



XVIII CONBRAVA - CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR
São Paulo Expo – 13 à 15 de setembro de 2023

OS PRINCIPAIS CONCEITOS SOBRE O CONDICIONAMENTO DE AR EM NAVIOS DE GUERRA

PAPER 26

RESUMO

De uma forma geral, os navios de guerra de superfície empregam a distribuição de água gelada (*chilled water*) para o condicionamento de ar a bordo. Mais do que garantir o conforto da tripulação, o resfriamento de equipamentos vitais e fornecer a estocagem ideal para munições, o condicionamento de ar é uma ferramenta fundamental para o conceito de sobrevivência do navio. Ser capaz de resistir a explosões no entorno do casco, possuir uma redundância na taxa de 100% e ainda filtrar a entrada de agentes mortais por ataques nucleares, biológicos e químicos (NBC), são conceitos determinantes para a eficiência do navio em combate. Desta forma, o presente artigo tem como objetivo principal explicar de forma descritiva estes três conceitos sobre o condicionamento de ar em navios de guerra. Através de uma extensa pesquisa em artigos sobre o assunto, bem como o estudo de material técnico dos principais fabricantes de nível global, ficou evidente o destacamento dos conceitos abordados. Como conclusão, tornou-se fato a importância da aplicação de tais conceitos para a eficiência operacional dos navios de guerra, inclusive para a própria sobrevivência em combate.

Palavras-chave: Condicionamento de Ar. Navios de Guerra. Conceitos.

ABSTRACT

In general, surface warships use chilled water distribution for onboard air conditioning. More than ensuring the comfort of the crew, cooling vital equipment and providing ideal storage for ammunition, air conditioning is a fundamental tool for the ship's survival concept. Being able to withstand explosions around the hull, having a redundancy rate of 100% and still filtering out deadly agents from nuclear, biological and chemical (NBC) attacks, are key concepts for the efficiency of the ship in combat. In this way, the main objective of this article is to explain descriptively these three concepts about air conditioning in warships. Through an extensive research in articles on the subject, as well as the study of technical material from the main global manufacturers, it was evident the detachment of the approached concepts. In conclusion, the importance of applying such concepts to the operational efficiency of warships, including their own survival in combat,

Keywords: Air Conditioning. Warships. Concepts.

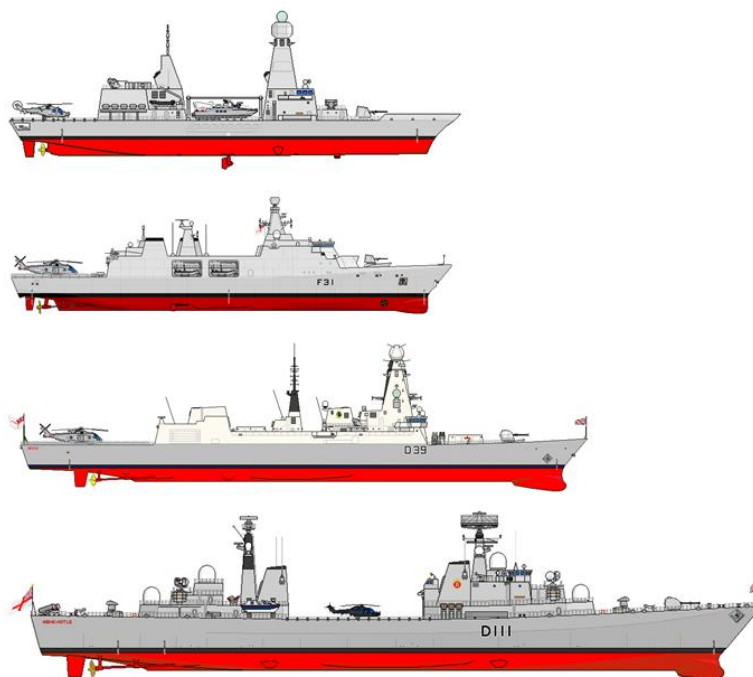
1 INTRODUÇÃO

Os navios de guerra possuem uma ampla faixa operacional, desde a realização de patrulha e socorro em tempos de paz até situações de ataque e defesa em prol de uma nação, seja contra alvos em terra, ar ou mar. Antes do atributo ataque, esses navios são projetados para um alto nível de defesa, o que lhes permite a navegação e até mesmo a continuidade do combate mesmo que seriamente danificados por fogo inimigo. Sendo assim,

todo o seu desenvolvimento, construção e equipamentos são baseados no conceito de sobrevivência e redundância (PAWLING, 2017).

