

**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA**  
**CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MÁQUINAS**

**SISTEMAS DE PROPULSÃO DIESEL ELÉTRICO NOS NAVIOS**  
**MERCANTES**

**BRENO DE HOLLANDA CAVALCANTI TAVARES**

**Rio de Janeiro 2019**

**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA**  
**CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MÁQUINAS**

**SISTEMAS DE PROPULSÃO DIESEL ELÉTRICO NOS NAVIOS**  
**MERCANTES**

Apresentação de monografia ao Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como condição prévia para a conclusão do Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquina (APMA).

Orientador: Ramessés Cesar da Silva Ramos

**BRENO DE HOLLANDA CAVALCANTI TAVARES**

**Rio de Janeiro 2019**

## **FOLHA DE AVALIAÇÃO**

PROFESSOR ORIENTADOR: Professor Ramessés Cesar da Silva Ramos

NOTA: \_\_\_\_\_

DATA: \_\_\_\_\_

NOTA FINAL: \_\_\_\_\_

ASSINATURA ALUNO: \_\_\_\_\_

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus e minha família, mãe, irmão e esposa que tanto amo por guiar-me na estrada da vida. Agradeço em especial ao professor orientador, Ramessés Cesar da Silva Ramos pelos ensinamentos e profissionalismo. Agradeço também ao corpo docente do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha pela competência e ensinamentos durante o curso.

# **DEDICATÓRIA**

**Aos professores, aos amigos de turma, ao  
meu orientador Ramessés Cesar da Silva  
Ramos**

## RESUMO

A partir da demanda no atual cenário marítimo mundial, percebeu-se a necessidade de investimento na inovação dos sistemas de propulsão das embarcações visando melhorias. A solução encontrada inclui os propulsores com motores elétricos com velocidade variável, ou melhor, rotação variável através do uso de inversores de frequência, substituindo o sistema mecânico de mudança de ângulo das pás da hélice.

A principal função deste trabalho é mostrar a eficiência da propulsão diesel elétrica e seus tipos de propulsores, mostrando vantagens da propulsão elétrica como flexibilidade do projeto, aumento da vida útil das embarcações, redução da emissão de poluentes, redução do consumo de combustível, redução da tripulação, favorecimento das redundâncias dos sistemas e redução dos custos de manutenção.

**Palavras-chave:** Propulsão elétrica, embarcação de apoio marítimo e comparação entre propulsão mecânica e elétrica.

## **ABSTRACT**

Based on the demand in today's maritime world, it was necessary investment in innovation propulsion systems for vessels aiming improvements. The solution found includes the thrusters with electric motors with variable speed by frequency inverters, replacing the mechanical system of angle change of the propeller blades.

The study reports the efficiency of diesel electric propulsion thrusters and their types, showing advantages of the latter over the former as a reduction of fuel consumption, reduced crew, design flexibility, favoring redundancy systems, increasing the life of the vessels, reducing maintenance costs and reduced emissions.

**Keywords:** electric propulsion and offshore support vessel.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Embarcação Mercante France II .....	12
Figura 2: Propulsão Diesel Mecânica.....	13
Figura 3: Esquema Sistema Diesel Mecânico .....	14
Figura 4: Sistema de Acionamento Elétrico Integrado .....	15
Figura 5: Propulsão Diesel Elétrica .....	16
Figura 6: Diagrama de automação de navios Diesel Elétrico .....	16
Figura 7: Esquema Sistema Diesel Elétrico .....	17
Figura 8: Diagrama em blocos de um Sistema de Propulsão Elétrica.....	17
Figura 9: Representação de um navio com propulsão híbrida .....	19
Figura 10: Hélice passo fixo .....	20
Figura 11: Hélice de passo controlável .....	21
Figura 12: Twin Propeller .....	22
Figura 13: Bow Thrust .....	23
Figura 14: Propulsor Voith Schneider.....	24
Figura 15: Propulsor Contra-Rotativo .....	25
Figura 16: Propulsor AZIPOD® duplo .....	26
Figura 17: Consumo de Combustível por tipo de motor .....	27
Figura 18: Distribuição dos Equipamentos na Praça de Máquinas .....	28
Figura 19: Emissões de Gases na Atmosfera por Tipo de Motor.....	32

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	10
2	Principais tipos de propulsão .....	11
2.1	Propulsão a vela .....	11
2.2	Propulsão a vapor.....	12
2.3	Propulsão mecânica .....	13
2.4	Propulsão elétrica .....	14
2.5	Propulsão híbrida (Diesel Mecânico + Diesel Elétrico).....	18
3	Tipos de Propulsores .....	20
3.1	Hélices de passo fixo .....	20
3.2	Hélices de passo controlável .....	21
3.3	Hélice com duto .....	21
3.4	Propulsor gêmeo (SRP).....	22
3.5	Propulsor lateral (Tunnel Thrust) .....	23
3.6	Propulsor Cicloidal (Voith Schneider).....	23
3.7	Propulsor contra-rotativo (CRP).....	25
3.8	Propulsor azimutal e <i>AZIPOD</i> <sup>®</sup> .....	26
4	As Principais Vantagens da Propulsão Elétrica .....	27
4.1	Diminuição do Consumo de Combustível .....	27
4.2	Diminuição da Tripulação.....	28
4.3	Flexibilidade do Projeto.....	28
4.4	Beneficiamento das redundâncias dos sistemas .....	29
4.5	Aumento da Vida Útil do Navio.....	29
4.6	Diminuição dos Custos de Manutenção.....	30
4.7	Diminuição da Emissão de Poluentes .....	31
4.8	Diminuição da Assinatura Acústica .....	32
5	Considerações Finais .....	33
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	35

## 1 INTRODUÇÃO

Em uma embarcação marítima, para existir deslocamento de um navio, um sistema de propulsão será necessário. Os sistemas de propulsão mais utilizados atualmente são: o convencional (mecânico) e o diesel-elétrico.

