

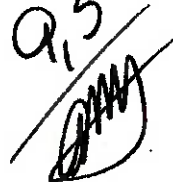
EDUARDO DA SILVA MADEIRA
MARCELO CONSTANTINO GOMES HELENO

**PROJETO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO E REFRIGERAÇÃO DE UMA
EMBARCAÇÃO DE PESQUISA**

Projeto apresentado à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para graduação em
Engenharia.

Área de Concentração:
Engenharia Mecânica

Orientador:
Alberto Hernandez Neto

9,5


São Paulo
2000

À todos que dedicam suas vidas à pesquisa científica em busca de um mundo um pouco melhor para todos nós.

DEDALUS - Acervo - EPMN



31600005946

AGRADECIMENTOS

Ao mestre e orientador Prof. Alberto Hernandez Neto pela contínua disposição e permanente incentivo.

Aos nossos pais pelo estímulo e incansável compreensão.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram na execução deste trabalho.

LISTA DE ABREVIATURAS

°C – graus centígrados

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

CLF – Cooling Load Factor

CLTD – Cooling Load Temperature Difference

cm – centímetros

CO₂ – gás carbônico (dióxido de carbono)

FAU – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo

ft/min – pés por minuto

IO – Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo

kPa – kilopascal

kW – kilowatts

L/s – litros por segundo

L/s.m² – litros por segundo e por metro quadrado

m – metros

m/s – metros por segundo

m² – metros quadrados

m³ – metros cúbicos

m³/s – metros cúbicos por segundo

m³/h – metros cúbicos por hora

mm - milímetros

Pa – Pascal

pesq. – pesquisador

W – Watts

LISTA DE SÍMBOLOS

q_{el} - ganho em calor (Btu/h)

W_L - total de Watts consumidos pela lâmpada

F_{ul} - fator de uso da lâmpada

F_{sa} - fator de montagem e tipo de lâmpada

q - carga térmica

U - coeficiente de transferência de calor

A - área da superfície irradiada

$e_{placaexterna}$ - espessura da placa de aço externa do casco do navio

$e_{isolante}$ - espessura do poliuretano do casco do navio

$e_{placainterna}$ - espessura da placa de aço interna do casco do navio

$h_{interno}$ - coeficiente de película da parte interna do casco

$h_{externa}$ - coeficiente de película da parte externa do casco

$k_{aço}$ - condutividade térmica do aço

$k_{poliuretano}$ - condutividade térmica do poliuretano

D - diâmetro da tubulação

Q - vazão de escoamento

V - velocidade de escoamento

$\varnothing$ - diâmetro

Δp - perda de carga (em pascal)

K_s - coeficiente de perda de carga singular

S_1 - área da seção transversal 1

S_2 - área da seção transversal 2

ρ_{ar} - massa específica do ar

V_j – velocidade à jusante

V_m – velocidade à montante

f – coeficiente de atrito

L – comprimento da tubulação

ε - rugosidade superficial do conduto

ρ - massa específica

Re – número de Reynolds

μ - viscosidade cinemática do ar

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1.1.1 Carga térmica devido à iluminação artificial ³	15
Tabela 3.1.2.1 Taxa de ganho de calor de ocupantes em espaços condicionados ³	16
Tabela 3.1.2.2 Carga térmica devido à ocupação ³	18
Tabela 3.1.3.1 Diferentes tipo de teto ⁴	21
Tabela 3.1.3.2 CLTD para os diferentes tipos de teto ⁴	22
Tabela 3.1.3.3 Valores para correção da CLTD ⁴	23
Tabela 3.1.3.4 Carga térmica devido à iluminação artificial ⁴	24
Tabela 4.1.1 Requerimentos do ar para utilização em sistemas de ventilação.....	29
Tabela 4.1.2 Taxa de ventilação e ocupação dos cômodos – Comando.....	33
Tabela 4.1.3 Taxa de ventilação e ocupação dos cômodos – Convés superior.....	34
Tabela 4.1.4 Taxa de ventilação e ocupação dos cômodos – Convés principal.....	34
Tabela 4.1.5 Taxa de ventilação e ocupação dos cômodos – Convés inferior	35
Tabela 4.2.1 Disposição de válvulas no sistema.....	37
Tabela 4.2.2 Distâncias dos trechos do sistema - Comando.....	38
Tabela 4.2.3 Distâncias dos trechos do sistema – Convés superior.....	38
Tabela 4.2.4 Distâncias dos trechos do sistema – Convés principal.....	39
Tabela 4.2.5 Distâncias dos trechos do sistema – Convés inferior.....	39
Tabela 4.3.1 Velocidades e diâmetros de insuflamento – comando.....	41
Tabela 4.3.2 Velocidades e diâmetros de insuflamento – convés superior.....	41
Tabela 4.3.3 Velocidades e diâmetros de insuflamento – convés principal.....	42
Tabela 4.3.4 Velocidades e diâmetros de insuflamento – convés inferior.....	42
Tabela 4.3.5 Perda de carga singular no insuflamento – comando.....	44

Tabela 4.3.6 Perda de carga singular no insuflamento – convés superior.....	45
Tabela 4.3.7 Perda de carga singular no insuflamento – convés principal.....	45
Tabela 4.3.8 Perda de carga singular no insuflamento – convés inferior.....	46
Tabela 4.3.9 Vazão, diâmetro e velocidade dos trechos do sistema – comando.....	47
Tabela 4.3.10 Vazão, diâmetro e velocidade dos trechos do sistema – convés superior.....	48
Tabela 4.3.11 Vazão, diâmetro e velocidade dos trechos do sistema – convés principal.....	49
Tabela 4.3.12 Vazão, diâmetro e velocidade dos trechos do sistema – convés inferior.....	50
Tabela 4.3.13 Perda de carga singular nos pontos – comando.....	52
Tabela 4.3.14 Perda de carga singular nos pontos – convés superior.....	53
Tabela 4.3.15 Perda de carga singular nos pontos – convés principal.....	53
Tabela 4.3.16 Perda de carga singular nos pontos – convés inferior.....	54
Tabela 4.3.17 Reynolds, coef. De atrito e perda de carga distribuída dos trechos do sistema – comando.....	57
Tabela 4.3.18 Reynolds, coef. De atrito e perda de carga distribuída dos trechos do sistema – convés superior.....	58
Tabela 1.1.19 Reynolds, coef. De atrito e perda de carga distribuída dos trechos do sistema – convés principal.....	59
Tabela 4.3.20 Reynolds, coef. De atrito e perda de carga distribuída dos trechos do sistema – convés inferior.....	60

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1.2.1 Esquema da embarcação.....	2
Fig. 2.3.1 Necessidade de aquecimento e/ou refrigeração para embarcações de acordo com a localização mundial.....	7
Fig. 3.1.1.1 Absorção e liberação de calor em carga térmica proveniente de iluminação ³	13
Fig. 3.1.3.1 Esquema da parede da embarcação.....	20
Fig. 3.2.1.1 Matriz de decisão ponderada.....	26
Fig. 4.1.1 Tempo de “pré-refrigeração” de ambientes de uso intermitente.....	31
Fig. 4.3.1 Coeficiente de perda de carga singular para expansão brusca.....	43
Fig. 4.3.2 Coeficiente de perda de carga singular para entrada de reservatório.....	44
Fig. 4.3.3 Coeficiente de perda de carga singular para cotovelos a 90°	51
Fig. 4.3.4 Coeficiente de perda de carga singular para ramificações a 90°	52
Fig. 4.3.5 Curvas de funcionamento do ventilador.....	61

RESUMO

A importância dos sistemas de ventilação e refrigeração nos seus mais diversos modos de utilização, têm aumentado continuamente desde a sua invenção. Estes sistemas são poderosas ferramentas na luta contra adversidades climáticas impostas ao homem nas mais diversas regiões do globo terrestre.

Estes sistemas se tornaram muito úteis em embarcações. Navegando por diferentes mares e oceanos elas se encontram à mercê de chuvas, tempestades, grandes variações de temperatura e umidade do ar além de outras intempéries. Com o auxílio destes sistemas é possível aumentar o conforto dos tripulantes (ou, em algumas ocasiões, garantir um mínimo necessário à sobrevivência) e controlar a qualidade do ar que eles respirarão.

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver um pré-projeto de um sistema de ventilação e refrigeração de uma embarcação de pesquisas que navegará pelas costas brasileiras.

Para isso foram levados em conta aspectos como clima da região e temperatura das águas, ocupação e iluminação da embarcação e liberação de resíduos tóxicos e nocivos nos laboratórios e demais compartimentos da embarcação.

SUMARIO

Lista de abreviaturas

Lista de símbolos

Lista de tabelas

Lista de figuras

Resumo

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. APRESENTAÇÃO	1
1.2. ESQUEMA DA EMBARCAÇÃO	2
2. ESTUDO INICIAL	3
2.1. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	3
2.2. LEVANTAMENTO DO PERFIL DE OCUPAÇÃO	4
2.3. LEVANTAMENTO DAS NECESSIDADES DE VENTILAÇÃO E REFRIGERAÇÃO DOS AMBIENTES	6
2.4. LEVANTAMENTO DAS DIMENSÕES DOS AMBIENTES	9
3. DEFINIÇÃO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO	12
3.1. CÁLCULO DO PERFIL DE CARGA TÉRMICA DE CADA AMBIENTE	12
3.1.1. Carga térmica devido à iluminação	12
3.1.2. Carga térmica devido à ocupação	16
3.1.3. Carga térmica devido à irradiação	19
3.2. PRÉ-DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO	25
3.2.1. Seleção do sistema de refrigeração	25
3.2.2. Carga térmica e seleção de maquinário	27
4. DEFINIÇÃO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO	28
4.1. NECESSIDADES DE VENTILAÇÃO	29
4.2. LAYOUT DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO	36
4.3. DETERMINAÇÃO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO	40
5. CONCLUSÃO	62
6. OBSERVAÇÕES	63
7. ANEXOS	64
8. BIBLIOGRAFIA	87

1. INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO

Este trabalho tem como objetivo fornecer um pré-projeto do sistema de ventilação e refrigeração de uma determinada embarcação de pesquisas oceanográficas. O projeto da embarcação está sendo desenvolvido, conjuntamente, pelos departamentos de Engenharia Mecânica e Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica, pelo Instituto Oceanográfico (IO) pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) – todos parte da Universidade de São Paulo.

1.2. ESQUEMA DA EMBARCAÇÃO

Trata-se de uma embarcação de pequenas proporções (50 metros de ponta a ponta) composta pelo comando, um convés superior, um convés principal e um convés inferior. O comando abriga as salas de comunicações, navegação e reunião bem como o comandante e um pesquisador chefe. O convés superior abriga uma central de observações e as dependências de oficiais e médicos. No convés principal é realizada a maior parte das atividades de pesquisa já que nele estão localizados todos os laboratórios, os depósitos de equipamentos e a cozinha. No convés inferior situam-se os alojamentos, oficinas e o laboratório de geologia.

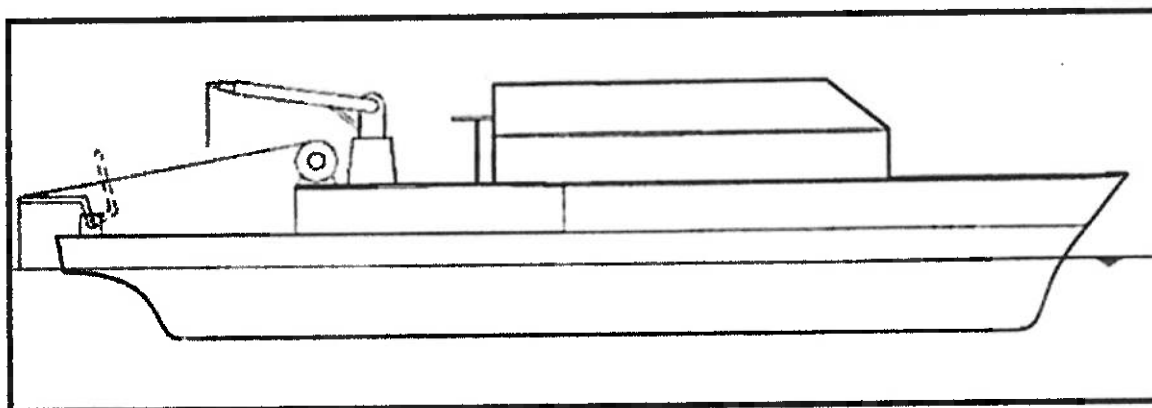


Fig. 1.2.1 Esquema da embarcação

2. ESTUDO INICIAL

2.1. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Consiste na busca por obras, teses, periódicos e manuais referentes a assuntos relacionados à ventilação e refrigeração em embarcações. Este material é analisado de modo a comparar diferentes sistemas e definir uma dentre as muitas possibilidades de projeto.

A biblioteca da Escola Politécnica foi amplamente utilizada nesta busca, tanto para livros como para periódicos, catálogos e revistas especializadas. Livros didáticos utilizados no curso de graduação da Escola Politécnica também foram utilizados. Ao final do trabalho utilizou-se a internet com maior intensidade com o intuito de encontrar o que existe de mais moderno e eficiente em sistemas de refrigeração e ventilação para que pudéssemos, desta forma, sugerir um maquinário adequado.

2.2. LEVANTAMENTO DO PERFIL DE OCUPAÇÃO

Para uma correta definição das necessidades de ventilação e refrigeração são necessários dados sobre como, por quem e quando cada cômodo será utilizado. Estes dados foram, em sua grande maioria, fornecidos pelos outros institutos e departamentos que participam do projeto.

O comando possui três salas (de comunicação, de navegação e de reuniões) que não necessitam de nenhuma atenção maior. Os camarotes serão utilizados, à priori, apenas para repouso, não permanecendo nenhuma pessoa neles durante o dia. O depósito não será utilizado para armazenagem de nenhum equipamento que requeira cuidados especiais e nenhuma pessoa permanecerá nele por períodos muito longos.

O convés superior é composto apenas pelas dependências dos oficiais e pesquisadores além de uma central de observações e um pequeno depósito (nenhum necessitando de cuidados especiais). Essas dependências serão utilizadas apenas para repouso.

No convés principal a lavanderia, a sala de equipamentos e a cozinha serão utilizadas diariamente. A sala de equipamentos funcionará como um depósito. A sala de computação e o laboratório de eletrônica abrigarão máquinas eletrônicas e computadores, bem como pessoas trabalhando nestes. A enfermaria será utilizada apenas se e quando for necessário enquanto que o refeitório e a sala de estar serão ocupadas apenas durante as refeições.

No laboratório molhado, no químico e no geral serão realizados testes, análises e experimentos, sendo possível a liberação de substâncias na forma de gás ou vapor. O paiol servirá como um refrigerador, apenas para armazenamento.

O convés inferior abriga o restante dos alojamentos (que também serão utilizados apenas para repouso). As oficinas e o laboratório de geologia serão utilizados diariamente, contudo não abrigarão nenhum maquinário que necessite de cuidados especiais.

2.3. LEVANTAMENTO DAS NECESSIDADES DE VENTILAÇÃO E REFRIGERAÇÃO DOS AMBIENTES

Para um correto cálculo da carga térmica é preciso, primeiramente, definir as necessidades de ventilação e, se for o caso, de refrigeração de cada cômodo da embarcação. Neste processo são levados em conta a ocupação ou não do ambiente por pessoas, produtos e/ou maquinário especial e as necessidades (em termos de temperatura e renovação de ar) de cada um.

Uma cabine ou local de armazenagem qualquer necessita de uma taxa mínima de renovação de ar, seja esta feita através de um difusor ou de um "jato" de ar (estas taxas assumem, geralmente, um valor de até 100 ft/min). Partindo-se desta necessidade projeta-se o sistema de ventilação de forma a prover ar suficiente para cada pessoa ou, se este não for o caso, um mínimo de renovação de ar que proporcionará ventilação adequada.

Contudo, todo o ar levado para os cômodos não tende a amenizar as condições de umidade, mas sim a piorá-las devido a mistura exalada pelos ocupantes. Ventilação, por si só, não é capaz de reduzir a temperatura e a umidade do ar de um cômodo abaixo dos níveis do ar local, não importando qual taxa de troca de ar seja usada ou qual volume do mesmo seja movimentado.

Isto pode ser explicado pelo simples fato de que, não importando o quão intenso seja o insuflamento de ar no interior da estrutura, esta estará submetida às condições predominantes de temperatura e umidade do ar atmosférico local. A estas condições somam-se a transmissão de calor devido ao sol e as emissões provenientes de possíveis ocupantes, fontes de luz e maquinários. Na verdade, tudo que se pode esperar de um sistema que usa ar atmosférico (além da renovação de ar) é que ele proporcione ar suficiente para cada cômodo de modo a evitar o aumento excessivo da temperatura de bulbo seco.¹

A embarcação em questão navegará apenas na costa brasileira não necessitando, portanto, de um sistema de refrigeração que suporte condições extremas de temperatura. Tampouco será necessário um sistema de aquecimento (figura 2.3.1).²

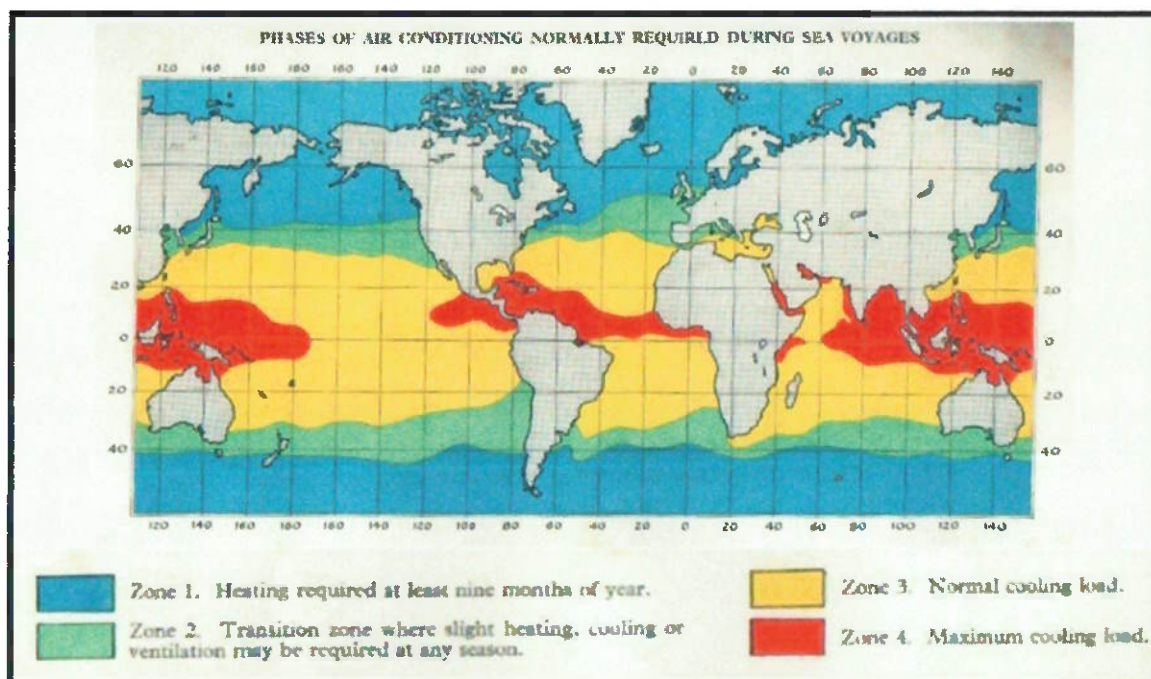


Fig. 2.3.1 Necessidade de aquecimento e/ou refrigeração para embarcações de acordo com a localização mundial.

Os camarotes e alojamentos serão utilizados, a princípio, apenas para repouso necessitando, desta forma, apenas de duas renovações de ar por hora para manter a salubridade do local (esta taxa de ventilação será referenciada como sendo “normal” no decorrer do texto). Todos os outros cômodos também utilizarão ventilação normal com exceção dos laboratórios molhado, químico e geral que necessitarão de 100% de ar renovado para evitar que possíveis vazamentos ou liberações de gases possam tornar o ambiente impróprio para trabalho. Outra exceção fica por conta da cozinha que necessitará de um sistema de exaustão sobre os queimadores, sistema este tratado separadamente do sistema de ventilação.

