

MARINHA DO BRASIL
DIRETORIA DE ENSINO DA MARINHA
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE WANDENKOLK

CURSO DE APERFEIÇOAMENTO AVANÇADO EM
PROPULSÃO NAVAL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE SECAGEM DO AR COMPRIMIDO DAS FRAGATAS
DA CLASSE GREENHALGH.

PRIMEIRO - TENENTE (QC-CA) JACSON SANTOS NASCIMENTO

CIAW
Rio de Janeiro
2020

PRIMEIRO – TENENTE (QC-CA) JACSON SANTOS NASCIMENTO

OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE SECAGEM DO AR COMPRIMIDO DAS FRAGATAS
DA CLASSE GREENHALGH.

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Wandenkolk como requisito parcial à conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Propulsão Naval.

Orientadores:

D. Sc. Luiz Antônio Vaz Pinto;

Primeiro - Tenente (EN) Matheus Lima de Deus.

CIAW
Rio de Janeiro
2020

FOLHA DE APROVAÇÃO

PRIMEIRO – TENENTE (QC-CA) JACSON SANTOS NASCIMENTO

OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE SECAGEM DO AR COMPRIMIDO DAS FRAGATAS
DA CLASSE GREENHALGH.

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Wandenkolk como requisito parcial à conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Propulsão Naval.

Aprovada em _____

Banca Examinadora:

Luiz Antônio Vaz Pinto, D. Sc – UFRJ _____

Matheus Lima de Deus, Eng. Mecânico – DEN _____

Carlos Alfredo Órfão Martins, M. Sc – CIAW _____

CIAW
Rio de Janeiro
2020

OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE SECAGEM DO AR COMPRIMIDO DAS FRAGATAS DA CLASSE GREENHALGH.

Resumo

Este trabalho tem o objetivo de analisar o sistema de secagem do ar comprimido das fragatas da classe Greenhalgh e propor possíveis alterações que aumentem a eficiência deste sistema. E para isso, foram apresentados, inicialmente, os principais conceitos relacionados à qualidade do ar comprimido, em especial os relacionados ao vapor d'água. Além das características de um sistema de produção e distribuição de ar comprimido, passando pela compressão do ar, a extração de condensado, os elementos do sistema de produção e distribuição que estão associados ao controle da umidade do fluido.

Na segunda etapa do trabalho é apresentado o sistema de ar comprimido das fragatas da classe Greenhalgh, sua divisão em sistemas de baixa e alta pressão, suas características e seus principais utilizadores. Porém, a análise da eficiência do sistema de secagem foi realizada apenas para o sistema de alta pressão devido a sua maior importância, pois está relacionado aos principais sistemas dependentes do ar comprimido. Além dele ter a capacidade de suprir o ar comprimido nos sistemas de baixa pressão em situações de emergência.

Por fim, são analisados os principais fatores que contribuem para o aumento da umidade no ar comprimido e realizadas sugestões de mudanças a serem implementadas no sistema para a garantia de um ar comprimido mais seco e um sistema mais eficiente.

Palavras- chave: [Ar Comprimido; Secagem; Pneumática; Umidade]

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mudança do estado da água no circuito pneumático	19
Figura 2 - Sistema de ar comprimido	20
Figura 3 - Tipos de compressores e simbologia utilizada.	21
Figura 4 - Filtro Ciclone	22
Figura 5 - Secagem por absorção	23
Figura 6 - Secagem por Adsorção	24
Figura 7 - Secagem por absorção	25
Figura 8 - Reservatório de ar comprimido.....	26
Figura 9 - Tipos de configuração para redes de distribuição de ar comprimido. a) circuito aberto; b) circuito fechado.....	27
Figura 10 - Filtro regulador lubrificador (FRL)	28
Figura 11 - Representação de um purgador.....	29
Figura 12 - Resfriamento intermediário	36
Figura 13 - Sistema de secagem da rede de distribuição do lançador de torpedos.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição do ar seco padrão.....	13
Tabela 2 - Relação entre a temperatura e a umidade máxima do ar.....	15
Tabela 3 - Qualidade requerida por tipo de aplicação.....	17
Tabela 4 - Especificações de classes do ar comprimido	17
Tabela 5 - Especificação e Dados Operacionais do Compressor 5417N	32
Tabela 6 - Válvulas redutoras de pressão (RDS)	33

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1 Apresentação do Problema	9
1.2 Justificativa e Relevância.....	10
1.3 Objetivos.....	10
1.3.1 Objetivo Geral	10
1.3.2 Objetivos Específicos	10
1.4 Etapas do Trabalho	11
2. METODOLOGIA	12
3. REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1 Ar atmosférico	13
3.1.1 Composição	13
3.2 Umidade do ar.....	13
3.2.1 Umidade relativa.....	14
3.2.2 Umidade Absoluta	14
3.3 Ar comprimido	15
3.4 Qualidade do ar comprimido	16
3.5 Problemas gerados pela umidade do ar comprimido	18
3.6 Sistema de ar comprimido	19
3.6.1 Produção de ar comprimido.....	20
3.6.1.1 Compressor	20
3.6.1.2 Filtros	21
3.6.1.3 Secador.....	23
3.6.1.3.1 Secagem por refrigeração	23
3.6.1.3.2 Secagem por adsorção	24

3.6.1.3.3	Secagem por absorção	24
3.6.1.4	Reservatório	25
3.6.2	Sistema de distribuição	26
3.6.2.1	Tubulação	27
3.6.2.2	Acessórios.....	27
3.6.2.3	Purgadores	28
4.	O SISTEMA DE AR COMPRIMIDO DAS FRAGATAS DA CLASSE GREENHALG	30
4.1	Sistema de baixa pressão do ar comprimido.....	30
4.1.1	Compressor de baixa pressão – (CBP)	30
4.2	Sistema de alta pressão do ar comprimido.....	31
4.2.1	Compressor de alta pressão (CAP).....	32
4.2.2	Válvulas redutoras de pressão (RDS).....	33
4.2.3	Reservatórios de ar comprimido.....	34
4.3	Volume de condensado no sistema de ar comprimido	34
4.4	Sistema de secagem do ar comprimido.....	35
4.4.1	Compressor.....	35
4.4.2	Filtro duplex	36
4.4.3	Reservatório.....	37
4.5	Sugestão de melhoria do sistema	38
5.	CONCLUSÃO	39
6.	REFERÊNCIAS.....	41
ANEXO I – PLANTA DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO DAS FRAGATAS CLASSE GREENHALGH.....		43
ANEXO II - PLANTA DE AR COMPRIMIDO DE ALTA PRESSÃO DAS FRAGATAS CLASSE GREENHALGH – BRAVOS 1 E 2		44

ANEXO III - PLANTA DE AR COMPRIMIDO DE ALTA PRESSÃO DAS FRAGATAS CLASSE GREENHALGH – BRAVOS 3 E 4	45
ANEXO IV – REDE DE AR COMPRIMIDO DE ALTA PRESSÃO E UTILIZADORES ...	46

1. INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do Problema

As fragatas da classe Greenhalgh são de fabricação inglesa e foram incorporadas a Marinha do Brasil no ano de 1996. A aquisição destes navios se deu pelo processo conhecido como compra de oportunidade, ou seja, os navios foram desligados do serviço da marinha inglesa e oferecidos ao Brasil. O lote comprado incluiu quatro fragatas que foram rebatizadas pela marinha brasileira de Greenhalgh (F46), Dodsworth (F47), Bosisio (F48) e Rademaker (F49). E destas apenas duas ainda estão em operação, Greenhalgh e Rademaker.

A vida útil típica de navios militares é de 20 anos. No entanto, essa classe de fragatas já operam por 40 anos. A fragata Rademaker é a mais nova da classe e o fim de sua fabricação foi no ano de 1980. Isso ressalta que devido à idade esses navios requerem maiores cuidados em sua operação e manutenção. E como forma de avaliar a robustez e desempenho dos navios da classe Greenhalgh, após anos de operação, este trabalho se propõe a avaliar um sistema vital ao navio, o sistema de ar comprimido, mais especificamente o seu sistema de secagem.

O ar comprimido é uma fonte de energia utilizada em vários processos e sistemas do navio. E para que esses sistemas operem nas condições de projeto é necessário que ele apresente a qualidade, níveis de umidade, poeira e partículas de óleo em suspensão, definida pelos fabricantes dos equipamentos. Porém, tem-se observado que a umidade do ar comprimido utilizado em vários subsistemas dos navios da Marinha do Brasil está, em muitos casos, acima dos valores requeridos pelos utilizadores.

A umidade excessiva do ar comprimido acarreta consequências negativas ao funcionamento do sistema, como a oxidação da tubulação, falha de equipamentos e componentes, o aumento do custo de operação e a redução da disponibilidade dos equipamentos. Assim, faz-se necessário avaliar o sistema e observar os pontos que podem ser otimizados, de modo a evitar tais problemas.

1.2 Justificativa e Relevância

Aumentar a disponibilidade dos equipamentos acionados pelo ar comprimido e reduzir os custos de manutenção, pois o sistema de ar comprimido é responsável pelo fornecimento de ar, em condições específicas, para algumas atividades vitais a bordo. Entre elas, pode-se destacar: a partida de turbinas propulsoras e motores (propulsores e geradores de energia elétrica), recarga das ampolas das máscaras usadas no combate a incêndio e acionamento do sistema de combate a incêndio em alguns compartimentos. Além disso, a falha do sistema de ar comprimido impossibilita a partida das turbinas e dos motores.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Apresentar o sistema de ar comprimido das fragatas classe Greenhalgh e propor possíveis melhorias ao seu processo de secagem.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Apresentar o sistema básico de ar comprimido de um navio;
- Apresentar os principais sistemas utilizadores de ar comprimido a bordo;
- Apresentar os principais problemas do sistema de ar comprimido decorrentes do excesso de umidade;
- Estudar os métodos disponíveis de secagem do ar comprimido;
- Apresentar o sistema de ar comprimido das fragatas da classe Greenhalgh;
- Apresentar o sistema de secagem do ar comprimido das fragatas da classe Greenhalgh;
- Apontar os principais problemas do sistema de ar comprimido, referentes a umidade do fluido, e sugerir pontos de melhoria para o sistema.

