Stress* térmico em ambientes térmicos quentes

3.2.1 Limites extremos de temperaturas toleráveis para ambientes térmicos quentes e respetivos efeitos sobre o ser humano

Em situações em que um indivíduo esteja perante um ambiente com temperaturas elevadas, os sistemas termorreguladores são ativados por forma a contrariar a tensão térmica sentida. No entanto, o esforço corporal efetuado para desencadear estes sistemas, suscitará sensações de desconforto e mal-estar que aumentarão progressivamente a sua intensidade consoante o tempo de exposição. Desta forma, a satisfação na execução de tarefas diminuirá drasticamente contribuindo para uma quebra na proatividade, segurança e possível desenvolvimento de patologias. Os efeitos adversos do calor encontram-se com maior incidência em atividades militares e industriais (*Carter, 2007 e Hudson, 2003*).

A humidade ambiente constitui uma importante variável no que toca à tolerância ao calor. Num ambiente totalmente seco, o mecanismo de evaporação é bastante eficiente permitindo suportar temperaturas externas de 65,5°C durante longos períodos, no entanto, caso o ar se encontre totalmente saturado, proporcionará a subida da temperatura corporal para temperaturas externas superiores a 34,4°C. Na presença de humidade intermédia, a temperatura interna máxima tolerável é de cerca de 40°C, enquanto que a temperatura mínima ronda os 35,3°C (*Magalhães, 2001*).

Ao longo dos anos têm vindo a ser desenvolvidos estudos com base em medições em que, os seus resultados, quando correlacionados com as respostas fisiológicas

observadas, comprovam a existência de uma correlação entre as elevadas temperaturas experienciadas e as alterações nas funções do corpo.

São elas a temperatura da pele ou dos tecidos profundos do corpo (dá a indicação sobre o grau de tensão a que o sistema termorregulador está submetido), o ritmo cardíaco (permite rapidamente indicar o nível de resposta imposto ao sistema circulatório pela carga térmica ambiental ou de trabalho) e por fim a quantidade de suor produzida (reflete a tensão térmica) uma vez que a evaporação do suor é o meio mais eficiente de defesa contra a hipertermia (Oliveira, 1998).

Segundo a *ISO 12894 (2001)*, pode-se constatar uma panóplia de patologias derivadas da exposição desmedida a ambientes térmicos quentes. Uma breve descrição poderá ser abaixo verificada:

Síncope de calor:

Este sintoma é frequentemente observado em indivíduos que se encontrem imobilizados por longos períodos de tempo em ambientes quentes. Como consequência deste ato ocorre a concentração sanguínea na circulação venosa da pele e dos músculos. Desta forma, devido à diminuição da pressão arterial, é dada uma quebra na quantidade de oxigénio que deveria chegar ao cérebro, resultando no aumento da debilidade física marcada por tonturas, suores frios, vertigens e náuseas.

Caibras de calor:

As caibras de calor resultam da realização de grandes esforços físicos praticados em ambientes excessivamente quentes. Este fenómeno é proporcionado pela redução de líquidos e sais (eletrólitos) sendo mais comum em indivíduos não aclimatados (recrutas militares, trabalhadores industriais, pessoal a operar em salas de máquinas, mineiro). Na prática poderão ser experienciadas fortes contrações (endurecimento, tensão e dor) em diversos músculos das mãos, pernas, abdómen e braços. Esta dor não estimulará a febre e a intensidade da dor poderá ter níveis que variarão de pessoa para pessoa.

Esgotamento por desidratação:

O esgotamento provocado pela desidratação é provocado pela escassez de água no organismo provocada pela sua perda devido à transpiração e a não reposição dos níveis adequados pela ingestão de líquidos. Num ambiente termicamente favorável permite que se resista à morte sem ingerir quaisquer líquidos pelo período de sete dias. No entanto para climas mais quentes e com baixos níveis de humidade, este período será mais curto visto que o suor produzido para diminuir a tensão térmica é rapidamente evaporado.

Esgotamento por depleção Salina:

O esgotamento por depleção salina ocorre quando é feita uma ingestão de sal (cloreto de sódio) insuficiente tendo em conta as perdas proporcionadas pela produção de suor e a urina. Estas perdas são mais frequentes em indivíduos não aclimatados visto que os demais adequam a sua dieta para combater possíveis necessidades no decorrer das suas tarefas. Os sintomas observados são em grande parte semelhantes ao do esgotamento por desidratação até porque estão relacionados e, por isso, são analisados e remediados de forma semelhante.

Golpe de calor:

De todas as patologias anteriormente referidas, o golpe de calor constitui o problema mais sério no que toca à elevada exposição do organismo ao calor, visto que pode resultar numa vasta gama de efeitos nocivos e ainda na morte do trabalhador. Esta perturbação poderá ser verificada com a combinação de atividades de alta intensidade com um ambiente a altas temperaturas que façam a temperatura interna do organismo superar os 41°C.

Algumas das pessoas que poderão representar o grupo de risco são crianças, idosos ou outras que possuam doenças crónicas. No entanto, a prática de comportamentos como o consumo de álcool ou drogas e o uso de vestuário desadequado, poderão também intensificar o fator de risco.

Outros efeitos:

Para além dos efeitos referidos anteriormente, existe também a possibilidade de se verificar uma deficiência de suor que poderá eventualmente provocar desconforto, esgotamento e aumento do ritmo cardíaco.

Existe ainda a criação de edemas de calor, isto é, dilatação dos pés e tornozelos que proporcionará uma sensação de “formigamento” e/ou dor ao caminhar, ocorrendo principalmente em indivíduos não aclimatados.

Por fim poderá ocorrer o aparecimento de erupções cutâneas, mais frequentemente observadas em áreas corporais húmidas como virilhas e axilas que, apesar de não serem de difícil tratamento, poderão infetar, admitindo organismos malignos para o interior do corpo.

3.2.2 Medidas de prevenção perante a exposição ao calor

Por forma a precaver a ocorrência de efeitos nocivos provocados pela exposição ao calor podem ser tomadas algumas medidas por forma a minimizá-los ou até suprimi-los quase por completo. Estas medidas focam-se em atuar sobre três fatores chave: fonte de calor, ambiente de trabalho e proteção individual, (Chande, 2009).

Relativamente ao primeiro ponto referido, é sugerida a criação de barreiras capazes de isolar a energia calorífica irradiada pela fonte de calor. Em casos em que não é necessário a existência de uma atmosfera controlada para a realização das tarefas planeadas, existe a possibilidade de se utilizar aparelhos de ventilação e climatização para reduzir a tensão térmica que se possa sentir no local. Existem ainda uma grande variedade de medidas de proteção individual. A implementação das mesmas deve ser uma decisão tomada pelos cargos de chefia visto que constituem uma matéria importantíssima ao nível da segurança no trabalho e higiene dos trabalhadores. De uma forma resumida, serão de seguida apresentadas as medidas de proteção individual, (Chande, 2009):

Aclimação:

A aclimação consiste em ajustamentos fisiológicos automaticamente efetuados pelo organismo aquando da exposição a temperaturas severas por longos períodos de tempo.

Um indivíduo não aclimatado, quando exposto de forma intensa ao calor, apresentará inicialmente uma elevada frequência cardíaca, alta temperatura rectal e baixa taxa de sudação. No entanto, após algum tempo de exposição já suportará mais eficazmente o calor devido aos ajustamentos fisiológicos realizados, que darão origem a uma maior produção de suor com uma menor concentração de sal, bem como na redução da frequência cardíaca e das temperaturas rectal e da pele (*Oliveira, 1998 e Hudson, 2003*).

Limitação do tempo de exposição:

A exposição a ambientes térmicos severos deverá ser reduzida ao mínimo indispensável para a conclusão das tarefas planeadas. Para tal deverão ser estipulados limites do tempo de exposição por forma a reduzir a sobrecarga térmica aos níveis admissíveis pelo organismo humano, reduzindo os riscos para a saúde dos trabalhadores. Devem ainda ser ponderados períodos de descanso entre indivíduos.

Educação e Preparação física:

A execução de tarefas, testes práticos e outras atividades que promovam a educação dos trabalhadores relativamente à execução correta de determinadas tarefas, utilização de equipamento de proteção individual, por exemplo, poderão ser fulcrais para evitar períodos de permanência necessária junto de fontes térmicas ou remediar possíveis acidentes de trabalho.

Por outro lado, uma boa preparação física pode proporcionar uma maior resistência na execução de tarefas em ambientes severos onde o desgaste físico sentido é maior.

Acompanhamento médico:

Sempre que seja possível, os trabalhadores deverão recorrer a especialistas capazes de efetuar monitorizações médicas por a despistar possíveis doenças crónicas e outras patologias que possam ser agravadas pela exposição ao calor, pondo em causa a sua produtividade e bem-estar.

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

Reposição hídrica e de sais minerais:

Com o desempenho de tarefas físicas combinadas com exposição contínua ao calor, ocorrerá uma perda significativa de água e sais minerais através do suor. A perda destes agentes podem influenciar diretamente o bem-estar e desempenho do trabalhador, pelo que é fundamental fazer uma reposição consciente de líquidos.

Equipamento de proteção individual (EPI):

O equipamento de proteção individual constitui uma importante barreira à penetração de calor, evitando o sobreaquecimento do corpo humano, constituindo assim um agente importante capaz de evitar o sobreaquecimento do corpo humano. Para que seja eficaz, este equipamento deverá permitir a reflexão do calor e, ao mesmo tempo, admitir a evacuação do calor gerado pelo corpo humano mediante os diversos métodos de transmissão térmica.

Em Portugal o Decreto-Lei nº 348/93 de 1 de outubro e a Portaria 988/93 de 6 de outubro, definem as regras de utilização dos equipamentos de proteção individual contra vários riscos, porém devem-se privilegiar os meios técnicos de proteção coletiva e ainda as medidas, métodos ou processos de organização do trabalho na qual o trabalhador deve estar comprometido (*Oliveira, 1998*).

3.2.3 Índices térmicos utilizados para a caracterização de ambientes térmicos quentes

Assim como mencionado anteriormente, a exposição excessiva de trabalhadores ao calor poderá originar problemas ao nível da produtividade e da saúde individual. Desta forma surgiu a necessidade de desenvolver metodologias de análise das condições ambiente, atividade desenvolvida e tempo de exposição.

Para que seja possível a caracterização de um ambiente térmico quente é necessário tomar conhecimento relativamente a pelo menos quatro variáveis (WHO, 1969): a temperatura de bolbo seco (T_a), a temperatura de bolbo húmido (T_{bh}), a temperatura de bolbo negro (T_g) e a velocidade do ar (v_a). A partir destas variáveis podem ser deduzidas outras tais como a pressão de vapor de água, temperatura média radiante e a temperatura de bolbo húmido natural. Torna-se ainda necessário ter conhecimento relativamente a outras duas variáveis por forma a preceder à avaliação de situações de *stress* térmico: isolamento térmico do vestuário (I_{cl}) e o metabolismo (M).

Devido ao elevado número de variáveis envolvidas nestes estudos e ainda devido às diferenças individuais, torna-se difícil compilar num único índice, todos os fatores envolvidos na troca térmica entre o individuo e o meio que o rodeia, não se conseguindo também obter resultados semelhantes para condições ambientais distintas apesar de haver uma mesma solicitação térmica sobre o ser humano (*Estrela, 2013*).

Por forma a desenvolver um índice capaz de ser aplicado a um vasto conjunto de condições ambientais, por forma a recolher resultados plausíveis, podem ser utilizadas dois métodos diferentes, ou através do uso de monogramas com bases teóricas (capazes de estimar a sobrecarga fisiológica para várias condições de trabalho e ambiente) ou então através do desenvolvimento de ferramentas físicas capazes de simular o efeito de um ou mais parâmetros sobre o ser humano (*Oliveira, 1998*).

Com o avanço da tecnologia e os estudos nesta área, foram desenvolvidos uma série de índices térmicos capazes de prever o esforço fisiológico sentido em situações de stress térmico e ainda outros que consideram a sensação de conforto térmico:

- Temperatura efetiva (ET);
- Temperatura efetiva corrigida (CET);
- Temperatura equivalente (EqT);
- Calor equivalente (EqW);
- Temperatura Operativa (OT);
- Taxa de sudação prevista para quatro horas (P4SR);
- Temperatura resultante (RT);
- Índice de Stress por calor (HSI);
- Índice de Oxford (WDI);
- Temperatura de globo e de bolbo húmido (WBGT);
- Índice de tensão térmica;
- Índice equatorial de conforto (ECI);
- Índice de tensão relativa (RSI);
- Índice de *stress* térmico (ITS);
- Tempo limite de exposição fisiológica (PHEL);
- Índice de sudação requerida (SR);
- Índice da tensão de calor prevista (PHS).

Nenhum destes foi ainda capaz de associar todas as combinações possíveis de variáveis (temperatura seca, temperatura radiante, humidade, velocidade do ar, taxa metabólica e isolamento térmico do vestuário) para diferentes tipos de atividades. No entanto, para o estudo de ambientes térmicos quentes, o índice que melhor representa estas combinações é o Índice *PHS* (Estrela, 2013).

3.2.5 Índice da tensão de calor prevista (PHS)

O índice da tensão de calor prevista ou *predicted heat strain* (PHS), consiste num método capaz de avaliar e interpretar o *stress* térmico sentido por um determinado sujeito inserido num ambiente térmico quente, prevendo a taxa de sudação e a temperatura interna do corpo tendo em conta as condições laborais.

