



ESCOLA SUPERIOR NÁUTICA INFANTE D. HENRIQUE

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MARÍTIMA

Mestrado em Engenharia de Máquinas Marítimas

**Análise da Instalação de Climatização do navio
“M/V Noble Globetrotter II”**

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia de Máquinas Marítimas

Autor: Paulo Dinis Reis José

Orientador: Prof. Manuel Duarte Dias Mendes Nogueira

Juri: Prof. Luis Manuel Fernandes Mendonça

Prof. João Antero Nascimento dos Santos Cardoso

Prof. Manuel Duarte Dias Mendes Nogueira

Julho de 2017



Escola Superior Náutica Infante D. Henrique

Departamento de Engenharia Marítima

Análise da Instalação de Climatização do navio “M/V Noble Globetrotter II”

Autor: Paulo Dinis Reis José

Número: 4754

Orientador: Prof. Manuel Duarte Dias Mendes Nogueira

Ano de publicação: 2017

Data de defesa: 11 de Julho de 2017

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Máquinas Marítimas da Escola Superior Náutica Infante D. Henrique, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Máquinas Marítimas.

Julho de 2017

Resumo

O sistema AVAC, usado em navios, tem características particulares quando comparado com outras aplicações. Dada a constante mobilização geográfica do navio, a variação das condições é bastante significativa como, por exemplo, a radiação solar, a humidade do ar, a qualidade do ar exterior, as temperaturas interna e externa, o número de ocupantes e diferentes atividades desenvolvidas, o tipo de atividade do navio, etc. O sistema AVAC tem desde a fase inicial um desafio constante, por operar em condições particulares, como tal, tem de ser projetado para ser eficaz e garantir as condições de conforto térmico à tripulação.

Os navios de perfuração “offshore” são um desafio adicional aos sistemas AVAC, devido à particularidade dos meios onde operam, normalmente em ambientes com temperaturas e humidade do ar extremas, possível existência de H₂S e elevado número de tripulantes. Por estas razões estes sistemas têm de obedecer a normas rígidas de segurança, exigidas neste segmento, impostas pelas sociedades classificadoras e norma ISO 7547. Será feita uma breve exposição destas normas.

No presente trabalho o objetivo é a análise da instalação de climatização do navio de perfuração “offshore” “M/V Noble Globetrotter II”, em situações extremas de calor e frio, comparar os dados obtidos da instalação com pressupostos teóricos, perceber se a instalação está a garantir o conforto térmico necessário à tripulação e propor possíveis medidas de otimização, se necessário.

Através desta análise vai ser possível entender não só se a instalação AVAC está a ser utilizada de forma funcional, como também maximizar a vida útil dos equipamentos e sistemas, possivelmente minimizar custos de manutenção e evitar futuras paragens inesperadas por falha dos equipamentos.

Palavras chave: AVAC; Climatização; Cargas térmicas; Chiller arrefecido a água; Noble Globetrotter II.

Abstract

The HVAC system used on ships has special characteristics when compared to other applications. Due to the constant geographical mobilization of the ship, the variation of the conditions is quite significant, for example the solar load, air quality, outdoor air quality, such as internal and external temperatures, number of occupants and different types of activities developed, type of activity of the ship, etc. The system has therefore since an initial design phase a greater challenge to operate in these particular conditions, has been designed to be effective and to guarantee conditions of thermal comfort for crew.

Offshore drilling vessels are an additional challenge to HVAC systems because of the particularity of the environments, usually in environments with extreme temperatures and humidity, a possibility of H₂S, and a large number of crew members. For these reasons, these systems must comply with the strict safety standards required in this segment imposed by classification societies and ISO standard 7547. A brief description of the standards is given.

In the present work the objective is an analysis of the air conditioning installation of the offshore vessel M/V Noble Globetrotter II in extreme situations of heat and cold, the data are obtained with the installation of theoretical assumptions, to realize if the installation guarantee the necessary thermal comfort to the crew, and the measures for the necessary optimization.

Through this analysis it will be possible to understand not only if the AVAC installation is a fully functional system, but also to maximize the useful life of equipments and systems, possibly minimize maintenance costs, and avoid future unexpected outages due to equipment failure.

Key words: HVAC; Climatization; Heat load; Water-cooled chiller; Noble Globetrotter II.

Agradecimentos

O trabalho realizado, na elaboração desta tese, teve contributo significativo de várias pessoas a quem quero agradecer. Sem o contributo delas, direto ou indireto, não teria sido possível desenvolver o trabalho aqui apresentado.

No campo académico quero, em primeiro lugar, destacar o meu orientador, o Professor Manuel Duarte Dias Mendes Nogueira, pelos seus conhecimentos, pela orientação e pela sua vasta experiência em climatização e sistemas AVAC.

Agradeço ainda ao Eng^o. João Barreto pela partilha de conhecimentos e especial apoio no uso do software HAP.

No âmbito pessoal, agradeço à minha esposa, Susana Cardoso, pelo apoio e compreensão durante a elaboração desta tese e à minha mãe Ercilia José, em particular, pela dedicação e perseverança para que eu tivesse sucesso na minha vida académica

Por último, mas não propriamente por terem tido menor contribuição na realização desta tese, agradeço a todos os professores do Bacharelato e Mestrado de Eng^a. de Máquinas Marítimas por me terem dado as ferramentas necessárias para a realização desta tese. Graças a eles, penso ter conseguido atingir um novo patamar de conhecimento. Um especial obrigado àqueles a quem recorri na procura de soluções para as minhas questões.

Índice

Resumo	V
Abstract	VI
Agradecimentos	VII
Índice	VIII
Lista de tabelas	XI
Lista de figuras	XIII
Lista de siglas e acrónimos	XV
Capítulo 1 – Introdução	1
1.1. Assunto	1
1.2. Objectivos	1
1.3. Estrutura do Trabalho	2
Capítulo 2 - Estado da arte	4
2.1. Conceitos sobre conforto térmico	4
2.2. Importância da distribuição e qualidade do ar interior	7
2.3. Sistemas de climatização	8
2.3.1. Classificação dos sistemas de climatização em função da área climatizada	8
2.3.2. Classificação dos sistemas de climatização em função do fluido térmico	9
2.3.2.1. Sistemas Tudo-Ar	9
2.3.2.2. Sistemas Ar-Água	10
2.3.2.3. Sistemas de expansão direta	11
2.3.2.4. Sistemas de expansão indireta	12
2.4. Equipamentos de climatização	13
2.4.1. Ventiloinectores	13
2.4.2. Unidade de tratamento de ar	14
2.4.3. Sistemas VRF	14
2.4.4. Unidades <i>Split</i> e <i>Multi-Split</i>	15
2.4.5. Bombas de calor	16
2.4.6. Chillers	19
2.5. Tendências para o futuro do ar condicionado	20
Capítulo 3 - Fundamentos e normalização do conforto térmico em navios	25
3.1. Organização Internacional do Trabalho	25
3.2. Norma ISO 7547	26

3.3. American Bureau of Shipping	27
Capítulo 4 - Caracterização do navio e instalação AVAC	29
4.1. Descrição do navio	29
4.2. Principais sistemas e equipamentos	30
4.3. Instalação AVAC do Navio “M/V Noble Globetrotter II”	33
4.4. Componentes do ciclo de refrigeração	38
4.4.1. Compressor	38
4.4.2. Condensador	38
4.4.3. Evaporador	39
4.4.4. Dispositivo de expansão	39
4.4.5. Instrumentação	39
4.4.6. Controlo do sistema	40
Capítulo 5 - Cálculo das cargas térmicas	43
5.1. Localização do navio	43
5.1.1. Condições climáticas de Libreville - Gabão	43
5.1.2. Condições climáticas de Istanbul - Turquia	47
5.2. Caracterização geral do casario do navio	50
5.3. Envolvente exterior	52
5.3.1. Anteparas	52
5.3.2. Cobertura	52
5.3.3. Vãos envidraçados	52
5.4. Envolvente interior	52
5.4.1. Anteparas interiores	53
5.4.2. Tetos	53
5.4.3. Pavimentos	54
5.4.4. Portas	54
5.5. Condições de projeto dos espaços climatizados	54
5.5.1. Ganhos de calor através da iluminação, equipamentos elétricos e ocupantes	54
5.5.2. Condições do caudal de ar	58
5.5.3. Perfis de ocupação dos espaços	61
5.6. Metodologia de cálculo das cargas térmicas através do HAP	61
5.6.1. Descrição do HAP	62
5.6.2. Introdução de dados no HAP (inputs)	63
5.6.3. Relatórios gerados pelo HAP (outputs)	70

5.6.3.1. Libreville	71
5.6.3.2. Istambul	73
5.6.4. Análise dos dados	75
Capítulo 6 - Proposta de alteração ao sistema de climatização existente	78
6.1. Descrição do chiller Daikin EWWQ-G-SS	78
6.1.1. Características do chiller Daikin EWWQ-G-SS	79
6.1.2. Principais componentes do chiller Daikin EWWQ-G-SS	81
6.1.2.1. Compressor.....	82
6.1.2.2. Evaporador	84
6.1.2.3. Condensador	85
6.1.2.4. Tecnologia de controlo	85
6.2. Unidades interiores e sistemas de controlo	86
6.3. Unidade de tratamento de ar novo	89
6.4. Tubagem de fluido frigorífero	90
6.5. Medidas estruturais adicionais	91
Capítulo 7 - Conclusões	93
Bibliografia	97
Sites consultados na Internet	97
Lista de Anexos	99
Lista de Anexos em formato digital	99

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Dados gerais do navio “M/V Noble Globetrotter II”

Tabela 2 - Principais equipamentos.

Tabela 3 - Unidade de tratamento do ar

Tabela 4 - Unidade de ar de retorno

Tabela 5 - Unidade de condensação

Tabela 6 - Instrumentação do sistema AVAC

Tabela 7 - Temperaturas máximas ao longo do ano em Libreville

Tabela 8 - Condições climáticas de aquecimento e arrefecimento

Tabela 9 - Condições climáticas de evaporação, desumidificação e velocidade do vento

Tabela 10 - Temperaturas máximas ao longo do ano em Istambul

Tabela 11 - Condições climáticas de aquecimento e arrefecimento

Tabela 12 - Condições climáticas de evaporação, desumidificação e velocidade do vento

Tabela 13 - Pisos e divisões climatizadas do casario

Tabela 14 - Ganhos de calor do piso “Navigation Deck”

Tabela 15 - Ganhos de calor do piso “C Deck”

Tabela 16 - Ganhos de calor do piso “B Deck”

Tabela 17 - Ganhos de calor do piso “A Deck”

Tabela 18 - Ganhos de calor do piso “Upper Deck”

Tabela 19 - Ganhos de calor do piso “Main Deck”

Tabela 20 - Ganhos de calor do piso “Upper Tween Deck”

Tabela 21 - Condições do caudal de ar do piso “Navigation Deck”

Tabela 22 - Condições do caudal de ar do piso “C Deck”

Tabela 23 - Condições do caudal de ar do piso “B Deck”

Tabela 24 - Condições do caudal de ar do piso “A Deck”

Tabela 25 - Condições do caudal de ar do piso “Upper Deck”

Tabela 26 - Condições do caudal de ar do piso “Main Deck”

Tabela 27 - Condições do caudal de ar do piso “Upper Tween Deck”

Tabela 28 - Horário do refeitório e turnos de trabalho

Tabela 29 - Diferenças climáticas entre Libreville e Istambul

Tabela 30 - Calor sensível por zona e total. Libreville

Tabela 31 - Calor sensível por zona e total. Istambul

Tabela 32 - Caudal de ar insuflado por espaço e total

Tabela 33 - Detalhes técnicos dos chillers EWWQ-G-SS

Tabela 34 - Condições do circuito de água

Tabela 35 - Características do evaporador

Tabela 36 - Características do condensador

Tabela 37 - Características gerais da unidade interior Daikin FWC-BT/BF

Tabela 38 - Características gerais da unidade interior Daikin FWR-AT/AF

Tabela 39 - Comparação entre tipos de vidro

Tabela 40 - Comparação entre potências de arrefecimento para diferentes janelas

Lista de Figuras

- Figura 1** - Diagrama do Conforto Humano
- Figura 2** - Sistema típico de expansão indireta
- Figura 3** - Modelos de ventiloconvectores
- Figura 4** - Exemplo típico de um sistema VRF
- Figura 5** - Funcionamento de uma bomba de calor
- Figura 6** - UTA modular
- Figura 7** - Cassete “round flow”
- Figura 8** - Yin e Yang com a inovadora película
- Figura 9** - Navio “M/V Noble Globetrotter II”
- Figura 10** - Painel Coverteam para o quadro de distribuição de potência
- Figura 11** - Painel Coverteam do quadro de distribuição de alta tensão
- Figura 12** - Painel Coverteam do quadro de distribuição de média tensão
- Figura 13** - Painel de controlo das resistências elétricas
- Figura 14** - Unidade de Tratamento do Ar
- Figura 15** - Unidade de Ar de Retorno
- Figura 16** - Unidade de condensação. Vista dos compressores
- Figura 17** - Unidade de condensação. Vista do condensador
- Figura 18** - Compressor Bitzer
- Figura 19** - Conjunto de quatro compressores Bitzer
- Figura 20** - Condensador tubular HAK
- Figura 21** - Serpentina de arrefecimento
- Figura 22** - Dispositivo de Expansão MVL661.20-25
- Figura 23** - Exemplos de instrumentação. Sensores de pressão, válvulas solenóide e manómetro de alta pressão
- Figura 24** - Esquema da unidade de tratamento do ar para os alojamentos
- Figura 25** - Painel de controlo dos ventiladores de insuflação e recirculação do ar
- Figura 26** - Painel de controlo das resistências elétricas para aquecimento
- Figura 27** - Painel informativo do estado das unidades de tratamento do ar
- Figura 28** - Temperatura diária mais alta e mais baixa
- Figura 29** - Duração da luz solar ao longo do ano
- Figura 30** - Humidade Relativa
- Figura 31** - Ponto de orvalho

Figura 32 - Velocidade do vento

Figura 33 - Temperatura diária mais alta e mais baixa

Figura 34 - Duração da luz solar ao longo do ano

Figura 35 - Humidade Relativa

Figura 36 - Ponto de orvalho

Figura 37 - Velocidade do vento

Figura 38 - Placa da antepara interior e dimensões

Figura 39 - Placa do teto e dimensões

Figura 40 - Porta interior com grelha de ventilação e saída de emergência

Figura 41 - Projeto Noble Globetrotter II (HAP)

Figura 42 - Condições climáticas de Libreville (HAP)

Figura 43 - Condições climáticas de Istambul (HAP)

Figura 44 - Propriedades gerais do camarote AD 2P(BB)

Figura 45 - Cargas térmicas do camarote AD 2P(BB)

Figura 46 - Perfil de ocupação

Figura 47 - Perfil de iluminação

Figura 48 - Antepara exterior

Figura 49 - Antepara interior

Figura 50 - Propriedades da janela do camarote AD 2P(BB)

Figura 51 - Sistema de ar

Figura 52 - Dimensionamento do sistema

Figura 53 - Dimensionamento das zonas

Figura 54 - Condições de arrefecimento

Figura 55 - Cargas térmicas de arrefecimento

Figura 56 - Parâmetros de dia típico de verão em Libreville

Figura 57 - Condições de aquecimento

Figura 58 - Cargas térmicas de aquecimento

Figura 59 - Parâmetros de dia típico de inverno em Istambul

Figura 60 - Chiller Daikin EWWQ-G-SS

Figura 61 - Espirais de compressor tipo “scroll”

Figura 62 - Componentes de compressor hermético tipo “scroll”

Figura 63 - Configuração “tandem” de 2 compressores herméticos tipo “scroll”

Figura 64 - Tecnologia “inverter”

Figura 65 - Modelo Daikin FWC-BT/BF

Figura 66 - Modelo Daikin BRC315D7

Figura 67 - Modelo Daikin FWR-AT/AF

Figura 68 - Modelo Daikin FWEC3A

Figura 69 - Unidade de tratamento do ar da série “energy”

Figura 70 - Janela otimizada

Lista de Siglas e Acrónimos

ABS - American Bureau of Shipping
A/C - Ar Condicionado
ADENE - Agência para a Energia
AHRI - Air Conditioning, Heating and Refrigeration Institute
ANSI - American National Standards Institute
ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
AVAC - Aquecimento, ventilação e ar condicionado
CAV - Constant Air Volume
CO₂ - Dióxido de carbono
COP - Coefficient of Performance
DB - Dry Bulb
DP - Dynamic Positioning
EER - Energy Efficiency Ratio
ESEER - European Seasonal Energy Efficiency Ratio
EUA - Estados Unidos da América
HAB - Habitability
HAP - Hourly Analysis Program
HSPF - Heating Seasonal Performance Factor
HVAC - Heating, Ventilation and Air Conditioning
H₂S - Sulfato de hidrogéneo
IPLV - Integrated Part Load Value
ISO - International Organization for Standardization
MCDB - Mean Coincident Dry Bulb
MCWB - Mean Coincident Wet Bulb
M/V - Motor Vessel
M.W.G - Metres of Water Gauge
OIT - Organização Internacional do Trabalho
PID - Proportional-Integral-Derivative
PMS - Power Management System
PMV - Predicted Mean of Vote
QAI - Qualidade do ar interior
SCOP - Seasonal Coefficient of Performance
SEER - Seasonal Energy Efficiency Ratio

UL - Underwriters Laboratories
UTA - Unidade de Tratamento de Ar
UTAN - Unidade de Tratamento de Ar Novo
VAC - Volume de Ar Constante
VAV - Variable Air Volume
VMS - Vessel Management System
VRF - Variable Refrigerant Flow
VRV - Variable Refrigerant Volume
WB - Wet Bulb
WS - Wind Speed

Capítulo 1 - Introdução

Estudos nas áreas da psicologia e sociologia mostram que quando a felicidade é levada ao âmbito organizacional o rendimento do profissional pode ser maior e melhor quando possui dentro de si uma força motivadora. Essa força motivadora pode ser traduzida em perspectivas de satisfação das suas necessidades e à medida que uma é satisfeita ele procura a satisfação de novas necessidades. Existe uma busca contínua de realização e compensação intrínseca e extrínseca e é através do trabalho que o ser humano expressa um forte interesse num nível alto de satisfação de necessidades e, portanto, na sua qualidade de vida. Observa-se que a percepção sobre a qualidade de vida de um indivíduo que trabalha se dá através da sua experiência com o trabalho.

A abordagem à qualidade de vida, no local de trabalho, está diretamente relacionada com as condições físicas e ambientais do mesmo, como: ruído, calor, ergonomia, qualidade do ar, etc.

O sistema AVAC tem, por isso, primordial importância num navio, afim de, proporcionar ao trabalhador o necessário conforto térmico, reduzindo os níveis de fadiga, stress e aumentando os níveis de satisfação e motivação.

1.1. Assunto

Esta tese, decorre no âmbito do Mestrado em Engenharia de Máquinas Marítimas, tendo por tema principal a análise da instalação de climatização do navio “M/V Noble Globetrotter II”.

O navio “M/V Noble Globetrotter II” faz parte de uma frota de 30 unidades de perfuração “offshore”, pertencentes à companhia marítima “Noble Corporation”, que consiste em 16 navios de perfuração e semi-submersíveis e também 14 plataformas “offshore”.

Foi feita a recolha de dados e parâmetros de funcionamento da instalação AVAC e seus principais componentes.

O estudo da instalação AVAC foi levado a cabo durante a operação do navio “M/V Noble Globetrotter II” na costa do Gabão e Mar Negro, na costa de Istambul. As duas situações mais gravosas para a instalação AVAC, de extremo calor e humidade no Gabão e temperaturas negativas em Istambul, no inverno.

1.2. Objectivos

O objetivo principal deste trabalho é o estudo e análise da instalação de climatização do navio “M/V Noble Globetrotter II” e propor melhorias tendo em conta a sua eficiência atual.

Outro dos objetivos, passa pela avaliação do desempenho térmico do sistema AVAC, centrando-se fundamentalmente na análise das condições de conforto térmico obtidas para as situações climáticas extremas de calor e frio. Esta avaliação é feita com base em temperaturas de um dia de verão típico em Libreville – Gabão e com base em temperaturas de um dia de inverno típico em Istanbul – Turquia.

Vários indicadores da qualidade do ar ambiente interior no casario de um navio, podem ser calculados para diferentes propósitos. O presente estudo centra-se na principal fonte de geração de poluentes: os seus ocupantes. Como tal, foi dada especial atenção ao processo de libertação de CO₂. Considerou-se para este estudo que, o ar exterior tem boa qualidade, uma vez que o navio estava a operar a 140 milhas “offshore” e que o sistema de insuflação de ar novo tem a adequada filtração, pelo que a presença de partículas no interior do casario não deve acontecer ou é insignificante.

Há também o objectivo intrínseco, de aumentar o grau de conhecimento do operador do sistema AVAC face ao desempenho e contribuição de cada componente, potenciando a eficiência de todo o sistema e também a sua viabilidade económica.

1.3. Estrutura do trabalho

O presente trabalho está estruturado em sete capítulos, como se mostra a seguir:

No primeiro capítulo é feita uma introdução sobre o tema abordado, indicando o contexto em que se insere o trabalho, a importância do sistema AVAC num contexto global e os objetivos a atingir com a elaboração deste trabalho.

O segundo capítulo é dedicado, em exclusivo, ao estado da arte. Será dado maior ênfase aos conceitos e tecnologias adquiridos através das publicações da ASHRAE [1].

No terceiro capítulo é feito o enquadramento dos conceitos de conforto térmico e qualidade do ar interior, nas normas internacionais, em vigor, para regulamentar o conforto térmico a bordo de navios.

No quarto capítulo é feita a descrição do navio “M/V Noble Globetrotter II”, a sua funcionalidade e área de ação, principais sistemas e equipamentos. A instalação AVAC, instalada no navio, é aqui abordada e cada componente do ciclo de refrigeração descrito em pormenor.

O quinto capítulo é dedicado, principalmente, ao cálculo das cargas térmicas de arrefecimento e aquecimento com recurso ao método de cálculo do “software” HAP 4.8. É feita uma descrição sucinta dos materiais que compõem o casario e das condições de projeto usadas como “inputs”. Será efetuada a análise dos “outputs” do “software” HAP.

O sexto capítulo é dedicado, exclusivamente, à proposta de alteração ao sistema de AVAC existente.

Por fim, as conclusões decorrentes do desenvolvimento do trabalho realizado são apresentadas no sétimo e último capítulo.

Capítulo 2 - Estado da arte

Neste capítulo optou-se por dar ênfase a dois fatores extremamente importantes num espaço climatizado, a qualidade do ar interior e o conforto térmico.

Seja, num edifício ou num navio, o síndrome do edifício doente é a situação mais indesejável a que se pode chegar num espaço interior, dado os riscos que acarreta para a saúde dos ocupantes como: inflamações, asma, infeções, doenças etc. A ventilação adequada assume grande importância neste aspeto, para evitar humidade em excesso e prevenir condensação. A QAI passa por uma ventilação adequada, mas eliminar fontes de contaminação internas é, de um modo geral, o meio mais eficiente para melhorar a QAI.

O sistema de AVAC tem, como função principal, criar conforto térmico num determinado espaço interior, fornecendo ar exterior de qualidade aos ocupantes; remover odores e poluentes através do uso de exaustores; fazer o controlo da relação da pressão entre espaços. De uma forma geral, os espaços considerados limpos, devem ser mantidos com pressão positiva para evitar a entrada de poluentes e os espaços considerados "sujos" em depressão.

Tendo em conta o navio, em estudo, com capacidade de alojamento para 180 pessoas e conseqüente produção de dióxido de carbono, localizado em áreas de temperaturas extremas e percentagem alta de humidade, com processos de trabalho e atividades exteriores, com fontes de contaminação como gases de evacuação de motores de combustão interna, manter a QAI e o conforto térmico nestas condições é fundamental para o bem estar da tripulação, mas representa um enorme desafio para o sistema de AVAC.

De seguida, é feita uma breve e concisa revisão dos conceitos de conforto térmico, da QAI e o atual estado da arte no que respeita à climatização de espaços interiores.

2.1. Conceitos sobre o conforto térmico

O conforto térmico é reconhecido como não sendo um conceito exato, que não implica uma temperatura exata. O conforto térmico depende de factores quantificáveis – temperatura do ar, velocidade do ar, humidade, etc. E de factores não quantificáveis – estado mental, hábitos, educação, etc. As preferências de conforto das pessoas variam bastante consoante a sua adaptação particular ao ambiente local [18].

O ser humano necessita de manter uma temperatura interna do corpo constante, de forma a proteger os seus órgãos vitais, como tal, os valores de referência para a temperatura axilar deverão manter-se entre os 35,5 °C a 37,3 °C, com média de 36 °C a 36,5 °C e a temperatura bucal de 36 °C a 37,4 °C [28]. Existe uma procura constante de equilíbrio térmico com o meio

envolvente que tem influência direta na sua temperatura interna, desvios significativos da temperatura interna podem resultar em situações extremas como a morte.

Se a temperatura interior de um ser humano for inferior a 28 °C, este pode ter sérios problemas cardíacos e de arritmia; acima de 46 °C, pode ter danos cerebrais irreversíveis. Assim, é imperativo um bom controlo térmico. O objectivo é proporcionar condições exteriores tais, que seja reduzida ao mínimo a necessidade do corpo utilizar os seus mecanismos de regulação térmica [1].

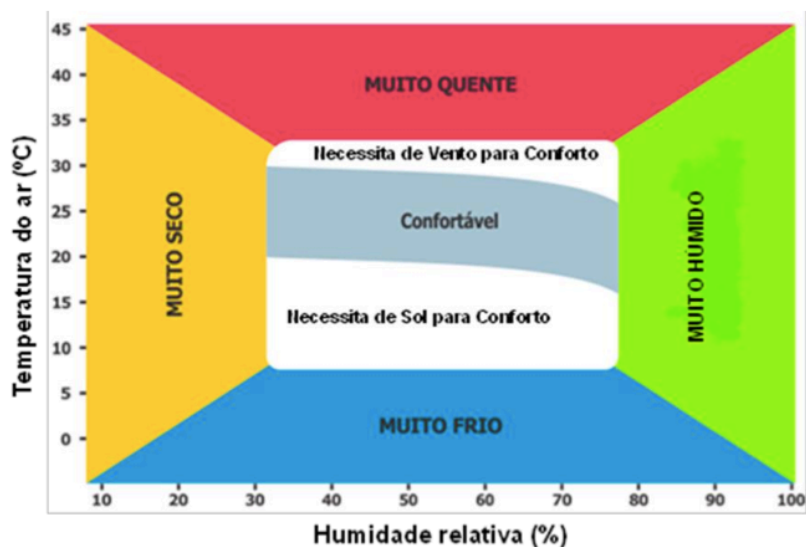


Figura 1 – Diagrama do Conforto Humano [27]

O balanço térmico no corpo humano é função da energia produzida no interior do corpo e das perdas térmicas para o exterior. A energia produzida no interior do corpo é chamada de Actividade Metabólica e depende do tipo de atividade efectuada.

O corpo humano possui mecanismos para controlar estas trocas de calor: o hipotálamo é o centro de controlo que, a partir da temperatura interior, regula o caudal sanguíneo e a intensidade da transpiração, de forma, a igualar a energia produzida no interior do corpo e as perdas térmicas para o exterior. Mas, este mecanismo apenas funciona para um dado limite de condições exteriores, ou seja, se uma pessoa estiver exposta a temperaturas muito baixas ou muito altas, por um grande período de tempo, estes mecanismos não possuem capacidade de resposta [1].

Quando existe a percepção psicológica desse equilíbrio, pode-se falar de conforto térmico. O conforto térmico pode ser definido de diferentes formas, como a seguir se exemplifica:

“... um estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente que envolve uma pessoa (nem quente nem frio).” [32]

“O conforto térmico é o estado da mente que expressa satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda” [1]

O conforto térmico é uma sensação e portanto, subjetiva, isto é, depende de cada pessoa. Assim, um ambiente termicamente confortável para uma determinada pessoa pode ser ao mesmo tempo desconfortável para outra pessoa. Assim, quando se tratam as condições ambientais para o conforto térmico de um grupo de pessoas, entendemos as condições que propiciam o bem estar ao maior número possível das mesmas, mas não necessariamente para todas.

Um ambiente neutro ou confortável, é um ambiente que permite a produção de calor metabólico em que haja equilíbrio entre as trocas de calor provenientes do ar, numa divisão. Excluindo a situação anterior, existem situações adversas em que a troca de calor constitui um risco para a saúde humana, pois, mesmo tendo em conta os mecanismos de termo regulação do organismo estes não conseguem manter a temperatura interna constante e adequada. Nestas situações extremas verifica-se stress térmico, por calor ou frio.