1.4 Etapas do Trabalho

O trabalho inicia-se com a apresentação da composição do ar atmosférico e explicação das formas de mensurar os valores de umidade. Depois são apresentadas as vantagens do ar comprimido, o conceito de qualidade do ar e os problemas gerados pela umidade ao sistema de ar comprimido. Em seguida é apresentada uma divisão genérica de uma planta de ar comprimido (sistema de geração e sistema de distribuição).

Após a apresentação dos conceitos básicos, o trabalho faz uma explanação de como a umidade do ar se relaciona com as etapas do processo de geração do ar comprimido. E como os elementos da rede podem interferir no controle da umidade do fluido. Nessa etapa, é apresentada a relação entre a umidade do ar desde a compressão até o momento em que o fluido chega ao utilizador final.

Após uma demonstração genérica dos elementos do sistema de ar comprimido e da relação deles com a umidade do fluido deu-se início ao estudo de caso, em que foram apresentadas as principais características dos sistemas de ar comprimido de baixa e o de alta pressão das fragatas da classe Greenhalgh. E a partir deste ponto, o trabalho é direcionado a analisar apenas o sistema de alta pressão devido a sua maior importância no navio. Assim, foi apresentada a mentalidade do projeto do sistema e elementos importantes, como o compressor, os reservatórios e as válvulas redutoras de pressão (RDS). Além disso, foi realizada uma estimativa da quantidade de condensado que o sistema deve retirar do ar anualmente.

Por fim, este trabalho aponta os principais problemas e as mudanças realizadas no sistema que interferem no suprimento do ar comprimido de alta pressão. E sugere possíveis melhorias a serem realizadas no sistema de alta pressão de ar comprimido das fragatas da classe Greenhalgh.

2. METODOLOGIA

A metodologia observada neste trabalho consiste no levantamento bibliográfico, realizado através da literatura técnica e dos documentos técnicos de operação e manutenção do sistema. Além do estudo de caso, realizado no sistema de secagem do ar comprimido das fragatas da classe Greenhalgh com o objetivo de analisar o sistema e sugerir soluções para aumentar a sua eficiência.

A coleta dos dados se deu através da análise dos manuais do sistema, de visitas a um navio da classe Greenhalgh e através de conversas com os mantenedores do sistema. E esses dados foram analisados apenas de maneira qualitativa.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Ar atmosférico

3.1.1 Composição

A composição percentual dos elementos presentes no ar atmosférico seco varia de acordo com a região de recolhimento da amostra. Porém, para realização dos cálculos, os engenheiros utilizam o ar seco padrão, que é constituído, em percentual volumétrico por cerca de 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio e 1% de outros gases, tais como argônio, neônio, hélio, dióxido de carbono, metano, criptônio, hidrogênio, xenônio, ozônio, óxidos nitrosos e dióxido de enxofre (Tabela 1).

Além desses gases, o ar atmosférico contém outros elementos em suspensão, sendo os mais importantes a água, na forma de vapor, e a poeira. Estes elementos terão papel preponderante no processo de compressão do ar atmosférico (MONTEIRO, 2005).

Tabela 1 - Composição do ar seco padrão

Elemento	Volume (%)	Massa (%)
Nitrogênio	78	75,5
Oxigênio	21	24
Outros	1	0,5

Fonte: Monteiro, 2005.

3.2 Umidade do ar

A interferência do vapor d'água no processo de compressão do ar atmosférico pode ser compreendida pela comparação realizada por MONTEIRO (2005). Para ele, a presença do vapor d'água na massa de ar tem o comportamento semelhante a uma esponja úmida. Ela contém certa quantidade de água quando está relaxada, em condição de equilíbrio. Porém, apenas quando ela é comprimida que a água é precipitada. E após cessar o processo de compressão ainda existe água presente na esponja.

A quantidade de vapor d'água presente na massa de ar é representada pela umidade relativa e/ou umidade absoluta.

3.2.1 Umidade relativa

A umidade relativa (U_{REL}) é definida como sendo a relação entre a massa de vapor d'água contida no ar atmosférico úmido (m_v) e a massa de vapor d'água que o ar teria se estivesse saturado (m_s) à mesma temperatura e pressão (BORGNAKKE, 2018). Sendo ar atmosférico saturado a condição que o ar apresenta a máxima umidade possível para determinada temperatura.

$$U_{REL} = \left(\frac{m_v}{m_s} \right) \times 100\% \quad (3.1)$$

O valor da umidade relativa é expresso em percentual.

3.2.2 Umidade Absoluta

A umidade absoluta (U_{ABS}) ou umidade específica é definida como sendo a razão entre a massa de vapor d'água (m_v) e a massa de ar seco (m_{ar}) (BORGNAKKE, 2018). O termo ar seco se refere ao ar isento de vapor d'água.

$$U_{ABS} = \left(\frac{m_v}{m_{ar}} \right) \quad (3.2)$$

A unidade utilizada para expressar a umidade absoluta é kg de água / kg de ar seco. Geralmente, a máxima umidade é expressa em g de água / m³ de ar. A Tabela 2 apresenta a umidade máxima do ar para determinadas temperaturas e suas respectivas pressões de saturação.

Tabela 2 - Relação entre a temperatura e a umidade máxima do ar.

Temperatura (°C)	Pressão de saturação (bar)	Umidade Máx. (g/m ³)
0	0,00623	4,8
5	0,00891	7,1
10	0,01251	9,4
15	0,01738	12,8
20	0,02383	17,3
25	0,03229	23
30	0,04325	30,4
35	0,05733	39,6
40	0,0752	50,7
45	0,09771	65,4
50	0,12578	82,3

Fonte: Monteiro, 2005.

3.3 Ar comprimido

O ar comprimido é uma das principais utilidades requeridas na indústria. Ele é utilizado como fonte de energia para diversos processos, substituindo a energia elétrica e hidráulica. A geração do ar comprimido ocorre pela pressurização do ar atmosférico devido à ação mecânica realizada por compressores. Assim, o ar pressurizado passa a ser um transportador de energia. Este tipo de energia é a mais recorrente em fábricas que têm limitações devido à sua atmosfera explosiva (BOSCH, 2008).

O ar comprimido apresenta alguns benefícios que o diferenciam das outras fontes de energia, tais como (FIGUEIREDO, 2016):

- O ar existe em abundância e está disponível em todos os lugares;
- Não é poluente e não deixa resíduos em caso de vazamentos;
- Não necessita de linhas de retorno, já que a exaustão de ar é feita pela abertura de descarga;
- O ar comprimido pode ser armazenado em reservatórios;

- Não é inflamável;
- Custo de produção acessível.

3.4 Qualidade do ar comprimido

A qualidade do ar comprimido é uma medida utilizada para representar os níveis aceitáveis de substâncias indesejáveis presente no ar comprimido. Essa expressão abrange os valores máximos permitidos de água em forma de vapor ou gota, óleo em forma de vapor ou aerossol e poeira, para uma determinada utilização. O ar comprimido que não apresenta a qualidade requerida para uma utilização específica pode prejudicar os resultados da produção, aumentar a probabilidade de falhas e elevar os custos de manutenção (ATLAS COPCO, 2015).

Desta maneira, para a correta utilização do ar comprimido nos diversos equipamentos é importante considerar a sua qualidade. A norma ABNT NBR ISO 8573-1 (Ar comprimido para uso geral - contaminantes e classes de qualidade) apresenta os valores máximos de umidade, partículas e óleo permitidos no ar comprimido para diversas utilidades. Esta norma foi elaborada com base em informações de fornecedores de equipamentos pneumáticos e define as classes da qualidade desejada do ar comprimido.

A seleção da classe da qualidade do ar comprimido deve ser realizada observando o equipamento do sistema que possui maiores restrições, assim será garantida a qualidade do ar comprimido para todos os equipamentos do sistema pneumático. É importante considerar que as impurezas também podem se acumular durante o trajeto do ar pelo sistema até chegar ao equipamento de uso final. A Tabela 3 apresenta a classe de qualidade do ar recomendada para cada tipo de equipamento, de modo a garantir seu maior tempo de vida útil. E a Tabela 4 resume as especificações recomendadas para cada classe.

Tabela 3 - Qualidade requerida por tipo de aplicação

Tipos de aplicação	Classe de qualidade a aplicar		
	Partículas	Umidade	Óleo
Agitação com ar	5	3	3
Motores de ar	4-1	5	4
Máquinas para tijolo e vidro	4	5	4
Limpeza de partes de máquina	4	4	4
Construção	5	5	4
Transportadores de produtos granulares	4	3	3
Transportadores de produtos em pó	3	2	2
Circuitos elétricos	4	4	4
Sensores	2-1	2	2
Máquinas de fundições	4	5	4
Alimentos e bebidas	3	1	2
Ferramentas manuais a ar	5-4	5-4	4
Exploração mineira	5	5	4
Manufatura microeletrônicas	1	1	1
Máquinas de embalagem e têxtil	3	3	4
Produção de filmes e fotografia	1	1	1
Cilindro pneumático	3	5	3
Ferramentas pneumáticas	4	4	4
Instrumentos de controlo de processos	2	3	2
Pulverização de tinta	3	3	3
Jato de areia	3	3	-
Máquinas de solda	4	5	4
Uso geral em oficina	4	5	4

Fonte: ABNT ISO 8573-1, 2013.

Tabela 4 - Especificações de classes do ar comprimido

Classe	Partículas (Nº de partículas/m ³)			Umidade (Ponto de orvalho °C)	Óleo (concentração mg/m ³)
	0,1 µm < d ≤ 0,5 µm	0,5 µm < d ≤ 1,0 µm	1,0 µm < d ≤ 5,0 µm		
	-	-	-	-	-
1	≤ 20000	≤ 400	≤ 10	≤ -70	≤ 0,01
2	≤ 400 000	≤ 6000	≤ 100	≤ -40	≤ 0,1
3	-	≤ 90000	≤ 1000	≤ -20	≤ 1
4	-	-	≤ 10000	≤ 3	≤ 5
5	-	-	≤ 100000	≤ 7	≤ 5

Fonte: ABNT ISO 8573-1, 2013.