Este foi apresentado em 2001 por *Malchaire* sendo em 2004 inserido na *ISO 7933* (2004) com dois objetivos base: Avaliação do *stress* térmico para casos que possam conduzir ao aumento da temperatura interna ou perda significativa de água e ainda o cálculo do tempo máximo de exposição por forma a não exceder os limites da tensão fisiológica, tendo em conta os parâmetros pessoais e ambientais (taxa metabólica, isolamento térmico, temperatura do ar, temperatura média radiante, pressão parcial de vapor e velocidade do ar). Os valores limites para as variáveis citadas estão presentes abaixo.

Tabela 3 Valores máximos admissíveis (Anexo A ISO 7933)

Parameters		Minimum	Maximum
t_a	°C	15	50
p_a	kPa	0	4,5
$t_r - t_a$	°C	0	60
v_a	ms ⁻¹	0	3
M	W	100	450
I_{cl}	clo	0,1	1,0

Com a informação contida na Tabela 3 pode-se observar que o isolamento térmico máximo é de 1,0 *clo* no entanto, para o estudo do uniforme de embarque, este valor tomou valores ligeiramente superiores.

Este modelo, apesar do seu potencial, abrange apenas o estudo de indivíduos padrão sem quaisquer tipos de problemas médicos, operacionais para o desempenho das suas funções e onde não seja feito o uso de equipamento não convencional (excessivamente refletor, impermeável e arrefecível/ventilado).

Segundo a norma acima citada, os valores limites para os critérios de tensão térmica são os seguintes:

- **Temperatura retal máxima:** Segundo as recomendações da organização mundial da saúde (artigo 412 (1969)), é segundo esta variável que é possível determinar o momento ideal para interromper um período de trabalho. Ainda nesse artigo, é descrito que é inaceitável exceder os 38°C para uma temperatura interna do corpo onde se desempenhe trabalho pesado de forma recorrente. Este valor estabelece o limite que assegura que a probabilidade de se atingir os 39,2°C e os 42°C não é superior a 10^{-4} e 10^{-7} , respetivamente.
- **Desidratação e perda de água máxima:** Para pessoas não treinadas, uma desidratação de 3% conduzirá ao aumento da frequência cardíaca e à redução da capacidade de produção de suor. Dito isto a norma propõe: a perda máxima de água admissível quando é permitido ingerir água é de 7,5% da massa corporal para tarefas gerais e 5% para a população trabalhadora. Caso a ingestão não seja facultada, não se deverá exceder os 3%.
- **Taxa de sudação:** A taxa de sudação máxima pode variar entre os 650g/h e os 1000g/h para indivíduos não aclimatados tendo em conta a equação:

$$S_{W_{max}} = 2,6(M - 32) A_{Du} \quad (2.42)$$

Para indivíduos aclimatados este valor ser maior em 25%. Isto deve-se ao fato destes transpirarem mais cedo, de forma mais uniforme e em maiores quantidades, armazenando menos calor e diminuindo a temperatura interna corporal.

- **Humedecimento cutâneo máximo:** Para indivíduos aclimatados o valor máximo é de 1,0 e para não aclimatados é de 0,85.

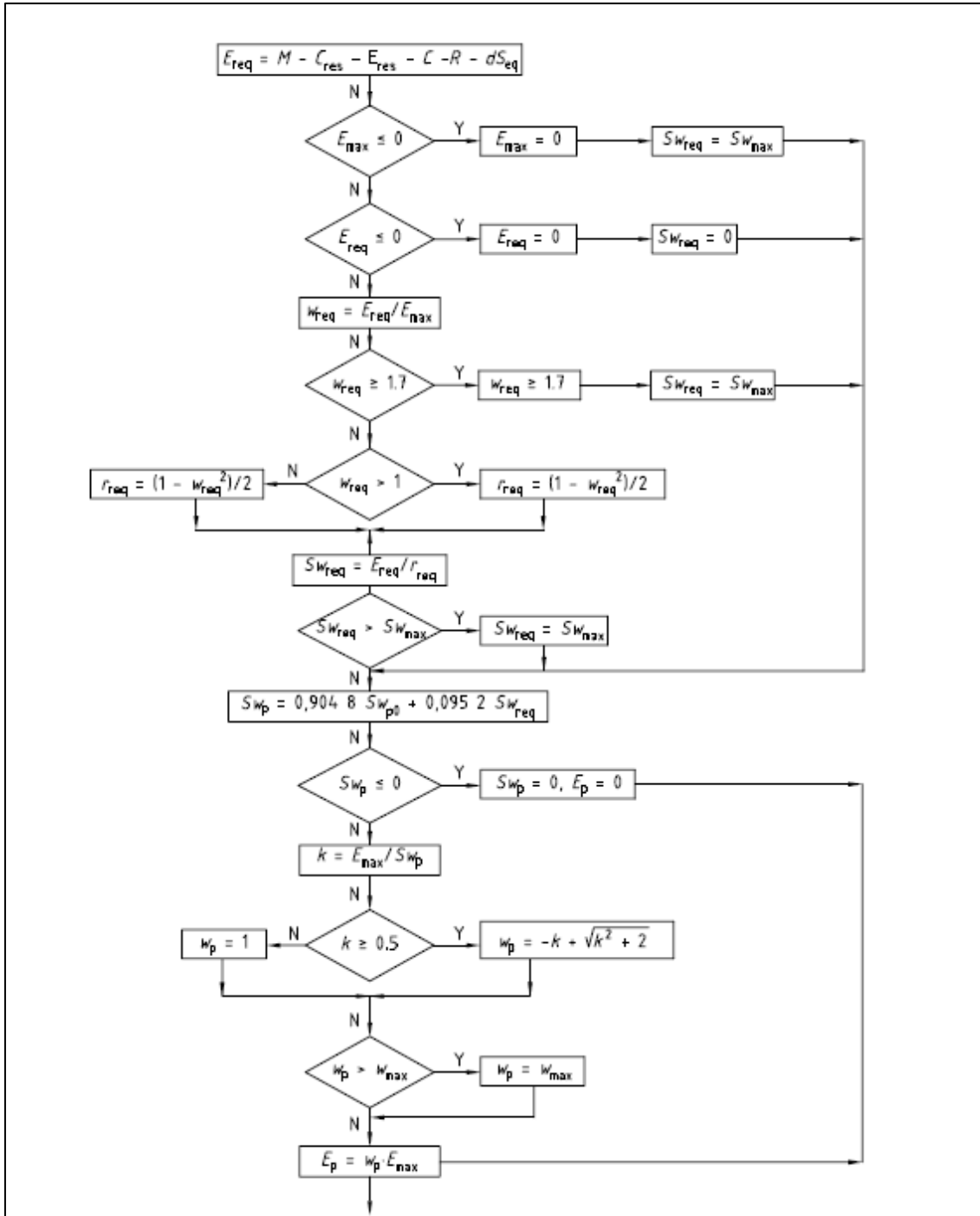


Figura 1 Fluxograma para determinar a taxa de sudação prevista (S_{2p}) e troca de calor prevista por evaporação (E_p)

A ISO 7933 fornece o fluxograma presente na Figura 1 permitindo assim auxiliar o estudo de ambientes quentes. As trocas de calor são calculadas em função das condições metabólicas e do ambiente onde estão inseridos os indivíduos. Numa primeira fase são calculadas as trocas de calor requeridas por evaporação (E_{req}), o

humedecimento cutâneo requerido (w_{req}) e ainda a taxa de sudação requerida (Sw_{req}). À posteriori serão ainda calculadas as trocas de calor previstas por evaporação (E_p), o humedecimento cutâneo previsto (w_p) e a taxa de sudação prevista (Sw_p), tendo em conta w_{max} e Sw_{max} . A taxa de armazenamento de calor, caso exista, é estimada pela diferença entre as trocas de calor requerida e prevista, sendo este valor responsável pela variação da temperatura da pele. Sw_p e t_{re} serão calculados de forma iterativa. O tempo máximo de exposição D_{lim} será atingido assim que a temperatura retal ou a perda de água acumulada atingem os valores máximos, obrigando a paragem do trabalho para repouso.

3.3 *Stress* térmico em ambientes térmicos frios

3.3.1 Limites extremos de temperaturas toleráveis para ambientes térmicos frios e respetivos efeitos sobre o ser humano

Ao longo dos anos foram realizados inúmeros trabalhos de investigação relativamente a esta temática com base em atividades militares, expedições e trabalhos realizados em espaços exteriores. No entanto, com o objetivo de se adaptar às massas, a comunidade científica focou-se no estudo de ambientes interiores, como câmaras frigoríficas, cozinhas e áreas de preparação alimentar encontradas em grandes empresas (responsáveis por milhares de trabalhadores mantidos muitas das vezes em temperaturas abaixo de 4°C) (Parsons, 2012).

Em diversos ofícios desempenhados a nível mundial, é inevitável a exposição ao frio, quer em ambientes internos quer externos. Fazendo o paralelismo para a realidade da Marinha portuguesa, pode também ser facilmente identificada algumas das atividades praticadas que requeiram a interação com ambientes térmicos frios por diferentes intervalos de tempo. Estas mesmas tarefas poderão inserir-se em períodos de tempo curtos onde a exposição é relativamente rápida, ou então períodos de tempo médios/perlongados onde, devido à escala de serviço adotada, por exemplo, não existe a possibilidade de encurtar o tempo de trabalho:

Tarefas de baixa exposição:

- Atividades que envolvam a interação com câmaras frigoríficas fortes e fracas (limpeza, manutenção, recolha ou reposição de alimentos ...)
- Revistas periódicas ao exterior do navio
- Trabalhos no exterior do navio (manutenção/operação do velame do navio, limpezas exteriores ...)

Tarefas de exposição média/prolongada:

- Trabalhos no exterior do navio (Marcadores, manobras de semirrígidas ...)
- Atividades desempenhadas por vigias em certos navios (mais observável em veleiros)

Relativamente aos ambientes térmicos quentes, os ambientes térmicos frios não foram alvos de estudos e investigações de forma tão intensiva, acontecimento esse que pode ser evidenciado pelo fato de não ser tão frequente a interação com estas situações climatéricas na maioria dos territórios continentais a nível global (*Parsons, 2002*).

Muitas das vezes a população comum poderá ocorrer em erros semânticos, avaliando um determinado ambiente como frio devido à temperatura ambiente. Muitas das vezes, apesar da temperatura ambiente ser baixa, o indivíduo nele contido poderá sentir-se com calor e desenvolver respostas para combater um possível episódio de *stress* térmico por excesso de armazenamento térmico. Isto deve-se ao fato de no estudo do *stress* térmico frio ser necessário avaliar-se um conjunto de variáveis e não só uma.

Um determinado indivíduo saberá que se encontra perante um ambiente térmico frio quando surgir a necessidade do seu organismo desencadear mecanismos de termorregulação perante o frio. Assim como nos ambientes térmicos quentes, o organismo humano poderá não ser capaz de combater as adversidades do meio

conduzindo ao desencadeamento de uma série de efeitos fisiológicos e psicológicos nocivos para o trabalhador.

No entanto, existem ainda diversas contradições e falhas relativamente às explicações concretas sobre as consequências do desconforto térmico na fadiga e produtividade (Tavares, 2015).

Os perigos para a saúde passíveis de serem encontrados em ambientes térmicos frios, assim como as respostas psicológicas e fisiológicas poderão ser encontrados na ISO 12894 (2001).

Tabela 4 Reações associadas ao stress térmico frio (Holmér, Granberg e Dahlstrom, 1999)

Duração	Efeitos fisiológicos	Efeitos psicológicos
Segundos	Respiração ofegante	Sensação cutânea, Desconforto
	Hiperventilação	
	Aumento da frequência cardíaca	
	Vasoconstrição periférica	
	Aumento da pressão arterial	
Minutos	Arrefecimento dos tecidos	Redução do rendimento Dor por arrefecimento local
	Arrefecimento das extremidades	
	Deterioração neuromuscular	
	Tremores	
	Arrefecimento por contacto e convecção	
Horas	Menor capacidade para o trabalho físico	Deterioração da função mental
	Hipotermia	
	Lesões por frio	
Dias/ Meses	Lesões por frio sem congelamento	Hábito
	Aclimatização	Pequenas irritações/doenças
Anos	Efeitos crónicos nos tecidos	

Nesta norma é possível consultar de forma reduzida as principais patologias derivadas da perda de calor pelo corpo humano, dando ênfase às causas e consequências da hipotermia, lesões locais e ainda constrangimentos ligados às respostas do sistema cardiovascular, respiratório, metabólico e fisiológico (A. Oliveira, Adélio Gaspar, Divo Quintela, 2007).