Entre os tipos de navios de guerra mais comuns, podemos destacar os navios de superfície, Figura 1. Neste sentido, temos os navios de pequeno e grande porte. As corvetas e fragatas compõem o grupo de pequeno até médio porte de navios de guerra de superfície. São navios que possuem entre 3.000 e 7.000 toneladas, capazes de realizar um amplo leque de missões, como por exemplo, patrulha, escolta, detecção de minas, missões de paz e presença, e claro, ações de ataque e defesa quando necessário. Por outro lado, os cruzadores e contratorpedeiros compõem o grupo de grande porte, com um deslocamento médio de 10.000 toneladas. Estes blindados dos mares protegem os demais navios da frota e até mesmo faixas litorâneas inteiras detectando e neutralizando mísseis, ao mesmo tempo em que, possuem alta capacidade de contra-ataque emanando pesados bombardeios a qualquer tipo de ameaça (SWAGEL, 2022).

Figura 1 – Os principais tipos de navios de guerra de superfície.
De cima para baixo: corveta, fragata, cruzador e contratorpedeiro



Fonte: Shipbucket, 2023

Dotados de uma volumosa e ocupada tripulação, entre 100 e 300 militares em média dependendo do tipo de navio, os navios de guerra de superfície dependem de um eficiente sistema de condicionamento de ar para o sucesso de suas operações. Mais do que prover conforto a bordo para os tripulantes, o ar-condicionado garante o correto funcionamento de sistemas vitais do navio, sobretudo os sistemas de combate, através do resfriamento de salas de controle, equipamentos e gabinetes eletrônicos de radares, sonares e comunicações, por exemplo.

De uma forma geral, os navios de guerra empregam a distribuição de água gelada (*chilled water*) para o condicionamento de ar a bordo, utilizando uma série de unidades do tipo *fancoil* ao longo do navio para climatizar ambientes, resfriar equipamentos e prevenir a deterioração de munição. Embora os princípios básicos do condicionamento de ar em terra também sejam os mesmos para o setor naval militar, há ainda uma série de conceitos a serem consideradas para os navios de guerra. Como regra de sobrevivência, o sistema *chiller* precisa continuar funcionando durante e após o registro de danos de combate ao navio. Isso implica basicamente em dois requisitos ao sistema de condicionamento de ar: classificação do equipamento contrachoque e 100% de redundância (MCGOWAN, 2007).

Completando a regra da sobrevivência, podemos destacar um terceiro conceito referente ao condicionamento de ar em navios de guerra; a proteção com filtragem NBC (*nuclear, biological and chemical*). Trata-se de um equipamento instalado na entrada de ar externo do sistema de ar-condicionado do navio que protege a tripulação de um ataque contra agentes nucleares, biológicos e químicos.

Sendo assim, o presente artigo tem como objetivo principal explanar os três principais conceitos sobre o condicionamento de ar em navios de guerra, Figura 2. Através de uma minuciosa análise literária de artigos e documental técnico de fabricantes em torno da temática, ficou evidente o destacamento de três conceitos; a proteção contrachoque, a redundância e a proteção NBC. Como conclusão, tornou-se fato a importância da aplicação de tais conceitos para a eficiência operacional, e até mesmo para a própria sobrevivência em combate dos navios de guerra de superfície.

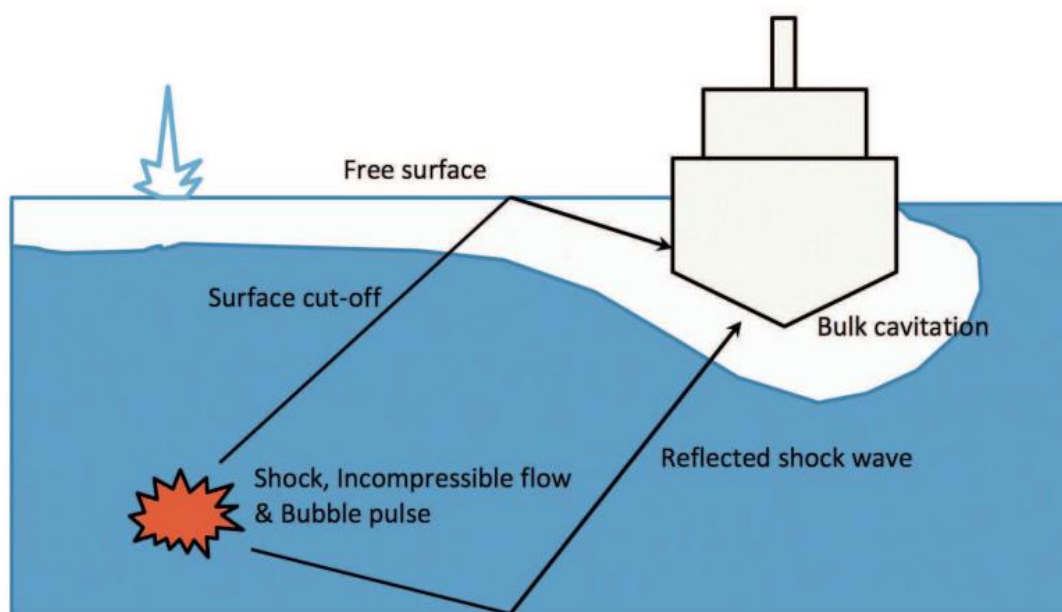
Figura 2 – Os três conceitos sobre o condicionamento de ar em navios de guerra que norteiam o presente artigo