A umidade está relacionada ao ponto de orvalho do ar comprimido, parâmetro usado para definir a temperatura na qual o vapor começa a condensar.

A partir da determinação da qualidade do ar comprimido requerida pode-se determinar o tratamento que se deve conferir ao ar atmosférico antes da compressão e ao ar comprimido antes da distribuição. Este tratamento deve ser mais bem avaliado em áreas urbanas, pois são nessas regiões que o ar atmosférico apresenta uma concentração de contaminantes elevada. Um metro cúbico de ar após ser comprimido em 10 bar aumenta em 11 vezes a concentração de contaminantes, podendo conter até 2 bilhões de partículas de sujeira (BOSCH, 2008).

Em fim, garantir a qualidade do ar comprimido no sistema é fundamental para o aumento da produtividade, diminuir os custos com manutenção, aumentar a vida útil das máquinas e dispositivos pneumáticos, proteger as ferramentas pneumáticas, garantir a precisão nos equipamentos de medição e instrumentação e obter ar isento de água, óleo e poeira, além de outros benefícios (SCHULZ, 2002).

3.5 Problemas gerados pela umidade do ar comprimido

O ar comprimido necessita de tratamento para garantir que os níveis de contaminantes (poeira, óleo e vapor d'água) estejam dentro do ideal para a aplicação a que se propõe. Entre os contaminantes a água é a mais perigosa, pois está sujeita a alteração de suas características pela mudança na temperatura, algo inevitável de ocorrer no processo de compressão. Desta maneira, ela irá variar seu estado físico de gasoso para líquido, ou vice-versa, em diferentes pontos do sistema. E sempre causará transtornos ao processo independente do local onde esteja (SCHULZ, 2002).

A presença de água no sistema de ar comprimido gera complicações tanto no próprio circuito pneumático quanto na aplicação do ar. Esse contaminante (vapor d'água ou condensado) prejudica o acabamento em pinturas, produz oxidação de tubulações e válvulas retentoras, reduz a durabilidade e vedação dos cilindros pneumáticos, destrói a película de lubrificação das ferramentas e demais mecanismos em contato com o ar contaminado (CITISYSTEMS, 2019).

A Figura 1 mostra como ocorre às variações do estado da água dentro do circuito pneumático. O ar (mais vapor d'água) após ser comprimido é armazenado no reservatório,

onde ocorre a precipitação de condensado devido à mudança na temperatura. Assim, na saída do reservatório tem-se ar úmido que continua a se condensar durante o deslocamento na tubulação até o momento que passa pelo secador e torna-se ar seco, pois a precipitação de condensado causada por esse componente da rede deixa os níveis de umidade com valores recomendados para a aplicação desejada.

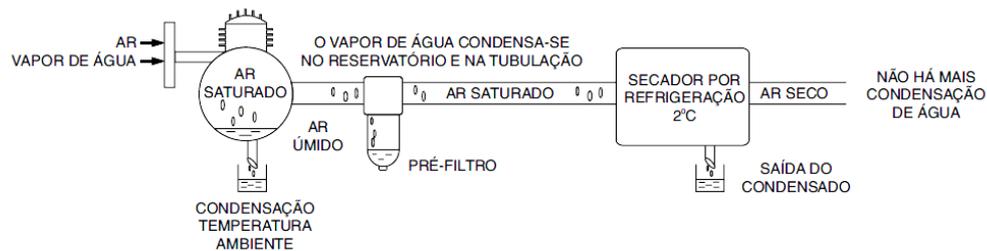


Figura 1 - Mudança do estado da água no circuito pneumático

Fonte: SCHULZ, 2002.

3.6 Sistema de ar comprimido

Para a produção e o fornecimento de ar comprimido é necessário um sistema, de certo modo, complexo. Segundo HYDRO ONE (2007), esse sistema de ar comprimido pode ser dividido em duas seções. A seção de produção de ar comprimido, onde se encontram compressores, trocadores de calor, filtros, secadores e depósitos primários, e a seção de distribuição de ar comprimido, que inclui tubulação, purgadores, depósitos secundários e os equipamentos finais (Figura 2).

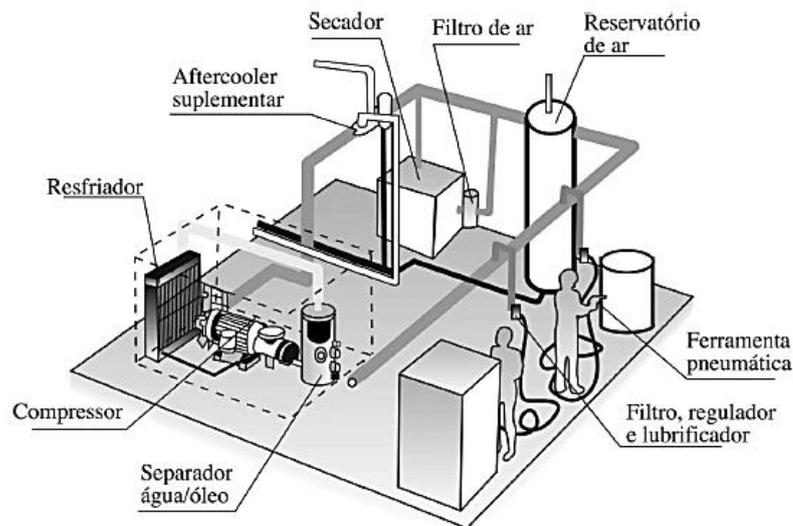


Figura 2 - Sistema de ar comprimido –
Fonte: Monteiro, 2005.

3.6.1 Produção de ar comprimido

A produção de ar comprimido é realizada a partir da definição de alguns parâmetros desejados, tais como a pressão requerida, a qualidade e a quantidade necessária de ar (FIGUEIREDO, 2016). A pressão e a quantidade do ar comprimido são características de cada projeto. Porém a qualidade é definida pela norma ABNT NBR ISO 8573-1.

O controle da umidade do ar durante as etapas de produção do ar comprimido deve ser realizado durante todo o processo. Desta forma, são apresentados os elementos do sistema de produção de ar comprimido e suas relações com a umidade do ar.

3.6.1.1 Compressor

O compressor é o principal elemento do sistema de ar comprimido. Ele é o responsável pela transferência de energia ao fluido. A sua principal forma de classificação está relacionada com a maneira pela qual o equipamento fornece energia ao gás. Deste modo, os compressores são divididos em compressores de deslocamento positivo, quando a pressão é elevada devido à redução de volume, e compressores de deslocamento não positivo ou dinâmico, quando o aumento de pressão ocorre pela transformação de energia cinética em

energia de pressão, durante a passagem do ar pelo equipamento (SILVA, 2009). A Figura 3 apresenta como os compressores são classificados.

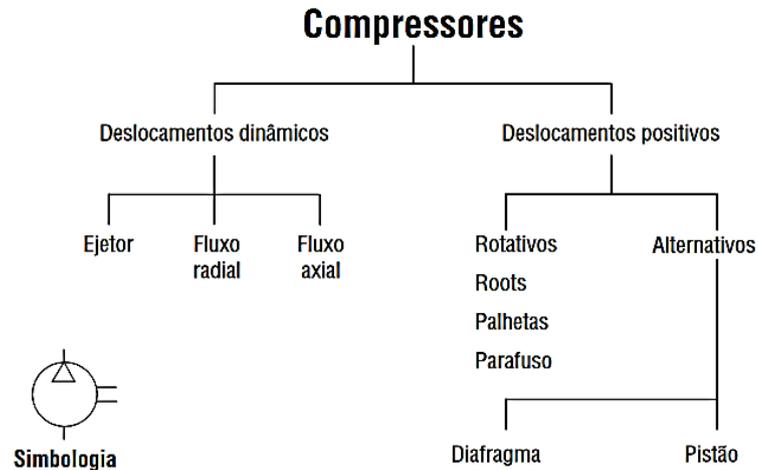


Figura 3 - Tipos de compressores e simbologia utilizada.

Fonte: PARKER, 2007.

O processo de compressão do ar atmosférico eleva a temperatura do fluido. Isso gera o aumento da temperatura de saturação do ar e, como consequência, a massa de ar comprimido tem a capacidade de armazenar mais vapor d'água. Ou seja, durante a passagem do ar pelo compressor há o aumento da umidade devido à elevação da temperatura da massa de ar. E dependendo do tipo de compressor utilizado na geração do ar comprimido, a temperatura do ar na descarga pode variar de 85°C até 180°C (MONTEIRO, 2005).

Uma forma de reduzir a umidade do ar após a sua compressão é diminuindo a sua temperatura. As duas formas mais comuns de realizar esse processo são: o uso de um trocador de calor montado depois do compressor (aftercooler), que reduz a temperatura do ar comprimido para valores entre 10°C e 15°C acima da temperatura do ambiente, e o resfriador intermediário que é um sistema pertencente ao compressor. A redução da temperatura facilita a precipitação de condensado (ATLAS COPCO, 2015).

3.6.1.2 Filtros

Os filtros são elementos fundamentais nas redes de ar comprimido, pois atuam na remoção de partículas de poeira, óleo e vapor d'água do ar. A seleção do filtro depende do

tipo de partículas que se deseja remover, pois, eles apresentam características diferentes. E o lugar de instalação do filtro na rede deve ser bem analisado, pois sua posição interfere na eficiência do elemento (PARKER, 2007).

Os tipos de filtros mais comuns para as redes de ar comprimido são os filtros tipo ciclone (separador de condensado), preliminares, de alto desempenho e os de carvão ativado. E dentre esses, o tipo ciclone é o modelo mais recomendado para remoção da umidade do ar (FIGUEIREDO, 2016). O tratamento do ar no filtro ciclone (Figura 4) é realizado devido à força de inércia que é imposta ao ar comprimido, impelindo as partículas contra as paredes do filtro e deixando-as caírem para um poceto pela ação da gravidade. Esse filtro apresenta elevada eficiência para a remoção de partículas de água, sendo que o seu rendimento varia com a velocidade com que o ar comprimido entra no filtro. E observa-se que ele é mais eficiente para partículas pesadas (FIGUEIREDO, 2016).