Todos os cômodos contarão também com um sistema de ar condicionado para manter a temperatura perto dos 24°C e a umidade relativa do ar próxima aos 50%. Os camarotes e alojamentos contarão com um controlador local de vazão para regular a temperatura do cômodo (a partir de uma temperatura mínima fornecida pelo sistema). A exceção fica por conta do paiol que terá um sistema de refrigeração local para funcionar como uma câmara fria.

2.4. LEVANTAMENTO DAS DIMENSÕES DOS AMBIENTES

De posse das necessidades de ventilação e refrigeração de cada ambiente é necessária uma análise quantitativa do espaço da embarcação em questão. As áreas de todos os cômodos devem ser levantadas para que se possa, então, iniciar o cálculo do perfil de carga térmica.

Cada cômodo foi enumerado de modo a facilitar sua identificação. As áreas foram calculadas tomando-se como base os desenhos em escala do navio e adotando-se uma altura padrão de 2 m para os cômodos.

Comando (vide Anexo I)

- 1- 74,52 m³ (comando)
- 2- 15,50 m³ (salas de navegação e comunicação)
- 3- 25,50 m³ (camarotes dos convidados)
- 4- 26,94 m³ (camarotes do Comandante e do pesq. Chefe)
- 5- 30,38 m³ (sala de reuniões)
- 6- 7,50 m³ (depósito)

Convés Superior (vide Anexo II)

- 7- 104,90 m³ (refeitório e sala de estar dos oficiais)
- 8- 18,94 m³ (camarotes do 2º oficial de náutica e do de máquinas)
- 9- 20,04 m³ (camarotes do 1º oficial de náutica e do de máquinas)
- 10- 21,16 m³ (camarotes do médico e dos pesquisadores)
- 11- 22,26 m³ (alojamento do imediato)
- 12- 12,14 m³ (depósito)
- 13- 28,34 m³ (central de observações)
- 14- 2,52 m³ (cabine)

Convés Principal (vide Anexo III)

- 15- 53,96 m³ (sala de estar e refeitório da tripulação)
- 16- 10,10 m³ (paio)
- 17- 11,14 m³ (paio)
- 18- 10,94 m³ (lavanderia)
- 19- 44,34 m³ (cozinha)
- 20- 26,94 m³ (laboratório de elétrica)
- 21- 45,56 m³ (computação)
- 22- 36,45 m³ (equipamentos)
- 23- 13,40 m³ (enfermaria)
- 24- 4,91 m³ (paiois - utilizarão sistema local de refrigeração)
- 25- 23,60 m³ (laboratório químico)
- 26- 66,82 m³ (laboratório geral)
- 27- 40,00 m³ (laboratório molhado)

Convés Inferior (vide Anexo IV)

- 28- 25,50 m³ (alojamentos da tripulação)
- 29- 17,82 m³ (alojamentos da tripulação)
- 30- 18,92 m³ (alojamentos da tripulação)
- 31- 20,00 m³ (alojamentos da tripulação)
- 32- 21,16 m³ (alojamentos da tripulação)
- 33- 19,20 m³ (alojamentos da tripulação)
- 34- 12,24 m³ (lavanderia)
- 35- 18,92 m³ (oficinas)
- 36- 37,86 m³ (laboratório de geologia)

No cálculo de uma das parcelas mais preponderantes da carga térmica são necessárias as áreas laterais irradiadas (lados do navio diretamente irradiados pelo sol durante o dia) de cada cômodo. Esses valores também foram levantados adotando-se uma altura padrão de 2 m para os cômodos. As áreas calculadas referem-se à área total de cada cômodo que é diretamente irradiada pelo sol.

Comando (vide Anexo I)

- 1- 18,10 m² (comando)
- 2- 8,14 m² (salas de navegação e comunicação)
- 3- 12,67 m² (camarotes dos convidados)
- 4- 12,67 m² (camarotes do Comandante e do pesq. Chefe)
- 5- 6,79 m² (sala de reuniões)
- 6- 6,79 m² (depósito)

Convés Superior (vide Anexo II)

- 7- 43,44 m² (refeitório e sala de estar dos oficiais)
- 8- 8,14 m² (camarotes do 2º oficial de náutica e do de máquinas)
- 9- 8,14 m² (camarotes do 1º oficial de náutica e do de máquinas)
- 10- 8,14 m² (camarotes do médico e dos pesquisadores)
- 11- 4,07 m² (alojamento do imediato)
- 12- 2,71 m² (depósito)
- 13- 6,33 m² (central de observações)
- 14- 2,26 m² (cabine)

Convés Principal (vide Anexo III)

- 15- 21,27 m² (sala de estar e refeitório da tripulação)
- 16- 4,52 m² (paio)
- 17- 4,52 m² (paio)
- 18- 4,07 m² (lavanderia)
- 19- 12,89 m² (cozinha)
- 20- 8,82 m² (laboratório de elétrica)
- 21- 11,31 m² (computação)
- 22- 8,14 m² (equipamentos)
- 23- 5,66 m² - (enfermaria)
- 24- 0 m² não é diretamente irradiado
- 25- 8,82 m² (laboratório químico)
- 26- 18,95 m² (laboratório geral)
- 27- 5,89 m² (laboratório molhado)

Convés Inferior (vide Anexo IV)

- 28- 17,65 m² (alojamentos da tripulação)
- 29- 4,07 m² (alojamentos da tripulação)
- 30- 4,07 m² (alojamentos da tripulação)
- 31- 4,07 m² (alojamentos da tripulação)
- 32- 4,07 m² (alojamentos da tripulação)
- 33- 4,07 m² (alojamentos da tripulação)
- 34- 4,75 m² (lavanderia)
- 35- 15,38 m² (oficinas)
- 36- 15,16 m² (laboratório de geologia)

3. DEFINIÇÃO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

3.1. CÁLCULO DO PERFIL DE CARGA TÉRMICA DE CADA AMBIENTE

O perfil de carga térmica foi calculado com base em três fatores: iluminação, ocupação e irradiação solar. Cada um foi analisado e calculado individualmente somando-se, ao final, os resultados obtidos de forma a conseguir-se um total a ser exigido do sistema de refrigeração.

3.1.1. CARGA TÉRMICA DEVIDO À ILUMINAÇÃO

O cálculo desta componente da carga térmica total não pode ser feito diretamente,³ pois a taxa de ganho de calor em qualquer momento pode ser muito diferente do calor equivalente à energia consumida pelas luzes. Apenas uma parte da energia das lâmpadas é liberada na forma de calor por convecção e essa parte é absorvida instantaneamente pelo aparelho de ar-condicionado. O restante da energia é liberada na forma de radiação e só afetará o ambiente após ter sido absorvida e liberada pelas paredes, teto, mobília, etc. Essa energia absorvida só contribui para a carga térmica após um período de tempo, com parte desta energia sendo liberada ainda após o desligamento das luzes.

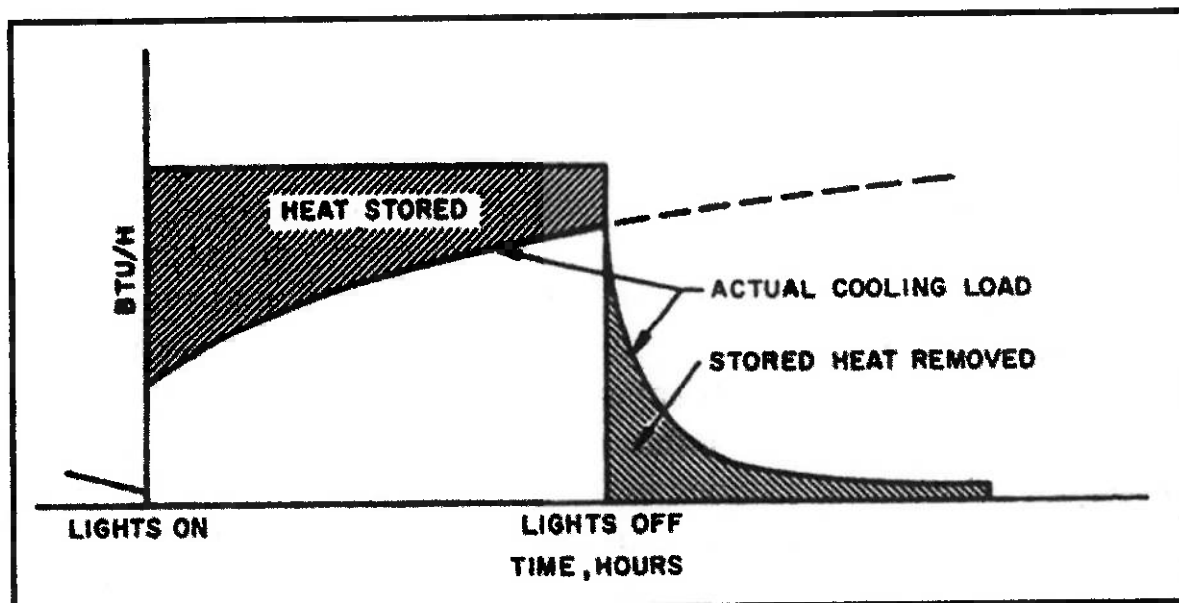


Fig. 3.1.1.1 Absorção e liberação de calor em carga térmica proveniente de iluminação³

No cálculo da carga térmica faz-se necessário considerar o tempo decorrido até o equilíbrio na emissão de calor, desde o momento em que as luzes foram ligadas. Considerou-se, desta forma, o calor sensível e latente fornecido pela iluminação e adotou-se como modelo para cálculo:³

$$q_{el} = 3,41 \cdot W_L \cdot F_{ul} \cdot F_{sa} \quad \text{eq. 3.1.1.1}$$

onde:

q_{el} = ganho em calor (Btu/h)

W_L = total de Watts consumidos pela lâmpada

F_{ul} = fator de uso da lâmpada

F_{sa} = fator de montagem e tipo de lâmpada

O fator de uso da lâmpada diz respeito à quantidade de horas na qual a lâmpada fica acesa por dia. Este fator é expresso em termos de uma porcentagem (horas ligada sobre o total de horas de um dia). O fator de montagem e tipo de lâmpada dizem respeito ao seu local de fixação (no caso teto sem ventilação especial) e o tipo de lâmpada utilizada (no caso lâmpadas fluorescentes de 40 W). O valor utilizado para este fator é 1,20.³

Para efeitos de cálculo foram considerados turnos de trabalho de 10 horas. Entende-se aqui por turnos de trabalho o período no qual os laboratórios estão sendo utilizados (assim como sua iluminação).

Carga Térmica devido à iluminação artificial

Tipo de Cômodo	Nº de cômodos	Utilização diária*	Número de lâmpadas	Carga térmica média (W)	Carga térmica média (Btu/h)
1	1	1,00	8	383,796864	1309,44
2	2	1,00	2	191,898432	654,72
3	2	0,08	2	15,991536	54,56
4	2	0,08	2	15,991536	54,56
5	1	0,08	4	15,991536	54,56
6	1	0,04	2	3,997884	13,64
7	1	0,17	24	191,898432	654,72
8	2	0,08	2	15,991536	54,56
9	2	0,08	2	15,991536	54,56
10	2	0,08	2	15,991536	54,56
11	1	0,08	2	7,995768	27,28
12	1	0,08	2	7,995768	27,28
13	1	0,33	6	95,949216	327,36
14	1	0,42	2	39,97884	136,4
15	1	0,17	12	95,949216	327,36
16	1	0,08	2	7,995768	27,28
17	1	0,08	2	7,995768	27,28
18	1	0,17	2	15,991536	54,56
19	1	0,25	9	107,942868	368,28
20	1	0,42	12	239,87304	818,4
21	1	0,42	16	319,83072	1091,2
22	1	0,42	12	239,87304	818,4
23	1	0,04	4	7,995768	27,28
24	2	-	-	-	-
25	1	0,42	12	239,87304	818,4
26	1	0,42	24	479,74608	1636,8
27	1	0,42	8	159,91536	545,6
28	2	0,08	2	15,991536	54,56
29	2	0,08	2	15,991536	54,56
30	2	0,08	2	15,991536	54,56
31	2	0,08	2	15,991536	54,56
32	2	0,08	2	15,991536	54,56
33	2	0,08	2	15,991536	54,56
34	1	0,33	4	63,966144	218,24
35	2	0,33	6	191,898432	654,72
36	1	0,42	10	199,8942	682
Total:			209	3494,150616	11921,36

* Foram utilizados turnos de 10 horas

Tabela 3.1.1.1 Carga térmica devido à iluminação artificial³

3.1.2. CARGA TÉRMICA DEVIDO À OCUPAÇÃO

As pessoas fornecem calor e modificam a mistura do ar por menor tempo que se façam presentes em um ambiente. O quanto será fornecido de calor está diretamente relacionado ao tipo de atividade exercida por cada pessoa. Para o cálculo da carga térmica devido à ocupação relacionou-se as atividades exercidas em cada um dos cômodos com as atividades relacionadas na tabela abaixo.³ Após identificado cada perfil de ocupação levantou-se o número de pessoas e calculou-se a carga térmica diurna e noturna. Para o cálculo geral foi utilizada a carga térmica diurna, pois além desta apresentar um valor maior do que a noturna ela ocorre no mesmo período que a irradiação.

Rates of Heat Gain from Occupants of Conditioned Spaces						
Degree of Activity		Total Heat, Btu/h		Sensible Heat, Btu/h	Latent Heat, Btu/h	% Sensible Heat that is Radiant ^b
		Adult Male	Adjusted, M/F ^a			
Seated at theater	Theater, matinee	390	330	225	165	60
Seated at theater, night	Theater, night	390	350	245	145	
Seated, very light work	Offices, hotels, apartments	450	400	245	205	
Moderately active office work	Offices, hotels, apartments	475	450	250	225	58
Standing, light work; walking	Department store; retail store	550	450	250	300	
Walking, standing	Drug store, bank	550	500	250	300	
Sedentary work	Restaurant ^c	490	550	275	215	49
Light bench work	Factory	800	750	275	525	
Moderate dancing	Dance hall	900	850	305	595	
Walking, 3 mph; light machine work	Factory	1000	1000	375	625	54
Bowling ^d	Bowling alley	1500	1450	580	920	
Heavy work	Factory	1500	1450	580	920	
Heavy machine work; lifting	Factory	1600	1600	635	965	71
Athletics	Gymnasium	2000	1800	710	1290	

Notes:

1. Tabulated values are based on 75°F room dry-bulb temperature. For 80°F room dry bulb, the total heat remains the same, but the sensible heat values should be decreased by approximately 20%, and the latent heat values increased accordingly.
2. Also refer to Table 4, Chapter 6, for additional rates of metabolic heat generation.
3. All values are rounded to nearest 5 Btu/h.
4. Adjusted heat gain is based on normal percentage of men, women, and children for the application listed, with the postulate that the gain from an adult female is 85% of that for an adult male, and that the gain from a child is 75% of that for an adult male.
5. Values approximated from data in Table 6, Chapter 8, where v is air velocity with limits shown in that table.
6. Adjusted heat gain includes 60 Btu/h for food per individual (30 Btu/h sensible and 30 Btu/h latent).
7. Figure one person per alley actually bowling, and all others as sitting (400 Btu/h) standing or walking slowly (550 Btu/h).

Tabela 3.1.2.1 Taxa de ganho de calor de ocupantes em espaços condicionados³

Ao considerar o número de pessoas em cada cômodo (bem como a atividade que exercem) para o cálculo da carga térmica, é necessário também incluir possíveis fontes de calor que não sejam os seres humanos. Nesta categoria incluem-se máquinas com algum tipo de motor (seja este elétrico ou não), transformadores, computadores, queimadores, etc.

Para efeitos de cálculo serão considerados apenas a cozinha e a sala de computadores. Vale lembrar que, por se tratar de um projeto em desenvolvimento, as quantidades de cada equipamento e sua disposição na embarcação ainda não foram definidas. Por este mesmo motivo optou-se pela adoção de um valor estimado (tanto para a cozinha quanto para a sala de computadores) ao invés do desenvolvimento de um cálculo mais elaborado que se basearia apenas em suposições. Os valores adotados são:

- cozinha: 3.000 W
- sala de computadores: 375 W (5 computadores)

Note que o calor fornecido pelo refrigerador e pelo maquinário pesado do navio (motores de propulsão) também é bastante expressivo e deve ser levado em conta caso seja definido que as acomodações destas máquinas necessitam de refrigeração. O calor gerado pelos motores não será levado em conta neste trabalho devido ao simples fato destes não terem sido escolhidos e nem sequer estimados.

Carga Térmica devido à ocupação

Tipo de Cômodo	Qtde	Atividade desenvolvida*	Quantidade de horas por dia (h)	Calor gerado por pessoa (Btu/h)	Número de pessoas	Carga térmica para cálculo** (W)	Carga térmica para cálculo** (Btu/h)	Carga térmica noturna (W)	Carga térmica noturna (Btu/h)
1	1	3	24	475	3	417,6675	1425	0	
2	2	2	24	450	1	263,79	900	0	
3	2	0	8	270	1	-	-	158,274	540
4	2	0	8	270	1	-	-	158,274	540
5	1	1	2	390	6	-	-	0	
6	1	-	-	0	0	-	-	0	
7	1	1	4	390	6	-	-	0	
8	2	0	8	270	1	-	-	158,274	540
9	2	0	8	270	1	-	-	158,274	540
10	2	0	8	270	1	-	-	158,274	540
11	1	0	8	270	1	-	-	79,137	270
12	1	-	-	0	0	-	-	0	
13	1	2	10	475	2	278,445	950	0	
14	1	1	10	450	1	131,895	450	0	
15	1	1	4	390	20	-	-	0	
16	1	-	-	0	0	-	-	0	
17	1	-	-	0	0	-	-	0	
18	1	4	4	550	1	161,205	550	0	
19	1	5	6	800	3	703,44	2400	0	
20	1	3	10	475	3	417,6675	1425	0	
21	1	3	10	475	4	556,89	1900	0	
22	1	3	10	475	3	417,6675	1425	0	
23	1	4	1	550	2	322,41	1100	0	
24	2	-	-	0	0	-	-	0	
25	1	3	10	475	2	278,445	950	0	
26	1	3	10	475	6	835,335	2850	0	
27	1	3	10	475	2	278,445	950	0	
28	2	0	8	270	2	-	-	316,548	1080
29	2	0	8	270	2	0		316,548	1080
30	2	0	8	270	2	0		316,548	1080
31	2	0	8	270	2	0		316,548	1080
32	2	0	8	270	2	0		316,548	1080
33	2	0	8	270	2	0		316,548	1080
34	1	4	4	550	1	161,205	550	0	
35	2	4	8	800	1	468,96	1600	0	
36	1	3	10	475	4	556,89	1900	0	
Total:						6250,3575	21325	2769,8	9450

*Tipos de trabalho:

- 0 - Dormindo (270 Btu/h)
- 1 - Sentado, descansando ou conversando (390 Btu/h)
- 2 - Sentado, trabalho leve (450 Btu/h)
- 3 - Trabalho moderado de escritório (475 Btu/h)
- 4 - Trabalho leve, em pé ou andando (550 Btu/h)
- 5 - Trabalhando de pé ou andando (800 Btu/h)

Observação: turnos de 10 horas de trabalho

** Carga térmica efetivamente utilizada no cálculo (as pessoas não podem estar em dois lugares ao mesmo tempo. Elas estão ou trabalhando ou estão no refeitório).

Tabela 3.1.2.2 Carga térmica devido à ocupação³

3.1.3. CARGA TÉRMICA DEVIDO À IRRADIAÇÃO

A embarcação estará sujeita à radiação solar constante e diária. Esta radiação gera um ganho de calor para a embarcação que varia de acordo com a espessura e o material que compõe as paredes irradiadas da embarcação. Para o cálculo da estimativa de carga térmica devido à radiação foi utilizada a convenção CLTD/CLF.⁴ As paredes foram consideradas como sendo escuras.

$$q = U \cdot A \cdot (CLTD) \quad \text{eq. 3.1.3.1}$$

onde:

q = carga térmica (W)

U = coeficiente de transferência de calor ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$)

A = área da superfície irradiada

Para o cálculo de U considerou-se a parede do navio como sendo composta por duas chapas de aço, uma de 20 mm (externa) e outra de 5 mm (interna) e uma camada de poliuretano de 30 mm entre as duas chapas de aço.

