



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 Island Dawn”**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia de Máquinas Marítimas

Autor: Hugo Miguel Logo Pires (licenciado)
Júri:
Presidente: Professor Adjunto Luís Manuel Fernandes Mendonça
Vogais: Professor Adjunto João Antero Nascimento dos Santos Cardoso
Professor Adjunto Manuel Duarte Dias Mendes Nogueira (orientador)

Paço de Arcos

Fevereiro de 2019

Agradecimentos

A realização desta dissertação contou, inevitavelmente, com importantes apoios e incentivos sem os quais não se teria tornado uma realidade e aos quais é devida uma palavra de reconhecimento.

Agradecer ao Professor Manuel Duarte Dias Mendes Nogueira por ter aceitado ser o orientador desta dissertação e apresentado total disponibilidade no acompanhamento e orientação ao longo da execução da mesma. A escolha deste tema não teria sido o mesmo sem a motivação pela área desenvolvida ao longo destes anos nas disciplinas por si lecionadas.

Agradecer também a todos os docentes e funcionários da Escola Superior Náutica Infante D. Henrique que durante estes anos contribuíram para a minha formação académica e que de forma direta ou indireta cooperaram para que a realização desta dissertação se tornasse possível.

Resumo

A execução incorreta de projetos navais leva à existência de instalações deficientes com consequências que podem ser impeditivas do cumprimento da funcionalidade para as quais foram desenvolvidas.

Atualmente, existem ferramentas informáticas que permitem auxiliar a fase de projeto assim como validar o cumprimento da funcionalidade das instalações existentes.

As instalações de climatização são de crucial importância uma vez que a sua principal função é a criação de níveis elevados de conforto térmico e qualidade do ar ambiente interior. O seu dimensionamento incorreto é passível de criar condições de insatisfação e implicações ao nível da saúde dos seus ocupantes.

A bordo de um navio, em consequência das suas características e fins operativos, torna-se imprescindível que esta seja dimensionada por forma a cumprir as condições estipuladas quando sujeita às diferentes circunstâncias climáticas a que este possa vir a ser submetido. Adicionalmente, diretrizes internacionais exigem que se verifique um aumento da eficiência energética deste tipo de instalações.

A presente dissertação analisa e avalia a instalação de climatização existente a bordo de um navio de apoio à exploração petrolífera, com o objetivo de validar o projeto que serviu de base à sua construção e implementação. A mesma propõe ainda, e justifica, uma solução alternativa àquela existente com recurso à simulação dinâmica através do programa informático *EnergyPlus*, e da interface gráfica *DesignBuilder*.

Palavras chave: Conforto térmico; Climatização; Simulação dinâmica; Carga térmica, Potência térmica.

Abstract

Marine projects misconception may lead to the existence of units able to compromise the desirable function for which they were designed.

Currently the existence of specific software allows engineers to support projects from concept through completion, as well as, the compliance of the existing ones

Heating, ventilation and air conditioning systems, commonly referred as HVAC systems, are of crucial importance since its goal is to provide thermal comfort and indoor air quality. Design and conception inaccuracies might create uncomfortable and harmful conditions to its user's health.

On board a vessel due to its operation condition and purpose, it becomes essential the HVAC system to be design in order to achieve the desirable conditions when confronted to the variety of climate circumstances at which it can be submitted. Furthermore international standards demand an increase of its energy efficiency.

The current thesis evaluates the existing HVAC system onboard an offshore platform supply vessel with concern to assess the compliance with its design project. Moreover this thesis propose an alternative solution to the existing one with resource to dynamic simulation modelling through *EnergyPlus* software in conjunction with the graphic interface *DesignBuilder*.

Key words: Thermal comfort; HVAC; Dynamic simulation modelling; Internal gains; Heating and cooling capacity.

Índice

Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Abstract	v
Índice	vi
Lista de siglas e acrónimos	viii
Lista de figuras	ix
Lista de tabelas	x
1 Introdução	1
1.1 Objetivo	1
1.2 Estrutura da dissertação	2
2 Estado de arte	3
2.1 Conforto térmico	3
2.1.1 Fatores de influência no conforto térmico	3
2.1.1.1 Temperatura do ar	3
2.1.1.2 Temperatura média radiante	4
2.1.1.3 Velocidade do ar	4
2.1.1.4 Humidade relativa	4
2.1.1.5 Índice metabólico	5
2.1.1.6 Isolamento vestuário	5
2.2 Sistemas de climatização	5
2.2.1 Caracterização de sistemas de climatização	6
2.2.1.1 Sistema autónomo	6
2.2.1.1.1 Unidades “Split” e “Multi-split”	7
2.2.1.1.2 Bomba de calor	8
2.2.1.1.3 Unidades “VRF”	9
2.2.1.2 Sistema centralizado	10
2.2.1.2.1 Sistema tudo ar	11
2.2.1.2.2 Sistema ar-água	14
2.2.1.2.3 Sistemas tudo água	14
3 Descrição do navio e da instalação de climatização	15
3.1 Descrição sumária do navio	16
3.2 Descrição da instalação de climatização	17

3.2.1	Climatização da acomodação do navio	18
3.2.2	Climatização da ponte do navio.....	20
3.2.3	Climatização dos espaços de serviço técnico	22
3.3	Equipamentos.....	23
4	Simulação dinâmica.....	24
4.1	Solução proposta e justificação legislativa	24
4.2	Condições de projeto	28
4.2.1	Caracterização da envolvente	28
4.2.1.1	Antepara exterior	29
4.2.1.2	Antepara interior.....	29
4.2.1.3	Cobertura e pavimento.....	30
4.2.1.4	Portas e vãos envidraçados.....	30
4.2.2	Temperatura interior.....	31
4.2.3	Humidade relativa interior.....	31
4.2.4	Caudal de ar novo	32
4.2.5	Perfil de ocupação.....	34
4.2.6	Perfil de iluminação e equipamentos	34
4.3	Modelo de simulação dinâmica.....	35
4.4	Dados estação fria e análise comportamental em função do tempo.....	36
4.5	Dados estação quente e análise comportamental em função do tempo.....	46
5	Análise comparativa de dados	55
5.1	Potência térmica de aquecimento	56
5.2	Potência térmica de arrefecimento	57
5.3	Caudal de ar.....	58
5.4	Sistema de climatização.....	59
6	Conclusão	60
	Bibliografia.....	62
	Lista de anexos	63

Lista de siglas e acrónimos

ANSI – American National Standard Institute

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air Condition Engineers

CAV – Constant Air Volume

CIBSE – Chartered Institution of Building Services Engineers

DNV GL – Det Norske Veritas and Germanischer Lloyd

DP – Dynamic Positioning

DW – Deadweight

F7/M5 – Standard European Filter Classification

ISO – International Organization for Standardization

M/V – Motor Vessel

PSV – Platform Supply Vessel

VAV – Variable Air Volume

VRF – Variable Refrigerant Flow

Lista de figuras

Figura 1: Representação esquemática do funcionamento da unidade “Split”	8
Figura 2: Representação esquemática do funcionamento da bomba de calor.....	8
Figura 3: Representação esquemática do funcionamento da unidade “VRF”	9
Figura 4: Representação esquemática do funcionamento do “VAV”	13
Figura 5: Representação da interface existente entre o programa e o utilizador na simulação desenvolvida	35
Figura 6: Representação gráfica das perdas de calor e temperatura, e necessidade de aquecimento do piso “A-Deck”	39
Figura 7: Representação gráfica das perdas de calor e temperatura, e necessidade de aquecimento total da instalação.....	42
Figura 8: Representação gráfica das condições climáticas referentes à estação fria.....	43
Figura 9: Representação gráfica dos ganhos do espaço “cabin4” do piso “A-Deck”	44
Figura 10: Representação gráfica dos ganhos do piso “A-Deck”	45
Figura 11: Representação gráfica dos ganhos da instalação “M/V Island Dawn”	45
Figura 12: Representação gráfica das condições climáticas referentes à estação quente	52
Figura 13: Representação gráfica dos ganhos do espaço “cabin4” do piso “A-Deck” ...	53
Figura 14: Representação gráfica dos ganhos do piso “A-Deck”	54
Figura 15: Representação gráfica dos ganhos da instalação “M/V Island Dawn”	54

Lista de tabelas

Tabela 1: Características térmicas dos materiais de construção.....	28
Tabela 2: Características térmicas exemplificativas de uma anteparo exterior.....	29
Tabela 3: Características térmicas exemplificativas de uma anteparo interior.....	29
Tabela 4: Características térmicas exemplificativas entre dois pisos.....	30
Tabela 5: Características térmicas exemplificativas de portas e vãos envidraçados.....	31
Tabela 6: Caudal mínimo de ar novo e velocidade do ar característicos.....	34
Tabela 7: Perdas de calor e temperatura do espaço “Cabin4” do piso “A-Deck”.....	37
Tabela 8: Perdas de calor e temperatura do piso “A-Deck”.....	38
Tabela 9: Necessidade de aquecimento individual de cada espaço do piso “A-Deck”...	40
Tabela 10: Necessidade de aquecimento total da instalação.....	41
Tabela 11: Ganhos de calor e temperatura do espaço “Cabin4” do piso “A-Deck”.....	47
Tabela 12 – Necessidade de arrefecimento do espaço “Cabin4” do piso “A-Deck”.....	48
Tabela 13: Ganhos de calor e temperatura do piso “A-Deck”.....	49
Tabela 14: Necessidade de arrefecimento do piso “A-Deck” (1ºrefeitório).....	50
Tabela 15: Necessidade de arrefecimento total da instalação.....	50
Tabela 16: Ganhos de calor e temperatura totais da instalação.....	51
Tabela 17: Valores comparativos da capacidade da instalação de climatização.....	55

1 Introdução

1.1 Objetivo

A realização desta dissertação pretende analisar e avaliar, o mais detalhadamente quanto possível, a instalação de climatização existente a bordo de um navio de apoio à exploração petrolífera, com o objetivo de validar o projeto que serviu de base à construção e implementação da referida instalação.

Para isso, é necessário efetuar o levantamento da instalação de climatização do navio, do seu projeto, assim como dos equipamentos e parâmetros característicos da mesma.

Para a concretização do objetivo enunciado é fundamental realizar o projeto de dimensionamento da instalação de climatização, recorrendo a uma simulação dinâmica, esta deve ter em conta todos os aspetos característicos intrínsecos e extrínsecos do navio, para posterior análise e sua comparação com os dados do projeto de construção da instalação.

O presente trabalho pretende ainda contribuir para o estado de conhecimento no domínio das ferramentas informáticas, existentes e creditadas, utilizadas na simulação dinâmica.

A simulação dinâmica apresentada neste trabalho foi realizada no programa informático *EnergyPlus*, através de uma das suas interfaces mais utilizadas, o *DesignBuilder*. Programa utilizado no cálculo de cargas térmicas e eficiência energética no projeto dos mais diversos tipos de construções, em especial de edifícios.

O facto de a construção em análise possuir um comportamento dinâmico, sendo suscetível às diferentes condições climáticas a que é sujeita, difere-a do emprego comum ao qual este tipo de programas é submetido, devendo este facto ser tido em consideração no cálculo dos valores obtidos para este projeto.

1.2 Estrutura da dissertação

A dissertação apresentada está estruturada em 6 capítulos ao longo dos quais o objetivo a que esta se propõe é desenvolvido e alcançado.

Capítulo 1 – Introdução – identifica os objetivos a que a dissertação se propõe.

Capítulo 2 – O estado de arte – exposição sucinta do que de mais relevante é efetuado ao nível dos diferentes tipos de soluções de climatização empregues atualmente e em particular ao tipo de construção em análise.

Capítulo 3 – Descrição do navio e da instalação de climatização – caracterização genérica do navio em análise e enumeração dos diversos fatores a ter em consideração no projeto de climatização do mesmo, detalhando pormenorizadamente a instalação de climatização existente.

Capítulo 4 – Simulação Dinâmica – desenvolve e fundamenta todo o processo de cálculo necessário à realização do projeto de climatização. Justifica todos os pressupostos criados, impostos por limitações existentes nos programas informáticos utilizados com o fim de aproximar os resultados obtidos com aqueles que se verificam na realidade.

Capítulo 5 – Análise comparativa de dados – análise e comparação entre os dados alcançados através da simulação dinâmica e os dados retirados da instalação existente e respetivo projeto.

Capítulo 6 – Conclusão – apresenta em síntese as principais conclusões resultantes da análise comparativa de dados com a realização desta dissertação.

Bibliografia – Referências bibliográficas.

Anexos – Contém toda a documentação relevante.

A documentação relevante à compreensão da dissertação presente em anexo prevê a existência em suporte informático do ficheiro criado através do software utilizado. À impossibilidade de divulgação e partilha de documentação relevante, por incumprimento da lei, esta será apenas disponibilizada durante a defesa da presente dissertação.

2 Estado de arte

2.1 Conforto térmico

O conforto térmico é um conceito subjetivo uma vez que a sua avaliação não é mensurável de forma generalizada, antes uma satisfação intrínseca individual a cada ser humano afeta ao seu estado psicológico com relação às condições térmicas do ambiente em que este está situado. [3]

O nível de satisfação apresentado por diferentes indivíduos, quando sujeitos à mesma condição de um determinado ambiente, não é necessariamente idêntico entre si. A exposição ao mesmo ambiente pode desencadear reações de satisfação distintas.

2.1.1 Fatores de influência no conforto térmico

Os fatores que diretamente maior relevo apresentam na influência do estado de conforto térmico humano, em função de uma determinada situação, podem ser classificados segundo duas categorias distintas. Assim, estes podem ser função das características afetas ao ambiente ou ao indivíduo. Os fatores afetos ao ambiente são a temperatura do ar, temperatura radiante das superfícies vizinhas, velocidade e humidade relativa do ar. Por sua vez, os fatores afetos ao indivíduo são o índice metabólico e o isolamento afeto ao vestuário. [3]

2.1.1.1 Temperatura do ar

A temperatura do ar pode ser considerada como o fator mais significativo à percepção de conforto térmico. A variação do seu valor é, entre os diferentes fatores, o mais perceptível ao ser humano.

A impossibilidade de definição de uma temperatura que satisfaça uma condição de conforto térmico para o total de situações existentes e todos os indivíduos obriga a criação de um intervalo que permita satisfazer a generalidade de situações. O mesmo raciocínio é aplicado aos diferentes fatores referidos anteriormente.

2.1.1.2 Temperatura média radiante

A contribuição do valor de temperatura radiante à satisfação expressa em relação ao conforto térmico requer sempre a exposição direta em relação à fonte, esta pode ser emissora ou recetora. Esta representa a emissão de energia a partir da superfície de um corpo em consequência da sua temperatura. O seu valor médio traduz a contribuição de todos os corpos presentes num determinado espaço.

2.1.1.3 Velocidade do ar

A velocidade do ar é um fator fundamental na percepção de conforto térmico do ser humano. Esta favorece, ou não, a troca de calor entre o corpo e o meio que o rodeia, exercendo uma função imprescindível na regulação de temperatura. O efeito da sua ação possibilita o aumento das perdas de calor pelo processo de convecção e evaporação contribuindo para o arrefecimento em situações de temperatura elevada. Contudo, o valor excessivo da velocidade do ar e os efeitos da sua ação em situações de temperatura reduzida podem apresentar um efeito negativo.

2.1.1.4 Humidade relativa

A humidade relativa do ar representa a razão entre a pressão de vapor de água presente no ar e a sua pressão de saturação, num determinado volume e a uma temperatura específica. Níveis elevados de humidade relativa podem ser prejudiciais à dissipação de calor por evaporação provocando sobreaquecimento. [3] A mesma situação em condições de temperatura reduzida aumenta a sensação de frio. Pequenas variações de humidade relativa não são perceptíveis ao ser humano.

2.1.1.5 Índice metabólico

O índice metabólico é um fator característico individual quantificador da dissipação de energia produzida pelo corpo humano em consequência da atividade física realizada. Este é um mecanismo crucial de auto regulação de temperatura do corpo. Os principais mecanismos de dissipação de energia são a convecção, radiação e evaporação.