Outro modelo de filtro utilizado na rede de ar comprimido que possui a capacidade de remoção de partículas sólidas, além de aerossóis é o filtro coalescer. Ele é utilizado com o objetivo de reter o óleo proveniente do compressor e também possui a capacidade de remover condensado, ou seja, água no estado líquido, porém não executa nenhuma ação na água que passe por ele em estado gasoso (SCHULZ, 2002).

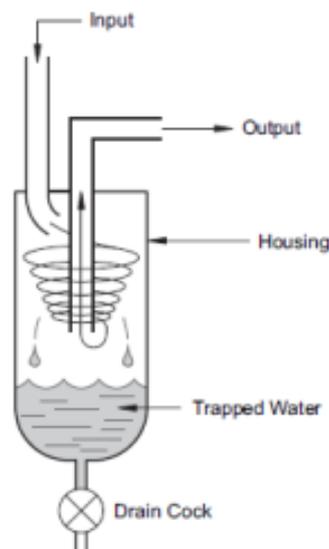


Figura 4 - Filtro Ciclone

Fonte: ELLIOTT, 2006

3.6.1.3 Secador

Equipamento utilizado para reduzir a umidade do ar comprimido. É uma alternativa ao trocador de calor posterior (aftercooler), utilizado após o compressor. Os secadores podem ser instalados em diferentes configurações na rede de ar comprimido, a depender da posição que forneça a maior eficiência (FIGUEIREDO, 2016).

Os três tipos mais importantes tanto pelo resultado quanto pela difusão são: secagem por refrigeração, adsorção e absorção (PARKER, 2007).

3.6.1.3.1 Secagem por refrigeração

O processo de secagem por refrigeração (Figura 5) consiste em reduzir a temperatura do ar comprimido fazendo-o passar por um trocador de calor e interagir com um fluido refrigerante a baixa temperatura. Com a perda de calor e diminuição da temperatura, a massa de ar tem a sua capacidade de armazenar vapor d'água reduzida. Assim, ocorre à secagem do ar através da precipitação da água em excesso (FIGUEIREDO, 2016).

Esse sistema de secagem é amplamente utilizado e altamente eficiente. E segundo SCHULZ (2002), esse secador reduz a temperatura do ar para a temperatura do ponto de orvalho, em torno de 2 a 3°C e garante uma eficiência na secagem do ar de aproximadamente 99,9%.

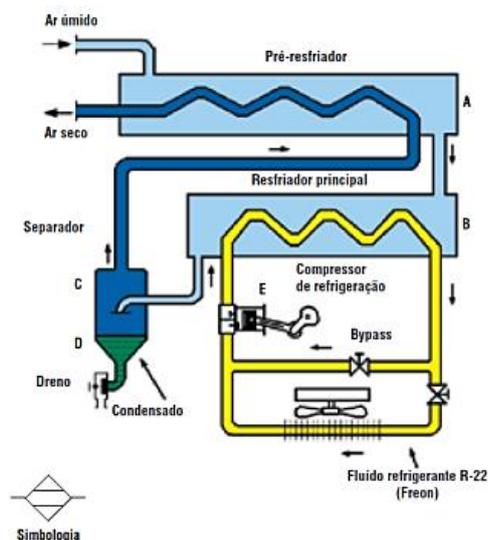


Figura 5 - Secagem por absorção
Fonte: Parker, 2007

3.6.1.3.2 Secagem por adsorção

O processo de secagem por adsorção (Figura 6) também é conhecido como processo físico de secagem. Ele consiste na fixação de moléculas de um adsorvato na superfície de um adsorvente geralmente poroso e granulado, ou seja, é o processo de depositar moléculas de uma substância, no sistema em estudo, água, na superfície de outra substância, normalmente dióxido de silício (SiO_2). É através da fixação da água nas paredes do secador, durante o escoamento do ar comprimido, que ocorre a secagem do ar (PARKER, 2007).

Esse sistema de secagem do ar é o mais eficiente e sofisticado e atende aos mais exigentes requisitos em tratamento de ar comprimido. Sua eficiência pode ser comprovada pela aplicação do ar comprimido que passa por esse secador. Pois ele é usado quando o ar comprimido do sistema necessita entrar em contato com produtos que apresentam propriedade higroscópica. Ou seja, moléculas que absorvem água e mudam seu estado físico, como cimento e leite em pó. Além disso, é usado em processos industriais que necessitem de elevado controle nas reações químicas (SCHULZ, 2002).

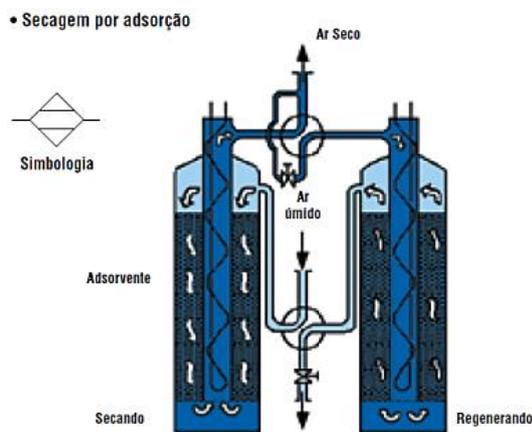


Figura 6 - Secagem por Adsorção

Fonte: Parker, 2007

3.6.1.3.3 Secagem por absorção

O processo de secagem por absorção (Figura 7) consiste em fazer o ar comprimido passar através de uma substância higroscópica. Assim, o excesso de água é absorvido por essa substância e o ar comprimido se torna mais seco após o processo. Segundo

PARKER (2007), as principais substâncias higroscópicas utilizadas nesse processo são o cloreto de cálcio, cloreto de lítio e o dry-o-lite.

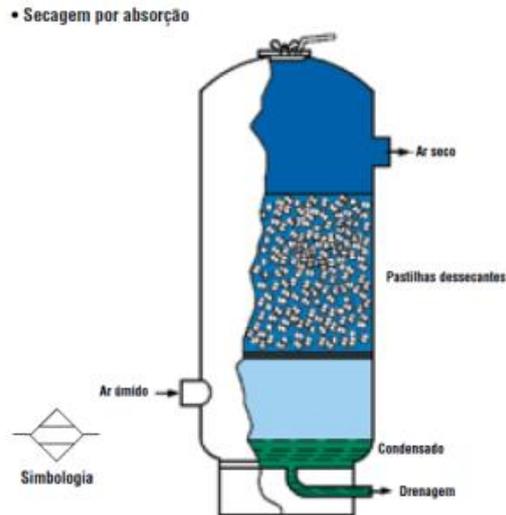


Figura 7 - Secagem por absorção

Fonte: Parker, 2007

3.6.1.4 Reservatório

O reservatório (vaso, acumulador ou tanque) possui algumas funções no sistema de ar comprimido. Ele armazena o ar comprimido, compensa as flutuações de pressão no sistema de distribuição, estabiliza o fluxo de ar e resfria o ar auxiliando na eliminação de condensado (PARKER, 2007). O condensado é coletado no fundo do reservatório e removido para o exterior por meio de um conjunto adequado de drenagem. Esse processo contribui para o controle da umidade do ar comprimido. A Figura 8 apresenta um desenho esquemático de um reservatório.

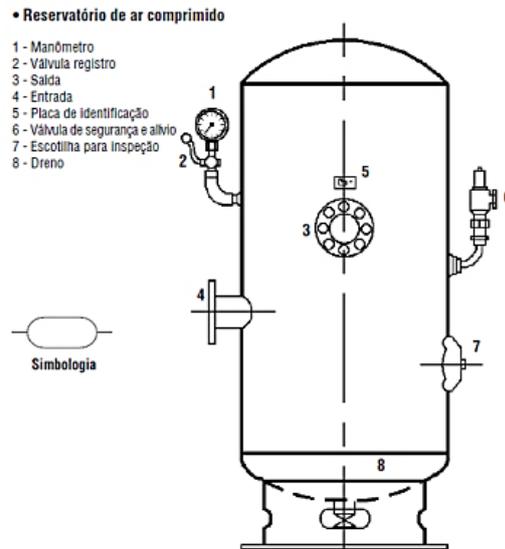


Figura 8 - Reservatório de ar comprimido.

Fonte: Parker, 2007

3.6.2 Sistema de distribuição

Uma rede de ar comprimido eficiente é aquela em que a distribuição é realizada da melhor forma para todos os utilizados. E para isso é necessária a seleção e o dimensionamento correto dos componentes da rede. Para FIGUEIREDO (2016), uma forma de verificar a eficiência de uma rede de distribuição de ar comprimido é analisando os valores da perda de carga entre a produção e o utilizador e as fugas de ar para o ambiente. Tendo como referência uma perda de até 0,2 bar e vazamentos do ar comprimido inferiores a 5%. Porém, vazamentos de até 10% ainda estão dentro de limites aceitáveis (ECCOFLUXO, 2020).

A primeira decisão a ser tomada no projeto de um sistema de distribuição de ar comprimido é a configuração da rede. Deve-se estabelecer se o sistema será aberto ou fechado (Figura 9). E a partir dessa definição será realizada a seleção e o dimensionamento da tubulação e os seus acessórios, além do sistema de drenagem da rede.

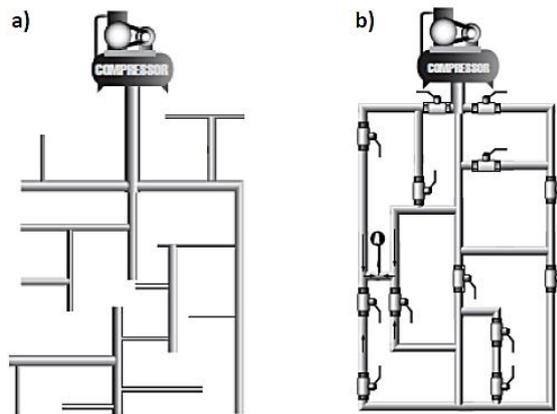


Figura 9 - Tipos de configuração para redes de distribuição de ar comprimido. a) circuito aberto; b) circuito fechado.

Fonte: PARKER, 2007.