Existem alguns fatores que influenciam a sensação de conforto térmico, sendo que os principais são:

1. Variáveis Individuais

- Tipo de atividade
- Vestuário

2. Variáveis Ambientais

- Temperatura do ar
- Humidade relativa do ar
- Temperatura média radiante das superfícies vizinhas
- Velocidade do ar

No estudo do ambiente térmico há a considerar duas situações importantes. Primeiro, a sobrecarga térmica ou stress térmico que relaciona a exposição do corpo humano a ambientes de temperaturas extremas. Segundo, o conforto térmico que, não envolvendo temperaturas extremas, relaciona a temperatura, humidade e velocidade do ar existentes nos locais que no seu conjunto podem provocar desconforto.

Como mera curiosidade histórica, os primeiros esforços organizados para o estabelecimento de índices de conforto térmico foram levados a cabo nos E.U.A., no período de 1913 a 1923. Desde então e até aos dias de hoje, este assunto tem sido alvo de estudo em diferentes partes do mundo e vários métodos para avaliação do conforto térmico têm sido propostos.

O método mais conhecido e amplamente aceite é o “Predicted Mean Vote” (PMV), desenvolvido pelo professor Dinamarquês Ole Fanger [22].

O método de Fanger foi adotado como base para o desenvolvimento de uma norma que especifica as condições de conforto térmico para ambientes termicamente moderados (ISO 7730, 1984) e da sua atualização em 1994.

2.2. Importância da distribuição e qualidade do ar interior

Torna-se cada vez mais pertinente uma escolha adequada do sistema AVAC e o seu correto dimensionamento de modo a conseguirem-se atingir objectivos no sentido da qualidade do ar interior (QAI) com a necessária eficiência energética e adequado programa de manutenção.

Entre os vários parâmetros importantes que contribuem para a QAI existem três em particular, que uma boa distribuição do ar deve garantir em todo o espaço ocupado, a saber [37]:

- Velocidade residual do ar entre 0,05 e 0,20 (m/s);
- Temperatura ambiente entre 23 e 25 (°C);
- Nível de pressão sonora máximo de 40 dB(A).

Para que o ar seja distribuído corretamente é necessária uma boa estratégia de difusão com velocidades do ar e estratificação de acordo com os regulamentos em vigor. Só a força do ar de insuflação faz a movimentação controlada do ar na zona ocupada. A extração do ar, pouca ou nenhuma influência tem na distribuição do ar na zona ocupada. A insuflação do ar tratado, no espaço ambiente, pode ser feita de acordo com duas estratégias, a difusão por deslocamento do ar (displacement), ou como no caso particular do navio “M/V Noble Globetrotter II” difusão por mistura do ar ambiente, onde o ar insuflado envolve toda a zona ocupada e induz o ar ambiente de modo a que a velocidade residual na zona ocupada esteja compreendida entre 0,05 e 0,20 m/s, tendo como característica a homogeneidade da temperatura em todo o espaço.

Porém, nos últimos anos muito se tem discutido acerca da definição adequada da QAI e especificamente o que constitui uma qualidade de ar aceitável. A QAI pode ser afectada por

contaminantes microbianos, gases, partículas ou qualquer massa que possa causar complicações adversas a nível da saúde humana.

Para atender aos requisitos da QAI, várias funções estão associadas aos sistemas de tratamento do ar, tais como: aquecimento, arrefecimento, humidificação, renovação do ar, filtração, ventilação e desumidificação.

A captação do ar atmosférico é de vital importância para a QAI e, em particular no caso dos navios, deve ser feita num local distante de quaisquer tipos de fontes de contaminação ou calor, tais como gases de evacuação de motores de combustão interna, zona de manuseio de produtos químicos/tóxicos, ventiladores de tanques de óleo, diesel ou águas de esgoto. A entrada do sistema de admissão de ar exterior deve ser concebida de forma a prevenir, por meio de barreiras físicas, a entrada de insectos e partículas de grandes dimensões no sistema.

2.3. Sistemas de climatização

De modo a caracterizar os sistemas de climatização existem várias formas de os classificar: quanto à área climatizada e quanto ao fluido térmico utilizado.

2.3.1. Classificação dos sistemas de climatização em função da área climatizada

Estes sistemas podem ser agrupados em: autónomos ou centralizados.

Um sistema centralizado é um sistema em que o equipamento necessário para a produção de frio ou de calor (e para a filtração, a humidificação e a desumidificação, caso existam) se situa concentrado numa instalação e num local distinto dos espaços a climatizar, com acesso restrito ao pessoal responsável pela condução e manutenção do sistema. Sendo o frio ou calor (e a humidade), no todo ou em parte, transportado por um fluido térmico que circula no sistema secundário até aos locais a climatizar. Estão inseridos neste caso os equipamentos: “Tudo-Ar; Ar-Água e Caudal de Refrigerante Variável (VRF)”.

Um sistema autónomo, é na realidade um equipamento ou um conjunto de equipamentos diferentes que servem de forma individual cada espaço do edifício. Estão inseridos neste caso os equipamentos: “Split; Multi-Split e Unidades de Janela”.

Neste sentido, é importante tomar como suporte a ADENE e o decreto-lei nº 28/2016, D.R. nº 119, Série I de 23/06/2016 [29], que procede à quarta alteração ao decreto-lei nº 118/2013, de 20 de Agosto, relativo à melhoria do desempenho energético dos edifícios, e que transpõe a diretiva nº 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Maio de 2010.

Esta quarta alteração surge com o principal objectivo de suprir as incorreções verificadas na transposição da referida Diretiva pelo Decreto-Lei alterado e na sua redacção em vigor, e nomeadamente detetadas no parecer fundamentado da Comissão Europeia, dirigido à República Portuguesa, em 10 de Dezembro de 2015, no qual este órgão mantém dúvidas a respeito do sentido e alcance de alguns dos conceitos empregues no Decreto-Lei nº 118/2013, de 20 de Agosto, na sua redacção mais recente.

Não existindo alterações ao nº 8 do artigo 14º do Decreto-Lei nº 118/2013, este refere que, “O recurso a unidades individuais de climatização para aquecimento ou arrefecimento em edifícios de serviços licenciados posteriormente à data da entrada em vigor do Decreto-Lei no.79/2006, de 4 de Abril, substituído pelo Decreto-Lei no.118/2013, de 20 de Agosto ou em cada uma das suas frações autónomas, só é permitido nos espaços que apresentem cargas térmicas ou condições interiores especiais em relação às que se verificam na generalidade dos demais espaços da fração autónoma ou edifício, ou não ultrapassem 12 kW de potência instalada de ar condicionado por edifício ou fração autónoma, ou quando existirem dificuldades técnicas ou impedimentos fortes de outra qualquer natureza devidamente justificados e aceites pela entidade licenciadora” [6][29][40].

Pode-se assim dizer que o regulamento obriga: que o sistema seja sempre centralizado, quando a soma das potências de aquecimento e arrefecimento do edifício seja superior a 100 kW, uma vez que o Pm corresponde a 25 kW. Sendo que a soma de potências para as frações autónomas devem ser feitas para o mesmo tipo de utilização. Especificamente, no caso da existência de um edifício que tenha dois tipos de frações autónomas, habitação e escritório, existindo dois tipos de uso distintos, uma vez que o período de ocupação se apresenta de forma diferente, teria de haver a soma das potências para cada uma das frações autónomas.

2.3.2. Classificação dos sistemas de climatização em função do fluido térmico

Os sistemas podem também ser classificados quanto ao fluido térmico, ou seja, quanto ao fluido secundário utilizado. Este tipo de classificação é unicamente aplicado a sistemas centralizados.

2.3.2.1. Sistemas “Tudo-Ar”

Estes sistemas consistem numa técnica de climatização em que a remoção da carga térmica das diferentes zonas dum edifício é efetuada apenas pela distribuição de ar que foi tratado nos equipamentos dos sistemas individuais ou nos sistemas centralizados.

Os sistemas “Tudo-Ar” dividem-se em dois grupos relativamente ao modo como é feita a distribuição do ar:

- Conduta simples;
- Conduta dupla.

Nos sistemas de conduta simples, a distribuição do ar frio ou quente é feito apenas por uma conduta até ao local a climatizar e as baterias principais, de aquecimento e de arrefecimento, existentes na UTA estão montadas em série. A temperatura de escoamento do ar que chega a cada uma das divisões é idêntica em todas. Os sistemas de conduta simples mais usuais são:

- Sistema com volume de ar constante unizona ou zona simples;
- Sistema com volume de ar constante com reaquecimento terminal;
- Sistema com volume de ar variável;
- Sistema com volume de ar variável com reaquecimento.

Nos sistemas de conduta dupla, o aquecimento e o arrefecimento do ar processa-se em simultâneo, respetivamente, nas baterias de aquecimento e de arrefecimento montadas em paralelo. Os sistemas de conduta dupla mais usuais são:

- Sistema com volume de ar constante;
- Sistema com volume de ar constante e com reaquecimento terminal;
- Sistema com volume de ar variável - sistema multizona.

2.3.2.2. Sistemas “Ar-Água”

Este sistema é constituído por uma ou mais unidades exteriores, as quais, através de um ciclo frigorífico fornecem ou retiram calor à água que circula na rede de tubagens, servindo depois as unidades terminais instaladas nos espaços a climatizar. Existem diferentes tipos, devido à forma como se encontra dividida a remoção da carga térmica através da água e do ar. A solução mais utilizada consiste em remover a carga térmica do interior do local através do circuito de água eliminando ou fornecendo simultaneamente a energia térmica ao ar exterior, no sentido de se atingir o equilíbrio térmico novamente no interior do espaço.

Estes sistemas são designados Ar-Água, devido ao facto de, para além de ser insuflado ar primário é também utilizada água nas unidades terminais instaladas em cada um dos espaços a climatizar. O caudal de água quente ou fria que circula nas baterias das unidades terminais é regulado por válvulas motorizadas em função do sinal detectado por cada termóstato de ambiente. As unidades terminais mais utilizadas são os ventiloconvectores.

O circuito de distribuição da água quente e fria pode ser efectuado a 2 ou 4 tubos:

No sistema dito a dois tubos apenas se processa a ida e o retorno de água quente ou água fria consoante as necessidades sejam de aquecimento ou de arrefecimento. Os ventiloconvectores destes sistemas têm uma bateria comum onde passa a água quente ou a água fria e em que o controlo da temperatura ambiente é feito através da variação do caudal que passa na bateria. Este tipo de instalação está limitada aos casos em que os locais necessitam só de frio ou só de calor.

No sistema a quatro tubos é possível satisfazer as necessidades simultâneas de aquecimento e de arrefecimento em diferentes locais. Os ventiloconvectores são alimentados por uma tubagem de água quente e por uma tubagem de água fria e podem ter uma ou mais baterias. Nestes sistemas, o condicionamento dos ambientes dos diferentes locais é feito utilizando em simultâneo a distribuição de água e de ar.

O ar introduzido mecanicamente nos espaços designa-se por ar primário e, normalmente, é constituído apenas por ar novo tratado numa UTA. A função principal do ar primário consiste em assegurar as necessidades mínimas de ventilação e o controlo da humidade relativa dos diferentes espaços. A parcela da carga térmica que este escoamento de ar consegue anular, depende essencialmente, das condições definidas para a insuflação.

Uma das vantagens dos sistemas Ar-Água relativamente aos sistemas Tudo-Ar consiste na necessidade de menor espaço para a passagem das condutas, uma vez que o caudal de ar novo é menor.

2.3.2.3. Sistemas de expansão direta

São sistemas, em que, o arrefecimento é efetuado, através da expansão direta de um fluido frigorigénio, isto é, dos aparelhos de ar condicionado que libertam ou recebem calor diretamente de/ou para o espaço a climatizar.

Os principais componentes destes sistemas são: o evaporador, o compressor, condensador e válvula de expansão. Normalmente, o compressor é acionado, por um motor elétrico mas, recentemente, estão a surgir no mercado sistemas de compressão mecânica acionada por gás. Nos dias de hoje este tipo de máquinas, exceto alguns casos, são do tipo reversíveis, ou seja, são capazes de arrefecer durante o verão e capazes de aquecer durante o inverno. Para que estas máquinas consigam ter um ciclo reversível é necessária uma válvula de inversão, caso contrário este tipo de sistemas realizam apenas frio ou calor.

É preciso ter em atenção, que quando a tubagem de fluido frigorigéneo contacta com zonas onde pode haver ocupação humana, tem que ser cumprida a norma NP EN 378, de modo

a evitar possíveis problemas de intoxicação dos ocupantes por rutura da tubagem. O grau de segurança depende diretamente do fluido usado, já que, depende da classe de segurança do próprio fluido frigorígeno.

Como este tipo de sistemas apenas aquecem ou arrefecem o espaço, é necessário adotar sistemas complementares que tenham em conta a QAI. Deste modo, é necessário existir uma solução complementar que permita a insuflação de ar novo, assim como a extração de ar viciado.

São exemplo deste tipo de sistema: unidades de janela; tipo roof-top; equipamento split; sistemas multi-split; sistemas VRF.

2.3.2.4. Sistemas de expansão indireta

São sistemas de refrigeração em que há a transferência de calor em mais de um meio antes de chegar a transferir o calor contido no meio que se deseja arrefecer, no caso o ar ambiente. Quando se fala deste tipo de sistema, faz-se uso de equipamentos de arrefecimento de água designados de Chillers. Estes efetuam o arrefecimento da água que circula no interior dos tubulares que alimentam as unidades de tratamento do ar ambiente. Os ventiloconvectores por sua vez, são responsáveis por promover o arrefecimento direto do ar ambiente, através da transferência de calor contido, no ar ambiente, para a água que circula no interior da serpentina (permutador de calor) do equipamento. O calor que foi absorvido pela água, é transferido para o fluido refrigerante que circula no sistema fechado de refrigeração do Chiller, o qual pelo terceiro processo de transferência de calor, rejeita o calor retirado do ambiente, somado às perdas do processo, ao ar externo (atmosfera). Por isso chamado de expansão indireta, pois o fluido refrigerante é expandido por um meio (água) que não aquele ao qual se deseja arrefecer o ar ambiente.

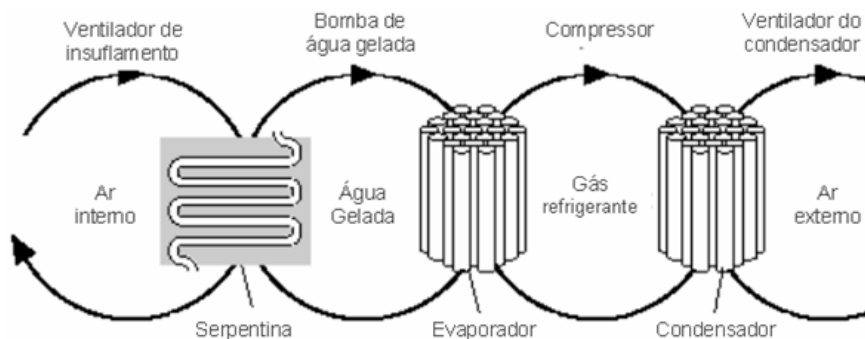


Figura 2 - Sistema típico de expansão indireta com condensação a ar [38]

São exemplo deste tipo de sistema: chillers; UTA; UTAN; ventiloconvectores.

2.4. Equipamentos de climatização

De seguida faz-se uma breve exposição dos principais equipamentos de AVAC amplamente usados em qualquer tipo de edifício.

2.4.1. Ventiloinvetores

Ao contrário do ar condicionado, o ventiloinvetor utiliza água como fluido térmico. Os ventiloinvetores são sistemas de climatização que têm por base o mesmo funcionamento de um sistema de ar condicionado, assim como a bomba de calor, no entanto o fluido de trabalho em vez de ar (no primeiro caso), é água ou fluido térmico.

Ventiloinvetores de água/fluido térmico são uma boa solução para a climatização de qualquer espaço visto que a circulação forçada do ar permite uma maior eficiência e rapidez, tanto na transmissão do calor para o ar, como na absorção do calor do ar, permitindo maximizar a rentabilização da fonte de calor/frio. Assim, usando como fonte de calor ou frio, permitindo aquecer ou arrefecer o espaço, fazendo circular a água aquecida ou arrefecida pela bomba de calor, passa a ser uma excelente solução para climatizar um edifício ou habitação. É uma solução para aquecimento de qualquer edifício, usando como fonte de calor uma máquina de gasóleo, gás ou recuperador de calor, visto que toda a energia de calor/frio é transmitida para o edifício por intermédio de água ou fluido térmico. Podem ser usadas todas as fontes de calor que se deseje. Por forma a usar as fontes de calor mais económicas que existam, com toda a comodidade e versatilidade. Características do sistema: Fácil aplicação; Possibilidade de encastrar nas paredes; União a sistemas solares térmicos ou caldeiras a biomassa, reduzindo o consumo. Vantagens: contrariam correntes de convecção; Elevado tempo de vida útil (cerca de 20 anos); Necessita de pouco espaço de aplicação; Pode ligar-se a outros sistemas de aquecimento (bomba de calor ou painéis solares); Efectuam aquecimento e arrefecimento de forma uniforme, fácil e rápida; São uma solução económica.



Figura 3 - Diferentes modelos de ventiloinvetores

2.4.2. Unidade de Tratamento do Ar

UTA é o acrónimo para Unidade de Tratamento do Ar. Pode possuir diversas secções compreendendo: 1 ou mais ventiladores, recuperador de calor, caixa de mistura, filtros, bateria de aquecimento, bateria de arrefecimento, humidificador.

A bateria de arrefecimento é um permutador de calor utilizado para efectuar o arrefecimento do caudal de ar que o atravessa. Consoante a temperatura do fluido na serpentina da bateria (ex. a tubagem do permutador) e as condições do ar à entrada da bateria, pode ocorrer ou não condensação de parte do vapor de água do ar. Desta forma uma bateria de arrefecimento pode servir para efectuar a desumidificação do ar.

A bateria de aquecimento é um permutador de calor utilizado para efectuar o aquecimento do caudal de ar que o atravessa. Para o aquecimento pode ser utilizado um fluido quente com ou sem mudança de fase ou resistências elétricas.

A caixa de mistura é um espaço (um módulo da UTA) em que se misturam dois caudais de ar: o caudal de ar recirculado e o caudal de ar novo.

O humidificador é o equipamento que efectua o aumento da humidade específica do ar. O aumento de humidade pode ser obtido à custa da injeção de água no estado líquido ou no estado de vapor. No caso de injeção de água, o equipamento utilizado é geralmente um lavador de ar.

2.4.3. Sistemas VRF

Os sistemas VRF (Variable Refrigerant Flow), permitem ligar um maior número de unidades interiores à unidade exterior, podendo ultrapassar as 30 unidades. Neste caso, em particular, existe a possibilidade de agrupar vários módulos, quando a potência da unidade exterior ultrapassa um determinado limite. Assim sendo, pode-se ligar a outras unidades exteriores ficando agrupada por dois ou mais elementos, constituindo no entanto apenas uma unidade. É também permitido que, as unidades interiores fiquem mais distanciadas da unidade exterior, desde que não ultrapassem um limite de 40 metros de comprimento de tubagem.

Os sistemas VRF integram um ou mais compressores de velocidade variável, fazendo variar o caudal de fluido frigorigénio em circulação, de modo a que em cada momento se adapte à carga térmica dos espaços, permitindo deste modo o aumento da eficiência do sistema. Este tipo de sistemas também podem ter a capacidade de realizar aquecimento e arrefecimento em simultâneo, neste caso é portanto exigido, a instalação de sistemas com mais de um tubo, quer isto dizer, que nestes sistemas deve-se acrescentar mais um tubo para que o aquecimento e o arrefecimento se efetue em simultâneo.

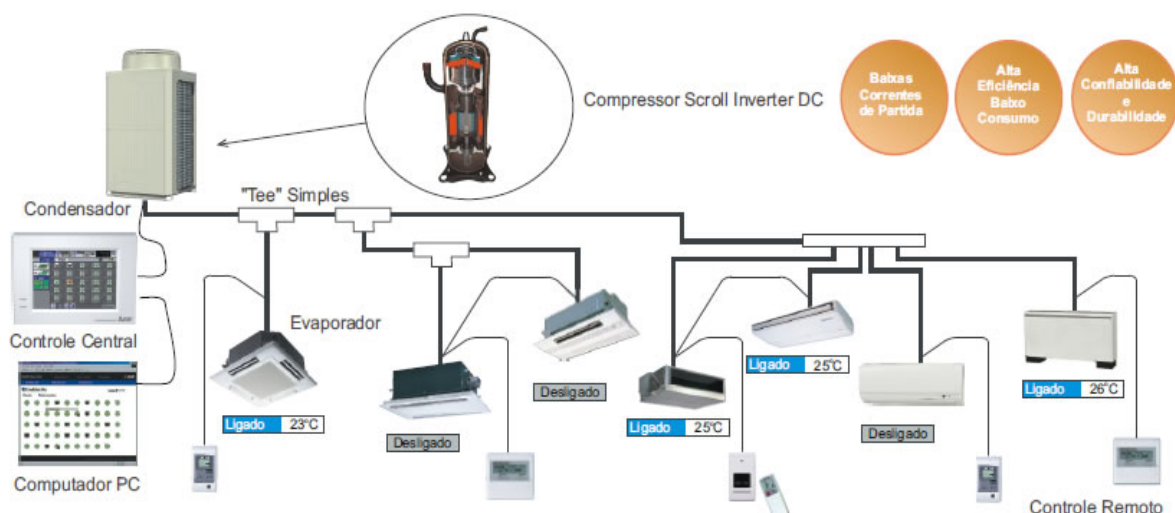


Figura 4 - Exemplo típico de um sistema VRF [39]

2.4.4. Unidades tipo *Split* e *Multi-Split*

Um ar condicionado “split” tem duas secções primárias: a unidade exterior e a unidade interior. A unidade interior é normalmente concebida para ser apelativa, contém o filtro de ar, o dispersor e a serpentina de arrefecimento. A unidade exterior está instalada fora da casa e contém a tubagem capilar, a válvula de expansão, o condensador e o compressor.

Este tipo de ar condicionado oferece várias vantagens e benefícios comparativamente aos tipos mais tradicionais de ar condicionado. O principal benefício é o funcionamento silencioso. Neste sistema, os elementos mais ruidosos, que incluem o condensador e o compressor estão localizados na unidade exterior. Desta forma, os níveis de ruído produzidos pela unidade interior são quase nulos quando comparados com as unidades tradicionais.

Outra vantagem deste tipo de sistema é que se pode escolher adicionar mais unidades interiores, criando um sistema “multi-split”. Este pode ser conseguido sem a necessidade de instalar mais unidades exteriores uma vez que basta uma única unidade exterior para ligar a todas as unidades interiores. Desta forma, torna-se mais fácil usar este tipo de sistema de arrefecimento para uma casa ou expandi-lo e ter uma unidade em cada divisão.

Este tipo de sistema de ar condicionado é económico e uma forma eficaz de arrefecer um espaço. Contudo, o custo inicial do sistema é relativamente mais elevado do que uma unidade tradicional.

2.4.5. Bombas de Calor

A bomba de calor é uma máquina térmica capaz de transferir calor de uma fonte fria para outra mais quente, ou seja, retira calor do ambiente exterior (a temperaturas mais baixas) através de um fluido frigorígeno aquecendo assim o ambiente interior. Esta pode ser reversível, se produzir calor e frio para o ambiente a climatizar ou do tipo irreversível se apenas produz calor.

As bombas de calor têm como princípio de funcionamento o ciclo frigorífico, cujo fim, é o aproveitamento do calor libertado pelo condensador. Podem ser de absorção ou de compressão de vapor consoante o tipo de princípio em que funcionam. Podem ser do tipo simples ou reversível. Neste caso o sistema pode funcionar como sistema frigorífico e como sistema de bomba de calor.

As novas bombas de calor (e as novas formas de A/C) têm uma elevada eficiência energética expressa nos seus coeficientes de energia (SEER e EER para modo de arrefecimento; HSPF e COP para modo de aquecimento).

Estes coeficientes influenciam diretamente as poupanças energéticas associadas ao equipamento. As bombas de calor geotérmicas podem gastar 3 a 6 vezes menos eletricidade do que outros equipamentos elétricos e a maioria das outras bombas de calor permitem poupanças de mais de 50 %, o que em parte está dependente da eficiência energética do equipamento.

Em Portugal as etiquetas energéticas comunitárias são a melhor forma de escolha de um modelo de equipamento, a classificação mais alta possível (A+++), quer a nível de aquecimento quer em termos de arrefecimento é a melhor opção.

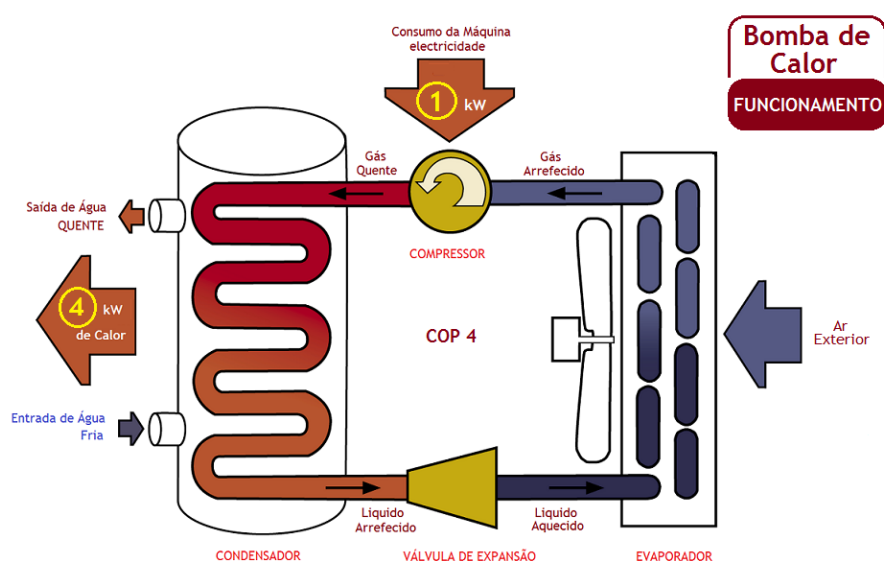


Figura 5 - Funcionamento de uma bomba de calor

Podemos basicamente distinguir 3 grandes tipos de bombas de calor:

- Bombas de calor geotérmicas equipadas com serpentinas enterradas no subsolo;
- Bombas de calor ar-água, para aquecimento central ou para aquecimento de zonas de um edifício (mini-splits);
- Bombas de calor para aquecimento de água.

Bombas de Calor Geotérmicas

As bombas de calor normais (e os sistemas de ar condicionado) conseguem extrair calor (ou frio) do ar ambiente, mesmo quando este está a temperaturas aparentemente desfavoráveis. Os sistemas geotérmicos fazem o mesmo, mas aproveitam as temperaturas mais moderadas e constantes do interior da terra ou de um corpo de água, por exemplo, um lago.

As temperaturas dos corpos de água ou as temperaturas do subsolo são - tal como as temperaturas das grutas - bastante mais estáveis e menos extremas do que as temperaturas do solo. Essas temperaturas situam-se frequentemente entre os 7 °C e os 21 °C, conforme a estação do ano, o que explica que as bombas de calor geotérmicas possam ter uma eficiência energética dupla ou tripla das bombas de calor comuns.

Para tanto, as bombas de calor geotérmicas, através de captação horizontal ou vertical e captação freática, usam serpentinas ou tubagens enterradas no solo (ou submersas num lago, poço ou outro meio líquido) onde circula água (sistema aberto) ou água e um anticongelante (sistema fechado), para extrair energia e ser usada para aquecimento central e das águas sanitárias.

Embora possam ser utilizadas no quadro das necessidades de climatização e água quente de moradias unifamiliares, as bombas de calor geotérmicas só se tornam uma excelente opção quando usadas em prédios e edifícios com largas necessidades de climatização e de água quente.

A nova geração de bombas de calor geotérmicas dispõem de soluções inovadoras que garantem um elevado rendimento e durabilidade. A título de exemplo, a Alterra [31] disponibiliza bombas de calor geotérmicas com COPs superiores a 5, classe energética A++, o controlo pode ser feito através da internet com o programa “AlphaWeb”, permitindo a monitorização “online” em qualquer parte do mundo, sistema “inverter” caracterizado pela alta eficiência SCOP, sistemas de modulação da geração de calor que se adaptam às exigências reais de calor, extremamente silencioso e potência de aquecimento de 4 - 19 kW.

Bombas de Calor Ar-Água

Não há, no fundo, nenhuma diferença substancial entre a maior parte dos aparelhos classificados como bombas de calor e os aparelhos de ar condicionado comuns, a maior parte das vezes é tudo uma questão de terminologia, outras vezes é uma questão de otimização do aparelho em termos de modo de aquecimento ou arrefecimento.

Na prática, tanto o ar condicionado moderno como as bombas de calor podem ser simultaneamente aparelhos de aquecimento e arrefecimento, a eficiência com que o fazem varia de marca para marca e modelo para modelo.

O facto de as bombas de calor mini-split (e o A/C mini-split) gastarem 2 vezes menos eletricidade que os aparelhos elétricos tradicionais (baseados em resistências elétricas) torna-as especialmente interessantes em edifícios onde as necessidades de aquecimento foram drasticamente reduzidas por via de elevados níveis de isolamento térmico (paredes, tetos, pisos) e de janelas e portas exteriores muito eficientes.