3.3.2 Seleção de trabalhadores para desenvolvimento de atividades em climas frios

Num conjunto de trabalhadores, as faixas etárias assim como as atividades praticadas podem ser bastante distintas, no entanto, para o desenvolvimento de um ambiente saudável é necessário realizar um meticoloso planeamento tendo em conta estas duas variáveis. Numa primeira fase, é necessário fazer um despiste de possíveis distúrbios médicos que possam ser catalisados pelo arrefecimento do corpo. Para tal a *British Refrigerated Food Industry Confederation* (RFIC) sugere algumas desses distúrbios que deverão ser tomados em conta: diabetes, problemas de tiroide, doenças sanguíneas, distúrbios renais ou urinários, problemas psicológicos visão ou dificuldade auditiva, medicação prescrita, problemas cardíacos ou circulação, qualquer infeção incluindo ouvido, nariz e garganta, problemas de função pulmonar ou asma, mau funcionamento neurológico, qualquer tipo de artrite ou doença óssea. Caso nenhum dos pontos mencionados se verifiquem, dever-se-á dar prioridade a indivíduos mais jovens (25-45 anos ou mais novos) para o desempenho de atividades com exposição ao frio, visto que apresentam uma maior tolerância a estes ambientes (Parsons, 2002). Outro dos pontos a ter em consideração é a capacidade dos indivíduos, serem capazes de compactuar com um sistema de camaradagem, permitindo reduzir períodos de exposição a outros colaboradores, contribuindo para a melhoria da saúde, segurança, disponibilidade, moral e satisfação de todos no trabalho.

3.3.3 Índices térmicos utilizados para a caracterização de ambientes térmicos frios

Para poder avaliar a severidade de ambientes térmicos frios e assim adequar a execução de tarefas de diferentes trabalhadores, a *ISO 11079* disponibiliza dois índices térmicos distintos, sendo eles o índice de isolamento térmico requerido (*IREQ – Required Clothing Insulation; Holmer, 1984*) e o índice de sensação térmica (*Wind Chill Index; Siple e Passel, 1945*).

3.3.3.1 Índice de isolamento térmico requerido (IREQ)

O índice *IREQ* tem como principal objetivo fornecer ferramentas para que possa ser possível calcular o *stress* térmico frio em ambientes interiores ou exteriores para períodos contínuos ou interrompidos, pelo efeito combinado da produção interna de calor e as respetivas trocas de calor com o exterior. O seu cálculo tem por base a análise de quatro variáveis ambientais (temperatura ambiente, temperatura radiante média, velocidade do ar e humidade relativa) e duas variáveis pessoais (metabolismo e isolamento térmico das roupas envergadas), podendo ser descrita da seguinte forma (ISO 11079):

$$IREQ = \frac{\overline{t_{sk}} - \overline{t_{cl}}}{M - W - E_{res} - C_{res} - E} \quad (3.1)$$

O *IREQ* pode ser classificado em termos de dois níveis de *stress* fisiológico:

- *IREQ_{min}*: Consiste no valor mínimo admissível para o isolamento térmico da roupa envergada por um certo trabalhador para manter o equilíbrio térmico mantendo a temperatura interna do corpo perto dos valores médios. O *IREQ_{min}* poderá conduzir ao arrefecimento do corpo com maior impacto para as suas extremidades, limitando por isso o tempo de exposição.
- *IREQ_{neutro}*: Consiste no valor mínimo admissível para o isolamento térmico da roupa envergada por um certo trabalhador para manter o equilíbrio térmico mantendo a temperatura interna do corpo dentro de valores médios, assegurando um baixo ou nulo arrefecimento corporal.

Com o cálculo de *IREQ* torna-se necessário fazer a comparação direta com o isolamento térmico I_{cl} , das roupas envergadas:

- $I_{cl} > IREQ_{neutro}$: O trabalhador sentirá calor no espaço inserido apesar das condições em que se insere possam parecer características de um ambiente térmico frio. Desta forma conclui-se que a farda utilizada é do ponto de vista térmico demasiado isolante.

- $IREQ_{min} \leq I_{cl} \leq IREQ_{neutro}$: O trabalhador terá uma sensação neutra pelo que poderá desenvolver o seu trabalho de forma normal, sem ser necessário tomar qualquer tipo de medida.
- $I_{cl} < IREQ_{min}$: O trabalhador sentirá frio pelo que a farda deverá ser alterada para outra com um maior isolamento térmica ou o tempo de exposição não deverá ultrapassar o tempo máximo calculado para a situação em estudo.

Para o último caso apresentado é fundamental calcular D_{lim} , isto é, o tempo limite de permanência no local de operação, sendo calculado da seguinte forma:

$$D_{lim} = \frac{Q_{lim}}{S} \quad (3.2)$$

onde:

Q_{lim} : Perda máxima de calor pelo corpo ($W \cdot h/m^2$)

3.3.3.2 Índice de sensação térmica (WCI-Wind Chill index)

O índice de sensação térmica, assim como o próprio nome indica, visa qualificar a sensação térmica assim como os riscos de congelamento da pele de um certo indivíduo inserido num ambiente meramente exterior, tendo em conta a temperatura ambiente e a velocidade do vento medida a 10 metros do solo, (v_{10}) (comumente extraída por estações meteorológicas ou estações de previsão térmica). Caso o instrumento de medição for utilizado à altura do solo deverá ser feito um incremento de uma vez e meia relativamente ao valor obtido.

A interação do vento perante o ser humano será responsável pelo balanço térmico do corpo, isto porque, com o aumento da sua velocidade, proporcionará um aumento das trocas térmicas da pele por evaporação, diminuindo o calor corporal e, por conseguinte, a temperatura interna corporal.

A equação do índice de sensação térmica é descrita da seguinte forma:

$$t_{wc} = 13.12 + 0.6215 t_a - 11.37 v_{10}^{0.16} + 0.395 t_a v_{10}^{0.16} \quad (3.3)$$

A norma reguladora deste índice fornece ainda uma tabela (Tabela 5) associada a uma legenda (Tabela 6) que permite ao utilizador retirar as devidas conclusões.

Tabela 5 Índice de sensação térmica para uma velocidade v_{10} de 4,2 Km/h, (ISO 11079)

v_{10}		t_a °C										
km·h ⁻¹	m·s ⁻¹	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
5	1,4	-2	-7	-13	-19	-24	-30	-36	-41	-47	-53	-58
10	2,8	-3	-9	-15	-21	-27	-33	-39	-45	-51	-57	-63
15	4,2	-4	-11	-17	-23	-29	-35	-41	-48	-54	-60	-66
20	5,6	-5	-12	-18	-24	-31	-37	-43	-49	-56	-62	-68
25	6,9	-6	-12	-19	-25	-32	-38	-45	-51	-57	-64	-70
30	8,3	-7	-13	-20	-26	-33	-39	-46	-52	-59	-65	-72
35	9,7	-7	-14	-20	-27	-33	-40	-47	-53	-60	-66	-73
40	11,1	-7	-14	-21	-27	-34	-41	-48	-54	-61	-68	-74
45	12,5	-8	-15	-21	-28	-35	-42	-48	-55	-62	-69	-75
50	13,9	-8	-15	-22	-29	-35	-42	-49	-56	-63	-70	-76
55	15,3	-9	-15	-22	-29	-36	-43	-50	-57	-63	-70	-77
60	16,7	-9	-16	-23	-30	-37	-43	-50	-57	-64	-71	-78
65	18,1	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72	-79
70	19,4	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-59	-66	-73	-80
75	20,8	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-59	-66	-73	-80
80	22,2	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-60	-67	-74	-81

Tabela 6 Legenda relativa à sensação térmica do corpo e danos causados às extremidades da pele, (ISO 11079)

Classification of risk	t_{wc} °C	Effect
1	-10 to -24	Uncomfortably cold
2	-25 to -34	Very cold, risk of skin freezing
3	-35 to -59	Bitterly cold, exposed skin may freeze in 10 min
4	-60 and colder	Extremely cold, exposed skin may freeze within 2 min

Capítulo 4

Aplicação experimental para avaliação das condições de conforto e *stress* térmico para atividades praticadas a bordo dos navios da esquadra da Marinha Portuguesa.

4.1 Vestuário envergado e estimativa de variáveis

4.1.1 Introdução

Para que se possa analisar a sensação térmica experienciada pelos militares embarcados, torna-se necessário realizar primeiramente uma caracterização técnica do vestuário utilizado para o desempenho das diversas atividades exigidas.

O uniforme de embarque tem como objetivo a sua utilização pelos diversos militares das demais unidades navais enquanto em regime operacional ou, na execução de trabalhos em terra, pelo que deverá fornecer condições térmicas aceitáveis à prática de uma grande variedade de atividades para diversas condições ambientais. Este consiste numa vestimenta de uma peça só, (comumente apelidado de fato de embarque) composto por várias secções, cada uma delas com uma ou mais camadas de tecido de 0,3 mm de espessura. É ainda exigida a utilização de botas de trabalho, camisola de manga curta e roupa interior, no entanto, para situações climáticas mais severas, é permitida a utilização de um casaco corta vento (Figura 1).



Figura 2 Uniforme de embarque (desenho/projeto, uniforme de embarque (DA, ET 0340) e casaco corta vento respetivamente)

A sua utilização permite o armazenamento de diversos objetos (blocos de notas, canetas, lanternas, navalhas, aparelhos de comunicação, entre outros) em oito bolsos distintos e ainda a regulação da abertura das mangas, calças e cintura. Relativamente à sua constituição técnica, possui uma massa de 1,1 kg e uma área de 1,848 m² (0,595 kg/m²). É ainda importante referir que é composto por 60% aramida, 38% viscose ignífuga e 2% de Fibra eletrostática, assim como referido nas especificações do uniforme de embarque segundo a ET 0340 da DA (Anexo A).

Para que se possam aplicar os modelos de conforto e *stress* térmico previamente enunciados, e posteriormente retirar conclusões de forma quantitativa e qualitativa, é necessário estimar a resistência térmica da roupa para o caso de se utilizar ou não, o casaco impermeável. Para a obtenção de um valor aproximado para esta variável, pode-se recorrer a tabelas normalizadas que contenham a resistência térmica para peças semelhantes (Tabela 7) ou recorrendo a métodos experimentais (Tabela 11).

4.1.2 Estimativa teórica do isolamento térmico do uniforme de embarque

Para tal, a *ISO 9920 – Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble*, fornece uma fórmula (Equação 4.1) capaz de aferir de forma aceitável, o isolamento térmico total do uniforme (Tabela 7) com base no somatório do isolamento térmicos das várias peças (informação contida nos anexos da norma) que o compõem.

$$I_{cl} = 0,161 + 0,835 \sum I_{clu} \quad (4.1)$$

Importa ainda referir que o valor do isolamento térmico do fato de peça única utilizado para este estudo foi o de um “*Boiler suit*”, assim como contido nos normativos, visto que se considera como o que mais se assemelha ao uniforme de bordo (fato completo de uma peça). No entanto, há uma incerteza razoável na estimativa deste valor quando comparado com o valor de I_{cl} de calças leves e blusa de mangas compridas.

Tabela 7 Isolamento térmico teórico do uniforme de embarque com e sem casaco corta vento

Peça de vestuário	I_{clu} (clo)	ΣI_{clu} (s/casaco)	ΣI_{clu} (c/casaco)	I_{cl} (s/casaco)	I_{cl} (c/casaco)
Cuecas	0,03	1,14	1,54	1,11	1,44
Camisola de manga curta	0,09				
Fato completo de uma peça	0,90				
Meias (até á zona do gémeo)	0,02				
Botas	0,10				
Casaco corta vento	0,40	---	---	---	---

4.1.3 Estimativa do isolamento térmico do uniforme de embarque recorrendo a métodos experimentais

Experimentalmente é possível proceder ao cálculo do isolamento térmico do uniforme de embarque (equação), comparando com o método posteriormente utilizado, por forma a aferir se os valores obtidos se adequam à realidade.

$$R = \frac{A * \Delta\theta}{Q} \quad (4.2)$$

Este estudo consistiu na determinação do calor retido pelo uniforme de embarque onde, para tal, foi necessário proceder ao cálculo do calor sensível irradiado pelo corpo através do fato, registando as diferenças de temperaturas (fato/corpo) para diferentes regiões corporais. As amostras térmicas foram extraídas de um individuo com

1,71 m de altura e 72 kg de massa corporal inserido numa sala (3,90m x 3,25m x 2,70m) a 20,3 °C.

Numa primeira fase, o sujeito começou por desempenhar funções de baixa intensidade na posição de levantado por cerca de uma hora, envergando apenas roupa interior e o fato de embarque, encontrando-se sobre um tapete de borracha com capacidades de absorção de calor reduzidas.

Após este tempo, foram analisadas seis zonas corporais distintas: antebraço; peito; costas; braço; coxa e perna. Foram extraídas as temperaturas e as áreas à face da pele e à superfície da roupa, assim como a sua espessura. Para estas medições utilizou-se uma fita métrica, um paquímetro e um termómetro digital com aquisição de dados por infravermelhos com dois modos de medição distintos sendo eles, medição de temperatura corporal ($\pm 0,3$ °C) e de superfícies ($\pm 1,0$ °C).

Para a extração dos coeficientes de transferência de calor por convecção e radiação, recorreu-se ao estudo realizado por *De Dear* (1997) válidos para ambientes com velocidades do ar entre os 0,1 e os 5,0 m/s e desempenho de atividades com movimento reduzido/nulo (Tabela 8). No entanto, importa referir que, para estudos futuros, caso se queiram utilizar valores experimentais para estas variáveis (recorrendo às fórmulas 2.12 e 2.40) poderão ser obtidos valores mais elevados dos coeficientes de convecção e de radiação.