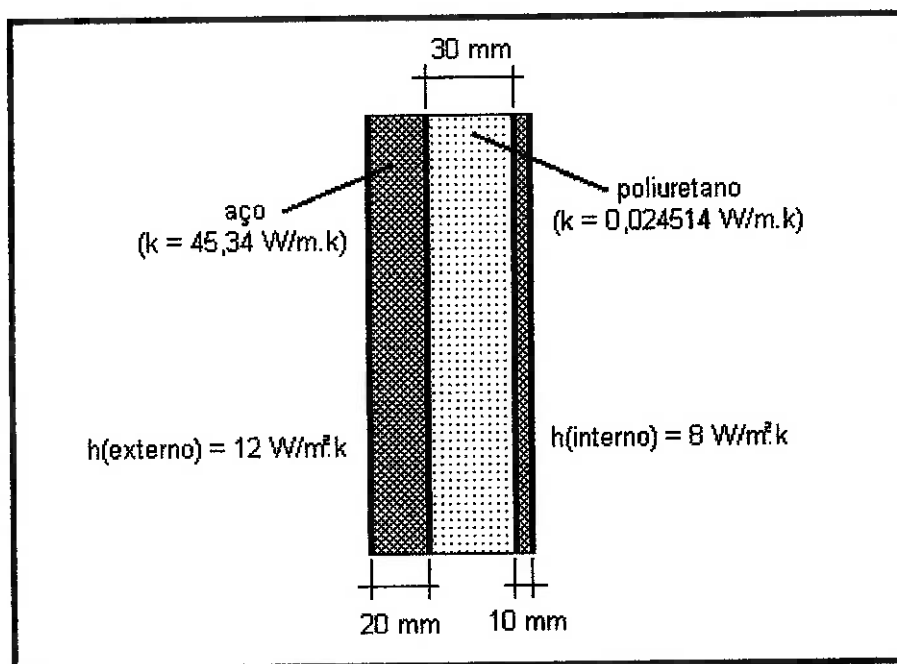


Fig. 3.1.3.1 Esquema da parede da embarcação

Procedendo ao cálculo de U :⁵

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{\text{externo}}} + \frac{e_{\text{placa externa}}}{k_{\text{aço}}} + \frac{e_{\text{isolamento}}}{k_{\text{poliuretano}}} + \frac{e_{\text{placa interna}}}{k_{\text{aço}}} + \frac{1}{h_{\text{interno}}}} \quad \text{eq. 3.1.3.2}$$

Logo:

$$U = 0,697995 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$$

Após o cálculo de U classificamos as paredes da embarcação como sendo um tipo de “teto” de acordo com a tabela 3.1.3.1⁴

Roof Construction Code		
Roof No.	Description	Code Numbers of Layers (see Table 11)
1	Steel Sheet with 25-mm insulation	A0, E2, E3, B5, A3, E0
2	25-mm wood with 25-mm insulation	A0, E2, E3, B5, B7, E0
3	100-mm l. w. concrete	A0, E2, E3, C14, E0
4	50-mm h.w. concrete with 25-mm insulation	A0, E2, E3, B5, C12, E0
5	25-mm wood with 50-mm insulation	A0, E2, E3, B6, B7, E0
6	150-mm l. w. concrete	A0, E2, E3, C15, E0
7	63-mm wood with 25-mm insulation	A0, E2, E3, B5, B8, E0
8	200-mm l. w. concrete	A0, E2, E3, C16, E0
9	100-mm h. w. concrete with 25-mm insulation	A0, E2, E3, B5, C5, E0
10	63-mm wood with 50-mm insulation	A0, E2, E3, B6, B8, E0
11	Roof terrace system	A0, C12, B1, B6, E2, E3, C5, E0
12	150-mm h. w. conc. with 25-mm ins.	A0, E2, E3, B5, C13, E0
13	100-mm wood with 25-mm insulation	A0, E2, E3, B5, B9, E0

Tabela 3.1.3.1 Diferentes tipo de teto ⁴

Este cálculo será feito utilizando esta aproximação por teto não suspenso e aplicando valores de correção para a CLTD de acordo com a latitude e o mês do ano. As paredes serão classificadas como teto do tipo 1 (tabela 3.1.3.1) e a CLTD usada será de 47, de acordo com a tabela 3.1.3.2 para folha de aço com 50 mm de isolamento ($U = 0,704 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ que é um valor muito próximo do valor calculado para as paredes do navio).

CLTD Correction For Latitude and Month Applied to Wells and Roads, South Latitude

Lat.	Month	N	NNE	NE	NNE	E	ENE	SE	SSE	S	FOR
0	Dec	-1.6	-1.7	-2.7	-2.3	-1.1	0.0	1.6	1.9	1.0	-0.1
	Jan/Nov	-1.6	-1.7	-2.2	-2.3	-0.2	0.0	1.1	1.2	1.1	-0.1
	Feb/Oct	-1.5	-1.1	-1.1	-1.1	-0.2	-0.1	0.0	1.1	1.1	0.0
	Mar/Sept	-1.5	0.0	0.0	-0.2	-0.2	-0.1	1.0	1.1	1.1	0.0
	Apr/Aug	-1.7	1.2	1.0	0.1	-1.1	-2.1	1.1	1.1	1.1	1.1
	May/Jul	-1.5	1.1	1.1	0.1	-1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
8	Dec	-2.2	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	0.0	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Jan/Nov	-1.6	-1.7	-2.2	-2.3	-1.1	0.0	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Feb/Oct	-1.5	-1.1	-1.1	-1.1	-0.2	0.0	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Mar/Sept	-1.5	-1.1	-1.1	-0.2	-0.2	1.1	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Apr/Aug	-1.1	1.1	1.1	0.1	-0.2	1.1	1.1	1.1	1.1	-1.1
	May/Jul	-1.1	1.1	1.1	0.1	-0.2	1.1	1.1	1.1	1.1	-1.1
16	Dec	-2.2	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	0.0	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Jan/Nov	-2.2	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	0.0	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Feb/Oct	-1.6	-1.1	-1.1	-1.1	-0.2	0.0	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Mar/Sept	-1.6	-1.1	-1.1	-0.2	-0.2	1.1	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Apr/Aug	-1.1	1.1	1.1	0.1	-0.2	1.1	1.1	1.1	1.1	-1.1
	May/Jul	-1.1	1.1	1.1	0.1	-0.2	1.1	1.1	1.1	1.1	-1.1
24	Dec	-2.2	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	0.0	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Jan/Nov	-2.2	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	0.0	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Feb/Oct	-1.6	-1.1	-1.1	-1.1	-0.2	0.0	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Mar/Sept	-1.6	-1.1	-1.1	-0.2	-0.2	1.1	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Apr/Aug	-1.1	1.1	1.1	0.1	-0.2	1.1	1.1	1.1	1.1	-1.1
	May/Jul	-1.1	1.1	1.1	0.1	-0.2	1.1	1.1	1.1	1.1	-1.1
32	Dec	-2.2	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	0.0	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Jan/Nov	-2.2	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	0.0	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Feb/Oct	-1.6	-1.1	-1.1	-1.1	-0.2	0.0	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Mar/Sept	-1.6	-1.1	-1.1	-0.2	-0.2	1.1	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Apr/Aug	-1.1	1.1	1.1	0.1	-0.2	1.1	1.1	1.1	1.1	-1.1
	May/Jul	-1.1	1.1	1.1	0.1	-0.2	1.1	1.1	1.1	1.1	-1.1
40	Dec	-2.2	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	0.0	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Jan/Nov	-2.2	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	0.0	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Feb/Oct	-1.6	-1.1	-1.1	-1.1	-0.2	0.0	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Mar/Sept	-1.6	-1.1	-1.1	-0.2	-0.2	1.1	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Apr/Aug	-1.1	1.1	1.1	0.1	-0.2	1.1	1.1	1.1	1.1	-1.1
	May/Jul	-1.1	1.1	1.1	0.1	-0.2	1.1	1.1	1.1	1.1	-1.1
48	Dec	-2.2	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	0.0	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Jan/Nov	-2.2	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	0.0	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Feb/Oct	-1.6	-1.1	-1.1	-1.1	-0.2	0.0	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Mar/Sept	-1.6	-1.1	-1.1	-0.2	-0.2	1.1	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Apr/Aug	-1.1	1.1	1.1	0.1	-0.2	1.1	1.1	1.1	1.1	-1.1
	May/Jul	-1.1	1.1	1.1	0.1	-0.2	1.1	1.1	1.1	1.1	-1.1
56	Dec	-2.2	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	0.0	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Jan/Nov	-2.2	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	0.0	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Feb/Oct	-1.6	-1.1	-1.1	-1.1	-0.2	0.0	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Mar/Sept	-1.6	-1.1	-1.1	-0.2	-0.2	1.1	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Apr/Aug	-1.1	1.1	1.1	0.1	-0.2	1.1	1.1	1.1	1.1	-1.1
	May/Jul	-1.1	1.1	1.1	0.1	-0.2	1.1	1.1	1.1	1.1	-1.1
64	Dec	-2.2	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	0.0	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Jan/Nov	-2.2	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	0.0	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Feb/Oct	-1.6	-1.1	-1.1	-1.1	-0.2	0.0	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Mar/Sept	-1.6	-1.1	-1.1	-0.2	-0.2	1.1	1.1	1.1	1.1	-1.1
	Apr/Aug	-1.1	1.1	1.1	0.1	-0.2	1.1	1.1	1.1	1.1	-1.1
	May/Jul	-1.1	1.1	1.1	0.1	-0.2	1.1	1.1	1.1	1.1	-1.1

1) Correction for latitude and month applied directly to CLTD for a well or road is given in Table 3.1.3.3.

2) The CLTD correction for latitude and month applied to the CLTD for a well or road is given in Table 3.1.3.3.3. The CLTD correction for latitude and month applied to the CLTD for a well or road is given in Table 3.1.3.3.3.

Tabela 3.1.3.3 Valores para correção da CLTD⁴

Como nenhuma modificação é necessária, utilizaremos o valor 47 para a CLTD. Calcula-se então a carga térmica para os diferentes cômodos (tabela 3.1.3.4).

Carga Térmica devido à radiação solar e temperatura ambiente

Cômodo	Parede lateral (m)	Área lateral por parede (m2)	Número de paredes	Total área irradiada (m2)	Cooling Load Temperature Difference (CLTD)	Carga térmica (W)	Carga térmica (Btu/h)
1	4,525	9,05	2	18,1	47	593,7843	2.025,8760
2	2,036	4,072	2	8,144	47	267,1701	911,5323
3	3,167	6,334	2	12,668	47	415,5834	1.417,8894
4	3,167	6,334	2	12,668	47	415,5834	1.417,8894
5	3,394	6,788	1	6,788	47	222,6855	759,7595
6	3,394	6,788	1	6,788	47	222,6855	759,7595
7	10,86	21,72	2	43,44	47	1.425,0822	4.862,1024
8	2,036	4,072	2	8,144	47	267,1701	911,5323
9	2,036	4,072	2	8,144	47	267,1701	911,5323
10	2,036	4,072	2	8,144	47	267,1701	911,5323
11	2,036	4,072	1	4,072	47	133,5851	455,7661
12	1,357	2,714	1	2,714	47	89,0348	303,7695
13	3,167	6,334	1	6,334	47	207,7917	708,9447
14	1,131	2,262	1	2,262	47	74,2066	253,1785
15	5,317	10,634	2	21,268	47	697,7129	2.380,4603
16	2,262	4,524	1	4,524	47	148,4133	506,3571
17	2,262	4,524	1	4,524	47	148,4133	506,3571
18	2,036	4,072	1	4,072	47	133,5851	455,7661
19	6,448	12,896	1	12,896	47	423,0631	1.443,4087
20	4,412	8,824	1	8,824	47	289,4780	987,6425
21	5,656	11,312	1	11,312	47	371,0988	1.266,1165
22	4,072	8,144	1	8,144	47	267,1701	911,5323
23	2,828	5,656	1	5,656	47	185,5494	633,0583
24	0	0	0	0	47	0,0000	0,0000
25	4,412	8,824	1	8,824	47	289,4780	987,6425
26	9,474	18,948	1	18,948	47	621,6035	2.120,7900
27	2,941	5,882	1	5,882	47	192,9635	658,3537
28	4,412	8,824	2	17,648	47	578,9561	1.975,2851
29	2,036	4,072	1	4,072	47	133,5851	455,7661
30	2,036	4,072	1	4,072	47	133,5851	455,7661
31	2,036	4,072	1	4,072	47	133,5851	455,7661
32	2,036	4,072	1	4,072	47	133,5851	455,7661
33	2,036	4,072	1	4,072	47	133,5851	455,7661
34	2,376	4,752	1	4,752	47	155,8930	531,8764
35	3,846	7,692	2	15,384	47	504,6838	1.721,8827
36	7,579	15,158	1	15,158	47	497,2697	1.696,5872
Total:						11.041,9596	37.673,0114

Tabela 3.1.3.4 Carga térmica devido à iluminação artificial⁴

3.2. PRÉ-DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

3.2.1. SELEÇÃO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

Três tipos de sistema comumente utilizados foram analisados para que se pudesse definir o mais adequado para a embarcação em questão: sistema central de ar condicionado, sistema com duto duplo e sistema com unidades individuais.

O sistema central de ar condicionado proporciona extrema facilidade de operação e manutenção. Ele pode trabalhar ou não com ar recirculado e pode fornecer controle individual de temperatura (partindo de uma temperatura mínima) até certo limite.²

O sistema com duto duplo é semelhante ao anterior, mas trabalha com uma tubulação de ar quente e uma de ar refrigerado. Reguladores individuais proporcionam controle total da temperatura em cada cômodo.

A outra opção, o sistema com unidades individuais, consiste no uso de pequenas unidades de refrigeração em cada cômodo. Cada unidade é conectada a um sistema central para receber suprimento de água gelada. Estas unidades podem ser usadas para fornecer todo o ar condicionado ou podem trabalhar em conjunto com um sistema de ar refrigerado central.

Para facilitar a análise das três opções foi montada uma matriz de decisão baseada em três fatores: custo, conforto e manutenção. O custo refere-se ao capital necessário e às dificuldades de implantação. O conforto diz respeito ao grau de comodidade que pode ser conseguido com o sistema em questão e a manutenção indica os custos e as dificuldades relacionados à mesma.

As notas atribuídas variam de um a três onde o melhor sistema (para atender aquele requisito) recebe a nota três e o pior recebe nota um. As notas foram ponderadas de acordo com o peso de cada requisito. Como o objetivo da embarcação é a pesquisa (e ela ainda não possui apoio financeiro) o fator “custo” recebeu o maior peso sendo seguido pela “manutenção” e pelo “conforto”.

Fator	Peso	Sistema		
		Central	Duto Duplo	Unidades Individuais
Custo	3	3	2	1
Manutenção	2	3	2	1
Conforto	1	1	3	2
Total:		16	13	7

Fig. 3.2.1.1 Matriz de decisão ponderada

Apesar de proporcionar um ótimo controle da temperatura em cada um dos cômodos, o sistema formado por unidades individuais necessitará de maiores gastos com manutenção (cada unidade possui um pequeno motor e uma pequena hélice) e implantação já que será necessário, também, um sistema que forneça ar fresco.

O sistema de dutos duplos pode oferecer completo controle de temperatura, porém ocupa mais espaço e é mais caro do que o sistema com duto simples. Com estas informações completa-se a tabela e obtém-se o sistema mais apropriado: refrigeração central com duto simples.²

3.2.2. CARGA TÉRMICA E SELEÇÃO DE MAQUINÁRIO

Após decidido sobre o tipo de sistema de refrigeração e de posse dos valores de carga térmica, inicia-se o processo de seleção do maquinário. O valor de carga térmica é totalizado e obtém-se:

$$q = 24.162 \text{ W} \quad \text{ou} \quad 82.434 \text{ Btu/h}$$

Utilizando este valor de carga térmica pesquisamos em catálogos de diversos fabricantes para encontrar uma máquina com esta capacidade de refrigeração. Escolhemos, como exemplo, a máquina AN100 da Aermec com refrigerante R407C (ver anexo XVIII) que é capaz de fornecer até 27,4 kW de refrigeração. Este catálogo fornecerá um valor de vazão de ar para os cálculos referentes ao sistema de ventilação e distribuição de ar.

4. DEFINIÇÃO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO

A próxima etapa a ser realizada no nosso pré-dimensionamento do sistema de ventilação e refrigeração da embarcação em estudo é a definição das necessidades de ventilação.

Podemos dividir esta etapa em três outras. Na primeira, Necessidades de Ventilação, estaremos determinando os requisitos do sistema de ventilação, assim como a necessidade de ventilação de cada um dos cômodos da embarcação.

Na segunda, Layout do Sistema de Ventilação, estaremos determinando o desenho dos dutos de ventilação e seus componentes (ventilador, válvulas, bocais, etc.), de forma a possibilitar o cálculo da perda de carga que teremos no sistema de distribuição.

Por fim, na terceira e última etapa, Determinação do Sistema de Ventilação, estaremos utilizando os dados adquiridos nas duas primeiras etapas de forma a podermos determinar a real necessidade de ventilação, ou seja, escolha do nosso ventilador, caso a máquina de Refrigeração determinada no capítulo anterior não seja suficiente para cobrir as necessidades do sistema.

4.1. NECESSIDADES DE VENTILAÇÃO

A primeira idéia que surge ao pensarmos nos requisitos necessários a um sistema de ventilação é exatamente a fonte de ar. Para que possamos ter um sistema adequado de ventilação temos primeiramente que determinar se o ar utilizado pelo mesmo é adequado para o consumo dos tripulantes da embarcação.

Podemos então, através da utilização da norma ASHRAE de ventilação para ambientes, determinar quais são os parâmetros e seus valores para que o ar existente para extração no ambiente pelo sistema de ventilação seja adequado para uso.⁶ Estes valores podem ser extraídos da tabela abaixo:

National Primary Ambient-Air Quality Standards for Outdoor Air as Set by the U.S. Environmental Protection Agency (Ref 19)						
Contaminant	Long term			Short term		
	Concentration	Averaging		Concentration	Averaging	
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppm		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppm	
Sulfur dioxide	80	0.03	1 year	365 ^a	0.14 ^a	24 hours
Particles (PM 10)	50 ^b	—	1 year	150 ^b	—	24 hours
Carbon monoxide				40,000 ^a	35 ^a	1 hour
Carbon monoxide				10,000 ^a	9 ^a	3 hours
Oxidants (ozone)				235 ^a	0.12 ^a	1 hour
Nitrogen dioxide	100	0.033	1 year			
Lead	1.5	—	3 months ^d			

^a Not to be exceeded more than once per year.

^b Arithmetic mean

^c Standard is attained when expected number of days per calendar year with maximal hourly average concentrations above 0.12 ppm (235 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) is equal to or less than 1, as determined by Appendix H to subchapter C, 40 CFR 50

^d Three-month period is a calendar quarter.

ASHRAE STANDARD 62-1989

Tabela 4.1.1 Requerimentos do ar para utilização em sistemas de ventilação⁶

Caso os requisitos da tabela acima não sejam alcançados pelo ar local, será necessário um sistema de tratamento do mesmo antes que ele seja distribuído pelo sistema de ventilação.

Analizando novamente a região pela qual o navio em estudo está programado para navegar, ou seja, as costas brasileiras, constatamos que podemos obter os requerimentos acima sem a utilização de um sistema de tratamento de ar, pois consideramos que a distância de centros urbanos, assim como o grande índice de ventos existente na costa do Brasil, facilmente nos garantirá um ar que atenda a tais necessidades.