As chamadas “Passive Houses” e Edifícios Energia “quase” Zero usam frequentemente bombas de calor, sobretudo em países de climas frios, no quadro da lógica de super-isolamento térmico, referida acima.

Como esses edifícios foram desenhados e construídos para gastar pouca energia, o relativamente baixo custo de compra e instalação de pequenas bombas de calor altamente eficientes, torna-as numa opção vantajosa, em edifícios onde as perdas de calor são muito reduzidas.

É, também, uma possibilidade integrar com as bombas de calor geradores de calor existentes ou sistema solar térmico usando um multi-funcional depósito de armazenamento, a combinação com o sistema fotovoltaico também é possível

Bombas de Calor para Aquecimento de Água

Alguns fabricantes oferecerem bombas de calor sem as funcionalidades associadas à climatização. Estas bombas de calor representam uma forma eficiente de aquecimento de águas sanitárias, capazes de concorrer com o aquecimento a gás, além disso podem interligar-se a sistemas solares fotovoltaicos.

As bombas de calor para fornecimento de água quente devem ser instaladas em divisões que assegurem temperaturas ambientes entre os 3 °C e os 32 °C, o que não é problemático em climas como o de Portugal continental.

De notar que, ao funcionarem, arrefecem ligeiramente o espaço onde estão instaladas - algo que pode ser vantajoso no verão Português.

As bombas de calor podem ser articuladas com sistemas solares térmicos e, obviamente, fotovoltaicos, com todas as vantagens que daí podem ser retiradas.

Podem ser uma solução do tipo um-em-três, permitem a produção de calor, frio e água quente a preços baixos, comparativamente a outras alternativas. Consomem muito menos eletricidade de que outros aparelhos elétricos, nomeadamente a nível da produção de água quente. Mas têm como desvantagem um custo inicial relativamente alto.

A vantagem destas bombas de calor ar-água depende pois das necessidades e dos consumos de ar climatizado e de água quente. Elas podem ser vantajosas em edifícios com altos consumos médios de água quente e com necessidades de aquecimento e frio.

Existem, também, bombas de calor desenhadas exclusivamente para aquecimento de água, uma opção que pode ser interessante em alguns contextos.

2.4.6. Chillers

Um chiller é uma máquina que tem como função arrefecer água ou outro líquido em diferentes tipos de aplicações, através de um ciclo termodinâmico. Os três principais tipos de chiller são:

- Compressão;
- Absorção (ignição direta; ignição indireta; efeito simples; efeito duplo);
- Adsorção.

Os chillers de compressão utilizam um compressor mecânico, accionado normalmente por um motor eléctrico, de forma a aumentar a pressão em determinada fase do ciclo termodinâmico do sistema.

Os chillers de absorção permitem produzir água fria a partir de uma fonte de calor, utilizando para tal uma solução de um sal num processo termoquímico de absorção.

Estes chillers subdividem-se em dois tipos:

- Queima direta. O calor necessário ao processo é obtido através da queima de gás natural;
- Queima indireta. Nestes sistemas o calor necessário é fornecido por vapor de baixa pressão, água quente ou um processo de purga quente.

Por sua vez os chillers de queima indireta subdividem-se também em dois tipos distintos de acordo com o tipo de absorvente:

- Amoníaco. Estes sistemas aplicam-se em instalações de grande capacidade;
- Brometo de lítio. É o sistema mais utilizado em casos de micro-cogeração, devido a uma melhor relação entre o custo e a eficiência energética.

Um chiller de adsorção é uma instalação térmica que converte calor em frio utilizando como fonte, o calor inutilizado [30].

A adsorção é um fenómeno de adesão reversível, da qual resulta a acumulação de uma substância gasosa ou dissolvida na superfície de um corpo, tipicamente uma superfície constituída por um material poroso. Quando as moléculas da substância são fixadas, libertam energia: a adsorção é um processo exotérmico. A diferença entre a adsorção e a absorção reside no facto de que, neste último processo, o fluido mistura-se com o absorvente para formar uma solução.

Os chillers de adsorção utilizam apenas água como refrigerante e um gel de sílica como adsorvente. Também se utiliza carvão ativo ou resina sintética como adsorvente nos processos industriais, para purificar a água ou para secar (com a adsorção da água).

Os chillers de adsorção com gel de sílica podem funcionar com temperaturas inferiores a 80 °C, o que os torna mais interessantes do que os chillers de absorção em aplicações onde a fonte de calor é de baixa temperatura como, por exemplo, integrados com sistemas solares térmicos.

Para obter uma grande capacidade de adsorção é necessário ter uma grande superfície de adsorvente disponível. Assim, a dimensão dos micro-poros determina a capacidade de adsorção do adsorvente. Os chillers de adsorção utilizam apenas energia térmica.

Os chillers de adsorção apresentam uma melhor eficiência do que os chillers de absorção para a gama de temperaturas entre 70 °C e 85 °C, mas estes últimos têm uma eficiência melhor para temperaturas mais elevadas (entre 95 °C e 150 °C). Neste caso, é possível usar um chiller de adsorção em série com um chiller de absorção para utilizar mais calor da água quente. Os chillers de adsorção podem também ser usados com um chiller de compressão convencional, aumentando a capacidade deste chiller sem gastos de energia suplementar significativos.

2.5. Tendências para o futuro do ar condicionado

O aumento da popularidade de termóstatos inteligentes, uma rápida adoção de sistemas de ar condicionado “inverter” (especialmente desenvolvido para reduzir o consumo de energia),

a procura por sistemas integrados e a introdução de tecnologias de purificação do ar são as quatro grandes tendências para o mercado global do ar condicionado.

Os termóstatos inteligentes que permitem monitorizar temperaturas ambiente em espaços habitacionais ou comerciais através de dispositivos móveis ou computadores portáteis conquistaram um maior número de adeptos, sobretudo nos mercados residencial e comercial, sendo, por isso, expectável que esta tendência se mantenha ao longo dos próximos anos. A crescente popularidade destes equipamentos está ligada a poupanças de energia, resultantes do controlo remoto dos ciclos de aquecimento e arrefecimento.

Avanços tecnológicos conseguidos pelas empresas, permitem “transformar os sistemas de ar condicionado controlados remotamente em dispositivos inteligentes”. Esta é uma solução compatível com mais de 85 % dos sistemas de ar condicionado a nível mundial, sendo capaz de se conectar por Wi-Fi e de controlar estes equipamentos através de tecnologia de infravermelhos. Tal deverá maximizar a eficiência dos sistemas de ar condicionado e ter uma influência positiva no mercado global.

Prevê-se ainda uma rápida adoção dos sistemas de ar condicionado com “inverter”, uma vez que “reduzem o consumo energético em cerca de 30 % e não têm um custo muito elevado de instalação, comparando com as unidades de ar condicionado central”. Estes equipamentos utilizam um compressor de velocidade variável que se desliga quando é atingida a temperatura desejável ou volta a funcionar quando a temperatura se altera. No entanto, algumas marcas estão a introduzir novas funcionalidades, como é o caso da tecnologia “modo de sono” que, através de sensores, deteta quando o utilizador adormece e regula a temperatura de forma a otimizar o conforto e eficiência.

Os sistemas integrados que incorporam o controlo de iluminação e acessos que permitem aumentar a eficiência energética na gestão dos sistemas do edifício, através de uma única plataforma. A integração dos sistemas de acesso com os de controlo dos sistemas de AVAC, por exemplo, possibilitam ajustes e monitorização de temperatura com base no número de ocupantes. Estes têm sido, por isso, os prediletos para escritórios comerciais, mas estão também a tornar-se atrativos para hotéis, infraestruturas ligadas à saúde e escolas.

A crescente preocupação com a inalação de ar poluído conduziu à acentuada melhoria das tecnologias para purificação do ar, fazendo desta, outra das tendências que terá impacto no mercado global. Muitos fabricantes integram sistemas de purificação do ar nos seus equipamentos de ar condicionado, dispensando a necessidade de adquiri-los separadamente, estes sistemas contêm uma filtração com diferentes camadas e tecnologias ativas que eliminam as impurezas do ar.

Entre os muitos fabricantes de equipamentos de AVAC a nível mundial a Daikin tem-se destacado dos demais por apresentar soluções inovadoras, flexíveis e com elevada eficiência energética. Algumas dessas soluções são apresentadas a seguir:

- **Controlo de climatização integrado VRV.** O Daikin VRV é um sistema de ar condicionado termo-higrométrico com controlo de caudal variável de fluido frigorigéneo que permite manter o controlo de zonas individuais em cada divisão e piso de um edifício comercial. O VRV fornece uma solução completa para aquecimento, arrefecimento, ventilação, produção de água quente, cortinas de ar e controlo central.
- **Tratamento de ar.** A Daikin disponibiliza uma nova unidade de tratamento de ar modular com recuperação de calor de alta eficiência, baixo "SFP" e conceito "plug and play" que gere de forma eficiente os componentes internos da UTA, garantindo uma perfeita comunicação, na vertente do controlo com as unidades condensadoras de expansão directa (DX) inverter Daikin de alta eficiência energética, como VRV IV e ERQ (para circuito frigorífico simples ou múltiplo). Este novo modelo em unidades de tratamento de ar pode ser aplicado em escritórios, escolas, hotéis e aplicações comerciais. Pode ser usada com sistemas VRV, unidades condensadoras "inverter" e chillers.



Figura 6 - UTA Modular

- **Tecnologia de compressor centrífugo.** O inovador compressor centrífugo sem fricção da Daikin tem apenas uma peça móvel, para maior eficiência, fiabilidade melhorada e custos de manutenção reduzidos.
- **Tecnologia inverter.** A tecnologia "inverter" exclusiva da Daikin utiliza apenas a energia necessária para satisfazer a carga real, resultando numa maior eficiência energética, níveis de conforto mais rápidos e rápido retorno do investimento em AVAC
- **Tecnologia de retificador.** Esta tecnologia avançada da Daikin alcança níveis de separação do ar impressionantes, de 80-85 %. Ao reduzirem a turbulência do ar durante

a descarga, estas cortinas de ar “biddle” também reduzem a indução no ar envolvente. Com design de retificador único garante um caudal de ar laminar até ao nível do chão. Desta forma, a turbulência do ar e o consumo energético são minimizados e os níveis de conforto aumentam, durante todo o ano.

- **Unidade interior.** A Cassete “Round Flow” da Daikin, foi concebida para alcançar um grau superior de eficiência energética, graças à integração da eficiência sazonal, o painel de auto limpeza e o sensor de presença. Desta forma, está garantido o mais baixo nível de custos de funcionamento, e reduzido o impacto no ambiente. O funcionamento de 360°, o sistema de oscilação automática vertical, e os sensores de presença e de pavimento, garantem um conforto perfeito em todas as situações.



Figura 7 - Cassete “round flow”

A título de curiosidade, muito recentemente, foi desenvolvida uma película para telhados que substitui o ar-condicionado, com zero consumo de energia, mais “verde” e tão eficiente quanto o ar-condicionado tradicional.

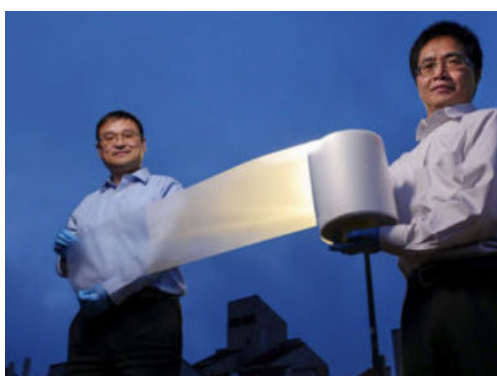


Figura 8 - Yin e Yang com a inovadora película

A invenção é de dois pesquisadores da Universidade do Colorado, EUA. Ronggui Yang e Xiabo Yin, que criaram uma película capaz de refrigerar ambientes sem a necessidade de usar gás refrigerante e energia elétrica. O estudo foi publicado no início de Fevereiro de 2017 pela revista “Science” [36].

A película simula o processo de filtração dos raios solares que incidem sobre a atmosfera da terra. A atmosfera permite que alguns comprimentos de onda infravermelha, que transportam calor, escapem para o espaço sem obstáculos. O que os cientistas Yan e Yin fizeram foi converter o calor indesejado em radiação infravermelha, no mesmo comprimento de onda que o planeta manda para fora.

O filme criado pelos cientistas é feito de polimetilpenteno, um tipo de plástico transparente encontrado no comércio, com a adição de pequenas pedras de vidro, revestido de prata em apenas um dos lados, o material é transformado em lâminas com espessura de 50 milionésimos de metro.

Capítulo 3 - Normalização e fundamentos do conforto térmico em navios

Em relação ao conforto térmico, os navios são um caso especial, uma vez que na sua maioria não mantém uma posição permanente em relação ao sol, navegam para qualquer região climática ao redor do globo, são na maioria dos casos construídos em aço, um material de alta condutividade térmica e têm nos seus motores de combustão interna, caldeiras a vapor entre outros, fontes de calor de alta potência.

“Se um indivíduo tem a sensação de frio ou calor, isto significa que ele está a perder, respectivamente, mais ou menos calor do que o necessário para a manutenção da sua temperatura ideal. Neste caso, o organismo é submetido a um esforço adicional, o que pode resultar em fadiga, stresse sob condições extremas perda total da capacidade de trabalho e/ou problemas de saúde.” [16]

Nas secções seguintes serão apresentadas as recomendações presentes nas convenções 92 e 186 da Organização Internacional do Trabalho (OIT), da norma ISO 7547, e da sociedade classificadora American Bureau of Shipping (ABS).

3.1. Organização Internacional do Trabalho

A Convenção 92 (Organização Internacional do Trabalho, 1949) determina que os camarotes tenham ventilação controlada e suficiente, para, manter o ar em condições satisfatórias e propiciar suficiente circulação do ar. Também determina que todo o navio que viaje nos trópicos ou no Golfo Pérsico tenha sistemas de ventilação mecânico e elétrico, sendo obrigatório apenas um destes meios, quando este for suficiente. Apenas um dos sistemas de ventilação acima mencionados é exigido no caso de navios que naveguem fora dos trópicos; a autoridade competente poderá isentar desta exigência os navios que naveguem em águas frias. A força motriz para o sistema de ventilação deverá, quando possível estar disponível sempre que a tripulação estiver a bordo e as condições o exigirem.

É também determinado que as embarcações empenhadas em viagens para regiões que não sejam os trópicos nem o Golfo Pérsico, deverão ter uma instalação conveniente de aquecimento nos alojamentos da tripulação. Este sistema deverá funcionar sempre que a tripulação estiver a bordo e as circunstâncias assim o exigirem e deverão ser utilizados vapor, água, ar quente ou eletricidade. O sistema deverá ser capaz de manter a temperatura num nível satisfatório. A autoridade competente deverá prescrever as condições para este sistema. Os radiadores e outros aparelhos de aquecimento serão instalados de forma a evitar o risco de incêndio e a não constituir fonte de perigo ou desconforto para os ocupantes dos locais onde forem instalados.

A Convenção 133 (Organização Internacional do Trabalho, 1970a) não faz determinações relativas à ventilação e ao aquecimento e dispõe no seu Artigo 3 que sejam aplicadas as determinações da Parte III da Convenção 92 acima mencionadas [11].

A Convenção 186 (Organização Internacional do Trabalho, 2006), além das determinações presentes na Convenção 92 e apresentadas anteriormente, determina que o sistema de ventilação deva propiciar suficiente circulação de ar e mantê-lo em condições satisfatórias. Sobre a disponibilidade da força motriz necessária ao seu funcionamento, passaram à categoria de orientações de cumprimento não obrigatório.

Por outro lado, a Convenção 186 determina que seja instalado um sistema de ar condicionado nos alojamentos dos tripulantes quando o clima da região de navegação do navio assim o exigir, o que representa um avanço em comparação com a Convenção 92.

A disponibilidade de energia para o funcionamento do sistema de ar condicionado está presente na forma de orientação de cumprimento não obrigatório, assim como a recomendação de que os sistemas de ar condicionado central ou individual sejam instalados com o propósito de manter a temperatura e humidade do ar em níveis satisfatórios e de assegurar suficiente número de trocas de ar. Ainda como orientação, esta convenção recomenda que a instalação do sistema de ar condicionado leve em conta as particularidades das operações no mar e que facilite a sua limpeza e desinfecção para prevenir e controlar a propagação de doenças. Também determina que este sistema não produza ruído e vibrações excessivas.

3.2. Norma ISO 7547

A norma ISO 7547 [4] foi elaborada pelo comité técnico ISO/TC 8 “Ships and Marine Technology” e subcomité SC 3 “Piping and Machinery”.

Esta norma internacional serve de padrão para especificar as condições de projeto e métodos de cálculo para os sistemas de AVAC em espaços de alojamento a bordo de navios mercantes para todas as condições exceto as de climas de extremo calor ou frio.

Esta norma define como espaço de alojamento todos os espaços usados como espaços públicos, camarotes, escritórios, hospitais, cinemas, espaços recreativos e despensas sem aparelhos de cozinha.

Define também ar condicionado como a forma de tratamento do ar pelo qual a temperatura, humidade, ventilação e qualidade do ar são controlados dentro dos limites prescritos pelo espaço a ser climatizado.

A ventilação é definida como o fornecimento de ar a um espaço, suficiente para as necessidades dos seus ocupantes ou da atividade lá exercida.

Determina esta norma, que o sistema de AVAC deve ser concebido de forma a que o ar interior em todos os espaços de alojamento se mantenha em valores padrão para as seguintes condições: de verão em que o ar exterior esteja a uma temperatura de 35 °C e 70 % de humidade, o ar interior seja 27 °C e 50 % de humidade; de inverno em que o ar exterior esteja a uma temperatura de – 20 °C, o ar interior seja 22 °C.

3.3. American Bureau of Shipping

A American Bureau of Shipping (ABS), no seu “Guide for Crew Hability on Ships (2001)” [9] estipula que os camarotes dos tripulantes deverão ter um sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) para obtenção da classificação HAB ou HAB+. A única referência à ventilação, para além da sua definição, é a de que a velocidade do ar não deve superar 0.5 m/s no ambiente interior.

Os parâmetros de conforto térmico levados em conta pela American Bureau of Shipping (2005) para a concessão das notações HAB e HAB+ para os alojamentos dos tripulantes consideram que as condições térmicas de um ambiente serão aceitáveis quando satisfizerem 80 % dos seus ocupantes.

As variáveis consideradas nos dois guias analisados para definir o grau de conforto térmico de um ambiente incluem temperatura do ar, humidade relativa, gradiente horizontal e vertical de temperatura nos camarotes e velocidade máxima do ar, que não deve ultrapassar 0.5 m/s no ambiente interior.

Para a obtenção da classificação HAB, os camarotes deverão ter um sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) capaz de providenciar uma temperatura de retorno de 22 °C ± 1 °C para cada zona AVAC (um espaço ou grupo de espaços que tem a sua temperatura, humidade, limpeza e distribuição de ar controladas independentemente). Além disso, cada zona deverá ter um termostato para reaquecimento e desumidificação de um grupo de ambientes.

Para a obtenção da classificação HAB+, os camarotes dos tripulantes deverão contar com um sistema AVAC ajustável capaz de manter a temperatura dos camarotes entre os 18 °C e 26.5 °C. Deverá haver um termostato por camarote para a regulação da temperatura e desumidificação.

Em ambos os casos (HAB e HAB+), a humidade relativa do ar deve ser mantida entre 30 % e 70 % e a diferença de temperatura entre os níveis 100 mm e 1700 mm acima do piso

deve ser mantida no máximo de 3 °C. Além disso, a velocidade do ar não deve ultrapassar 0.5 m/s e a diferença de temperatura entre a superfície da antepara adjacente aos beliches e a temperatura do ar do camarote deve ser inferior a 10 °C.

As exigências da ABS para a concessão das notações HAB e HAB+ são as únicas, juntamente com as do Departamento de Defesa dos E.U.A., que consideram as diferenças de temperatura vertical e horizontal no interior dos camarotes. Estes parâmetros são importantes na medida em que estão relacionados com o isolamento térmico de conveses e anteparas.

Capítulo 4 - Caracterização do navio e instalação AVAC

No primeiro subcapítulo, vai-se fazer uma descrição de forma sucinta do navio, da sua funcionalidade e operacionalidade e da companhia armadora.

O subcapítulo dos principais sistemas e equipamentos tem como objectivo dar a conhecer, um pouco, a forma como o navio está organizado em termos do sistema de geração/distribuição da potência e do sistema de DP. Estes dois sistemas são cruciais na operação do navio.

4.1. Descrição do navio

O navio “M/V Noble Globetrotter II” faz parte de uma frota de 30 unidades de perfuração “offshore” pertencentes à companhia Noble Corporation, que consiste em 16 navios de perfuração e semi-submersíveis e também 14 plataformas “offshore”.

A sede da Noble Corporation está situada em Houston E.U.A.. A Noble desempenha através das suas subsidiárias, contratos de perfuração, onde opera uma das frotas mais modernas, versáteis e tecnicamente avançadas na indústria de perfuração em “offshore”. A companhia está maioritariamente focada na perfuração em águas muito profundas, tanto em zonas já economicamente estabelecidas como na descoberta de mercados emergentes ao redor do globo.



Figura 9 - Navio “M/V Noble Globetrotter II”

Atualmente a Noble possui uma série de ativos de perfuração situados estrategicamente ao redor do globo, tais como no golfo do México, Brasil, costa Oeste de África, Ásia e Mar do Norte.

Desde o seu ano de construção, o navio “Noble Globetrotter II” esteve envolvido em projetos exploratórios de novos poços de petróleo e gás natural em águas muito profundas no

Benin, Bulgária, Congo, Gabão, Tanzânia e Turquia, tendo como cliente principal a petrolífera Holandesa Shell.

As principais características do navio “M/V Noble Globetrotter II”, são:

IMO Number	9600786
Call Sign	A8YR2
Ano de construção	2009
Estaleiro	STX, Dalian, China
Sociedade Classificadora	American Bureau Shipping – A.B.S.
Definição de classe	A1, Drillship, Ice Class, 1A, AMS, ACCU, DPS3, RW
Bandeira	Libéria
Armador	Noble Corporation
Porto de Registo	Monróvia
Comprimento	189 m
Boca	32,20 m
Calado	12,0 m
Velocidade de serviço	11 nós
Tonelagem bruta	31,257 Ton
Capacidade de alojamento	180 Pessoas

Tabela 1 - Dados gerais do navio “M/V Noble Globetrotter II”

4.2. Principais sistemas e equipamentos

O navio tem seis propulsores azimutais Rolls-Royce de velocidade variável, dispostos em dois grupos de três propulsores, um grupo a vante e outro grupo a ré. Os três propulsores localizados a vante são retráteis e são usados em conjunto com o grupo de ré para a situação de “Dynamic Positioning” (DP). Os três propulsores de ré são usados como sistema de propulsão. Os seis propulsores são cruciais para que o navio mantenha uma posição fixa para as operações de perfuração.

O sistema de propulsão é diesel-elétrico composto por oito geradores diesel da Caterpillar C280/16 estes geradores são a fonte de fornecimento de energia elétrica, não só, para a propulsão mas, também para os equipamentos de perfuração, equipamentos auxiliares, navegação e uso geral nos alojamentos.

Na *figura 10* está representado o painel Converteam do quadro de distribuição de potência, onde se podem ver os oito geradores diesel em que quatro estão em funcionamento (70 kW) e a alimentar o barramento e os outro quatro estão em “stand-by”.

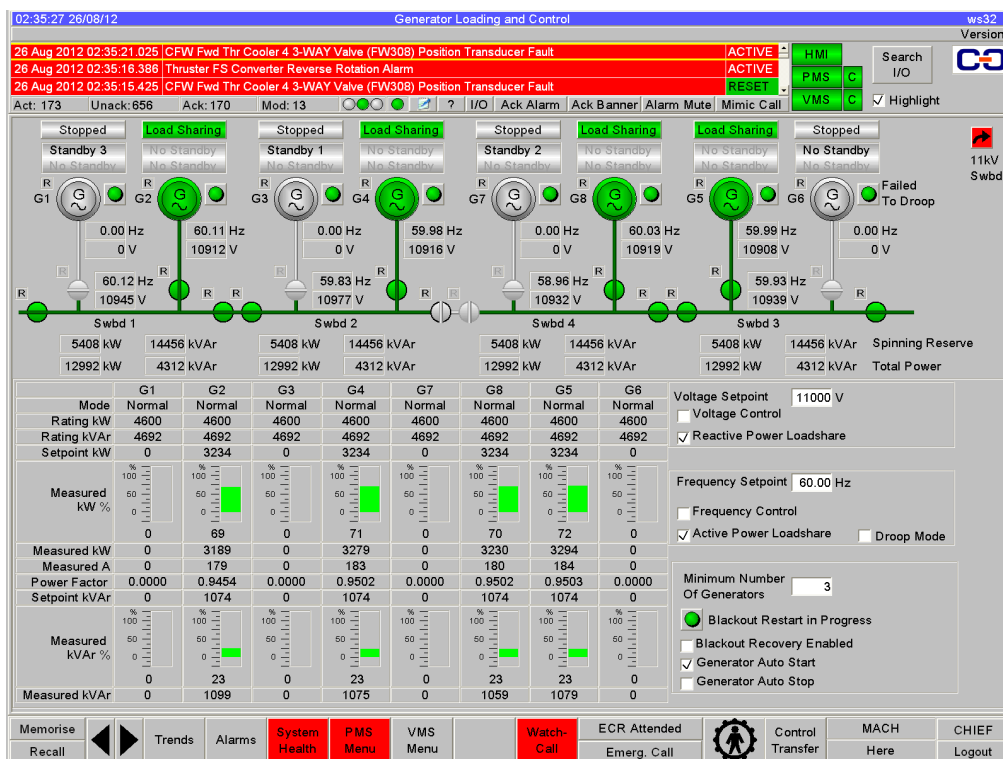


Figura 10 - Painel Converteam para o quadro de distribuição de potência

O sistema de distribuição de energia é composto por quatro quadros de distribuição de alta tensão (11 kV) e outros quatro quadros de distribuição de média tensão (480 V), dois a bombordo e outros dois a estibordo de cada nível de tensão. Os quadros de distribuição de alta tensão, tal como os de média tensão podem ser configurados criando duas ilhas separadas, ou seja, juntando os de bombordo e juntando os de estibordo. Podem também ser configurados de maneira a estarem todos os quatro separados, ou todos os quatro juntos.

Em geral, a divisão na distribuição de energia elétrica corresponde à divisão nos sistemas auxiliares marítimos que servem. No entanto, há ocasiões em que a conectividade é feita com redundância nos sistemas principais como é o caso dos propulsores centrais de proa e popa.

Como se pode observar na *figura 11*, está representado o painel Converteam para o quadro de distribuição de alta tensão, neste caso concreto os quatro quadros de distribuição formam uma única ilha estando abertos os disjuntores entre o quadro dois e quatro. Ainda se podem ver os oito geradores diesel e os oito propulsores.

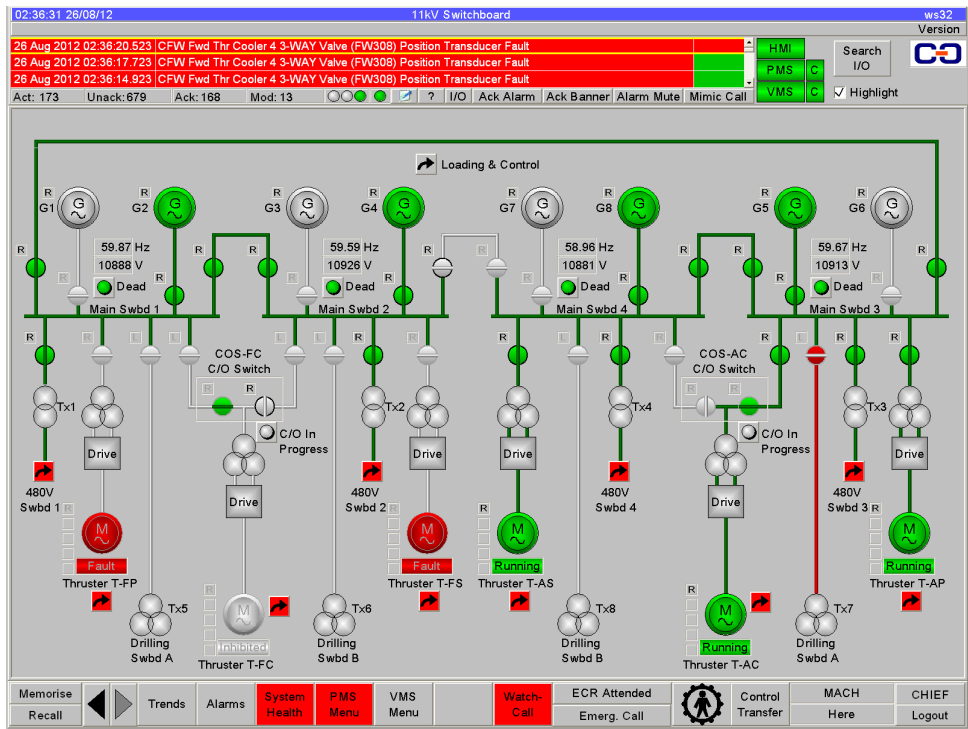


Figura 11 - Painel Converteam do quadro de distribuição de alta tensão

Na figura 12, pode-se ver representado o painel Converteam para o quadro de distribuição de média tensão (480 V/208 V). Pode ver-se também o quadro de distribuição de emergência.