Tabela 8 Coeficiente de troca de calor por convecção e radiação (*De Dear, 1997*)

sentado			em pé		
elemento	radiação hr [W/m²K]	convecção hc [W/m²K]	elemento	radiação hr [W]	convecção hc [W/m²K]
pé	4,2	4,2	pé	3,9	5,1
perna	5,4	4,0	perna	5,3	4,1
coxa	4,6	3,7	coxa	4,3	4,1
região pélvica	4,8	2,8	região	4,2	3,4
cabeça	4,8	3,7	cabeça	4,1	3,6
mão	3,9	4,5	mão	4,1	4,1
antebraço	5,2	3,8	antebraço	4,9	3,7
braço	4,8	3,4	braço	5,2	2,9
peito	3,4	3,0	peito	4,5	3,0
costas	4,6	2,6	costas	4,4	2,9

Os valores para as variáveis mencionadas podem ser encontrados na tabela abaixo:

Tabela 9 Variáveis relativas ao uniforme de embarque

Região corporal	Temp. Unif. (°C)	Temp. pele (°C)	Área uniforme (m ²)	Área corporal (m ²)	Espessura (mm)	Diferença de temperaturas ($\Delta\theta$)	h_r, h_c (w/m ² k)
Antebraço	28,0	36,2	0,212	0,116	0,3	8,2	3,7 + 4,9
Peito	27,3	36,7	0,234	0,232	0,6	9,4	3 + 4,5
Costas	28,7	36,4	0,234	0,232	0,62	7,7	2,9 + 4,4
Braços	28,6	36,3	0,228	0,216	0,3	7,7	2,9 + 5,2
Coxa	29,2	36,0	0,594	0,436	0,3	6,8	4,1 + 4,3
Perna	27,3	36,0	0,346	0,244	0,66	8,7	4,1 + 5,3
Σ	---	---	1,848	1,476	---	---	---

Por fim, recorrendo às equações (2.2, 2.5 e 2.13), que permitiram calcular a área de *Dubois* para o indivíduo em causa, assim como a temperatura média radiante, foi possível calcular o calor irradiado pelo corpo por convecção e radiação e por fim R (Equação 4.2).

Tabela 10 Cálculo do isolamento térmico do uniforme de embarque

Região corporal	$Q_C + Q_R$	R (m ² .K/W)	I_{cl} (clo)	I_{cl} (clo) médio
Antebraço	3,30 + 3,75	0,246	1,59	1,04
Peito	4,87 + 6,16	0,199	1,29	
Costas	5,65 + 7,45	0,138	0,89	
Braços	5,20 + 8,09	0,132	0,85	
Coxa	15,91 + 14,62	0,132	0,85	
Perna	7,00 + 7,63	0,206	1,33	

Por fim, calculado o valor do isolamento térmico do fato completo de uma peça, foi uma vez mais feito o somatório corrigido com o isolamento individual das restantes peças de uso geral, obtendo-se um valor de 1,24 e 1,56 *clo* para o uniforme de embarque com e sem casaco corta vento respetivamente. Estes valores, obtidos com base experimental no que respeita ao fato, poderão ser inferiores caso os coeficientes de radiação e de convecção sejam realmente superiores.

Tabela 11 Isolamento térmico do uniforme de embarque calculado de forma prática

Peça de vestuário	I_{clu} (<i>clo</i>)	$\sum I_{clu}$ (s/ casaco)	$\sum I_{clu}$ (c/ casaco)	I_{cl} (s/ casaco)	I_{cl} (c/ casaco)
Cuecas	0,03	1,28	1,68	1,24	1,56
Camisola de manga curta	0,09				
Fato completo de uma peça	1,04				
Meias (até á zona do gémeo)	0,02				
Botas	0,10				
Casaco corta vento	0,40	---	---	---	---

Capítulo 5

Estudo das situações de conforto térmico

5.1 Introdução

A realização deste estudo teve como por objetivo avaliar a sensação térmica das zonas de conforto presentes nos navios da classe *Viana do Castelo*, tendo em conta as condições térmicas nesses espaços com o propósito de sugerir uma configuração mais favorável, tendo em conta as atividades realizadas nesses compartimentos.

5.2 Sistema de climatização inserido a bordo

Os navios desta classe são responsáveis pela realização de inúmeras missões dentro das áreas de responsabilidade nacional ou ainda exercícios com autoridades internacionais em diferentes localizações geográficas. Desta forma toda a superestrutura estará sujeita a diferentes condições climáticas ao longo do seu período operacional. Para contornar esta situação, torna-se necessário possuir um sistema de climatização capaz de manter as condições ambientais interiores dentro de certos parâmetros para que a guarnição possa desempenhar as suas funções nas melhores condições possíveis.

O sistema utilizado é o sistema AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado) estando dividido em quatro zonas verticais estanques denominadas de *Main Fire Zones*, responsáveis por fornecer ar novo a diversos compartimentos como é o caso do espaço de máquinas (casa do impulsor de proa, casa da água nebulizada, casa da caldeira, casa das máquinas principais, casa dos auxiliares a ré, casa da máquina do leme, e túnel dos veios), compartimentos com ar condicionado e compartimentos com ventilação especial (paiol das tintas, casa da caldeirinha, casa das garrafas de dióxido de carbono e paiol de munições). Este é ainda composto por sete casas de ventilação responsáveis pela admissão de ar ao exterior e, cada uma delas possui uma zona de climatização com uma unidade de tratamento de ar (*Air Condition Unit*) com o objetivo de estabelecer as condições interiores de projeto (Tabela 11). Estas unidades de tratamento de ar funcionam num regime de volume constante e, a capacidade de

arrefecimento/aquecimento e humedificação/desumedificação deve-se à variação do caudal de água refrigerada em circulação (Vigo, 2020).

Devido à extrema importância deste sistema, torna-se necessário verificar se as condições de projeto são adequadas para cada um dos grupos de compartimentos climatizados pelas diversas *Air Condition Units* e, se tal não se verificar, sugerir as devidas alterações.

Tabela 12 Condições de Projeto classe Viana do Castelo

Temperatura ambiente (°C)		Humidade relativa (%)	
Verão	Inverno	Verão	Inverno
25	20	50	35

5.3 Aquisição de variáveis

No capítulo anterior é possível ver o cálculo do o isolamento térmico do fato de embarque com e sem casaco corta vento, no entanto, torna-se ainda necessário estimar a taxa metabólica (tendo em conta que os dados obtidos devem ser usados para o caso dos indivíduos se encontrarem maioritariamente do tempo nesses compartimentos) por cada grupo de compartimentos alimentados pela mesma *Air Condition Unit* e ainda a velocidade do ar.

Devido às complicações proporcionadas pela pandemia *COVID19*, houve alguma dificuldade no que toca à realização de medições a bordo pelo que se recorreu à realização de algumas aproximações para a utilização de certas variáveis como é o caso da temperatura média radiante que se considerou igual à temperatura ambiente e a velocidade do ar que se considerou ser de 0,2 m/s para todos as experimentações.

Relativamente à taxa metabólica, devido ao fato de cada compartimento ser utilizado para uma grande diversidade de atividades, houve a necessidade de recorrer à equação presente na *ISO 8996* que permita estimar um valor médio desta variável (Apêndice A), sendo expressa da seguinte forma:

$$M_m = \frac{(M_1 * T_1) + (M_2 * T_2) + \dots + (M_n * T_n)}{T_1 + T_2 + \dots + T_a} \quad (5.1)$$

Onde M_1, M_2, M_n , são os valores da taxa metabólica verificada na prática de uma certa atividade durante um dado tempo T_1, T_2, T_n . Esta expressão é utilizada no cálculo do Metabolismo médio de uma pessoa, de acordo com a ISO 7730. Neste trabalho foi utilizada para o cálculo do metabolismo médio das atividades das pessoas num espaço.

Recolhidos os dados para cada divisão foi então possível calcular o metabolismo médio verificado por cada *Air condition unit* (Tabela 12).

Tabela 13 Taxa metabólica média por cada grupo de compartimentos climatizados pelas Air Condition Units

Air Condition Unit	Taxa metabólica (met)
AC 1.1	1,23
AC 2.1	1,35
AC 2.2	1,25
AC 2.3	1,67
AC 3.1	1,27
AC 4.1	1,76
AC 4.2	1,66

5.4 Aplicação do modelo de *Fanger*

Após adquiridos todos os dados necessários (Tabela 11, 12 e 13), procedeu-se ao cálculo do VMP e PPI por ACU para as condições de projeto, Verão e Inverno, envergando o uniforme de embarque para ambas as situações:

Tabela 14 Cálculo VMP/PPI - Fato de embarque (s/ corta vento)

Fato de embarque (s/ corta vento) $I_{cl} = 1,24$					
	Verão		Inverno		
Zona	VMP	PPI	VMP	PPI	Taxa metabólica
ACU 1.1	0.89	22.0	-0.18	5.74	1,23
ACU 2.1	1.00	26.4	0.02	5.01	1,35
ACU 2.2	0.91	22.8	-0.15	5.47	1,25
ACU 2.3	1.24	37.2	0.42	8.82	1,67
ACU 3.1	0.93	23.4	-0.11	5.26	1,27
ACU 4.1	1.30	40.4	0.52	10.6	1,76
ACU 4.2	1.23	36.8	0.42	8.62	1,66

Tabela 15 Cálculo VMP/PPI - Fato de embarque (c/corta vento)

Fato de embarque (c/corta vento) $I_{cl} = 1,56$					
	Verão		Inverno		
Zona	VMP	PPI	VMP	PPI	Taxa metabólica
ACU 1.1	1.12	31.8	0.16	5.58	1,23
ACU 2.1	1.20	35.6	0.34	7.36	1,35
ACU 2.2	1.14	32.4	0.19	5.82	1,25
ACU 2.3	1.39	45.0	0.67	14.6	1,67
ACU 3.1	1.15	33.0	0.22	6.08	1,27
ACU 4.1	1.44	47.9	0.76	17.0	1,76
ACU 4.2	1.38	44.8	0.66	14.3	1,66

A ISO 7730 define três categorias (Tabela 15) que validam as condições de conforto (A, B, C) para que, os indivíduos inseridos numa certa divisão, possam desempenhar as suas funções sem incorrer em situações de *stress* térmico.

Tabela 16 Categorias para avaliação de um ambiente térmico (ISO 7730)

Categoria	Estado térmico do corpo como um todo	
	PPI (%)	VMP
A	< 6	-0,2 < VMP < +0,2
B	< 10	-0,5 < VMP < +0,5
C	< 15	-0,7 < VMP < +0,7

Analisando a tabela anterior, e utilizando a categoria intermédia (categoria B), podemos verificar que as ACU's sublinhadas a cinzento, não estão regularizadas da melhor forma, visto que os resultados de VMP e PPI não se encontram nos intervalos recomendados. Com a análise dos dados obtidos nas tabelas 14 e 15 é possível concluir que nenhum dos uniformes utilizados satisfazem as condições na estação do Verão e, no Inverno, não é aconselhado o uso do corta vento nos compartimentos alimentados pela ACU 4.1. Sendo assim, torna-se necessário calcular a temperatura ambiente que garanta um voto médio previsível igual a zero (PPI=0 / VMP=5%) e ainda aquela que nos garanta os parâmetros da categoria B (PPI < 10 / -0,5 < VMP < +0,5), assim como apresentado na tabela abaixo.

Tabela 17 Cálculo temperatura ideal fato de embarque (c/ corta vento)

Zona	Temperatura aconselhada VMP (Verão)			Temperatura ideal (VMP=0/PPI=5%) VMP (Inverno)		
	+0.5	0	-0.5	+0.5	0	-0.5
ACU 1.1	21.5	18.6	15.6	22.0	19.0	16.0
ACU 2.1	20.6	17.4	14.1	21.1	17.8	14.4
ACU 2.2	21.3	18.4	15.4	21.8	18.8	15.7
ACU 2.3	18.2	14.2	10.1	18.6	14.5	10.3
ACU 3.1	21.2	18.2	15.1	21.7	18.6	15.5
ACU 4.1	17.5	13.3	9	17.9	13.7	9.2
ACU 4.2	18.3	14.3	10.2	18.7	14.7	10.5

Tabela 18 Cálculo temperatura ideal fato de embarque (s/ corta vento)

Zona	Temperatura ideal (VMP=0/PPI=5%) VMP (Verão)			Temperatura ideal (VMP=0/PPI=5%) VMP (Inverno)		
	+0.5	0	-0.5	+0.5	0	-0.5
ACU 1.1	23.1	20.6	18	23.5	21.0	18.4
ACU 2.1	22.3	19.5	16.7	22.7	19.9	17
ACU 2.2	22.9	20.4	17.8	23.4	20.8	18.2
ACU 2.3	20.1	16.7	13.1	20.5	17.0	13.4
ACU 3.1	22.8	20.2	17.6	23.3	20.6	17.9
ACU 4.1	19.5	15.8	12.2	19.9	16.2	12.4
ACU 4.2	20.2	16.7	13.2	20.6	17.1	13.5

Deve ser referido o grau de incerteza no cálculo do isolamento térmico. Caso seja realmente inferior os valores apresentados seriam substancialmente diferentes.

Capítulo 6

Estudo das situações de *stress* térmico quente

6.1 Introdução

Estudados os ambientes passíveis de se encontrarem em conforto térmico, importa agora analisar aqueles que poderão desenvolver situações de *stress* térmico quente, por forma a aferir o tempo de permanência máximo admissível para a prática dos trabalhos planeados. Para tal foi utilizado o índice *PHS* que tem como base a análise da tensão térmica em termos dos mecanismos termorreguladores do corpo humano e do seu balanço térmico. Os locais selecionados para o estudo foram a cozinha e os espaços de máquinas devido ao fato de serem entendidos como críticos, não só pela severidade das condições climatéricas como também da probabilidade acrescida de resultarem danos materiais e humanos.