2.1.1.6 Isolamento vestuário

O isolamento térmico criado por uma peça de roupa tem como principal função minimizar a perda de calor e conservar a temperatura. A resistência à transmissão de calor é função do tipo de material aplicado na sua confecção e pela associação de diferentes peças. A redução da superfície exposta permite minimizar a percepção dos efeitos da velocidade e humidade relativa do ar.

2.2 Sistemas de climatização

A climatização permite proporcionar as condições de conforto térmico necessárias à ocupação de espaços. [7] Em primeira aproximação, esta deve ser efetuada através de técnicas que premeiem as soluções passivas sem que se verifique a necessidade de consumo de energia. Sempre que esta não seja suficiente, a utilização de sistemas de climatização ativos deve privilegiar a utilização de energias renováveis.

É comum que a classificação dos diferentes tipos de sistemas de climatização existentes seja feita de acordo com a sua localização em relação aos espaços que estes beneficiam. Assim estes podem ser autónomos ou centralizados. [7]

Ao longo deste subcapítulo pretende-se efetuar a descrição e caracterização dos diferentes tipos de sistemas de climatização existentes, de acordo com o critério de classificação mencionado anteriormente, com relevância para o tipo de construção em análise.

2.2.1 Caracterização de sistemas de climatização

2.2.1.1 Sistema autónomo

Este tipo de sistema é caracterizado por permitir a climatização individual de um espaço, ou de um conjunto de espaços, de reduzidas dimensões a partir de uma localização interna ou diretamente adjacente ao mesmo.

Este sistema é composto por uma ou mais unidades individuais, que de forma generalizada utilizam os processos termodinâmicos inerentes ao ciclo de refrigeração como forma de produção de arrefecimento e aquecimento dos espaços. [7] Na impossibilidade do sistema efetuar a produção de aquecimento através do ciclo de refrigeração, esta é, de forma recorrente, assegurada por equipamento adicional, uma fonte de aquecimento.

Tipicamente, este sistema promove a climatização dos espaços através da troca direta de calor com o agente refrigerante primário, característico de um sistema de expansão direta. A sua utilização deve, assim, obedecer a critérios restritos de segurança no que respeita a eventuais fugas que se possam verificar no interior dos espaços.

No que respeita ao tipo de ventilação utilizado neste sistema de climatização este tanto pode ser natural como forçado.

Os exemplos mais comuns deste tipo de sistema são os seguintes:

- Unidade de janela;
- Unidades “Split” e “Multi-Split”;
- Bomba de calor;
- Unidade “VRF”.

O equipamento que compõe estes sistemas é comercializado com características pré-estabelecidas relativamente à sua capacidade de refrigeração, aquecimento e ventilação, o que diminui o custo inicial de investimento na sua aquisição. [7] O seu dimensionamento, por forma a satisfazer as necessidades de projeto ou requisitos específicos, implica um acréscimo do custo inicial de aquisição e disponibilidade imediata dos equipamentos que o constituem.

As principais vantagens deste tipo de sistema são as seguintes: [7]

- Permitir o arrefecimento e aquecimento individualizado de cada espaço em qualquer momento, independentemente das condições de operação dos restantes espaços.
- Redução do custo de aquisição inicial, quando não se verifique a necessidade do seu dimensionamento.
- Em caso de avaria, eventualmente, apenas um espaço é afetado.
- Menor volume total ocupado pelo sistema e respetivos equipamentos em comparação com um sistema centralizado.

Contudo, este tipo de sistema implica as seguintes desvantagens: [7]

- Eventual limitação às características técnicas dos equipamentos existentes e comercializados.
- Possível aumento do ruído no interior de cada espaço derivado da localização dos equipamentos.
- Afetação da aparência exterior da construção.
- A manutenção pode exigir deslocações periódicas e demoradas ao interior dos espaços climatizados.
- Reduzido intervalo médio expectável de funcionamento.

2.2.1.1.1 Unidades “Split” e “Multi-split”

Este tipo de sistema é composto por duas unidades, uma unidade exterior, e uma unidade interior. A unidade exterior compreende essencialmente componentes como o compressor, o condensador e a válvula expansora, enquanto a unidade interior compreende o evaporador, o ventilador e o filtro. [7]

A combinação entre uma unidade exterior e uma unidade interior tem a designação de sistema “Split”, representado na Fig. 1, enquanto a combinação entre uma unidade exterior e até cinco unidades interiores tem a designação de sistema “Multi-Split”.

Tipicamente a simplicidade de construção deste sistema limita o seu funcionamento, existindo a necessidade de equipamento adicional, complementar à capacidade de climatização de acordo com as diferentes exigências que se façam verificar em função das variáveis características externas. [7]

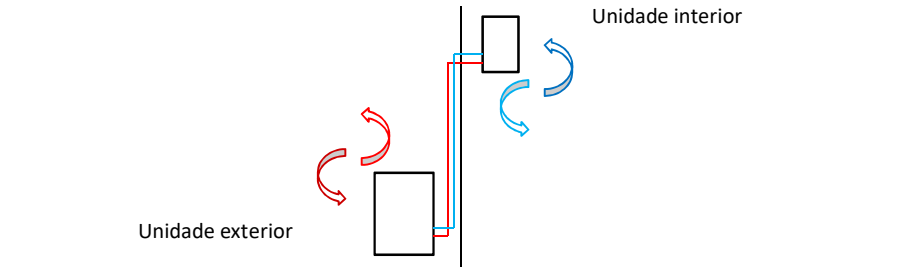


Figura 1: Representação esquemática do funcionamento da unidade “Split”

2.2.1.1.2 Bomba de calor

Este tipo de sistema permite, atualmente, efetuar o arrefecimento ou aquecimento dos espaços sem recurso a equipamento adicional para realizar o aquecimento. [7]

Este sistema permite o arrefecimento dos espaços através do ciclo de refrigeração e o aquecimento dos mesmos através da capacidade de reversibilidade de funcionamento da instalação, como é possível observar na Fig. 2.

Durante o Inverno, quando existe a necessidade de produção de aquecimento, este sistema funciona de forma oposta ao que ocorre durante o Verão, promovendo a remoção de calor do ar exterior e transferindo-o para o interior através do evaporador, que desta forma possui o comportamento típico de um condensador.

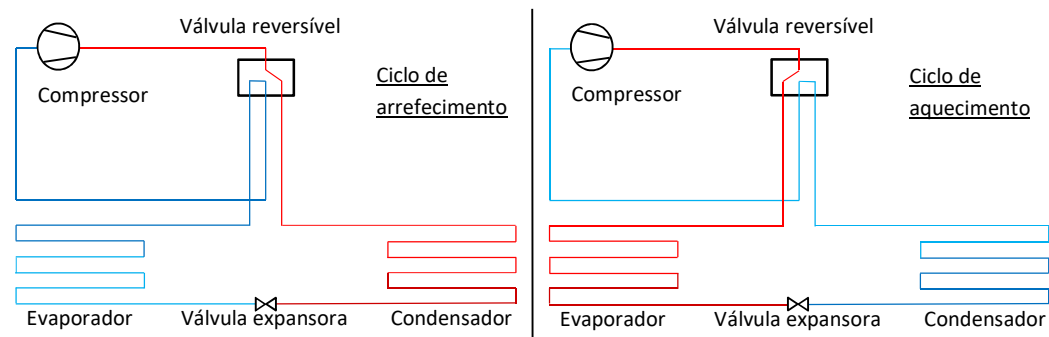


Figura 2: Representação esquemática do funcionamento da bomba de calor

2.2.1.1.3 Unidades “VRF”

Este tipo de sistema pretende minimizar as limitações existentes nos sistemas descritos anteriormente, essencialmente no que respeita à capacidade de climatização de diversos espaços em simultâneo.

Este sistema visa permitir a climatização de um número superior de espaços através da utilização de apenas uma unidade exterior em combinação com múltiplas unidades interiores. Este desempenho é resultado da capacidade de a instalação permitir a variação de caudal do agente refrigerante de acordo com o valor total das necessidades individuais de cada espaço.

Atualmente, a aplicação deste sistema em combinação com um sistema de recuperação de calor possibilita igualmente efetuar o arrefecimento e o aquecimento em simultâneo dos diferentes espaços. O seu funcionamento promove o reaproveitamento do calor extraído dos espaços onde exista a necessidade de arrefecimento, em espaços onde exista a necessidade de aquecimento ou ainda em equipamentos de produção de água quente sanitária.

A complexidade criada pela gestão e equipamentos deste sistema torna-se substancialmente superior quando comparada com os sistemas descritos anteriormente. A Fig. 3 representa o funcionamento de um sistema deste tipo, a três tubos, no arrefecimento de dois espaços e aquecimento de um espaço em simultâneo.

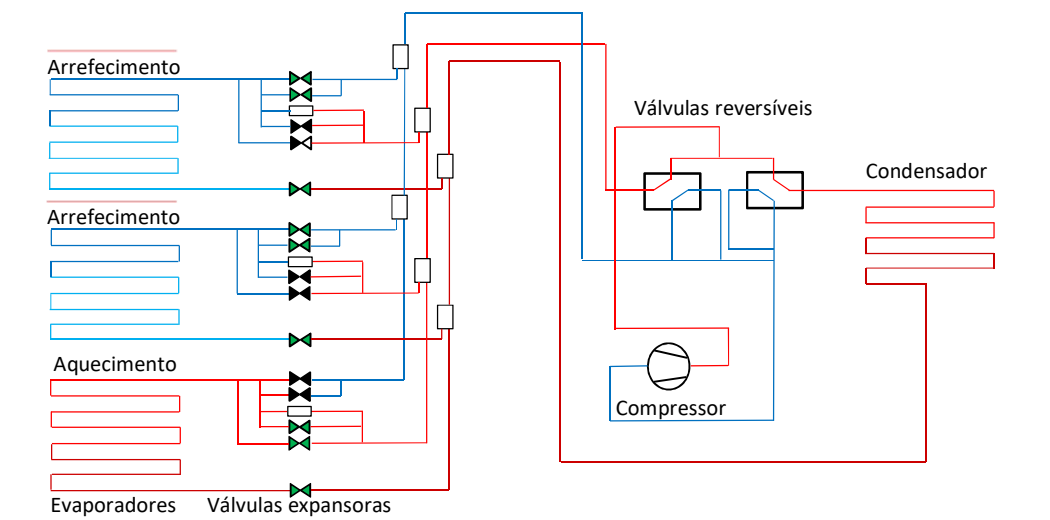


Figura 3: Representação esquemática do funcionamento da unidade “VRF”

2.2.1.2 Sistema centralizado

Este tipo de sistema é caracterizado por permitir a climatização de um conjunto de espaços a partir de uma localização comum entre estes. [7] Tipicamente, este tipo de sistema promove a utilização de processos termodinâmicos em associação a sistemas de expansão indireta caracterizados pela existência de dois agentes refrigerantes distintos, primário e secundário.

Num sistema de expansão indireta o agente refrigerante secundário é responsável por promover a troca direta de calor entre o espaço e o agente refrigerante primário.

Os exemplos mais comuns deste tipo de sistema são os seguintes:

- Sistema tudo ar;
- Sistema ar-água;
- Sistema tudo água.

Entre os principais equipamentos afetos a este tipo de instalação é possível destacar aqueles que são responsáveis pela produção de frio através do ciclo de refrigeração, unidade produtora de água arrefecida, constituída por compressor, condensador, válvula expansora e evaporador, e produção de calor através de fontes de aquecimento, bomba de calor ou caldeira. Estes são considerados os equipamentos primários deste tipo de sistema.

Este tipo de instalação é geralmente concebida após um dimensionamento prévio de acordo com as necessidades de projeto de cada construção. A sua utilização pode ainda ser conciliada com o sistema autónomo descrito anteriormente.

As principais vantagens associadas a este tipo de sistema são as seguintes: [7] [8]

- A localização independente minimiza as restrições à manutenção dos equipamentos.
- Possível redução dos custos de operação e manutenção devido à limitação do número de equipamentos necessários.
- Maior flexibilidade e menor custo associado à possibilidade de reaproveitamento de energia necessária á climatização dos espaços.

- Diversificação de fontes de energia utilizadas na produção de arrefecimento e aquecimento.
- Possível diminuição do nível de ruído e vibração nos espaços.
- Incremento do intervalo médio expectável de funcionamento.

Contudo este tipo de sistema apresenta as seguintes desvantagens: [7] [8]

- Necessidade de uma localização interior ou adjacente à construção de considerável dimensão.
- Espaço necessário para a instalação de condutas e/ou tubagens, com possibilidade de implicações relativas à área útil dos espaços.
- De acordo com o tipo de fonte de energia utilizado podem ser necessários tanques de armazenamento de consideráveis dimensões e sistemas de receção.
- Custo inicial de aquisição elevado, de acordo com a dimensão da instalação.

Os sistemas bomba de calor e “VRF” apresentam atualmente um comportamento semelhante a um sistema centralizado, contudo estes efetuam o processo de climatização por expansão direta, e assim são considerados sistemas autónomos.

2.2.1.2.1 Sistema tudo ar

Este é o tipo de sistema mais comum aplicado atualmente no que respeita à climatização de construções de significativa dimensão. A sua característica fundamental, e sobre a qual recai o seu princípio básico de funcionamento, reside no facto de este utilizar o ar como meio condutor da capacidade de produção de arrefecimento ou aquecimento em um determinado espaço ou conjunto de espaços. [7] [8]

Este é tipicamente um sistema de ventilação forçada do ar, em que a existência de uma unidade de tratamento de ar é fundamental para o seu funcionamento. Nesta, através da associação de diversas secções, é possível realizar o tratamento e condicionamento do caudal de ar exterior a insuflar nos espaços permitindo a sua climatização. Esta é constituída por filtros, recuperador de calor, bateria de arrefecimento, bateria de aquecimento, humidificador e ventilador. [7] [8]

As baterias de arrefecimento e aquecimento podem adquirir diferentes configurações por forma a permitir complementar o tipo de climatização pretendido. De acordo com o número e associação adotada é possível que a configuração de baterias seja efetuada em série ou em paralelo.

A distribuição do caudal de ar, entre a unidade de tratamento de ar e os espaços, é efetuada através de uma rede de condutas que pode, de acordo com o sistema de construção adotado, ser de traçado simples ou duplo. [7] [8]

Tipicamente a configuração de baterias encontra-se relacionada com o sistema de construção de condutas adotado. Assim, a configuração de baterias em série está associada à utilização de condutas de traçado simples, enquanto a configuração em paralelo está associada à utilização de condutas de traçado duplo.

De acordo com o tipo de instalação implementada é possível o reaproveitamento parcial das características do ar climatizado extraído dos espaços. Este reaproveitamento pode ser efetuado por meio de um recuperador de calor, permutador, utilizado no arrefecimento ou aquecimento do caudal de ar novo que o atravessa, ou por mistura entre o caudal de ar recirculado e o caudal de ar novo, caixa de mistura.

Ainda, no que respeita à forma como é efetuada a distribuição do caudal de ar entre a unidade de tratamento de ar e os espaços, é possível distinguir três tipos de sistemas, aquele em que o caudal a insuflar se mantém constante, variando apenas o valor da sua temperatura de insuflação “CAV”, aquele em que o valor da temperatura se mantém constante, variando o caudal de ar a insuflar “VAV”, ou aquele que varia o valor quer de temperatura, quer de caudal “VVT”.

Atualmente, o tipo de sistema que apresenta maior eficiência energética é aquele em que o valor da temperatura se mantém constante, variando apenas o caudal de ar a insuflar, este permite um controlo mais preciso da temperatura do ar, minimizando a quantidade de energia despendida no sobreaquecimento ou subarrefecimento desnecessário do ar, e aumentando o conforto dos seus ocupantes. [8] A diminuição da quantidade de energia utilizada fica também a dever-se à redução da velocidade de rotação necessária a cada ventilador quando em comparação com um sistema que utiliza a variação do valor da temperatura do ar. [7]

A utilização de sistemas de caudal variável necessita de equipamento adicional para efetuar o arrefecimento e o aquecimento em simultâneo de diferentes espaços o que aumenta o custo de aquisição e espaço dedicado ao sistema. Esta simultaneidade pode ser alcançada através de unidades de reaquecimento do ar a insuflar no interior de cada espaço, ocorrendo à diminuição da temperatura até ao mínimo desejável na unidade de tratamento de ar e posterior aquecimento deste no interior de cada espaço com o auxílio de uma bateria de reaquecimento, ou através de unidades de mistura de caudais de ar. Esta opção requer a existência de duas linhas de condutas, sendo uma dedicada ao arrefecimento e outra ao aquecimento do caudal de ar o qual deve ser controlado em cada unidade por forma a obter o valor de temperatura pretendido.