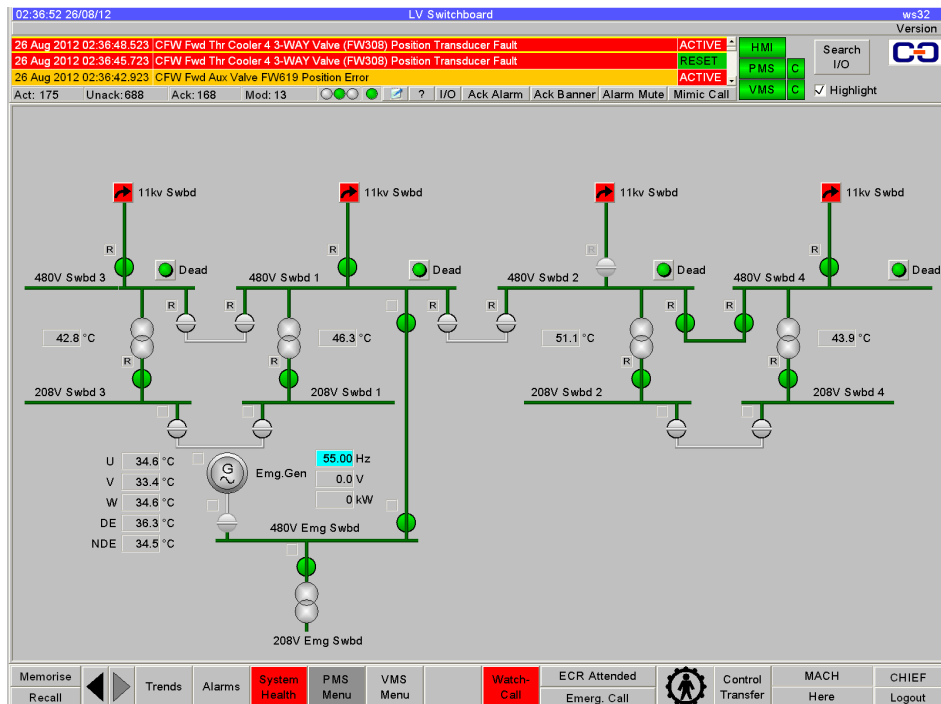


Figura 12 - Painel Converteam do quadro de distribuição de média tensão

O sistema de DP tem três estações de controlo em locais distintos, DPS3. Ou seja, consiste em três controladores de DP em três consolas de trabalho autónomas, em três diferentes localizações mas, ligadas entre si através de uma rede Ethernet redundante. O facto do navio ter estas três estações independentes confere-lhe uma redundância tripla e no caso de uma situação de emergência o operador de DP pode manter o navio em posição em qualquer uma das estações de DP. Sendo que apenas uma das estações pode estar em serviço estando as outras duas em “stand-by”.

Na *tabela 2* estão representados os principais equipamentos relacionados com o sistema de potência e sistema de DP.

Geradores diesel	8 x 4,6 MW, Caterpillar C280/16
Gerador diesel de emergencia	1 x 910 kW, Caterpillar 3508B
Quadros de distribuição principais	4 x 11 kV, ABB
Quadros de distribuição auxiliares	4 x 480 V, ABB
Quadro de distribuição de emergência	1 x 480 V, 1 x 208 V, ABB
Propulsores de proa e popa	6 x 3,7 MW, Rolls-Royce azimute passo fixo
Sistema de controlo DP	Covertteam DPS31
Automação	Covertteam VMS/PMS

Tabela 2 - Principais equipamentos

4.3. Instalação AVAC do navio “M/V Noble Globetrotter II”

O sistema AVAC do navio “M/V Noble Globetrotter II” compreende os componentes do ciclo de arrefecimento e aquecimento. No que se refere ao ciclo de aquecimento são usadas resistências elétricas - *figura 13*.



Figura 13 - Painel de controlo das resistências elétricas

O sistema de AVAC é composto por uma unidade de tratamento do ar - *figura 14*, uma unidade do ar de retorno - *figura 15* e uma unidade de condensação refrigerada a água - *figura 16 e 17*. A instalação AVAC foi projetada de forma a existir redundância, ou seja, enquanto uma unidade está em serviço outra está em “stand-by”.



Figura 14 - Unidade de Tratamento do Ar

Unidade de Tratamento do Ar	
1. Elementos da Unidade	
Ventilador	
Motor eléctrico do ventilador	
Serpentina de arrefecimento	
Resistências eléctricas	
Humidificador	
Secção de Filtragem	
Lâmpadas de desinfeção UV	
2. Dados Técnicos	
Caudal de ar de insuflação	61,913 m ³ /h
Condições do ar novo (arrefecimento)	31 °C, 76 % HR
Condição do ar insuflado (arrefecimento)	12,7 °C, 94.6 % HR
Capacidade de aquecimento (resistências eléctricas)	710 kW
Condição do ar de novo (aquecimento)	-1,5 °C
Condição do ar insuflado (aquecimento)	36,6 °C, 13,9 % HR
Peso	12,800 Kg
3. Materiais	
Invólucro da UTA	Aço inoxidável 316 L
Espessura da parede exterior	1,5 mm
Espessura da parede interior	0,8 mm
Espessura do isolamento	60 mm
Condutividade térmica do isolamento	0,04 W/m.°C

Tabela 3 - Unidade de tratamento do ar

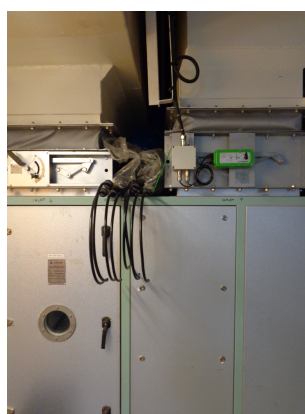


Figura 15 - Unidade de ar de retorno

Unidade de Ar de Retorno	
1. Elementos da Unidade	
Ventilador	
Motor elétrico do ventilador	
2. Dados Técnicos	
Taxa de fluxo de ar	30,922 m ³ /h
Peso	980 Kg
3. Materiais	
Invólucro da UTA	Aço Inoxidável 316 L
Espessura da parede interior	1,5 mm
Espessura da parede exterior	0,8 mm
Espessura do isolamento	50 mm
Condutividade térmica do isolamento	0,04 W/m.°C

Tabela 4 - Unidade de ar de retorno



Figura 16 - Unidade de condensação. Vista dos compressores



Figura 17 - Unidade de condensação. Vista do condensador.

Unidade de Condensação	
1. Elementos da Unidade	
Compressor (2 conjuntos de 4 compressores)	
Condensador	
Motor eléctrico	
2. Dados Técnicos	
Capacidade de refrigeração (1 conjunto)	1162 kW
Refrigerante	R-407C
Temperatura de entrada/saída no condensador	38 °C / 42.5 °C (água salgada)
Temperatura de evaporação	5 °C
Temperatura de condensação	45 °C
Caudal de água de arref. do condensador	290 m ³ /h
Queda de pressão no condensador	380 m.W.G
Peso total da unidade	9397 Kg
3. Compressor	
Tipo	Parafuso Aberto
Modelo	Bitzer/OSK 7471-K
Separador de óleo	Bitzer/OA 14011
Capacidade de óleo	140 L
Aquecedor de óleo	140 W (x3)
4. Motor	
Modelo	ABB/M2QA 315 S2P
Potência	110 kW
Rotação	3580 rpm
5. Condensador	
Tipo	Tubular
Modelo	HAK/COKC 603102

Tabela 5 - Unidade de condensação

No capítulo seguinte serão abordados os componentes do ciclo de refrigeração.

4.4. Componentes do ciclo de refrigeração

Os componentes principais do ciclo de refrigeração em estudo, são:

4.4.1. Compressor

Cada unidade de condensação é constituída por um conjunto de quatro compressores, onde é possível atribuir uma sequência de arranque dos compressores.

O conjunto de quatro compressores Bitzer tem uma capacidade de arrefecimento de 1162 kW.

O motor elétrico é ABB M2QA-315-S2P, com potência de 110 kW a 3580 rpm.



Figura 18 - Compressores Bitzer



Figura 19 - Conjunto de 4 compressores Bitzer

4.4.2. Condensador

O condensador é tubular, do fabricante Hi Air Korea modelo COKC-603102, com capacidade total de arrefecimento de 1162 kW.



Figura 20 - Condensador tubular HAK

4.4.3. Evaporador

O evaporador está localizado na unidade de tratamento do ar.



Figura 21 - Serpentinhas de arrefecimento

4.4.4. Dispositivo de expansão

O dispositivo de expansão utilizado é o modelo MVL661.20-2.5 da Siemens.

A taxa de fluxo é de 2,5 m³/h e a capacidade de refrigeração é de 250 kW. A queda de pressão para sistemas com R407C é de 0,5 bar.



Figura 22 - Dispositivo de expansão MVL661.20-25

4.4.5. Instrumentação

Na *tabela 6* estão representados os exemplos principais da instrumentação utilizada nas unidades de tratamento do ar e unidades de condensação.

Instrumentação	
1. Unidade de Tratamento do Ar	
Interruptores diferencial de pressão	Dwyer: 1950-5-2F; 1950-10-2F
Indicadores diferencial de pressão	Dwyer: 2000 (0-500 Pa)
Transmissores de pressão	Siemens: QBE9101-P10U
Sensores de temperatura e humidade	Siemens: QFM2160
Sensores de temperatura	Siemens: QAZ21.685/101; QAM2120.040
2. Unidade de Condensação	
Válvulas solenóide	Danfoss: EVR15; EVR6
Transmissores de pressão	Siemens: QBE9101-P10U; QBE9101-P30U

Tabela 6 - Instrumentação do sistema AVAC



Figura 23 - Exemplos de instrumentação. Sensores de pressão, válvulas solenoide e manómetro de alta pressão

4.4.6. Controlo do sistema

A automação usada para controlo do sistema de tratamento do ar e das unidades de compressores é feita através de painéis tácteis da Siemens - *figura 24*.

Através do painel de controlo da unidade de tratamento do ar para o casario é possível obter várias informações: qual a unidade que está em funcionamento e qual a que está em “stand-by”; qual o estado dos ventiladores de insuflação e do ar de retorno; a temperatura do novo e do ar insuflado nos alojamentos; a percentagem de ar novo na mistura.

O código das cores indica que o verde é referente à unidade em funcionamento e o vermelho referente à unidade em “stand-by”.

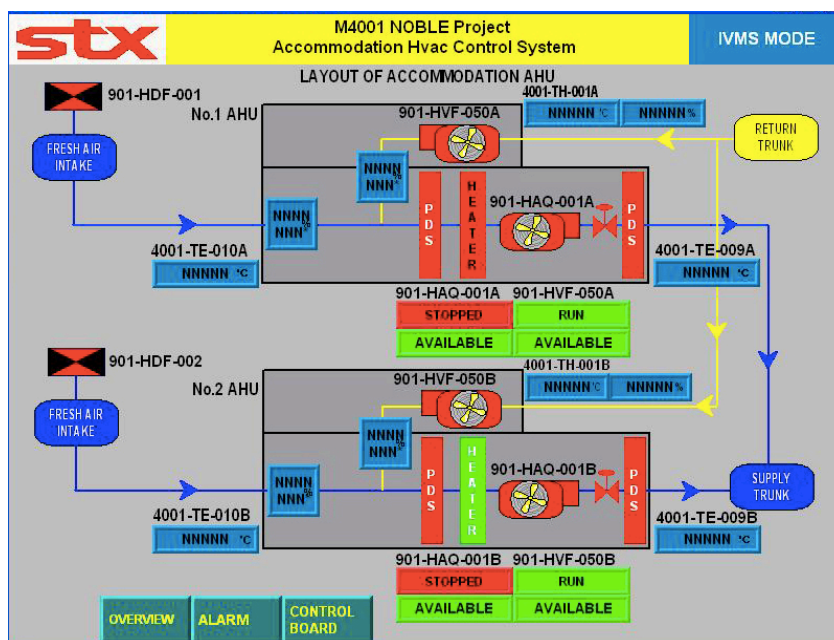


Figura 24 - Esquema da unidade de tratamento do ar para o casario

Do painel de controlo da unidade de tratamento do ar para o casario é possível navegar para três sub-menus: vista geral, alarmes e painel de controlo.

No painel de controlo, é possível operar as unidades de tratamento do ar e os respetivos ventiladores, tal como os ventiladores das unidades do ar de retorno - *figura 25*.

CONTROL BOARD			
NO.1 DUTY	NO.2 STAND BY	AUTO START	AUTO STOP
No.1 AHU FAN 901-HAQ-001A		No.1 REC. FAN 901-HVF-050A	
No.1 DUTY		No.1 DUTY	
AVAILABLE		AVAILABLE	
STOPPED		STOPPED	
LOCAL		LOCAL	
FAN START	FAN STOP	FAN START	FAN STOP
No.2 AHU FAN 901-HAQ-001B		No.2 REC. FAN 901-HVF-050B	
No.2 STAND BY		No.2 DUTY	
AVAILABLE		AVAILABLE	
STOPPED		STOPPED	
LOCAL		LOCAL	
FAN START	FAN STOP	FAN START	FAN STOP
CLOSE			

Figura 25 - Painel de controlo dos ventiladores de insuflação e recirculação

Na *figura 26* está representado o painel de controlo das resistências elétricas, onde é possível operar as resistências e também obter informação acerca da temperatura do ar insuflado e do ar de retorno.

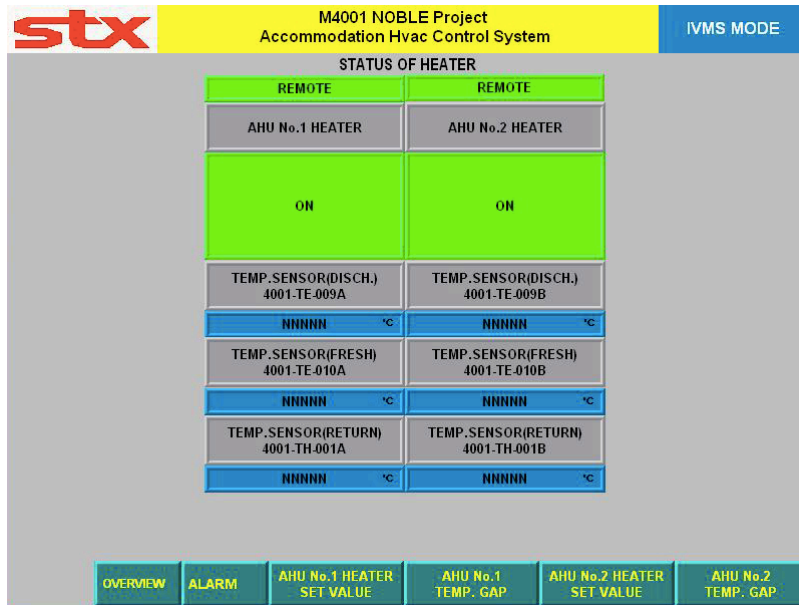


Figura 26 - Painel de controlo das resistências elétricas para aquecimento

Na figura 27 está representado o painel do estado das unidades de tratamento do ar. Este painel é meramente informativo e não permite nenhuma operação.

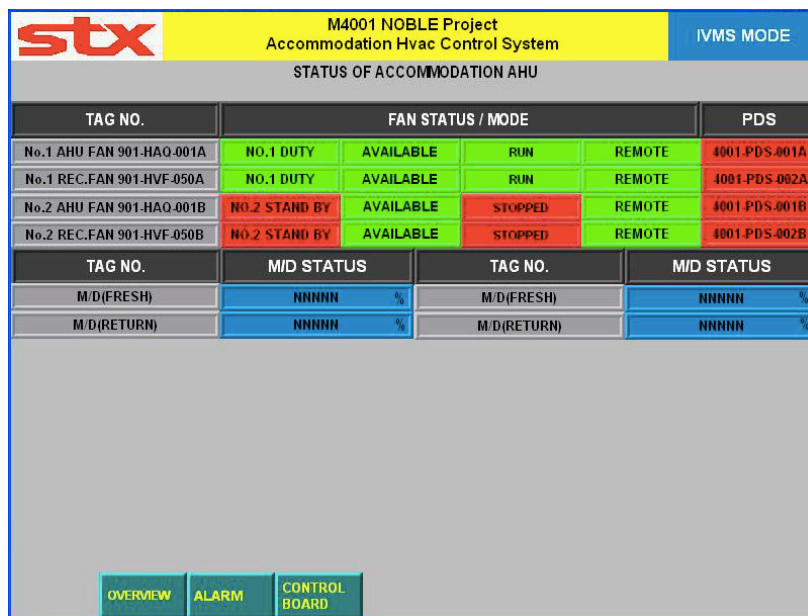


Figura 27 - Painel informativo do estado das unidades de tratamento do ar

Capítulo 5 - Cálculo das cargas térmicas

A carga térmica é a quantidade de calor sensível e latente, que deve ser retirada (arrefecimento) ou adicionada (aquecimento) num espaço, afim de proporcionar as condições de conforto desejadas, manter as condições ambientes adequadas para a conservação de produtos ou para a realização de uma tarefa.

O conhecimento da carga térmica é fundamental para:

- Dimensionar a instalação;
- Selecionar equipamentos;
- Avaliar o funcionamento de equipamentos existentes ou a serem adquiridos;
- Avaliar as alterações necessárias ao sistema que beneficia ambientes.

5.1. Localização do navio

Serão tidas em conta duas localizações completamente distintas em termos climáticos para o cálculo das cargas térmicas. O objetivo é analisar a instalação existente na presença de condições extremas de calor, frio e humidade.

O estudo das cargas térmicas de arrefecimento vai ser efectuado tendo em conta a localização do navio em Libreville - Gabão.

O estudo das cargas térmicas de aquecimento vai ser efectuado tendo em conta a localização do navio em Istambul - Turquia.

5.1.1. Condições climáticas de Libreville - Gabão

Libreville é a capital do Gabão e tem como coordenadas Latitude 0.45 N; Longitude 9.42 E, elevação de 49 e clima predominantemente tropical.

Os seguintes dados referem-se a valores médios de Libreville e são baseados num histórico de dados climáticos recolhidos de 1999 a 2012 [26].

Através da *tabela 7*, pode observar-se que o mês mais quente do ano é Março, tendo como temperatura média das máximas 30,4 °C e a temperatura mais baixa do ano é em Julho, onde a temperatura média das mínimas é de 20,8 °C.

month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
mm	249	190	268	288	146	4	1	4	38	193	339	232
°C	26.6	27.0	27.1	26.9	25.8	23.8	23.1	24.1	25.3	25.8	25.9	26.1
°C (min)	23.9	23.9	23.9	23.6	22.3	20.7	20.8	22.0	22.7	23.0	23.2	23.3
°C (max)	29.4	30.2	30.4	30.3	29.4	27.0	25.5	26.2	27.9	28.6	28.7	28.9

Tabela 7 - Pluviosidade, temperaturas médias, mínimas e máximas em Libreville [26]

O mês mais seco é Março e tem uma diferença de precipitação de 338 mm em relação ao mês mais chuvoso, que, é Novembro. As temperaturas médias têm uma variação de apenas 4.0 °C durante o ano.

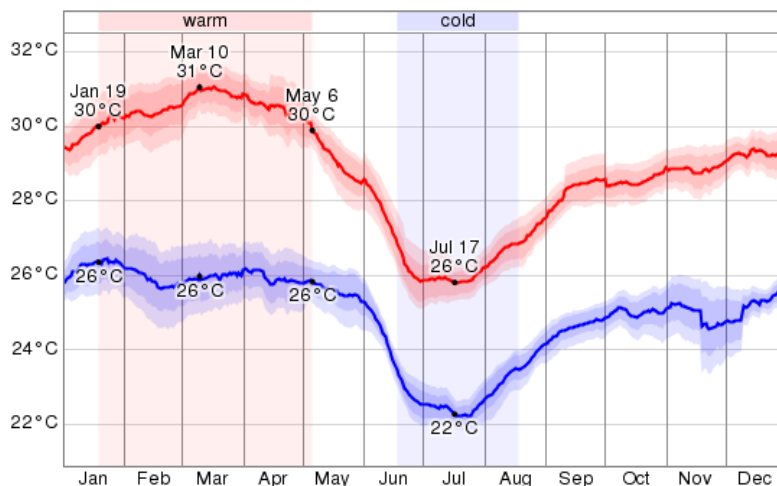


Figura 28 - Temperatura diária mais alta e mais baixa

Como se pode observar através da *figura 28*, durante o ano as temperaturas variam tipicamente entre 22 °C e 31 °C, raramente baixam dos 22 °C ou sobem dos 31 °C.

A estação quente vai de 19 de Janeiro a 6 de Maio com uma temperatura diária média acima dos 30 °C. O dia mais quente é tipicamente 10 de Março, com uma temperatura máxima de 31 °C e temperatura mínima de 26 °C.

A estação fria está compreendida entre 18 de Junho e 18 de Agosto, com uma temperatura média de 27 °C. O dia mais frio do ano é 24 de Julho, com uma temperatura mínima média de 22 °C e máxima de 26 °C.

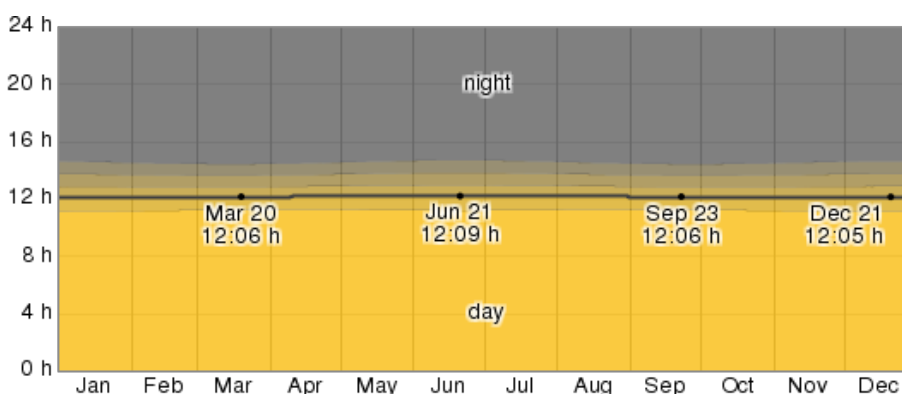


Figura 29 - Variação da luz solar ao longo do ano

A duração da luz solar num dia típico não varia substancialmente ao longo do ano, ficando-se invariavelmente pelas 12 horas diárias de luz solar. Entre o dia mais curto e o mais longo, do ano, existe uma diferença de apenas 03 minutos. Como se pode verificar pela *figura 29*, o dia mais curto do ano é 21 de Dezembro com 12 horas e 05 minutos de luz solar e o dia mais longo do ano é 21 de Junho, com 12 horas e 09 minutos de luz solar.

A humidade relativa varia tipicamente de 68 % (humidade media) a 99 % (muito húmido), durante o ano raramente baixa dos 66 % ou atinge os 100 % de humidade. O ar é mais seco a 5 de Agosto onde a humidade relativa baixa aos 68 % e mais húmido a 5 de Maio onde atinge os 99 % - *figura 30*.

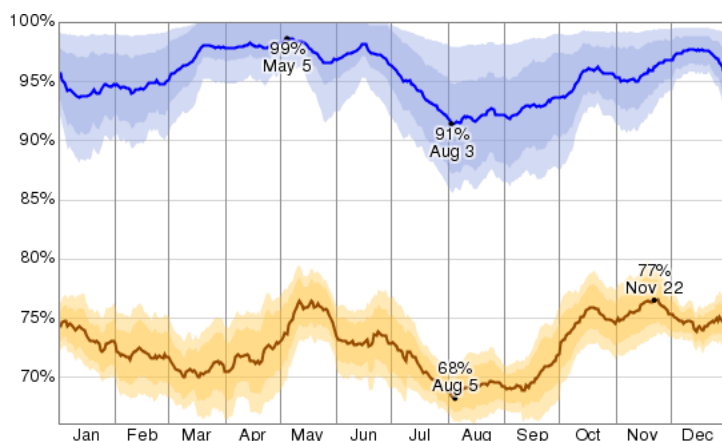


Figura 30 - Humidade Relativa

O ponto de orvalho, é provavelmente uma das melhores formas para analisar o quanto uma pessoa se sente confortável com as condições climáticas exteriores comparativamente com a humidade relativa, isto porque está diretamente relacionado com a forma como a transpiração se evaporará da pele, arrefecendo assim o corpo e transmitindo uma maior sensação de conforto térmico.

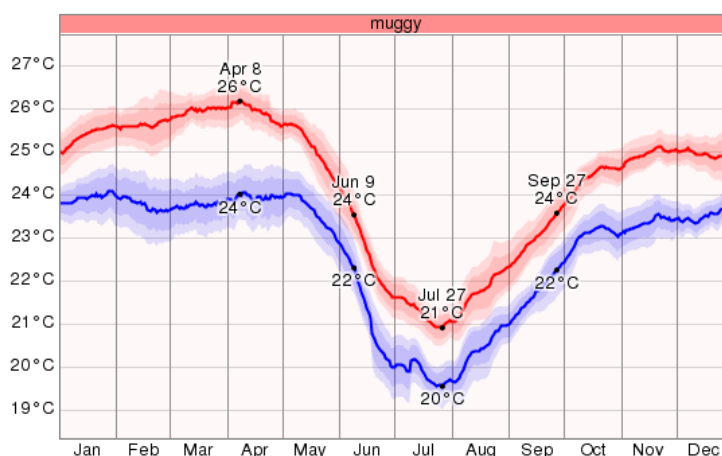


Figura 31 - Ponto de orvalho

Ao longo do ano o ponto de orvalho varia tipicamente de 20 °C a 26 °C e raramente baixa dos 19 °C ou sobe dos 27 °C - *figura 31*.

Ao longo do ano a velocidade do vento varia tipicamente de 0 m/s a 8 m/s e raramente excede os 10 m/s. A velocidade de vento média mais alta é de 5 m/s e ocorre a 23 de Setembro, onde a velocidade de vento mais alta num dia é de 8 m/s. A velocidade de vento média mais baixa é de 3 m/s e ocorre a 26 de Fevereiro, onde a velocidade de vento mais baixa num dia é de 5 m/s - *figura 32*.

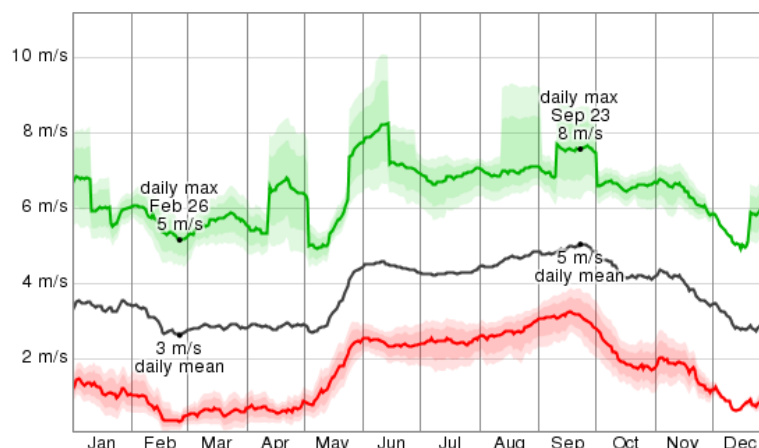


Figura 32 - Velocidade do vento

Através do livro “ASHRAE Handbook Fundamentals 2009” [1], é possível obter todos os dados relevantes referentes às condições climáticas de Libreville.

A informação disponibilizada nas tabelas 2a e 2b inclui as condições de aquecimento, arrefecimento, evaporação, desumidificação e velocidade anual extrema do vento - *tabelas 8 e 9*.

Aquecimento DB [°C]		Arrefecimento DB/MCWB [°C]		
99,6%	99%	0,4%	1%	2%
		DB/MCWB	DB/MCWB	DB/MCWB
22	22,4	31,4/27,1	31/27	30,6/26,7

Tabela 8 - Condições Climáticas de aquecimento e arrefecimento [1]

Evaporação WB/MCDB [°C]		Desumidificação DP/MCDB [°C]		Extremo Anual WS [Km/h]		
0,4%	1%	0,4%	1%	1%	2,5%	5%
WB/MCDB	WB/MCDB	DP/MCDB	DP/MCDB			
28/30,1	27,6/29,7	27,2/29,4	27/29,3	25,6	22,7	20,4

Tabela 9 - Condições climáticas de evaporação, desumidificação e velocidade do vento [1]

5.1.2. Condições Climáticas de Istambul – Turquia

Istambul é a capital da Turquia e tem como coordenadas Latitude 40.97 N; Longitude 28.82 E, elevação 121 e com clima predominantemente mediterrânico.