6.2 Estudo da cozinha de bordo

As cozinhas de bordo nesta classe de navios são frequentemente usadas por cinco militares da secção de alojamento e alimentação tendo como principal objetivo confeccionar as refeições para a restante guarnição. Estes locais são climatizados pela *Air condition Unit* 2.3 responsável pela manutenção das condições térmicas de projeto, no entanto, devido à existência de fogões (que constituem uma grande fonte de calor), importa estudar a possibilidade dos indivíduos que se encontrem a operar com eles possam ou não incorrer em situações de *stress* térmico.

Figure 3 shows the interface of the FAME Lab Predicted Heat Strain (PHS) Calculator. The window title is "FAME Lab: Predicted Heat Strain (PHS) Calculator (Não responde)". The interface is divided into several sections: "Initial data & Settings", "Run simulation", "Clear", "Save simulation", and "Simulations". The "Initial data & Settings" section includes input fields for "Number of time periods (max = 10)" set to 1, "Time period 1 of 1" with "Air temperature" at 40 °C, "Globe temp." at 40 °C, "Rel. humidity" at 2.5 %, "Air velocity" at 0.3 m/s, "Metabolic rate" at 150 W/m², "Mechanical efficiency" at 0 W/m², "Clothing insulation" at 0.5 clo, "Exposure time" at 480 minutes, "Reflection coefficients" at 0.97 [-], and "Covered BSA" at 54 %. The right side includes "Stature" at 180 cm, "Body mass" at 75 kg, "Walking Speed and Direction" with "Walking Speed" at 0 m/s and "THETA angle" at 0 degrees, "Posture" with "Sitting" selected, "Acclimatized subjects" with "Yes" selected, and "Water consumption" with "Yes" selected. At the bottom, there are checkboxes for "Transfer the values to the next time period" and buttons for "Previous period" and "Next period".

Figura 3 Programa PHS para avaliação das condições de *stress* térmico quente (Programa Fame Lab)

Para tal utilizou-se o *Software* desenvolvido pela *Fame Lab* (Tabela 18) capaz de analisar as condições de stress térmico em ambientes quentes segundo a teoria PHS.

Para que sejam extraídos dados concretos torna-se necessário tomar conhecimento das respetivas variáveis pessoais e ambientais (taxa metabólica, isolamento térmico, temperatura do ar, temperatura média radiante, pressão parcial de vapor e velocidade do ar), assim como referido no capítulo 3. Uma vez que o objetivo é o de analisar o caso mais gravoso mediante aquilo que é a operação nas cozinhas de bordo, o estudo recai sobre o indivíduo responsável por operar sobre a fonte de calor (fogão). Dito isto a taxa metabólica considerada foi a de 1,6 *met* assim como indicado na *ISO 8996* para um trabalho leve na posição de levantado envergando um traje normal de cozinha (composto por camisa de manga curta, calças, cuecas, meias e botas) com um isolamento térmico de 0,54 *clo*. Visto que estes locais são climatizados, as condições térmicas (temperatura e humidade) consideradas foram as de projeto (Tabela 11) e quanto à velocidade do ar, foi pelo mesmo motivo do capítulo anterior utilizado o valor de 0,2 m/s. Por fim existe ainda a necessidade de obter a temperatura média radiante (importantíssima neste estudo devido ao fato de se verificar a operação com aparelhos emissores de calor) sendo calculada pela fórmula 2.12. Para tal é considerado a temperatura das superfícies adjacentes ao sujeito em causa relativamente ao seu fator de forma perante as mesmas. Relativamente a estas temperaturas estimou-se que as paredes, teto e chão se encontrariam à temperatura ambiente de Inverno e Verão e o fogão se encontraria a 90°C. Para determinar o fator de forma e por forma a simplificar os cálculos considerou-se o posicionamento do militar ao centro da cozinha delimitando a mesma num espaço com 6 metros de largura, 6 metros de comprimento e 2,5 metros de altura e, o operador, encontra-se a 0,3 metros do fogão. Desta forma e utilizando as tabelas fornecidas pela ASHRAE Handbook foi então possível calcular o fator de forma F_{p-N} (Figura 3) e de seguida a temperatura média radiante (Tabela 18). No entanto, como as dimensões utilizadas para os espaços estudados foram medidas aproximadas existe alguma reserva de rigor para o valor da temperatura radiante média.

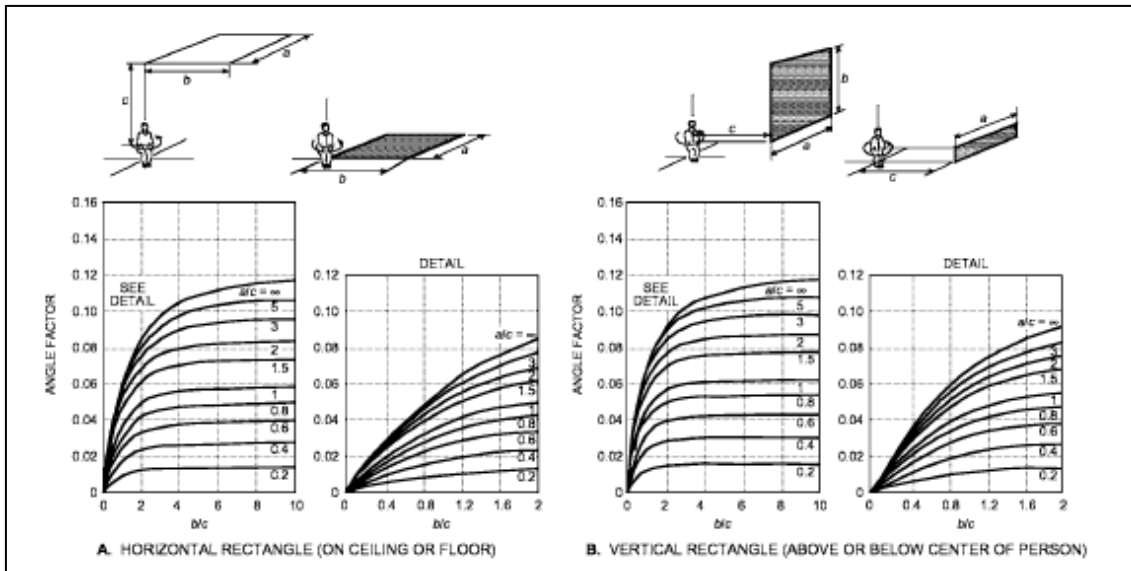


Figura 4 Cálculo do fator de forma relativamente a superfícies horizontais e verticais (ASHRAE Fundamentals, 2013)

Recomenda-se um estudo posterior uma reavaliação local das temperaturas das superfícies, que devido à situação do COVID não foi realizada. Além disso, face à localização das pessoas deverão ser revistos os factores de forma da pessoa para com as superfícies envolventes.

Tabela 19 Cálculo da temperatura média radiante na cozinha de bordo

Temperatura média radiante
$T_{rm} = 49,4 \text{ } ^\circ\text{C}$ (Inverno)
$T_{rm} = 49,6 \text{ } ^\circ\text{C}$ (Verão)

O método *PHS* requer ainda que se mencione a possibilidade ou não de se ingerir água, o fato do individuo se encontrar aclimatizado, a postura que este adota para efetuar as suas atividades (sentado ou em pé), a altura e peso. Dito isto considerou-se que há sim a capacidade de reposição de líquidos, que os militares possuem medidas padrões (1,75 metros de altura e 70 kilos de massa corporal), que se encontram aclimatizados às condições estabelecidas e que se encontram sempre de pé aquando a operar dentro da cozinha. Após inseridas todas as variáveis mencionadas no programa os resultados obtidos foram os seguintes:

Tabela 20 Análise stress térmico quente relativamente à cozinha de bordo

	Temperatura interna do corpo (°C)	Perda total de água (g)	Temperatura interna corporal de 38°C	Perda de água correspondente a 7,5% da massa corporal para uma pessoa padrão	Perda de água correspondente a 5% da massa corporal para 95% dos trabalhadores
Verão	37,3	2913,3	Não excedido	Não excedido	Não excedido
Inverno	37,3	2317,6	Não excedido	Não excedido	Não excedido

Os dados acima representados foram estudados para um intervalo de tempo de 8 horas com o objetivo de analisar a probabilidade de se permanecer por muito tempo nestes ambientes, visualizando a partir de que momento se poderia verificar condições de *stress* térmico. Como é possível observar pela tabela acima, em nenhum dos momentos analisados se observou uma temperatura interna corporal acima dos 38°C e os níveis de água corporal nunca atingiram o limite, pelo que se pode concluir que não será espetável a entrada de nenhum ocupante em episódios de stress térmico.

6.3 Estudo do espaço de máquinas

Nesta classe de navios e assim como nas demais, a casa das máquinas representa um amplo espaço localizado nos pavimentos inferiores do navio, com o objetivo de agrupar uma série de sistemas, sejam eles principais ou auxiliares capazes de irradiar grandes quantidades de calor. Estes espaços são mais frequentemente utilizados pelos militares da secção de eletrotecnia, mecânica e LA, desempenhando tarefas com uma certa exigência física e potencialmente perigosa, dada a quantidade de mecanismos rotativos de grande porte a operarem a altas temperaturas.

Dito isto, o estudo toma uma importância acrescida, pois a entrada em momentos de *stress* térmico poderá conduzir a danos materiais e humanos acabando por comprometer o sucesso da missão.

O processo utilizado foi o mesmo considerado nas cozinhas, no entanto, com o objetivo de também analisar os casos mais preocupantes pressupôs-se a colocação de um operador entre dois motores a uma distância de 1 metro e ainda a possibilidade de este se encontrar perante apenas um motor (isolado do outro) também a uma distância de 1 metro. A taxa metabólica considerada foi de 2 *met*, uma vez que responde à

realização de atividades industriais leves na posição ereta, assim como sugerido uma vez mais na *ISO 8996*, utilizando o uniforme de embarque já estudado anteriormente sem casaco corta vento, com um isolamento térmico total de *1,24 clo*, estando sujeito a uma velocidade do ar estimada de 0,2 m/s.

Ao contrário das cozinhas, o espaço de máquinas não é climatizado, sendo que o ar é admitido diretamente do exterior condicionando diretamente as condições térmicas no seu interior. O catálogo de especificações técnicas refere que a temperatura ambiente nestes compartimentos poderá variar entre 5°C e 50°C. Relativamente à humidade relativa, por nada ser mencionado, considerou-se a possibilidade de esta poder variar entre 20% e 70%. Para o cálculo da temperatura radiante média considerou-se que a temperatura das paredes se manteria nos 25°C, independentemente da variação térmica por forma a simplificar o estudo. Devido ao fato da temperatura das paredes variar com a temperatura ambiente do espaço de máquinas que por sua vez é influenciada pela temperatura ambiente exterior houve a necessidade de atribuir um valor razoável para a maioria dos casos prováveis onde, apesar disso, não será causador de erros nos resultados obtidos, visto que será a temperatura do motor que influenciará com um maior peso a temperatura média radiante.

Em última instância importa ainda referir que a temperatura considerada para o motor foi de 80°C, visto que foi a temperatura obtida pelo SIGP (Sistema integrado da Plataforma) para a água de refrigeração do motor, que será semelhante à temperatura superficial deste. Uma vez mais foi efetuada uma simplificação às dimensões do compartimento numa secção de base quadrangular de 10 metros por 10 metros com uma altura de 5 metros, encontrando o militar em causa a 1 metro do motor para ambas as situações e aquando da operação em apenas um equipamento, a parede na retaguarda encontrar-se -à a 2 metros.

Relativamente às unidades propulsoras estimou-se que estas possuiriam 2 metros de altura, 3 metros de largura e 2 metros de comprimento. Desta forma, e utilizando a mesma metodologia do subcapítulo anterior, calculou-se o fator de forma e a temperatura média radiante para ambas as situações mencionadas. Do mesmo modo

que no caso anterior, recomenda-se em trabalhos futuros a medição das temperaturas das superfícies e a reequação dos fatores de forma entre as superfícies.

Tabela 21 Cálculo da temperatura média radiante (Operando entre 1 e 2 motores)

Temperatura média radiante
$T_{rm} = 51 \text{ °C}$
Temperatura média radiante
$T_{rm} = 43,2 \text{ °C}$

Para a operação no espaço de máquinas levou-se em conta a possibilidade de ingerir água livremente, o fato dos militares possuírem medidas corporais padrões e se encontrarem aclimatizados. Assim como mencionado anteriormente, a humidade e a temperatura ambiente podem variar entre um intervalo bastante grande de valores, pelo que os resultados apresentados nas tabelas em apêndice (Apêndices B e C) foram obtidos para intervalos de humidade de 10% em 10% e de 5 °C em 5 °C para a temperatura ambiente.

Para que estes dados possam ser utilizados pela guarnição devem ser extraídas estas variáveis à hora de início dos trabalhos recorrendo a higrómetros e termómetros presentes a bordo e posteriormente interpolá-los por forma a ser possível a entrada nas tabelas.

Com a análise dos resultados apresentados nos apêndices B e C podemos verificar que em ambos os casos estudados existiram a formação de episódios de stress térmico quente com o aumento da temperatura e humidade. Os dados foram recolhidos para um período de oito horas e apesar de não se prever problemas de desidratação nas primeiras horas de trabalho existe um grande constrangimento relativamente à temperatura interna poder passar os 38 °C com elevada rapidez. Desta forma e em modo de conclusão, é importante que se tenham em conta os limites estimados nos apêndices referidos.