Iniciando pelo convencional, temos que a energia mecânica responsável para a propulsão e conseqüente giro do hélice é gerada através de um motor a combustão, usualmente diesel, onde através de movimento de rotação e ligado diretamente à hélice produz o torque necessário para que o navio avance ou recue.

No sistema diesel-elétrico, a função do motor diesel combinado com um gerador seria somente geração de energia, ao invés de motor diesel acoplado diretamente a hélice do navio. A energia elétrica será provida pelo sistema motor diesel mais gerador, e os motores elétricos serão os responsáveis pelo giro da hélice do navio. Neste trabalho será mostrado que o sistema diesel-elétrico apresenta um rendimento maior comparado à propulsão convencional.

Com o aumento da tecnologia envolvida no sistema diesel-elétrico, o controle dos equipamentos presentes é feito de maneira mais eficiente, desde a geração de energia até o controle da rotação dos motores.

O inversor de frequência é o principal motivo dessa evolução, pois este é capaz de controlar a rotação da hélice do navio devido ao controle da frequência. Diferentes dos antigos sistemas, as modernas plantas elétricas possuem tensão e frequência constantes nos barramentos alimentados por geradores elétricos, geralmente a diesel, que funcionam com velocidade constante. Assim, aumentou-se a economia e tornou possível a integração dos sistemas elétricos de propulsão e auxiliares.

Analisando-se a área de embarcações marítimas, verificou-se a intensa evolução deste mercado nos últimos anos, visto que os equipamentos presentes nos sistemas destas embarcações são conhecidos pela comunidade, porém a utilização dos mesmos dentro do mercado marítimo não, estando este mercado evoluindo e elevando as oportunidades presentes no setor.

O objetivo principal deste trabalho será a comparação sobre os tipos de propulsão convencional e diesel elétrico com o intuito de mostrar as vantagens de um sistema sobre o outro. Podemos destacar a evolução dos sistemas de

propulsão, começando pela propulsão a velas chegando ao atual diesel elétrico e dos propulsores, que começa no simples propulsor de passo fixo chegando aos atuais azimutais, serão descritos nos próximos capítulos.

## **2 PRINCIPAIS TIPOS DE PROPULSÃO**

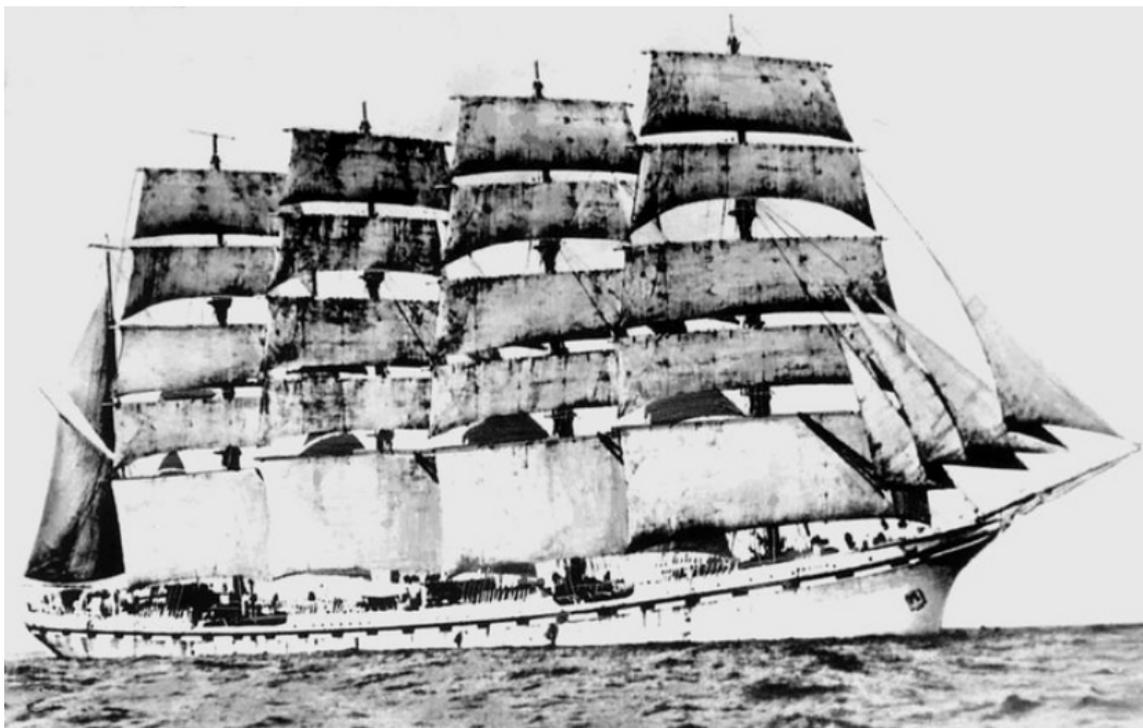
### **2.1 Propulsão a vela**

Tem por função o aproveitamento da ação dos ventos que incide sobre uma superfície, sendo esta uma prática milenar. Dependendo das características geométricas da superfície e de sua orientação em relação ao vento, pode-se obter força resultante favorável para a propulsão total ou parcial do navio. As velas para serem efetivas precisam estar posicionadas bem alto, causando aumento do jogo da embarcação, redução da estabilidade do navio, penalidade parcial pelo aumento da resistência ao avanço quando a componente do vento não está na mesma direção do destino, e altura elevada para rotas com passagem sob pontes, além de redução da manobrabilidade.

Neste tipo de propulsão, apenas a força dos ventos é responsável por dar movimento à embarcação, por isso é importante o conhecimento de técnicas de navegação com a direção do vento, pois é isso que irá permitir a melhor eficiência das velas, propiciando melhor controle da velocidade e os rumos da embarcação. A propulsão a vela consiste em velas latinas, que são as triangulares; e redondas, que são as quadradas, estas velas que impulsionam o navio.