2 PROTEÇÃO CONTRACHOQUE

As minas subaquáticas são uma preocupação constante para os navios de guerra. No entanto, a maior ameaça aos navios militares não vem do contato direto com as minas, mas sim, do efeito provocado pela explosão de uma mina ou outro meio nas proximidades do navio. Uma explosão abaixo da superfície d'água gera uma onda de choque que se propaga até atingir a estrutura do navio, Figura 3, causando vibrações involuntárias ao longo do casco e superestrutura que podem danificar e impossibilitar o funcionamento de equipamentos críticos, e consequentemente neutralizando o próprio navio (BRENNER, 2007).

Figura 3 – Propagação da onda de choque em direção ao casco do navio



Fonte: Hwee, 2013

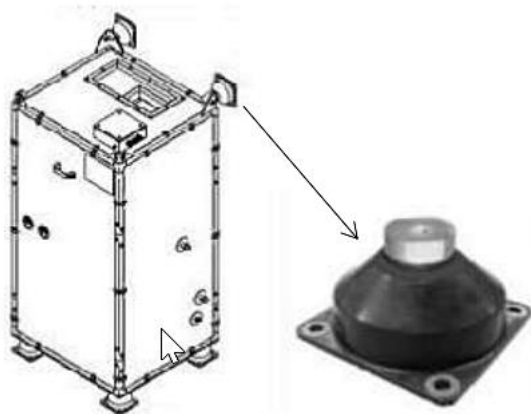
Diante da percepção dos danos causados por ondas de choque subaquáticas em seus navios de guerra, a marinha americana iniciou os estudos de prevenção já na Segunda Guerra Mundial, originando assim a especificação militar MIL-S-901. Tal especificação define uma série de parâmetros de resistência contrachoque por fogo inimigo para equipamentos instalados a bordo de navios militares. Posteriormente, nações como Alemanha e Reino Unido criaram suas próprias diretrizes em prol das suas marinhas. De qualquer forma, e como regra geral, quase todo equipamento fornecido a um navio de guerra é desenvolvido sobre o conceito de proteção contrachoque, inclusive de condicionamento de ar.

2.1 Equipamentos de Condicionamento de ar com proteção contrachoque

De acordo com Hwee e Jeremy (2013), equipamentos com proteção contrachoque são desenvolvidos sobre dois conceitos: o primeiro diz respeito a instalar isolantes entre o equipamento e a fundação do mesmo, e o segundo é sobre tornar o equipamento o mais rígido possível.

Isoladores: basicamente, um equipamento com proteção contrachoque é montado sobre isoladores, Figura 4. Fornecidos em inúmeras formas e tamanhos, os isoladores mais comuns empregam borrachas elastoméricas como base amenizadora de choque. Outros materiais também podem ser empregados na confecção de isoladores, como por exemplo, os metais e os plásticos. **Rigidez:** uma estrutura primária robusta com metais de alta resistência e baixo peso, aliada a um acabamento com dobras ao longo da chaparia conferem rigidez e estabilidade ao equipamento. Quando houver, recomenda-se substituir os longos cordões de solda por trechos intermitentes, gerando uma redução dos pontos de tensão e conseqüentemente eliminando possíveis rupturas nas junções da unidade. Por sua vez, os parafusos devem conter algum tipo de auto travamento e rebites de aplicação fria não são recomendados para equipamentos com proteção contrachoque (HARRIS, 2002).