Capítulo 7

Estudo das situações de *stress* térmico frio

7.1 Introdução

À semelhança dos estudos apresentados anteriormente, torna-se ainda necessário avaliar a possibilidade de os militares incorrerem em situações de *stress* térmico frio, para que se possam analisar as melhores maneiras de combater este problema. Para tal serão analisadas as câmaras (fortes e fracas) de conservação de alimentos e os espaços exteriores, recorrendo aos métodos *IREQ* e *Wind Chill Index* respetivamente.

7.2 Estudo das câmaras de refrigeração

No total os navios da classe Viana do Castelo albergam quatro câmaras frigoríficas, duas fortes (carne e peixe) e duas fracas (vegetais/batatas e laticínios/bebidas/pão), garantindo a conservação dos alimentos até ao final de cada missão. Relativamente às suas condições interiores é possível afirmar que, consultando as especificações técnicas do navio, a temperatura ambiente das câmaras fortes varia entre -18 °C e os -20 °C enquanto que as restantes câmaras se encontram a +4°C. Relativamente à humidade relativa, nada é mencionado pelo que se considerou a possibilidade desta variável poder se encontrar entre os 75% e os 90%. Para abastecer estes equipamentos são realizadas fainas que permitem a chegada de alimentos do exterior para o interior do navio onde um ou dois militares são responsáveis por permanecer dentro deles para efetuar uma correta arrumação dos artigos. Por outro lado, e ao longo da missão, as câmaras são diariamente utilizadas pelo pessoal da secção de alimentação e alojamento. Dito isto, e verificando-se uma recorrente utilização destes espaços, torna-se fundamental analisar a perigosidade da sua permanência prolongada, procurando calcular o tempo máximo admissível ou o isolamento térmico necessário para que seja possível operar nesses locais sem perigo. Para tal foi utilizado o programa *IREQ* (Figura 4) fornecido pela *ISO 11079*.

CALCULATION OF REQUIRED INSULATION, IREQ AND DURATION LIMITED EXPOSURE, Dlim

116	M (W/m ²), Metabolic energy production (58 to 400 W/m ²)
0	W (W/m ²), Rate of mechanical work, (normally 0)
-15	Ta (C), Ambient air temperature (< +10 C)
-15	Tr (C), Mean radiant temperature (often close to ambient air temperature)
8	p (l/m ² s), Air permeability (low < 5, medium 50, high > 100 l/m ² s)
0	w (m/s), Walking speed (or calculated work created air movements)
0.4	v (m/s), Relative air velocity (0.4 to 18 m/s)
85	rh (%), Relative humidity
2.5	Icl (clo), AVAILABLE basic clothing insulation (1 clo = 0.155 W/m ² K)

IREQ & Dlim RESULTS (minimal to neutral)

Insulation Required, IREQ to (clo)

REQUIRED basic clothing insulation (ISO 9920), Icl to (clo)

Duration limited exposure, Dlim to (hours)

message

Figura 5 Programa fornecido pela ISO 11079 para a avaliação das condições de stress frio

Relativamente às restantes variáveis, a velocidade do ar considerada foi de 0,4 m/s, a taxa metabólica de 1,6 met (correspondendo a atividades leves na posição ereta segundo a ISO 8996) e a permeabilidade do ar, ρ , de 8 L/m². s (assim como aconselhado pela ISO 11079 para a maioria dos uniformes utilizados em ambientes exteriores). Os resultados obtidos tiveram como base a utilização do uniforme de embarque com e sem casaco corta vento, sendo apresentados nas tabelas em apêndice (Apêndices D, E, F e G).

Com a análise dos resultados recolhidos (Apêndice D, E, F e G) é possível concluir que os trabalhos a realizar junto das câmaras fracas não requerem a adoção de grandes cuidados visto que o isolamento térmico do fato de embarque com e sem casaco corta vento se encontra dentro do intervalo recomendado. Por outro lado, para o caso das câmaras fortes, o mesmo já não se verifica para nenhuma das duas combinações possíveis de vestuário. Dependendo das condições de humidade e temperatura, os militares a operarem dentro destes compartimentos deverão de ter em conta o tempo que estimam lá permanecer. Caso haja a necessidade de recolher um determinado artigo e não se preveja permanecer mais do que o tempo enunciado nas tabelas acima, não será necessário envergar nenhuma outra camada de roupa, no entanto, caso o tempo se prolongue (como se pode verificar em processos de limpeza ou fainas de alimentos) deverão ser envergados casacos térmicos.

7.3 Estudo dos espaços exteriores

No decorrer de uma missão, são recorrentes as interações dos militares com o ambiente exterior, quer seja para efetuar as fainas necessárias para preparar o navio para atracar ou largar, quer seja para executar treinos ou operações. Desta forma importa criar alguma documentação que permita estimar a sensação térmica exterior por forma a adequar as vestimentas utilizadas no exterior.

Apesar deste estudo ter um fator de importância elevado, existem diversos fatores que dificultam o seu estudo com base no método anterior isto porque as variáveis a utilizar apresentam um enorme intervalo de valores. Na execução de um exercício, por exemplo, a taxa metabólica varia de militar para militar, dependendo da intensidade física exigida pela atividade praticada. Por outro lado, os valores de temperatura, humidade e velocidade do vento divergem no decorrer da missão devido à constante alteração da posição geográfica e da velocidade do navio. Em suma, a realização deste estudo exigiria um estudo muito exaustivo e pouco preciso pelo que se deverá recorrer a outros meios.

Dito isto, o teorema do *Wind Chill Index* será a escolha mais acertado visto que, dependendo apenas da temperatura ambiente e da velocidade do vento permitem atribuir uma avaliação quantitativa e qualitativa da sensação térmica exterior. Apesar destas duas variáveis puderem alterar ao longo do tempo, deverão ainda assim ser utilizadas para que seja dada uma indicação aproximada da realidade.

Para tal foi criado um programa *MATLAB* capaz de criar uma tabela semelhante à da tabela *WCI* da *ISO 11079*, porém com intervalos menores, visto que a temperatura ambiente mínima permitida de operação para esta classe de navios se encontra nos $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tabela 22 Cálculo do índice de sensação térmica para ambientes exteriores

v10		Temperatura ambiente		
km/h	m/s	0	-1	-2
5	1,4	-2	-3	-4
10	2,8	-3	-5	-6
15	4,2	-4	-6	-7
20	5,6	-5	-7	-8
25	6,9	-6	-7	-8
30	8,3	-6	-8	-9
35	9,7	-7	-8	-10
40	11,1	-7	-9	-10
45	12,5	-8	-9	-10
50	13,9	-8	-10	-11
55	15,3	-8	-10	-11
60	16,7	-9	-10	-12
65	18,1	-9	-10	-12
70	19,4	-9	-11	-12
75	20,8	-10	-11	-12
80	22,2	-10	-11	-13
85	23,6	-10	-11	-13
90	25	-10	-12	-13
95	26,4	-10	-12	-13
100	27,8	-11	-12	-14
105	29,2	-11	-12	-14

Para que esta tabela seja utilizada corretamente, um dos elementos das respectivas equipas encarregues pela execução de uma certa tarefa deve consultar a temperatura ambiente e ainda a velocidade do vento (não esquecendo de efetuar as devidas correções assim como explicado no subcapítulo 3.3.3.2), recorrendo aos termómetros e anemómetros presentes no navio. A tabela acima apresenta então os índices de sensação térmica para os ambientes exteriores onde as condições térmicas são mais preocupantes. A sua leitura permite informar os militares de que, caso o valor obtido seja inferior a -10 inclusive, (região sombreada a azul) poderão sentir algum desconforto, pelo que deverão envergar outras camadas de roupa, como é o caso dos fatos térmicos presentes a bordo.

Capítulo 6

Conclusões e desenvolvimentos futuros

Os navios da Marinha Portuguesa, com especial foco neste estudo para os navios patrulha oceânica, são responsáveis pelo cumprimento de missões das mais diversas índoles ao longo das áreas de interesse nacional, albergando dentro deles dezenas de militares. Estes, no tempo que lá permanecem destacados, são sujeitos à realização de atividades com diferentes exigências físicas em compartimentos com diferentes condições climatéricas. Mediante a necessidade de permanecer em ambientes termicamente severos, devido ao intenso esforço corporal por manter o balanço térmico, poderão incorrer em episódios de stress térmico devido à absorção ou libertação desmesurada de energia calorífica, contribuindo para a diminuição da produtividade e da consciência perante os perigos aos quais estão sujeitos.

Desta forma, o presente trabalho teve o objetivo de estudar os espaços mais frequentemente utilizados pela guarnição destes navios tendo em conta as atividades comumente realizadas tendo por base a utilização dos uniformes de embarque utilizados atualmente.

Numa primeira fase, procedeu-se à avaliação do uniforme de embarque onde foi possível calcular o seu isolamento térmico recorrendo a métodos teóricos (somatório do isolamento térmico unitário de cada peça de roupa segundo os dados fornecidos na ISO 7730) e práticos a partir de um termómetro de infravermelhos digital. Comparando os resultados obtidos pelos dois métodos é possível concluir que não variavam muito entre si (o valor teórico é apenas 14% inferior ao valor prático), comprovando a assertividade dos procedimentos efetuados.

Para o estudo do conforto térmico uma das variáveis que se necessita conhecer é a taxa metabólica desempenhada por cada grupo de pessoas presente em cada um dos compartimentos climatizados por uma *Air Condition Unit*, no entanto essa tarefa é dificultada pelo fato desta variar dependentemente da missão em vigor ou até dos hábitos/rotinas de cada elemento da guarnição. Para contornar isso mesmo foi feita uma estimativa da mesma tendo em conta as atividades que são previsivelmente

praticadas num determinado período de tempo para a maioria dos cenários. Feito isso, e conjugando os restantes dados, foi possível perceber que o uniforme de embarque promove sensações de conforto para as condições de Inverno na maioria dos compartimentos, mas, no verão, o seu uso não é aconselhado. Para contornar este fato deverá recorrer-se à diminuição da temperatura ambiente a partir da reprogramação dos sistemas de climatização.

Relativamente aos ambientes térmicos quentes foram avaliados os espaços de máquinas e a cozinha de bordo devido ao risco proporcionado pela manipulação de aparelhos perigosos. Recorrendo ao método *PHS* foi possível concluir que a farda utilizada na cozinha é adequada face às condições climáticas apresentadas não influenciando o comportamento dos trabalhadores mesmo para tempos de permanência prolongado. Contrariamente às cozinhas, os espaços de máquinas devem possuir um acompanhamento contínuo da temperatura ambiente e humidade relativa uma vez que, quando são atingidos certos patamares a temperatura interna do corpo pode subir substancialmente, reduzindo bastante o tempo de permanência nesses locais. Outro dos problemas referentes a isto mesmo é o fato dos elementos que operam nestes espaços, para contrariar o calor excessivo libertado pelas máquinas, aliviam o uniforme de embarque, cruzando as mangas ao nível da cintura, criando inconscientemente um risco acrescido à sua integridade física visto que partes do mesmo podem ser colhidos pelos diferentes aparelhos.

Por último recorrendo ao método *IREQ* e *WCI* foram ainda testados os ambientes frios, nomeadamente as câmaras de refrigeração e os ambientes exteriores. Relativamente aos primeiros indicados, constatou-se que as câmaras fracas permitem a realização de operações por períodos ilimitados, porém nas câmaras fortes o tempo contido nesses compartimentos deve ser controlado visto que a certa altura poderão ser detetados os primeiros sintomas por stress térmico.

Relativamente às dificuldades encontradas neste trabalho, é possível afirmar que existem reservas relativamente aos valores obtidos do isolamento térmico do uniforme de embarque, a taxa metabólica por *ACU* e as temperaturas radiantes médias nos espaços quentes.

Em trabalhos futuros poderá recorrer-se a câmaras termográficas para melhor avaliação da temperatura na superfície do fato. Poderão ainda ser usados manequins térmicos que, a partir de instrumentos e programas embutidos. Quanto à taxa metabólica será interessante uma reavaliação a bordo das actividades realizadas em cada compartimento por cada individuo. Se possível, será importante obter o valor metabólico dos grupos de indivíduos por actividades. Como referido anteriormente, as temperaturas radiantes médias deverão ser revistas *in loco*.

Do trabalho realizado, é possível constatar que para a maioria dos casos, o fato do uniforme de embarque ser constituído por uma peça única impossibilita a adaptação a diferentes espaços e ambientes térmicos.

Propõe-se o desenvolvimento de um novo uniforme de embarque com duas peças separadas estudando-se ainda a melhor composição de tecidos por forma a adequar de forma polivalente, a permanência dos militares nos diferentes compartimentos estudados.