3.6.2.1 Tubulação

Os principais parâmetros para o projeto de uma tubulação da rede de distribuição de ar comprimido são o diâmetro, o material de construção e a inclinação (PARKER, 2007).

O diâmetro deve ser dimensionado de modo que a velocidade do fluido seja menor do que 6 m/s (FIGUEIREDO, 2016). O material de construção da tubulação deve ser menos rugoso possível, para minimizar o atrito à passagem de ar, pouco oxidável, para que não se crie ferrugem que seja arrastada pelo ar até os equipamentos de uso final, e resistentes à longa exposição solar. Já a inclinação da tubulação deve ser projetada para evitar o acúmulo de água no interior da tubulação e segundo PARKER (2007) é aconselhável uma inclinação entre 0,5 e 2% do comprimento da rede.

3.6.2.2 Acessórios

Na rede de ar comprimido são utilizados acessórios que servem para reduzir o diâmetro da tubulação em determinados trechos. Cotovelos para efetuar curvas, tês para dividir correntes, vários tipos de válvulas, filtros, entre outros. E mesmo sabendo a importância dos acessórios, o projeto da rede deve conter a menor quantidade possível, pois todos eles implicam em perda de carga do ar comprimido.

Um dos principais acessórios relacionados ao controle de umidade do ar comprimido na rede de distribuição são os filtros reguladores lubrificadores (FRL) (Figura 10). Eles são instalados na entrada dos equipamentos para garantir a qualidade do ar comprimido, pois conseguem remover partículas que foram arrastadas pelo fluido ao longo do percurso entre a produção e o equipamento. Além de manter a lubrificação das peças em atrito de ferramentas pneumáticas, pois pulverizam na rede uma névoa de óleo em quantidade regulável (FIGUEIREDO, 2016 ; SCHULZ, 2002).



Figura 10 - Filtro regulador lubrificador (FRL)

Fonte: FIGUEIREDO, 2016

3.6.2.3 Purgadores

Os purgadores (Figura 11) são drenos de descarga do condensado instalados ao longo da rede de ar comprimido. Eles são instalados nos pontos mais baixos da rede para aproveitar a ação da gravidade na extração de condensados. Devem também ser instalados com espaçamento de cerca de 20 a 30 metros (PARKER, 2007). A seleção do tipo de purgador e o dimensionamento são essenciais para a remoção correta do condensado.

Os dois principais tipos de purgadores são: o de válvula solenoide elétrica e o mecânico. O primeiro é programado para abrir em determinados períodos de tempo e o segundo é aberto pela ação de uma boia ou pelo operador.

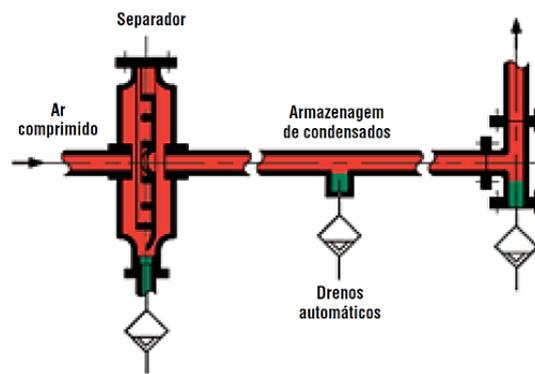


Figura 11 - Representação de um purgador.

Fonte: Parker, 2007

4. O SISTEMA DE AR COMPRIMIDO DAS FRAGATAS DA CLASSE GREENHALG

O sistema de ar comprimido das fragatas da classe Greenhalgh é dividido em dois subsistemas, um de alta e outro de baixa pressão. O sistema de alta pressão possui válvulas redutoras de pressão (RDS) que diminuem a pressão do ar comprimido a valores médios de pressão (entre 10 e 40 kg/cm²) para atender a demandas nessa faixa de pressão. Além disso, o sistema de alta pressão também pode fornecer ar comprimido de baixa pressão em situações de emergência.

4.1 Sistema de baixa pressão do ar comprimido

O ar comprimido de baixa pressão (até 10 kg/cm²) é utilizado para diversas atividades a bordo do navio. Dentre essas podemos destacar: o manuseio de ferramentas pneumáticas, como o desincrustador de agulhas, muito utilizado para o tratamento de chapas de aço oxidadas; as bombas pneumáticas, aproveitadas para diversos fins; enchimento das “bananas” das lanchas orgânicas.

4.1.1 Compressor de baixa pressão – (CBP)

O sistema de baixa pressão de ar comprimido das fragatas da classe Greenhalgh possui dois compressores de baixa pressão (CBP) instalados nas praças de máquinas números dois e quatro. Segundo o manual do fabricante, eles apresentam as seguintes especificações:

Compressor de ar rotativo de parafuso com acionamento elétrico

Modelo: Horizon E-30;

Fabricante: ELGI;

Capacidade: 4,53 m³/min;

Pressão de trabalho: 9,5 kg/cm²;

Pressão máxima: 10.0 kg/cm².

É importante ressaltar que estes compressores não são os mesmos instalados no comissionamento do navio. A modificação ocorreu em 2013 devido à obsolescência e baixa eficiência do modelo anterior.

O ANEXO I apresenta a planta de ar comprimido de baixa pressão das fragatas classe Greenhalgh.

4.2 Sistema de alta pressão do ar comprimido

O ar comprimido de alta pressão é essencial para a execução das atividades ordinárias do navio. É através dele, após sofrer uma redução de pressão nas RDS, que ocorre a partida do sistema de propulsão do navio (turbinas a gás) e dos geradores de energia elétrica. E também, é através do ar comprimido de alta pressão que alguns sistemas de armas são operados, condição de extrema importância para que um navio de guerra esteja em prontidão diante de qualquer adversidade que se apresente. Abaixo foram listados os principais utilizadores do ar comprimido de alta pressão, segundo a documentação técnica do sistema:

- Partida das turbinas Olympus e Tyne (turbinas de potência e de cruzeiro, respectivamente);
- Partida dos Diesel geradores;
- Lançadores de torpedos;
- Air Drive (lubrificação pneumática em emergência das engrenagens reductoras);
- Sistema de borrifo dos paióis de torpedo (big tanque);
- Apito;
- Acumuladores das máquinas hidráulicas avante e a ré do navio;
- Freio do eixo (acionado em emergência);
- Recarga das ampolas das máscaras Elsa, Bascca e de mergulho;
- Fornece ar de baixa pressão para os utilizadores de baixa (emergência);
- Fornece ar de baixa pressão para o sistema de ar seco (emergência).

O navio possui três compressores de alta pressão (CAP). O CAP número 1 está instalado na praça de máquinas número 2 e os CAP de números 2 e 3 estão na praça de máquinas número 4. Cada CAP tem a capacidade de fornecer até 350 kg/cm² de pressão ao ar comprimido.

A rede principal de ar comprimido de alta pressão apresenta a configuração de um circuito fechado (anel). E, usualmente, é mantida a pressão de 240 kg/cm², este valor é suficiente para garantir que os utilizadores recebam ar comprimido na pressão e volume necessários. Porém, a pressão de projeto do anel de ar comprimido de alta pressão é de 276 bar e o limite mínimo de 250 bar, quando a pressão no anel atingia esse valor colocava-se os compressores em operação.

Os ANEXOS II e III apresentam a planta de ar comprimido de alta pressão das praças de máquinas das fragatas da classe Greenhalgh.

4.2.1 Compressor de alta pressão (CAP)

A Tabela 5 mostra as especificações e os dados operacionais dos compressores alternativos de êmbolos do sistema de alta pressão.

Tabela 5 - Especificação e Dados Operacionais do Compressor 5417N

Especificação do Compressor	
Tipo	Alternativo de êmbolos
Modelo	5417N MK2
Fabricante	CompAir
Capacidade	1,083 m ³ /min
Pressão Máxima	350 kg/cm ²
Resfriamento	Água Salgada
Lubrificação	Forçada – óleo Corena P100
Capacidade do cárter	23 litros
Faixas de Temperatura	
Temperatura mínima do ar ambiente	0°C
Temperatura máxima de admissão de ar	55°C
Temperatura máxima de funcionamento em cada estágio	220°C
Umidade relativa do ar ambiente	Entre 0% e 100%
Temperatura de admissão da água de resfriamento r	Entre 0°C e 38°C
Temperatura máxima para o ar na saída do 1º estágio	55°C
Temperatura máxima para o ar na saída do 3º estágio	184°C
Velocidades de operação	
Velocidade mínima	725 rpm

Velocidade máxima	1800 rpm
Pressões	
Primeiro estágio	3 kg/cm ²
Segundo estágio	18 kg/cm ²
Terceiro estágio	85 kg/cm ²
Quarto estágio	350 kg/cm ²
Máxima pressão de trabalho	350 kg/cm ²
Mínima pressão de trabalho	140 kg/cm ²
Pressão máxima da água	7,5 kg/cm ²
Pressão de óleo	Entre 2 e 2,75 kg/cm ²
Fonte: COMPAIR, 1975.	

4.2.2 Válvulas redutoras de pressão (RDS)

O sistema possui 21 válvulas redutoras de pressão (RDS) que controlam a pressão do ar comprimido a ser utilizados por diversos componentes do navio. As RDS são identificadas por números, possuem diferença na sua estrutura e apresentam diferentes valores da pressão de saída, a depender da aplicação do ar comprimido. A Tabela 6 apresenta todas as RDS presentes no navio, o sistema ao qual pertence e a faixa de pressão na saída da válvula.

Tabela 6 - Válvulas redutoras de pressão (RDS)

RDS	Quantidade	Sistema utilizador	Faixa de pressão
RDS 56	3	Freio do eixo	76 bar
		Apito do navio	7 bar
RDS 42	2	Bombas pneumáticas (air driven)	22 bar
RDS 52	8	Partida das TG e Motores	24 bar
RDS 53	3	Redução para baixa pressão (Emergência)	6 bar
RDS 54	2	Acumuladores da hidráulica AV e AR	128 bar
RDS 51	2	Sistema de ar seco (emergência)	4,5 bar
RDS 33	1	Recarregar ampolas das máscaras (Bascca, elsa, mergulho)	210 bar

Fonte: BRF 6613, 1995.