A utilização de sistemas de caudal variável permite o controlo do mesmo através da instalação de unidades terminais em cada espaço e de variadores de velocidade dos motores elétricos acoplados a cada ventilador. Cada unidade terminal é constituída, na sua forma mais simples, por um registo que permite o controlo do caudal de ar a insuflar através de uma sonda de temperatura. Por forma a evitar uma sobrepressão na linha de insuflação, derivada da posição de cada registo, um variador de velocidade regulará o valor de rotação de cada ventilador, através de um sensor de pressão, o que permite uma redução do consumo de energia quando em comparação com um sistema de caudal constante. A representação esquemática de funcionamento de um sistema deste tipo encontra-se na Fig. 4.

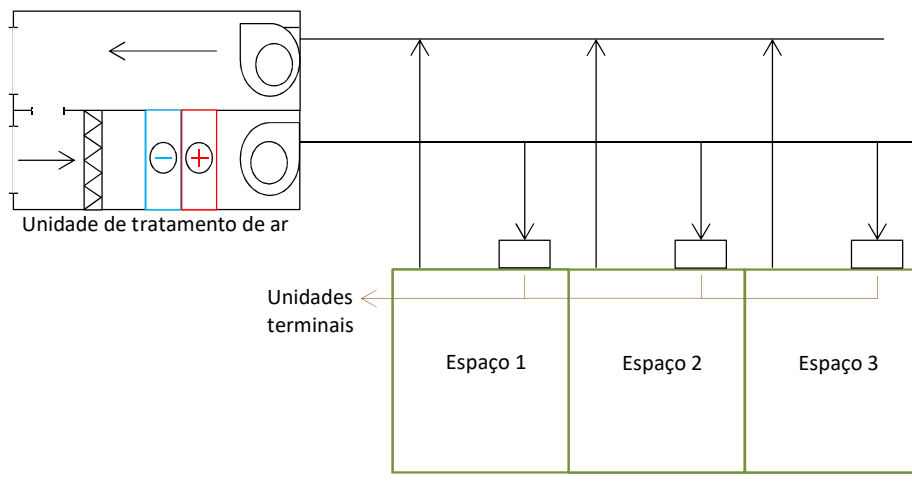


Figura 4: Representação esquemática do funcionamento do “VAV”

2.2.1.2.2 Sistema ar-água

A principal característica deste tipo de sistema é promover o arrefecimento e o aquecimento em ventiloconvectores instalados no interior de cada espaço. Isto é possível uma vez que o fluido térmico efetua a troca de calor necessária à climatização na unidade terminal de cada espaço, contrariamente ao que ocorre num sistema tudo ar, onde esta ocorre no interior da unidade de tratamento de ar.

Este tipo de instalação não prescinde, no entanto, de uma unidade de tratamento de ar, embora de reduzida dimensão, que permite o tratamento do ar a insuflar, nomeadamente o controlo da qualidade e humidade do ar.

A possibilidade de produção em simultâneo de arrefecimento e aquecimento nos espaços climatizados é dependente da configuração utilizada na distribuição do fluido térmico. Assim, esta pode ser a dois ou quatro tubos. O sistema a dois tubos apenas permite efetuar o arrefecimento ou aquecimento dos espaços, enquanto um sistema a quatro tubos permite a circulação contínua em simultâneo de ambos os fluidos térmicos, de arrefecimento e aquecimento.

2.2.1.2.3 Sistemas tudo água

Este tipo de sistema é em tudo idêntico ao descrito anteriormente, no entanto, não admite o tratamento do ar a insuflar, controlo de qualidade e humidade. Atualmente a sua principal aplicação é efetuada através de radiadores e piso radiante.

A utilização de piso radiante deve obedecer a critérios de projeto minuciosos, por forma a evitar uma diferença vertical excessiva de temperatura no corpo humano, consequência do contacto direto com a fonte de climatização, o que pode ter impactos negativos na saúde dos ocupantes, sempre que o valor da temperatura do piso se verifique substancialmente superior a 22 °C.

3 Descrição do navio e da instalação de climatização

A instalação de climatização objeto de estudo pertence a um navio propriedade da companhia Island Offshore Shipholding LP (empresa norueguesa), adiante também designada por Island Offshore.

O projeto do navio para o apoio a instalações de perfuração petrolífera foi adjudicado à empresa Rolls-Royce Marine AS, e a encomenda para a sua construção foi feita aos estaleiros STX OSV Brevik, atualmente Vard Brevik, localizados em Brevik, na Noruega.

O navio foi batizado a 29 de Novembro de 2013, com o nome M/V Island Dawn, sendo entregue à Island Offshore, a 21 de Janeiro de 2014, encontrando-se a operar na atividade para que foi projetado.

Inicialmente com bandeira da Noruega NIS e porto de registo Aalesund, o navio vem posteriormente a alterar a sua bandeira para Bahamas e porto de registo Nassau, mantendo inalterado o seu nome.

A 20 de Junho de 2016, o navio assegura um novo contracto com a empresa Tullow Oil PLC, empresa possuidora de duas licenças de exploração petrolífera no Ghana, data a partir da qual passa operar nessa região, utilizando como porto de apoio Takoradi, último registo de operação do navio, antecedente à sua inatividade provocada pela forte queda do mercado petrolífero.

3.1 Descrição sumária do navio

O navio sobre o qual recai o estudo da instalação de climatização foi encomendado pela empresa Island Offshore para o transporte de carga geral no convés, assim como de carga líquida para equipamentos de perfuração no Mar do Norte. Adicionalmente, foi equipado para tarefas como embarcação de combate a incêndio, de standby e de resgate.

O navio possui os seguintes elementos relevantes característicos:

- ✓ Tipo – PSV – DP II
- ✓ Design – UT 717 CD
- ✓ Certificados de classe – DNV +1A1, SF, E0, ICE-C, DK(+), HL(2.8), LFL*, DNV OILREC, DYNPOS AUTR, CLEAN DESIGN, COMF-V(3), NAUT-OSV(A), T-MON, FIFI 2
- ✓ Comprimento – 84.45 m
- ✓ Largura – 17.0 m
- ✓ Calado – 6.1 m
- ✓ Área do convés – 800 m²
- ✓ DW – 3.800 T
- ✓ Velocidade – 15.0 nós
- ✓ Máquina principal – 2* 2880 kW Bergen Rolls-Royce
- ✓ Alternador (veio) – 2* 2400 kVA Stamford
- ✓ Máquina auxiliar – 2* 470 kVA Scania
- ✓ Capacidade – 26 tripulantes
- ✓ Acomodação – 20 cabines
- ✓ Um refeitório
- ✓ Uma sala de entretenimento
- ✓ Um ginásio
- ✓ Um centro médico

Informação complementar pode ser consultada no Anexo I.

3.2 Descrição da instalação de climatização

O navio, entre outros sistemas, está provido com uma instalação de climatização, fornecida pela empresa AF AeronMollier da divisão marítima e de exploração petrolífera do grupo AF Gruppen ASA (empresa norueguesa), com o objetivo de assegurar condições confortáveis nas cabines e espaços públicos durante as diferentes estações do ano.

O ar é fornecido aos espaços descritos no parágrafo anterior através de ventiladores, instalados em duas unidades de tratamento de ar existentes a bordo do navio.

O controlo da instalação é feito a partir de cada unidade de tratamento de ar, da sala de controlo das máquinas e ainda da ponte do navio.

As características funcionais da instalação são tais que, para as condições de prevalência externas durante o verão de 35°C, uma humidade relativa de 80% e com uma temperatura máxima de água do mar de 32°C e de água doce de 37°C, as condições internas de temperatura serão de 27°C e uma humidade relativa de 50 %. Enquanto para as condições de prevalência externas durante o inverno de -20°C as condições internas serão de 20°C e uma humidade relativa de 30%.

Os espaços destinados à acomodação dos tripulantes e de lazer do navio são equipados por uma unidade de tratamento de ar, que recorre a um tipo de sistema tudo ar para efetuar a climatização dos mesmos. A ponte do navio encontra-se equipada com uma unidade de tratamento de ar independente que permite a climatização da mesma, de forma idêntica à descrita anteriormente, bem como o desembaciamento necessário dos vãos envidraçados aí existentes.

Os espaços de serviço do navio são ventilados por meio de sistemas dedicados, que garantem a insuflação e a extração de ar dos mesmos. Por sua vez, a maioria dos espaços com equipamento elétrico, ou onde a temperatura excessiva assim o exige, são adicionalmente equipados com um tipo de sistema ar-água.

A instalação de climatização descrita sumariamente nos parágrafos anteriores será alvo de uma descrição detalhada nos pontos seguintes.

3.2.1 Climatização da acomodação do navio

Na acomodação, o ar é insuflado através de unidades terminais instaladas sobre os painéis do teto com controlo individual de volume de ar recorrendo a uma rede de condutas de traçado simples e a uma unidade de tratamento de ar.

A unidade de tratamento de ar é composta dos seguintes elementos:

- 1 Unidade de mistura de ar, onde o ar novo é misturado com o ar de recirculação através de registos
- 1 Secção de filtragem de ar, com filtros do tipo F7
- 1 Secção de aquecimento por água quente 80/60 °C
Capacidade total: 83 kW
- 1 Secção de humidificação por produção de vapor, 30 kg/h
- 1 Secção de arrefecimento por água arrefecida 6/12 °C
Capacidade total: 150 kW
- 1 Secção de insuflação composta por um ventilador centrífugo com um motor elétrico diretamente acoplado de uma velocidade, de 12.8 kW
- 1 Secção de distribuição com ligação para condutas do tipo spiro

Na unidade de tratamento de ar, o ar é filtrado e os valores de temperatura e humidade relativa ajustados de acordo com os valores desejáveis.

Esta unidade de tratamento de ar permite um caudal de ar tratado de 8 230 m³/h e uma pressão estática externa de 1 800 Pa, estando projetada para uma recirculação máxima de ar de 27%.

A capacidade de recirculação de ar permite que durante a estação fria parte da energia despendida no aquecimento seja reaproveitada através da unidade de mistura entre o ar extraído e o ar novo que, depois de filtrado, será aquecido até atingir a temperatura desejável.

O aquecimento do ar a insuflar é alcançado por meio de água quente fornecida ao sistema por uma caldeira.

Da unidade de tratamento de ar faz parte um humidificador com o objetivo de minimizar a diminuição excessiva da humidade relativa provocada durante o processo de climatização, nomeadamente durante o aquecimento do ar.

Cada espaço da acomodação encontra-se ainda dotado de um radiador térmico elétrico para compensar, pontualmente, qualquer exigência de aquecimento necessária.

Durante a estação quente e em climas tropicais, quando o ar a ser extraído se encontra a uma temperatura e humidade relativa inferior à do ar exterior, a unidade de mistura permite o arrefecimento e diminuição de humidade do ar novo, o que atenua o consumo de energia no processo de arrefecimento.

O arrefecimento do ar à temperatura mínima desejável em qualquer um dos espaços a climatizar, assim como a consequente diminuição da humidade relativa, é então alcançável através do processo de arrefecimento levado a cabo numa bateria de frio alimentada a água arrefecida.

O sistema de distribuição de ar é efetuado recorrendo a uma rede de condutas, todas elas de secção circular, característica dos sistemas de elevada velocidade.

As condutas são isoladas termicamente durante a sua manufatura com lã mineral, sendo aplicada proteção mecânica no exterior. Este procedimento serve também para atenuar o ruído, além de perdas e ganhos indesejáveis que possam ocorrer.

Cada espaço situado na área da acomodação está equipado com uma ou mais unidades terminais, as quais, providas de um atuador manual, permitem realizar a abertura ou fecho do registro proveniente de cada conduta. As unidades terminais são ainda concebidas para atenuarem o ruído.

Por sua vez, o ar é extraído, maioritariamente, através dos espaços sanitários e corredores adjacentes por meio de ventiladores de exaustão. A ventilação natural é possível em determinados espaços através de comunicações diretas com o exterior.

O ar extraído é então libertado para a atmosfera através de grelhas, garantindo uma sobrepressão nas acomodações.

3.2.2 Climatização da ponte do navio

A climatização da ponte do navio é efetuada de forma semelhante à realizada nas acomodações conforme descrito anteriormente.

O ar é insuflado no espaço para climatização através de unidades terminais instaladas sobre os painéis do teto com controlo individual de volume de ar recorrendo a uma rede de condutas de traçado simples e a uma unidade de tratamento de ar. Em zonas de maior densidade de equipamento elétrico a insuflação de ar novo ocorre de forma semelhante sob o pavimento desses locais, contudo esta é proveniente da unidade de tratamento de ar da acomodação.

A unidade de tratamento de ar é composta dos seguintes elementos:

- 1 Unidade de mistura de ar, onde o ar novo é misturado com o ar de recirculação através de registos
- 1 Secção de filtragem de ar, com filtros do tipo M5
- 1 Secção de aquecimento por água quente 80/60 °C
Capacidade total: 30 kW (4400 m³/h de 20 a 40 °C)
- 1 Secção de arrefecimento por água arrefecida 6/12 °C
Capacidade total: 30 kW
- 1 Secção de insuflação composta por um ventilador centrífugo com um motor elétrico diretamente acoplado de uma velocidade, de 6.4 kW
- 1 Secção de distribuição com ligação para condutas spiro.
- 1 Resistência de reaquecimento, água quente, sistema de descongelamento 2 100 m³/h (20 a 40 °C)
- 1 Registos de controlo para o sistema de descongelamento, acionados por motor elétrico

Na unidade de tratamento o ar é filtrado e o valor de temperatura ajustado de acordo com os valores desejáveis.

Esta unidade de tratamento de ar permite um caudal de ar tratado de 4 400 m³/h e uma pressão estática externa de 1 800 Pa, estando projetada para uma recirculação máxima de ar de 100%.

Durante a estação fria, a capacidade de recirculação de ar na unidade de mistura permite que parte da energia necessária ao aquecimento seja reaproveitada através do aumento de temperatura do ar novo por parte do ar extraído.

O aquecimento do ar a insuflar é alcançado por meio de água quente fornecida ao sistema através de uma caldeira.

Durante a estação fria este sistema permite ainda a utilização do ar quente para o desembaciamento dos vãos envidraçados, recorrendo para isso a um sistema independente de condutas específicas para o efeito.

Durante a estação quente, e em climas tropicais, quando o ar extraído se encontra a uma temperatura e humidade relativa inferior à do ar exterior, dada a capacidade de recirculação do sistema, é possível uma diminuição da temperatura e da humidade do ar novo, o que atenua a necessidade de arrefecimento posterior do ar a insuflar.

O arrefecimento do ar à temperatura mínima desejável, assim como a conseqüente diminuição da humidade relativa, é efetuado, à semelhança do que acontece com a climatização das acomodações, através do processo de arrefecimento levado a cabo numa bateria de frio alimentada por água arrefecida.

No que respeita ao aspeto construtivo das condutas, estas apresentam as mesmas características que aquelas utilizadas para a climatização das acomodações.

O espaço está equipado com diversas unidades terminais, as quais, providas de um atuador manual, permitem realizar a abertura ou fecho do registo proveniente de cada conduta.

Por sua vez, a extração de ar ocorre através do espaço sanitário existente. A possibilidade de existência de ventilação natural é assegurada neste espaço por comunicações diretas com o exterior.

O ar extraído é então descarregado para a atmosfera através de grelhas, garantindo uma sobrepressão no espaço.

3.2.3 Climatização dos espaços de serviço técnico

A climatização dos espaços de serviço técnico do navio difere daquela utilizada nos espaços descritos anteriormente na forma como o tratamento do ar é realizado.