Bibliografia

- (WHO), W. H. (1969). *Health factors involved in working under conditions of heat stress*. Geneve: World Health Organisation (WHO), Technical Report Series.
- Abastecimento, D. d. (n.d.). *ET 0340, Especificações de Artigo Fato de embarque*. Base Naval, Alfeite: Direção de Abastecimento.
- Ashley, C., Luecke, .., Schwartz, S., Islam, M., & Bernard, T. (2008). *Heat Strain at the critical WBGT and the effects of gender, clothing and metabolic rate*. . University of South Florida, USA: International Journal of Industrial Ergonomics.
- ASHRAE. (2009). *Handbook of Fundamentals*. New York.
- ASHRAE. (2010). *Standard 55-2010 Thermal Environmental Conditions*. Nova York.
- ASHRAE. (2013). *Handbook Fundamentals*. Nova York.
- ASHRAE. (2013). *Standard 62.1-2013: for Acceptable Ventilation*. Nova York.
- Aulicems, A., & Szokolay, S. (2007). *Thermal Comfort* (Second Edition ed.). Austrália: Department of architecture, The University of Queensland.
- Bráz, J. (2005). *Fisiologia da termoregulação normal*. Brasil: Revista Neurociencias. departamento de Anestesiologia da Faculdade de Medicina de Botucatu, Universidade Estadual de São Paulo.
- Carter, Robert et al. (2007). *Doenças provocadas pelo calor*. Brasil: Gatorade Sport Science Institute.
- Carvalho, V. (2020). *Estudo dos Sistemas de Climatização dos Navios de Patrulha*. Alfeite: Escola Naval.
- Chande, A. F. (2009). *Risco de Stress Térmico em Ambiente Fabril - Análise comparativa entre a industria papeleira e vidreira. Dissertação para obtenção de Garu de Mestre em Dinâmicas Sociais, Riscos Naturais e Tecnológicos*. Coimbra: Faculdade de Ciências e Tecnologia, Faculdade de Letras e Faculdade Economia da Universidade de Coimbra.
- Costa, E., Batista, J., Diogo, M., & Magalhães, A. (2011). *Ambiente Térmico Quente e o seu impacto na produtividade e sinistralidade*. porto: Centro de Investigação em Geo-ambientese Recursos, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Crutchfield, C. (2011). *A Guide to Preventing Heat Stress and Cold Stress. Occupational Safety and Health Division*. North Carolina: N. C. Department of Labor (NCDOL).

- Dowell, C., & Tapp, I. (2007). *Evaluation of Health Stress at a Glass Bottle Manufacturer*. Indiana: Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention.
- Duarte, A. (2020). *Avaliação da exposição ao stress térmico em ambientes frios: revisão da literatura*. Lisboa: INSTITUTO POLITÉCNICO DE LISBOA.
- Estrela, T. F. (2013). *Avaliação de Ambientes Térmicos Quentes*. Coimbra: Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra.
- Fernandes, E. (2014). *Análise das condições de conforto em ambientes refrigerados*. Covilhã: UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR.
- Frota, A. B., Schiffer, & Sueli, S. R. (1987). *Manual de Conforto Térmico* (5ª Edição ed.). Brasil: Studio Nobel.
- Hudson, J. (2003). *Heat Stress control and Casually Mangement*. Washington: Technical Bulletin, Headquarters Department of the Army and Air Force.
- ISO 11079. (2007). *Ergonomics of the thermal environment — Determination and interpretation of cold stress when using required clothing insulation (IREQ) and local cooling effects*. Geneve: Interntional Organization for Standardization.
- ISO 12894. (2001). *Ergonomics of the thermal environment - Medical supervision of individuals exposed to extreme hot or cold environments*. Geneve: Interntional Organization for Standardization.
- ISO 7730. (2005). *Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. Geneve: Interntional Organization for Standardization.
- ISO 7993. (2004). *Ergonomics of the thermal environement - Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain* (Final Draft ed.). Geneve: Interntional Organization for Standardization.
- ISO 8996. (1990). *Ergonomics — Determination of metabolic heat production*. Geneve: Interntional Organization for Standardization.
- ISO 9920. (2007). *Ergonomics of the thermal environment — Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble* (Final Version ed.). Geneve: Interntional Organization for Standardization.
- Magalhães, S., Albuquerque, R. R., Pinto, J. C., & Leite, M. A. (2001). *Termorregulação, Texto de Apoio*. Porto: Serviço de Fisiologia, Faculdade de Medicina da Universidade do Porto .

- Mairiaux, P., & Malchaire, J. (1995). *Comparison and validation of heat stress indices in experimental studies*. Bélgica: Occupational Hygiene and Work Physiology, Catholic University of Louvain.
- Malchair, J. (1991). *Predicted Sweat rate In Fluctuating Thermal Conditions*. Bélgica: Occupational Hygiene and Work Physiology, Catholic University of Louvain.
- Malchaire, J., Gebhardt, H. J., & Piette, A. (1999). *Strategy for Evaluation and Prevention of Risk Due to Work in Thermal Environments*. Bélgica: Occupational Hygiene and Work Physiology, Catholic University of Louvain.
- Malchaire, J., Piette, A., Kampmann, B., Mehnert, P., Gebhardt, H. J., Havenith, G., . . . Griefahn, B. (2002). *Assessment of the risk of heat disorders encountered during work in hot conditions*. Bélgica: International Archives of Occupational and Environmental Health publishes.
- Monteiro, L. M., & Alluci, M. P. (2007). *Questões Teóricas de Conforto térmico em espaços abertos: consideração histórica, discussão do estado da arte e proposição de classificação de modelos*. São Paulo, Brasil: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.
- Oliveira, A. V. (1998). *Avaliação de Condições de Trabalho Em Sectores de Actividade com Elevada Exposição ao Calor. Dissertação para obtenção de Grau Mestre em Ciências de Engenharia Mecânica*. Coimbra: Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Organization, I. L. (2001). *Ambient factors in the workplace* (Primeira Edição ed.). Geneva: International Labour Office.
- Parsons, K. (2012). *Occupational Health Impacts of Climate Change: Current and Future ISO Standards for Assessment of Heat Stress*. Department of Human Sciences. Loughborough University, United Kingdom.
- Pourmahabadian, M., Adelhah, M., & Azan, K. (2008). *Heat Exposure Assessment In The Work Environment Of A Glass Manufacturing Unit*. Irão: Department of Occupational Health, Tehran University of Medical Sciences.
- Racinais, S., Gaoua, N., & Grantham, J. (2008). *Hyperthermia impairs short-term memory and peripheral motor drive transmission*. Qatar: Qatar Orthopaedic and Sports Medicine Hospital, Exercise and Sports Science Department.
- Rodrigues, F. (2007). *Conforto e Stress Térmico: uma Avaliação em Ambiente Laboral*. Aveiro: Universidade de Aveiro, Departamento de Física.
- Talaia, M., Teixeira, L., & Tavares, I. (2021). *Risco de fadiga em ambiente térmico frio: caso de uma indústria de peixe congelado*. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.

Tavares. (2015). *Avaliação de ambientes frios e sensação térmica de trabalhadores: estudo de caso numa empresa de bacalhau (Dissertação de grau de mestre em Engenharia e Gestão Industrial)*. Universidade de Aveiro.

Vernon, H. M., & Warner, C. G. (1932). *The influence of humidity of the air on capacity of work at high temperatures* (Vol. Volume 32). Cambridge: Journal of Hygiene, Cambridge University Press.

Apêndice A – Taxa metabólica média por Air Condition Unit (ET 0340)

Air condition units	Compartimento	Reclinado	Sentado/relaxado	Atividade sedentária (escritório)	Em pé (atividade industrial leve)	Em pé (trabalho c/ maquinaria)	Andar (2 km/h)	Andar (3 km/h)	Andar (4 km/h)	Andar (5 km/h)	Somatório (met)	Metabolismo médio por AC
		0,8	1	1,2	1,6	2	1,9	2,4	2,8	3,4		
ACU 1.1	Climatização do destacamento LA AV		0,45	0,45			0,1				1,18	1,23
	Climatização do quadro elétrico principal AV				0,9		0,1				1,63	
	Climatização do camarote do CO	0,4	0,3	0,2			0,1				1,05	
	Climatização da camarinha do CO		0,9				0,1				1,09	
	Climatização do camarote do XO	0,3	0,3	0,3			0,1				1,09	
	Climatização do camarote 1	0,3	0,3	0,3			0,1				1,09	
	Aquecimento do camarote de sargentos 1	0,4	0,3	0,2			0,1				1,05	
	Aquecimento do camarote de sargentos 2	0,4	0,3	0,2			0,1				1,05	
	Aquecimento do camarote de sargentos 3	0,4	0,3	0,2			0,1				1,05	
	Aquecimento do camarote de sargentos 4	0,4	0,3	0,2			0,1				1,05	
	Aquecimento do camarote de sargentos 5	0,4	0,3	0,2			0,1				1,05	
	Aquecimento do camarote de sargentos 6	0,4	0,3	0,2			0,1				1,05	
	Aquecimento do camarote de sargentos 7	0,4	0,3	0,2			0,1				1,05	
	Climatização do paiol da cantina				0,8		0,2				1,66	
	Aquecimento da cobertura 1	0,4	0,4	0,1			0,1				1,03	
	Aquecimento da cobertura 2	0,4	0,4	0,1			0,1				1,03	
	Aquecimento da cobertura 3	0,4	0,4	0,1			0,1				1,03	
	Aquecimento da cobertura 4	0,4	0,4	0,1			0,1				1,03	
	Aquecimento da cobertura 5	0,4	0,4	0,1			0,1				1,03	
	Aquecimento da cantina			0,85			0,15				1,31	
	Aquecimento dos sanitários das praças		0,9				0,1				1,09	
	Aquecimento da escotaria				0,8		0,2				1,66	
	Aquecimento do paiol de armamento portátil				0,8		0,2				1,66	
Paiol de abastecimento 1				0,8		0,2				1,66		
Paiol de abastecimento 2				0,8		0,2				1,66		
Paiol de abastecimento 3				0,8		0,2				1,66		
AC 2.1	Aquecimento da ponte		0,33	0,33			0,33				1,353	1,35
AC 2.2	Climatização da casa dos transretores				0,8		0,2				1,66	1,25
	Climatização do centro de comunicações		0,2	0,5	0,2		0,1				1,31	
	Climatização da câmara de oficiais		0,9				0,1				1,09	
	Climatização da copa de oficiais				0,7		0,3				1,69	
	Climatização do gabinete técnico			0,7	0,2		0,1				1,35	
	Climatização da câmara de Sargentos		0,9				0,1				1,09	
	Climatização da enfermaria (Enf's/Doc's)			0,9			0,1				1,27	
	Climatização da enfermaria (pacientes)	0,1	0,8				0,1				1,07	
	Aquecimento da cobertura 6	0,5	0,4				0,1				0,99	
	Climatização da cobertura 7	0,5	0,4				0,1				0,99	
	Aquecimento da cobertura 8	0,5	0,4				0,1				0,99	
	Aquecimento da cobertura 9	0,5	0,4				0,1				0,99	
	Climatização da cobertura 10	0,5	0,4				0,1				0,99	
	Climatização da cobertura 11	0,5	0,4				0,1				0,99	
	Aquecimento do camarote do navegador	0,3	0,3	0,3			0,1				1,09	
	Aquecimento do camarote do engenheiro	0,3	0,3	0,3			0,1				1,09	
	Aquecimento do camarote do oficial de operações	0,3	0,3	0,3			0,1				1,09	
	Aquecimento da ponte		0,33	0,33			0,33				1,35	
	Aquecimento da casa de banho da enfermaria		0,9				0,1				1,09	
	Aquecimento da botica			0,5			0,5				1,55	
	Aquecimento do isolamento	0,5	0,4				0,1				0,99	
	Aquecimento do camarote de Sargentos 8	0,4	0,3	0,2			0,1				1,05	
	Aquecimento da Lavandaria				0,9		0,1				1,63	
Paiol de bebidas				0,8		0,2				1,66		
Paiol de géneros				0,8		0,2				1,66		
Casa da giro				0,9		0,1				1,63		
Ponte		0,33	0,33			0,33				1,35		
AC2.3	Ar condicionado da cozinha				0,7		0,3				1,69	1,67
	Casa de preparação de alimentos				0,9		0,1			1,63		
	Climatização da copa de Sargentos				0,7		0,3			1,69		
AC 3.1	Climatização da casa da lavagem da palamenta				0,8		0,2				1,66	1,27
	Climatização do gabinete do sargento de dia	0,4	0,4				0,2				1,26	
	Climatização do refeitório de praças	0,8					0,2				1,18	
	Climatização da secretaria de abastecimento			0,7	0,2		0,1				1,35	
	Climatização do centro de cópias			0,9			0,1				1,27	
	Climatização da secretaria de abastecimento			0,7	0,2		0,1				1,35	
	Climatização do centro de informática			0,7	0,2		0,1				1,35	
	Climatização do bar		0,8				0,2				1,18	
	Aquecimento do destacamento de LA AR		0,45	0,45			0,1				1,18	
	Aquecimento dos sanitários Homens		0,9				0,1				1,09	
Aquecimento dos sanitários Senhoras		0,9				0,1				1,09		
AC 4.1	Climatização dos quadros principais AR				0,9		0,1				1,63	1,76
	Climatização do Paiol de Abastecimento 4				0,8		0,2			1,66		
	Aquecimento da oficina de mecânica					0,8	0,2			1,98		
	Aquecimento da antecâmara do pavimento 2						1			1,9		
	Aquecimento da oficina de eletrotécnica				0,8		0,2			1,66		
	Paiol de serviços gerais				0,8		0,2			1,66		
	Antecâmara do paiol refrigerado						1			1,9		
Paiol de material de mergulho				0,8		0,2			1,66			
AC 4.2	Porão de carga 1				0,8		0,2			1,66	1,66	

Apêndice B – Análise stress térmico na sala das máquinas (entre 2 motores)