Hoje em dia, este tipo de propulsão não se encontram mais presentes em embarcações mercantes, estão presentes apenas em embarcações recreativas, esportivas e representativas, não são mais utilizadas para fim comercial como antigamente era utilizada, antes da Revolução Industrial.

**Figura 1: Embarcação Mercante France II**



**Fonte:** <https://marsemfim.com.br/wp-content/uploads/2017/06/France-II-.jpg>

## **2.2 Propulsão a vapor**

Teve seu surgimento com o advento da máquina a vapor e foi muito utilizado no século XIX. Através de uma caldeira produzindo vapor para movimentar um motor a vapor que movimentava inicialmente uma roda de pás, depois um hélice. Entretanto, com o surgimento do motor diesel, este modelo de propulsão foi desaparecendo, principalmente devido a seu menor rendimento.

Atualmente os navios ainda produzem vapor a bordo, entretanto tem outra destinação como, por exemplo, aquecimento da água para acomodação e cozinha, aquecimento de tanques de carga ou ainda, em alguns casos, geração de energia por meio dos turbo-geradores.

## 2.3 Propulsão mecânica

Os navios dotados de Propulsão Mecânica tradicional, a rotação do motor diesel mais caixas de engrenagens redutoras são quem definem a rotação do hélice, portanto, podemos dizer que o motor em diversas condições de operação não opera na faixa do rendimento ideal, gerando desta forma um inevitável desperdício de combustível.

No sistema de propulsão mecânico convencional o dispositivo de acionamento principal a ser empregado, que pode ser uma turbina a vapor, um motor diesel, ou uma turbina a gás, é acoplado diretamente ao eixo propulsor do navio através da engrenagem redutora.

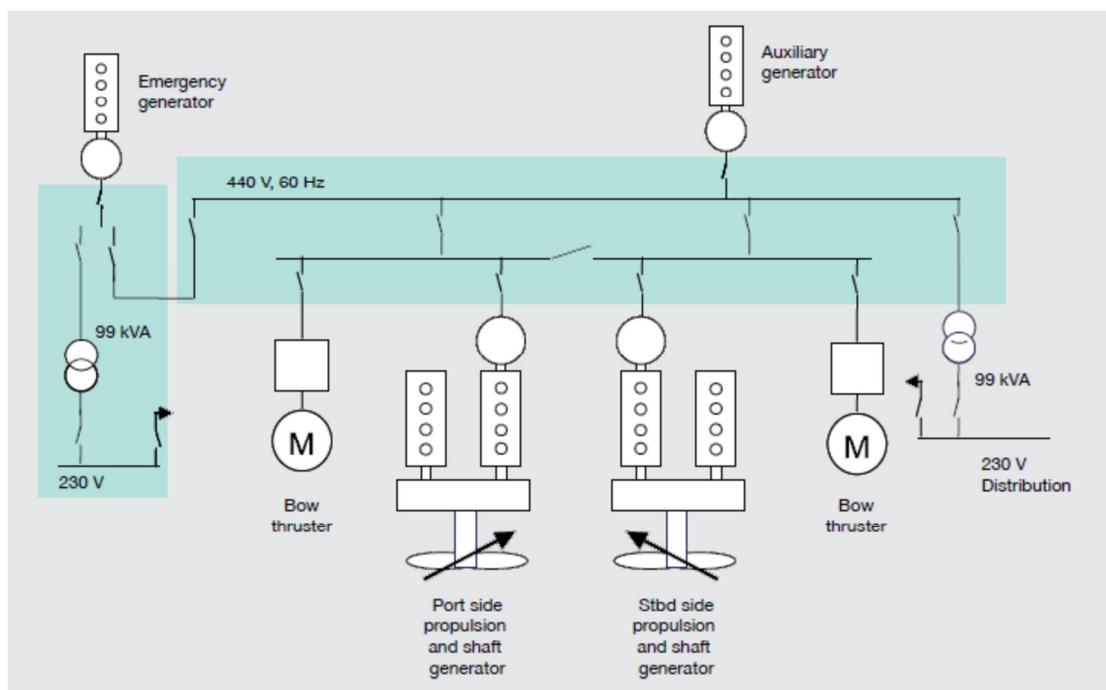
Neste tipo de configuração do sistema de propulsão mecânico, além do motor principal é necessário também um sistema diesel gerador auxiliar, instalado em local separado do sistema de propulsão, este tem por função a geração de energia para os outros equipamentos à bordo, como por exemplo, sistema de ar condicionado, bombas auxiliares, compressores, ventilações, exaustores, equipamentos de combate incêndio e demais auxiliares de bordo.

**Figura 2: Propulsão Diesel Mecânica**



(Fonte: Wartsila)

**Figura 3: Esquema Sistema Diesel Mecânico**



(Fonte: ABB)