Nos espaços de serviço técnico do navio é ainda possível distinguir diferentes tipos de sistemas de climatização utilizados.

O mais comum faz utilização de ventiloconvectores instalados nos espaços que, percorridos por água arrefecida, permitem regular, manual ou automaticamente, a temperatura desejável. Estes equipamentos, porém, não permitem realizar o aquecimento do ar nos espaços, bem como a insuflação de ar novo, o qual é realizado através do sistema utilizado na climatização das acomodações, descrito anteriormente, ou por ventiladores próprios.

A sua utilização justifica-se, maioritariamente, devido à temperatura máxima que não pode ser ultrapassada nestes espaços, por forma a manter a integridade de funcionamento dos equipamentos elétricos aí presentes.

Os espaços de serviço técnico do navio que utilizam este tipo de climatização são os seguintes:

- Sala de controlo da casa das máquinas;
- Oficina da casa das máquinas;
- Sala de equipamento de navegação;
- Sala dos barramentos principais.

Um sistema idêntico, não permitindo a regulação de temperatura, é utilizado nos restantes compartimentos da casa das máquinas. O sistema faz utilização, em cada um dos compartimentos, de um ou mais grupos de baterias de frio alimentadas por água arrefecida e ventiladores, os quais permitem reduzir a temperatura a que os espaços se encontram sujeitos.

No que respeita ao processo de climatização do espaço onde se verifica a conceção de refeições este é constituído por um sistema idêntico aquele que se verifica na acomodação do navio, contudo, de dedicação exclusiva e com extração diretamente para o exterior.

3.3 Equipamentos

O arrefecimento do ar a insuflar nos espaços climatizados referidos anteriormente é alcançado indiretamente através de uma unidade produtora de água arrefecida, que se encontra instalada no compartimento da casa das máquinas.

A unidade é composta por dois compressores, dois condensadores refrigerados por água doce, um evaporador e ainda duas unidades de controlo independentes.

Nas condições normais de funcionamento para as quais a instalação foi concebida, um compressor, deve permanecer em funcionamento enquanto o outro é mantido como redundante. Podendo este ser posto em funcionamento em situações de manutenção ou de temperatura exterior excessivamente elevada.

Assim, nesta unidade, é arrefecida a água que alimenta as baterias de frio das unidades de tratamento de ar, que permitirá arrefecer o ar insuflado nos espaços durante a estação quente, ou sempre que assim seja necessário.

Por sua vez, o fluido refrigerante utilizado no sistema é arrefecido no condensador por água doce, sendo esta, posteriormente, arrefecida num permutador de calor através de água salgada.

Durante a estação fria, ou quando assim for necessário, o aquecimento do ar insuflado é assegurado por meio de água quente fornecida ao sistema através da caldeira existente no navio.

A circulação de água através do sistema, para qualquer das situações descritas anteriormente, é assegurada por quatro bombas, duas dedicadas a cada sistema, sendo que uma se encontra em funcionamento e a outra como redundante. Estas garantem a circulação de água através das baterias de aquecimento e arrefecimento das unidades de tratamento de ar distribuídas pelo navio.

A totalidade de características técnicas de cada equipamento constituinte da instalação de climatização existente pode ser consultada em anexo (Anexo IV a VI).

4 Simulação dinâmica

Atualmente, através de ferramentas informáticas, é possível desenvolver simulações dinâmicas que sustentem os projetos de dimensionamento de qualquer tipo de instalação de climatização que venha a ser construída ou existente. Estas permitem realizar uma análise computacional do comportamento de um sistema ao longo do tempo quando afeto a diferentes variáveis.

Previamente à sua realização, é necessário efetuar um levantamento minucioso das diferentes variáveis que intervêm no funcionamento do sistema. Assim é necessário efetuar o reconhecimento pormenorizado da constituição do ponto de vista construtivo e dimensional dos espaços, da envolvente, dos equipamentos de climatização, da iluminação, da atividade desenvolvida, da ocupação, dos horários de funcionamento, entre outros.

A criação de um modelo computacional, o mais detalhado quanto possível, permitirá uma aproximação à realidade das condições existentes. Alcançando-se neste caso em concreto o objetivo proposto por esta dissertação que assenta na análise e validação do projeto da instalação existente.

4.1 Solução proposta e justificação legislativa

O sistema de climatização proposto, em detrimento do existente e descrito no capítulo 3, visa a utilização de um sistema centralizado do tipo ar-água.

O sistema proposto prevê a climatização através de ventiloconvetores instalados no interior de cada espaço. A configuração adotada será a de quatro tubos o que permite o arrefecimento e o aquecimento em simultâneo de diferentes espaços.

A produção de água arrefecida será efetuada por uma unidade produtora concebida para o efeito, enquanto a água quente produzida por uma bomba de calor. Os dois sistemas apenas devem funcionar em simultâneo quando estritamente necessário em função das condições climáticas exteriores.

A unidade produtora de água arrefecida será constituída por dois compressores do tipo “scroll” que partilham entre si o ciclo de refrigeração. A transferência de calor que ocorre no condensador será efetuada entre o agente refrigerante primário e o circuito de arrefecimento de água doce, sendo este, por sua vez, arrefecido através do circuito de arrefecimento de água do mar.

O agente refrigerante primário utilizado, atendendo à legislação e recomendações atuais, deverá ser o R-407C. A sua seleção cumpre as recomendações estabelecidas nos Protocolos de Montreal e de Quioto no que respeita à diminuição do impacto ambiental a partir de instalações de refrigeração de forma direta e indireta. O potencial de aquecimento global e de destruição do ozono, cruciais à seleção de um agente refrigerante, pode ser consultado no Anexo IX.

A produção de água quente será efetuada a partir de uma bomba de calor¹, esta deve utilizar como fonte de energia o circuito de arrefecimento das máquinas principais. Este apresenta um valor temperatura mínimo de 60 °C durante o período de inoperação das máquinas principais.

A circulação de água através do sistema será assegurada por bombas do tipo centrífugo. Cada sistema deverá estar equipado com duas bombas, sendo que uma se encontra em funcionamento e a outra como redundante.

O sistema proposto prevê a existência de duas unidades de tratamento de ar independentes dedicadas à acomodação e ponte do navio do tipo tudo ar novo. Estas garantem a qualidade do ar a insuflar nos espaços a climatizar onde este será filtrado e a sua temperatura e humidade relativa corrigidas. Cada unidade é equipada com um recuperador de calor estático do tipo fluxos cruzadas que permite a recuperação térmica do ar de extração.

A distribuição de ar será efetuada através de uma rede de condutas de secção circular isolada térmica e acusticamente que garantem a interligação entre as unidades de tratamento de ar novo e as unidades terminais no interior dos espaços. A insuflação de ar novo nos espaços através das unidades terminais existentes deve ser efetuada adjacente à aspiração de cada ventiloconvetor.

¹ A sua utilização em detrimento do reaproveitamento direto através de um permutador de calor entre o circuito de arrefecimento das máquinas principais deve ser suportada por uma análise aos circuitos que com este partilham funcionamento.

Cada espaço será equipado com o número de ventiloinvetores necessários que garantam o arrefecimento e aquecimento necessário do ar nas baterias respetivas. Este deve possuir também um ventilador de insuflação e filtro de ar. O controlo do valor de temperatura de cada espaço, e conseqüente funcionamento do número de ventiloinvetores existentes é efetuado de forma individual e automática através de um controlador.

A extração de ar, e posterior recuperação térmica, é efetuada através dos espaços sanitários e corredores adjacentes por meio de ventiladores de exaustão.

O sistema proposto prevê a existência de uma unidade de gestão centralizada que permite a monitorização e comando remoto dos equipamentos constituintes da instalação. Este fornece, de forma complementar, informação relevante à gestão energética e de manutenção do sistema.

A representação esquemática do funcionamento da instalação de climatização proposta encontra-se para consulta no Anexo VII.

Justificação legislativa

A solução proposta cumpre com a legislação aplicativa existente e visa, sempre que se verifique, a conformidade com os padrões mais elevados exigidos pela sociedade classificadora à emissão de certificação correspondente.

A sociedade classificadora, à semelhança do que se verifica com a totalidade dos navios e instalações de exploração petrolífera da empresa, será a Det Norske Veritas and Germanischer Lloyd (DNV GL). A qual, em conformidade com a legislação internacional existente, procede à emissão de certificação no cumprimento dos padrões estabelecidos. Esta estabelece no seu conjunto de regras para a classificação de navios, parte 6, capítulo 8 (edição Outubro 2015 – emendas Julho 2017), as recomendações a verificar relativas às condições de vida e de trabalho, onde constam as condições climáticas interiores a ser respeitadas relativamente ao conforto térmico e qualidade do ar dos seus ocupantes.

As referências normativas internacionais atuais mais relevantes utilizadas como base à criação do conjunto de recomendações da sociedade classificadora são:

- ISO 7547, *Shipbuilding – Air-conditioning and ventilation of accommodation spaces on board ships – Design conditions and basis of calculations*,
- ISO 7730, *Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PV and PPD indices and local thermal comfort criteria*,
- ISO 7726, *Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities*,
- ASHRAE, Applications Handbook. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. Atlanta, 91,
- ANSI/ASHRAE, Standard 55 – 2004; *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*,
- ANSI/ASHRAE, Standard 62.1 – 2007, *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*,
- CIBSE Commissioning Code A: 1996 (2006); *Air Distribution System (The Chartered Institute of building Service Engineers)*.

A solução proposta utiliza, mas não se limita, à legislação apresentada. Sempre que se verifique necessário será feita referência, em conformidade com a atualização mais recente.

4.2 Condições de projeto

4.2.1 Caracterização da envolvente

A caracterização da envolvente permite discriminar do ponto de vista físico e térmico os elementos construtivos, opacos, sejam eles anteparas, pavimentos ou coberturas, e os não opacos, nomeadamente envidraçados.

A caracterização dos materiais e dos elementos construtivos da envolvente é apresentada de forma sucinta ao longo das seguintes tabelas. Os valores característicos dos materiais apresentados foram obtidos quer junto dos fabricantes e fornecedores, quer da norma ITE 50¹-2006 publicada pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil e ISO 10456²-2007.

Materiais	Condutibilidade térmica (W/m*K)	Calor específico (J/kg*K)	Densidade (kg/m3)
<i>Metais</i>			
Aço	50.000	450.000	7800.000
Aço inoxidável	17.000	460.000	7900.000
<i>Vidros</i>			
Vidro simples	2.720		
<i>Plásticos</i>			
Cloreto polivinílico (PVC)	0.170	900.000	1390.000
Poliuretano (PU)	0.250	1800.000	1200.000
Resina epóxi	0.200	1400.000	1200.000
Tinta	0.200	1500.000	1050.000
<i>Isolantes</i>			
<i>Lã de rocha</i>			
SeaRoxSL320	0.045	840.000	60.000
SeaRoxSL436	0.035	840.000	140.000
SeaRoxSL470	0.038	840.000	180.000
SeaRoxSL720	0.045	840.000	32.000
SeaRoxWM620	0.045	840.000	90.000
<i>Gases</i>			
	Resistência térmica (m ² *k/W)		
Caixa de ar	0.180		

Tabela 1: Características térmicas dos materiais de construção

¹ITE 50-2006 – Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios.

²ISO 10456-2007 – Building materials and products – Hygrothermal properties – Tabulated design values and procedures for determining declared and designed thermal values.

4.2.1.1 Antepara exterior

A caracterização térmica da envolvente exterior é efetuada através da agregação dos diferentes materiais e elementos construtivos enumerados anteriormente de diferentes formas. As características construtivas de uma antepara exterior utilizadas na construção do navio são apresentadas na Tab. 2, estando as restantes disponibilizadas para consulta no Anexo XII.

Corpo – Antepara exterior 01			
Constituintes	Espessura (mm)	Resistência Térmica (m ² *K/W)	Coefficiente de transmissão térmica (W/m ² *K)
Tinta exterior	3.00	4.363	0.229
Aço	15.00		
Tinta interior	1.00		
Lã de rocha – SeaRoxSL720	100.00		
Lã de rocha – SeaRoxSL720	50.00		
Caixa de ar	429.00		
Aço	0.70		
Lã de rocha – SeaRoxSL470	25.00		
Aço	0.70		
Cloreto polivinílico (PVC)	0.20		

Tabela 2: Características térmicas exemplificativas de uma antepara exterior

4.2.1.2 Antepara interior

À semelhança do raciocínio efetuado para a caracterização térmica e construtiva da envolvente exterior, são enumeradas na Tab. 3 as características de uma antepara interior. Este é o tipo de antepara mais comum presente no navio entre espaços climatizados. Encontram-se disponibilizadas para consulta no Anexo XII os restantes tipos de anteparas utilizados na construção.

Corpo – Antepara interior 01			
Constituintes	Espessura (mm)	Resistência Térmica (m ² *K/W)	Coefficiente de transmissão térmica (W/m ² *K)
Cloreto polivinílico (PVC)	0.20	1.578	0.634
Aço	0.70		
Lã de rocha – SeaRoxSL470	50.00		
Aço	0.70		
Cloreto polivinílico (PVC)	0.20		

Tabela 3: Características térmicas exemplificativas de uma antepara interior

4.2.1.3 Cobertura e pavimento

A caracterização térmica e construtiva entre a cobertura e o pavimento entre espaços adjacentes é apresentada de forma associada na Tab. 4. O que permite avaliar o valor da resistência e o coeficiente de transmissão térmica total dos dois constituintes. No Anexo XII é possível consultar a caracterização das restantes construções.

Corpo – Fronteira teto/chão interior 01			
Constituintes	Espessura (mm)	Resistência Térmica (m ² *K/W)	Coeficiente de transmissão térmica (W/m ² *K)
Cloreto polivinílico (PVC)	1.00	2.039	0.490
Aço	2.00		
Poliuretano (PU)	1.00		
Aço	2.00		
Lã de rocha – SeaRoxSL436	30.00		
Resina epóxi	10.00		
Poliuretano (PU)	1.00		
Tinta interior	1.00		
Aço	15.00		
Tinta interior	1.00		
Caixa de ar	500.00		
Lã de rocha – SeaRoxSL470	25.00		
Aço	0.70		

Tabela 4: Características térmicas exemplificativas entre dois pisos

4.2.1.4. Portas e vãos envidraçados

A caracterização térmica e construtiva das portas, exteriores e interiores, e dos vãos envidraçados existentes é enumerada na Tab. 5. A geometria e dimensão de cada elemento são apresentadas em suporte informático no Anexo XII, no ficheiro correspondente ao modelo criado.

Corpo – Portas e vãos envidraçados			
Constituintes	Espessura (mm)	Resistência Térmica (m ² *K/W)	Coeficiente de transmissão térmica (W/m ² *K)
Portas exteriores			
Tinta exterior	3.00	0.275	3.630
Aço inoxidável	8.00		
Portas interiores			
Cloreto polivinílico (PVC)	0.20	1.578	0.634
Aço	0.70		
Lã de rocha – SeaRoxSL470	50.00		
Aço	0.70		
Cloreto polivinílico (PVC)	0.20		

Vãos envidraçados			
Tipo 1 – Vidro laminado	15.00	–	5.817
Tipo 2 – Vidro laminado	19.00	–	5.767

Tabela 5: Características térmicas exemplificativas de portas e vãos envidraçados

4.2.2 Temperatura interior

O modelo criado estabelece como condições de prevalência interna de temperatura durante o verão de 25 °C e durante o inverno de 20 °C. Estas devem ser preservadas independentemente das temperaturas que se façam sentir no exterior para as diferentes condições climáticas do ano.

Os valores de temperatura foram estabelecidos por forma a respeitar as recomendações relativas ao conforto térmico para espaços de ocupação humana determinados pela sociedade classificadora em condordância com a norma 55¹-2017 da ANSI/ASHRAE. Os valores antes referidos garantem o cumprimento do nível mais elevado de conforto existente exigido pela sociedade classificadora para emissão de certificação correspondente.

4.2.3 Humidade relativa interior

O intervalo de valores de humidade relativa estabelecido deve ser igual ou superior a 30 % e igual ou inferior 60 % de acordo com o o padrão máximo de conforto definido pela sociedade classificadora.