4.2.3 Reservatórios de ar comprimido

O ar comprimido a alta pressão, após ser gerado nos compressores, é armazenado em reservatórios de 258 litros distribuídos pelo navio. A maioria dos reservatórios está instalada nas praças de máquinas, próximos aos principais utilizadores (turbinas a gás e motores de combustão interna) devido ao grande volume de ar que eles necessitam no início da operação. Além disso, deve-se ressaltar que a proximidade dos reservatórios dos utilizadores é uma solução de projeto, pois os pequenos deslocamentos do ar comprimido evita que haja uma condensação significativa do fluido na tubulação, reduzindo a necessidade de acessórios secadores na tubulação de distribuição.

A distribuição quantitativa dos reservatórios nas praças de máquinas segue a seguinte ordem: 2, 6, 2 e 10, desde a praça de máquinas número 1 até a praça de máquinas número 4, respectivamente.

4.3 Volume de condensado no sistema de ar comprimido

O volume de condensado que é carregado pelo ar atmosférico e entra no sistema de ar comprimido pode ser estimado de uma forma simples pela Equação 4.1 (KAESER COMPRESSORES, 2020; ECCOFLUXO, 2020). Para a realização deste cálculo admitiu-se as seguintes considerações:

- O tempo de operação do compressor é de aproximadamente 1/6 das horas do dia (4 horas/dia ou 1460 h/ano), esse tempo foi estimado pela idade do sistema.
- As médias da umidade relativa do ar e da temperatura para a região do Rio de Janeiro são de aproximadamente 80% e 26°C (CLIMATEMPO, 2020). Esses valores foram admitidos considerando que o navio passa mais tempo atracado na sede.
- A vazão volumétrica do compressor, segundo o fabricante, é de 64,98 m³/h.

- A quantidade de condensado para 1 m³ de ar atmosférico a temperatura de 26°C é de 24,143 g/m³, considerando 100% de umidade relativa (KAESER COMPRESSORES, 2020).

$$Cond_{CAP} = t_{operação} \times Q_{volumétrica} \times massa_{100\% \text{ umidade}} \times umidade_{rel} \times \rho_{\text{água doce}} \quad (4.1)$$

$$Cond_{CAP} = 1460 \times 64,98 \times 24,143 \times 0,8 \times 1$$

$$Cond_{CAP} = 1.832,373 \text{ litros/ano}$$

Através desta avaliação rápida pode-se ter noção da grande quantidade de condensado que deve ser retirado do sistema, aproximadamente 1832 litros por ano. E o quanto é necessário que os elementos de secagem do ar comprimido sejam eficientes.

4.4 Sistema de secagem do ar comprimido

O sistema de secagem do ar comprimido de alta pressão é realizado basicamente no sistema de produção. A dinâmica do processo de secagem segue a seguinte sequência: resfriamento intermediário no compressor, passagem pelo filtro duplex e, então, segue para os reservatórios. Esse tratamento é suficiente para deixar o ar comprimido em um nível de umidade satisfatório para a maioria das utilizações. Porém para funcionalidades que necessitem de um nível de umidade menor são instalados outros elementos secadores na linha do equipamento específico, como acontece com o sistema de lançamentos de torpedos. Abaixo estão representados os elementos da rede que reduzem a umidade do ar comprimido.

4.4.1 Compressor

O compressor Compair 5417 N possui um sistema de resfriamento intermediário que troca calor com a água do mar e auxilia no controle da umidade do ar comprimido, ou seja,

durante a compressão do ar ocorre à redução de sua temperatura e precipitação de certa quantidade de condensado a cada estágio de compressão, como pode ser visto na Figura 12. A remoção desse condensado ocorre através de uma purga automática, programada para ocorrer a cada 20 minutos ou através de ação mecânica, quando se achar necessário.

O compressor possui muito tempo de operação e, com isso, problemas como a obsolescência de vários itens geram dificuldades na manutenção do equipamento. Assim, pode-se observar que falhas no sistema de purga automática do compressor, como ocorre no CAP 2, fazem com que a extração do condensado seja realizada mecanicamente pelo operador que não realizará a purga a cada 20 minutos, como ocorre no sistema automático. Logo esse simples problema gera distúrbios na umidade do ar comprimido gerado.

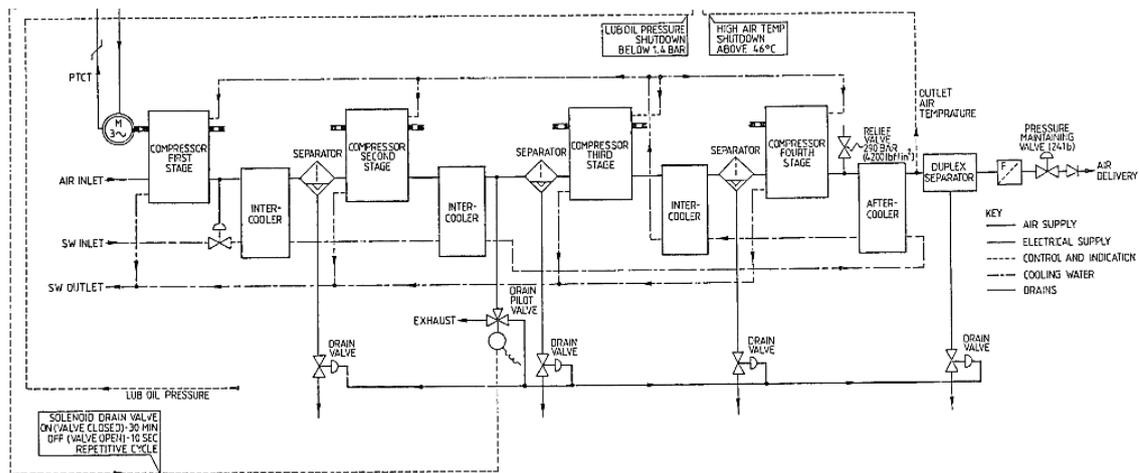


Figura 12 - Resfriamento intermediário

Fonte: COMPAIR, 1975.

4.4.2 Filtro duplex

Ao sair do compressor o ar comprimido é direcionado ao filtro duplex, onde é filtrado e sua qualidade é aprimorada, ou seja, a taxa de umidade é reduzida, assim como a quantidade de poeira e óleo no fluido. A drenagem desse filtro é manual e é realizada a cada hora pelo operador. Como característica esse filtro pode trabalhar com pressões de até 345bar, temperatura de 45°C e possui capacidade de filtragem de 30 micron.

4.4.3 Reservatório

O sistema de alta pressão possui 26 reservatórios, sendo 20 de 258 litros para armazenamento do ar comprimido nas praças de máquinas. A pressão de trabalho adotada atualmente no navio é de 240 bar. E para reduzir a umidade do fluido se faz a purga manual dos vasos 1 vez por dia. Essa frequência de extração de condensado foi estabelecida após ser observado ar com umidade elevada na entrada da turbina a gás. Antes desse acontecimento, a purga era realizada 2 vezes por semana.

Considerando todos os sistemas utilizadores do ar comprimido de alta pressão (Anexo IV) percebe-se que o subsistema que necessita de ar comprimido com menor quantidade de umidade é o sistema de lançamento de torpedos. A Figura 13 mostra que o ar comprimido depois que deixa o reservatório, ainda passa por um filtro duplex e por um secador para garantir a sua qualidade.

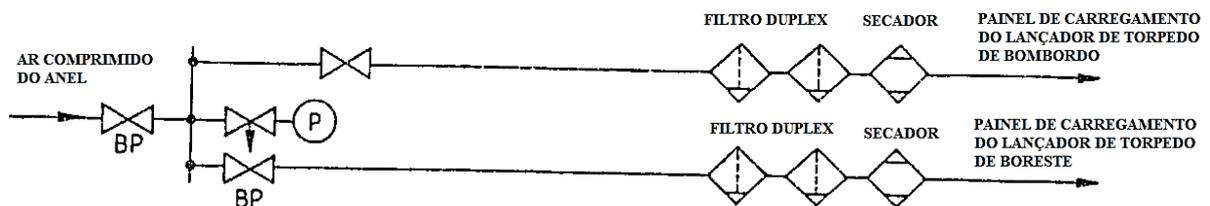


Figura 13 - Sistema de secagem da rede de distribuição do lançador de torpedos

Fonte: BRF 6613, 1995.

A fragata Rademaker está em período de manutenção e não foi possível verificar a qualidade do ar comprimido que está chegando ao sistema de controle dos lançamentos de torpedo. Porém, segundo os operadores do sistema, em sua última utilização, no segundo semestre de 2018, o sistema funcionou de forma satisfatória.

4.5 Sugestão de melhoria do sistema

O sistema de ar comprimido de alta pressão das fragatas da classe Greenhalgh é robusto. Os principais utilizadores não necessitam de um controle rigoroso da umidade. E esse é o grande motivo pelo qual o sistema continua a operar após 40 anos desde o comissionamento do navio. Porém, o longo tempo de operação gera transtornos a operação e dificuldades à manutenção. E a melhoria significativa do sistema será observada apenas se houver uma manutenção geral do sistema, de modo a atualizar as condições de projeto, automatizando os processos.

Porém existem algumas mudanças que se realizadas já trariam aumento da eficiência do sistema de ar comprimido, são elas:

- Revisão geral dos compressores – além de restabelecer a pressão que o equipamento pode fornecer ao fluido, a limpeza dos resfriadores intermediários e do sistema de extração do condensado possibilitará maior eficiência na secagem do ar comprimido.
- Mudanças dos filtros duplex – esses filtros colocados após o compressor estão obsoletos, existe grande dificuldade na aquisição dos elementos filtrantes e devido a isso não estão sendo eficientes o suficiente na garantia da qualidade do ar. Além do que, é possível achar no mercado filtros relativamente baratos com melhor capacidade de tratamento.
- Teste de pressão da rede de ar comprimido – medida que visa garantir a segurança das instalações e resguardar a vida dos operadores. Além de mostrar os vazamentos de ar comprimido da rede, outro problema a ser corrigido.