Após isso, determinamos a necessidade de ventilação, ou seja, a taxa em que o ar deve ser renovado em cada um dos cômodos da embarcação. Primeiramente nós criamos uma nova numeração para os cômodos, de forma a facilitar não só a determinação da ventilação de forma inequívoca, mas também de facilitar o desenho do Layout dos dutos de distribuição, etapa realizada posteriormente.

A nova numeração pode ser encontrada nos esquemas da embarcação nos Anexos V, VI, VII e VIII.

Antes de determinarmos as taxas de ventilação dos ambientes, alguns pontos foram assumidos. O primeiro diz respeito ao fato de que não teremos um sistema de exaustão ou coleta do ar do ambiente, ou seja, nenhum sistema, além de escape normal, será utilizado para retirar o ar dos cômodos. Este é um ponto importante pelo fato de que, caso algum sistema de sucção fosse utilizado, as taxas de ventilação teriam de ser maiores para cobrir a perda de ar empregada por este sistema.

Um segundo ponto que foi observado foi em relação aos cômodos de uso intermitente. Segundo a norma⁶ devemos instalar um sistema de controle de ventilação para ajustá-la durante os períodos ociosos e de utilização, ou seja, teríamos taxas de ventilação variáveis nestes cômodos.

Outro ponto relacionado a isto é que os cômodos de uso intermitente necessitam de uma “pré-ventilação” antes de sua utilização caso o ar no mesmo encontre-se parado, de forma a renovar o ar por um período de tempo e torná-lo não nocivo ao usuário. Este tempo de pré-ventilação pode ser observado no gráfico abaixo, extraído das normas de ventilação.⁶

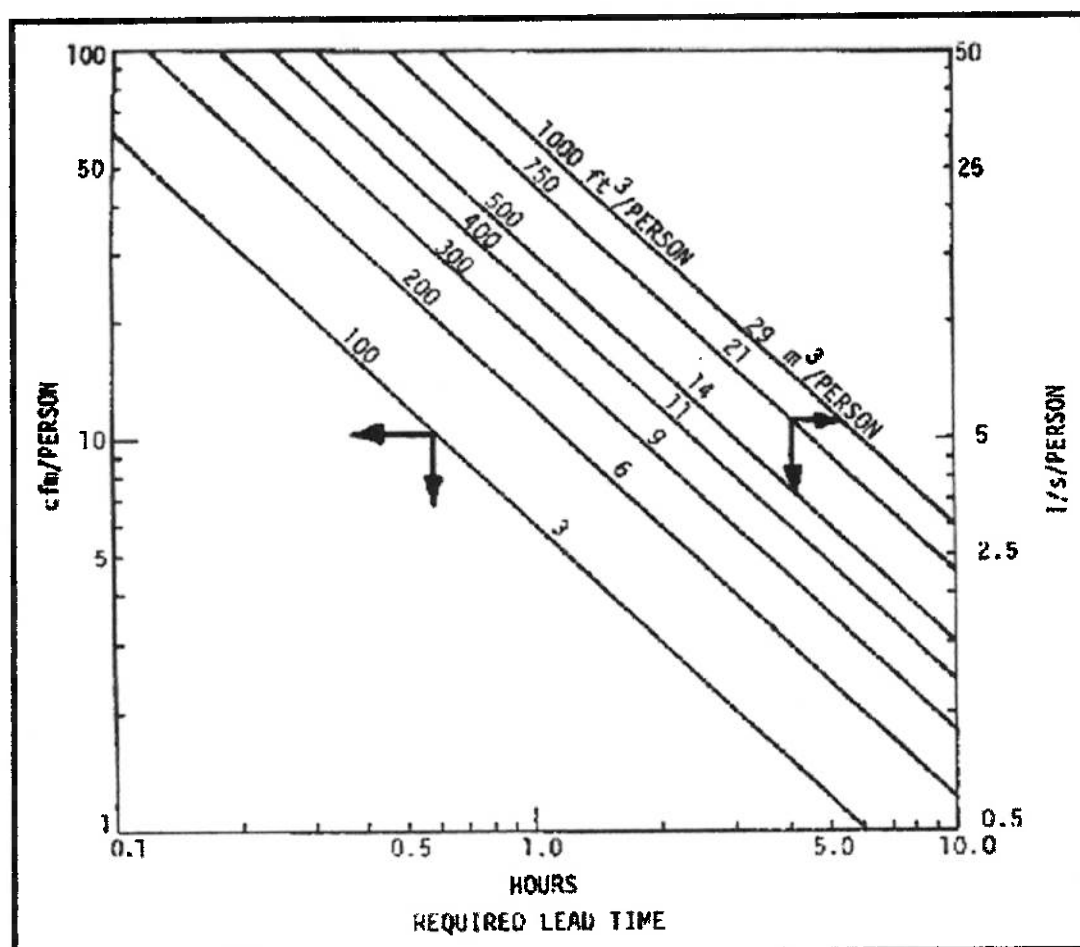


Fig. 4.1.1 Tempo de “pré-refrigeração” de ambientes de uso intermitente⁶

Refletindo sobre as duas observações feitas acima em relação aos cômodos de uso intermitente, chegamos a uma simplificação do sistema. Ao invés de nos preocuparmos com o fato de termos que variar as taxas de ventilação e de realizar uma pré-ventilação destes cômodos, utilizamos as taxas de ventilação para o caso em que todos os cômodos da embarcação estivessem com sua ocupação máxima ao mesmo tempo.

Isto nos leva por um lado a um superdimensionamento do sistema de ventilação (aumento do custo do sistema), mas por outro lado, nos ajuda no fato de não necessitar de sistemas complexos de controle de vazão (barateamento do sistema) e de controle de pré-refrigeração (diminuição da complexidade), observando também o fato de que, por se tratar de uma embarcação de pequeno porte, o aumento do sistema de ventilação devido ao que foi assumido acima, é relativamente pequeno em relação ao aumento de complexidade que o outro sistema traria, evitando também qualquer risco de contaminação ou mal-estar da tripulação devido a erros de cálculo.

Finalmente para a determinação da necessidade de ventilação de cada cômodo, utilizamos a tabela que pode ser encontrada no Anexo XVII, retirada da norma ASHRAE de ventilação utilizada anteriormente.⁶

Os dados de taxas de ventilação de cada cômodo foram então retirados desta tabela, e estes valores levam em conta as concentrações de CO₂ e outros contaminantes com uma relativa margem de segurança, de forma a assegurar o bem-estar e a saúde dos ocupantes. É importante notar que estes valores só são válidos caso a qualidade do ar absorvido pelo sistema de ventilação sigam as recomendações da tabela 4.1.1.

Uma outra observação que deve ser feita em relação aos dados retirados acima citados diz respeito ao número de ocupantes dos cômodos da embarcação e de seu volume. Quando os dados da tabela são dados em 'L/s', devemos multiplicar este valor pelo número de ocupantes do cômodo, e os valores que são dados em 'L/s.m²', devemos multiplicar pela área ventilada.

Abaixo podemos encontrar uma tabela que resume os parágrafos acima, ou seja, temos as taxas de ventilação dada pela tabela do anexo XVII, o número de ocupantes e a taxa final de ventilação para cada cômodo da embarcação. Note que as áreas referentes aos cômodos já foram mostradas em capítulo anterior. A numeração dos cômodos da tabela segue o padrão adotado neste capítulo.

Comando da embarcação

Número	Cômodo	Vazão (L/s)	Vazão (L/s.m ²)	N° de ocupantes	Vazão Final (L/s)
46	Depósito		0,75	1	6
47	Reuniões	10		6	60
48	Comandante		15*	1	15
49	Pesq. Chefe		15*	1	15
50	Convidado		15*	1	15
51	Convidado		15*	1	15
52	Comunicações	10		1	10
53	Navegação	10		1	10
54	Comando	10		3	30

* Valores independentes do tamanho do cômodo.

Tabela 4.1.2 Taxa de ventilação e ocupação dos cômodos – Comando

Convés Superior

Número	Cômodo	Vazão (L/s)	Vazão (L/s.m ²)	N° de ocupantes	Vazão Final (L/s)
34	Cabine		15*	1	15
35	Central Obs.	10		2	20
36	Imediato		15*	1	15
37	Depósito		0,75	1	9
38	Médico		15*	1	15
39	Pesquisadores		15*	1	15
40	1 Oficial Náut.		15*	1	15
41	1 Oficial Máq.		15*	1	15
42	2 Oficial Náut.		15*	1	15
43	2 Oficial Máq.		15*	1	15
44	Sala de Estar	10		6	60
45	Refeitório	10		6	60

* Valores independentes do tamanho do cômodo.

Tabela 4.1.3 Taxa de ventilação e ocupação dos cômodos – Convés superior

Convés Principal

Número	Cômodo	Vazão (L/s)	Vazão (L/s.m ²)	N° de ocupantes	Vazão Final (L/s)
19	Lab. Geral	20		6	120
20	Lab. Molhado	20		2	40
21	Lab. Químico	20		2	40
22	Paiol Refrig.	---	---	---	---
23	Enfermaria	8		2	16
24	Equipamentos		0,75	3	27
25	Paiol Refrig.	---	---	---	---
26	Computação	10		4	40
27	Lab. Elétrica	10		3	30
28	Lavanderia	13		1	13
29	Paiol		0,75	1	8
30	Paiol		0,75	1	8
31	Cozinha	8		3	24
32	Sala de Estar	10		20	200
33	Refeitório	10		20	200

Tabela 4.1.4 Taxa de ventilação e ocupação dos cômodos – Convés principal

Convés Inferior

Número	Cômodo	Vazão (L/s)	Vazão (L/s.m ²)	N° de ocupantes	Vazão Final (L/s)
1	Oficina		7,5	1	142
2	Lab. Geologia	10		4	40
3	Oficina		7,5	1	142
4	Lavanderia	13		1	13
5	Alojamento		15*	2	15
6	Alojamento		15*	2	15
7	Alojamento		15*	2	15
8	Alojamento		15*	2	15
9	Alojamento		15*	2	15
10	Alojamento		15*	2	15
11	Alojamento		15*	2	15
12	Alojamento		15*	2	15
13	Alojamento		15*	2	15
14	Alojamento		15*	2	15
15	Alojamento		15*	---	---
16	Alojamento		15*	2	15
17	Alojamento		15*	---	---
18	Alojamento		15*	2	15

* Valores independentes do tamanho do cômodo.

Tabela 4.1.5 Taxa de ventilação e ocupação dos cômodos – Convés inferior

Um ponto importante que deve ser mencionado, é que as taxas de ventilação dos laboratórios geral, molhado e químico foram tomadas como sendo o dobro do valor dado pela tabela do Anexo XVII, pelo fato de possuir contaminantes em nível superior do que o normal, caso tratado pela norma.

Com os dados obtidos até agora, podemos partir para a definição do Layout do sistema de ventilação.

4.2. LAYOUT DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO

Para iniciar o processo de definição do layout do sistema devemos observar a estrutura do navio. Após concluída a análise das várias plataformas que compõem a nossa embarcação (o comando e os conveses) podemos, somente então, prosseguir com o desenho dos dutos de ventilação.

Os desenhos dos dutos de ventilação podem ser encontrados nos Anexos IX, X, XI e XII. Nos Anexos XIII, XIV, XV e XVI podemos observar que os desenhos possuem, além dos dutos de ventilação e da numeração dos cômodos, alguns pontos marcados com letras (A, B, C,...).

Estes pontos nada mais são do que pontos onde ocorrem as perdas de carga singular do sistema (com exceção dos pontos de dispersão do ar nos cômodos), ou seja, dos pontos onde temos curvas (cotovelos), válvulas, ramificações, etc. Eles foram escolhidos de forma a facilitar o processo de cálculo de perda de carga do sistema, sendo pontos de somatória de perdas distribuídas e singulares.

Outra observação importante que deve ser feita com relação a estes locais diz respeito aos pontos de ramificação de plataformas e às válvulas. Em relação às ramificações, todos os pontos denominados 'A' de todos os conveses e do comando representam a ramificação vinda do nível inferior, ou seja, o ponto 'A' do convés principal representa o ponto em que sobe a ramificação do duto de ventilação vindo do convés inferior. A única exceção fica por conta do ponto 'A' do convés inferior, que representa a saída do ventilador.

Com relação às válvulas, temos que algumas foram acrescentadas ao duto de ventilação durante o seu percurso. Sua função é fundamental, e possibilita a parada de abastecimento de ar para algumas regiões, principalmente para o caso de manutenção. Atentar para o fato de que a válvula não é inserida exatamente sobre o ponto indicado, e sim na seção imediatamente posterior do duto ao ponto indicado.

Abaixo temos uma tabela que indica quais os pontos em cada convés que possuem válvulas. Nos desenhos estes pontos estão indicados por letras inscritas em círculos.

Convés	Pontos com Válvula
Comando	A, E
Convés Superior	A (2X), H
Convés Principal	A (2X), M
Convés Inferior	C, M

Tabela 4.2.1 Disposição de válvulas no sistema

Finalmente a última parte desta etapa consiste na determinação da distância entre cada ponto e dos pontos até o cômodo adjacente. Esta determinação é feita para se possibilitar o cálculo da perda de carga do sistema.

Comando da embarcação

Pontos	Distância (m)
A – B	0,45
B – C	0,45
C – D	0,90
D – 46	4,07
D – 47	0,45
D – E	2,49
E – 48	0,45
E – 49	0,45
E – F	0,45
F – 50	0,90
F – 51	0,45
F – G	2,94
G – 52	0,45
G – 53	0,45
G – 54	2,49

Tabela 4.2.2 Distâncias dos trechos do sistema - Comando

Convés Superior

Pontos	Distância (m)	Pontos	Distância (m)
A – B	0,45	J – 40	0,45
B – 35	0,45	J – 41	0,45
B – C	0,90	J – L	0,68
C – 34	4,07	L – 42	0,45
A – D	0,45	L – 43	0,45
D – E	2,49	L – 44/45	0,45
E – F	0,45		
F – G	0,45		
G – 36	0,45		
G – H	0,90		
H – 37	0,45		
H – I	2,94		
I – 38	0,45		
I – 39	0,45		
I – J	2,49		

Tabela 4.2.3 Distâncias dos trechos do sistema – Convés superior

Convés Principal

Pontos	Distância (m)	Pontos	Distância (m)
A – B	1,81	K – 27	1,13
B – 21	0,45	K – L	1,13
B – C	4,29	L – M	0,45
C – 20	2,03	M – N	3,84
C – 19	0,00	N – 28	0,90
A – D	0,45	N – O	2,49
D – E	2,49	O – 29	0,90
E – F	0,45	O – P	2,26
F – G	0,45	P – 30	0,90
G – H	2,71	P – Q	0,23
H – 23	0,23	Q – R	0,45
G – I	4,29	R – S	1,58
I – 24	0,23	R – 31	0,45
G – J	3,62	S – 32	0,45
J – 26	0,45	S – 33	0,45
J – K	1,13		

Tabela 4.2.4 Distâncias dos trechos do sistema – Convés principal

Convés Inferior

Pontos	Distância (m)	Pontos	Distância (m)
A – B	7,23	J – L	2,49
B – 1	2,49	L – 9	0,45
B – 2	2,49	L – 10	0,45
B – C	6,55	L – M	0,68
C – 3	2,71	M – 11	0,45
C – D	1,13	M – 12	0,45
D – 4	1,13	M – N	0,45
C – E	0,68	N – O	0,45
E – F	0,45	O – P	3,16
F – G	2,49	P – Q	0,45
G – H	0,45	Q – R	0,90
H – I	0,45	R – 13	0,45
I – 5	1,58	R – 14	0,45
I – 6	1,36	R – S	1,13
I – J	3,84	S – 15	0,45
J – 7	0,45	S – 16	0,45
J – 8	0,45		

Tabela 4.2.5 Distâncias dos trechos do sistema – Convés inferior

4.3. DETERMINAÇÃO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO

Após completada as duas etapas anteriores podemos finalmente prosseguir para o cálculo das perdas de carga do sistema de ventilação.

A primeira etapa realizada foi a determinação da perda de carga na boca de insuflamento de cada cômodo. Primeiramente, através da indicação dada no Stoecker⁷, fixamos a velocidade máxima de insuflamento em cada cômodo em 1 m/s, de forma a garantir o conforto dos tripulantes. Desta forma, com o diâmetro da tubulação já determinado, precisamos apenas determinar o diâmetro da boca de insuflamento. Para isso utilizamos a equação abaixo:

$$D = ((4.Q)/(\pi.V))^{0.5} \quad \text{eq. 4.3.1}^8$$

E utilizando diâmetros padronizados, selecionamos o diâmetro de cada boca de insuflamento e determinamos, então, a velocidade real de insuflamento através da equação abaixo:

$$V = (4.Q)/(\pi.D^2) \quad \text{eq. 4.3.2}^8$$

Estes resultados podem ser visualizados nas tabelas que seguem.

Comando da embarcação

Número	Cômodo	Ø Insuflamento (m)	Velocidade (m/s)
46	Depósito	0,127	0,44
47	Reuniões	0,30	0,85
48	Comandante	0,15	0,85
49	Pesq. Chefe	0,15	0,85
50	Convidado	0,15	0,85
51	Convidado	0,15	0,85
52	Comunicações	0,127	0,79
53	Navegação	0,127	0,79
54	Comando	0,20	0,95

Tabela 4.3.1 Velocidades e diâmetros de insuflamento - comando

Convés Superior

Número	Cômodo	Ø Insuflamento (m)	Velocidade (m/s)
34	Cabine	0,15	0,85
35	Central Obs.	0,15	1,13
36	Imediato	0,15	0,85
37	Depósito	0,127	0,72
38	Médico	0,15	0,85
39	Pesquisadores	0,15	0,85
40	1 Oficial Náut.	0,15	0,85
41	1 Oficial Máq.	0,15	0,85
42	2 Oficial Náut.	0,15	0,85
43	2 Oficial Máq.	0,15	0,85
44	Sala de Estar	0,30	0,85
45	Refeitório	0,30	0,85

Tabela 4.3.2 Velocidades e diâmetros de insuflamento – convés superior

Convés Principal

Número	Cômodo	Ø Insuflamento (m)	Velocidade (m/s)
19	Lab. Geral	0,40	0,95
20	Lab. Molhado	0,25	0,81
21	Lab. Químico	0,25	0,81
22	Paioi Refrig.	---	---
23	Enfermaria	0,15	0,91
24	Equipamentos	0,20	0,87
25	Paioi Refrig.	---	---
26	Computação	0,25	0,81
27	Lab. Elétrica	0,20	0,95
28	Lavanderia	0,15	0,74
29	Paioi	0,127	0,66
30	Paioi	1,127	0,01
31	Cozinha	0,50	0,12
32	Sala de Estar	0,50	1,02
33	Refeitório	0,50	1,02

Tabela 4.3.3 Velocidades e diâmetros de insuflamento – convés principal

Convés Inferior

Número	Cômodo	Ø Insuflamento (m)	Velocidade (m/s)
1	Oficina	0,45	0,89
2	Lab. Geologia	0,25	0,81
3	Oficina	0,45	0,89
4	Lavanderia	0,15	0,74
5	Alojamento	0,15	0,85
6	Alojamento	0,15	0,85
7	Alojamento	0,15	0,85
8	Alojamento	0,15	0,85
9	Alojamento	0,15	0,85
10	Alojamento	0,15	0,85
11	Alojamento	0,15	0,85
12	Alojamento	0,15	0,85
13	Alojamento	0,15	0,85
14	Alojamento	0,15	0,85
15	Alojamento	0,15	0,85
16	Alojamento	---	---
17	Alojamento	0,15	0,85
18	Alojamento	---	---

Tabela 4.3.4 Velocidades e diâmetros de insuflamento – convés inferior

Agora com a velocidade na saída de cada boca determinada, utilizando expressões de mecânica dos fluidos, podemos determinar a perda de carga nestas seções.

Como possuímos um aumento de seção seguido de uma abertura para o recinto, a perda de carga singular existente nesta seção é determinada pela equação de perda de carga singular dada a seguir, onde o coeficiente K_s é determinado pela soma das expressões dadas nas figuras 4.3.1 e 4.3.2.