Os seguintes dados referem-se a valores médios em Istambul e são baseados num histórico de dados climáticos recolhidos entre 1974 a 2012 [25].

Julho é o mês mais quente do ano, com a temperatura média das máximas de 27,6 °C em Janeiro e Fevereiro a temperatura média das mínimas é de 3,0 °C, sendo esta a temperatura mais baixa ao longo do ano - *tabela 10*.

month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
mm	102	71	70	51	33	30	24	32	46	73	91	124
°C	5.7	5.8	7.3	11.7	16.1	20.6	23.1	23.2	19.8	15.7	11.6	8.2
°C (min)	3.0	3.0	3.9	7.5	11.7	15.9	18.6	18.9	15.6	12.1	8.4	5.4
°C (max)	8.5	8.7	10.7	15.9	20.6	25.3	27.6	27.5	24.1	19.4	14.9	11.0

Tabela 10 - Pluviosidade, temperaturas médias, mínimas e máximas em Istambul [25]

O mês mais seco é Julho com uma precipitação de 24 mm em comparação com o mês mais chuvoso que é Dezembro com precipitação de 124 mm. As temperaturas médias têm uma variação de 17 °C durante o ano.

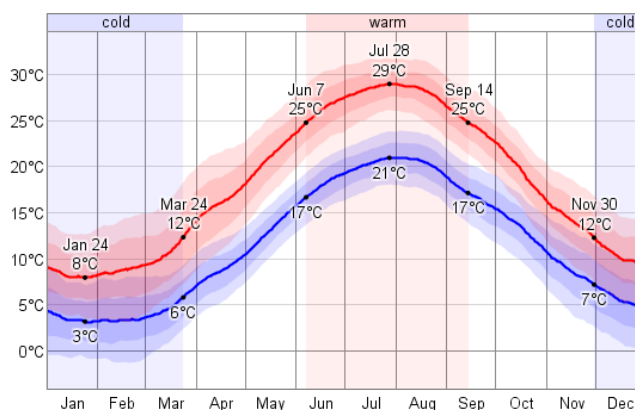


Figura 33 - Temperatura diária mais alta e mais baixa

Como se pode observar através da *figura 33*, durante o ano as temperaturas variam tipicamente entre 3 °C e 29 °C.

A estação quente vai de 07 de Junho a 14 de Setembro com uma temperatura máxima média acima dos 25 °C. O dia mais quente do ano é 28 de Julho, com uma temperatura máxima média de 29 °C e temperatura mínima de 21 °C.

A estação fria está compreendida entre 30 de Novembro e 24 de Março, com uma temperatura máxima média de 12 °C. O dia mais frio do ano é 24 de Janeiro, com uma temperatura mínima média de 3 °C e máxima de 8 °C.

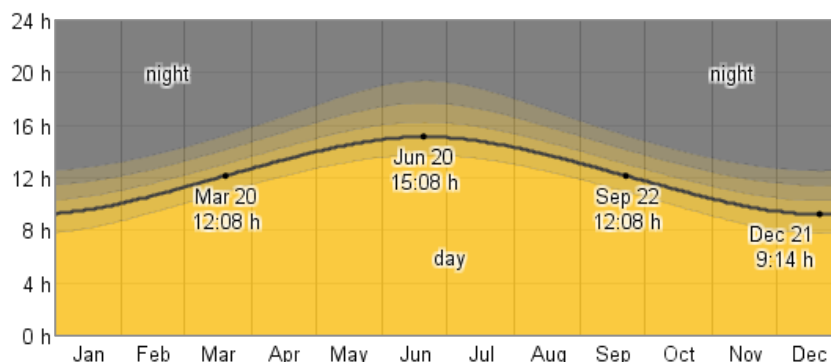


Figura 34 - Duração da luz solar ao longo do ano

A duração da luz solar num dia típico varia substancialmente ao longo do ano e entre o dia mais curto e o mais longo do ano existe uma diferença de 05 horas e 54 minutos. Como se pode verificar pela *figura 34*, o dia mais curto do ano é 21 de Dezembro com 09 horas e 14 minutos de luz solar e o dia mais longo do ano é 20 de Junho com 15 horas e 08 minutos de luz solar.

A humidade relativa varia tipicamente de 43 % (humidade baixa) a 90 % (muito húmido), durante o ano raramente baixa dos 30 % ou atinge os 100 % de humidade. O ar é mais seco a 25 de Julho onde a humidade relativa chega aos 43 % e mais húmido a 07 de Janeiro onde atinge os 90 % - *figura 35*.

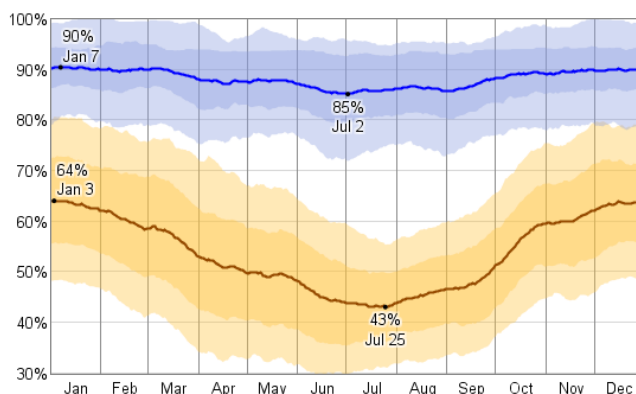


Figura 35 - Humidade relativa

O ponto de orvalho é provavelmente uma das melhores formas para analisar o quanto uma pessoa se sente confortável com as condições climáticas exteriores comparativamente com a humidade relativa, isto porque está diretamente relacionado com a forma como a transpiração se evaporará da pele, arrefecendo assim o corpo e transmitindo uma maior sensação de conforto térmico.

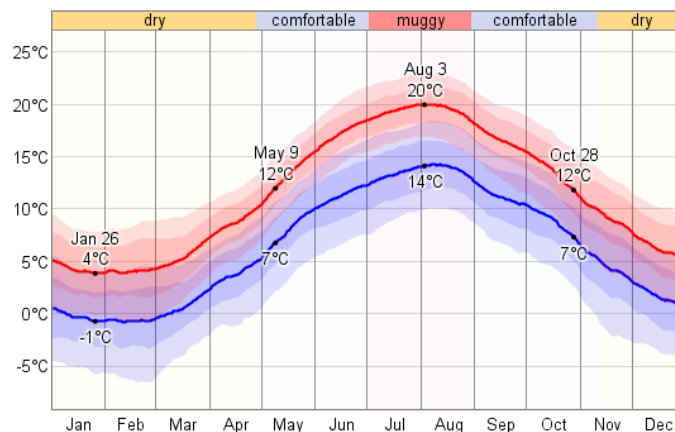


Figura 36 - Ponto de orvalho

Ao longo do ano o ponto de orvalho varia tipicamente de $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e raramente baixa dos $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ou sobe dos $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ - *figura 36*.

Ao longo do ano existem dois períodos de maior conforto, o primeiro de 28 Abril e 02 de Julho e o segundo de 30 Agosto e 11 de Novembro.

Ao longo do ano a velocidade do vento varia tipicamente de 0 m/s a 8 m/s e raramente excede os 12 m/s . A velocidade de vento media mais alta é de 5 m/s e ocorre a 17 de Dezembro, onde a velocidade de vento mais alta num dia é de 8 m/s . A velocidade de vento media mais baixa é de 4 m/s e ocorre a 28 de Maio, onde a velocidade de vento mais baixa num dia é de 6 m/s - *figura 37*.

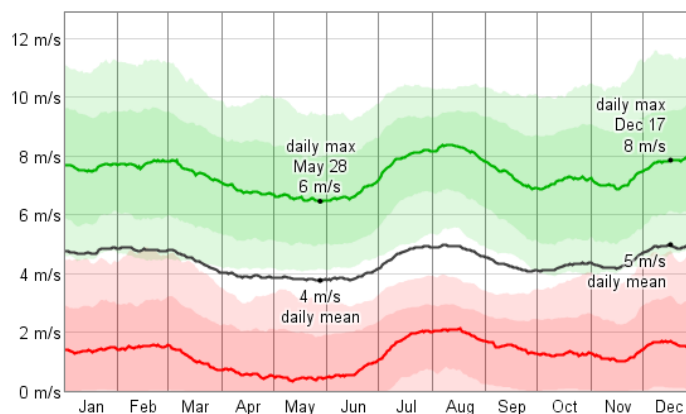


Figura 37 - Velocidade do vento

Através do livro “ASHRAE Handbook Fundamentals 2009” [1], é possível obter todos os dados relevantes referentes às condições climáticas de Istambul.

A informação disponibilizada nas tabelas 2a e 2b inclui as condições de aquecimento, arrefecimento evaporação, desumidificação e velocidade anual extrema do vento – *tabelas 11 e 12*.

Aquecimento DB [°C]		Arrefecimento DB/MCWB [°C]		
99,6%	99%	0,4%	1%	2%
		DB/MCWB	DB/MCWB	DB/MCWB
27,3	30,3	31,2/21,4	30/21,3	28,8/20,8

Tabela 11 - Condições Climáticas de aquecimento e arrefecimento [1]

Evaporação WB/MCDB [°C]		Desumidificação DP/MCDB [°C]		Extremo Anual WS [Km/h]		
0,4%	1%	0,4%	1%	1%	2,5%	5%
WB/MCDB	WB/MCDB	DP/MCDB	DP/MCDB			
24,3/27,5	23,3/27	23,2/26,2	22,1/25,4	24.7	22.2	20.4

Tabela 12 - Condições climáticas de evaporação, desumidificação e velocidade do vento

5.2. Caracterização geral do casario do navio

O casario do navio tem altura de 23,8 m, comprimento de 35,8 m, largura de 19,6 m e peso de 512 toneladas. É composto por 7 pisos sendo que o primeiro piso é interior, ou seja está abaixo do convés e sem qualquer porta ou vigia que o ligue ao exterior. Os pisos por ordem descendente e respeitando a sua designação original estão representados na *tabela 13*, as divisões referidas na tabela são todos os espaços climatizados no casario.

O casario tem capacidade para acomodar 180 pessoas distribuídas por 99 camarotes e refeitório com capacidade para 92 pessoas.

Pisos	Divisões
Navigation Deck	Ponte de Navegação; Escritórios (4); Sala de Café; Espaço de Arrumos.
C Deck	Camarotes de 1 e 2 pessoas (31); Sala de Conferências; Sala de Arquivo.
B Deck	Camarotes de 2 pessoas (34).
A Deck	Camarotes de 2 pessoas (30).
Upper Deck	Escritórios (7); Biblioteca; Sala de Entretenimento (2); Hospital; Camarotes de 2 pessoas (4); Espaço de Arrumos (2).
Main Deck	Espaço de Arrumos (5); Telefone Publico (2); Refeitório; Espaço da UTA (2).
Upper Tween Deck	Ginasio (2); Escritórios (3).

Tabela 13 - Pisos e divisões climatizadas do casario

As anteparas estão classificadas pela ABS de classe “A”, são de aço macio com espessura de 12,5 mm, massa específica $7,89 \text{ g/cm}^3$, tensão de rutura de 235 N/mm^2 , condutividade térmica de $26,2 \text{ W/m.K}$, são verticais e estão pintadas de branco, sendo que a cobertura é horizontal e está pintada de cinzento.

Todas as divisões têm uma vigia vertical de vidro duplo claro, de espessura de 6 mm e caixa de ar de 6 mm. As portas exteriores são de aço inoxidável, são estanques e têm coeficiente de transmissão de calor $1 \text{ W/m}^2.\text{°C}$.

As zonas de sombreamento são praticamente inexistentes, sendo que as poucas que existem são resultado das escadas exteriores entre pisos, mas inefectivas devido à sua dimensão e à constante mudança de proa durante um dia.

Os pisos estão ligados por um elevador e por escadas de serviço que servem também de escadas de emergência. Todos os pisos têm quatro portas exteriores excepto o “Main Deck” que tem somente duas e o “Upper Tween Deck”, que é um piso interior e não tem qualquer ligação ao exterior.

O piso “A Deck” é o ponto de encontro para situações de emergência e abandono de navio, como tal, tem ligação às baleeiras, duas em cada bordo.

O piso “Main Deck” é a ligação principal ao convés feita por duas portas a ré do casario, uma em cada bordo. É também aí que se situam as duas UTA’s.

5.3. Envolvente exterior

De seguida é feita a descrição dos materiais e dimensões dos diferentes componentes da envolvente exterior, tais como, anteparas, cobertura e vãos envidraçados.

5.3.1. Anteparas

As anteparas estão classificadas pela ABS de classe “A”, são de aço macio com espessura de 12,5 mm, massa específica 7833 kg/m³, tensão de rutura 235 N/mm², condutividade térmica de 26,2 W/m.K, são verticais e estão pintadas de branco.

5.3.2. Cobertura

A cobertura é de aço macio com espessura de 12,5 mm, massa específica 7833 kg/m³, tensão de rutura 235 N/mm², condutividade térmica de 26,2 W/m.K, é horizontal e está pintada de cinzento. A única cobertura existente está localizada no topo do piso “Navigation Deck”.

5.3.3. Vãos envidraçados

Existem no casario um total de 129 vãos envidraçados.

Todos os camarotes e escritórios têm uma vigia vertical de dimensões 450 x 600 mm, de vidro duplo claro de espessura de 6 mm e caixa de ar de 6 mm. Total de 90 vãos envidraçados com estas dimensões.

A ponte de navegação tem a maior área envidraçada do casario, tanto a vante como nos dois bordos 90 % da área é envidraçada. Existem vários tamanhos que vão desde 1763 x 1305 mm; 1490 x 1605 mm; 1583 x 1605 mm. Total de 31 vãos envidraçados.

Os dois escritórios a ré no piso “Navigation Deck” têm quatro vãos envidraçados cada um de dimensões de 1200 x 800 mm, de vidro duplo claro de espessura de 6 mm e caixa de ar de 6 mm. Total de 8 vãos envidraçados com estas dimensões.

5.4. Envolvente interior

A qualidade e a escolha correta dos componentes da envolvente interior é de grande importância, uma vez, que tem implicação direta no conforto e comodidade dos tripulantes no dia a dia e no cálculo das cargas térmicas.

A descrição do tipo e dimensionamento dos materiais que compõem os diferentes elementos da envolvente interior será feita de seguida.

5.4.1. Anteparas interiores

As anteparas interiores são compostas por placas pre-fabricadas de encaixe com espessura total de 50 mm e classe de fogo B15. Estas placas são compostas por diferentes camadas de materiais: a camada exterior é uma folha de aço galvanizado de espessura 0,7 mm, coberta nos dois lados da placa por uma fina camada de PVC; a camada interior é de lã mineral de espessura 48,6 mm e com massa específica de $174,6 \text{ Kg/m}^3$ - figura 38.

Na totalidade, as anteparas interiores são compostas por placas pre-fabricadas de 50 mm, caixa de ar de 350 mm. Por fim, a antepar exterior de aço macio de 12,5 mm, o que perfaz uma espessura total de 412,5 mm.

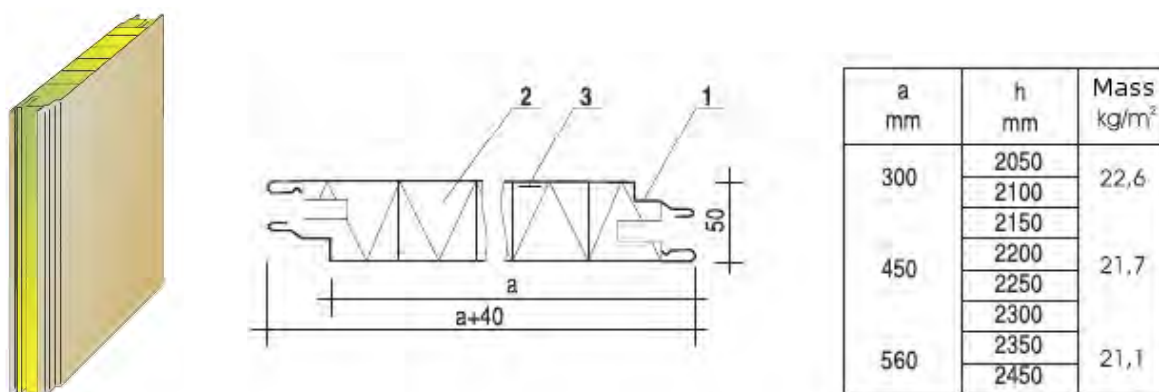


Figura 38 - Placa da antepar interior e dimensões

5.4.2. Tetos

O teto é do tipo “ceiling with shadow gap”, composto por placas de encaixe de espessura total de 20,55 mm e de classe de fogo B15. As placas são compostas por duas camadas de materiais: a camada exterior é de aço galvanizado de 0,55 mm de espessura; a camada interior é de lã mineral de espessura 20 mm e massa específica de $174,6 \text{ Kg/m}^3$.

Na totalidade o teto é composto pela placa de 20,55 mm, caixa de ar de 879,55 mm e por fim chapa de aço galvanizado de 12,5 mm, o que na totalidade perfaz 912,6 mm.

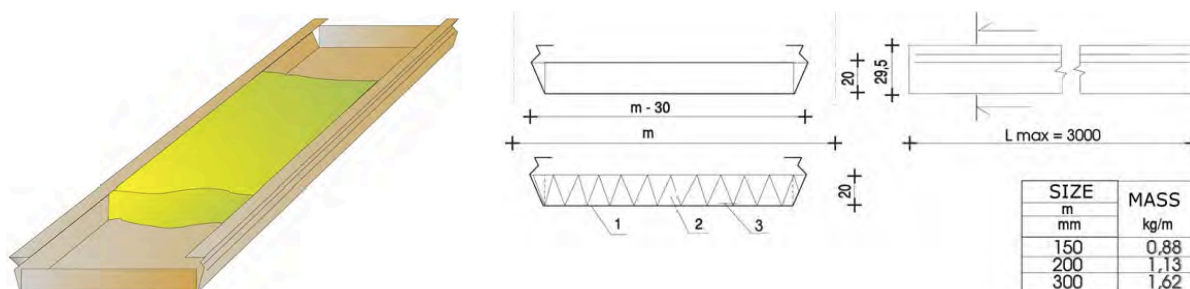


Figura 39 - Placa de teto interior e dimensões

5.4.3. Pavimentos

Os pavimentos interiores são todos cobertos com o mesmo material, desde os camarotes, escritórios ou corredores, o material usado é uma folha de vynil de 17 mm, de cor amarela e colada por cima da chapa de aço macio de 12,5 mm.

5.4.4. Portas

As portas interiores têm uma área de $1,5 \text{ m}^2$, têm espessura total de 50 mm e são classe de fogo B15.

Os diferentes materiais que compõem a porta são: camada exterior de aço galvanizado de espessura 1 mm; camada interior de lã mineral com espessura de 42 mm e massa específica de $174,6 \text{ Kg/m}^3$.

As portas estão equipadas, também, com grelha de ventilação de área 250 cm^2 em aço inoxidável e saída de emergência.

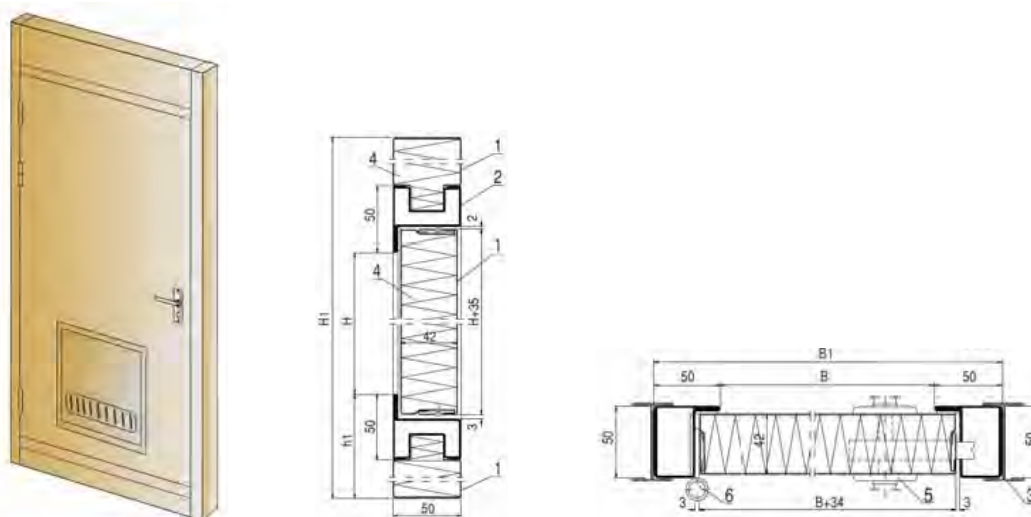


Figura 40 - Porta interior com grelha de ventilação e saída de emergência

5.5. Condições de projecto dos espaços climatizados

O objetivo deste capítulo passa por definir os parâmetros relacionados com os ganhos de calor em cada espaço e as condições do caudal de ar.

5.5.1. Ganhos de calor através de iluminação, equipamentos elétricos e ocupantes

O único equipamento elétrico existente nos camarotes é uma TV de ecrã plano. Para além disso, será considerado um computador portátil por cada ocupante.

Nos escritórios encontram-se: computador de secretária; dois ecrãs planos de computador; impressora de jato de tinta e mini bar.

No refeitório existem vários equipamentos de apoio, como: máquina de gelo; máquina de café; caldeira; duas arcas frigoríficas; balcão para manter a comida quente; frigorífico; TV de ecrã plano.

Os valores representados nas seguintes tabelas foram retirados do relatório elaborado pela empresa “Hi Air Korea” quando projetou o sistema de ar condicionado para o navio, o relatório encontra-se na íntegra no Anexo III.

Divisões	Área [m ²]	Ganhos de Calor			
		Iluminação [W/m ²]	Equipamentos eléctricos [W/m ²]	Ocupantes	
				Nº	Tipo de actividade
Navigation Deck					
Ponte de Navegação	261,2	40	14	6	Escritório
Escritório (x2)	41	20	45	4	Escritório
Escritório (x2)	18,4	20	45	2	Escritório

Tabela 14 - Ganhos de calor do piso “Navigation Deck”

Divisões	Área [m ²]	Ganhos de Calor			
		Iluminação [W/m ²]	Equipamentos eléctricos [W/m ²]	Ocupantes	
				Nº	Tipo de actividade
C Deck					
Camarote 1 Pessoa (x6)	15	8	7	1	Descanso
Camarote 1 Pessoa (x4)	9,5	8	7	2	Descanso
Camarote 2 Pessoas (x8)	11	8	7	2	Descanso
Camarote 2 Pessoas (x12)	10	8	7	2	Descanso
Camarote 2 Pessoas	12,1	8	7	6	Escritório
Sala de Conferências	19,7	12	10	6	Escritório
Sala de Arquivo	11,6	8	0	2	Escritório
Espaço de Arrumos	23,5	8	0	1	Escritório

Tabela 15 - Ganhos de calor do piso “C Deck”

Divisões	Área [m ²]	Ganhos de Calor			
		Iluminação [W/m ²]	Equipamentos eléctricos [W/m ²]	Ocupantes	
				Nº	Tipo de actividade
B Deck					
Camarote 2 Pessoas (x18)	9,2	8	7	2	Descanso
Camarote 2 Pessoas (x5)	13,6	8	7	2	Descanso
Camarote 2 Pessoas	17,4	8	7	2	Descanso
Camarote 2 Pessoas (x2)	11,7	8	7	2	Descanso
Camarote 2 Pessoas	19,8	8	7	2	Descanso
Sala de Arrumos	16,7	8	0	1	Trabalho leve

Tabela 16 - Ganhos de calor do piso “B Deck”

Divisões	Área [m ²]	Ganhos de Calor			
		Iluminação [W/m ²]	Equipamentos eléctricos [W/m ²]	Ocupantes	
				Nº	Tipo de actividade
A Deck					
Camarote 2 Pessoas (x2)	13	8	7	2	Descanso
Camarote 2 Pessoas (x16)	9,2	8	7	2	Descanso
Camarote 2 Pessoas (x4)	11,6	8	7	2	Descanso
Camarote 2 Pessoas (x8)	9,9	8	7	2	Descanso
Espaço de Arrumos	12,3	8	0	1	Trabalho leve

Tabela 17 - Ganhos de calor do piso “A Deck”

Divisões	Área [m ²]	Ganhos de Calor			
		Iluminação [W/m ²]	Equipamentos eléctricos [W/m ²]	Ocupantes	
				Nº	Tipo de actividade
Upper Deck					
Sala de Recreação 1	56	20	20	40	Médio
Sala de Recreação 2	47,9	20	20	10	Médio
Camarote 2 Pessoas (x4)	10	8	7	2	Descanso
Biblioteca	55,9	20	9	12	Sedentário
Hospital	55,2	20	100	2	Médio
Escritório (x2)	30,8	20	45	4	Escritório
Escritório (x4)	16	20	45	2	Escritório
Escritório	14	20	45	2	Escritório
Espaço de Arrumos	11,2	8	0	1	Médio

Tabela 18 - Ganhos de calor do piso “Upper Deck”

Divisões	Área [m ²]	Ganhos de Calor			
		Iluminação [W/m ²]	Equipamentos eléctricos [W/m ²]	Ocupantes	
				Nº	Tipo de actividade
Main Deck					
Refeitório	153,1	20	110	60	Médio
Telefone Publico (x2)	2,6	2		1	Sentado
Espaço Comp. (x2)	117,6	20	75	2	Trabalho intenso
Espaço de Arrumos (x2)	58,6	12	0	2	Médio
Espaço de Arrumos (x2)	16,8	10	0	1	Médio
Espaço de Arrumos	44,1	12	0	2	Médio

Tabela 19 - Ganhos de calor do piso “Main Deck”

Divisões	Área [m ²]	Ganhos de Calor			
		Iluminação [W/m ²]	Equipamentos eléctricos [W/m ²]	Ocupantes	
				Nº	Tipo de actividade
Upper Tween Deck					
Ginásio Pesos	49,3	20	7	4	Intensa
Ginásio Aeróbica	34,8	20	45	4	Intensa
Escritório (x3)	16,2	12	45	2	Médio
Espaço de Arrumos	4,5	8	0	1	Leve

Tabela 20 - Ganhos de calor do piso “Upper Tween Deck”

5.5.2. Condições do caudal de ar

Divisões	Volume [m ³]	Condições do Caudal de Ar				
		Caudal de ar [m ³ /h]	Renovações de ar [/hora]	Caudal de ar novo [m ³ /h]	Temp. máx. [°C]	Pressão estática [Pa]
Navigation Deck						
Ponte de Navegação	548,6	6400	17	2880	23	50
Escritório (x2)	61,3	245	9	110		
Escritório (x2)	31,5	372	7	168		

Tabela 21 - Condições do caudal de ar do piso “Navigation Deck”

Divisões	Volume [m ³]	Condições do Caudal de Ar				
		Caudal de ar [m ³ /h]	Renovações de ar [/hora]	Caudal de ar novo [m ³ /h]	Temp. máx. [°C]	Pressão estática [Pa]
C Deck						
Camarote 1 Pessoa (x6)	35,1	210	6	95	23	50
Camarote 1 Pessoa (x4)	29,6	178	6	80		
Camarote 2 Pessoas (x8)	23,3	140	6	64		
Camarote 2 Pessoas (x12)	21	132	6	60		
Camarote 2 Pessoas	25	150	6	68		
Sala de Conferências	40,7	726	8	326		
Sala de Arquivo	27,9	112	4	50		
Espaço de Arrumos	26,8	155	6	70		

Tabela 22 - Condições do caudal de ar do piso “C Deck”

Divisões	Volume [m ³]	Condições do Caudal de Ar				
		Caudal de ar [m ³ /h]	Renovações de ar [/hora]	Caudal de ar novo [m ³ /h]	Temp. máx. [°C]	Pressão estática [Pa]
B Deck						
Camarote 2 Pessoas (x18)	19,3	132	6	60	23	50
Camarote 2 Pessoas (x5)	28,6	171	6	77		
Camarote 2 Pessoas	36,5	210	6	95		
Camarote 2 Pessoas (x2)	24,6	132	6	60		
Camarote 2 Pessoas	41,6	220	6	100		
Sala de Arrumos	22,4	128	6	60		

Tabela 23 - Condições do caudal de ar do piso “B Deck”

Divisões	Volume [m ³]	Condições do Caudal de Ar				
		Caudal de ar [m ³ /h]	Renovações de ar [/hora]	Caudal de ar novo [m ³ /h]	Temp. máx. [°C]	Pressão estática [Pa]
A Deck						
Camarote 2 Pessoas (x2)	38,2	229	6	104	23	50
Camarote 2 Pessoas (x16)	28,6	171	6	78		
Camarote 2 Pessoas (x4)	24,4	146	6	66		
Camarote 2 Pessoas (x8)	20,8	132	6	60		
Espaço de Arrumos	18,2	112	6	51		

Tabela 24 - Condições do caudal de ar do piso “A Deck”

Divisões	Volume [m ³]	Condições do Caudal de Ar				
		Caudal de ar [m ³ /h]	Renovações de ar [/hora]	Caudal de ar novo [m ³ /h]	Temp. máx. [°C]	Pressão estática [Pa]
Upper Deck						
Sala de Recreação 1	117	1452	8	654	23	50
Sala de Recreação 2	100	1452	8	654		
Camarote 2 Pessoas (x4)	20,8	132	6	60		
Biblioteca	118,4	948	8	426		
Hospital	120	721	8	324		
Escritório (x2)	65,7	264	4	120		
Escritório (x4)	55,7	223	4	100		
Escritório	34,7	139	4	100		
Espaço de Arrumos	18,2	112	6	51		

Tabela 25 - Condições do caudal de ar do piso “Upper Deck”

Divisões	Volume [m ³]	Condições do Caudal de Ar				
		Caudal de ar [m ³ /h]	Renovações de ar [/hora]	Caudal de ar novo [m ³ /h]	Temp. máx. [°C]	Pressão estática [Pa]
Main Deck						
Refeitório	84,8	4752	12	2138	23	50
Telefone Publico (x2)	5,5	50	10	24		
Espaço das UTA's (x2)	494	6100	6	2745		
Espaço de Arrumos (x2)	123	510	4	230		
Espaço de Arrumos (x2)	35,3	205	4	94		
Espaço de Arrumos	92,6	112	4	90		

Tabela 26 - Condições do caudal de ar do piso “Main Deck”

Divisões	Volume [m ³]	Condições do Caudal de Ar				
		Caudal de ar [m ³ /h]	Renovações de ar [/hora]	Caudal de ar novo [m ³ /h]	Temp. máx. [°C]	Pressão estática [Pa]
Upper Tween Deck						
Ginásio Pesos	89.3	536	10	242	23	50
Ginásio Aeróbica	78.1	625	10	282		
Escritório (x3)	70.1	281	4.0	126		
Espaço de Arrumos	9.5	200	6.0	90		

Tabela 27 - Condições do caudal de ar do piso “Upper Tween Deck”

5.5.3. Perfis de ocupação dos espaços

A bordo do navio existem quatro turnos de trabalho completamente distintos, além disso, o único espaço comum com horário de funcionamento é o refeitório. Todos os outros espaços comuns, como os ginásios, a biblioteca e as salas de entretenimento são usadas de acordo com a disponibilidade de cada pessoa, estando disponíveis 24 horas por dia.