Figura 4 – Air handler instalado sobre isoladores



Fonte: George, 2020

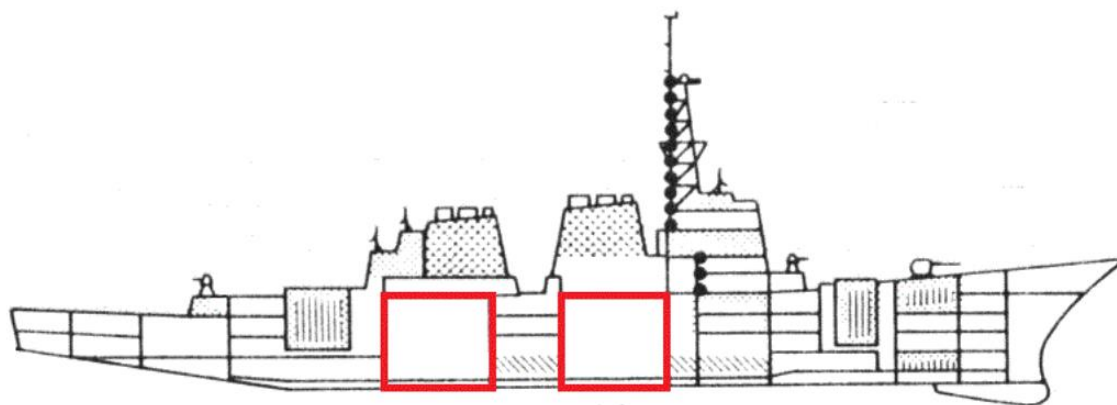
A forma de instalação a bordo de um equipamento contrachoque também é importante. No caso das unidades de condicionamento de ar, as conexões com as linhas principais devem ser feitas com conectores flexíveis, permitindo o movimento do equipamento sem afetar a conexão com dutos ou tubulações, por exemplo. Os flexíveis, bem como os próprios isoladores nas bases devem ser mantidos sem pintura. Da mesma forma, os cabos e fios que conectam o equipamento também devem possuir uma folga, propiciando o deslocamento do equipamento sem afetar as conexões elétricas, incluindo os sistemas de aterramento (GEORGE, 2020).

Por último, é importante registrar que, os equipamentos de condicionamento de ar desenvolvidos para navios de guerra possuem outros inúmeros conceitos além da proteção contrachoque. Ao verificar o material técnico dos principais fornecedores de ar-condicionado para o setor naval militar, podemos encontrar, por exemplo, unidades do tipo *fancoil* com as seguintes características: resistência à corrosão, baixo nível de ruído, emissão magnética controlada, à prova de explosão, dimensões e peso reduzidos, manutenção simplificada, capacidade modular, entre outros.

3 REDUNDÂNCIA

Navios de guerra são projetados para flutuar, se mover e combater, mesmo que seriamente atingidos por fogo inimigo. Por isso, a capacidade de sobrevivência é um dos pilares conceituais das marinhas de guerra, tendo como uma de suas bases o fator redundância. Sistemas críticos e tripulação redundante podem garantir que danos ou baixas em uma determinada área do navio não o tirem de combate e nem o conduzam ao colapso total. Como regra geral, os navios de guerra de superfície costumam ter dois conjuntos de maquinários em paralelo, distribuídos por igual entre ré e vante, ou seja, uma praça de máquinas na parte de trás do casco do navio e outra na parte frontal, Figura 5. Logo, cada praça de máquinas é capaz de operar o navio com todo o maquinário necessário, mesmo que a outra parte seja danificada em combate (KOK, 2012).

Figura 5 – Segregação para redundância do maquinário de um navio de guerra



Fonte: FAS, 2016¹

Segundo Frank e Martin (2016), os navios de guerra de superfície utilizam plantas de condicionamento de ar denominadas *chillers* para produzir água gelada em diferentes zonas do navio. Através de um circuito fechado suprem várias unidades do tipo *fancoil* e trocadores de calor em suas respectivas zonas. Estes navios utilizam a água do mar para dissipar o calor absorvido pelo sistema *chiller* através do ciclo de compressão mecânica de vapores. Os autores afirmam ainda que;