## 2.4 Propulsão elétrica

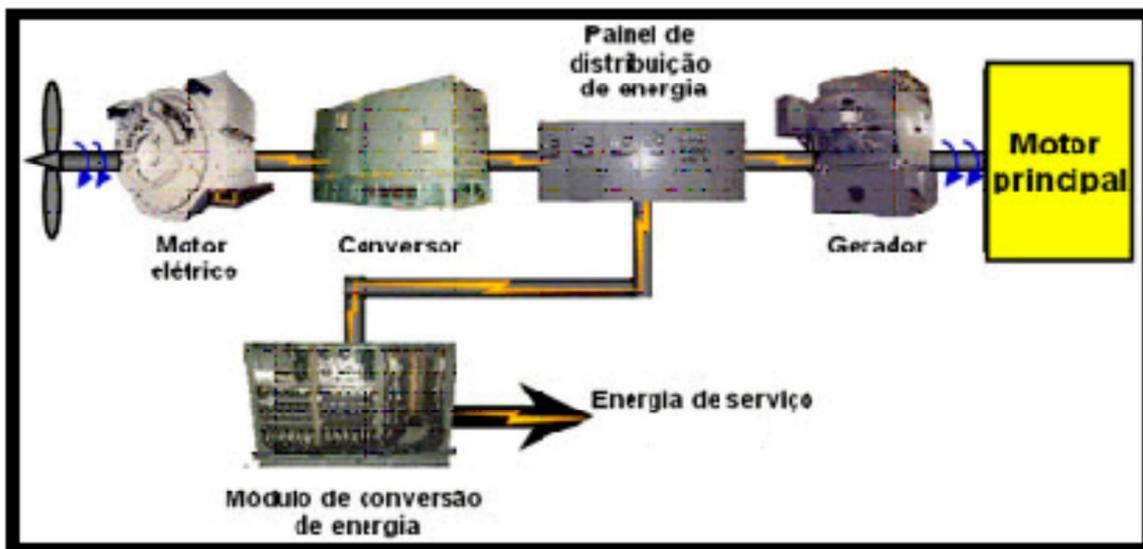
Nos últimos anos a tecnologia mais promissora é o conceito de Propulsão Elétrica Integrada, utilizando o acionamento elétrico, desde o advento dos reatores nucleares e das turbinas a gás há 50 anos; segundo as informações de Whitman E. C. Entende-se por Propulsão Elétrica um sistema constituído por um gerador elétrico, acionado por um dispositivo de acionamento principal, que fornece energia para um motor elétrico que aciona o hélice do navio. A principal característica deste sistema é o controle da velocidade do navio pelo controle da rotação do motor elétrico.

No sistema de Propulsão Elétrica ao invés de dois sistemas de potência separados, cada um com sua limitação de carga específica, se tem a disposição uma capacidade de geração única que pode ser distribuída com maior flexibilidade entre as diversas áreas e sistemas de bordo de acordo com as alterações de demanda.

Portanto, o conceito de propulsão elétrica visa basicamente à integração entre o sistema de potência da propulsão do navio com os sistemas auxiliares, os quais são vistos na figura 4. E com a eletrificação dos sistemas auxiliares,

abre-se a possibilidade de utilização de estruturas modulares com maior flexibilidade para expansões futuras.

**Figura 4: Sistema de Acionamento Elétrico Integrado**

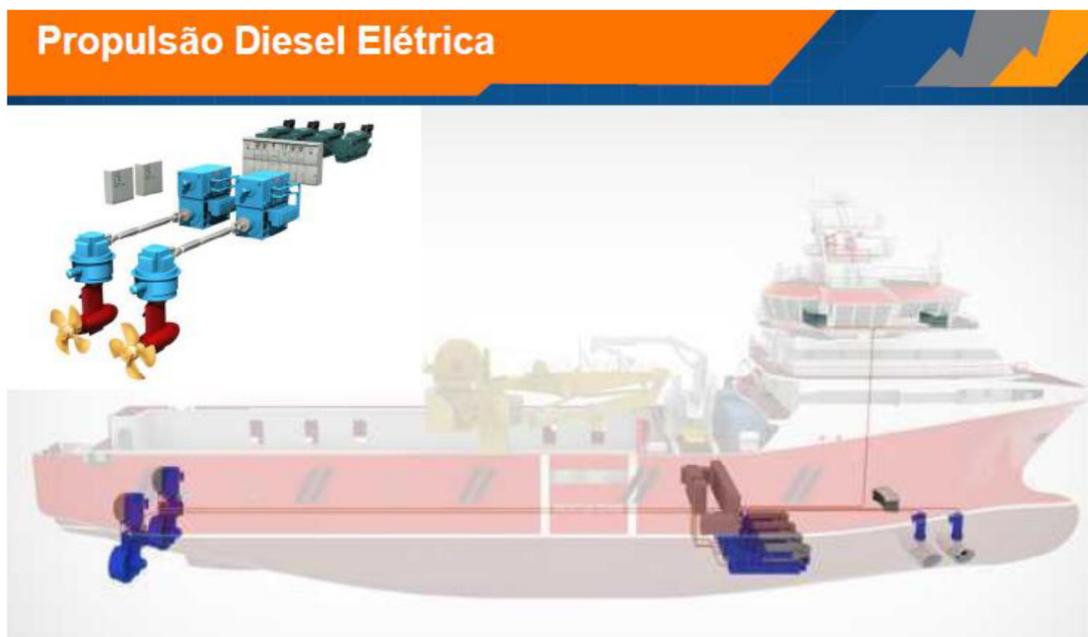


**Fonte: GERK, Hermann Regazzi. Slide Propulsão e Propulsores especiais**

Nos navios mercantes a propulsão elétrica não se encontra tão presente como a propulsão mecânica, devido possuir inúmeras vantagens com certeza irá ganhar espaço na construção naval. Algumas de suas vantagens destacam-se a redução da emissão de poluentes, a flexibilidade de projeto e redução da assinatura acústica.