Os camarotes duplos são sempre partilhados entre pessoas que trabalham em turnos opostos estando por isso ocupados em média 20 horas por dia. Os camarotes individuais são ocupados em média 10 horas por dia.

Os escritórios e a ponte de navegação são ocupados 24 horas por dia devido a existirem dois turnos de trabalho.

Horário e Turnos	
Turnos de trabalho	0600H – 1800H
	1800H – 0600H
	1200H – 0000H
	0000H – 1200H
Horário do refeitório	0500H – 0700H
	1100H – 1300H
	1700H – 1900H
	2300H – 0100H

Tabela 28 - Horário do refeitório e turnos de trabalho

5.6. Metodologia de cálculo das cargas térmicas através do HAP

Nesta secção vai ser feita uma abordagem ao programa utilizado no cálculo das cargas térmicas, com uma breve descrição do mesmo e das suas capacidades. É feita também a descrição dos “inputs” e apresentação dos “outputs” do HAP e posterior análise dos resultados.

5.6.1. Descrição do HAP

O “Hourly Analysis Program” é uma ferramenta computacional criada pela Carrier com o objetivo de auxiliar os engenheiros no projeto de sistemas AVAC, para edifícios comerciais e industriais.

A metodologia de cálculo do HAP é baseada no método de funções de transferência para cálculos de cargas térmicas e na técnica detalhada de simulação e análise de energia, 8760 horas/ano aprovadas e validadas pela ASHRAE.

Este “software” é constituído por duas ferramentas:

A primeira, “HAP System Design Features” estima cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento, visando dimensionar os componentes necessários ao sistema AVAC. As últimas versões do “software” disponibilizam já informações para seleção e especificação de equipamentos. Esta primeira ferramenta tem capacidade para:

- Calcular cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento para espaços, zonas e serpentinas em sistemas AVAC;
- Determinar caudais de ar necessários para climatizar espaços, zonas e sistemas;
- Calcular capacidades de serpentinas de aquecimento e arrefecimento;
- Calcular capacidades de ventiladores de circulação de ar;
- Calcular capacidades de chillers e caldeiras.

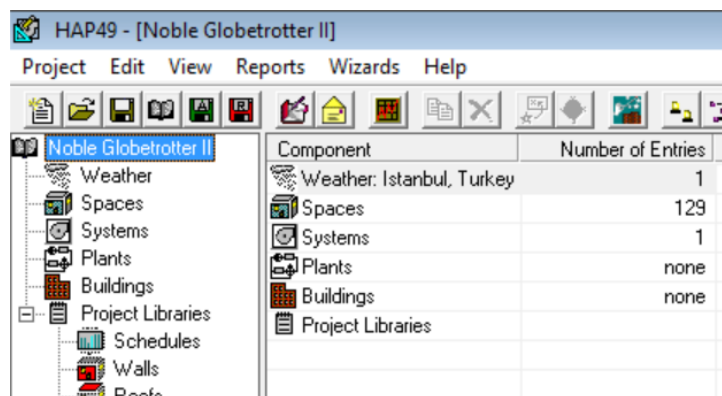
A segunda, “HAP Energy Analysis Features” estima o consumo anual de energia e o custo dessa energia no mercado, simulando todas e quaisquer unidades operacionais do edifício, 8760 horas do ano, quer para os componentes do sistema AVAC, quer para os restantes. Os resultados destas simulações servem para comparar a viabilidade de alternativas para o sistema de AVAC de modo a que seja escolhido o melhor projeto a implementar. Especificamente, a capacidade desta segunda ferramenta é a de:

- Simular hora-a-hora o consumo energético de todos os sistemas operacionais de aquecimento e ar-condicionado;
- Simular hora-a-hora os consumos elétricos de todas as máquinas e equipamentos;
- Simular hora-a-hora os consumos elétricos de todos os componentes que não pertencem ao sistemas AVAC inclusive luzes e utensílios;
- Usar resultados das simulações no cálculo total do custo e energia consumida (o custo é calculado com os preços da energia que necessitam de ser especificadas);
- Gerar gráficos horários, diários, mensais ou anuais.

A versão do software HAP utilizada nesta tese foi a HAP 4.9.

5.6.2. Introdução de dados no HAP (inputs)

No programa foram introduzidos um total de 129 espaços climatizados, pertencentes ao casario do navio e definido um sistema com 7 zonas - *figura 41*.



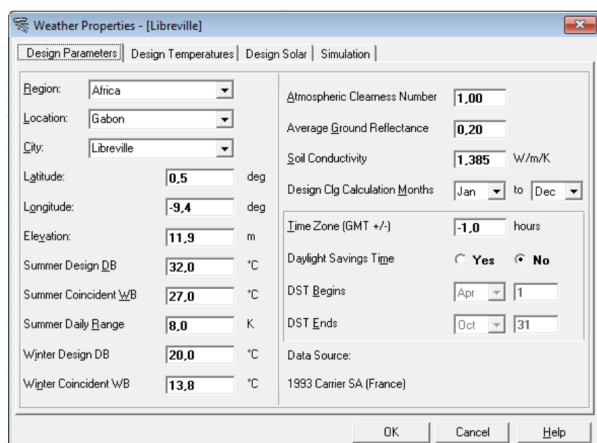
Component	Number of Entries
Weather: Istanbul, Turkey	1
Spaces	129
Systems	1
Plants	none
Buildings	none
Project Libraries	

Figura 41 - Projeto “Noble Globetrotter II” (HAP)

Devido ao elevado número de dados introduzidos e uma vez que o método é idêntico para todos os espaços, serão apenas mencionados os “inputs” principais efetuados para um determinado espaço, neste caso toma-se como exemplo um camarote tipo para duas pessoas, localizado no piso “A Deck”, a bombordo e com o numero 401. De qualquer das formas, todas as folhas de cálculo podem ser consultadas no suporte informático em anexo.

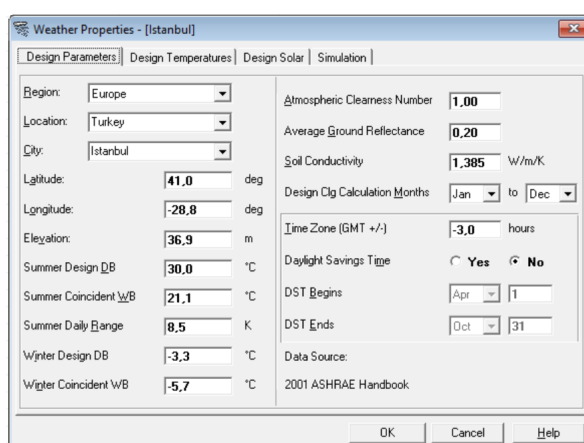
A introdução dos dados “inputs” foi realizada através de três etapas principais, a saber:

1. A primeira etapa, serve para definir as condições climáticas, assim, na janela “Weather Properties” seleciona-se a região, localização e cidade. No caso em estudo são duas cidades distintas: Libreville e Istambul.



Region:	Africa	Atmospheric Clearness Number:	1.00
Location:	Gabon	Average Ground Reflectance:	0.20
City:	Libreville	Soil Conductivity:	1.385 W/m/K
Latitude:	0.5 deg	Design Clg Calculation Months:	Jan to Dec
Longitude:	-9.4 deg	Time Zone (GMT +/-):	-1.0 hours
Elevation:	11.9 m	Daylight Savings Time:	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No
Summer Design DB:	32.0 °C	DST Begins:	Apr 1
Summer Coincident WB:	27.0 °C	DST Ends:	Oct 31
Summer Daily Range:	8.0 K	Data Source:	1993 Carrier SA (France)
Winter Design DB:	20.0 °C		
Winter Coincident WB:	13.8 °C		

Figura 42 - Condições climáticas de Libreville



Region:	Europe	Atmospheric Clearness Number:	1.00
Location:	Turkey	Average Ground Reflectance:	0.20
City:	Istanbul	Soil Conductivity:	1.385 W/m/K
Latitude:	41.0 deg	Design Clg Calculation Months:	Jan to Dec
Longitude:	-28.8 deg	Time Zone (GMT +/-):	-3.0 hours
Elevation:	36.9 m	Daylight Savings Time:	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No
Summer Design DB:	30.0 °C	DST Begins:	Apr 1
Summer Coincident WB:	21.1 °C	DST Ends:	Oct 31
Summer Daily Range:	8.5 K	Data Source:	2001 ASHRAE Handbook
Winter Design DB:	-3.3 °C		
Winter Coincident WB:	-5.7 °C		

Figura 43 - Condições climáticas de Istambul

Através da *tabela 29* pode-se observar as principais diferenças de temperatura entre as duas cidades, no que respeita ao bolbo seco e húmido nas condições de verão e inverno.

		Libreville	Istambul
Verão	Bolbo seco (°C)	32	30
	Bolbo húmido (°C)	27	21,1
Inverno	Bolbo seco (°C)	20	-3,3
	Bolbo húmido (°C)	13,8	-5,7

Tabela 29 - Diferenças climáticas de Libreville e Istambul

O factor de nebulosidade atmosférica - “atmospheric clearness number”, é usado para corrigir os perfis de radiação solar em condições de céu limpo ou muito nublado, assumindo-se o valor unitário apresentado por defeito. A refletância média do solo, “average ground reflectance”, define o modo como a radiação solar é refletida pelo solo em redor do edifício, neste caso em particular é um navio e como tal, o valor a considerar será o da refletância média da água salgada que será de 0,05, o que significa que a maior parte da radiação solar é absorvida e não refletida.

Consideram-se ainda os valores indicados pelo HAP, “design solar” e “design temperatures”, referentes aos ganhos máximos de calor devido à radiação solar [W/m²] nos diferentes quadrantes ao longo do ano tipo.

2. Na segunda etapa, utiliza-se a janela dos espaços - “Spaces” para introduzir toda a informação acerca dos materiais de construção, dimensões, ganhos de calor e horários de utilização.

Na primeira secção designada de geral - “General”, são introduzidos os valores da área do pavimento, pé direito e peso do edifício, neste caso concreto o casario do navio. É definido também qual a finalidade do espaço, neste caso é o camarote 401 no “A deck” para 2 pessoas o HAP define automaticamente os requisitos de ar novo, neste caso 2,4 L/s/pessoa - *figura 44*.

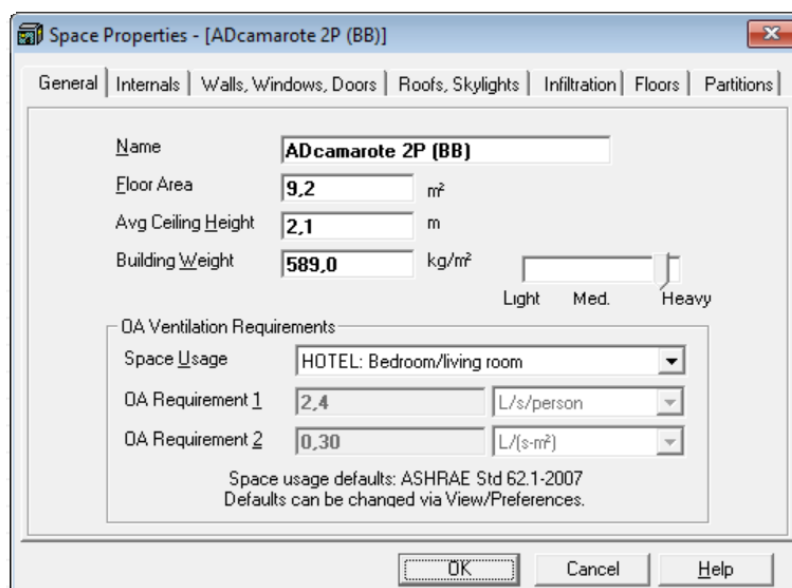


Figura 44 - Propriedades gerais do camarote AD 2P(BB)

Na secção das cargas térmicas - “Internals”, são introduzidos os ganhos de calor internos referentes à iluminação de teto (8 W/m^2), iluminação auxiliar (2 W/m^2) equipamentos elétricos (7 W/m^2) e ocupação (2 pessoas em repouso). O HAP calcula automaticamente os valores do calor sensível $67,4 \text{ W/pessoa}$ e calor latente, $35,2 \text{ W/pessoa}$ - *figura 45*.

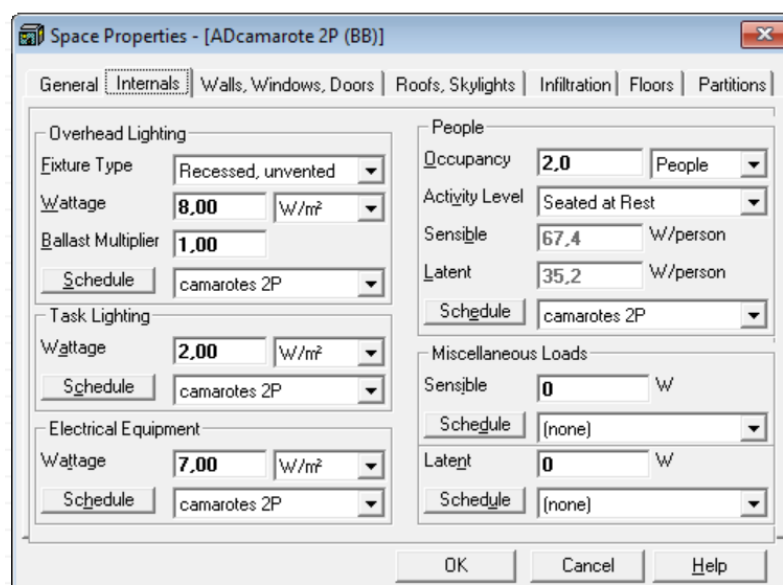


Figura 45 - Cargas térmicas do camarote AD 2P(BB)

O perfil de ocupação do camarote AD 2P(BB) está definido para 20 horas diárias, uma vez que são duas pessoas a ocupar o mesmo espaço e a trabalhar em turnos opostos - *figura 46*.

O perfil de iluminação do camarote AD 2P(BB) está definido para 8 horas diárias de utilização - *figura 47*.

Ambos os perfis estão definidos para um ano, da mesma forma, não existe qualquer diferenciação entre meses ou estações do ano, pois, o navio opera o ano inteiro em qualquer parte do globo.

Tanto no perfil de iluminação como no perfil de ocupação a barra dos 20 % corresponde ao período de limpeza do camarote, normalmente esse período de tempo é em média de 15 minutos.

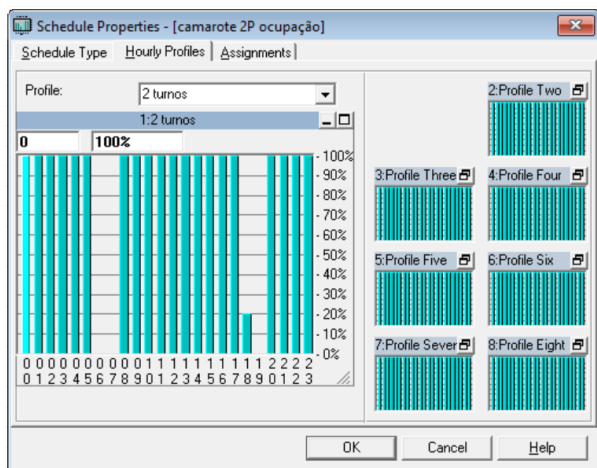


Figura 46 - Perfil de ocupação

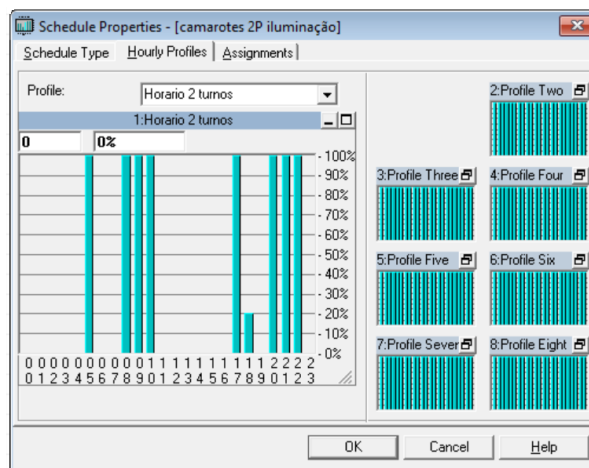


Figura 47 - Perfil de iluminação

Na secção de paredes, janelas e portas - “Walls, Windows, Doors”, são introduzidas as áreas das paredes, janelas e correspondente orientação. No caso do navio a orientação é apenas física e refere-se a bombordo, estibordo, vante e ré, pois o navio nas situações de DP ou navegação muda de proa várias vezes durante o dia consoante a direção e intensidade do vento e como tal, os espaços do casario não têm uma posição fixa em relação ao sol. De qualquer das formas seja qual for a posição do navio, há-de haver sempre um bordo exposto ao sol enquanto que o outro bordo há-de estar na zona de sombra, sendo que ao meio-dia solar os dois bordos estarão na zona de sombra e apenas a cobertura estará exposta ao sol.

Os materiais que compõem as paredes, neste caso anteparas por se tratar de um navio, são introduzidos para que se obtenha o valor global de U - coeficiente global de transmissão de calor, para cada tipo de anteparo.

Wall Properties - [Antepara EXT e Painel INT]

Wall Assembly Name: Antepara EXT e Painel INT

Outside Surface Color: Light Absorptivity: 0.450

Layers: Inside to Outside	Thickness mm	Density kg/m ³	Specific Ht. kJ/kg/K	R-Value m ² -K/W	Weight kg/m ²
Inside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,12064	0,0
galvanized steel	0,686	7833,0	0,50	0,00669	5,4
mineral wool	50,800	174,6	1,47	0,24655	0,0
galvanized steel	0,686	7833,0	0,50	0,00669	5,4
Air space	347,980	0,0	0,00	0,16026	0,0
mild steel	12,446	7833,0	0,50	0,00669	0,0
Outside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,05864	0,0
Totals	412,598			0,61	10,7

Overall U-Value: 1,650 W/m²/K

Figura 48 - Antepara exterior

Wall Properties - [Painel INT e Painel INT]

Wall Assembly Name: Painel INT e Painel INT

Outside Surface Color: Light Absorptivity: 0.450

Layers: Inside to Outside	Thickness mm	Density kg/m ³	Specific Ht. kJ/kg/K	R-Value m ² -K/W	Weight kg/m ²
Inside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,12064	0,0
Galvanized Steel	0,686	7833,0	0,50	0,00669	5,4
Mineral Wool	50,800	174,9	1,47	0,24655	8,9
Galvanized Steel	0,686	7833,0	0,50	0,00669	5,4
Air space	249,936	0,0	0,00	0,16026	0,0
Galvanized Steel	0,686	7833,0	0,50	0,00669	5,4
Mineral Wool	50,800	174,6	1,47	0,24655	8,9
Galvanized Steel	0,686	7833,0	0,50	0,00669	5,4
Outside surface resistance	0,000	0,0	0,00	0,05864	0,0
Totals	354,280			0,86	39,2

Overall U-Value: 1,164 W/m²/K

Figura 49 - Antepara interior

No casario, seja qual for o espaço existem apenas dois tipos de anteparas que foram designadas em relação ao HAP de: antepara EXT e painel INT ($U=1,650 \text{ W/m}^2/\text{K}$) - figura 48; painel INT e painel INT ($U=1,164 \text{ W/m}^2/\text{K}$) - figura 49. As especificações dos materiais como a massa específica, calor específico e valor de R foram obtidos com base nas tabelas da ASHRAE.

Na secção dos vãos envidraçados foi introduzida a área, o tipo de vidro e espessura, para obter o coeficiente global de transmissão de calor ($U=3,661 \text{ W/m}^2/\text{K}$) e o coeficiente global de sombreamento (0,372) - figura 50.

O sombreamento interior é feito à custa de cortinas de cor clara e com material de quebra térmica.

Window Properties - [Janela]

Window Details:

Name: Janela

Detailed Input:

Height: 0.60 m Width: 0.45 m

Frame Type: Aluminum without thermal breaks

Internal Shade Type: Vertical Blinds

Overall U-Value: 3,661 W/m²/K

Overall Shade Coefficient: 0,372

Glass Details:

Glazing	Glass Type	Transmissivity	Reflectivity	Absorptivity
Outer Glazing	6mm clear	0,792	0,079	0,129
Glazing #2	6mm clear	0,792	0,079	0,129
Glazing #3	not used			

Gap Type: 6mm Air Space

Figura 50 - Propriedades da janela do camarote AD 2P(BB)

Na secção da cobertura e clarabóias - “Roofs, Skylights”, não se introduzem dados visto que neste espaço não existem telhados nem clarabóias.

Na secção dos pavimentos - “Floors”, a área do pavimento dos camarotes não é contabilizada para efeito de cálculo do (U) por estar em contacto com um espaço climatizado.

No menu partições - “Partitions”, o sistema permite a introdução de duas “partitions” por cada espaço. Neste caso, como os espaços adjacentes aos camarotes são outros camarotes e o corredor comum, não existem espaços não climatizados a introduzir nesta secção.

3. A terceira etapa, consiste no preenchimento dos dados na janela das propriedades do sistema de ar - “Air System Properties”. Na secção geral - “General” introduzem-se os dados relativos ao tipo de equipamento (unidades terminais) e tipo de sistema (2 tubos). A zona considerou-se apenas uma, como sendo o casario num todo e apelidou-se o sistema de ar de, “Sistema Navio” - *figura 51*.

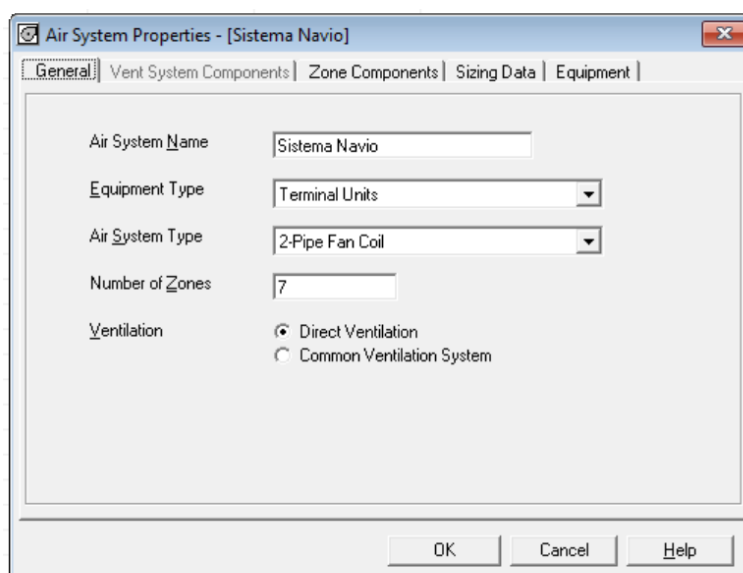


Figura 51 - Sistema de ar

A secção componentes - “Zone Components”, divide-se nos seguintes quatro sub-menus:

- Espaços - “Spaces”. Nesta secção todos os 128 espaços estão divididos por 7 zonas que correspondem aos 7 pisos do casario do navio;
- Termostatos - “Thermostats”. Aqui são introduzidos os “set points” para arrefecimento e aquecimento. No caso de arrefecimento introduz-se a temperatura de 23 °C para a situação de ocupado e 26,7 °C para a situação de desocupado, no caso de aquecimento a temperatura para a situação de ocupado é 21 °C e 18,3 °C para a situação de

desocupado. Assume-se o valor da zona morta - “T-stat Throttling Range” de 0,83 K. Considera-se ainda que o arrefecimento funciona num espaço em situação de não ocupação;

- Dados Comuns - “Common Data”. Estão definidos os dados da bateria de arrefecimento, como: temperatura do ar à saída da bateria $T = 14,4 \text{ }^\circ\text{C}$, factor de “bypass” da serpentina de frio $f_{bp} = 0,1$, a fonte de arrefecimento é água refrigerada proveniente do chiller, considera-se o perfil de funcionamento durante todo o ano. Ventilação sempre ligada. Os dados da bateria de aquecimento, são: temperatura do ar à saída da bateria $T = 35 \text{ }^\circ\text{C}$, fonte de aquecimento é água quente, considera-se o perfil de funcionamento durante todo o ano. Ventilação sempre ligada;
- Unidades Terminais - “Terminal Units”. As unidades terminais são do tipo “Fan Coil”, ventilador com 50 Pa de pressão estática e 50 % de eficiência total.

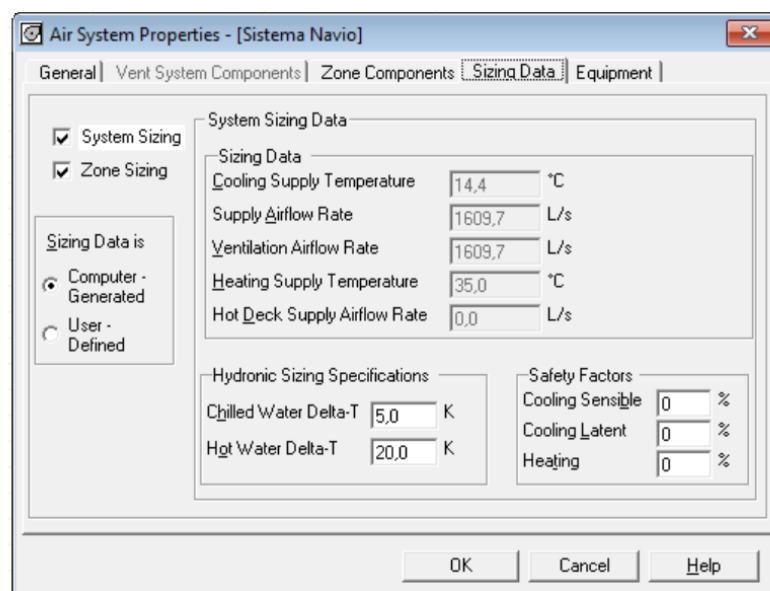


Figura 52 - Dimensionamento do sistema

A *figura 52* mostra a secção de dimensionamento de dados - “Sizing Data”, onde no dimensionamento do sistema - “System Sizing” seleccionou-se a opção “computer generated” e assim o programa efectuou o dimensionamento automático do sistema, onde se pode ver: temperatura de arrefecimento 14,4 °C; caudal de ar de insuflação e ventilação de 1609,7 L/s; temperatura de aquecimento de 35 °C. As especificações para o dimensionamento hidráulico, são: água fria $\Delta T = 5 \text{ K}$ e água quente $\Delta T = 20 \text{ K}$.

A *figura 53* mostra o dimensionamento das zonas - “Zone Sizing” onde se selecionou a opção “computer generated” e dessa forma o dimensionamento dos dados foi feito automaticamente pelo programa.