Perda de carga Singular: $\Delta p = K_s \cdot (V^2 \cdot \rho) / 2 \text{ (Pa)}$ eq. 4.3.3⁷

Expansão Brusca:

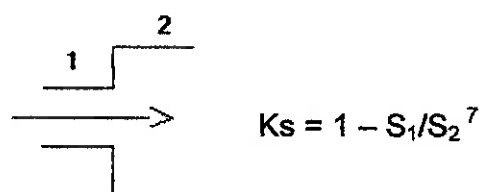


Fig. 4.3.1 Coeficiente de perda de carga singular para expansão brusca

Onde S_1 é a área da seção transversal 1 e S_2 é a área da seção transversal 2.

Entrada de Reservatório:

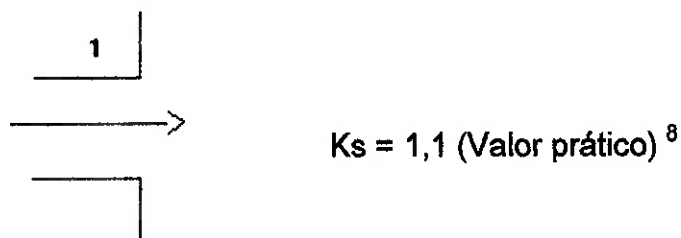


Fig. 4.3.2 Coeficiente de perda de carga singular para entrada de reservatório

Para podermos determinar a perda de carga necessitamos ainda da densidade do ar (ρ). Utilizando o Incropera⁵ e admitindo temperatura do ar em 25°C, determinamos:

$$\rho_{\text{ar}} = 1,168 \text{ Kg/m}^3$$

Nas tabelas abaixo podemos encontrar os valores de perda de carga (Δp) calculados para cada boca de insuflamento.

Comando da embarcação

Númer o	Cômodo	Δp Reservatório (Pa)	Δp Expansão (Pa)
46	Depósito	0,127	0,000
47	Reuniões	0,463	0,345
48	Comandante	0,463	0,119
49	Pesq. Chefe	0,463	0,119
50	Convidado	0,463	0,119
51	Convidado	0,463	0,119
52	Comunicações	0,400	0,000
53	Navegação	0,400	0,000
54	Comando	0,586	0,318
	TOTAL	3,828	1,139

Tabela 4.3.5 Perda de carga singular no insuflamento - comando

Convés Superior

Número	Cômodo	Δp Reservatório (Pa)	Δp Expansão (Pa)
34	Cabine	0,463	0,119
35	Central Obs.	0,823	0,212
36	Imediato	0,463	0,119
37	Depósito	0,332	0,000
38	Médico	0,463	0,119
39	Pesquisadores	0,463	0,119
40	1 Oficial Náut.	0,463	0,119
41	1 Oficial Máq.	0,463	0,119
42	2 Oficial Náut.	0,463	0,119
43	2 Oficial Máq.	0,463	0,119
44	Sala de Estar	0,463	0,345
45	Refeitório	0,463	0,345
	TOTAL	5,785	1,854

Tabela 4.3.6 Perda de carga singular no insuflamento – convés superior

Convés Principal

Número	Cômodo	Δp Reservatório (Pa)	Δp Expansão (Pa)
19	Lab. Geral	0,586	0,479
20	Lab. Molhado	0,427	0,288
21	Lab. Químico	0,427	0,288
22	Paiol Refrig.	---	---
23	Enfermaria	0,527	0,136
24	Equipamentos	0,486	0,264
25	Paiol Refrig.	---	---
26	Computação	0,427	0,288
27	Lab. Elétrica	0,586	0,318
28	Lavanderia	0,348	0,089
29	Paiol	0,279	0,000
30	Paiol	0,000	0,000
31	Cozinha	0,010	0,008
32	Sala de Estar	0,667	0,567
33	Refeitório	0,667	0,567
	TOTAL	5,437	3,292

Tabela 4.3.7 Perda de carga singular no insuflamento – convés principal

Convés Inferior

Número	Cômodo	Δp Reservatório (Pa)	Δp Expansão (Pa)
1	Oficina	0,511	0,428
2	Lab. Geologia	0,427	0,288
3	Oficina	0,511	0,428
4	Lavanderia	0,348	0,089
5	Alojamento	0,463	0,119
6	Alojamento	0,463	0,119
7	Alojamento	0,463	0,119
8	Alojamento	0,463	0,119
9	Alojamento	0,463	0,119
10	Alojamento	0,463	0,119
11	Alojamento	0,463	0,119
12	Alojamento	0,463	0,119
13	Alojamento	0,463	0,119
14	Alojamento	0,463	0,119
15	Alojamento	0,463	0,119
16	Alojamento	---	---
17	Alojamento	0,463	0,119
18	Alojamento	---	---
TOTAL		7,353	2,661

Tabela 4.3.8 Perda de carga singular no insuflamento – convés inferior

Após isso, partimos para a determinação das taxas de ventilação nos trechos dados pelas tabelas 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4 e 4.2.5, pois elas serão utilizadas nos cálculos das velocidades destes trechos, e estas usadas no cálculo das perdas de carga singular e distribuída do sistema.

A determinação das taxas de ventilação de cada trecho é relativamente fácil, pois a vazão mássica do sistema é constante, bastando então somar os valores das vazões dos cômodos posteriores ao ponto que se deseja calcular, e assim retroceder até chegar ao ventilador.

Após calculadas as taxas de ventilação, prosseguimos para o cálculo das velocidades. Utilizando a equação 4.3.2 e utilizando um diâmetro de tubulação de 5 pol. (12,7 cm) determinamos as velocidades de todas as seções. Observamos, porém, que algumas seções possuíam velocidades extremamente altas, o que acarretaria em grande perda de carga.

A solução encontrada então foi redimensionar o diâmetro da tubulação nas seções críticas, de forma a garantir velocidades de escoamento inferiores a 10 m/s, velocidade satisfatória em relação à perda de carga relacionada.

Nas tabelas abaixo temos as taxas de ventilação, diâmetro da tubulação e velocidade de escoamento para cada uma das seções definidas nas tabelas acima citadas.

Comando da embarcação

Trechos	Taxa de Ventilação (m ³ /s)	Diâmetro (cm)	Velocidade (m/s)
A – B	0,176	20	5,60
B – C	0,176	20	5,60
C – D	0,176	20	5,60
D – 46	0,006	20	0,47
D – 47	0,06	12,7	4,74
D – E	0,11	12,7	3,50
E – 48	0,015	12,7	1,18
E – 49	0,015	12,7	1,18
E – F	0,08	12,7	6,32
F – 50	0,015	12,7	1,18
F – 51	0,015	12,7	1,18
F – G	0,05	12,7	3,95
G – 52	0,01	12,7	0,79
G – 53	0,01	12,7	0,79
G – 54	0,03	12,7	2,37

Tabela 4.3.9 Vazão, diâmetro e velocidade dos trechos do sistema – comando

Convés Superior

Pontos	Taxa de Ventilação (m ³ /s)	Diâmetro (cm)	Velocidade (m/s)
A – B	0,035	12,7	2,76
B – 35	0,02	12,7	1,58
B – C	0,015	12,7	1,18
C – 34	0,015	12,7	1,18
A – D	0,234	20	7,45
D – E	0,234	20	7,45
E – F	0,234	20	7,45
F – G	0,234	20	7,45
G – 36	0,015	12,7	1,18
G – H	0,219	20	6,97
H – 37	0,009	12,7	0,71
H – I	0,21	20	6,68
I – 38	0,015	12,7	1,18
I – 39	0,015	12,7	1,18
I – J	0,18	20	5,73
J – 40	0,015	12,7	1,18
J – 41	0,015	12,7	1,18
J – L	0,15	20	4,77
L – 42	0,015	12,7	1,18
L – 43	0,015	12,7	1,18
L – 44/45	0,12	12,7	9,47

Tabela 4.3.10 Vazão, diâmetro e velocidade dos trechos do sistema – convés superior

Convés Principal

Pontos	Taxa de Ventilação (m ³ /s)	Diâmetro (cm)	Velocidade (m/s)
A – B	0,08	12,7	6,32
B – 21	0,04	12,7	3,16
B – C	0,04	12,7	3,16
C – 20	0,04	12,7	3,16
C – 19	0,12	12,7	9,47
A – D	0,566	30	8,01
D – E	0,566	30	8,01
E – F	0,566	30	8,01
F – G	0,566	30	8,01
G – H	0,016	12,7	1,26
H – 23	0,016	12,7	1,26
G – I	0,027	12,7	2,13
I – 24	0,027	12,7	2,13
G – J	0,523	30	7,40
J – 26	0,04	12,7	3,16
J – K	0,483	30	6,83
K – 27	0,03	12,7	2,37
K – L	0,453	30	6,41
L – M	0,453	30	6,41
M – N	0,453	30	6,41
N – 28	0,013	12,7	1,03
N – O	0,44	30	6,22
O – 29	0,008	12,7	0,63
O – P	0,432	30	6,11
P – 30	0,008	12,7	0,63
P – Q	0,424	30	6,00
Q – R	0,424	30	6,00
R – S	0,4	30	5,66
R – 31	0,024	12,7	1,89
S – 32	0,2	25	4,07
S – 33	0,2	25	4,07

Tabela 4.3.11 Vazão, diâmetro e velocidade dos trechos do sistema – convés principal

Convés Inferior

Pontos	Taxa de Ventilação (m ³ /s)	Diâmetro (cm)	Velocidade (m/s)
A – B	1,608	50	8,19
B – 1	0,142	15	8,04
B – 2	0,04	12,7	3,16
B – C	1,426	50	7,26
C – 3	0,142	15	8,04
C – D	0,013	12,7	1,03
D – 4	0,013	12,7	1,03
C – E	1,271	50	6,47
E – F	0,18	20	5,73
F – G	0,18	20	5,73
G – H	0,18	20	5,73
H – I	0,18	20	5,73
I – 5	0,015	12,7	1,18
I – 6	0,015	12,7	1,18
I – J	0,15	20	4,77
J – 7	0,015	12,7	1,18
J – 8	0,015	12,7	1,18
J – L	0,12	20	3,82
L – 9	0,015	12,7	1,18
L – 10	0,015	12,7	1,18
L – M	0,09	12,7	7,10
M – 11	0,015	12,7	1,18
M – 12	0,015	12,7	1,18
M – N	0,06	12,7	4,74
N – O	0,06	12,7	4,74
O – P	0,06	12,7	4,74
P – Q	0,06	12,7	4,74
Q – R	0,06	12,7	4,74
R – 13	0,015	12,7	1,18
R – 14	0,015	12,7	1,18
R – S	0,03	12,7	2,37
S – 15	0,015	12,7	1,18
S – 16	0,015	12,7	1,18

Tabela 4.3.12 Vazão, diâmetro e velocidade dos trechos do sistema – convés inferior

O próximo passo consistiu em se determinar as perdas de carga singular em cada um dos pontos comentados no item 4.2.

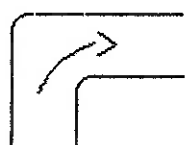
Para isto precisamos calcular os coeficientes de carga singular para cotovelos, ramificações e válvulas, que são os pontos onde ocorrem as perdas de carga singular a que o sistema está sujeito.

Para a seleção do tipo de válvula utilizado, consideramos justamente o coeficiente de perda de carga singular (K_s). Temos que as válvulas do tipo Globo possuem um controle muito superior às válvulas do tipo Gaveta, contudo o seu K_s é cerca de 50 vezes superior ao K_s das válvulas do tipo Gaveta. Outra opção de válvula seria a válvula do tipo Agulha, porém, devido ao grande diâmetro da tubulação, sua utilização seria muito cara.

Levando estes pontos em consideração, selecionamos para a nossa tubulação as válvulas do tipo Gaveta, e seu coeficiente de perda de carga singular pode ser dado por:

$$K_s = 0,10^8$$

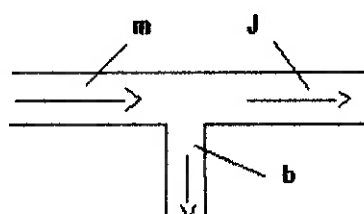
Em relação aos cotovelos temos:



$$K_s = 1,3 \left(\frac{p}{90^\circ} \right)^7$$

Fig. 4.3.3 Coeficiente de perda de carga singular para cotovelos a 90°

Por último temos que determinar a perda de carga singular para ramificações. Temos:⁷



$$K_s = 0,4.(1-(V_j / V_m))^2$$

Fig. 4.3.4 Coeficiente de perda de carga singular para ramificações a 90°

Onde 'm' corresponde a montante, 'J' a jusante e 'b' a ramificação.

Com a determinação dos coeficientes de perda de carga singular, e com as velocidades em cada seção determinadas, podemos calcular, para cada ponto citado no item 4.2 as perdas de carga singular.

As tabelas abaixo nos dão os valores de perda de carga singular para cada ponto do nosso sistema (discutidos no item 4.2).

Comando da embarcação

Ponto	Perda de carga Singular (Pa)
A	1,83
B	23,81
C	23,81
D	2,51
E	14,65
F	3,58
G	1,16
TOTAL	71,35

Tabela 4.3.13 Perda de carga singular nos pontos – comando

Convés Superior

Ponto	Perda de carga Singular (Pa)
A	3,69
B	0,04
C	1,06
D	42,12
E	42,12
F	42,12
G	7,83
H	10,93
I	9,67
J	6,02
L	32,11
TOTAL	197,71

Tabela 4.3.14 Perda de carga singular nos pontos – convés superior

Convés Principal

Ponto	Perda de carga Singular (Pa)
A	6,08
B	0,00
C	7,58
D	48,68
E	48,68
F	48,68
G	15,29
H	1,21
I	3,44
J	3,15
K	3,81
L	31,18
M	33,58
N	6,30
O	7,02
P	6,73
Q	27,32
R	3,32
S	25,21
TOTAL	327,26

Tabela 4.3.15 Perda de carga singular nos pontos – convés principal

Convés Inferior

Ponto	Perda de carga Singular (Pa)
A	0,00
B	4,07
C	9,94
D	0,81
E	24,92
F	24,92
G	24,92
H	24,92
I	6,04
J	3,26
L	16,37
M	7,23
N	17,06
O	17,06
P	17,06
Q	17,06
R	0,66
S	2,11
TOTAL	218,41

Tabela 4.3.16 Perda de carga singular nos pontos – convés inferior

A próxima e última etapa da determinação da perda de carga do sistema consiste no cálculo da perda de carga distribuída em cada trecho dado no item 4.2.

Para a determinação dessa perda de carga, usamos a equação de perda de carga distribuída, dada abaixo:

$$\Delta p = f \cdot (L / \epsilon) \cdot (V^2 \cdot \rho) / 2$$

eq. 4.3.4 ⁷

Onde temos :

f – coeficiente de atrito

L – comprimento da tubulação

ε – rugosidade superficial do duto

O valor de L já foi determinado no item 4.2. O valor de ε é extraído da bibliografia⁸ e vale

$$\varepsilon = 0,26 \text{ mm p/ ferro fundido (material da nossa tubulação)}$$

Por fim, para determinar o valor de f possuímos duas equações:

Escoamento laminar ($Re < 2000$)

$$f = 64 / Re \quad \text{eq. 4.3.5}^7$$

Escoamento turbulento ($Re > 2000$)

$$1/(f^{0,5}) = -2.\log (0,27.(\varepsilon / D) + (2,51 / (Re.f^{0,5}))) \quad \text{eq. 4.3.6}^8$$

A equação 4.3.6 também é conhecida por equação de Colebrook, e como veremos, será a equação utilizada para a determinação do valor do coeficiente de atrito.

Por fim, a última equação que falta para o completo desenvolvimento dos cálculos é a equação do número de Reynolds. Ele é dado por:

$$Re = (\rho.V.D) / \mu \quad \text{eq. 4.3.7}^8$$

Onde temos:

μ – viscosidade cinemática do ar

E, de acordo com Incropera⁵ determinamos:

$$\mu = 18,39.10^{-6} \text{ N.s / m}^2$$

A partir deste conjunto de equações foi possível determinar a perda de carga distribuída para cada trecho do sistema de ventilação. Nas tabelas abaixo temos estes valores de perda de carga distribuída, o número de Reynolds e o coeficiente de atrito para todos os trechos da tubulação.

Comando da embarcação

Trechos	Número de Reynolds	Coefficiente de Atrito (f)	Perda de Carga (Pa)
A – B	71165	0,024	0,994
B – C	71165	0,024	0,994
C – D	71165	0,024	1,988
D – 46	3821	0,042	0,176
D – 47	38206	0,027	1,259
D – E	44478	0,026	2,314
E – 48	9551	0,034	0,099
E – 49	9551	0,034	0,099
E – F	50941	0,027	2,238
F – 50	9551	0,034	0,198
F – 51	9551	0,034	0,099
F – G	31838	0,028	5,894
G – 52	6368	0,037	0,048
G – 53	6368	0,037	0,048
G – 54	19103	0,03	1,924
TOTAL			18,372

Tabela 4.3.17 Reynolds, coef. de atrito e perda de carga distribuída dos trechos do sistema – comando

Convés Superior

Trechos	Número de Reynolds	Coefficiente de Atrito (f)	Perda de Carga (Pa)
A – B	22287	0,029	0,460
B – 35	12735	0,032	0,166
B – C	9551	0,034	0,198
C – 34	9551	0,034	0,892
A – D	94617	0,023	1,684
D – E	94617	0,023	9,263
E – F	94617	0,023	1,684
F – G	94617	0,023	1,684
G – 36	9551	0,034	0,099
G – H	88552	0,023	2,950
H – 37	5731	0,038	0,040
H – I	84913	0,024	9,200
I – 38	9551	0,034	0,099
I – 39	9551	0,034	0,099
I – J	72782	0,024	5,720
J – 40	9551	0,034	0,099
J – 41	9551	0,034	0,099
J – L	60652	0,024	1,083
L – 42	9551	0,034	0,099
L – 43	9551	0,034	0,099
L – 44/45	76412	0,026	4,850
TOTAL			40,569

Tabela 4.3.18 Reynolds, coef. de atrito e perda de carga distribuída dos trechos do sistema – convés superior

Convés Principal

Trechos	Número de Reynolds	Coefficiente de Atrito (f)	Perda de Carga (Pa)
A – B	50941	0,027	8,953
B – 21	25471	0,029	0,601
B – C	25471	0,029	5,710
C – 20	25471	0,029	2,705
C – 19	76412	0,026	0,000
A – D	152574	0,021	1,185
D – E	152574	0,021	6,516
E – F	152574	0,021	1,185
F – G	152574	0,021	1,185
G – H	10188	0,034	0,676
H – 23	10188	0,034	0,056
G – I	17193	0,031	2,781
I – 24	17193	0,031	0,146
G – J	140982	0,021	8,093
J – 26	25471	0,029	0,601
J – K	130200	0,021	2,157
K – 27	19103	0,03	0,874
K – L	122113	0,021	1,897
L – M	122113	0,021	0,759
M – N	122113	0,021	6,451
N – 28	8278	0,035	0,153
N – O	118608	0,021	3,938
O – 29	5094	1	1,658
O – P	116452	0,021	3,451
P – 30	5094	0,039	0,065
P – Q	114295	0,021	0,332
Q – R	114295	0,021	0,665
R – S	107826	0,022	2,170
R – 31	15282	0,031	0,231
S – 32	64695	0,024	0,421
S – 33	64695	0,024	0,421
TOTAL			66,037

Tabela 1.1.19 Reynolds, coef. de atrito e perda de carga distribuída dos trechos do sistema – convés principal

Convés Inferior

Trechos	Número de Reynolds	Coefficiente de Atrito (f)	Perda de Carga (Pa)
A – B	260076	0,019	10,764
B – 1	76556	0,025	15,625
B – 2	25471	0,029	3,306
B – C	230639	0,019	7,672
C – 3	76556	0,025	17,045
C – D	8278	0,035	0,192
D – 4	8278	0,035	0,192
C – E	205570	0,019	0,630
E – F	72782	0,024	1,040
F – G	72782	0,024	5,720
G – H	72782	0,024	1,040
H – I	72782	0,024	1,040
I – 5	9551	0,034	0,347
I – 6	9551	0,034	0,297
I – J	60652	0,024	6,138
J – 7	9551	0,034	0,099
J – 8	9551	0,034	0,099
J – L	48522	0,026	2,754
L – 9	9551	0,034	0,099
L – 10	9551	0,034	0,099
L – M	57309	0,026	4,092
M – 11	9551	0,034	0,099
M – 12	9551	0,034	0,099
M – N	38206	0,027	1,259
N – O	38206	0,027	1,259
O – P	38206	0,027	8,813
P – Q	38206	0,027	1,259
Q – R	38206	0,027	2,518
R – 13	9551	0,034	0,099
R – 14	9551	0,034	0,099
R – S	19103	0,03	0,874
S – 15	9551	0,034	0,099
S – 16	9551	0,034	0,099
		TOTAL	94,868

Tabela 4.3.20 Reynolds, coef. de atrito e perda de carga distribuída dos trechos do sistema – convés inferior

Agora já possuímos todas as perdas de carga que ocorrem nos dutos do sistema, tanto as distribuídas como as singulares. Ainda temos também a taxa total de ventilação a ser fornecida pelo sistema de ventilação.