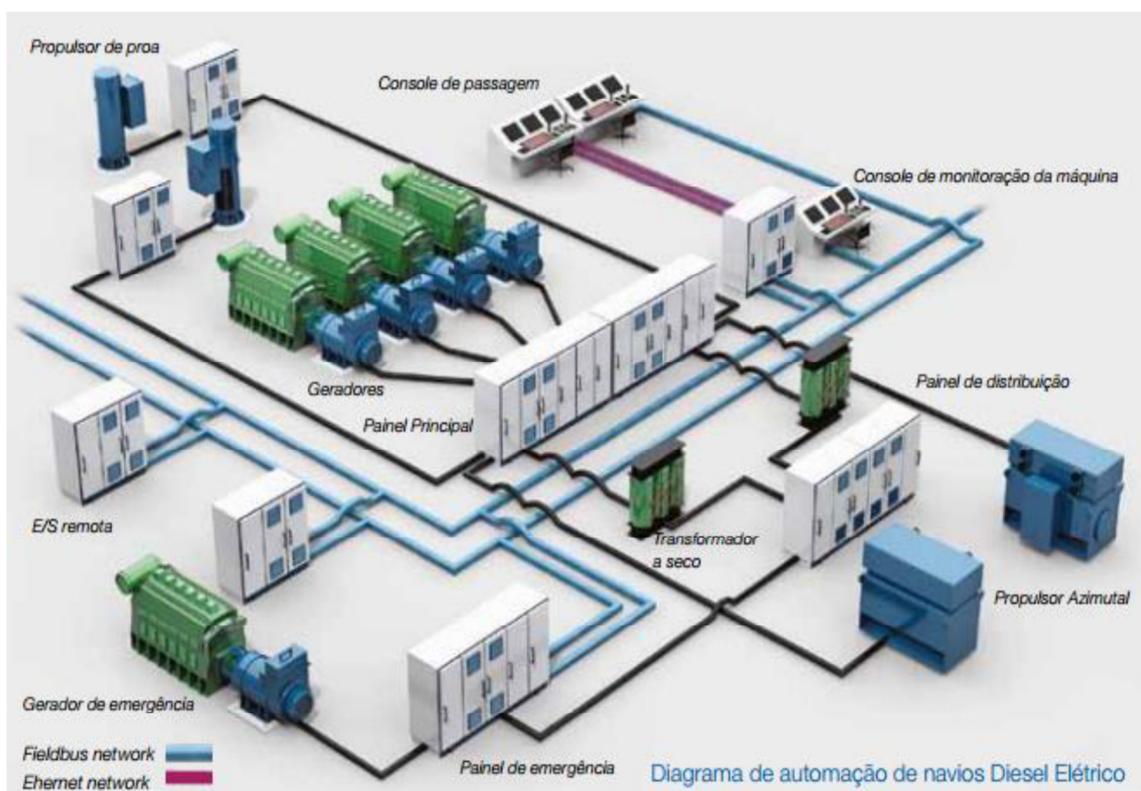
Esta propulsão possui uma grande flexibilidade, pois permite uma variedade de arranjos para o projeto, já que seus equipamentos são implantados em módulos, podem ser colocados à distância e em qualquer local com o intuito de aumentar as áreas de cargas úteis.

Figura 5: Propulsão Diesel Elétrica



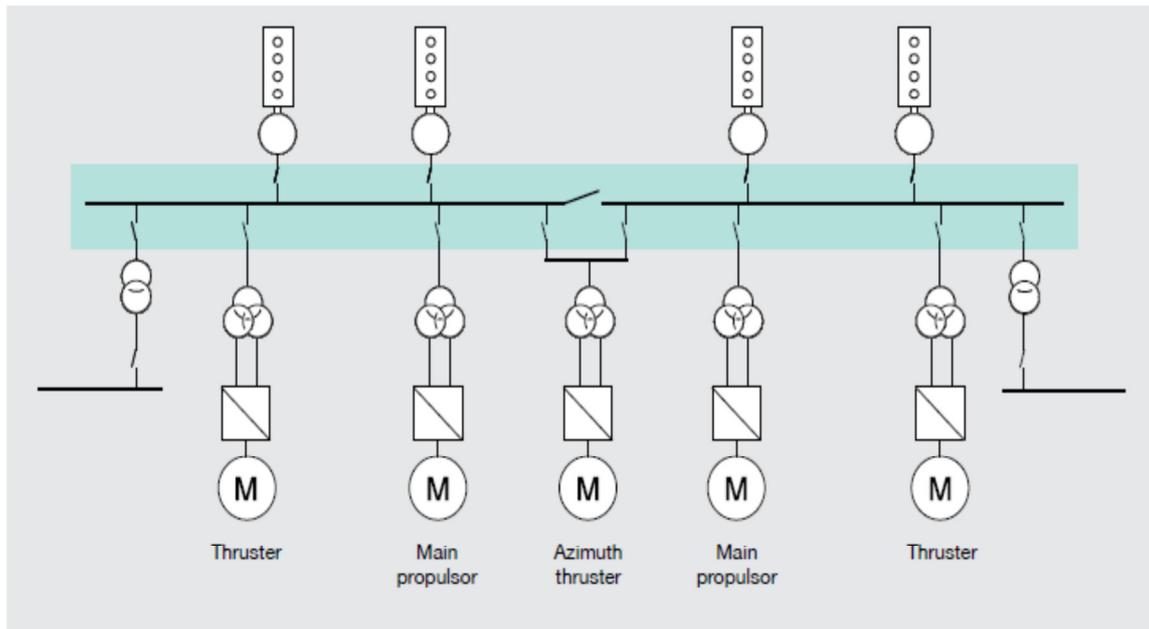
(Fonte: Wartsila)

Figura 6: Diagrama de automação de navios Diesel Elétrico



(Fonte: ABB)

**Figura 7: Esquema Sistema Diesel Elétrico**

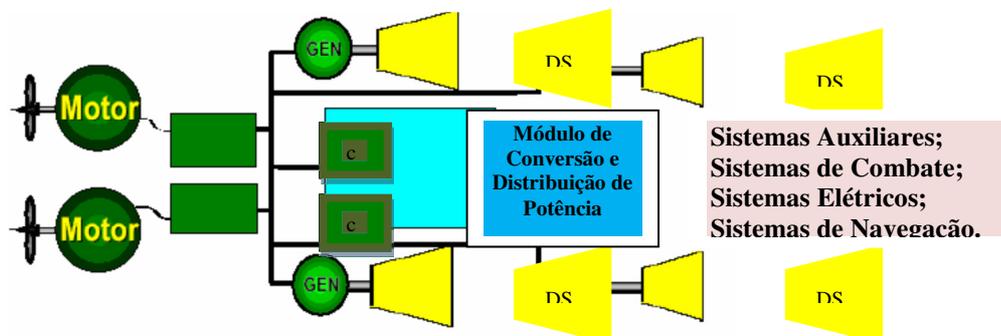


(Fonte: ABB)

Pode-se descrever propulsão elétrica mais precisamente como a transmissão elétrica de potência entre o dispositivo de acionamento principal e a carga representada pelos propulsores do navio, a figura 8 mostra o diagrama em blocos de um Sistema de Propulsão Elétrica. Este sistema consiste essencialmente na transmissão elétrica para a mudança entre alta velocidade e baixo torque do dispositivo de acionamento principal para a baixa velocidade e elevado torque requerido para girar os propulsores.