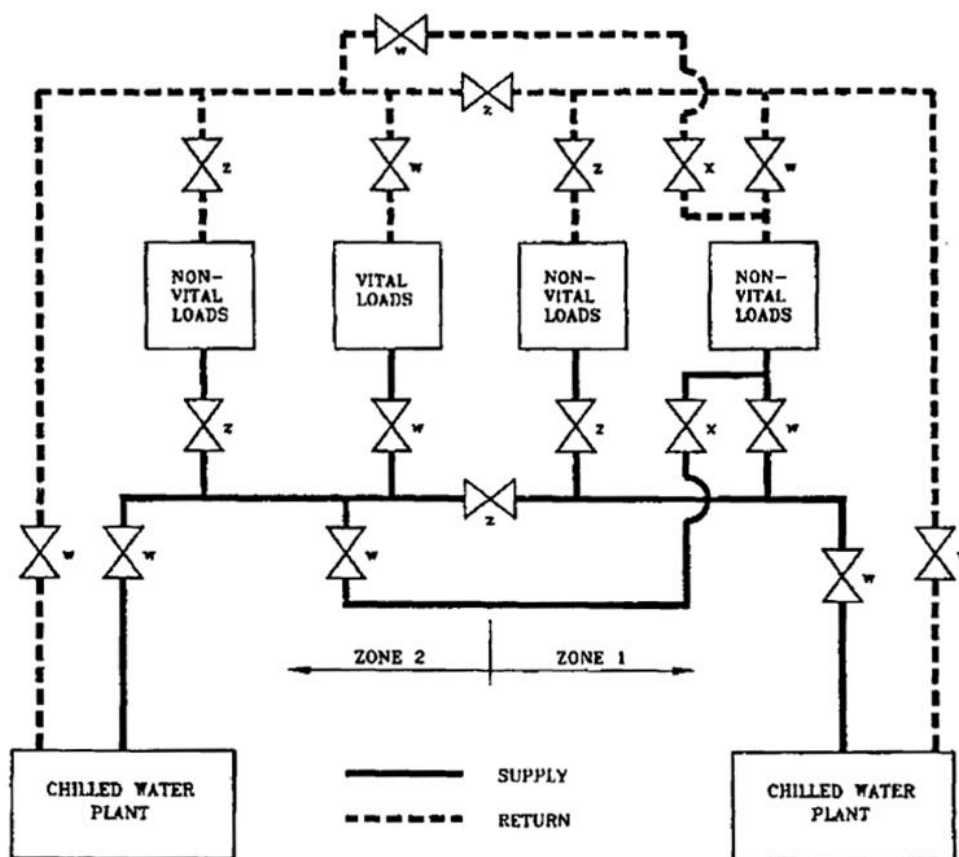
Os sistemas de água gelada dos navios de guerra de superfície são segregados em diferentes zonas para aumentar a confiabilidade da missão e melhorar a capacidade de sobrevivência. São equipamentos personalizados e reforçados, adequados para operações prolongadas em ambientes extremos. (FRANK, M.; MARTIN, K., 2016, p. 48).

¹ Adaptação de imagem disponível em < <https://man.fas.org/dod-101/sys/ship/ddg-51.htm>>. Acesso em: 16 de abril de 2023.

3.1 Redundâncias aplicadas ao sistema *chiller*

O sistema de condicionamento de ar de um navio de guerra consiste em duas ou mais plantas de geração de água gelada. Cada planta atende uma zona associada através de linhas de abastecimento e retorno. Mesmo operando de forma independente, as plantas de água gelada são interligadas, mas segregadas por válvulas, o que permite uma determinada planta atender os equipamentos da zona oposta em situações de emergência. Cada planta possui ainda sua própria segregação interna, possibilitando a seleção entre os equipamentos vitais e não vitais para o navio, Figura 6. Em modo batalha, por exemplo, as válvulas dos equipamentos não vitais são fechadas, priorizando os locais onde localizam-se os equipamentos vitais; salas de controle e combate, por exemplo. Nestes locais, pode haver duas ou mais unidades de resfriamento supridas por diferentes plantas (NAVSEA, 2006).

Figura 6 – Diagrama da distribuição de água gelada em um navio de guerra



Fonte: NAVSEA, 2006

Além disso, ao verificar publicações técnicas dos principais fornecedores de *chillers* para o mercado naval militar em nível global, foi constatado que, as configurações de fábrica buscam também a redundância interna do equipamento.

Normalmente, cada planta *chiller* é projetada em um único *rack*, dotado de dois circuitos de refrigerante independentes com compressores do tipo centrífugo com mancais magnéticos, eliminando a necessidade de óleo lubrificante, o que torna o sistema mais eficiente e com menos manutenção. Os autores Frank e Martin (2016), completam:

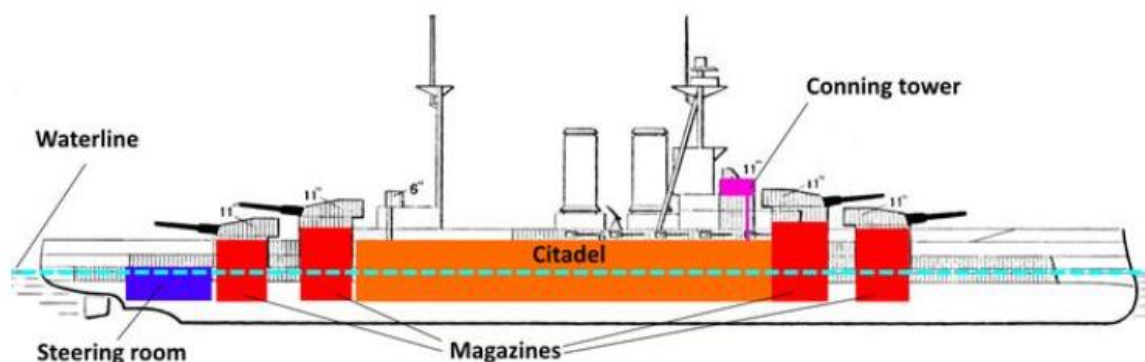
Um compressor isento de óleo elimina o sistema de lubrificação com óleo. Isso simplifica drasticamente o *chiller*; elimina 80% das válvulas e conexões que são fontes de vazamento de gás, elimina as trocas de óleo/filtro e elimina o armazenamento de material inflamável a bordo. (FRANK, M.; MARTIN, K., 2016, p. 50).

Evaporadores de placas e condensadores casco e tubo de titânio completam o pacote. As bombas de circulação de água gelada podem ser instaladas no mesmo *rack* ou no entorno, sempre em pares, com operação alternada. A semelhança na capacidade e configuração das plantas de água gelada instaladas nas diferentes zonas do navio garante um estoque de peças de reposição reduzido e preciso.

4 PROTEÇÃO NBC

Em situações de risco ou combate, os navios de guerra de superfície possuem a capacidade de isolar um grupo de zonas vitais do navio contra o ataque de agentes externos através do conceito de cidadela, Figura 7. Basicamente, quando necessário, é criado um “involucro” que protege os ambientes selecionados contra o ataque do tipo NBC (*Nuclear, Biological and Chemical*), ou seja, agentes nucleares, biológicos e químicos. Para tanto, o sistema de condicionamento de ar, que é uma potencial porta de entrada de agentes nocivos externos, é munido de um sistema de filtragem com proteção NBC (NASSER, 2022).

Figura 7 – A cidadela é composta por ambientes vitais como salas de controle e combate, torre de comando e enfermaria