Temos que:

- Taxa Total de Ventilação = $1.608 \text{ m}^3/\text{s}$
- Perda de Carga Total = $1065,9 \text{ Pa}$

Podemos analisar o ponto de funcionamento do nosso ventilador através do gráfico abaixo, extraído de Stoecker⁷

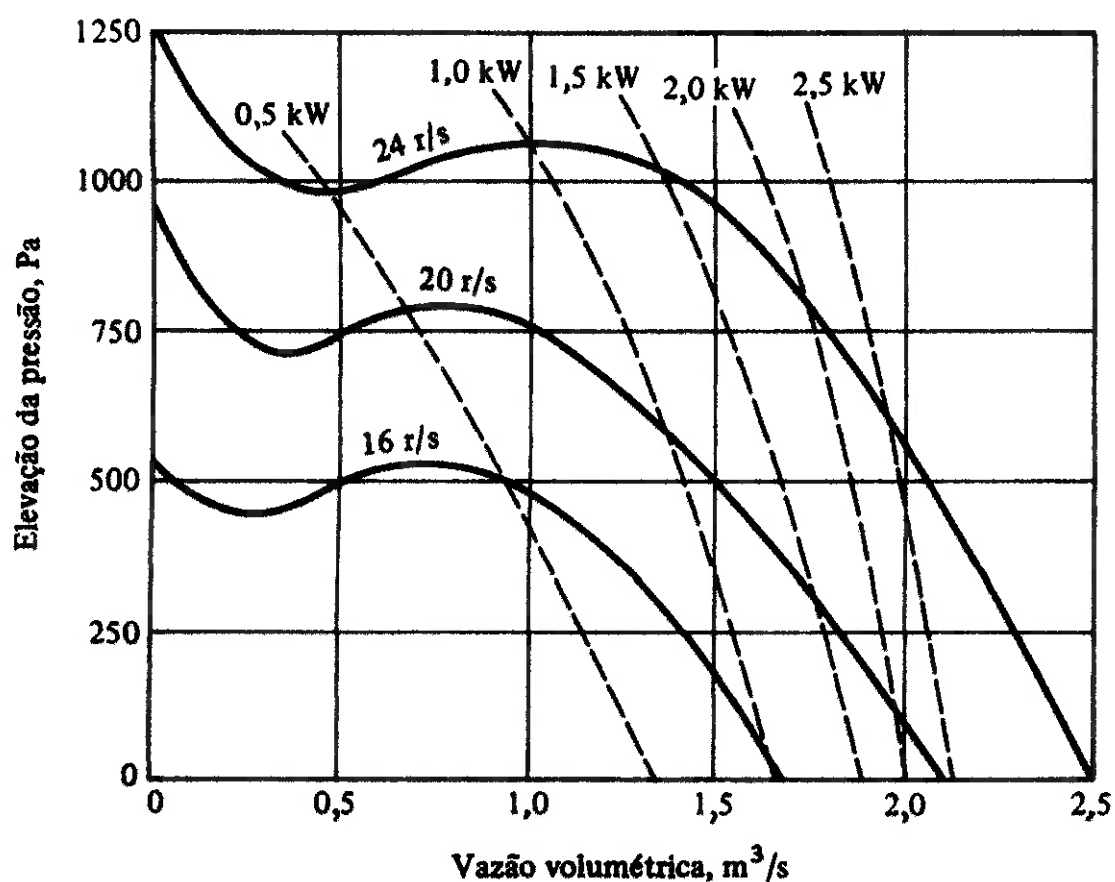


Fig. 4.3.5 Curvas de funcionamento do ventilador⁷

5. CONCLUSÃO

Agora analisaremos a máquina de refrigeração sugerida de forma a verificar se ela atende às necessidades do sistema ou se teremos que inserir um ventilador no sistema.

A máquina selecionada nos fornece o seguinte:

- Taxa Total de Ventilação = $13.450 \text{ m}^3/\text{h} = 3,736 \text{ m}^3/\text{s}$
- Perda de Carga Total = $26,3 \text{ KPa} = 26300 \text{ Pa}$

Logo observamos que a máquina de refrigeração selecionada não só fornece a taxa de ventilação necessária ao sistema (com folga) como também é capaz de vencer a perda de carga imposta pelo mesmo.

Portanto não é necessário nenhum ventilador no sistema para incrementar o fluxo de ar ou para vencer a perda de carga do sistema - apenas a instalação da nossa máquina de refrigeração é suficiente.

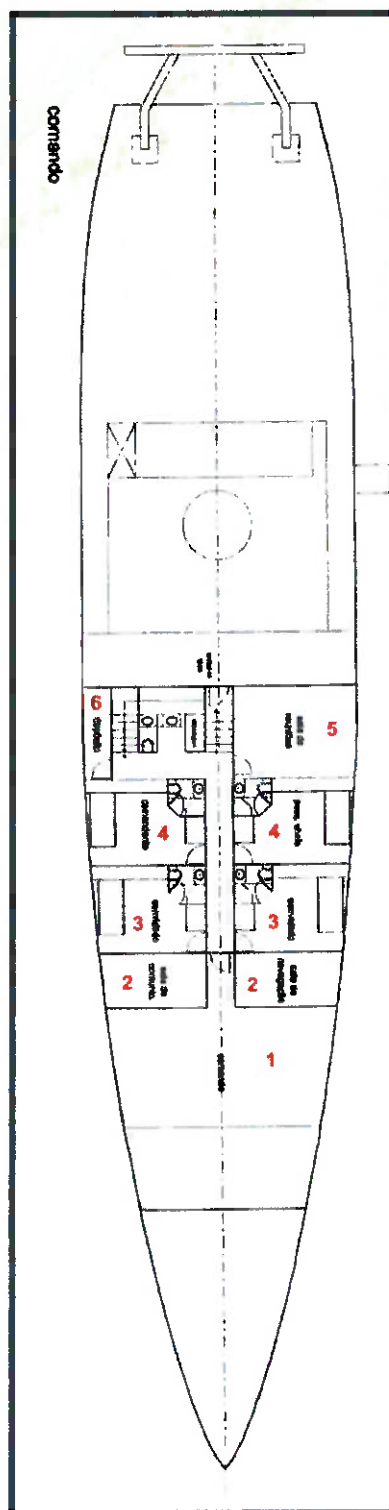
6. OBSERVAÇÕES

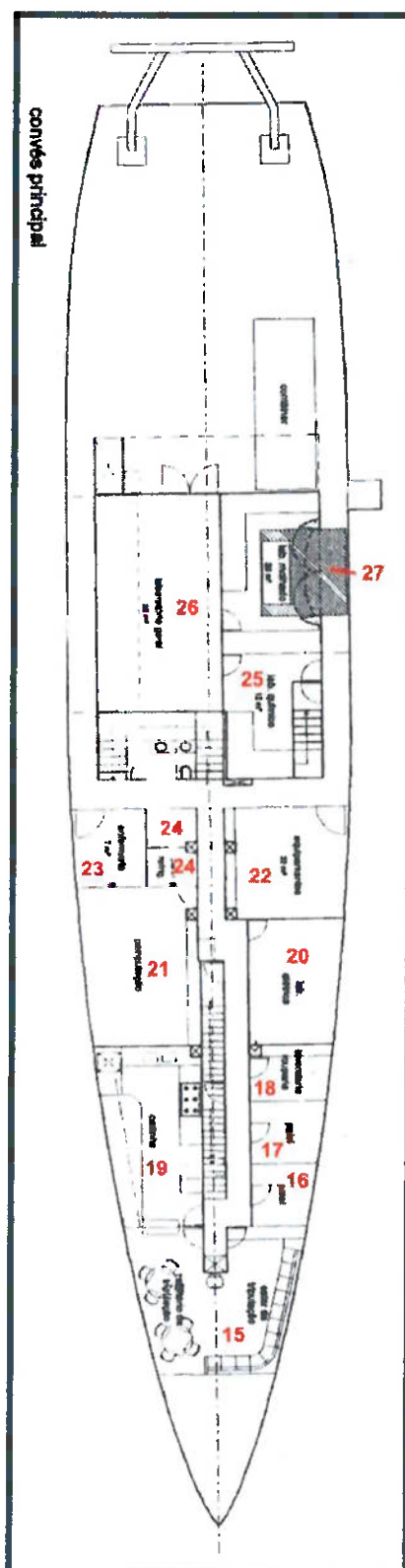
É importante observar que todo o dimensionamento realizado até aqui é apenas uma introdução ao real problema de ventilação e refrigeração.

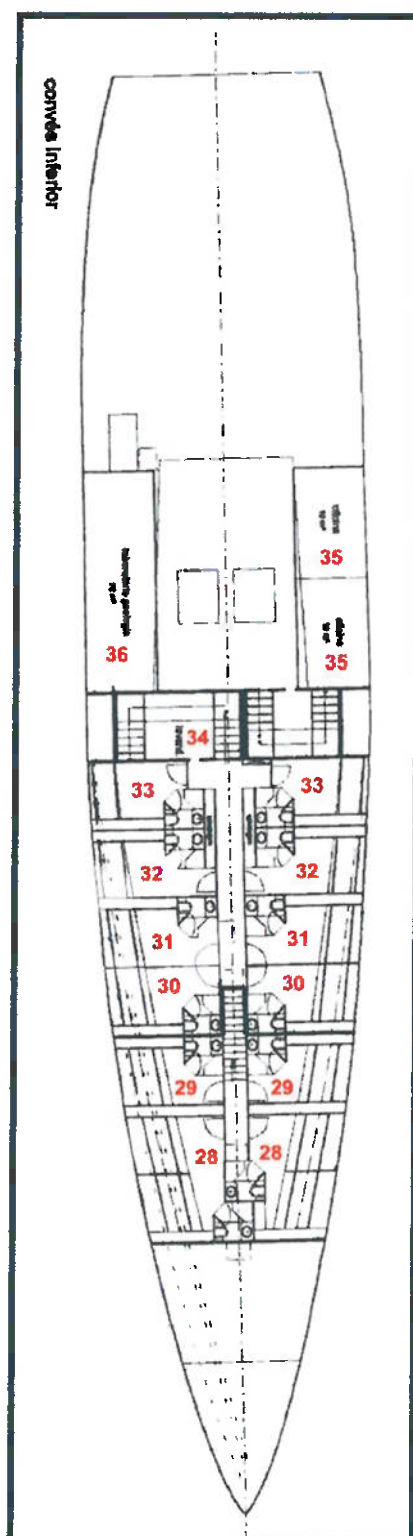
Este trabalho foi proposto tendo como objetivo fornecer um pré-dimensionamento destes sistemas de forma a facilitar um trabalho futuro. Ele fornece dados muito úteis referentes à ocupação e a uma primeira aproximação sobre o custo de implantação de um sistema deste tipo. Para um projeto final tornar-se-ia necessário um levantamento mais aprofundado sobre os equipamentos utilizados na embarcação (informação esta que viria de outros institutos que participam do projeto) e sobre os materiais a serem utilizados.

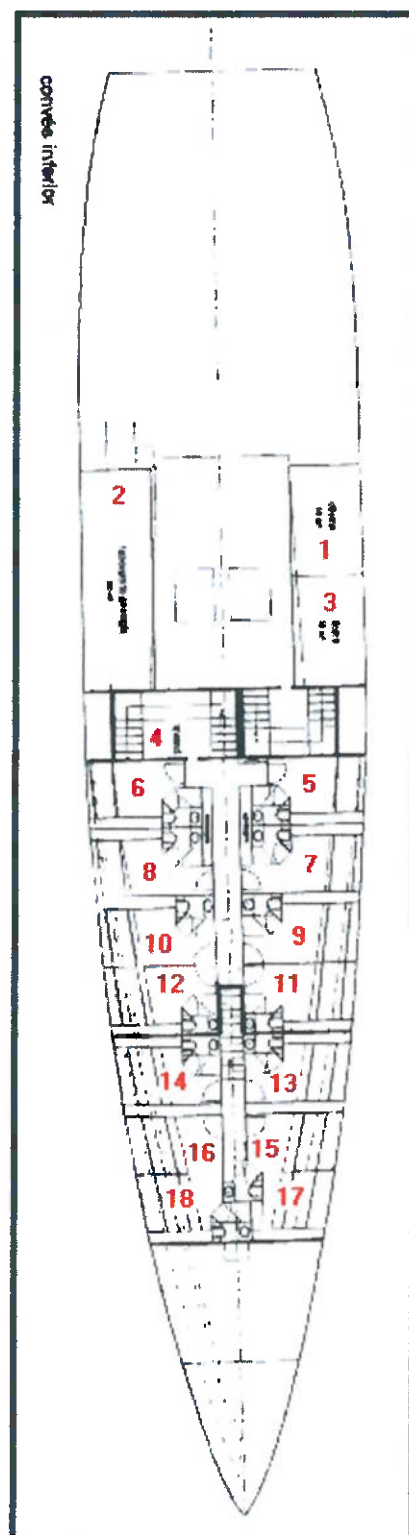
7. ANEXOS

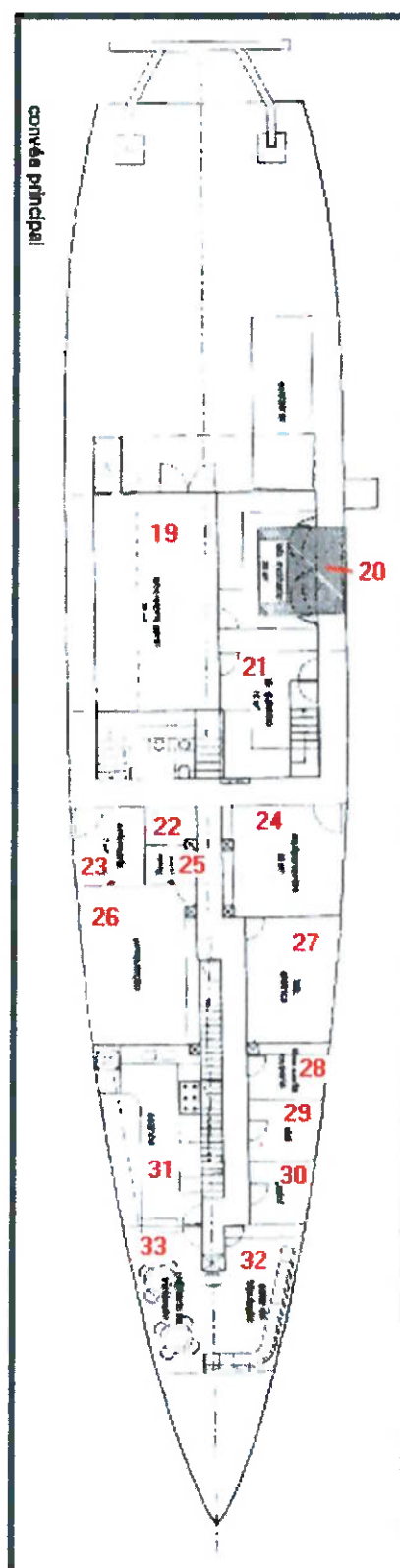
Anexo I – Comando da Embarcação

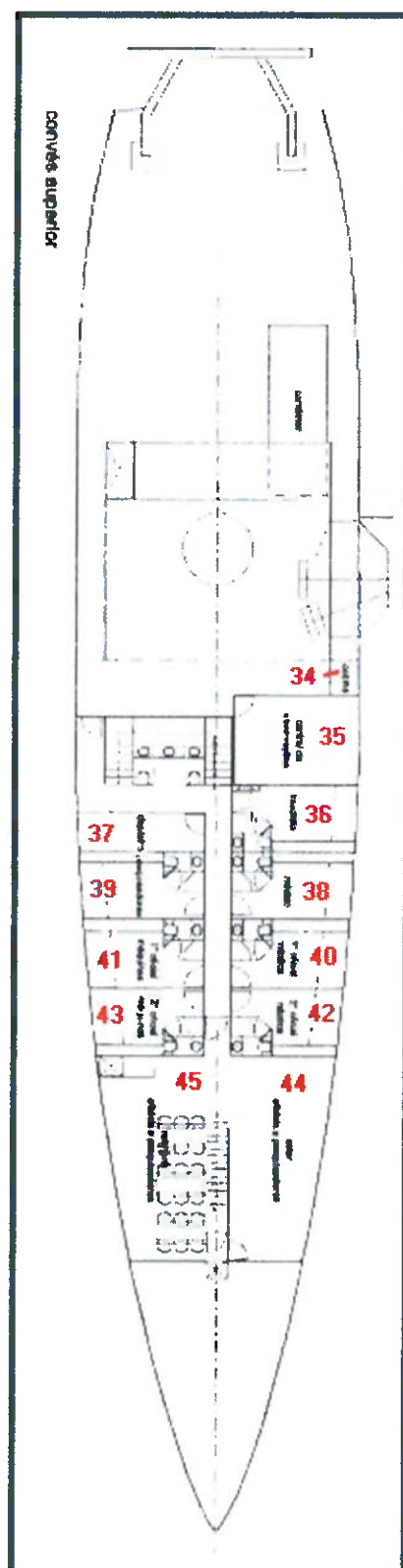


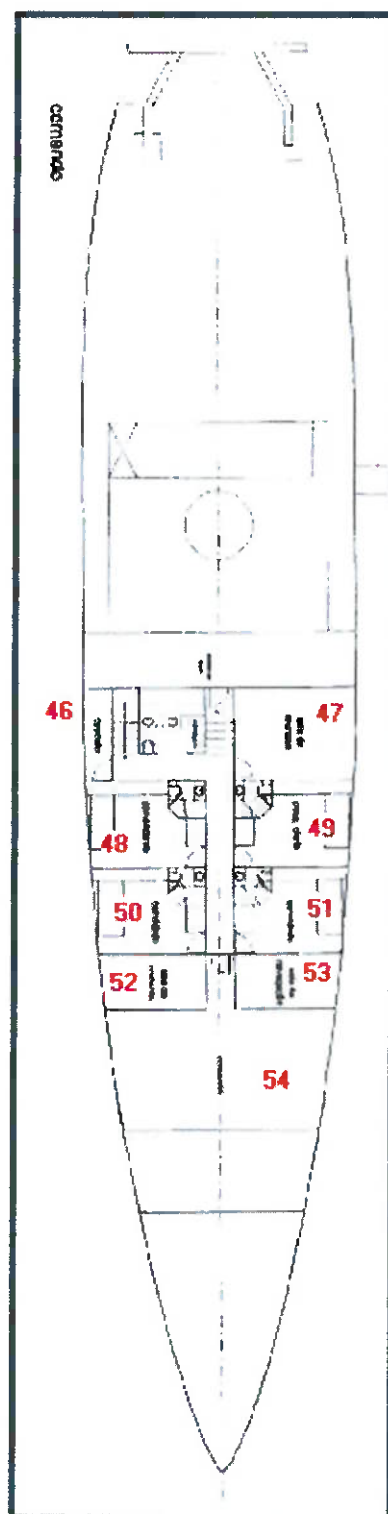
Anexo III – Convés Principal da Embarcação