**Figura 8: Diagrama em blocos de um Sistema de Propulsão Elétrica**

DSP = Dispositivo de Acionamento Principal



Fonte: GERK, Hermann Regazzi. Slide Propulsão e Propulsores especiais

Nos períodos em que o navio opera com velocidade mais baixa a eficiência da transmissão elétrica é maior do que a da transmissão mecânica. No sistema de Propulsão Elétrica a eficiência da transmissão não é tão sensível à variação da velocidade do eixo propulsor, como ocorre com a transmissão mecânica convencional. Devido os navios de apoios plataforma, plataformas de perfuração e navios militares operarem aproximadamente 85% do tempo em atividades com baixas velocidades de navegação, tem-se aí o grande diferencial positivo para justificar o emprego da Propulsão Elétrica.

## **2.5 Propulsão híbrida (Diesel Mecânico + Diesel Elétrico)**

Em navios de suporte a plataforma a capacidade total do motor deve ser dimensionada para atingir a velocidade de serviço solicitada pela embarcação, ou a capacidade de posicionamento dinâmico, nas piores situações meteorológicas possíveis. Como a maioria das novas embarcações *supply* são classificadas como DP 2, ou seja, com necessidade de redundância de seus equipamentos, a potência total instalada pode ser muito maior que a requerida para cargas médias.

Até pouco tempo atrás quase todos os navios do tipo AHTS (Anchor Handling Tug Supply) eram construídos com sistema propulsivo do tipo Diesel Mecânico, devido ao foco primordial da embarcação que é o ballard pull, capacidade de tração estática, característica necessária para as atividades operacionais de reboque.

O sistema conhecido como Híbrido foi sendo estudado como uma possível solução para esses navios, que por possuírem um diversificado perfil operacional possuíam grande desperdício de energia. Um fator importante do estudo foi que os custos de construção adicionais eram mais baixos quando comparados com os benefícios gerados, como a economia de combustível inerente a esse sistema.

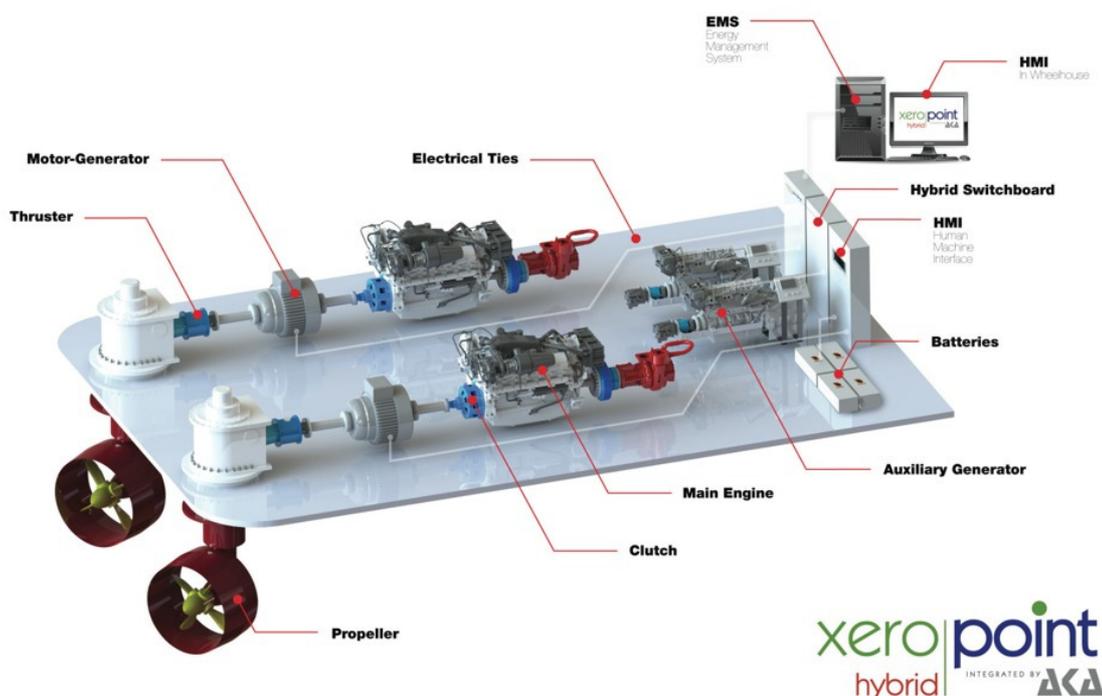
O sistema conhecido como Híbrido é caracterizado pela mescla dos dois primeiros sistemas propulsivos mencionados anteriormente. Foi uma forma escolhida por projetistas de aliar as melhores qualidades do diesel mecânico com o diesel elétrico, afim de com isso evitar o consumo excessivo de

combustível em embarcações com perfis operacionais com atividades distintas, que exigem diferentes níveis de energia.

Esse sistema permite uma versatilidade na geração de energia, atendendo todas as faixas de consumo, dentro das faixas de operação dos Motores e Geradores do sistema. Trabalhar a maior parte do tempo dentro da faixa de operação de projeto dos motores e geradores resulta em maior eficiência energética e economia de combustível.