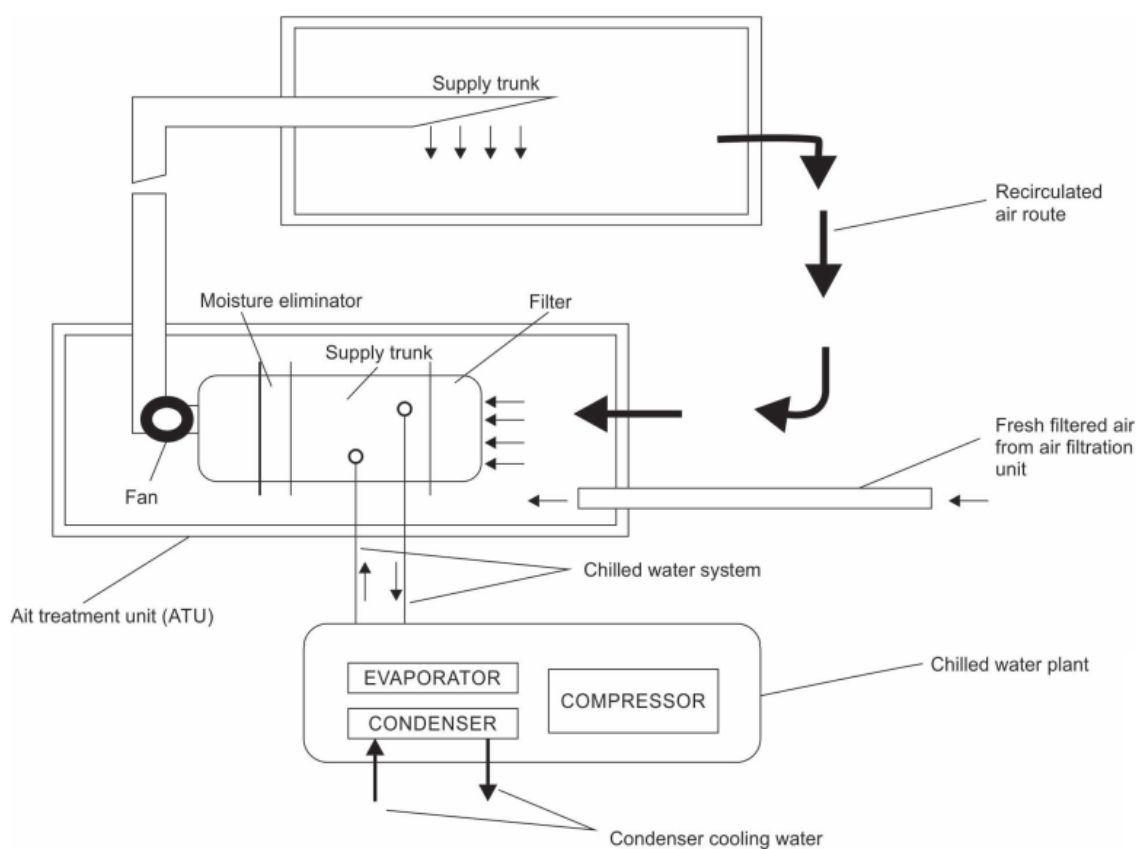
Fonte: VOLINTIRU; PRUIU; SCURTU, 2017

A captação de ar externo para a cidadela é feita exclusivamente por Unidades de Filtragem de Ar (AFUs – *Air Filtration Units*). Nela, o ar fresco é encaminhado ao conjunto de filtros NBC caso haja o alerta de atmosfera contaminada. De outro modo, em situações de atmosfera normal, o ar

contorna a filtragem NBC. Só então, o ar externo é introduzido no navio e enviado para as unidades de condicionamento de ar ou Unidades de Tratamento de Ar (ATUs – *Air Treatment Units*), que condicionam o ar e o distribuem na cidadela (VOLINTIRU; PRUIU; SCURTU, 2017).

Durante o período de risco de atmosfera contaminada, anteparas herméticas e portas estanques garantem que não haja troca de ar entre a cidadela e áreas não essenciais, como por exemplo, o hangar de aeronaves. Na condição de risco NBC, o sistema de condicionamento de ar opera com uma taxa de 30% de injeção de ar renovado e 70% de ar recirculado dentro da cidadela, Figura 8, (NASSER, 2022).

Figura 8 – Unidade de Tratamento de Ar operando com recirculação e ar fresco vindo da Unidade de Filtragem de Ar



Fonte: NASSER, 2022

4.1 Equipamento e filtros NBC

A Unidade de Filtragem de Ar é instalada acima do convés principal, internamente em uma anteparada da casaria que divide acomodações com ambiente externo. De acordo com os principais fabricantes consultados, a unidade é composta por; uma grelha com palhetas horizontas flangeada diretamente na anteparada externa, seguida por um dreno de remoção de acúmulo de água, uma resistência elétrica, uma série de filtros tradicionais (filtros grosso e fino), filtros NBC com cartuchos para cada agente (nuclear, biológico e químico), válvulas de *by-pass* e finalmente um ventilador.

O conjunto de cartuchos NBC conta com até três nichos para cada agente, e possui proteção contrachoque e vibrações. Duas tampas com vedação garantem acesso independente aos filtros tradicionais e NBC. A resistência elétrica instalada já na entrada da unidade garante a eficácia dos filtros mantendo a umidade relativa abaixo de 75%. Por fim, o sistema possui fechamento automático das palhetas em caso de falha do ventilador ou disparo de míssil (NAVSEA, 2006).

5 NOTAS FINAIS

Diante de tamanha importância do sistema de condicionamento de ar para a eficiência e sobrevivência dos navios de guerra, sobretudo a respeito dos conceitos aqui abordados, é importante frisar ainda os seguintes pontos;

- O equipamento de condicionamento de ar deve suportar o movimento contínuo e alternado do navio em até 30 graus para os lados, entre 10 e 15 graus para frente/trás e ainda operar sob uma força G entre 0,5 e 1,5g (MCGOWAN, 2007).
- Todo o sistema de condicionamento de ar e ventilação, incluindo equipamentos e tubulações de distribuição de água gelada, acrescenta em média um peso de 225 toneladas ao navio (FRANK; HELMICK, 2007).
- Devido à amplitude dos locais de operação de um navio de guerra, os parâmetros de projeto para do sistema de condicionamento de ar, Quadro 1, possuem ampla faixa operacional;

Quadro 1 – Parâmetros de projeto de um navio de guerra

Parâmetros	Verão	Inverno
Temperatura externa	35°C	-20°C
Umidade relativa externa	70%	Não informado
Temperatura da água do mar	35°C	4°C
Temperatura interna	27°C	22°C
Umidade relativa interna	50%	Não informado

Fonte: McGowan, 2007

- O sistema de condicionamento de ar em plena carga consome em média mais de 40% da demanda total de energia elétrica do navio (VILLALBA; GUERRA; LÓPEZ, 2017).
- Aproximadamente 25% de toda carga térmica de um navio de guerra é removida pelos sistemas de condicionamento de ar e ventilação (FRANK; HELMICK, 2007).
- Do total da carga térmica removida pelo sistema de condicionamento de ar, cerca de 60% é proveniente diretamente de equipamentos e 40% das acomodações (pessoas, iluminação, renovação de ar e etc), (FRANK; HELMICK, 2007).