¹ ANSI/ASHRAE Standard 55-2017 – *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*.

4.2.4 Caudal de ar novo

O caudal mínimo de ar novo de cada espaço foi determinado de acordo com as recomendações da sociedade classificadora em concordância com o nível mais elevado de conforto definido. Estas são em função do caudal mínimo de ar novo por pessoa. O valor total de cada espaço depende do valor de ocupação máximo verificado. Tipicamente, os valores determinados são superiores àqueles recomendados através da norma 62.1¹-2016 da ANSI/ASHRAE.

As condições que garantem o cumprimento do nível mais elevado de conforto existente estabelecido através da sociedade classificadora exigem que se verifique um caudal de ar novo por pessoa de 10 l/s, à exceção do centro hospitalar, onde este deve ser 12 l/s.

De forma análoga, é estabelecido como valor máximo da velocidade do ar 0.25 m/s no interior das cabines e espaços de elevado índice metabólico derivado da atividade física e metabólica realizada, e 0.20 m/s nos restantes espaços do navio, à exceção do centro hospitalar, o qual deve ser 0.15 m/s.

A totalidade de ar novo a insuflar nos espaços climatizados, de acordo com as recomendações da sociedade classificadora, prevê a existência de filtros que garantam a qualidade do mesmo. A sua eficiência deve permitir a retenção de 90 % das partículas de tamanho igual ou superior a 1 µm.

A climatização das instalações sanitárias e corredores é efetuada de forma indireta através da extração do ar insuflado nos espaços adjacentes. Este deve ser suficiente por forma a garantir a correta climatização de ambos os espaços. O valor do caudal mínimo de ar novo estabelecido anteriormente para cada espaço que usufrua de uma instalação sanitária no seu interior será incrementado, sempre que necessário, da quantidade mínima necessária por forma a cumprir com o raciocínio anterior.

As recomendações existentes exigidas pela sociedade classificadora não especificam o valor de extração necessário para esta situação. O valor utilizado será em conformidade com a norma 62.1¹-2016 da ANSI/ASHRAE. Será adotado a utilização de 15 l/s no caso de instalações sanitárias privadas presentes no interior de cada cabine.

¹ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2016 – *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*.

Os valores de caudal de ar novo, mínimo, e de velocidade do ar estabelecidos para cada espaço do navio são apresentados na Tab. 6.

Espaço	Área m ²	Ocupação máxima	Caudal mínimo de ar por pessoa (l/s)	Caudal mínimo de ar por m ² (l/s)	Velocidade do ar (m/s)
Bridge Deck					
Wheelhouse	108.5	4	10	0.4	0.20
C-Deck					
Cabine1	12.4	1	10	1.2	0.25
Room1	4.9	1	10	2.0	0.25
Cabin2	12.4	1	10	1.2	0.25
Room2	4.9	1	10	2.0	0.25
Cabin3	10.1	1	10	1.5	0.25
Cabin4	10.1	1	10	1.5	0.25
Cabin5	10.1	1	10	1.5	0.25
Cabin6	10.1	1	10	1.5	0.25
Cabin7	12.1	1	10	1.2	0.25
Instrument room	13.2	1	10	0.8	0.20
Office	7.7	2	10	2.6	0.20
B-Deck					
Cabin1	10.6	1	10	1.4	0.25
Cabin2	10.6	1	10	1.4	0.25
Cabin3	10.1	1	10	1.5	0.25
Cabin4	10.1	1	10	1.5	0.25
Cabin5	10.1	1	10	1.5	0.25
Cabin6	11.6	1	10	1.3	0.25
Cabin7	10.9	1	10	1.4	0.25
A-Deck					
Cabin1	8.9	2	10	2.2	0.25
Cabin2	9.9	2	10	2.0	0.25
Cabin3	11.1	2	10	1.8	0.25
Cabin4	9.8	2	10	2.0	0.25
Mess room	42.1	16	10	3.8	0.25
Day room	32.0	8	10	2.5	0.25
Dry provision	16.7	1	10	0.6	0.20
Main Deck					
Cabin1	14.7	2	10	1.4	0.25
Linen	8.6	1	10	1.2	0.25
Cabin2	12.7	2	10	1.6	0.25
Laundry	10.4	2	10	1.9	0.20
Gymnasium	19.5	3	10	1.5	0.25
Treatment room	17.6	3	12	2.0	0.15
Wardrobe	14.8	4	10	2.7	0.20
Reception	10.8	2	10	1.9	0.20

Tween Deck					
Engine workshop	14.5	2	10	1.4	0.25
Engine control room	31.5	2	10	0.6	0.20

Tabela 6: Caudal mínimo de ar novo e velocidade do ar característicos

4.2.5 Perfil de ocupação

O perfil de ocupação dos espaços do navio é maioritariamente função da sua finalidade, da sua característica física, do seu horário de funcionamento e do horário de trabalho dos seus ocupantes. O perfil de ocupação foi estabelecido de forma individual para cada espaço de acordo com as variáveis descritas.

A finalidade de cada espaço influencia diretamente o índice metabólico dos seus ocupantes. O valor utilizado cumpre com a recomendação presente na norma 55-2017 ANSI/ASHRAE para um adulto do sexo masculino com uma área de superfície de 1.8 m².

O valor referente ao isolamento do vestuário utilizado define 0.5 Clo durante a estação quente e 1.0 Clo durante a estação fria do ano. Os valores adotados cumprem a recomendação presente na norma 55-2017 ANSI/ASHRAE.

4.2.6 Perfil de iluminação e equipamentos

O perfil de iluminação e dos equipamentos é função da razão do seu valor de potência e da área do espaço onde se encontram. Os valores utilizados são resultado de um minucioso levantamento e análise dos desenhos de construção e distribuição elétrica existentes. Na ausência de elementos foram utilizados valores de referência.

4.3 Modelo de simulação dinâmica

O levantamento dos diferentes parâmetros, descritos de forma sucinta nos pontos anteriores, que intervêm no funcionamento do sistema permite agora que seja possível a sua introdução no modelo criado. A aplicação da interface gráfica utilizada permite facilitar a criação e parametrização do mesmo para posterior operação de cálculo. Esta ferramenta possibilita a utilização de plantas de arquitetura na criação de um modelo geométrico tridimensional da construção existente e respetivas divisões interiores. Os diferentes parâmetros afetos a cada divisão são definidos de forma intuitiva nos campos específicos presentes em cada separador do menu referente aos dados do modelo.

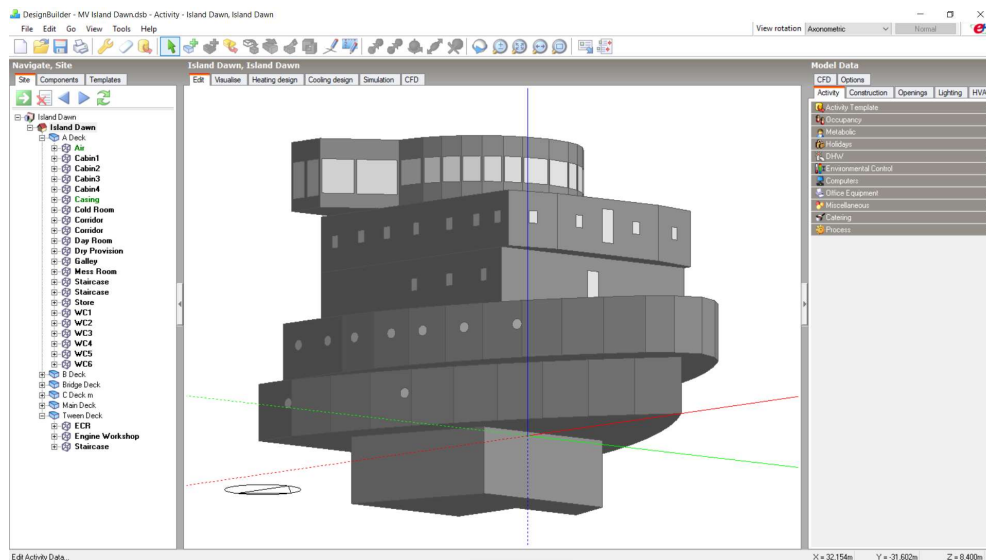


Figura 5: Representação da interface existente entre o programa e o utilizador na simulação desenvolvida

Para a concretização do objetivo proposto foram efetuadas duas simulações distintas as quais permitiram avaliar o comportamento da instalação para as condições de funcionamento global a que esta possa estar sujeita. Assim, em seguida serão apresentados os valores obtidos inerentes ao cálculo da potência térmica, de aquecimento e arrefecimento, necessária à instalação.

4.4 Dados da estação fria e análise comportamental em função do tempo

A primeira fase desta simulação tem como objetivo determinar a potência térmica de aquecimento necessária ao funcionamento da instalação em análise. Sendo expectável que esta seja mais relevante durante a estação mais fria do ano, o Inverno. Torna-se evidente que a localização para a simulação da mesma deva ser aquela que apresente as condições climatéricas menos favoráveis durante esta época do ano. Contudo, esta encontra-se limitada ao arquivo de dados climatológicos do programa informático utilizado.

Assim, os valores aqui obtidos e apresentados são relativos à simulação dinâmica realizada para as condições climatéricas que se fazem sentir ao longo do ano em Bergen, Noruega. A localização geográfica mais a norte de que há registo de operação de um navio com as mesmas características desta companhia é Kirkenes, Noruega, durante a estação quente do ano.

Para a compreensão dos valores apresentados e obtidos para cada um dos espaços que compõem a instalação deste estudo torna-se necessário uma análise prévia dos mesmos. A instalação foi dividida e analisada em seis blocos distintos, correspondentes ao número de pisos da mesma, avaliando para cada um destes blocos e cada um dos seus espaços, os valores das variáveis que afetam e permitem determinar a necessidade térmica total da instalação.

A assimetria que se verifica quanto ao tipo de espaços existentes no bloco designado por “A-Deck” e o perfil de ocupação dos mesmos justifica a relevância deste piso na compreensão e na análise da simulação efetuada.

A análise em particular de um espaço do piso em questão permite observar em pormenor os valores cujo somatório com os restantes do mesmo bloco permitiram determinar a necessidade térmica a este necessária assim como a total do navio. Assim, e dada a generalização do mesmo e a relevância que este tem junto do conforto dos seus ocupantes, são apresentados na Tab. 7 os valores obtidos através da simulação para o espaço “cabin4”.

A-Deck – Cabin4 – Temperature and Heat Loss	
Air Temperature (°C)	20.00
Radiant Temperature (°C)	18.32
Operative Temperature (°C)	19.16
Outside Dry-Bulb Temperature(°C)	-8.00
Walls (kW)	-0.05
Ceilings (int) (kW)	–
Floors (kW)	–
Partitions (int)(kW)	-0.05
Roofs (kW)	-0.02
Floors (ext) (kW)	-0.03
External Infiltration (kW)	-0.20
External Vent. (kW)	-0.74
Zone Sensible Heating (kW)	1.09

Tabela 7: Perdas de calor e temperatura do espaço “Cabin4” do piso “A-Deck”

Os valores obtidos e apresentados na Tab. 7 representam as temperaturas de operação que se fazem sentir no espaço em análise, o qual representa uma cabine cuja ocupação máxima é de dois ocupantes. É também possível observar as perdas de calor e temperatura registadas neste local, assim como o valor da necessidade térmica necessária ao espaço.

É possível observar que para o dia do ano cujas condições climatéricas foram as menos favoráveis, de acordo com as condições estabelecidas para esta simulação, se verifica uma temperatura exterior de -8.00 °C.

Às condições climatéricas observadas no exterior corresponde uma temperatura operativa interior de 19.16 °C. Esta, é determinada através do valor médio encontrado entre a temperatura do ar interior e a temperatura radiante, 20.00 °C e 18.32 °C, respetivamente.

Relativamente à potência térmica que se regista para este espaço, esta é determinada de forma a anular o somatório total de perdas existente. É notório que esta é maioritariamente afetada por infiltrações, resultado da impermeabilização do navio, e através da renovação de ar. Assim, verifica-se que o valor determinado para este espaço é 1.09 kW de potência sensível.

A limitação existente no que respeita à definição geométrica de construção do programa utilizado implica uma incorreta avaliação das perdas através da envolvente, nomeadamente “Floors (ext)” no espaço analisado com o valor de 0.03 kW. No entanto, é possível verificar que este contribui de forma insignificante no cálculo final da potência total de aquecimento da instalação, atendendo à grandeza do valor em questão e a situação análoga inversa que se verifica através da antepara exterior “Walls” com o valor 0.05 kW.

A análise realizada anteriormente para o espaço “cabin4” permite agora uma melhor compreensão dos valores alcançados através da simulação dinâmica realizada no piso a que este pertence “A-Deck”.

Relativamente a este piso apenas foram tidos em conta, para efeitos desta simulação e determinação da potência térmica necessária, os espaços climatizados, excluindo-se assim todos os outros. É desta forma que se torna possível determinar os valores de temperatura operativa, perdas e o respetivo valor da necessidade térmica necessária que se fazem registar neste piso e que são apresentados.

A-Deck – Temperature and Heat Loss	
Air Temperature (°C)	20.00
Radiant Temperature (°C)	17.54
Operative Temperature (°C)	18.77
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	-8.00
Walls (kW)	-0.58
Ceilings (int) (kW)	-0.13
Floors (int) (kW)	-0.11
Partitions (int)(kW)	-1.11
Roofs (kW)	-0.36
Doors and vents (kW)	-0.25
Floors (ext) (kW)	-0.26
External Infiltration (kW)	-2.67
External Vent. (kW)	-12.34
Zone Sensible Heating (kW)	17.82

Tabela 8: Perdas de calor e temperatura do piso “A-Deck”

No caso do piso em análise “A-Deck” é possível verificar que segundo as condições que foram estabelecidas para esta simulação, para o dia de Inverno mais rigoroso do ano, cuja temperatura exterior registada foi de -8.00 °C a temperatura ambiente no interior deste piso foi de 18.77 °C, um valor inferior ao que se verifica no espaço “cabin4”, 19.17 °C. Como referido anteriormente, esta temperatura é determinada efetuando a

média de temperatura entre o ar interior e a temperatura radiante, neste caso, 20.00 °C e 17.54 °C, respetivamente, calculados a partir da média registada para cada espaço em análise pertencente a este piso.

Relativamente à potência térmica necessária que se verifica para este piso esta é determinada de forma a anular o somatório total de perdas existentes, cujo valor é 17.82 kW de potência sensível, superior ao que se verifica no espaço “cabin4”, 1.09 kW, como expectável.

Verifica-se que esta é maioritariamente afetada por perdas através de infiltrações, resultado da impermeabilização do navio e através da renovação de ar, como é possível observar na representação gráfica e Anexo X.



Figura 6: Representação gráfica das perdas de calor, temperaturas e necessidade de aquecimento do piso “A-Deck”

Torna-se, agora, possível avaliar os valores totais referentes ao piso em análise, e que traduzem a potência térmica de aquecimento necessária a cada espaço, por forma a manter as temperaturas de conforto interiores desejáveis, independentemente das condições climáticas que se façam sentir no exterior e das perdas existentes entre os diversos espaços e entre estes e o exterior.

Zone	Comfort Temperature (°C)	Steady-State Heat Loss (kW)	Design Capacity (kW)
A-Deck – Total Design Heating Capacity = 21.380 (kW)			
Store	-8.55	0.00	0.00
Cabin1	18.66	1.18	1.42
Cabin3	18.95	1.20	1.44
Galley	5.45	0.00	0.00
Dry Provision	17.90	1.45	1.74
Day Room	18.78	4.28	5.13
Mess Room	19.02	7.37	8.84
Cabin4	19.16	1.09	1.31
Cabin2	18.62	1.25	1.50
Casing	-3.59	0.00	0.00
Cold Room	6.94	0.00	0.00
WC1	5.88	0.00	0.00
WC3	11.70	0.00	0.00
Corridor	8.24	0.00	0.00
Staircase	4.17	0.00	0.00
WC2	5.19	0.00	0.00
WC4	13.80	0.00	0.00
WC5	8.45	0.00	0.00
Corridor	5.01	0.00	0.00
Staircase	3.46	0.00	0.00
WC6	5.71	0.00	0.00
Air	-2.01	0.00	0.00

Tabela 9: Necessidade de aquecimento individual de cada espaço do piso “A-Deck”

A potência de aquecimento necessária a cada espaço, calculada a partir do somatório de perdas que se verifica no interior do mesmo, é incrementada através de um fator de segurança com o valor de 1.2.