O sistema é composto pela parte mecânica, com motores diesel, caixas redutoras, geradores de eixo, pela parte elétrica, com motores elétricos, além de geradores auxiliares necessários pra suprir a demanda elétrica da embarcação juntamente com geradores de eixo. A seguir, está representado um diagrama esquemático do sistema Híbrido.

**Figura 9: Representação de um navio com propulsão híbrida**



Fonte: [www.aka-group.com/marine-power/xeropoint-hybrid-propulsion](http://www.aka-group.com/marine-power/xeropoint-hybrid-propulsion)

### 3 TIPOS DE PROPULSORES

Com o avanço das pesquisas e da tecnologia, além da busca de se ter os equipamentos mais eficientes e econômicos para os navios mercantes foram desenvolvidos vários tipos de propulsores para cada situação, ou seja, cada tipo de navio e cada área de trabalho.

#### 3.1 Hélices de passo fixo

Um hélice de passo fixo será um hélice com ângulo de passo fixo e um hélice de passo controlável será um hélice com ângulo de passo controlável. A grande maioria das embarcações possui hélices de passo fixo, isto é, hélices em que não se consegue mudar o ângulo de passo, conforme a vontade do controlador.

Neste tipo de propulsor as pás estão fixas no cubo do hélice e tem-se a razão diâmetro do cubo pelo diâmetro do hélice está dentro da faixa de 0,18 a 0,20. O ângulo das pás não pode ser controlado. As fixações das pás no cubo do hélice podem ser parte de um único bloco de fundição ou podem ser feitas separadamente na fundição. Existem dois tipos de passo fixo: o constante, onde as pás fixadas no hub não apresentam curvatura; e o passo progressivo, que as pás apresentam curvatura progressiva, isto modifica as suas áreas de contato com a água com a rotação do propulsor.

**Figura 10: Hélice passo fixo**



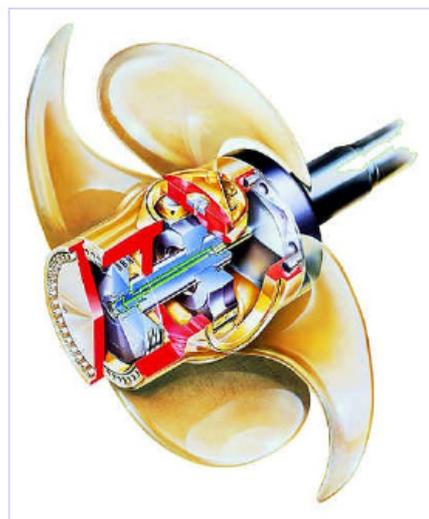
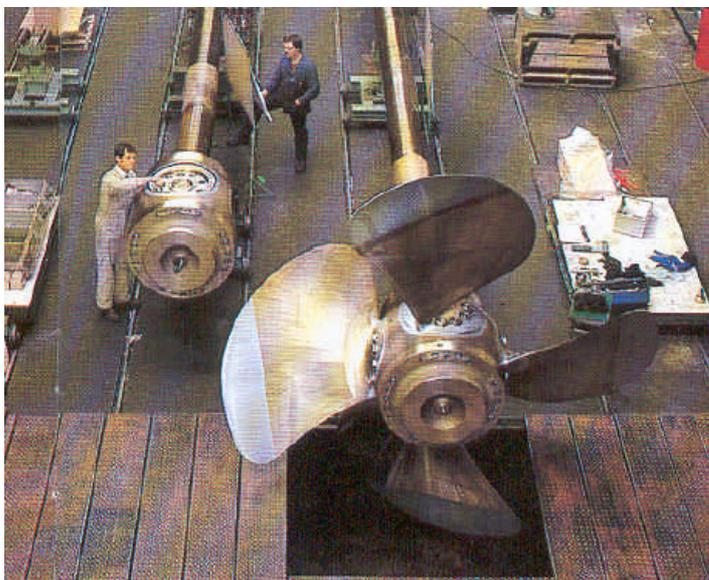
**Fonte: GERK, Hermann Regazzi. Slide Propulsão e Propulsores especiais**

### 3.2 Hélices de passo controlável

Este tipo de hélice facilita a manobra do navio, tornando-a bem mais rápida. Este sistema incorpora uma tecnologia de resposta rápida com nível de ruídos e vibrações perto do limite de zero. Pode ser utilizado em qualquer tipo de embarcação. Tem ao seu favor o fato de serem extremamente robustos e preparados para operarem em condições adversas de mar com baixo custo de manutenção.

Hélice de passo controlável permite ajustar o passo para as diferentes condições de carregamento no hélice, assim pode-se controlar a velocidade do navio apenas com a alteração do ângulo de ataque das pás. Em comparação com o hélice de passo fixo os valores do custo inicial e manutenção são superiores. Este tipo de propulsor é bem utilizado em embarcações de apoio offshore, tais como o PSV. O ajuste do passo das pás, que proporciona a máxima eficiência que pode ser obtida e gera uma economia de combustível.

**Figura 11: Hélice de passo controlável**



**Fonte: GERK, Hermann Regazzi. Slide Propulsão e Propulsores especiais**

### 3.3 Hélice com duto

Este modelo não é tão difundido nas embarcações mercantes, porém possui bom desempenho em situações de grande carga no hélice e baixa

carga, ou seja, nas situações extremas. Pois ele consiste em um hélice dentro de um duto, este pode ser separado em duto acelerador e duto desacelerador, tendo como objetivo principal com o duto acelerador ter uma maior eficiência em situações de forte carregamento do hélice e com o duto desacelerador reduzir da cavitação.