A instalação de secadores na rede de produção do ar comprimido não se faz necessária devido a tolerância a umidade das turbinas e dos Diesel geradores ser elevada e o alto custo envolvido. Porém é recomendável a avaliação dos secadores das redes de distribuição do sistema de lançamento de torpedos e do hangar para avaliação de sua eficiência e possível melhoria.

5. CONCLUSÃO

O sistema de ar comprimido das fragatas da classe Greenhalgh é dividido em dois subsistemas, o de alta e o de baixa pressão. Sendo que o sistema de alta é o mais importante, devido aos seus utilizadores e por isso o trabalho se restringiu a analisar apenas o tratamento do ar comprimido deste sistema. Enquanto para o sistema de baixa pressão foi realizada apenas a apresentação das suas principais características e suas aplicações.

A maioria dos projetos de rede de ar comprimido dimensiona a qualidade do ar de acordo com o utilizador que apresenta os maiores requisitos. Ou seja, os elementos responsáveis pelo tratamento do ar são dimensionados para um grande volume e, a depender da aplicação, o projeto fica mais caro tanto na instalação quanto na manutenção. Já o projeto do sistema de ar comprimido das fragatas da classe Greenhalgh adota uma mentalidade de projeto diferente, o sistema de tratamento do ar é dimensionado inicialmente para os equipamentos de uso geral e que não necessitam de uma qualidade do ar tão restritiva. E as aplicações que necessitam de maior controle da qualidade do ar comprimido têm elementos secadores instalados exclusivamente para essa aplicação. Dessa maneira, os secadores, filtros, purgadores e outros elementos são dimensionados para um fluxo menor, sendo mais baratos e apresentando um menor custo de manutenção. Além do que, são utilizados apenas quando o utilizador em questão for acionado.

Os navios da classe Greenhalgh possuem longo tempo de operação e problemas comuns a sistemas antigos estão presentes. Entre eles pode-se destacar a dificuldade de aquisição de peças devido à obsolescência, deterioração e desgaste do material, excesso de vazamentos e alterações nas condições de projeto para garantir a continuidade na operação. E mesmo com todos esses problemas, decorrente do tempo de vida da rede de ar comprimido, o sistema continua em operação. Isso mostra a robustez do projeto, característica fundamental para qualquer equipamento de utilização militar, e que a manutenção tem sido realizada pelos mantenedores dos equipamentos.

O trabalho observou os principais problemas e mudanças do sistema e, em especial, os relacionados com a umidade do ar comprimido. A primeira alteração observada foi à mudança da pressão de operação do sistema de alta pressão que passou de 276 bar para 240 bar, isso foi uma medida adotada para diminuir as tensões causadas nas redes e preservar o sistema que possui aproximadamente 40 anos.

Uma falha recorrente no compressor de alta pressão (CAP) é o problema no acionamento da purga automática e como ação corretiva realiza-se a purga manual. O operador faz a extração do condensado do compressor. Porém, essa extração não é realizada no mesmo intervalo de tempo do processo automático (intervalo de 20 minutos), devido a outras atribuições do operador. Assim, a purga é realizada a cada hora, fazendo com que o ar comprimido saia do compressor com uma taxa de umidade maior.

Outro ponto do sistema de ar comprimido que necessita ser avaliado é o filtro duplex colocado após o compressor, pois ele está obsoleto e existe dificuldade na aquisição dos elementos filtrantes. Foi observado que não existe sobressalente deste componente a bordo e o que está em operação está vencido. Ou seja, a eficiência do tratamento do ar realizado é menor do que é necessária ao sistema. Assim, o estudo da troca deste componente se justificaria, pois existem no mercado filtros compatíveis de baixo custo e de manutenção mais simples.

Outra informação que justifica o melhor estudo do filtro duplex, bem como de todo o sistema de secagem do ar comprimido, é que foi observado ar comprimido com excesso de umidade na entrada da turbina propulsora de um dos navios da classe. E uma maneira de minimizar esses danos foi alterando o procedimento de controle da umidade do fluido. A purga dos reservatórios que era realizada duas vezes por semana passou a ser realizada uma vez por dia. Essa ação conseguiu diminuir a umidade do ar, porém observa-se que há problemas no tratamento da umidade do ar comprimido e uma mudança no filtro duplex pode corrigir os níveis de umidade do sistema.

As válvulas redutoras de pressão (RDS) são outros elementos da rede que sofrem com a umidade excessiva do ar comprimido. Elas são os elementos da rede que recebem o ar do reservatório, reduzem a pressão e direciona o ar comprimido para os utilizadores. É comum ocorrer problemas com essas válvulas, principalmente o rompimento da membrana do diafragma devido à umidade excessiva que reduz a sua vida útil. As RDS são bem robustas e suportam elevadas pressões, porém a membrana interna tem melhor funcionamento quando acionada com ar seco (TETRALON, 2020).

Portanto, este trabalho analisou o sistema de secagem do ar comprimido dos navios da classe Greenhalgh e apontou os principais problemas que interferem na eficiência do sistema. Indicou pontos a serem analisados com maior atenção e sugeriu ações para tornar o sistema mais eficiente. Assim, garantindo maior disponibilidade dos equipamentos, segurança na operação e facilidade na manutenção.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 8573-1: Ar comprimido — Contaminantes e Classes de Pureza. P. 10. 26 de Março de 2013.

ATLAS COPCO; Atlas **Copco Compressed Air Manual**. 8ª ed. Bélgica : Atlas Copco Airpower NV; 146p; 2015.

BORGNAKKE, C.; SONNTAG, R. E. **Fundamentos da termodinâmica**. 8. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 730p, 2018.

BOSCH; **Tecnologia de Ar Comprimido**. São Paulo : Robert Bosch Limitada; 30p.; 2008.

BRF 6613: **High Pressure Air System – Type 22 Frigates**. Command of the Defence Council. Inglaterra, 169 páginas, 1995.

CITISYSTEMS; Eficiência Energética: Os 14R's do Ar Comprimido; Disponível: <<https://www.citisystems.com.br/eficiencia-ar-comprimido/>>. Acessado em: 25 fev. 2019.

COMPAIR, **Manual H 5417N MK 2 – T22 – Vol. 1 – Compressor Type 5417N MK 2**. 1975.

CLIMATEMPO; **Climatologia do Rio de Janeiro**. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/climatologia/321/riodejaneiro-rj>>. Acessado em: 25 fev 2020.

ECCO FLUXO; **Fatos sobre o ar comprimido – A umidade no ar comprimido**; Disponível em: <<http://eccofluxo.com.br/boletins-tecnicos/a-umidade-no-ar-comprimido/>>. Acessado em: 24 fev. 2020.

ELLIOTT, Brian S. **Compressed Air Operations Manual**. US: McGraw-Hill Professional, 2006.

FIGUEIREDO, Joana R. T. **Gestão de uma Rede de Ar Comprimido**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Mestrado do Instituto Superior Técnico Lisboa, Lisboa – Portugal; 2016.

HYDRO ONE. 2007. **Compressed Air Energy Efficiency Reference Guide**. s.l. : CEA Technologies Inc.,2007.

KAESER COMPRESSORES; **Cálculo de condensado**. Disponível em: <<https://br.kaeser.com/recursos-de-ar-comprimido/calculadoras-caixa-de-ferramentas/condensado/>>. Acessado em: 25 fev. 2020

MONTEIRO, M.A.G.; ROCHA, C.A. **Eficiência energética em sistemas de ar comprimido**. Rio de Janeiro: Eletrobrás; Procel, 2005.

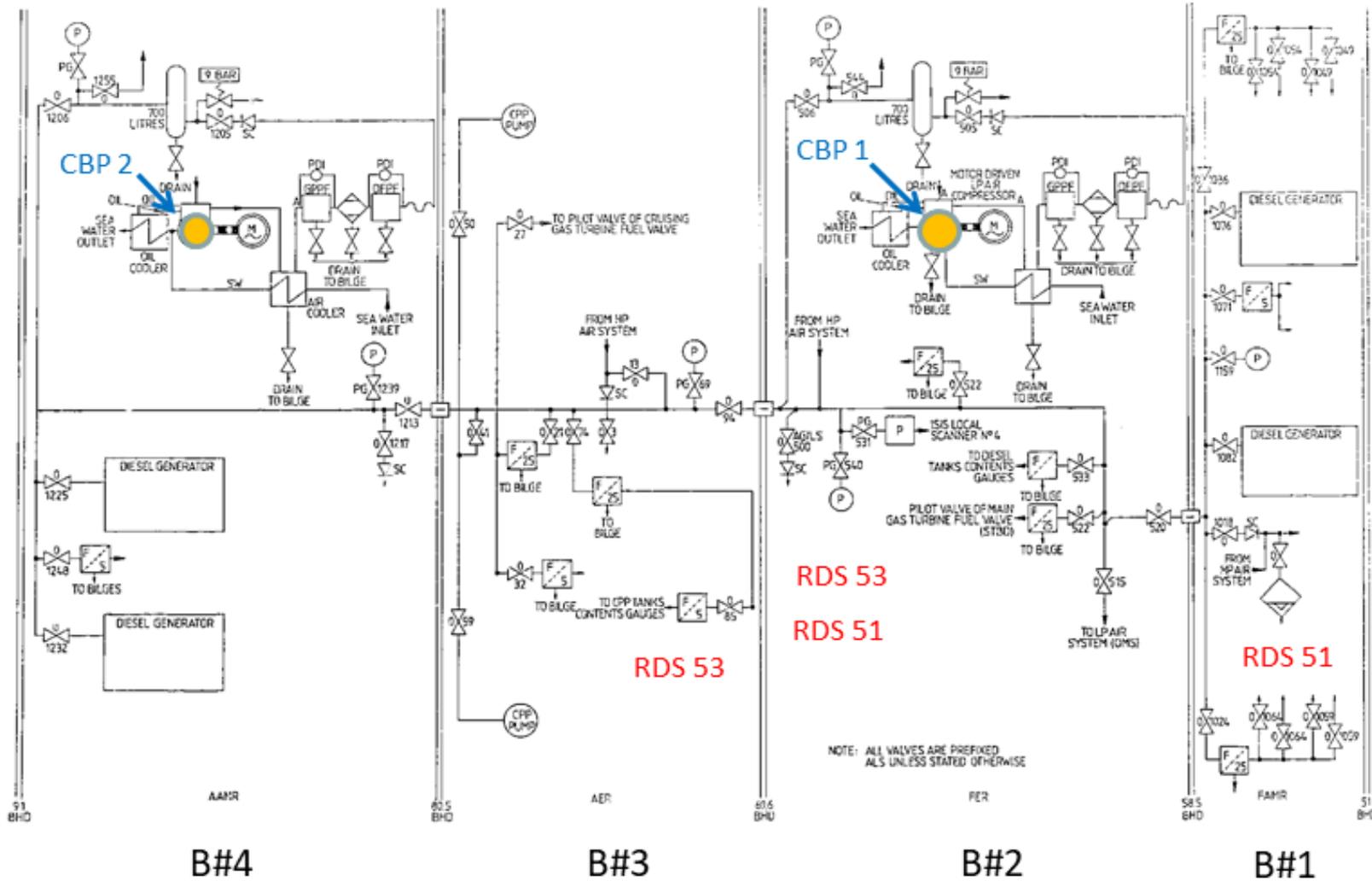
PARKER; **Tecnologia Pneumática Industrial**; Revisão 1; Jacareí; Brasil; 196p.; 2007.