Na simulação efetuada, não foram objeto de cálculo as necessidades de aquecimento necessárias para os espaços não ocupados, assim como dos espaços onde se realize a extração do ar insuflado. Não foram também considerados os espaços de serviço técnico que possuam entradas para os mesmos, distintas daquelas utilizadas na zona de acesso às áreas climatizadas da acomodação.

São considerados, para efeito deste trabalho “espaços sem ocupação” aqueles onde a presença humana é quase impossível de se vivenciar ou de acontecer, a não ser em casos muito excepcionais. São exemplos de espaços deste tipo, o tanque de água localizado à proa “Emptyspace”, o espaço destinado para a passagem das condutas de evacuação dos gases das máquinas principais, caldeira e incineradora “Casing” localizado a bombordo e o espaço destinado para a passagem das condutas de insuflação de ar da casa das máquinas “Air”.

Nestes, os valores relativos à potência de aquecimento necessária não se verificam, uma vez que a sua climatização não é realizada, quer por ser impossível de acontecer, quer por os mesmos possuírem temperaturas características próprias inerentes da sua função.

A extração do ar insuflado é realizada, essencialmente, nas instalações sanitárias e nos espaços de circulação (escadas e corredores). Nestes, a climatização ocorre por meio de partilha das condições que se façam sentir nos espaços adjacentes e que com estes realizem trocas de massas de ar. Um caso particular de um espaço deste tipo é a cozinha do navio, que utiliza um sistema independente com características únicas de climatização e ventilação.

Nos espaços de serviço técnico, que possuam entradas para os mesmos, distintas daquelas utilizadas na zona de acesso às áreas climatizadas da acomodação, onde a climatização for necessária, a mesma será efetuada por meio de radiadores térmicos elétricos de ventilação forçada. Sendo a sua necessidade de aquecimento calculada em separado. Um caso particular será o tratamento das câmaras frigoríficas de conservação de alimentos.

É desta forma que se justificam os valores de temperatura que se fazem sentir nos diferentes espaços não sujeitos a climatização na análise efetuada. Esta situação é agravada pelo facto de o programa utilizado não realizar de forma correta um balanço entre a totalidade dos caudais existentes.

O conjunto de análises efetuadas anteriormente permite, de forma análoga à anterior, determinar o valor total da necessidade de aquecimento do navio para as condições em análise e assim a potência térmica de aquecimento a instalar para o seu funcionamento durante o ano, em particular durante a estação fria.

Zone	Total Design Heating Capacity (kW)
M/V Island Dawn	78.630
Bridge-Deck	15.880
C-Deck	13.000
B-Deck	8.390
A-Deck	21.380
Main-Deck	14.000
Tween-Deck	5.980

Tabela 10: Necessidade de aquecimento total da instalação

Os pisos do navio que contribuem de forma mais significativa para o incremento da potência de aquecimento necessária são a ponte “Bridge-Deck” e aquele onde se encontra o refeitório e a sala de entretenimento “A-Deck”. A característica construtiva e dimensional destes espaços, assim como o perfil de ocupação, atividade desenvolvida e equipamentos instalados justificam esse valor.

O piso “B-Deck”, onde se verifica a maior uniformização quanto ao tipo de espaços que comporta, constituído por cabines de ocupação individual apresenta a menor necessidade de aquecimento necessária ao navio em função da sua área de superfície.

A representação gráfica relativa à Fig. 7 e Anexo X, permite observar e evidenciar o contributo das diferentes perdas existentes.



Figura 7: Representação gráfica das perdas de calor e temperatura, e necessidade de aquecimento total da instalação

A contribuição da ponte no valor total de perdas através de elementos não opacos, vãos envidraçados, é evidente, este espaço apresenta um valor de 7.21 kW de perdas de um total de 8.19 kW. O valor total de perdas por infiltração e renovação de ar é aquele que mais contribui para o dimensionamento da potência de aquecimento necessária.

Análise comportamental em função do tempo

A evolução das diferentes variáveis com influência sobre a climatização do navio permite uma análise comportamental detalhada das mesmas em função do tempo.

Os perfis definidos para cada espaço do navio permanecem constantes ao longo do tempo sem sofrerem alterações. Desta forma a sucessão repetitiva de comportamentos das diversas variáveis em análise ao longo do tempo permite que a mesma seja efetuada para um período de 24 h. A simulação foi efetuada tendo em consideração um dia característico de Inverno. Assim foi estabelecido, tendo em conta a disponibilidade de dados climatológicos do programa, o dia 31 de Dezembro de 2002.

Os dados apresentados são restringidos àqueles que apresentam maior relevância ao objetivo proposto para este trabalho. Os restantes serão apresentados no Anexo XII.

As condições climáticas seleccionadas são apresentadas na representação gráfica relativa à Fig. 8 e Anexo X.

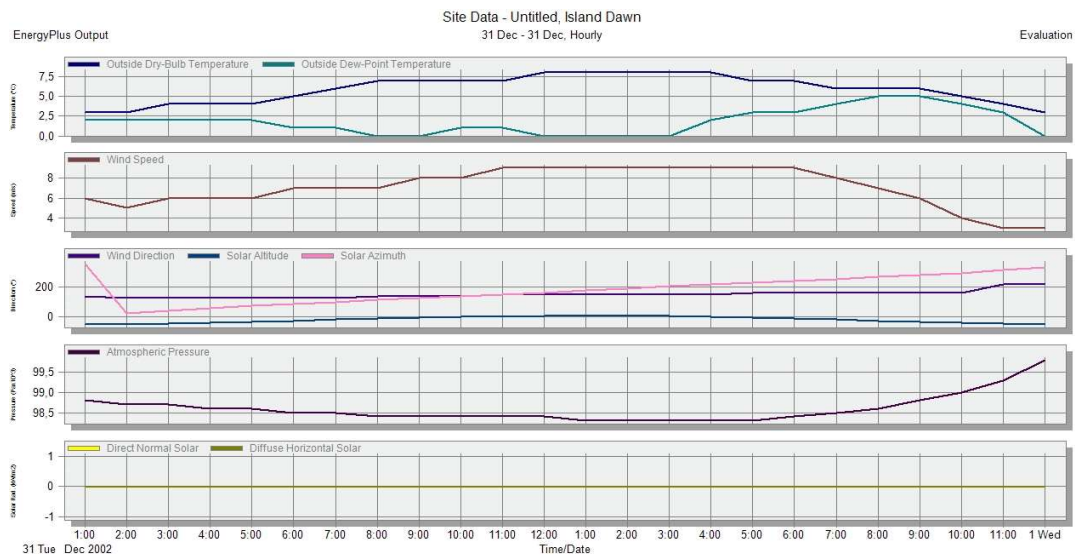


Figura 8: Representação gráfica das condições climáticas referentes à estação fria

É possível verificar que os valores apresentados diferem daqueles que se verificam para o dia em que as condições climáticas são as menos favoráveis durante a época do ano em análise e utilizados anteriormente.

Em sequência da cadeia de raciocínio utilizada ao longo deste subcapítulo os valores apresentados dizem respeito aos espaços analisados em detalhe anteriormente. A Fig. 9, e Anexo X, evidencia as cargas térmicas internas registadas no espaço “cabin4” do piso a que este pertence “A-Deck”.

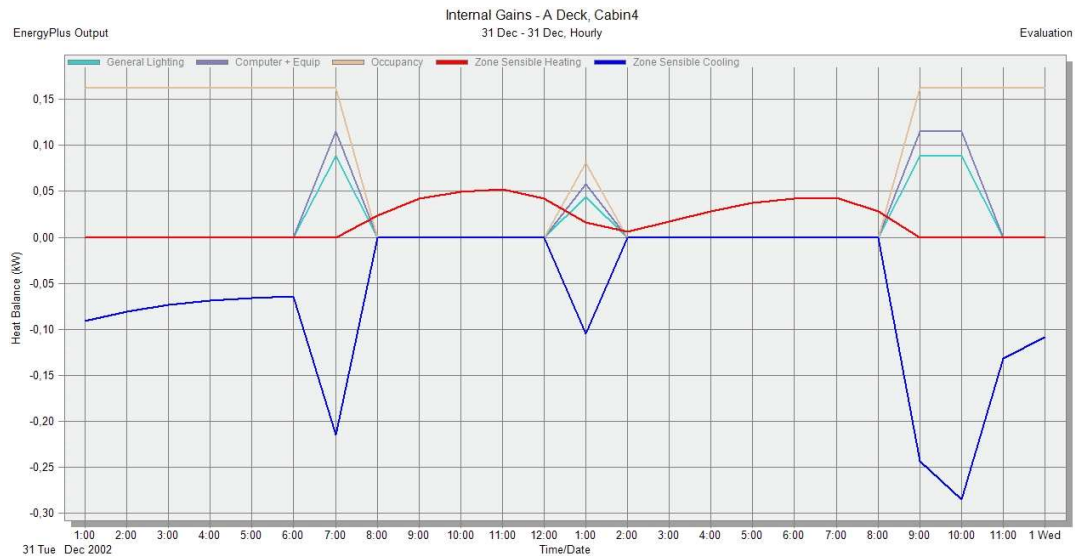


Figura 9: Representação gráfica dos ganhos do espaço “cabin4” do piso “A-Deck”

Os valores apresentados evidenciam o relacionamento existente entre o período de ocupação e funcionamento dos equipamentos e iluminação presentes no espaço e a carga térmica registada com afetação à potência térmica de aquecimento necessária. Esta é máxima durante os períodos em que não se verifica a ocupação do mesmo e a utilização de equipamentos e iluminação é inexistente.

Em função da carga térmica registada durante períodos de ocupação superiores a uma hora, do isolamento térmico existente e do valor de temperatura e condições exteriores é possível observar que a necessidade de aquecimento que se verifica é nula, existindo a necessidade de arrefecimento.

A análise efetuada evidencia a relação existente entre a potência térmica de aquecimento máxima necessária calculada e aquela que se verifica da utilização de cada espaço em função do tempo.

De forma análoga é possível aplicar o raciocínio efetuado na análise do espaço anterior ao piso “A-Deck” e posteriormente à totalidade da instalação do navio “M/V Island

Dawn” apresentado na representação gráfica da Fig. 10 e Fig. 11 respetivamente e Anexo X.

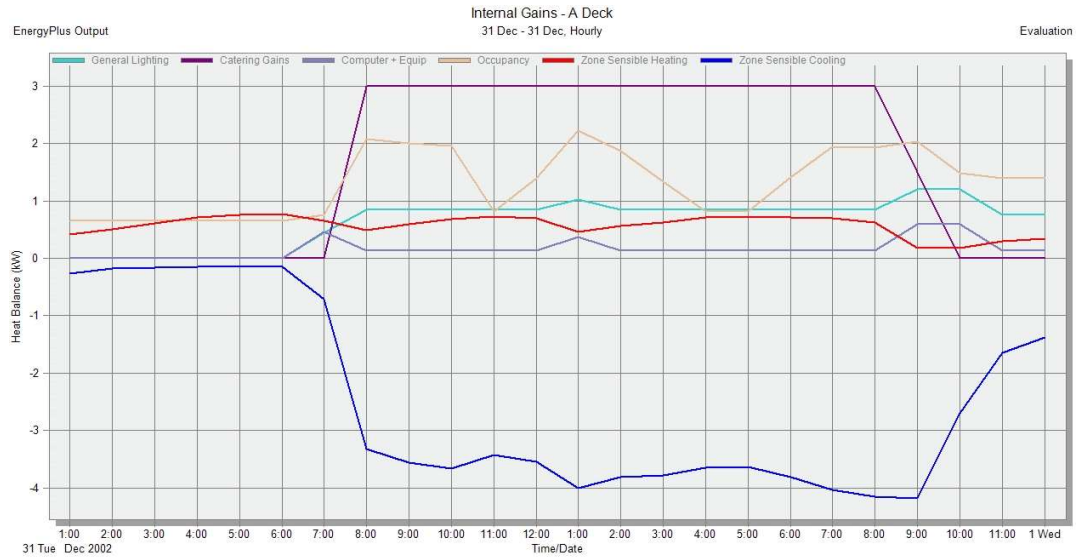


Figura 10: Representação gráfica dos ganhos do piso “A-Deck”

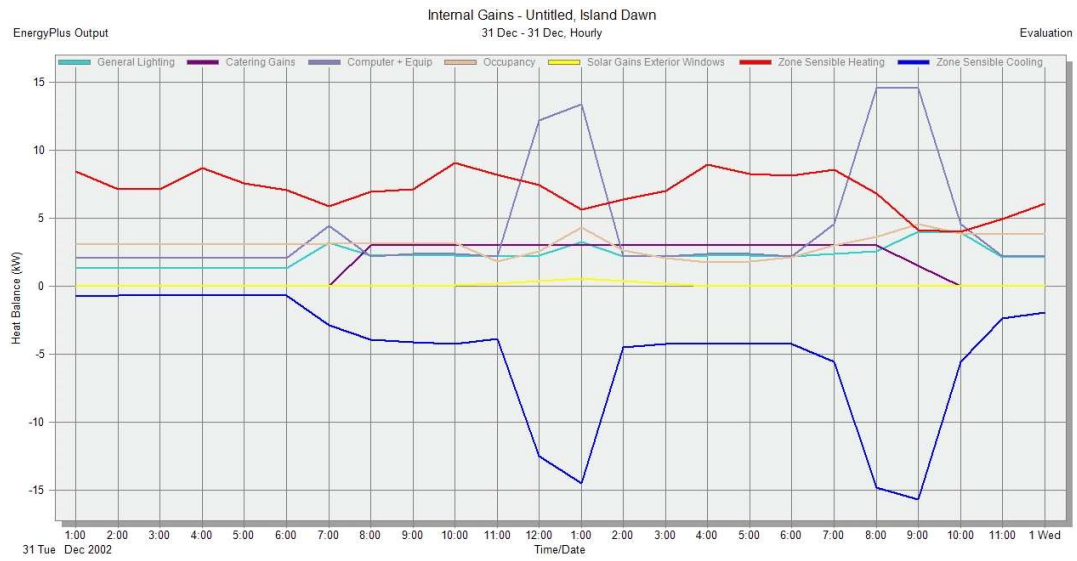


Figura 11: Representação gráfica dos ganhos da instalação “M/V Island Dawn”

4.5 Dados da estação quente e análise comportamental em função do tempo

A segunda fase desta simulação tem como objetivo determinar a potência térmica de arrefecimento necessária ao funcionamento da instalação em análise. Sendo expectável que esta seja mais relevante durante a estação mais quente do ano, o Verão. Torna-se evidente que a localização para a simulação da mesma deva ser aquela que apresente as condições climáticas menos favoráveis durante esta época do ano.

Assim, os valores aqui obtidos e apresentados são relativos à simulação dinâmica realizada para as condições climatéricas que se fazem sentir ao longo do ano em Abidjan, Costa do Marfim. Localização geográfica mais próxima da linha do equador de que há registo de operação de um navio com as mesmas características desta companhia.

À semelhança da análise efetuada no ponto anterior, em seguida serão apresentados os valores obtidos através da simulação para a “cabin4”. A justificação da escolha deste espaço é aquela apresentada no ponto anterior. A mesma permite uma avaliação do seu comportamento quando sujeito às diferentes condições climatéricas que se fazem sentir ao longo do ano.

Através da análise deste espaço em particular é possível observar em pormenor os valores cujo somatório com os outros do mesmo piso permite determinar a necessidade térmica necessária ao piso a que pertence. O valor total necessário ao navio será o somatório dos diferentes pisos.

Os valores obtidos através da simulação e apresentados em seguida foram aqueles registados no dia 01 de Março às 14 horas, dia e hora escolhidos como representativos das condições climáticas mais adversas que se fazem sentir, para efeitos da simulação em questão, ao longo do ano, neste caso do Verão.