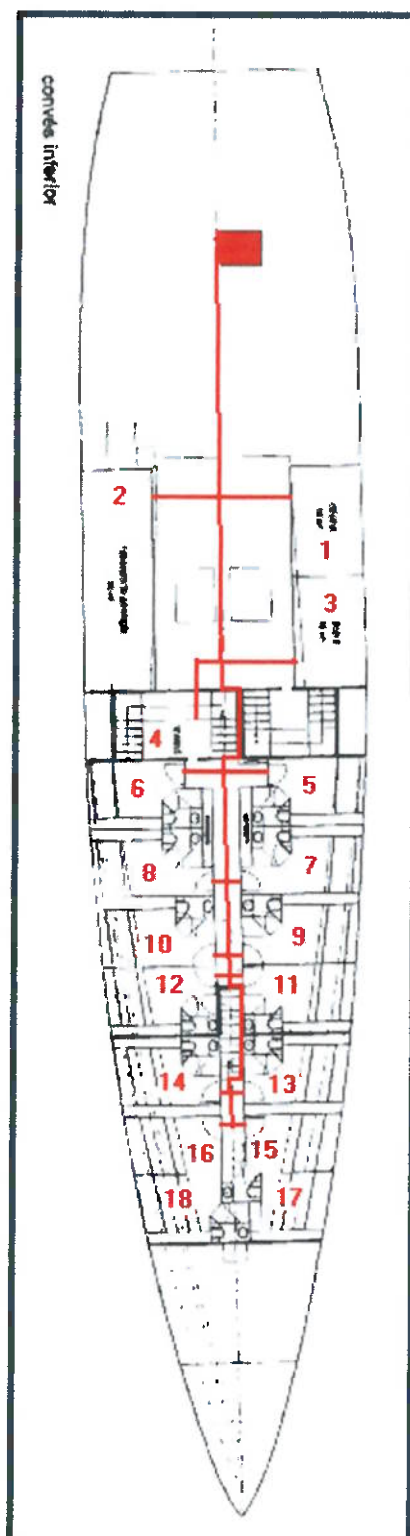
Anexo IV – Convés Inferior da Embarcação

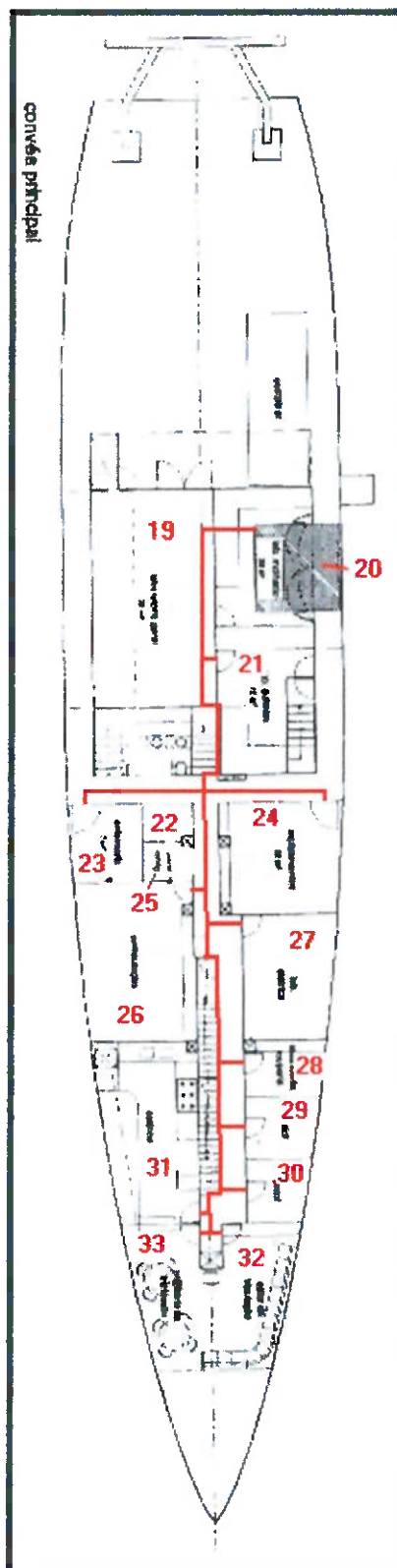
Anexo V – Convés Inferior da Embarcação

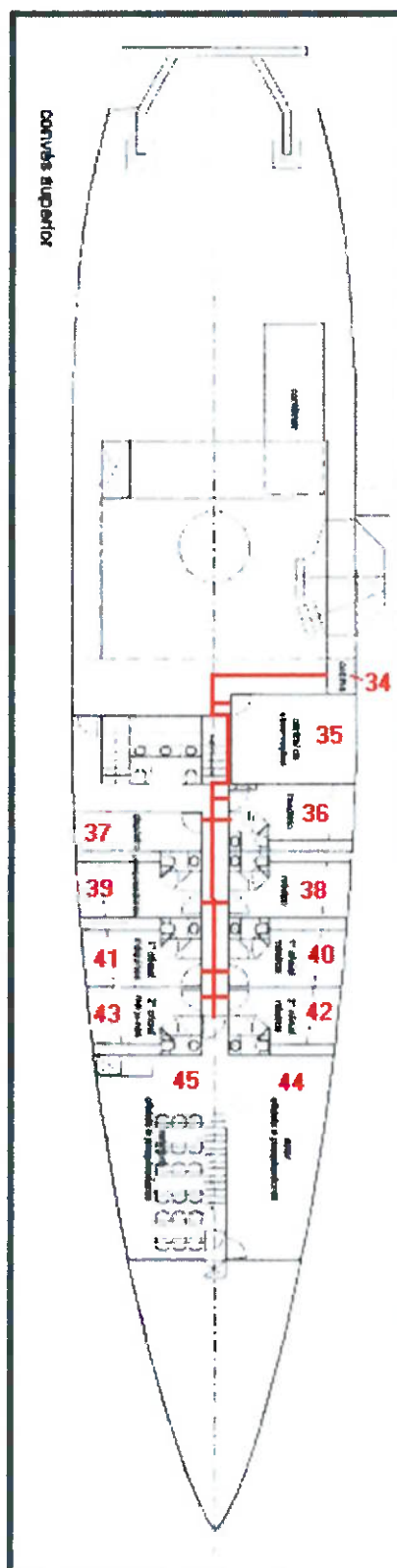
Anexo VI – Convés Principal da Embarcação

Anexo VII – Convés Superior da Embarcação

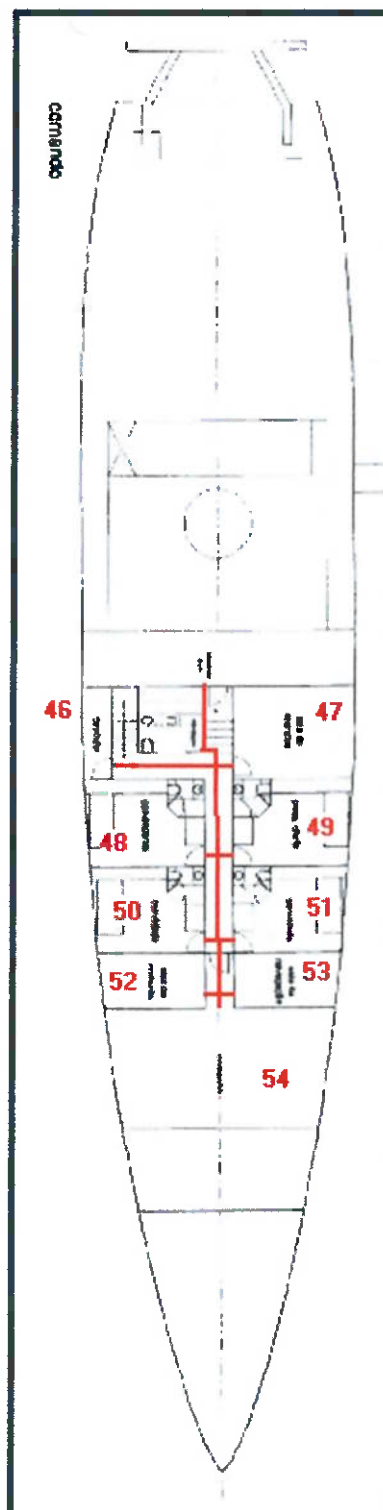
Anexo VIII – Comando

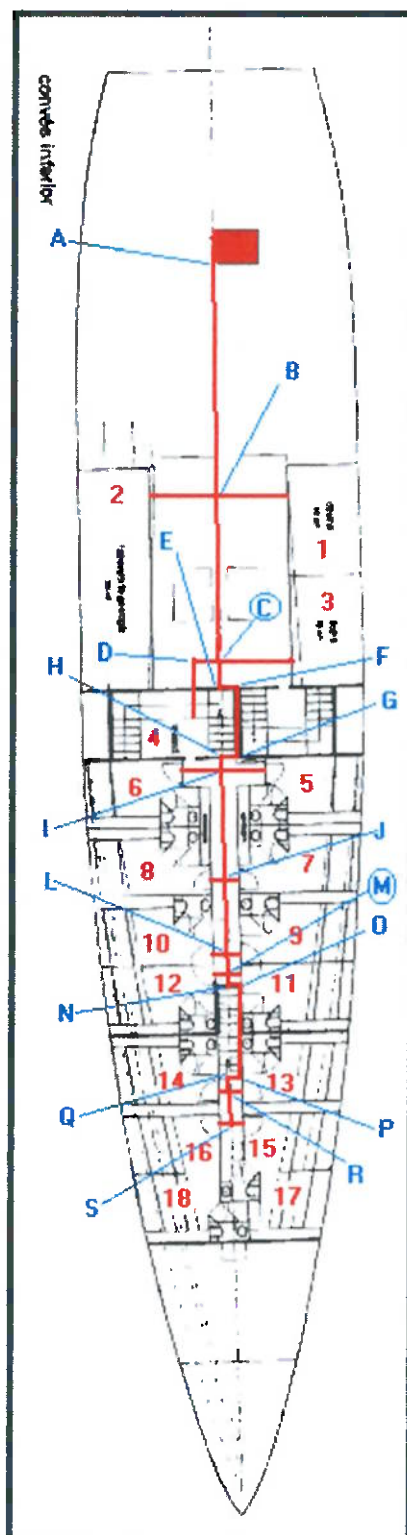
Anexo IX – Convés Inferior

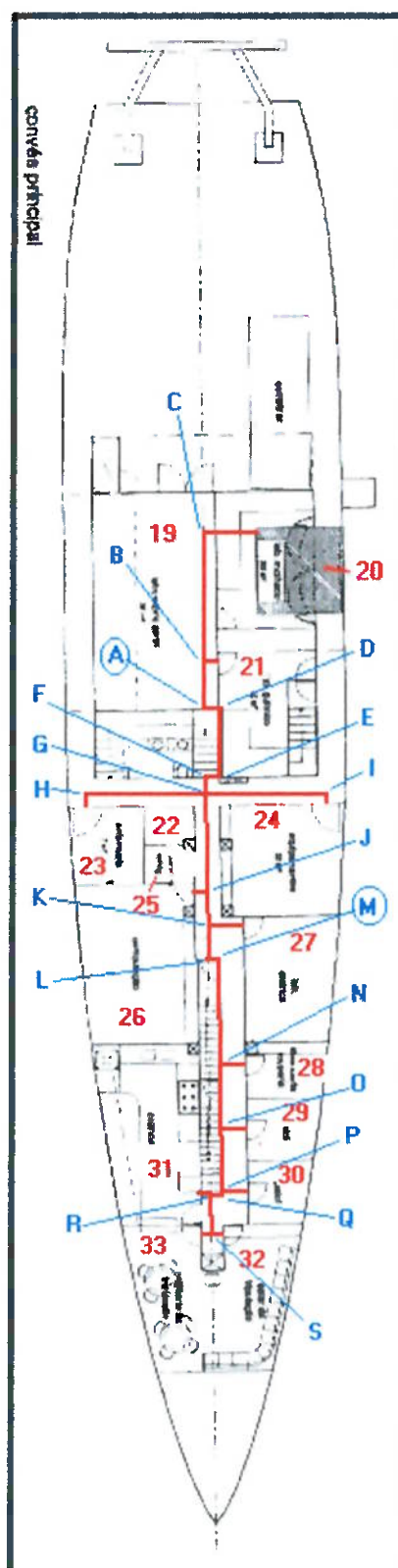
Anexo X – Convés Principal

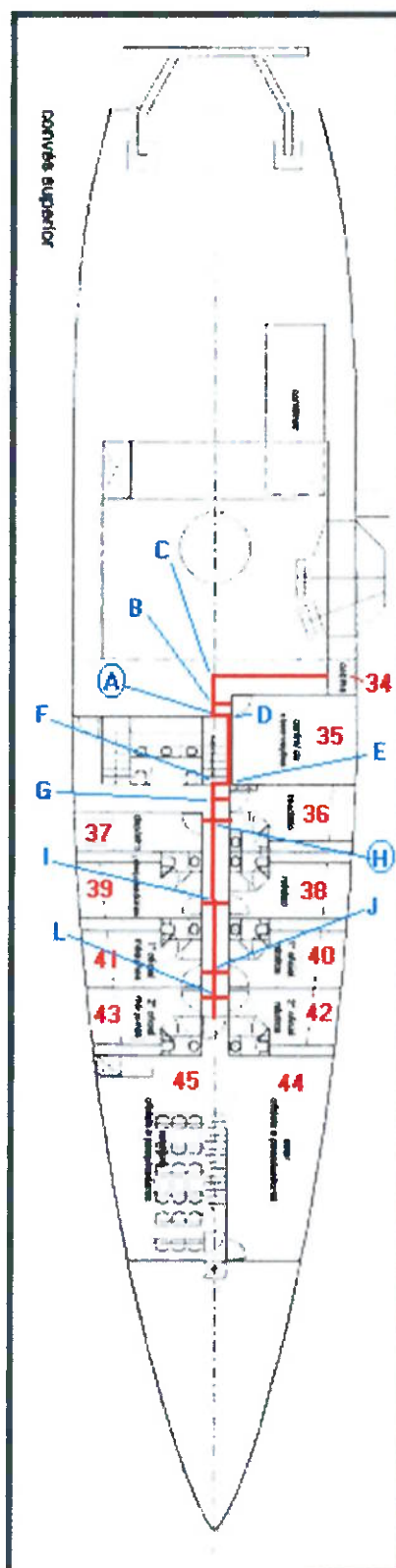
Anexo XI – Convés Superior

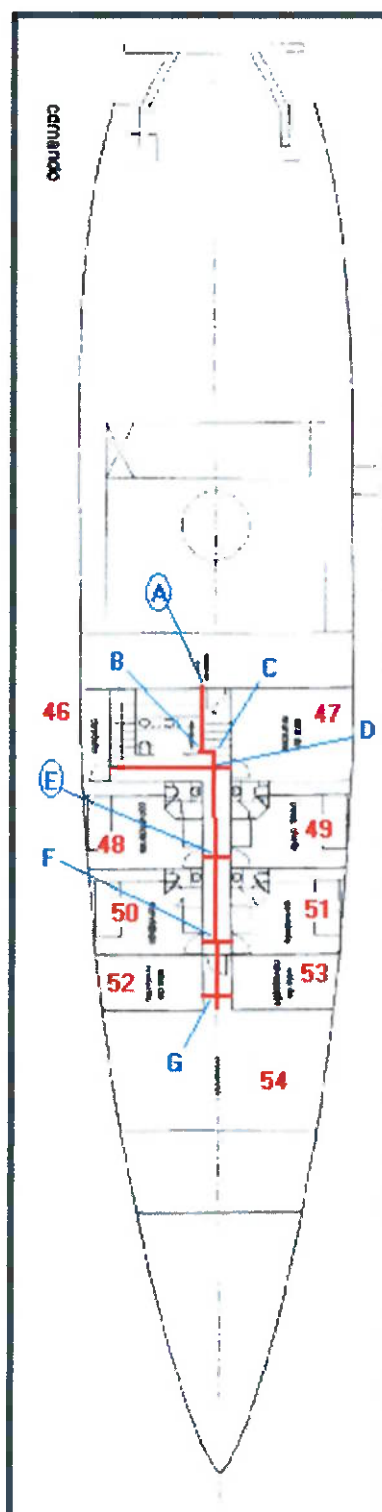
Anexo XII – Comando



Anexo XIII – Convés Inferior

Anexo XIV – Convés Principal

Anexo XV – Convés Superior

Anexo XVI – Comando

Anexo XVII – Tabela – Taxas de Ventilação de diversos cômodos.⁶

TABLE 2
OUTDOOR AIR REQUIREMENTS FOR VENTILATION*
2.1 COMMERCIAL FACILITIES (offices, stores, shops, hotels, sports facilities)

Application	Estimated Maximum** Occupancy P/1000 ft ² or 100 m ²	Outdoor Air Requirements				Comments
		cfm/ person	L/s person	cfm/ft ²	L/s·m ²	
Dry Cleaners, Laundries						Dry-cleaning processes may require more air.
Commercial laundry	10	25	13			
Commercial dry cleaner	30	30	15			
Storage, pick up	30	35	18			
Coin-operated laundries	20	15	8			
Coin-operated dry cleaner	20	15	8			
Food and Beverage Service						Supplementary smoke-removal equipment may be required.
Dining rooms	70	20	10			
Cafeteria, fast food	100	20	10			
Bars, cocktail lounges	100	30	15			
Kitchens (cooking)	20	15	8			Makeup air for hood exhaust may require more ventilating air. The sum of the outdoor air and transfer air of acceptable quality from adjacent spaces shall be sufficient to provide an exhaust rate of not less than 1.5 cfm/ft ² (7.5 L/s·m ²).
Garages, Repair, Service Stations						Distribution among people must consider worker location and concentration of running engines; stands where engines are run must incorporate systems for positive engine exhaust withdrawal. Contaminant sensors may be used to control ventilation.
Enclosed parking garage				1.50	7.5	
Auto repair rooms				1.50	7.5	
Hotels, Motels, Resorts, Dormitories				cfm/room	L/s·room	Independent of room size.
Bedrooms				30	15	Installed capacity for intermittent use.
Living rooms				30	15	
Baths				35	18	
Lobbies	30	15	8			
Conference rooms	50	20	10			See also food and beverage services, merchandising, barber and beauty shops, garages. Supplementary smoke-removal equipment may be required.
Assembly rooms	120	15	8			
Dormitory sleeping areas	20	15	8			
Gambling casinos	120	30	15			
Offices						Some office equipment may require local exhaust.
Office space	7	20	10			
Reception areas	60	15	8			
Telecommunication centers and data entry areas	60	20	10			Supplementary smoke-removal equipment may be required.
Conference rooms	50	20	10			
Public Spaces				cfm/ft ²	L/s·m ²	
Corridors and utilities				0.05	0.25	Normally supplied by transfer air. Local mechanical exhaust with no recirculation recommended.
Public restrooms, cfm/wc or cfm/urinal		50	25			
Locker and dressing rooms				0.5	2.5	
Smoking lounge	70	60	30			Normally supplied by transfer air.
Elevators				1.00	5.0	

* Table 2 prescribes supply rates of acceptable outdoor air required for acceptable indoor air quality. These values have been chosen to control CO₂ and other contaminants with an adequate margin of safety and to account for health variations

among people, varied activity levels, and a moderate amount of smoking. Rationale of CO₂ control is presented in Appendix D.