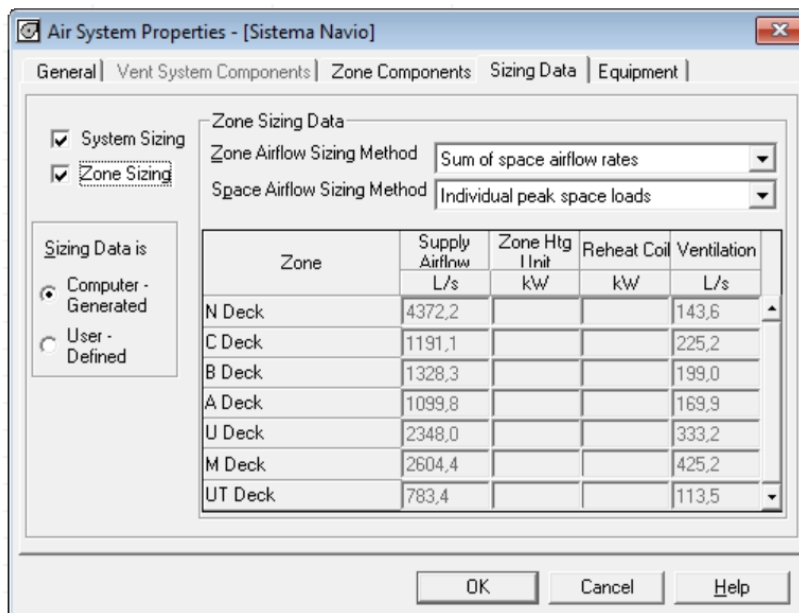


Figura 53 - Dimensionamento das zonas

5.6.3. Relatórios gerados pelo HAP (outputs)

As cargas térmicas foram calculadas para duas situações distintas, Libreville e Istambul. A seguir representam-se alguns dos resultados obtidos no HAP para as cargas térmicas de arrefecimento e aquecimento para as duas situações, a totalidade dos “outputs” estão representados em anexo.

5.6.3.1. Libreville

Zone Sizing Data

Zone Name	Maximum Cooling Sensible (kW)	Design Airflow (L/s)	Minimum Airflow (L/s)	Time of Peak Load	Maximum Heating Load (kW)	Zone Floor Area (m ²)	Zone L/(s·m ²)
N Deck	44,1	4519	4519	Aug 1500	0,8	373,7	12,09
C Deck	10,9	1216	1216	Jul 1600	0,2	417,4	2,91
B Deck	13,0	1381	1381	Jul 1500	0,3	379,1	3,64
A Deck	10,7	1143	1143	Jul 1600	0,2	311,8	3,66
U Deck	23,2	2376	2376	Jul 1800	0,2	327,2	7,26
M Deck	26,7	2597	2597	Jan 1900	0,0	277,8	9,35
UT Deck	8,0	781	781	Jan 1900	0,0	104,8	7,45

Terminal Unit Sizing Data - Cooling

Zone Name	Total Coil Load (kW)	Sens Coil Load (kW)	Coil Entering DB / WB (°C)	Coil Leaving DB / WB (°C)	Water Flow @ 5,0 °K (L/s)	Time of Peak Load
N Deck	51,4	44,4	23,8 / 18,5	15,7 / 15,2	2,46	Aug 1300
C Deck	21,3	12,6	25,1 / 20,8	16,5 / 16,1	1,02	Jul 1700
B Deck	22,0	14,1	24,8 / 20,3	16,4 / 16,0	1,05	Jul 1700
A Deck	18,4	11,8	24,9 / 20,3	16,3 / 15,9	0,88	Jul 1700
U Deck	37,1	25,6	24,7 / 19,7	15,8 / 15,3	1,78	Jul 1800
M Deck	43,6	29,5	24,8 / 19,6	15,3 / 14,9	2,09	Aug 1800
UT Deck	13,0	9,0	24,8 / 19,5	15,3 / 14,8	0,62	Jul 1300

Terminal Unit Sizing Data - Heating, Fan, Ventilation

Zone Name	Heating Coil Load (kW)	Heating Coil Ent/Lvg DB (°C)	Htg Coil Water Flow @20,0 °K (L/s)	Fan Design Airflow (L/s)	Fan Motor (BHP)	Fan Motor (kW)	OA Vent Design Airflow (L/s)
N Deck	0,0	-17,8 / -17,8	0,00	4519	0,570	0,452	144
C Deck	0,0	-17,8 / -17,8	0,00	1216	0,153	0,122	225
B Deck	0,0	-17,8 / -17,8	0,00	1381	0,174	0,138	199
A Deck	0,0	-17,8 / -17,8	0,00	1143	0,144	0,114	170
U Deck	0,0	-17,8 / -17,8	0,00	2376	0,299	0,238	333
M Deck	0,0	-17,8 / -17,8	0,00	2597	0,327	0,260	425
UT Deck	0,0	-17,8 / -17,8	0,00	781	0,098	0,078	114

Figura 54 - Condições de arrefecimento

ZONE LOADS	DESIGN COOLING			DESIGN HEATING		
	COOLING DATA AT Jul 1300			HEATING DATA AT DES HTG		
	COOLING OA DB / WB 31,1 °C / 26,7 °C			HEATING OA DB / WB 20,0 °C / 13,8 °C		
	Details	Sensible (W)	Latent (W)	Details	Sensible (W)	Latent (W)
Window & Skylight Solar Loads	24 m²	2403	-	24 m²	-	-
Wall Transmission	702 m²	13088	-	702 m²	1057	-
Roof Transmission	261 m²	13233	-	261 m²	435	-
Window Transmission	24 m²	746	-	24 m²	109	-
Skylight Transmission	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Door Loads	6 m²	168	-	6 m²	25	-
Floor Transmission	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Partitions	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Ceiling	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Overhead Lighting	35333 W	34274	-	0	0	-
Task Lighting	4184 W	4046	-	0	0	-
Electric Equipment	44030 W	41747	-	0	0	-
People	217	15383	16689	0	0	0
Infiltration	-	0	0	-	0	0
Miscellaneous	-	0	0	-	0	0
Safety Factor	0% / 0%	0	0	0%	0	0
>> Total Zone Loads	-	125069	16689	-	1626	0
Zone Conditioning	-	121979	16689	-	97	0
Plenum Wall Load	0%	0	-	0	0	-
Plenum Roof Load	0%	0	-	0	0	-
Plenum Lighting Load	0%	0	-	0	0	-
Exhaust Fan Load	0 L/s	0	-	0 L/s	0	-
Ventilation Load	1610 L/s	14585	40691	1610 L/s	1349	0
Ventilation Fan Load	0 L/s	0	-	0 L/s	0	-
Space Fan Coil Fans	-	1401	-	-	-1401	-
Duct Heat Gain / Loss	0%	0	-	0%	0	-
>> Total System Loads	-	137964	57380	-	45	0
Terminal Unit Cooling	-	137964	57460	-	0	0
Terminal Unit Heating	-	0	-	-	0	-
>> Total Conditioning	-	137964	57460	-	0	0
Key:	Positive values are clg loads Negative values are htg loads			Positive values are htg loads Negative values are clg loads		

Figura 55 - Cargas térmicas de arrefecimento

July DESIGN COOLING DAY, 1300

TABLE 1: SYSTEM DATA

Component	Location	Dry-Bulb Temp (°C)	Specific Humidity (kg/kg)	Airflow (L/s)	CO2 Level (ppm)	Sensible Heat (W)	Latent Heat (W)
Ventilation Air	Inlet	31,1	0,02034	1610	400	14585	40691
Vent - Return Mixing	Outlet	-17,8	0,00000	0	0	-	-
Ventilation Fan	Outlet	-17,8	0,00000	0	0	0	-
Zone Air	-	23,6	0,01157	14012	103	121979	16689
Return Plenum	Outlet	-17,8	0,01157	14012	103	0	-

Air Density x Heat Capacity x Conversion Factor: At sea level = 1,207; At site altitude = 1,205 W/(L/s-K)
 Air Density x Heat of Vaporization x Conversion Factor: At sea level = 2947,6; At site altitude = 2943,4 W/(L/s)
 Site Altitude = 11,9 m

Figura 56 - Parâmetros de dia típico de verão em Libreville

5.6.3.2. Istanbul

Zone Sizing Data

Zone Name	Maximum Cooling Sensible (kW)	Design Airflow (L/s)	Minimum Airflow (L/s)	Time of Peak Load	Maximum Heating Load (kW)	Zone Floor Area (m ²)	Zone L/(s-m ²)
N Deck	43,3	4372	4372	Jul 1500	18,4	373,7	11,70
C Deck	10,5	1191	1191	Aug 1600	5,5	417,4	2,85
B Deck	12,6	1328	1328	Sep 1500	6,3	379,1	3,50
A Deck	10,3	1100	1100	Aug 1600	5,0	311,8	3,53
U Deck	23,4	2348	2348	Jul 1800	4,4	327,2	7,18
M Deck	26,7	2604	2604	Jan 1900	0,0	277,8	9,38
UT Deck	8,0	783	783	Jan 1900	0,0	104,8	7,47

Terminal Unit Sizing Data - Cooling

Zone Name	Total Coil Load (kW)	Sens Coil Load (kW)	Coil Entering DB / WB (°C)	Coil Leaving DB / WB (°C)	Water Flow @ 5,0 °K (L/s)	Time of Peak Load
N Deck	45,6	43,3	24,0 / 18,2	15,8 / 15,2	2,18	Jun 1500
C Deck	15,0	11,8	24,7 / 19,5	16,5 / 16,0	0,72	Jul 1700
B Deck	16,3	13,2	24,5 / 19,2	16,2 / 15,7	0,78	Aug 1300
A Deck	13,6	11,0	24,5 / 19,1	16,2 / 15,7	0,65	Jul 1300
U Deck	29,4	25,3	24,3 / 18,4	15,3 / 14,8	1,41	Aug 1800
M Deck	32,2	28,2	24,3 / 18,3	15,3 / 14,7	1,54	Aug 1900
UT Deck	11,5	10,9	26,1 / 18,1	14,4 / 13,7	0,55	Jan 1300

Terminal Unit Sizing Data - Heating, Fan, Ventilation

Zone Name	Heating Coil Load (kW)	Heating Coil Ent/Lvg DB (°C)	Htg Coil Water Flow @20,0 °K (L/s)	Fan Design Airflow (L/s)	Fan Motor (BHP)	Fan Motor (kW)	OA Vent Design Airflow (L/s)
N Deck	22,6	20,3 / 24,6	0,27	4372	0,551	0,437	144
C Deck	12,1	16,4 / 24,8	0,14	1191	0,150	0,119	225
B Deck	11,8	17,2 / 24,6	0,14	1328	0,167	0,133	199
A Deck	9,8	17,1 / 24,6	0,12	1100	0,139	0,110	170
U Deck	13,9	17,6 / 22,5	0,17	2348	0,296	0,235	333
M Deck	12,2	17,1 / 21,0	0,15	2604	0,328	0,260	425
UT Deck	3,2	17,6 / 21,0	0,04	783	0,099	0,078	114

Figura 57 - Condições de aquecimento

	DESIGN COOLING			DESIGN HEATING		
	COOLING DATA AT Jan 1300			HEATING DATA AT DES HTG		
	COOLING OA DB / WB 20,7 °C / 15,8 °C			HEATING OA DB / WB -3,3 °C / -5,7 °C		
ZONE LOADS	Details	Sensible (W)	Latent (W)	Details	Sensible (W)	Latent (W)
Window & Skylight Solar Loads	24 m²	2879	-	24 m²	-	-
Wall Transmission	702 m²	3380	-	702 m²	25724	-
Roof Transmission	261 m²	2487	-	261 m²	10582	-
Window Transmission	24 m²	-399	-	24 m²	2861	-
Skylight Transmission	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Door Loads	6 m²	-90	-	6 m²	601	-
Floor Transmission	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Partitions	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Ceiling	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Overhead Lighting	35333 W	34274	-	0	0	-
Task Lighting	4184 W	4046	-	0	0	-
Electric Equipment	44030 W	41747	-	0	0	-
People	217	15383	16689	0	0	0
Infiltration	-	0	0	-	0	0
Miscellaneous	-	0	0	-	0	0
Safety Factor	0% / 0%	0	0	0%	0	0
>> Total Zone Loads	-	103467	16689	-	39567	0
Zone Conditioning	-	147107	16689	-	40014	0
Plenum Wall Load	0%	0	-	0	0	-
Plenum Roof Load	0%	0	-	0	0	-
Plenum Lighting Load	0%	0	-	0	0	-
Exhaust Fan Load	0 L/s	0	-	0 L/s	0	-
Ventilation Load	1610 L/s	-8939	-5806	1610 L/s	46934	0
Ventilation Fan Load	0 L/s	0	-	0 L/s	0	-
Space Fan Coil Fans	-	1373	-	-	-1373	-
Duct Heat Gain / Loss	0%	0	-	0%	0	-
>> Total System Loads	-	141540	10884	-	85575	0
Terminal Unit Cooling	-	141540	10824	-	0	0
Terminal Unit Heating	-	0	-	-	85575	-
>> Total Conditioning	-	141540	10824	-	85575	0
Key:	Positive values are clg loads Negative values are htg loads			Positive values are htg loads Negative values are clg loads		

Figura 58 - Cargas térmicas de aquecimento

January DESIGN COOLING DAY, 1300

TABLE 1: SYSTEM DATA

Component	Location	Dry-Bulb Temp (°C)	Specific Humidity (kg/kg)	Airflow (L/s)	CO2 Level (ppm)	Sensible Heat (W)	Latent Heat (W)
Ventilation Air	Inlet	20,7	0,00919	1610	400	-6939	-5806
Vent - Return Mixing	Outlet	-17,8	0,00000	0	0	-	-
Ventilation Fan	Outlet	-17,8	0,00000	0	0	0	-
Zone Air	-	24,2	0,01088	13727	108	147107	16689
Return Plenum	Outlet	-17,8	0,01088	13727	108	0	-

Air Density x Heat Capacity x Conversion Factor: At sea level = 1,207; At site altitude = 1,202 W/(L/s-K)
Air Density x Heat of Vaporization x Conversion Factor: At sea level = 2947,6; At site altitude = 2934,7 W/(L/s)
Site Altitude = 36,9 m

Figura 59 - Parâmetros de dia típico de inverno em Istambul

5.6.4. Análise de dados

Para o sistema do casario do navio a análise dos dados será feita tendo em conta os três fatores principais ao dimensionamento da unidade de climatização e conforto térmico: cargas térmicas de arrefecimento; cargas térmicas de aquecimento e caudais de ar.

A área total calculada é de 2191,8 m², dividida por 129 espaços.

Cargas térmicas de Arrefecimento

Estas cargas térmicas foram calculadas tendo em conta a localização do navio em Libreville - Gabão e os valores correspondem ao mês de Julho às 1300H, com as condições de bolbo seco 31,1 °C / bolbo húmido 26,7 °C. Na *tabela 30*, faz-se referência às cargas térmicas com mais peso em todo o sistema e o total das cargas térmicas de arrefecimento do casario.

Zonas	Calor sensível [W]
Anteparas	13068
Cobertura	13233
Pessoas	15383
Equipamentos Elétricos	41747
Ar Novo	14585
Total de cargas térmicas	
Casario	137964

Tabela 30 - Calor sensível por zona e total. Libreville.

De referir que os elementos estruturais como anteparas e cobertura representam, como seria expectável, as cargas térmicas com maior peso no sistema, daí a importância em termos de alterações futuras do tipo de materiais, isolamento e sombreamento destas zonas.

As pessoas representam também um peso grande no total das cargas térmicas do sistema, isto devido ao facto de o navio alojar 180 pessoas e pelo menos durante o dia a ocupação do navio rondar as 200 pessoas..

Cargas térmicas de aquecimento

Estas cargas térmicas foram calculadas tendo em conta a localização do navio em Istambul – Turquia, e os valores correspondem às condições de bolbo seco -3,3 °C / bolbo

húmido -5,7 °C. Na *tabela 31*, faz-se referência às cargas térmicas com mais peso em todo o sistema e o total das cargas térmicas de aquecimento do casario

Zonas	Calor sensível [W]
Anteparas	25724
Cobertura	10582
Vãos envidraçados	2661
Ar Novo	46934
Total de cargas térmicas	
Casario	85575

Tabela 31 - Calor sensível por zona e total. Istanbul.

A transmissão de calor através dos vãos envidraçados é de apenas 2661 W, representando um valor relativamente baixo mesmo usando vidro duplo simples. De referir que o elemento estrutural com o valor mais alto de calor sensível absorvido pelo sistema são as anteparas.

Caudais de Ar

A *tabela 32* mostra a comparação entre o caudal de ar insuflado que foi calculado e o existente. Parte da diferença entre valores explica-se através das condições de entrada para os cálculos no HAP, entre as quais: taxa de ocupação e temperatura do ar à entrada.

Feita a ressalva, é de notar uma ligeira alteração do volume de ar insuflado em cada espaço. Apesar de existirem alguns espaços que requerem um aumento ligeiro do ar insuflado, em particular os espaços com maior área e maior taxa de ocupação, a tendência é para a diminuição do caudal de ar a insuflar em cada espaço, o que corresponde a uma diminuição de ar insuflado total de 11470 m³/h, ou seja, menos 18 %.

Tipo de espaço	Ocupantes	Ar de insuflação [m ³ /h]	
		Calculado [14,4 °C]	Existente [13 °C]
Camarote 401	2	144	230
Refeitório	60	7834	4752
Ponte	12	12038	8670
Biblioteca	12	943	1627
Hospital	2	1251	1111
Sala de entretenimento 1	40	1894	1452
Ginásio	4	839	900
Total de ar insuflado			
Casario (129 espaços)		50443	61913

Tabela 32 - Caudal de ar insuflado por espaço e total

Em resumo, as potências a considerar para o dimensionamento da unidade de climatização, são:

- Potência de arrefecimento: 206,8 kW = 207 kW
- Potência de aquecimento: 85,6 kW = 86 kW

Capítulo 6 - Proposta de alteração ao sistema de climatização existente

O sistema proposto que se pretende como alternativa ao sistema base em uso, é o chiller arrefecido a água salgada com compressores herméticos tipo “scroll inverter” da Daikin, modelo EWWQ-G-SS. O sistema escolhido é a 4 tubos com dois chillers, um dedicado para arrefecimento e outro dedicado para aquecimento.

De seguida é feita uma abordagem das principais características e componentes do chiller com compressores herméticos tipo “scroll”.

6.1. Descrição do chiller Daikin EWWQ-G-SS

O sistema será composto pelos seguintes componentes:

- Chiller não reversível, apenas para arrefecimento EWWQ210G-SS, de 221 kW;
- Chiller reversível, versão bomba de calor para aquecimento EWWQ090G-SS, de 118 kW;
- Duas bombas centrífugas para circulação de água em cada chiller;
- Ventiloincutores a 4 tubos;
- UTAN, 100% ar novo.

A razão da escolha deste sistema está nas principais vantagens do sistema com chiller e ventiloincutores comparativamente ao sistema de expansão indireta em uso e que são: funcionamento silencioso; zonificação do conforto térmico; temperaturas uniformes em cada zona; adaptável a aplicações distintas e menos invasivo; custos iniciais vs custos de vida útil; maior eficiência energética.

Os dois chillers utilizam compressores herméticos tipo “scroll”, que são conhecidos pela sua alta eficiência energética. Podem trabalhar com variações de temperatura, têm uma taxa baixa de fugas, diminuindo a necessidade de manutenção e reduzindo o custo de operação, já que a perda de gás e fluxo é praticamente nula quando comparados com outros tipos de chillers.

É uma abordagem de projeto que combina cuidadosamente compressores de alta qualidade, condensadores de placas eficientes evaporadores de chapa soldada de baixa pressão e controlos fiáveis numa unidade que se pretende eficiente e fiável em termos operacionais.

As características mais importantes do chiller EWWQ-G-SS, são:

- Fácil manutenção e operação;
- Compressor hermético tipo “scroll” de elevada eficiência e fiabilidade;
- Controlo MicroTech® III com lógica de controlo superior e de fácil utilização;
- Versão de bomba de calor disponível;
- Bomba (100 kPa baixa e 200 kPa alta) disponível para evaporador e condensador;

- Certificação AHRI (Air Conditioning, Heating and Refrigeration Institute).

De seguida, faz-se uma abordagem técnica mais detalhada das unidades chiller, unidades interiores e sistemas de controlo do sistema.

6.1.1. Características do chiller Daikin EWWQ-G-SS

Como foi anteriormente referido, o chiller escolhido foi o modelo Daikin EWWQ-G-SS de condensação a água e equipado com dois compressores herméticos tipo “scroll”.

A nomenclatura do chiller é, EWWQ00G-SS, onde:

- EWW – Chiller arrefecido a água
- Q – Refrigerante R-410A
- 00 – Capacidade em kW (arrefecimento)
- G – Circuito simples
- S – Standard efficiency
- S – Standard sound



Figura 60 - Chiller Daikin EWWQ-G-SS [20]

Os chillers de condensação a água Daikin EWWQ-G-SS têm uma configuração flexível, são completamente montados em fábrica, cablados e enviados numa única peça, prontos para ligação de energia e tubagens de água. Cada chiller é composto por compressores, evaporador tubular e painel de controlo elétrico centralizado que contém todos os controlos necessários de proteção e operação do equipamento.

Os chillers EWWQ-G-SS têm uma seleção de 11 modelos todos eles com possibilidade de serem bomba de calor, têm capacidades de arrefecimento de 93,7 kW até 370 kW e com capacidades de aquecimento de 118 kW até 468 kW. Entre os vários modelos de chillers os

incrementos das capacidades de arrefecimento variam de 12 kW a 68 kW, enquanto que as capacidades de aquecimento variam de 13 kW a 86 kW, estes pequenos incrementos da capacidade permitem uma seleção mais precisa da capacidade de trabalho necessária e evitam o sobredimensionamento.

Modelo de chiller		090 versão bomba de calor	210 apenas arrefecimento
Capacidade de arrefecimento [kW]		93,7	221
Capacidade de aquecimento [kW]		118	-
Controlo da capacidade mínima [%]		50	43
Potência nominal [kW]	Arrefecimento	21,3	50,7
	Aquecimento	25,7	-
EER		4,40	4,35
COP		4,58	4,50
ESEER		5,51	5,52
SCOP		4,28	4,29
IPLV		6,71	6,31
Dimensões (AxLxP) [mm]		1,066x928x2,432	1,066x928x2,432
Peso [Kg]		516	921
Nível sonoro (arrefecimento) [dBA]	Potência	80	90
	Pressão	64	74
Volume de água no evaporador [L]		6	17
Limites das temperaturas no evaporador [°C]	Mínimo	-10	
	Máximo	+15	
Limites das temperaturas no condensador [°C]	Mínimo	25	
	Máximo	55	
Fluido frigorigéneo		R-410A	

Tabela 33 – Detalhes técnicos dos chillers EWWQ-G-SS

A capacidade de aquecimento, a potência absorvida e o COP baseiam-se nas seguintes condições: evaporador 5/10 °C; condensador 40/45 °C, unidade com funcionamento em plena carga.

A concepção de produtos eficientes do ponto de vista sazonal (ESEER), é uma nova forma de classificar os produtos de aquecimento e arrefecimento com base na respetiva eficiência energética ao longo de todo o ano. A eficiência energética é impulsionada pela Diretiva da UE relativa aos produtos que utilizam energia (a denominada Diretiva Eco-design) que especifica os requisitos mínimos de Eco-design que os fabricantes têm de integrar nos respetivos produtos.

O valor da relação de eficiência energética sazonal (Seasonal Energy Efficiency Ratio, SEER) no arrefecimento e o valor do coeficiente de desempenho sazonal (SCOP) no aquecimento, reflectem o verdadeiro consumo energético de uma bomba de calor.

O SEER e o SCOP medem o consumo anual de energia e a eficiência na utilização quotidiana normal. A longo prazo, estes valores têm em conta as flutuações de temperatura e os períodos de “standby”, para oferecer uma indicação clara e fiável da eficiência energética normal ao longo de toda uma estação de aquecimento ou arrefecimento. Os produtos da Daikin concebidos para a eficiência sazonal são mais eficientes do ponto de vista energético e por isso emitem menos CO₂.

As condições do circuito de água são as representadas na *tabela 34*, sendo que é importante não exceder o limite máximo do caudal de água para evitar sobrepressão do sistema.

	Caudal mínimo de água		Caudal máximo de água	
	L/s	m ³ /h	L/s	m ³ /h
EWQ090G-SS	2,70	9,72	5,63	20,26
EWQ210G-SS	6,34	22,82	13,21	47,55

Tabela 34 - Condições do circuito de água

6.1.2. Principais componentes do chiller Daikin EWWQ-G-SS

De seguida serão descritos os principais componentes que compõem os módulos dos chillers “scroll”, tais como: compressor; evaporador; condensador e tecnologia de controlo.

6.1.2.1. Compressor

Os chillers EWWQ-G-SS usam compressores herméticos do tipo “scroll” robustos, construídos numa estrutura de ferro fundido integral e espirais de ferro fundido - *figura 61*, rolamentos revestidos e três dispositivos de filtragem de óleo para cada compressor. As unidades modelo EWWQ-G-SS usam refrigerante R-410A, amigo do ambiente. Cada circuito

de refrigerante tem linhas de equalização de óleo e gás especialmente concebidas para controlar a migração de óleo.



Figura 61 - Espirais de compressor tipo “scroll” [35]

Este design oferece também conformidade radial e axial (sem juntas ou vedantes), um grande volume interno para manuseio de líquidos, uma tela de sucção removível e uma armadilha rotativa de partículas e tela de óleo. Além disso, o compressor é auto-compensador de desgaste, lida com líquidos e detritos e inerentemente, produz alta eficiência.

O compressor hermético tipo “scroll” divide-se em três secções: óleo; aspiração e descarga. Os seus componentes principais são: espiral fixa; espiral móvel; válvula de retenção; motor; bomba de óleo - *figura 62*.

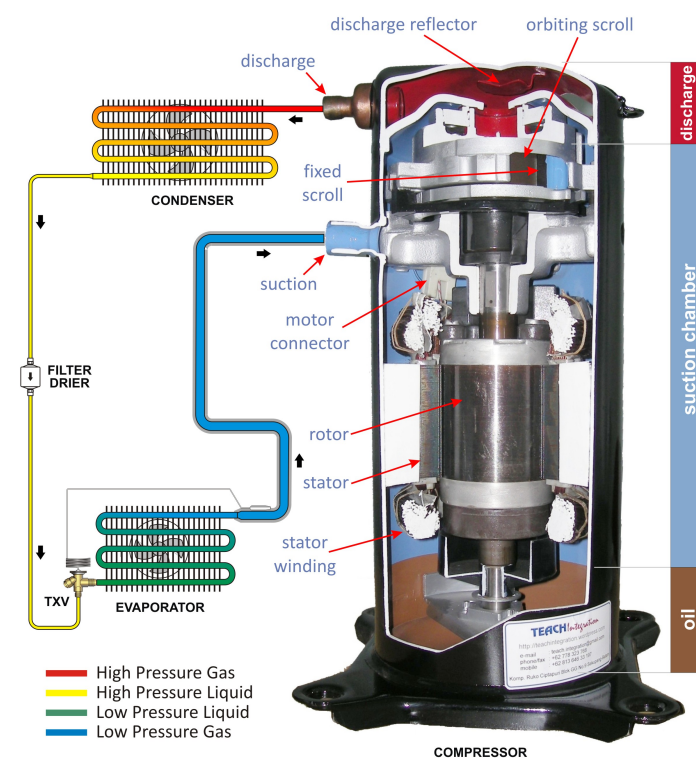


Figura 62 - Componentes de compressor hermético tipo “scroll” [33]

As características principais dos compressores herméticos tipo “scroll” são:

- Compacto, simples, leve e de design robusto;
- Ausência de válvulas e mecanismos oscilantes de ligação, proporcionando a máxima fiabilidade;
- Compressão constante que garante um baixo consumo de energia;
- Maior eficiência de compressão, devido à ausência de uma re-expansão volumétrica;
- Possuem uma maior eficiência isentrópica com R-410A;
- Muito silenciosos;
- Baixa corrente de arranque com a tecnologia “inverter”.

As unidades chiller EWWQ-G-SS são compostas por um circuito equipado com dois compressores herméticos tipo “scroll”.

Os compressores são colocados em regime de “tandem” - *figura 63*, para permitir uma modulação de capacidade otimizada. Uma excelente eficiência, a carga parcial é obtida operando os compressores em “tandem”. Cada compressor em funcionamento descarrega para o condensador, operando assim com menores valores de compressão e com substancial economia de energia. A configuração típica em “tandem” inclui tubos de equalização de óleo para manter os níveis do óleo apropriados.