A Tab. 11 apresenta os valores obtidos das temperaturas e humidade relativa de operação que se fazem sentir no espaço em análise, o qual representa uma cabine cuja ocupação máxima é de dois ocupantes. É também possível observar os ganhos de calor e carga térmica, neste local.

A-Deck – Cabin4 – Temperature and Heat Gains	
Air Temperature (°C)	25.00
Radiant Temperature (°C)	27.47
Operative Temperature (°C)	26.24
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	32.00
Walls (kW)	0.05
Ceilings (int) (kW)	0.00
Floors (int) (kW)	0.00
Partitions (int)(kW)	0.02
Roofs (kW)	0.03
Floors (ext) (kW)	0.03
External Infiltration (kW)	0.05
External Vent. (kW)	0.17
General Lighting (kW)	0.09
Computer + Equip (kW)	0.12
Occupancy (kW)	0.12

Tabela 11: Ganhos de calor e temperatura do espaço “Cabin4” do piso “A-Deck”

É possível observar que para o dia do ano cujas condições climatéricas foram as menos favoráveis, de acordo com as condições estabelecidas para esta simulação, se verifica uma temperatura exterior de 32.00 °C.

Às condições climatéricas observadas no exterior corresponde uma temperatura operativa interior de 26.24 °C. Esta é determinada através do valor médio encontrado entre as temperaturas do ar interior e da temperatura radiante, 25.00 °C e 27.47 °C, respetivamente.

Relativamente aos ganhos de calor e temperatura registados neste local verifica-se que contribuem de forma substancial, aqueles originados através da ocupação e equipamentos presentes no seu interior. Estes representam cerca de 35 % dos ganhos para este local. Se a este valor for adicionado a percentagem correspondente à iluminação este valor representa aproximadamente 50 %, parte substancial dos mesmos.

É possível observar desta forma que os ganhos por infiltrações de ar provenientes da ventilação, e da renovação de ar neste local são mínimos, dada a impermeabilidade da construção. O valor unitário que mais contribui para os ganhos deste espaço é aquele consequente da renovação de ar no seu interior.

Relativamente à necessidade térmica que se regista para este local, esta deverá ser tal que permita remover do ar a insuflar, o somatório das cargas representativas do calor sensível e latente, assim como dos ganhos de calor e temperatura registados, por forma a alcançar os valores de temperatura e humidade pretendidos. Os valores obtidos através da presente simulação são os apresentados na Tab. 12.

A-Deck – Cabin4 – Design Cooling Requirement	
Air Temperature (°C)	25.00
Time of Max Cooling (hrs)	15:00
Max. Op. Temp. in Day (°C)	26.2
Latent (kW)	0.63
Sensible (kW)	0.67
Total Cooling Load (kW)	1.31
Design Capacity (kW)	1.70

Tabela 12 – Necessidade de arrefecimento do espaço “Cabin4” do piso “A-Deck”

A partir dos valores apresentados na tabela é possível observar que a potência térmica de arrefecimento necessária para satisfazer as condições de projeto para este espaço é de 1.70 kW. Este valor é alcançado após aplicar um coeficiente de segurança de 1.3 ao valor calculado, para este espaço, 1.31 kW. Por sua vez este valor, como dito anteriormente, é determinado a partir do somatório da carga do calor latente e sensível proveniente do ar a insuflar, 0.63 kW e 0.67 kW, respetivamente.

Regista-se que a potência calculada para este espaço na presente simulação corresponde ao valor máximo de temperatura às 15:00 horas do dia. Sendo o valor de temperatura máximo de conforto interior registado de 26.2 °C.

Através da realização do procedimento de simulação dinâmica e de uma análise similar àquela efetuada para o espaço mencionado anteriormente é possível registar e compreender os valores obtidos para o piso a que este pertence “A-Deck” e apresentados na seguinte Tab. 13.

A-Deck – Temperature and Heat Gains	
Air Temperature (°C)	25.00
Radiant Temperature (°C)	28.22
Operative Temperature (°C)	26.61
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	32.00
Walls (kW)	0.34
Ceilings (int) (kW)	-0.02
Ground Floors (kW)	-0.04
Partitions (int)(kW)	0.11
Roofs (kW)	0.50
Doors and vents (kW)	0.25
Floors (ext) (kW)	0.09
External Infiltration (kW)	0.62
External Vent. (kW)	2.85
General Lighting (kW)	1.21
Catering Gains (kW)	3.00
Computer + Equip (kW)	0.60
Occupancy (kW)	2.13

Tabela 13: Ganhos de calor e temperatura do piso “A-Deck”

Às condições climatéricas observadas no exterior, as mesmas verificadas na simulação efetuada anteriormente para o espaço “cabin4”, corresponde uma temperatura de conforto interior de 26.61 °C. Aqui mais uma vez, determinada através do valor médio encontrado entre as temperaturas do ar interior e da temperatura radiante.

Os valores apresentados relativos aos ganhos de calor e temperatura resultam de um somatório daqueles registados nos diferentes espaços, repetidamente é possível observar que aqueles originados através do perfil de ocupação e dos equipamentos presentes no seu interior apresentam especial relevância. A justificação para os valores alcançados advém essencialmente do tipo de espaços que compõem este piso do navio e dos equipamentos presentes no refeitório.

Relativamente à potência térmica necessária a este piso, esta é aquela que satisfaz as condições definidas anteriormente e descritas para o espaço “cabin4”.

A-Deck – Design Cooling Requirement	
Air Temperature (°C)	25.00
Time of Max Cooling (hrs)	15:00
Max. Op. Temp. in Day (°C)	27.20 ¹
Latent (kW)	10.76
Sensible (kW)	11.94
Total Cooling Load (kW)	22.71
Design Capacity (kW)	29.51

Tabela 14: Necessidade de arrefecimento do piso “A-Deck” (¹refeitório)

O mesmo raciocínio é efetuado para a restante instalação, o navio. Assim, a simulação efetuada, que cumpre e obedece a todos os pressupostos e parâmetros definidos no início do projeto, permite obter e apresentar na seguinte tabela os valores totais de dimensionamento da instalação de climatização que respeitem as condições que se verifiquem durante a estação mais quente do ano, o Verão.

Zone	Total Design Cooling Requirement (kW)
M/V Island Dawn	120.640
Bridge-Deck	25.210
C-Deck	16.630
B-Deck	9.250
A-Deck	29.510
Main-Deck	33.790
Tween-Deck	6.250

Tabela 15: Necessidade de arrefecimento total da instalação

Os valores obtidos traduzem as diferentes necessidades térmicas de arrefecimento necessárias aos diferentes pisos que constituem o navio, dos quais o somatório identifica a potência térmica de frio necessária à instalação. A determinação dos valores apresentados segue o raciocínio descrito anteriormente. Assim, verifica-se um valor total de potência térmica de arrefecimento necessária à instalação de 120.640 kW.

À semelhança do que foi efetuado na primeira fase desta simulação, foram excluídas deste cálculo as necessidades térmicas de frio necessárias quer para arrefecer os espaços não ocupados, quer daqueles onde se realize a extração de ar insuflado, assim como os espaços de serviço técnico que possuam entradas para os mesmos, distintas daquelas utilizadas na zona de acesso às áreas climatizadas da acomodação e espaços públicos.

É possível verificar que os pisos onde as necessidades térmicas de frio são superiores são é aquele onde está a lavandaria “Main-Deck”, seguido daquele onde se encontra o

refeitório “A-deck”. Aqui, o perfil de ocupação e a quantidade de equipamentos presentes em cada espaço aumenta significativamente as cargas térmicas, às quais corresponde um aumento da necessidade térmica de frio. O valor total dos ganhos de calor e temperatura do navio são apresentados na Tab. 16.

M/V Island Dawn – Temperature and Heat Gains	
Air Temperature (°C)	25.03
Radiant Temperature (°C)	29.17
Operative Temperature (°C)	27.10
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	32.00
Glazing (kW)	2.31
Walls (kW)	1.94
Ceilings (int) (kW)	0.03
Floors (int) (kW)	-1.48
Partitions (int) (kW)	0.27
Roofs (kW)	1.81
Doors and vents (kW)	0.65
Floors (ext) (kW)	0.43
External Infiltration (kW)	2.84
External Vent. (kW)	7.51
General Lighting (kW)	4.73
Catering Gains (kW)	3.00
Computer + Equip (kW)	17.21
Occupancy (kW)	5.28
Solar Gains Exterior Windows (kW)	8.85

Tabela 16: Ganhos de calor e temperatura totais da instalação

A ponte do navio, presente no piso “Bridge-Deck”, apresenta uma necessidade térmica elevada justificada através dos ganhos que se verificam neste espaço. Estes são maioritariamente provocados pela quantidade e dimensão de vãos envidraçados presentes. Os ganhos produzidos por estes representam aproximadamente a totalidade do valor de arrefecimento necessários ao piso a que pertencem. A contribuição dos mesmos nas variáveis “Glazing” e “Solar Gains Exterior Windows” do navio são 2.01 kW e 8.17 kW respetivamente.

Os equipamentos presentes no piso “Main-Deck” representam aproximadamente 70 % do valor total da variável “Computer + Equip” do navio. O que justifica o valor dos ganhos causados por estes no total do navio.

Análise comportamental em função do tempo

À semelhança da análise efetuada para a estação fria a evolução das diferentes variáveis com influência sobre a climatização do navio durante o Verão permite uma análise comportamental detalhada das mesmas em função do tempo.

Os perfis definidos para cada espaço do navio permanecem constantes ao longo do tempo sem sofrerem alterações. Desta forma a sucessão repetitiva de comportamentos das diversas variáveis em análise ao longo do tempo permite que a mesma seja efetuada para um período de 24 h. A simulação foi efetuada tendo em consideração um dia característico de Verão, assim foi estabelecido, à disponibilidade de dados climatológicos do programa, o dia 01 de Março de 2002. Os dados são referentes à estação meteorológica existente no aeroporto internacional Kotoka, Acra, Gana.

Os dados apresentados são restringidos àqueles que apresentam maior relevância ao objetivo proposto deste trabalho. Os restantes serão apresentados no Anexo XII. As condições climatéricas à data selecionada são apresentadas na Fig. 12 e Anexo XI.

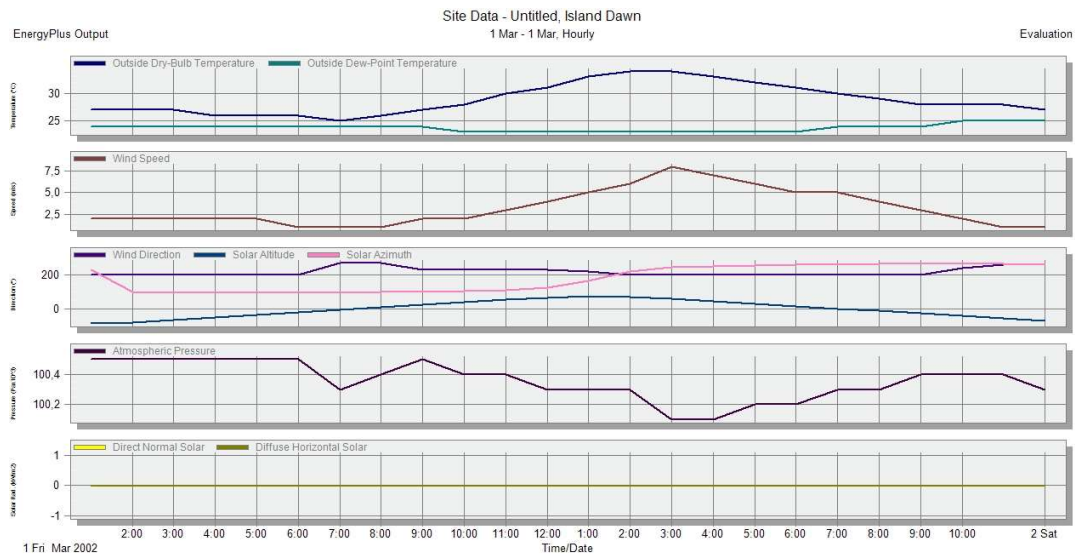


Figura 12: Representação gráfica das condições climatéricas referentes à estação quente

É possível verificar que os valores apresentados diferem daqueles que se verificam para o dia em que as condições climatéricas são as menos favoráveis durante a época do ano

em análise e utilizados anteriormente. Contudo esta diferença não se apresenta relevante na análise efetuada.

Em sequência da cadeia de raciocínio utilizada ao longo deste subcapítulo os valores apresentados dizem respeito aos espaços analisados em detalhe anteriormente. A Fig. 13, e Anexo XI, evidencia as cargas térmicas internas registadas no espaço “cabin4” do piso a que este pertence “A-Deck”.

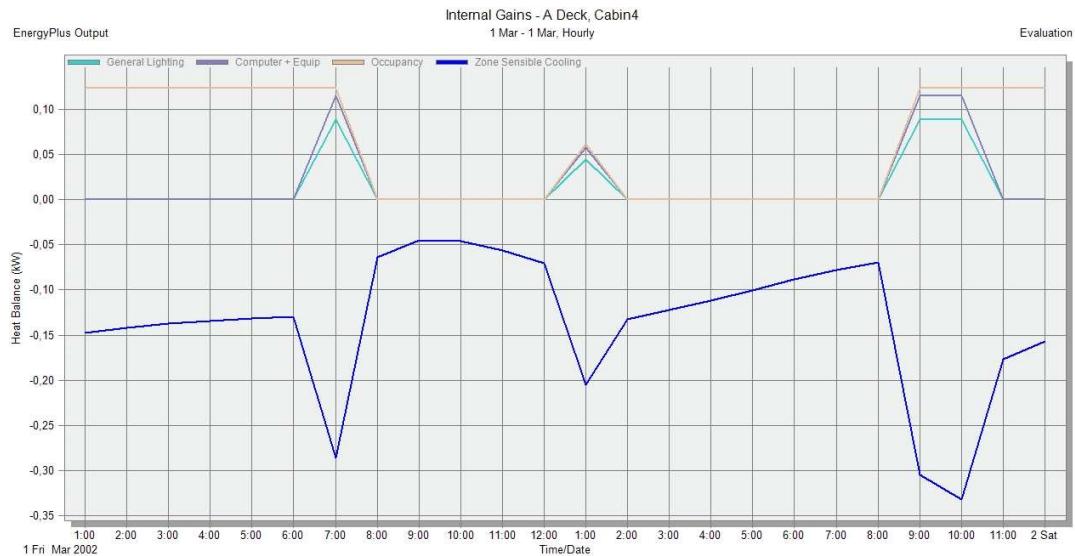


Figura 13: Representação gráfica dos ganhos do espaço “cabin4” do piso “A-Deck”

Os valores apresentados evidenciam o relacionamento existente entre o período de ocupação e funcionamento dos equipamentos e iluminação, presentes no espaço e a carga térmica registada com afetação à potência térmica de arrefecimento necessária. Esta é mínima durante os períodos em que não se verifica a ocupação do mesmo e a utilização de equipamentos e iluminação é inexistente

A necessidade de arrefecimento é máxima durante os períodos de ocupação e quando se verifica em simultâneo a utilização dos equipamentos e iluminação presentes no espaço por forma a anular o efeito provocado através da carga térmica interna produzida.

A análise efetuada evidencia a relação existente entre a potência térmica de arrefecimento máxima necessária calculada e aquela que se verifica da utilização de cada espaço em função do tempo.

De forma análoga é possível aplicar o raciocínio efetuado na análise do espaço anterior ao piso “A-Deck” e posteriormente à totalidade da instalação “M/V Island Dawn” apresentado na representação gráfica da Fig. 14 e Fig. 15 respetivamente e Anexo XI.