6 CONCLUSÕES

É fato, o sistema de condicionamento de ar em navios de guerra de superfície vai além de oferecer a climatização a bordo: é uma questão de sobrevivência em combate. Garantir o conforto mínimo da tripulação, resfriar equipamentos vitais e manter a integridade da munição, em condições adversas, tornam o sistema de condicionamento naval militar uma complexa tarefa de engenharia e construção, desde o projeto, passando pela instalação e operação, até a manutenção. Adicione ainda a capacidade de resistir a uma explosão subaquática no entorno do navio, ou a responsabilidade de filtrar qualquer agente mortal à tripulação, sem falar da necessidade de redundância de 100% em praticamente todos os componentes. Todos esses conceitos fazem com que o condicionamento de ar a bordo de um navio de guerra seja um árduo trabalho de constante desenvolvimento, alinhando novas tecnologias e envolvendo profissionais de várias disciplinas, tendo como resultado final uma máquina de guerra que pode garantir a soberania de um país.

REFERÊNCIAS

BRENNER, M. Navy Ship Underwater Shock Prediction and Testing Capability Study. Office of Naval Research (ONR). Report-No. JSR-07-200. Virginia, USA, 2007.

FRANK, M.; HELMICK, D. **21st Century HVAC System for Future Naval Surface Combatants-Concept Development Report**. Naval Surface Warfare Center, Carderock Div. NSWCCD-98-TR-2007/06. Philadelphia, 2007.

FRANK, M.; MARTIN, K. Chilled Water Challenges. The Evolution of Systems Used on Naval Surface Combatants. **Marine Technology Magazine**. January Edition. Sname, VA, USA, 2016.

GEORGE, B. Installation Design for Low Noise. Webinar on Management of Structure Borne Noise, 2020. Disponível em: <https://indiannavy.nic.in/insshivaji/sites/default/files/PAPER_ON_INSTALLATION_DESIGN_FOR_LOW_NOISE.pdf>. Acesso em 12 de abril de 2023.

HARRIS, C. M.; PIERSOL, A. G. **Harris' Shock and Vibration Handbook**. New York: McGraw-Hill, 2002.

HWEE, A. B.; JEREMY, H. M. Managing Shock Requirements of Shipboard Equipment. Gas, v. 1, p. T2, 2013.

KOK, S. L. **Naval Survivability and Susceptibility Reduction Study Surface Ship**. Naval Post Graduate School. Monterey, CA, 2012.

MCGOWAN, S. HVAC Control Key to Naval Operations. **HVAC&R Nation Magazine**, p. 10-12. Australian Institute of Refrigeration, Air Conditioning and Heating. Australia, agosto de 2007.

CONBRAVA 2023 – São Paulo Expo, 13 à 15 de setembro de 2023 - São Paulo, Brasil

NASSER, A. Identification of Multiple “Space Cohorts” based on ventilation parameters: A Novel Strategy to Combat Airborne Pathogens on Naval Warships. 2022.

NAVSEA. Heating, Ventilating, and Air Conditioning Systems for Surface Ships. **Naval Ship’s Technical Manual**. Chapter 510, Rev. 7, S9086-RQ-STM-010. Washington, DC, USA, 2006.

PAWLING, R. J. Introduction – What Makes a Warship? **Encyclopedia of Maritime and Offshore Engineering**. University College London, UK, 2017.

SWAGEL, P. L. **An Analysis of the Navy's Fiscal Year 2023 Shipbuilding Plan**. Congressional Budget Office. Washington, DC, USA, 2022.

VILLALBA, R. A. L.; GUERRA, M. A; LÓPEZ, B. S. Calculation of Marine Air Conditioning Systems Based on Energy Savings. **Ship Science and Technology**, v. 11, n. 21, p. 103-117, 2017.

VOLINTIRU, O.; PRUIU, A.; SCURTU, I. C. Ventilation Systems for Special Ships. Buletinul Agir, n. 4. Romania, 2017.