Humidade (%)	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura interna do corpo (°C)	Perda total de água (g)	Temperatura interna de 38°C	Perda de água correspondente a 7,5% da massa corporal para uma pessoa padrão	Perda de água correspondente a 5% da massa corporal para 95% dos trabalhadores
20	15	37,4	2805.2	Não excedido	Não excedido	Não excedido
	20	37.4	3359.4	Não excedido	Não excedido	Não excedido
	25	37.4	3953.5	Não excedido	Não excedido	min. 426
	30	37.4	4739.9	Não excedido	Não excedido	min. 357
	35	37.3	6016.3	Não excedido	min. 420	min. 285
	40	39.0	6887.0	min. 149	min. 368	min. 249
	45	41.4	6898.3	min. 68	min. 367	min. 248
	50	44.1	6886.2	min. 44	min. 368	min. 248
30	15	37.3	2842.6	Não excedido	Não excedido	Não excedido
	20	37.4	3453.9	Não excedido	Não excedido	Não excedido
	25	37.3	4191.7	Não excedido	Não excedido	min. 402
	30	37.3	5358.4	Não excedido	min. 470	min. 318
	35	38.8	6775.9	min. 170	min. 371	min. 250
	40	41.5	6878.8	min. 68	min. 368	min. 248
	45	44.5	6862.6	min. 42	min. 369	min. 249
	50	47.9	6840.1	min. 30	min. 370	min. 250
40	15	37.3	2885.7	Não excedido	Não excedido	Não excedido
	20	37.3	3571.3	Não excedido	Não excedido	min. 470
	25	37.3	4531.7	Não excedido	Não excedido	min. 373
	30	38.0	6182.8	Não excedido	min. 407	min. 272
	35	40.7	6858.1	min. 83	min. 369	min. 249
	40	43.9	6851.1	min. 46	min. 369	min. 249
	45	47.5	6826.7	min. 32	min. 371	min. 250
	50	51.6	6794.0	min. 24	min. 373	min. 251
50	15	37.3	2935.9	Não excedido	Não excedido	Não excedido
	20	37.3	3727.0	Não excedido	Não excedido	min. 451
	25	37.3	5029.5	Não excedido	Não excedido	min. 338
	30	39.4	6651.9	min. 130	min. 375	min. 251
	35	42.6	6847.7	min. 57	min. 370	min. 249
	40	46.3	6823.4	min. 36	min. 371	min. 250
	45	50.4	6790.7	min. 26	min. 373	min. 251
	50	55.0	6747.5	min. 20	min. 375	min. 253
60	15	37.3	2994.7	Não excedido	Não excedido	Não excedido
	20	37.3	3921.5	Não excedido	Não excedido	min. 429
	25	37.7	5657.8	Não excedido	min. 445	min. 298
	30	40.8	6769.9	min. 82	min. 370	min. 249
	35	44.4	6826.8	min. 44	min. 371	min. 250
	40	48.5	6795.6	min. 29	min. 372	min. 251
	45	53.2	6754.7	min. 22	min. 375	min. 253
	50	58.2	6701.4	min. 20	min. 378	min. 255

70	15	37.3	3064.1	Não excedido	Não excedido	Não excedido
	20	37.3	4195.0	Não excedido	Não excedido	min. 402
	25	38.8	6215.8	min. 179	min. 401	min. 263
	30	42.2	6802.2	min. 61	min. 370	min. 250
	35	46.2	6805.5	min. 36	min. 372	min. 251
	40	50.7	6768.3	min. 25	min. 374	min. 252
	45	55.8	6718.7	min. 21	min. 377	min. 254
	50	61.0	6655.3	min. 21	min. 380	min. 256

Apêndice C – Análise stress térmico na sala das máquinas (1 motor)

Humidade (%)	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura interna do corpo (°C)	Perda total de água (g)	Temperatura interna de 38°C	Perda de água correspondente a 7,5% da massa corporal para uma pessoa padrão	Perda de água correspondente a 5% da massa corporal para 95% dos trabalhadores
20	15	37,3	2249,8	Não excedido	Não excedido	Não excedido
	20	37,4	2694,6	Não excedido	Não excedido	Não excedido
	25	37,4	3150,7	Não excedido	Não excedido	Não excedido
	30	37,4	3727,8	Não excedido	Não excedido	Min. 451
	35	37,4	4583,3	Não excedido	Não excedido	Min 369
	40	37,6	6116,2	Não excedido	Min. 412	Min 278
	45	40	6879,1	Min. 100	Min. 368	Min 248
	50	42,7	6886,2	Min. 53	Min. 368	Min. 248
30	15	37,3	2268,9	Não excedido	Não excedido	Não excedido
	20	37,4	2745,8	Não excedido	Não excedido	Não excedido
	25	37,4	3281,5	Não excedido	Não excedido	Não excedido
	30	37,4	4060,5	Não excedido	Não excedido	Min. 415
	35	37,4	5611,8	Não excedido	Min. 449	Min. 303
	40	40,1	6774,1	Min. 99	Min. 369	Min. 249
	45	43,2	6862,6	Min. 51	Min. 369	Min. 249
	50	46,7	6840,1	Min. 34	Min. 370	Min. 250
40	15	37,3	2291,0	Não excedido	Não excedido	Não excedido
	20	37,3	2808,8	Não excedido	Não excedido	Não excedido
	25	37,3	3462,2	Não excedido	Não excedido	Não excedido
	30	37,3	4644,2	Não excedido	Não excedido	Min. 365
	35	39,3	6466,1	Min. 135	Min. 384	Min. 253
	40	42,6	6837,0	Min. 57	Min. 369	Min. 249
	45	46,3	6826,7	Min. 36	Min. 371	Min. 250
	50	50,4	6794,0	Min 25	Min. 373	Min. 251
50	15	37,3	2316,8	Não excedido	Não excedido	Não excedido
	20	37,3	2891,2	Não excedido	Não excedido	Não excedido
	25	37,3	3713,7	Não excedido	Não excedido	Min. 453
	30	37,9	5445,7	Não excedido	Min. 462	Min. 308
	35	41,2	6710,7	Min. 76	Min. 370	Min. 250
	40	45,0	6823,3	Min. 41	Min. 371	Min. 250
	45	49,2	6790,7	Min. 28	Min. 373	Min. 251
	50	54,0	6747,5	Min. 22	Min. 375	Min. 253
60	15	37,3	2346,8	Não excedido	Não excedido	Não excedido
	20	37,3	2991,8	Não excedido	Não excedido	Não excedido
	25	37,3	4111,7	Não excedido	Não excedido	Min. 410
	30	39,4	6215,0	Min. 131	Min. 398	Min. 250
	35	43,0	6776,7	Min. 53	Min. 371	Min. 250
	40	47,3	6795,6	Min. 32	Min. 372	Min. 251
	45	52,1	6754,7	Min. 23	Min. 375	Min. 253
	50	57,2	6701,4	Min. 22	Min. 378	Min. 255

70	15	37,3	2382,2	Não excedido	Não excedido	Não excedido
	20	37,3	3128,9	Não excedido	Não excedido	Não excedido
	25	37,4	4754,2	Não excedido	Não excedido	Min. 356
	30	40,8	6520,1	Min. 83	Min. 377	Min. 251
	35	44,9	6793,0	Min. 41	Min. 372	Min. 251
	40	49,5	6768,3	Min. 27	Min. 370	Min. 252
	45	54,7	6718,7	Min. 23	Min. 377	Min. 254
	50	60	6655,3	Min. 22	Min. 380	Min. 256

Apêndice D – Cálculo do Isolamento térmico requerido e do tempo de limite de permanência em câmaras de refrigeração fracas envergando o uniforme de embarque sem corta vento.

Humidade Relativa (%)		Cálculo $IREQ / D_{UM}$
		Câmara frigorífica fraca
		Fato de embarque + atividade leve
		$l_{cl} = 1,24 / \text{met} = 1,6 / V_a = 0,4 \text{ m/s} / \rho = 8$
		Temperatura do ar (°C)
		4
	75	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 a 1,7 (horas)
	76	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 a 1,7 (horas)
	77	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 a 1,7 (horas)
	78	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 a 1,7 (horas)
	79	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 a 1,7 (horas)
	80	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 a 1,7 (horas)
	81	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 a 1,7 (horas)
	82	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 a 1,7 (horas)
	83	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 a 1,7 (horas)
	84	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 a 1,7 (horas)
85	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 a 1,7 (horas)	
86	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 a 1,7 (horas)	
87	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 a 1,7 (horas)	
88	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 a 1,7 (horas)	
89	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 a 1,7 (horas)	
90	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 a 1,7 (horas)	

Apêndice E - Cálculo do Isolamento térmico requerido e do tempo de limite de permanência em câmaras de refrigeração fracas envergando o uniforme de embarque com corta vento.

		Cálculo IREQ / D _{LIM}
		Câmara frigorífica fraca
		Fato de embarque + atividade leve
		$I_{cl} = 1,56 / \text{met} = 1,6 / V_a = 0,4 \text{ m/s} / \rho = 8$
		Temperatura do ar (°C)
		4
Humidade Relativa (%)	75	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 (horas)
	76	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 (horas)
	77	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 (horas)
	78	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 (horas)
	79	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 (horas)
	80	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 (horas)
	81	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 (horas)
	82	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 (horas)
	83	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 (horas)
	84	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 (horas)
	85	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 (horas)
	86	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 (horas)
	87	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 (horas)
	88	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 (horas)
89	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 (horas)	
90	IREQ = 1,3 a 1,6 / Dlim = +8 (horas)	

Apêndice F - Cálculo do Isolamento térmico requerido e do tempo de limite de permanência em câmaras de refrigeração fortes envergando o uniforme de embarque sem corta vento.

		Cálculo IREQ/ D _{lim}		
		Câmara frigorífica forte		
		Fato de embarque (com fato térmico) + atividade leve		
		I _{cl} = 1,24 / met = 1,6 / v _a = 0,4 m/s / air permeability = 8		
		Temperatura do ar (°C)		
		-17	-18	-20
Humidade (%)	75	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,4 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)
	76	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,4 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)
	77	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,4 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)
	78	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,4 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)
	79	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,4 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)
	80	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,4 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)
	81	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,4 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)
	82	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,4 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)
	83	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,4 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)
	84	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,4 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)
	85	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,4 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)
	86	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,4 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)
	87	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,4 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)
	88	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,4 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)
89	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,4 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)	
90	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,4 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,4 a 0,3 (horas)	

Apêndice G - Cálculo do Isolamento térmico requerido e do tempo de limite de permanência em câmaras de refrigeração fortes envergando o uniforme de embarque com corta vento.

		Cálculo IREQ/ Dlim		
		Câmara frigorífica forte		
		Fato de embarque (com fato térmico) + atividade leve		
		Icl = 1,56 / met = 1,6 / va = 0,4 m/s / air permeability = 8		
		Temperatura do ar (°C)		
		-17	-18	-20
Humidade (%)	75	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,5 a 0,4 (horas)
	76	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,5 a 0,4 (horas)
	77	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,5 a 0,4 (horas)
	78	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,5 a 0,4 (horas)
	79	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,5 a 0,4 (horas)
	80	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,5 a 0,4 (horas)
	81	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,5 a 0,4 (horas)
	82	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,5 a 0,4 (horas)
	83	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,5 a 0,4 (horas)
	84	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,5 a 0,4 (horas)
	85	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,5 a 0,4 (horas)
	86	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,5 a 0,4 (horas)
	87	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,5 a 0,4 (horas)
	88	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,5 a 0,4 (horas)
89	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,5 a 0,4 (horas)	
90	IREQ = 2,8 a 3,2 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 2,9 a 3,3 / Dlim = 0,6 a 0,5 (horas)	IREQ = 3,1 a 3,34/ Dlim = 0,5 a 0,4 (horas)	

Anexos A – Características do uniforme de embarque

Norma de Ensaio	Características		Unidade	Valores de referência		
				Nominal	Tolerância	
					Mínima	Máxima
ISO 1833	Fibras - Composição	Aramida	%	60	57	63
		Viscose Ignif.	%	38	35	41
		Fibra electroestática	%	2	---	5
NP 4105	Título do Fio	Urdidura	Nm	2/45	2/42	2/47
		Trama	Nm	2/45	2/42	2/47
EN ISO 13934-1	Resistência à Tração	Urdidura	N	1000	990	---
		Trama	N	700	690	---
EN ISO 13937-1	Resistência ao Rasgo	Urdidura	N	27	24	---
		Trama	N	27	24	---
EN 12945-2	Resistência à formação de pilling (1)		Escala de padrões fotográficos	5	4	---
NP EN 1049-2	Fios/cm x Cabos	Urdidura	Nº	24	23	25
		Trama	Nº	20	19	21
EN 12127	Peso por metro quadrado		g/m ²	210	200	220
NP 4114/1700	Ponto		---	Tafetá	---	---
NP EN ISO 5077	Estabilidade Dimensional Lavagem / Secagem Doméstica (40°C, Tambor)	Comp.	%	0	-3,5	+3,5
		Larg.	%	0	-3,5	+3,5
NP EN ISO 15025	Propagação Limitada da Chama		---	Cumpre	---	---
ISO 9151	Calor Convectivo (2)		---	B1	B1	---
EN ISO 6942	Calor Radiante (3)		---	C1	C1	---
EN 1149-3	Propriedades Electroestáticas: medição da queda de carga	Tempo de queda de metade da carga (t50)	s	4	---	4
		Fator de Blindagem	---	0,2	0,2	---