Figura 14: Representação gráfica dos ganhos do piso “A-Deck”

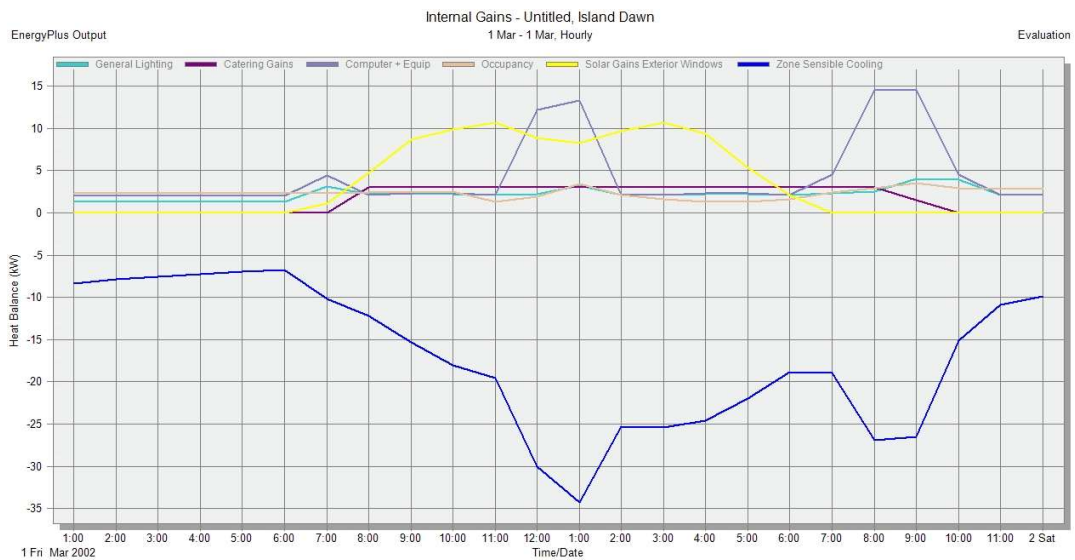


Figura 15: Representação gráfica dos ganhos da instalação “M/V Island Dawn”

5 Análise comparativa de dados

No presente capítulo é efetuada uma análise comparativa entre os resultados obtidos através da simulação dinâmica, que respeita todos os parâmetros de projeto definidos de acordo com a legislação disponível mais atual e aqueles alcançados à data do projeto e implementados durante a construção da instalação.

A instalação de climatização existente consiste em duas unidades de tratamento de ar com o objetivo de assegurar condições confortáveis nas cabines e espaços públicos durante as diferentes estações do ano.

Enquanto uma das unidades de tratamento de ar é destinada à insuflação de ar aos espaços que compõem a acomodação do navio, a outra, de dimensão e capacidade inferior, encontra-se dedicada à insuflação de ar na ponte do mesmo. Por simplicidade na sua análise, as mesmas serão analisadas em conjunto ao longo deste capítulo.

A Tab. 17 permite observar os diferentes valores referentes à unidade de climatização característicos comparativos dos parâmetros definidos pela empresa encarregada do projeto, os que se verificam na unidade existente instalada e aqueles obtidos pelo modelo.

Unidade climatização			
Parâmetros característicos	Projeto	Existente	Modelo
Heating Capacity (kW)	113	114	78.63
Cooling Capacity (kW)	170	186.63	120.64
Flow Rate (m ³ /h)	12630	12800	3171.6

Tabela 17: Valores comparativos da capacidade da instalação de climatização

É possível observar que os valores apresentados na tabela não são coincidentes entre si. Esta diferença pode ser justificada de acordo com os mais diversos parâmetros adotados durante a criação quer do modelo, quer do projeto e construção existente. Nos pontos seguintes deste capítulo será efetuada uma análise comparativa minuciosa dos dados obtidos a fim de validar e justificar o modelo criado perante o projeto existente e as escolhas construtivas da instalação.

5.1 Potência térmica de aquecimento

A potência térmica de aquecimento necessária à climatização dos espaços obtida através da simulação do modelo criado difere da obtida de acordo com o projeto e construção existente. Esta representa cerca de 70% do valor alcançado de acordo com o projeto existente.

Esta diferença torna-se inferior quando a simulação do modelo criado é efetuada de acordo com o valor da temperatura exterior definido no projeto existente para a estação do ano em análise -20 °C, ao invés dos -8 °C, que se verificam de acordo com a localização escolhida¹.

Após análise ao projeto e instalação existente é possível observar que a instalação garante uma temperatura do ar novo a insuflar à saída da unidade de tratamento de ar de 20.15 °C para os espaços que compõem a acomodação do navio, e 40.72 °C no caso da ponte. A diferença que se verifica entre a instalação existente e o modelo simulado ao nível do valor da temperatura interna que deve ser registada à saída da unidade de tratamento de ar contribui para a disparidade entre valores alcançados.

Contribuem de forma similar para esta diferença os valores utilizados para definir as variáveis de ocupação e utilização dos espaços, os quais podem ser distintos, bem como o coeficiente de segurança aplicado aos cálculos efetuados.

Importa referir que cada espaço se encontra equipado com um ou mais radiadores térmicos elétricos compostos por uma ou mais resistências com o objetivo de permitir ligeiras correções de temperatura de acordo com as preferências do utilizador. O valor total da potência utilizada por estes equipamentos é de 19.47² kW.

É notório a existência de um sobredimensionamento no dimensionamento do projeto efetuado e por conseguinte na construção da instalação existente.

¹ A manipulação do valor relativo ao parâmetro de temperatura exterior de acordo com a localização utilizada, para que seja idêntico ao do projecto existente, traduz uma potência térmica de aquecimento necessária de 115.83 kW (a manipulação do valor da temperatura não aufere uma apreciação exata em função da totalidade dos parâmetros exteriores).

² Total entre os radiadores térmicos elétricos de cada espaço e o piso radiante elétrico que compõem o vestiário.

5.2 Potência térmica de arrefecimento

No que respeita ao valor da potência térmica de arrefecimento necessária verifica-se uma discrepância significativa relativamente aos valores do projeto utilizados na construção da instalação e aqueles alcançados através da simulação do modelo criado.

Após análise ao projeto e instalação existente e às variáveis e parâmetros a que este obedece é possível observar que a instalação garante uma temperatura do ar a insuflar à saída da unidade de tratamento de ar de 14 °C para os espaços que compõem a acomodação do navio, e 12.3 °C no caso da ponte. A diferença que se verifica entre a instalação existente e o modelo simulado ao nível da temperatura interna que deve ser registada à saída da unidade de tratamento de ar provoca tal disparidade de valores alcançados.

A diferença no tipo de sistema de climatização adotado requer uma temperatura do ar a insuflar à saída da unidade de tratamento de ar inferior ao que se pretende verificar no interior dos espaços. A potência adicional necessária à diminuição do valor de temperatura provoca um aumento excessivo da potência de arrefecimento verificada.

Assim, a diferença entre valores da potência de arrefecimento que se regista entre o modelo simulado, o projeto e a construção existente fica a dever-se sobretudo ao sistema utilizado e por conseguinte ao facto de o valor de temperatura interna utilizado não ter sido o mesmo. A semelhança do que sucedeu no ponto anterior, contribuem para esta diferença os valores utilizados para definir as variáveis de ocupação e utilização dos espaços, os quais podem ser distintos, bem como o coeficiente de segurança aplicado aos cálculos efetuados.

Novamente, à semelhança do que se verificou no dimensionamento e posterior construção da instalação existente relativamente à potência térmica de aquecimento necessária, é possível observar um sobredimensionamento da potência térmica de arrefecimento instalada.

5.3 Caudal de ar

A diferença substancial que se verifica entre os valores do projeto e os do modelo criado é justificada exclusivamente pela opção do sistema de climatização adotado. Esta diferença na adoção do sistema de climatização representa uma redução do caudal de ar novo necessário à climatização total da instalação de 75% relativamente ao valor apresentado em projeto.

Torna-se evidente que a escolha do tipo de sistema proposto e desenvolvida neste modelo se apresenta como uma alternativa mais vantajosa ao nível do caudal de ar novo necessário à climatização dos espaços face ao praticado.

O sistema de climatização proposto apresenta, como consequência direta da redução do caudal de ar novo necessário, uma redução do espaço necessário dedicado à instalação de condutas, o que permite o aumento, e conseqüente aproveitamento, do espaço disponível. No modelo em análise permite uma redução da distância compreendida entre andares, o que tem um contributo relevante na estabilidade do navio, por alteração do centro de gravidade.

A redução do caudal de ar novo necessário permite ainda que se verifique um equilíbrio de pressão e uniformização na distribuição do ar superior ao existente. O valor da velocidade do ar é também, desta forma, inferior àquele verificado.

5.4 Sistema de climatização

A análise comparativa de dados, efetuada nos pontos anteriores, permitiu validar e justificar o modelo criado perante o projeto existente e as escolhas construtivas da instalação existente. A utilização do sistema adotado demonstra ser mais vantajosa do que o existente.

O sistema proposto permite uma redução significativa do valor de potência térmica de aquecimento e arrefecimento necessário. O que diminui o consumo de energia necessário à operação do sistema de climatização e por conseguinte os custos associados.

O caudal de ar novo necessário ao funcionamento do sistema de climatização proposto representa uma diminuição de aproximadamente 75 % em comparação com a instalação existente. A determinação do caudal de ar necessário ao funcionamento da instalação existente é efetuada de acordo com a diferença de temperaturas definidas durante a fase de projeto, tipicamente característica de um sistema tudo ar. Enquanto a determinação do caudal de ar necessário ao funcionamento do sistema proposto é efetuada de acordo com o caudal mínimo de ar novo em função da carga poluente devida à ocupação. Em consequência do incremento do caudal de ar necessário ao funcionamento da instalação existente a capacidade de aquecimento e arrefecimento será necessariamente superior.

O sistema de climatização proposto, resultante da significativa redução do caudal de ar novo necessário ao seu funcionamento, permite uma redução do espaço dedicado à rede de condutas necessário. O que permite, em consideração das características particulares da construção em análise, a redução da distância compreendida entre andares, contribuindo assim de forma favorável para a estabilidade do navio.

A aplicação do modelo criado permite o controlo individual do valor de temperatura em cada espaço. Enquanto o sistema de climatização existente limita ao mesmo valor de temperatura o ar insuflado em cada espaço. Esta limitação do sistema existente impossibilita satisfazer as necessidades de conforto de todos os seus ocupantes. O sistema existente permite ligeiras correções de temperatura durante a estação fria do ano através da instalação em cada espaço de um ou mais radiadores térmicos elétricos, o que acentua a diferença entre o valor da potência térmica de aquecimento da instalação existente e aquele necessário ao modelo criado.

6 Conclusão

A realização da presente dissertação incidiu sobre a análise e avaliação da instalação de climatização de um navio de apoio à exploração petrolífera.

Para a concretização do objetivo proposto foi efetuado o levantamento da instalação existente, do projeto que fundamentou a sua construção e implementação, assim como dos projetos e planos de construção do navio. A análise levada a cabo permitiu a criação e desenvolvimento de uma proposta alternativa àquela existente, que se verifica mais vantajosa.

A proposta apresentada compreendeu a criação de um modelo computacional através do programa informático *EnergyPlus* e da interface gráfica *DesignBuilder*. Este modelo permitiu, através da simulação dinâmica, avaliar o comportamento do sistema ao longo do tempo quando sujeito a diferentes variáveis.

O sistema de climatização adotado consistiu num sistema centralizado do tipo ar-água. Este prevê a climatização através de ventilo-convetores instalados no interior de cada espaço, onde a configuração utilizada foi a quatro tubos o que permite o arrefecimento e o aquecimento em simultâneo dos diferentes espaços contribuindo de uma forma substancial para o aumento do conforto térmico dos seus ocupantes.

A produção de água arrefecida é efetuada por uma unidade produtora concebida para o efeito onde os compressores utilizados são do tipo hermético “scroll” os quais apresentam um rendimento a cargas parciais superior, reduzindo o consumo de energia elétrica necessária ao seu funcionamento.

O aquecimento necessário a cada espaço foi concebido para ser efetuado através de água quente produzida por uma bomba de calor, esta deve utilizar como fonte de energia o circuito de arrefecimento das máquinas principais, o que permite a produção de aquecimento sem recurso adicional a energias fósseis, permitindo a diminuição do consumo de energia e o aumento da eficiência.

O sistema proposto prevê a existência de duas unidades de tratamento de ar independentes. Estas asseguram a total qualidade do ar a insuflar em cada espaço. Cada unidade é equipada com um recuperador de calor estático do tipo correntes cruzadas que permite a recuperação térmica do ar de extração.

A implementação do sistema proposto provoca uma diminuição significativa do caudal de ar necessário à climatização, cerca de 75 % em comparação com a instalação existente. Em consequência direta desta redução verifica-se uma diminuição da potência térmica de aquecimento e arrefecimento necessária à instalação, aproximadamente 40 % e 35 % respetivamente.

A diminuição significativa do caudal de ar necessário permite, em consideração das características particulares da construção em análise, a redução da distância compreendida entre andares, contribuindo assim de forma favorável para a estabilidade do navio, com implicação direta no consumo de energia utilizada na propulsão.

A adoção do sistema proposto, em comparação com aquele existente, permite o aumento da sua eficiência e a diminuição do consumo de energia necessário à sua operação, o que por conseguinte diminui os custos associados. Este possibilita ainda um aumento significativo do controlo das variáveis associadas contribuindo desta forma para o aumento da qualidade do ar ambiente interior e satisfação do conforto térmico dos seus ocupantes.

Sempre que possível, durante a fase de projeto e de construção de uma instalação deste tipo deverá ser premiada a implementação de medidas passivas que contribuam de forma ativa na sua climatização, minimizando a necessidade de medidas ativas e custos inerentes.

Como trabalho futuro é de todo relevante efetuar o estudo da viabilidade económica referente à aplicação do tipo de sistema proposto face ao existente, assim como o constante desenvolvimento do mesmo de acordo com os progressos no campo da climatização que venham a ocorrer.

Bibliografia

- [1] ANSI/ASHRAE. (2016). *ANSI/ASHRAE Standard 62.1, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers. Atlanta.
- [2] ANSI/ASHRAE. (2016). *ANSI/ASHRAE Standard 62.2, Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Residential Buildings*. American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers. Atlanta.
- [3] ANSI/ASHRAE. (2017). *ANSI/ASHRAE Standard 55, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers. Atlanta.
- [4] ASHRAE. (2005). *ASHRAE Handbook, Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers. S. I. Edition. Atlanta.
- [5] ASHRAE. (2006). *ASHRAE Handbook, Refrigeration*. American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers. S. I. Edition. Atlanta.
- [6] ASHRAE. (2007). *ASHRAE Handbook, HVAC Applications*. American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers. S. I. Edition. Atlanta.
- [7] ASHRAE. (2008). *ASHRAE Handbook, HVAC Systems and Equipment*. American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers. S. I. Edition. Atlanta.
- [8] Cabetas, A.. (2001). *Documentos Técnicos de Instalaciones en la Edificación, 9.01 Sistemas de Climatización*. Atecyr. Madrid.
- [9] DNV GL. (2017). *DNV GL Rules for Classification, Ships*. Det Norske Veritas and Germanischer Lloyd. Oslo.
- [10] Haines. R.W. and Myers, M.R.. (2009). *HVAC Systems Design Handbook*. 5th Edition. McGraw-Hill. New York.
- [11] Holman, J.P.. (2010). *Heat Transfer*. 10th Edition. McGraw-Hill. New York.
- [12] Pina dos Santos, C.A. e Matias, L (2006). *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*. Versão atualizada. LNEC. Lisboa.

Lista de anexos

Anexo I – Arranjo geral do navio M/V Island Dawn

Anexo II – Projeto da instalação de climatização existente

Anexo III – Traçado da rede de condutas e respetivos caudais da instalação de climatização existente

Anexo IV – Detalhes característicos das UTAs da instalação de climatização existente

Anexo V – Detalhes característicos da unidade produtora de água arrefecida

Anexo VI – Detalhes característicos da unidade produtora de água quente

Anexo VII – Representação esquemática da instalação de climatização proposta

Anexo VIII – Diretrizes da sociedade classificadora com respeito às condições de vida e de trabalho a bordo de navios

Anexo IX – Detalhes característicos ambientais dos fluidos refrigerantes existentes

Anexo X – Resumo dos resultados da simulação dinâmica com respeito à estação fria

Anexo XI – Resumo dos resultados da simulação dinâmica com respeito à estação quente

Anexo XII – Suporte informático dos ficheiros em CD