SCHULZ; **Treinamento técnico e comercial – Treinamento e Aplicação do Ar Comprimido**; 16 páginas; Junho 2002.

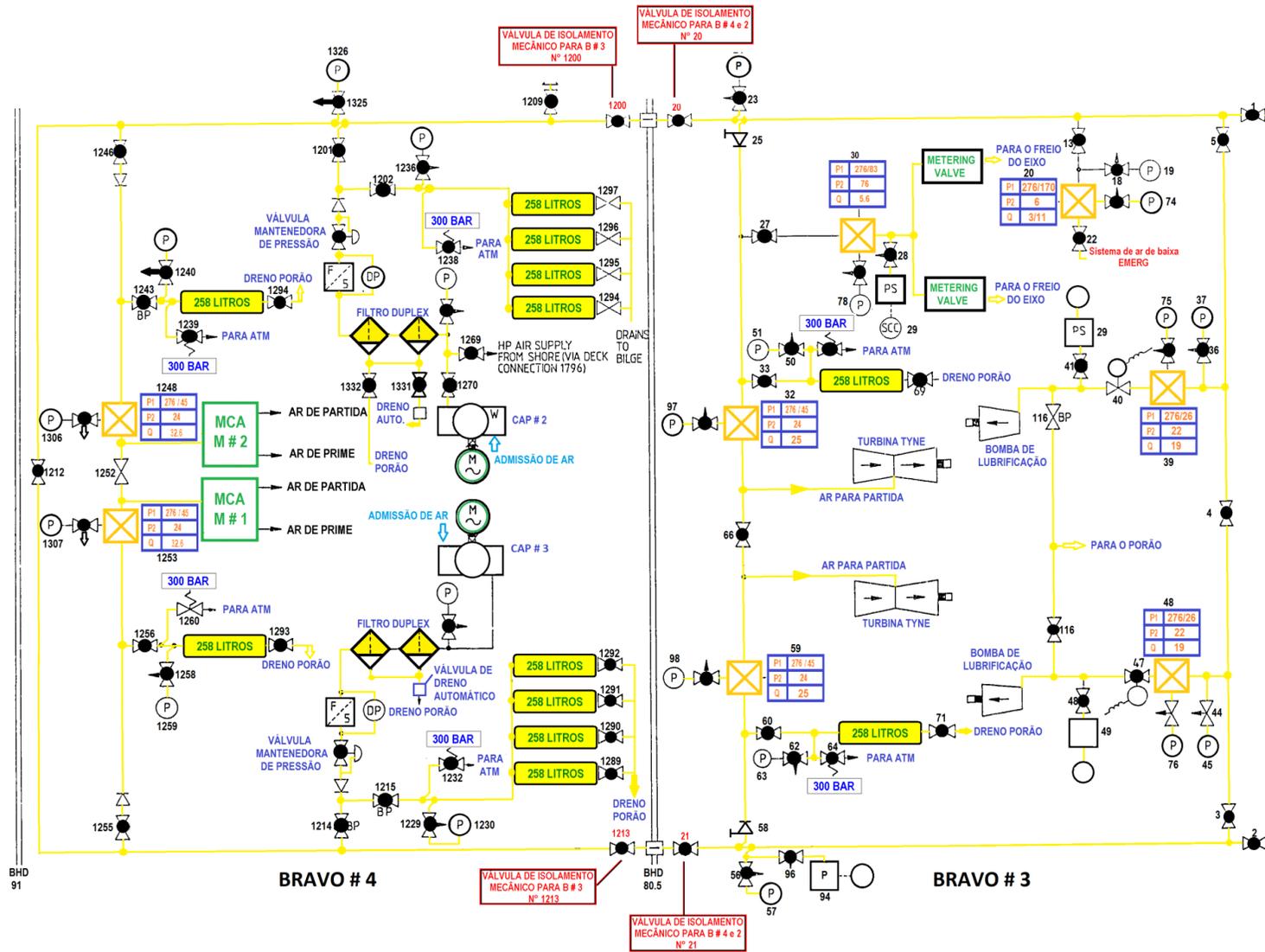
SILVA, Napoleão F. **Compressores Alternativos Industriais**; 1ª ed; Editora Interciência; Brasil; 420 p.; 2009.

TETRALON; **Cinco considerações antes de instalar uma bomba pneumática**; Disponível em: <<https://www.tetralon.com.br/cinco-consideracoes-antes-de-instalar-uma-bomba-pneumatica/>>. Acessado em: 02 mar. 2020.

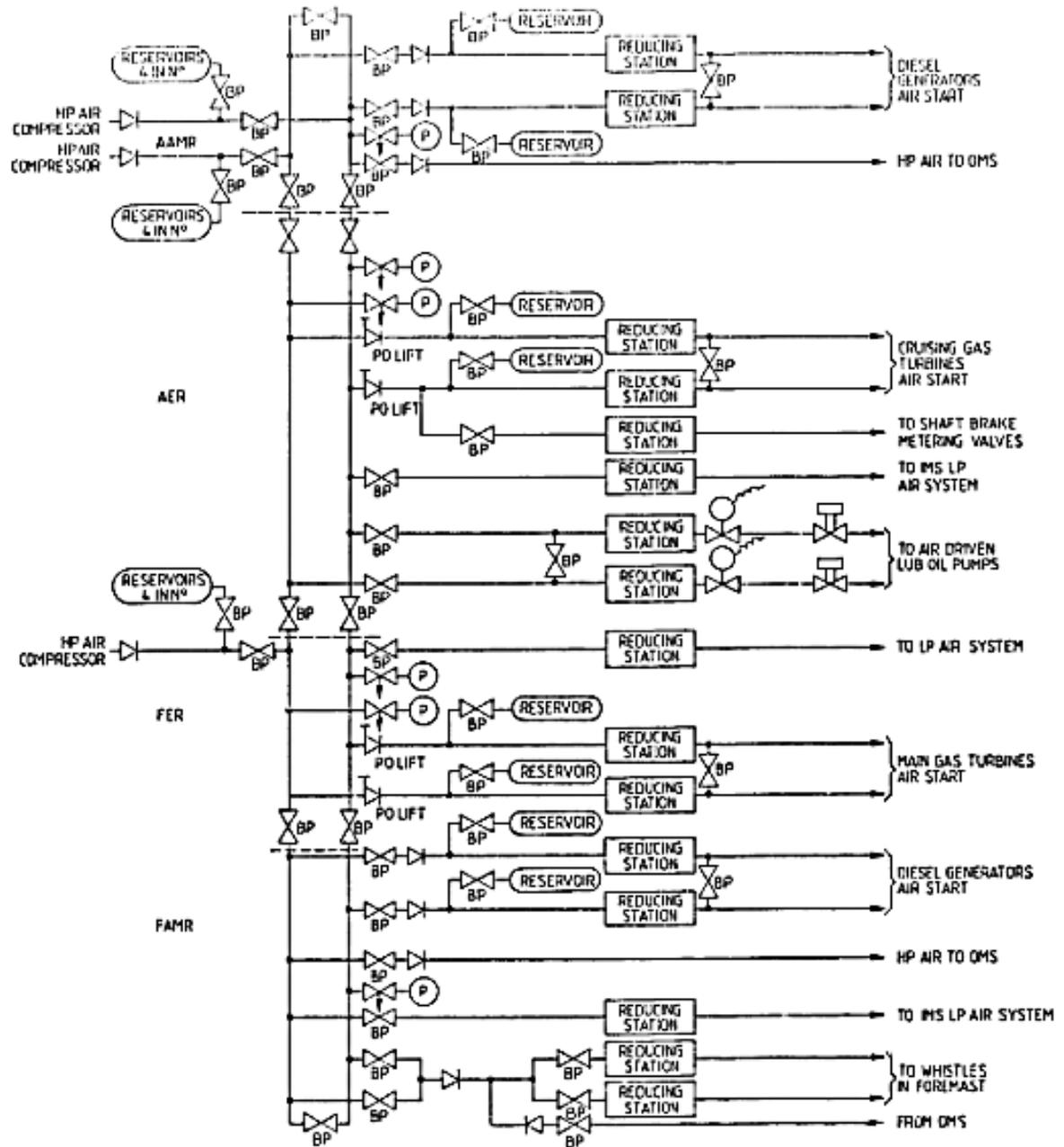
ANEXO I – PLANTA DE AR COMPRIMIDO DE BAIXA PRESSÃO DAS FRAGATAS CLASSE GREENHALGH



ANEXO III - PLANTA DE AR COMPRIMIDO DE ALTA PRESSÃO DAS FRAGATAS CLASSE GREENHALGH – BRAVOS 3 E 4



ANEXO IV – REDE DE AR COMPRIMIDO DE ALTA PRESSÃO E UTILIZADORES



ANEXO IV – REDE DE AR COMPRIMIDO DE ALTA PRESSÃO E UTILIZADORES (CONTINUAÇÃO)