Figura 63 - Configuração “tandem” de 2 compressores herméticos tipo “scroll” [34]

Durante a maior parte do tempo de funcionamento dos chillers a capacidade de arrefecimento/aquecimento necessária no casario do navio é inferior às condições de carga de pico, de acordo com o perfil de carga do casario do navio. Quanto mais elevadas forem as variações de carga ao longo do ano, mais vital é a eficiência operacional da máquina. Os compressores “scroll” usufruem da tecnologia “inverter” - *figura 64*, que utiliza apenas a energia necessária para satisfazer a carga real, resultando numa maior eficiência energética e

níveis de conforto mais rápidos. O factor de potência do motor será sempre $> 0,95$. Geralmente, o factor de potência de um motor é progressivamente agravado com a redução da saída de potência. No entanto, graças ao “inverter”, não são necessários condensadores para correcção do factor de potência adicionais, uma vez que o factor de potência é sempre $> 0,95$ e não ocorrem picos de tensão, por isso os custos são limitados. Uma vez que um “inverter” monitoriza e ajusta a temperatura ambiente sempre que necessário. O consumo de energia desce cerca de 30 %, em comparação com um sistema tradicional de ligar/desligar.

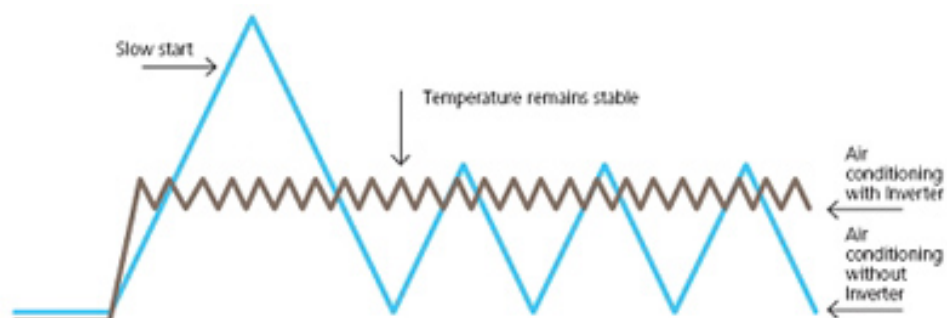


Figura 64 - Tecnologia “inverter” [20]

O ruído gerado por um compressor hermético tipo “scroll” é relativamente independente da pulsação do gás e está geralmente associado só com os dispositivos mecânicos reais do scroll. As irregularidades no mecanismo dos elementos do “scroll” podem incrementar os efeitos do contato mecânico durante o funcionamento. Os baixos níveis sonoros em condições de carga parcial são alcançados através da variação da frequência do compressor, assegurando sempre níveis sonoros mínimos.

6.1.2.2. Evaporador

O evaporador é um permutador de calor de placas de alta eficiência, de dois circuitos, constituído por placas de aço inoxidável. As placas exteriores estão cobertas por um isolante térmico com 20 mm de espessura. O evaporador está equipado com victaulic kit, que é basicamente uma articulação hidráulica com junta para uma ligação fácil e rápida à água. O evaporador é projetado e construído de acordo com o regulamento por 97/23/EC (PED).

No arrefecimento a temperatura da água de entrada no evaporador é de 12 °C e a temperatura da água de saída do evaporador é de 7 °C.

Permutador de calor de placas - Evaporador			
Modelo de chiller		090	210
Volume de água [L]		6	17
Caudal de água [m ³ /h]	Arrefecimento	16,2	38,2
	Aquecimento	15,8	37,1
Perda de carga da água [kPa]	Arrefecimento	49	34
	Aquecimento	47	32

Tabela 35 - Características do evaporador

6.1.2.3. Condensador

O condensador refrigerado a água é de tipo permutador de calor de placas. Cada circuito de condensador é capaz de manter a carga refrigerante do circuito e cada circuito tem as suas próprias válvulas de carga e de alívio.

No arrefecimento, a temperatura da água de entrada do condensador é de 30 °C e a temperatura da água de saída do condensador é de 35 °C.

Permutador de calor de placas - Condensador			
Modelo de chiller		090	210
Volume de água [L]		6	17
Caudal de água [m ³ /h]	Arrefecimento	19,8	46,8
	Aquecimento	20,5	47,9
Perda de carga da água [kPa]	Arrefecimento	72	46
	Aquecimento	76	48

Tabela 36 - Características do condensador

6.1.2.4. Tecnologia de controlo

O Controlador é microprocessado com lógica tipo PID dedicado. Foi projetado para usufruir ao máximo dos benefícios da tecnologia de inversor de frequência dos compressores e permitir um controlo do fornecimento de carga térmica variável com um perfeito equilíbrio na operação do Módulo “Inverter” e o Módulo Fixo, sempre ajustando os intervalos de cargas parciais.

O design de última geração do controlador MicroTech® III, não só permite que o chiller funcione mais eficientemente, mas também simplifica a solução de problemas se ocorrer uma

falha do sistema. O controlador MicroTech® III executa continuamente verificações de autodiagnóstico, monitorizando as temperaturas, pressões e dispositivos de proteção do sistema e desligará automaticamente um compressor, um circuito de refrigerante ou toda a unidade se ocorrer uma falha. A causa para desligar o chiller será mantida na memória e pode ser facilmente exibida em linguagem simples para a revisão do operador. O controlador do chiller MicroTech® III também irá reter e exibir o tempo que a falha ocorreu e as condições de operação que estavam presentes no momento da falha, o que é uma característica extremamente útil para a solução de problemas. Além de exibir diagnósticos de alarme, o controlador também fornece ao operador um aviso de condições de pré-alarme.

6.2. Unidades interiores e sistemas de controlo

Para as divisões de maiores dimensões, como o refeitório, biblioteca, salas de entretenimento e ginásios, com taxas de ocupação elevadas, maiores cargas térmicas e consequente necessidade de um fluxo de ar maior foi escolhido o modelo Daikin FWF-CT, uma cassete de 4 saídas embutida no teto - *figura 65*.



Figura 65 - Modelo Daikin FWC-BT/BF [20]

Esta unidade será embutida no teto e tem como principais características:

- A descarga de ar de 360° garante um caudal de ar e distribuição da temperatura uniformes;
- Painel de decoração moderno em branco (RAL9010);
- Entrada de ar novo para um ambiente saudável;
- A descarga de ar horizontal garante um funcionamento sem jatos de ar e evita a formação de manchas no teto;
- Possibilidade de tapar uma ou duas vias de insuflação para uma maior flexibilidade de instalação;
- Bomba de condensados de série com elevação de 850 mm.

Unidade interior FWC-BT/BF a 4 tubos					
Unidade interior		06	07	08	09
Potência de arrefecimento	Total [kW]	4,9	5,6	6,3	7,2
	Sensível [kW]	3,4	3,9	4,4	5,2
Potência de Aquecimento		6,2	6,8	7,8	8,8
Potência absorvida [kW]		41	47	59	77
Dimensões (AxLxC) [mm]		288 x 840 x 840			
Peso [kg]		29			
Perda de carga de água	Arrefecimento [kPa]	15	19	25	32
	Aquecimento [kPa]	24	30	38	47
Ventilador	Tipo	Ventilador turbo			
	Caudal de ar [m ³ /h]	1,032	1,200	1,476	1,476
Potência Sonora [dBA]		36	39	44	49
Pressão Sonora [dBA]		24	28	32	37

Tabela 37 - Características gerais da unidade interior Daikin FWC-BT/BF

O controlo da unidade é feito com recurso ao controlo remoto por cabo, modelo BRC315D7 - *figura 66*, com as seguintes características:

- Controlar cada unidade ventiloconvectiva independentemente;
- Função de aquecimento/arrefecimento;
- Função ON/OFF e temporizador.



Figura 66 - Modelo Daikin BRC315D7 [20]

Para as divisões de menor dimensão e com baixa taxa de ocupação, como são os camarotes, escritórios e espaços de arrumo escolheu-se o modelo FWR-AT/AF, unidade de uma saída instalado no teto - *figura 67*.



Figura 67 - Modelo Daikin FWR-AT/AF [20]

Esta unidade interior será para montagem em teto à vista e tem as seguintes características principais:

- Para instalação no teto, solução ideal para espaços sem tetos falsos;
- Ajuste imediato a mudanças de temperatura e humidade relativa;
- Poupança de energia até 70 % com a tecnologia do motor BLDC em comparação com a tecnologia tradicional;
- Nível de ruído baixo durante o funcionamento;
- Soluções muito flexíveis: vários tamanhos, tipologias de tubagem e válvulas de ligação;
- Requer pouco espaço de instalação.

Unidade interior FWR-AT/AF a 4 tubos					
Unidade interior		02	03	06	08
Potência de arrefecimento	Total [kW]	2,43	4,96	6,32	10,08
	Sensível [kW]	2,25	3,60	4,80	7,43
Potência de Aquecimento [kW]		2,46	4,19	6,45	10,06
Potência absorvida [kW]		57,4	82,7	10,14	147
Dimensões (AxLxC) [mm]		564 x 774 x 226	564 x 987 x 226	564 x 1,19 x 226	564 x 1,40 x 251
Peso [kg]		22	28	35	46
Perda de carga de água	Arrefecimento [kPa]	22	29	24	25
	Aquecimento [kPa]	11	9	14	45
Ventilador	Tipo	Centrifugo com várias pás, dupla aspiração			
	Caudal de ar [m ³ /h]	560	900	1200	1660
Caudal de água	Arrefecimento [kPa]	418	853	1084	1728
	Aquecimento [kPa]	216	367	565	882
Potência Sonora [dBA]		62	70	64	71

Tabela 38 - Características gerais da unidade interior Daikin FWR-AT/AF

O controlo da unidade é feito com recurso ao controlo remoto por cabo, modelo FWEC3A - *figura 68*, com as seguintes características:

- Composto por: visor de cristais líquidos e teclado;
- Instalação integrada e mural;
- Controlo da válvula proporcional (duas saídas de tensão para as válvulas proporcionais);
- Contacto de tensão 0 - 10 V;
- Relógio e programação semanal (ON/OFF ou temperatura de “set point”);
- Duas saídas digitais.



Figura 68 - Modelo Daikin FWEC3A [20]

6.3. Unidade de tratamento de ar novo

As soluções adoptadas para os sistemas de aquecimento e arrefecimento ambiente e de ventilação dos diferentes espaços do edifício são função do tipo de utilização de cada espaço, do horário de utilização dos mesmos, das condições interiores de conforto térmico requeridas e do “layout” arquitectónico previsto para cada espaço.

A UTAN é do tipo tudo ar novo, possui baterias de água quente e fria, ventiladores de insuflação e extracção e recuperador de calor estático do tipo correntes cruzadas. A UTAN escolhida é um modelo da Daikin da nova série “energy”, tem como vantagens o facto de serem modulares e compactas podendo ser personalizadas, com capacidade de caudal de ar até 100 m³/h, podem ser montadas tanto no interior como no exterior, eficiência energética superior a 80 % - *figura 69*.



Figura 69 - Unidade de tratamento do ar da série “energy” [20]

A ligação desta unidade com os diferentes espaços a climatizar efectua-se através de redes de condutas termicamente isoladas e silenciosas. A insuflação de ar nos espaços garante-se através da ligação da conduta ao pleno de retorno das unidades interiores.

A extracção é garantida por um ventilador de extracção existente na UTAN, que, mediante uma rede de condutas e respectivos acessórios terminais, tais como válvulas de extracção que garantem a ventilação do edifício.

A energia térmica do ar de extracção/exaustão é parcialmente transferida para o ar novo através de um recuperador estático de correntes cruzadas, antes de ser rejeitado para o exterior. O recuperador de calor é do tipo ar/ar, dotado de dois circuitos de ar independentes, de fluxos cruzados com permutador térmico, possibilitando a transferência de calor do ar de rejeição para o ar novo de insuflação, permitindo desta forma uma redução significativa da carga térmica do ar novo. Na cobertura todas as condutas possuem protecção mecânica. Os isolamentos térmicos das condutas e tubagens devem ser contínuos, não podendo apresentar qualquer tipo de interrupção.

A difusão do ar de insuflação efectua-se através de grelhas e difusores, de acordo com as peças desenhadas. O retorno efectua-se através de grelhas de retorno.

6.4. Tubagem de fluido frigoriférico

A tubagem de fluido frigoriférico deverá ser de cobre desoxidado e desidratado com o menor número de soldaduras possível. Nos casos de necessidade de efectuar soldaduras estas deverão ser do tipo “soldadura forte” em prata (70%Ag + 28%Cu + 2%P) e, durante o processo da soldadura deverá circular na tubagem um gás inerte (CO₂) evitando assim a oxidação a elevadas temperaturas e evitar retirar a escória produzida no interior do mesmo. O isolamento

nas zonas das soldaduras só deve ser efetuado após o ensaio de estanqueidade. Deve-se ainda, deixar marcado pela parte exterior do isolamento, o ponto onde se realizou uma soldadura. Deverão ser respeitados os diâmetros de tubagem indicados pelo fabricante das unidades condicionadoras, assim como as distâncias máximas entre as unidades interiores e exteriores.

6.5. Medidas estruturais adicionais

Medidas estruturais adicionais que podem ser adotadas para melhorar a eficiência energética, são:

- O controlo da iluminação interior, ajustando o nível de iluminação à taxa de ocupação real do espaço, ao invés do controlo praticado ON/OFF, diminuindo assim as cargas térmicas dos espaços;
- Nos vãos envidraçados a utilização de vidro duplo com quebra térmica, aumento da caixa de ar e, caixilho com corte térmico. Foi feita a simulação no HAP alterando o tipo de vidro para a melhor solução - *figura 70* e, calcularam-se as cargas térmicas para Libreville e Istambul - *tabela 40*.

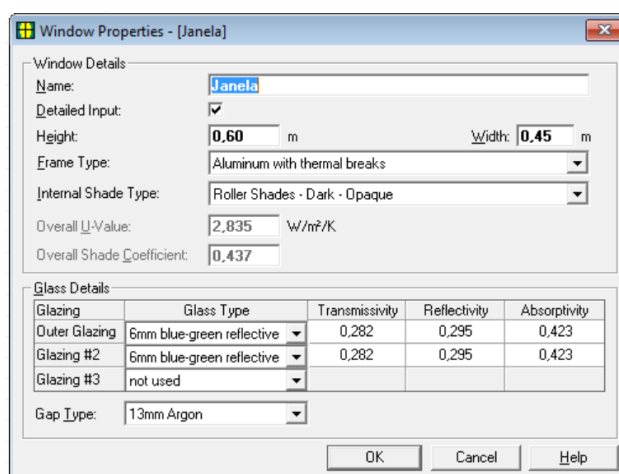


Figura 70 - Janela otimizada

No HAP o vidro claro de 6 mm foi substituído pelo vidro azul-verde reflectivo de 6 mm e a caixa de ar de 6 mm substituída por uma caixa de argon de 13 mm. Os resultados obtidos são mostrados na *tabela 39*, como se pode observar:

	Vidro simples 6 mm	Vidro verde-azul refletivo 6 mm
Transmissividade	0,792	0,282
Refletividade	0,079	0,295
Absortividade	0,129	0,423
	- Caixa de ar 6 mm; - Caixilho de alumínio sem quebra térmica.	- Caixa de argon 13 mm; - Caixilho de alumínio com quebra térmica.
Valor de U geral [W/m ² /K]	3,661	2,835
Coefficiente de sombreamento geral	0,372	0,437

Tabela 39 - Comparação entre tipos de vidro

A forma como o tipo de vidro afeta a potência total e sensível da unidade de climatização para a situação de Libreville e Istambul está representada na *tabela 40*.

	Libreville	Istambul
Cargas térmicas com vidro duplo simples		
Potência total [kW]	206,8	85,6
Potência sensível [kW]	147	39,6
Cargas térmicas com vidro duplo azul-verde refletivo		
Potência total [kW]	206,3	84,3
Potência sensível [kW]	146,9	38,5

Tabela 40 - Comparação entre potências de arrefecimento para diferentes janelas

Não existem alterações significativas na potência total da instalação AVAC com a utilização do vidro duplo azul-verde refletivo, tanto para Libreville como para Istambul.

Na situação de Libreville os vãos envidraçados com o vidro duplo azul-verde refletivo apresentam um ligeiro aumento na potência total da instalação AVAC, isto deve-se ao facto de que este tipo de vidro irá reter o calor no interior das divisões, aumentando o valor da carga térmica

Na situação de Istambul, os vãos envidraçados com o vidro duplo azul-verde refletivo apresentam basicamente o mesmo valor para a potência total da instalação AVAC.

- O aumento de espessura do isolamento das anteparas interiores e teto;

- Sombreamento exterior dos vãos envidraçados, soldando uma pequena pala na parte superior de cada vigia, o que iria criar uma zona de sombreamento e diminuir o peso das cargas térmicas, devido à radiação solar.

Capítulo 7 - Conclusões

Os objetivos deste trabalho passaram primeiro pelo cálculo das cargas térmicas do casario do navio “M/V Noble Globetrotter II”, para posterior análise da instalação AVAC existente, perceber se está dimensionada para as exigências atuais, a sua viabilidade económica e funcional e principalmente se é eficaz para manter o conforto térmico ambiental dos alojamentos e espaços comuns do casario, nas condições climáticas de Libreville e Istambul. Em Segundo, face aos resultados obtidos através do “software” HAP em comparação com os da instalação existente, propor alterações que se possam adequar melhor às necessidades reais.

Verificou-se que, a instalação existente está muito sobredimensionada em relação às necessidades reais de arrefecimento e aquecimento. Sendo que, a capacidade de arrefecimento está sobredimensionada em 82,2 % e a de aquecimento em 87,9 % . De acordo com as cargas térmicas, calculadas, existe a necessidade de uma potência de arrefecimento de 206,8 kW, e no entanto a instalação dispõe de uma capacidade total de arrefecimento de 2324 kW, uma vez que existe redundância de unidades e cada uma tem a capacidade de arrefecimento de 1162 kW. Ora isto significa que, a potência de arrefecimento necessária, representa apenas 17,8 % da capacidade total de, apenas, uma instalação de frio. No que diz respeito ao aquecimento, de acordo com as cargas térmicas, calculadas, existe a necessidade de uma potência de aquecimento de 85,6 kW e, no entanto a instalação dispõe de uma capacidade de aquecimento de 710 kW, isto significa que a potência de aquecimento necessária representa apenas 12,05 % da potência de aquecimento disponível.

O caudal de ar de insuflação existente está sobredimensionado em 18,5 %, pois o calculado revela uma necessidade de 50443 m³/h e o que está em uso é de 61913 m³/h, ou seja, mais 11470 m³/h.

Outro inconveniente da instalação existente, é que o aquecimento do ar de insuflação é feito através de resistências eléctricas, isto significa que a instalação apenas funciona num modo, ou de arrefecimento ou de aquecimento, ficando desta forma o conforto térmico de cada tripulante comprometido.

Existe uma UTA com recirculação de ar que é distribuído por todas as divisões do casario à temperatura definida na UTA, a sua distribuição é feita através de condutas de grandes dimensões e, insuflado em cada espaço individualmente, através de difusores de ar muito ruidosos e completamente ineficazes na forma como distribuem o ar.

Após comparação de diversos tipos de sistemas de AVAC, optou-se por um sistema “Ar-água” a 4 tubos, permitindo assim dotar a instalação da flexibilidade necessária e inexistente até então para efectuar o arrefecimento e aquecimento em simultâneo, o que de uma forma

global representa um aumento significativo do conforto térmico de cada tripulante, pois assim cada um pode regular a temperatura ambiente do espaço de acordo com a sua percepção de conforto e bem estar.

A unidade de climatização escolhida em detrimento da existente foram dois “chillers” arrefecidos a água com compressores herméticos tipo scroll “inverter”, um dedicado a arrefecimento e outro a aquecimento. Com estas unidades adequa-se a necessidade real à potência disponível, isto representa uma melhoria significativa em termos económicos. No que diz respeito ao funcionamento da unidade, é mais silenciosa, eliminando ruído e vibrações excessivas. Os custos de manutenção são reduzidos devido à utilização de compressores hermeticos tipo “scroll”, a função “inverter” dos compressores reduz a corrente de arranque em 30 %, os compressores “scroll” têm uma elevada eficiência energética a cargas parciais, uma menor necessidade de fluxo de água de arrefecimento o que permite ter bombas centrifugas de circulação de menor capacidade.

A UTAN é 100% ar novo, o que permite uma melhoria significativa da qualidade do ar interior, diminuindo o risco de doenças, infeções respiratórias e maus cheiros. A otimização da instalação consegue-se igualmente através de uma boa interligação dos diversos equipamentos. Sendo esta situação assegurada por um sistema de gestão técnica centralizada MicroTech® III, que assegura a máxima eficiência de funcionamento do “chiller”, permite a visualização global de toda a instalação, efetua um auto diagnóstico e emite pré-alarmes, se existirem desvios significativos de parâmetros de pressão e temperatura. Outra das vantagens de insuflar só ar novo é a redução significativa das condutas, isto, num navio deste tipo representa um ganho de espaço precioso nos camarotes e áreas comuns.

A distribuição do ar insuflado pelos espaços passaria a ser feito através de unidades interiores silenciosas, com possibilidade de regular a velocidade, volume e temperatura do ar insuflado. As inovadoras unidades interiores para espaços de grandes dimensões e com uma grande taxa de ocupação têm uma descarga de ar de 360°, que, garante um caudal de ar e distribuição da temperatura uniformes.

De uma forma geral, quando comparados os dois sistemas, verificam-se melhorias significativas no sistema proposto em termos da gestão de climatização, mais adequado às necessidades reais, equipamento mais silencioso e com menor necessidade de manutenção preventiva, custos de manutenção (preventiva e corretiva) mais baixos, um enorme aumento do conforto térmico, melhor qualidade do ar interior e mais vantajoso em termos económicos.

Durante o projecto as decisões e escolhas foram sempre tomadas em função do estipulado nos regulamentos da organização internacional do trabalho, da norma ISO 7547 e das

publicações da ASHRAE, para que, desta forma as medidas implementadas fossem sempre de encontro ao regulamentado para as condições de alojamento para as tripulações a bordo de navios.

Em termos de trabalhos futuros, o objetivo passa essencialmente por acompanhar os avanços tecnológicos dos equipamentos de AVAC e implementá-los de acordo com as necessidades e a realidade de cada tipo de navio. Por ser um meio tão específico, proporciona um maior desafio conseguir melhorar a eficiência térmica da instalação e ao mesmo tempo manter o conforto térmico e a qualidade do ar interior.

Outra área de estudo interessante, em termos económicos e funcionais seria a do reaproveitamento de fluídos térmicos com temperaturas altas que normalmente, não são utilizados, como por exemplo, gases de evacuação de motores de combustão interna ou caldeira de vapor, linha de retorno de caldeira de vapor ou o retorno da água de arrefecimento das camisas da máquina principal, em que todo o calor remanescente nesses fluídos pode ser feito passar através de um economizador, cuja função, seria a de aquecer a água de alimentação das baterias de aquecimento.

Bibliografia

- [1] ASHRAE Handbook, Fundamentals Systems and Equipment; American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers; S. I. Edition, 2009, Atlanta, U. S. A.
- [2] Rudoy, W., Cuba, J. (1980). Cooling and Heating Load Calculation Manual, U.S. Department of Housing and Urban development. U.S.A.
- [3] Agência Portuguesa do Ambiente, Qualidade do Ar em Espaços Interiores – Um Guia Técnico, 2009. Amadora.
- [4] International Standard 7547, Ships and Marine Technology – Air Conditioning and Ventilation of Accommodation Spaces – Design Conditions and Basis of calculations, 2002. Switzerland.
- [5] Imprensa Nacional Casa da Moeda - Diário da República, Regulamento da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (QAI). Decreto-Lei nº 78 / 2006, de 4 de Abril, Lisboa.
- [6] Imprensa Nacional Casa da Moeda - Diário da República, Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE). Decreto-Lei 79/2006, de 4 de Abril, Lisboa.
- [7] Catálogo geral BITZER, 2011.
- [8] DAIKIN Manual EWWQ-G-SS, Water-Cooled Scroll Compressor Chillers, 2015.
- [9] Guide for Crew Hability on Offshore Installations, 2016. American Bureau of Shipping.
- [10] Rules for Classification and Construction-Ship Technology, 2014. Germanischer Lloyd.
- [11] Alojamento a bordo de Navios (Disposições Complementares), Convenção N°133, 1970. Organização Internacional do Trabalho.
- [12] HVAC Heat Load Calculation, 2010. Hi Air Korea CO., Ltd.
- [13] HVAC Control Philosophy, 2010. Hi Air Korea CO., Ltd.
- [14] HVAC Equipment Data, 2010. Hi Air Korea CO., Ltd.
- [15] HVAC Installation, Operation and Maintenance Instruction, 2011. Hi Air Korea CO., Ltd.
- [16] Frota, A., Schiffer, S. (2001). Manual de Conforto Térmico, Studio Nobel, São Paulo.
- [17] Fanger, P., (1970). Thermal Comfort, Danish Technical Press.
- [18] Khedari et al., (2000). Thailand ventilation Comfort chart energy and Buildings.

Sites consultados na internet

- [19] <https://www.bn-bip.com/english/main/index.php>
- [20] <http://www.daikin.pt>
- [21] <http://www.abs-group.com>
- [21] <https://en.wikipedia.org/wiki/Chiller>

- [22] <http://www.ilo.org/global/lang--en/index.htm>
- [23] https://www.dgrm.mm.gov.pt/xportal/xmain?xpid=dgrm&xpgid=genericPageV2&conteudoDetalhe_v2=3701506
- [24] http://www.ahrinet.org/App_Content/ahri/files/STANDARDS/AHRI/AHRI_Standard_550-590_I-P_2015_with_Errata.pdf
- [25] <https://weatherspark.com/averages/32452/Istanbul-Turkey>
- [26] <https://weatherspark.com/averages/29122/libreville-estuaire-gabon>
- [27] <https://qualidadeonline.wordpress.com/2014/04/10/conforto-termico-as-sensacoes-de-frio-e-calor-do-ser-humano/>
- [28] https://www.medicosdeportugal.pt/glossario/temperatura_corporal_ou_humana/
- [29] <https://dre.pt/application/conteudo/74774858>
- [30] <http://www.etstudio.it/allegati/adsorbitori.pdf>
- [31] <http://www.gudenergy.pt/wp-content/uploads/2015/12/Brochura-alterra-PT.pdf>
- [32] http://in3.dem.ist.utl.pt/laboratories/pdf/emee_1.pdf
- [33] <http://citrapelanginusantara.blogspot.pt>
- [34] http://www.emersonclimate.com/en-us/Products/Compressors/Scroll_Compressors
- [35] <http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/7654-o-que-e-um-compressorscroll/>
- [36] http://science.sciencemag.org/content/early/2017/02/08/science.aai7899?utm_source=SciPak%20%28updated%202/3/2017%29&utm_campaign=f543794a9b-EMAIL_CAMPAIGN_2017_02_03&utm_medium=email&utm_term=0_10c5e799a3-f543794a9b-126517541
- [37] <https://www.mintie.com/assets/pdf/education/ASHRAE%2062.1-2007.pdf>
- [38] <http://frioclimatizado.blogspot.pt/2016/06/sistemas-de-expansao-indireta-com.html>
- [39] <http://masserarcondicionado.blogspot.pt/p/vrf.html>
- [40] <http://www.adene.pt/sce/legislacao-0>

Lista de Anexos

Anexo I - Diagrama AVAC das condutas e instrumentação do casario do navio NGT2

Anexo II - Dados técnicos do equipamento AVAC do navio NGT2

Anexo III - Cargas térmicas do casario do navio NGT2

Anexo IV - Plantas e alçados do navio NGT2

Anexo V - Plantas dos pisos do casario do navio NGT2

Anexo VI - Arranjo geral da UTA

Anexo VII - Arranjo geral das unidades de compressores

Anexo VIII - Folha de cálculo do “U” do vidro

Anexo IX - Outputs do HAP para o cálculo das cargas térmicas de Libreville

Anexo X - Outputs do HAP para o cálculo das cargas térmicas em Istambul

Lista de Anexos em formato digital

Anexo XI - Arquivos E20-II e projeto HAP

Anexo XII - Cálculo da queda de pressão nas condutas AVAC do navio NGT2

Anexo XIII - Consumo de óleo e refrigerante da instalação AVAC do navio NGT2

Anexo XIV - Níveis de ruído da instalação AVAC do navio NGT2

Anexo XV - Detalhes do isolamento

Anexo XVI - Plantas dos camarotes de 1 e 2 pessoas do navio NGT2

Anexo XVII - Regras da ABS para o alojamento de tripulações a bordo de navios

Anexo XVIII - Diário da República, 1.ª série — N.º 159 — 20 de agosto de 2013

Anexo I

Diagrama AVAC das condutas e instrumentação do casario do navio NGT2

Anexo II

Dados técnicos do equipamento AVAC do navio NGT2

Anexo III

Cargas térmicas do casario do navio NGT2

Anexo IV

Plantas e alçados do navio NGT2

Anexo V

Plantas dos pisos do casario do navio NGT2

Anexo VI

Arranjo geral da UTA

Anexo VII

Arranjo geral das unidades de compressores

Anexo VIII

Folha de cálculo do “U” do vidro

Anexo IX

Outputs do HAP para o cálculo das cargas térmicas de Libreville

Anexo X

Outputs do HAP para o cálculo das cargas térmicas em Istambul