**Net occupiable space.

TABLE 2
OUTDOOR AIR REQUIREMENTS FOR VENTILATION* (Continued)
2.1 COMMERCIAL FACILITIES (offices, stores, shops, hotels, sports facilities)

Application	Estimated Maximum** Occupancy P/1000 ft ² or 100 m ²	Outdoor Air Requirements				Comments
		cfm/ person	L/s/ person	cfm/ft ³	L/s·m ³	
Retail Stores, Sales Floors, and Show Room Floors						
Basement and street	30			0.30	1.50	
Upper floors	20			0.20	1.00	
Storage rooms	15			0.15	0.75	
Dressing rooms				0.20	1.00	
Malls and arcades	20			0.20	1.00	
Shipping and receiving	10			0.15	0.75	
Warehouses	5			0.05	0.25	
Smoking lounge	70	60	30			Normally supplied by transfer air, local mechanical exhaust; exhaust with no recirculation recommended.
Specialty Shops						
Barber	25	15	8			
Beauty	25	25	13			
Reducing salons	20	15	8			
Florists	8	15	8			Ventilation to optimize plant growth may dictate requirements.
Clothing, furniture				0.30	1.50	
Hardware, drugs, fabric	8	15	8			
Supermarkets	8	15	8			
Flor shops				1.00	5.00	
Sports and Amusement						
Spectator areas	150	15	8			
Game rooms	70	25	13			When internal combustion engines are operated for maintenance of playing surfaces, increased ventilation rates may be required.
Ice arenas (playing areas)				0.50	2.50	
Swimming pools (pool and deck area)				0.50	2.50	Higher values may be required for humidity control.
Playing floors (gymnasium)	30	20	10			
Ballrooms and discos	100	25	13			
Bowling alleys (seating areas)	70	25	13			
Theaters						
Ticket booths	60	20	10			Special ventilation will be needed to eliminate special stage effects (e.g., dry ice vapors, mists, etc.)
Lobbies	150	20	10			
Auditorium	150	15	8			
Stages, studios	70	15	8			
Transportation						
Waiting rooms	100	15	8			Ventilation within vehicles may require special considerations.
Platforms	100	15	8			
Vehicles	150	15	8			
Workrooms						
Meat processing	10	15	8			Spaces maintained at low temperatures (-10°F to +50°F, or -23°C to +10°C) are not covered by these requirements unless the occupancy is continuous. Ventilation from adjoining spaces is permissible. When the occupancy is intermittent, infiltration will normally exceed the ventilation requirement. (See Ref 18).

* Table 2 prescribes supply rates of acceptable outdoor air required for acceptable indoor air quality. These values have been chosen to control CO₂ and other contaminants with an adequate margin of safety and to account for health variations

among people, varied activity levels, and a moderate amount of smoking. Rational of CO₂ control is presented in Appendix D.

**Net occupiable space.

TABLE 2
OUTDOOR AIR REQUIREMENTS FOR VENTILATION* (Concluded)
2.1 COMMERCIAL FACILITIES (offices, stores, shops, hotels, sports facilities)

Application	Estimated Maximum** Occupancy P/1000 ft ³ or 100 m ³	Outdoor Air Requirements				Comments
		cfm/ person	L/s* person	cfm/ft ³	L/s·m ³	
Photo studios	10	15	8			
Darkrooms	10			0.50	2.50	
Pharmacy	20	15	8			
Bank vaults	5	15	8			
Duplicating, printing				0.50	2.50	Installed equipment must incorporate positive exhaust and control (as required) of undesirable contaminants (toxic or otherwise).

2.2 INSTITUTIONAL FACILITIES

Education						
Classroom	50	15	8			
Laboratories	30	20	10			Special contaminant control systems may be required for processes or functions including laboratory animal occupancy.
Training shop	30	20	10			
Music rooms	50	15	8			
Libraries	20	15	8			
Locker rooms				0.50	2.50	
Corridors				0.10	0.50	
Auditoriums	150	15	8			
Smoking lounges	70	60	30			Normally supplied by transfer air. Local mechanical exhaust with no recirculation recommended.
Hospitals, Nursing and Convalescent Homes						
Patient rooms	10	25	13			Special requirements or codes and pressure relationships may determine minimum ventilation rates and filter efficiency. Procedures generating contaminants may require higher rates.
Medical procedure	20	15	8			
Operating rooms	20	30	15			
Recovery and ICU	20	15	8			
Autopsy rooms				0.50	2.50	Air shall not be recirculated into other spaces.
Physical Therapy	20	15	8			
Correctional Facilities						
Cells	20	20	10			
Dining halls	100	15	8			
Guard stations	40	15	8			

* Table 2 prescribes supply rates of acceptable outdoor air required for acceptable indoor air quality. These values have been chosen to control CO₂ and other contaminants with an adequate margin of safety and to account for health variations

among people, varied activity levels, and a moderate amount of smoking. Rationale, for CO₂ control is presented in Appendix D.

**Net occupiable space.

AN R22 – R407C

Air-cooled water chillers, heat pumps and condensing units

NEW

EUROVENT
CERTIFIED PERFORMANCE



Aermec adheres to the EUROVENT Certification Programme. The products concerned appear in the EUROVENT Certified Products Guide.

ECO
chiller®



• BASIC VERSION • VERSION EQUIPPED WITH WATER PUMP

- Available in 9 different sizes
- Cooling only, heat pump and air cooled condensing versions
- 3 versions are available:
 - Basic version
 - Version equipped with water pump, expansion vessel, mechanical water filter
 - Version equipped with water pump, expansion vessel, mechanical water filter, buffer tank
- All versions, except the motocondensing one, can be requested to operate at low temperature to produce water cooled from 4 °C down to -6 °C. This request must be specified when the order is placed.
- All sizes can be supplied for use with R22 or R407C
- High efficiency scroll compressors with low

- power consumption
- Water side differential pressure switch standard on all models
- Electronic control card with compressor starting delay and defrosting cycle control
- High efficiency heat exchangers
- Axial flow fan units for extremely quiet operation
- Steel enclosure with polyurethane anti-corrosion coating

Accessories:

- DCPAN - DCPX: Low temperature device for correct cooling mode operation with ambient temperatures from less than 20 °C down to -10 °C.
- DRC: Peak current reducer. **It must be factory-mounted.**

• VERSION EQUIPPED WITH WATER PUMP AND BUFFER TANK

KR: Antifreeze electric heater for plate exchanger. **It must be factory-mounted.**

PRD: 'Intelligent' remote control panel with the same functions as the on-board panel. It can be used with a shielded cable at a distance of 150 m.

PR1: Simplified remote control panel. All main functions of the unit, alarms included, are possible. It can be used with a shielded cable at a distance of 30 m.

SDP: Electronic card for using PR1 accessory up to a distance of 150 m.

RA: Antifreeze electric heater for the buffer tank. **It must be factory-mounted.**

VT: Anti-vibration mounts.

■ = Cooling only R22 - ■ = Heat pump R22 - □ = Cooling only R407C

Size	Version	020	025	030	041	050	080	090	100	150
Cooling capacity (kW) (E)	All	6	7,3	9	11,2	14	18,8	21,6	28	33,6
Total input power (kW) (E)	Basic	2,15	2,6	3,15	3,45	4,25	5,7	6,55	8,75	11,7
	A - P	2,31	2,77	3,33	3,63	4,53	5,99	6,85	9,35	12,35
E.E.R. (W/W)	Basic	2,79	2,81	2,86	3,25	3,29	3,30	3,30	3,20	2,87
	A - P	2,60	2,64	2,70	3,09	3,09	3,14	3,15	2,99	2,72
Water flow rate (l/h)	All	1030	1260	1550	1930	2410	3230	3720	4820	5780
Pressure drop (kPa)	Basic	3,8	3,4	30,4	31,2	33	28,2	29,4	24,1	22,3
Effective pressure (kPa)	A - P	70	66	62 / 40 (P)	60	60	55	48	66	63
Heating capacity (kW) (E)	All	7,2	8,4	9,9	12,5	15,5	19,9	23,1	30,6	40,5
Total input power (kW) (E)	Basic	2,45	2,75	3,35	4	4,7	6,25	7,4	10,1	13
	A - P	2,61	2,92	3,53	4,18	4,98	6,54	7,7	10,7	13,65
C.O.P. (W/W)	Basic	2,94	3,05	2,96	3,13	3,30	3,18	3,12	3,03	3,12
	A - P	2,76	2,88	2,80	2,99	3,11	3,04	3	2,86	2,97
Water flow rate (l/h)	All	1240	1440	1700	2150	2670	3420	3970	5260	6970
Pressure drop (kPa)	Basic	4,9	4	33,5	5,4	37,1	28,9	30,6	26,3	29,7
Effective pressure (kPa)	A - P	70	66	62 / 40 (P)	58	60	55	48	66	63
Cooling capacity (kW) (E)	All	5,7	6,6	8,7	11	13,7	18,2	21,1	27,4	33
Total input power (kW) (E)	Basic	2,3	2,65	3,25	3,65	4,6	5,95	6,8	9,2	12,5
	A - P	2,46	2,82	3,43	3,83	4,88	6,24	7,1	9,8	13,15
E.E.R. (W/W)	Basic	2,48	2,49	2,68	3,01	2,98	3,06	3,10	2,98	2,64
	A - P	2,32	2,34	2,54	2,87	2,81	2,92	2,97	2,80	2,51
Water flow rate (l/h)	All	980	1140	1500	1890	2360	3130	3630	4710	5680
Pressure drop (kPa)	Basic	4,3	3,1	33,5	30	37,1	28,9	30,6	26,3	29,7
Effective pressure (kPa)	A - P	71	68	63 / 42 (P)	60	62	57	50	69	66
♪ Sound pressure - dB (A)	Basic - P	34	40,5	40,5	38	43	42,5	42,5	50	51
	A	33	40	40	37	41	41	40	48	49
Total air flow rate (m³/h)	All	2500	3300	3450	5300	7000	6700	6450	13450	*
Coil rows	All	2	2	2	2	2	2	3	2	3
Water connections (Ø male)	Basic	1"	1"	1"	1"	1"	1"	1"	1"	1"
Water connections (Ø female)	A - P	1"	1"	1"	1"1/4	1"1/4	1"1/4	1"1/4	**	**
Evaporator water contents (dm³)	All	0,6	0,75	1/0,66 (A-P)	0,85	1,03	1,41	1,78	2,44	3,1
Pump speed (n°)	A - P	3	3	3	3	3	3	3	1	1
Expansion tank capacity (l)	A - P	2	2	2	2	5	5	5	8	8
Pre-charge pressure (bar)	A - P	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Safety valve setting (bar)	A - P	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Buffer tank capacity (l)	A	25	25	35	35	75	75	75	145	145

(E) = Eurovent certified performance values

Power supply: 230 V - 3 - 50 Hz; 400 V - 3+N - 50 Hz

only for 020 - 025 - 030: 230 V - 1 - 50 Hz; 400 V - 3+N - 50 Hz.

Performance values refer to the following conditions:

♪ Sound pressure measured in free field conditions at distance of 10 m and direction factor = 2.

Cooling:

water outlet temperature 7 °C;
ambient air temperature 35 °C; Δt = 5 °C.

Heating:

water outlet temperature 50 °C;
ambient air temperature 7 °C D.B., 6 °C W.B.; Δt = 5 °C.

* = 13450 m³/h; 12400 m³/h for AN H

** = 1"1/2 inlet; 1"1/4 outlet

Size		020 C	025 C	030 C	041 C	050 C	080 C	090 C	100 C	150 C
Cooling capacity	kW	6,6	8,2	9,4	11,8	15,7	21,3	23,3	30	38,4
Total input power	kW	2,25	2,65	3,2	3,55	4,35	5,95	6,65	8,9	12,2
E.E.R.	W/W	2,93	3,09	2,94	3,32	3,61	3,58	3,50	3,37	3,15
Cooling capacity	kW	6,3	7,5	9,2	11,7	15,5	20	23	29,5	38
Total input power	kW	2,35	2,7	3,3	3,8	4,7	6,15	6,9	9,4	12,9
E.E.R.	W/W	2,68	2,78	2,79	3,08	3,30	3,25	3,33	3,14	2,95
♪ Sound pressure	dB (A)	34	40,5	40,5	38	43	42,5	42,5	50	51
Total air flow rate	m³/h	2500	3300	3450	5300	7000	6700	6450	13450	13450
Coil rows	n°	2	2	2	2	2	2	3	2	3

Power supply: 230 V - 3 - 50 Hz; 400 V - 3+N - 50 Hz

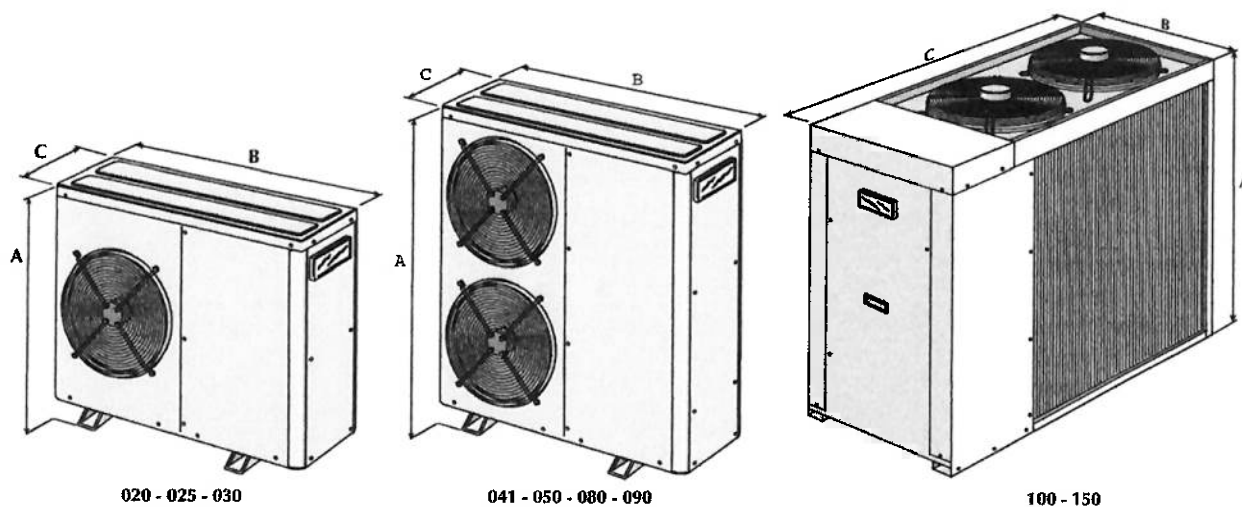
Performance values refer to the following conditions:

♪ Sound pressure measured in free field conditions at distance of 10 m and direction factor = 2.

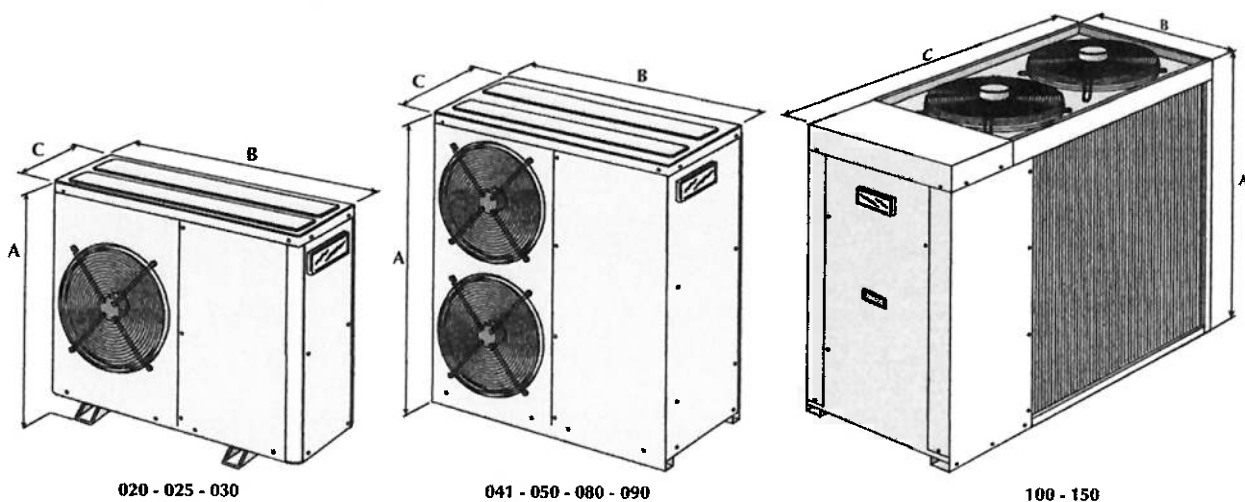
Cooling:

evaporation temperature 5 °C;
ambient temperature 35 °C.

Dimensions (mm)



Version basic - C		020	025	030	041	050	080	090	090 H	100	150
Height (A)	mm	850	850	1000	1250	1250	1250	1250	1550	1345	1345
Width (B)	mm	900	900	900	1120	1120	1120	1120	1120	750	750
Depth (C)	mm	352	352	352	435	435	435	435	435	1750	1750
Weight (kg)	version Basic	74	77	81	113	123	131	168	—	280	293
	version Basic H	78	81	85	119	129	137	—	195	295	328
	version C	70	71	76	107	116	122	157	—	266	276



Version A - P		020	025	030	041	050	080	090	090 H	100	150
Height (A)	mm	864	864	1014	1250	1280	1280	1280	1580	1345	1345
Width (B)	mm	1120	1120	1120	1120	1167	1167	1167	1167	750	750
Depth (C)	mm	435	435	435	435	555	555	555	555	1750	1750
Net weight (kg)	version P	99	103	105	124	163	169	206	—	302	330
	version HP	103	107	110	130	169	175	—	233	317	365
	version A	109	113	120	139	183	189	226	—	342	370
	version HA	113	117	125	145	189	195	—	253	357	405

The technical data in this document are not binding.
Aermec S.p.A. reserves the right to make whatever modifications it
deems necessary to improve the product at any time.

Aermec S.p.A.
Via Roma, 44 - 37040 Bevilacqua (VR) - Italy
Tel. +39 04 42 63 31 11 - Telefax +39 044 29 35 66
www.aermec.com

8. BIBLIOGRAFIA

- [1] McDonald, R. **Marine Air Conditioning – Practical Applications**. 1.ed. Londres, George Newnes Limited, 1964.
- [2] Marine Air Conditioning. **Heating and Ventilation**. 1.ed. Londres, Thermotank Limited, 1970.
- [3] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Fundamentals**. 1997 ASHRAE handbook.
- [4] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Fundamentals**. 1993 ASHRAE handbook.
- [5] Incropera, F. P.; de Witt, D. P. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. Trad. de Horacio Macedo. 3.ed. Rio de Janeiro, LTC, 1992.
- [6] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. **Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality**. ANSI/ASHRAE 62-1989.
- [7] Stoecker, W. F.; Jones, J. E. **Refrigeração e Ar Condicionado**. Trad. de José M. Saiz Jabardo, Euryale Zerbine, Silvio de Oliveira Júnior e Saburo Okeda. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1985.

- [8] Fox, R. W.; McDonald, A. T. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. Guanabara Koogan S. A., 1995.
- [9] Shulters, E. S. **Marine Air Conditioning and Refrigeration**. 1.ed. Cambridge, Cornell Maritime Press, 1952.
- [10] Giles, J. **Promoting new concepts in marine air conditioning**. Naval Architect. n.JUL./AUG, p.29-30, 32, 1999.
- [11] Boyle, C. W. **Design tips and code advisories for gaming vessels**. HPAC Heating, Piping, Air Conditioning. v.69, n.8, p.45-48, 51-53, Aug, 1997.
- [12] Wu, C. **Performance of a solar engine driven air conditioning system**. International Journal of Ambient Energy. v.14, n.2, p.77-82, Apr, 1993.
- [13] Heine, C. A. **Aircrew cooling system**. Proceedings Annual SAFE Symposium (Survival and Flight Equipment Association). Survival & Flight Equipment Assoc, Newhall, CA, USA, n.29, p.162-166.
- [14] Lee, T. R.; Chatterjee, A. K. **Integrated cogeneration and chiller systems study**. Energy Eng. v.87, n.5, p.42-48, 1990.

[15] Van Ryzin, J. C.; Leraand, T. K. **Air conditioning with deep seawater--A reliable, cost effective technology.** Ocean Technologies and Opportunities in the Pacific for the 90's (New-York). IEEE, IEEE Service Center, Piscataway, NJ, USA (IEEE cat n 91CH3063, -5). v.1, p.53-59.

[16] Yankaskas, K. **Successful airborne noise control: Attention to detail.** Proceedings National Conference on Noise Control Engineering. Inst of Noise Control Engineering, Poughkeepsie, NY, USA. v.1, p.299-302, 1996.

[17] Webster, A. D. **Contribution of ventilation system design and maintenance to air quality on passenger ships.** The Institute of Marine Engineers. v.109, n.2, p.145-159, 1997.