### 3.4 Propulsor gêmeo (SRP)

Este propulsor também conhecido como Schottel Rudder Propeller possibilita a utilização da força total de propulsão para a manobra da embarcação através da rotação de 360° da parte subaquática e converte a potência do motor em impulso duplo com dois hélices que giram no mesmo sentido. Isto trouxe a necessidade de um sistema bem alinhado com sincronismo dos hélices e tubo de governo que proporcionaram aumento da eficiência em relação a apenas um hélice. Esta tecnologia do duplo hélice distribui a potência nos dois hélices reduzindo a carga em cada hélice e aumentando desta forma a eficiência do sistema quando submetido a cargas elevadas. Propulsor gêmeo tem 20% a mais de eficiência propulsiva comparado aos propulsores comuns.

**Figura 12: Twin Propeller**



**Fonte: GERK, Hermann Regazzi. Slide Propulsão e Propulsores especiais**

### 3.5 Propulsor lateral (Tunnel Thrust)

Os Tunnel Thrusts foram inicialmente aplicados nas proas de ferrie boats e rebocadores, esses versáteis equipamentos de controle rapidamente se tornaram populares em embarcações envolvidas no serviço *offshore* e grandes navios. Esse dispositivo ajuda a manobrar perto de navios, plataformas, portos etc. E ainda disponibiliza controle preciso a baixas velocidades através de pontes e canais estreitos e rasos.

Atualmente os Tunnel Thrusters são encontrados em todo o mundo em operações que necessitam de navios com manobras precisas.

É comum encontrar este tipo de propulsor em embarcações de apoio offshore, pois estas embarcações tem a necessidade de maior manobrabilidade, tem-se este propulsor aplicado tanto na proa quanto na popa. Este propulsor é posicionado lateralmente nos navios, um exemplo é quando colocado na proa, chama-se Bow Thrust.

**Figura 13: Bow Thrust**



Fonte: [https://en.wikipedia.org/wiki/Manoeuvring\\_thruster](https://en.wikipedia.org/wiki/Manoeuvring_thruster)

### 3.6 Propulsor Cicloidal (Voith Schneider)

Voith-Schneider Propeller é um propulsor que dispensa o leme além de proporcionar imediata resposta ao comando. É simultaneamente um sistema propulsor de manobra do navio. Sua rapidez na transição de direção e

intensidade de empuxo permite, inclusive, que a embarcação anule o efeito de ondas, tornando-se absolutamente estável. Este sistema de propulsão cicloidal é composto de dois conjuntos de laminas verticais móveis fixados em discos paralelos ao fundo do rebocador

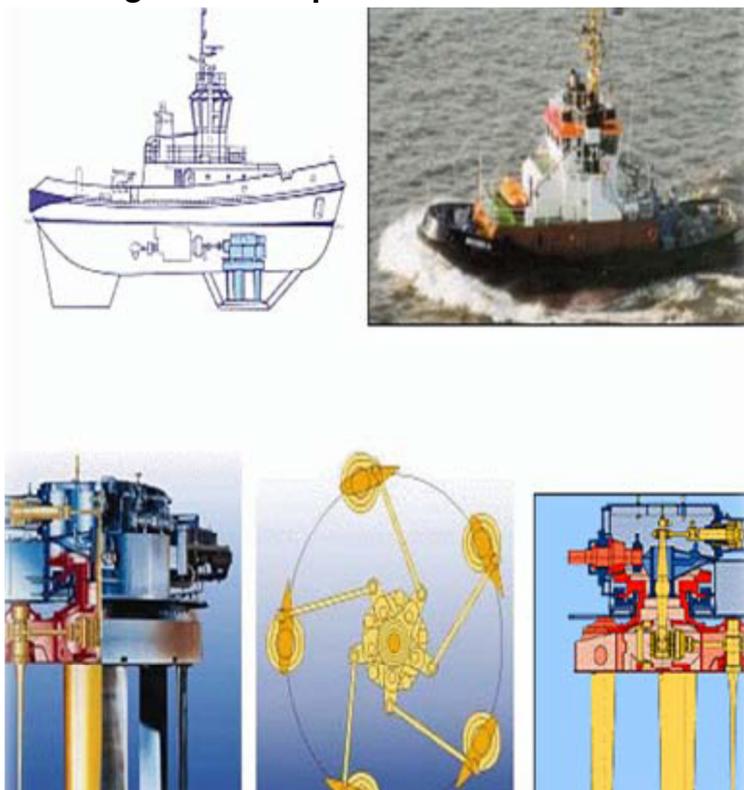
Os dois conjuntos são localizados na mesma linha transversal e, geralmente, a vante do rebocador. É necessário um estabilizador localizado a ré, na altura do ponto de tração, com o objetivo de aumentar a estabilidade de governo.

Um sistema motor move um disco horizontal que tem acoplados perfis hidrodinâmicos verticais onde se geram forças hidrodinâmicas de propulsão. O disco move-se em torno de um eixo vertical e os perfis verticais podem se orientar em torno de seus próprios eixos verticais.

Por orientação dos perfis verticais é possível criar um força propulsiva em qualquer direção horizontal. A eficiência é cerca de 30% a 40% inferior à dos hélices.

Este sistema é indicado para navios que necessitam de excelentes capacidades de manobras.

**Figura 14: Propulsor Voith Schneider**



Fonte: GERK, Hermann Regazzi. Slide Propulsão e Propulsores especiais

### 3.7 Propulsor contra-rotativo (CRP)

O propulsor Contra-Rotativo possui dois hélices em linha, porém nesta configuração temos sentidos de rotação diferentes com um eixo de rotação concêntrico. Este sistema é conhecido como Contra-Rotating Propeller e tem como objetivo recuperar a perda de eficiência realinhando o escoamento, ou seja, para aproveitar a energia cinética perdida no movimento circular do escoamento. Isto proporciona também a possibilidade de transmitir mais energia para um dado raio.

O sistema de contra rotação das hélices, que também é conhecido como hélices coaxiais contra rotativas, aplica a potência máxima do pistão geralmente a um único motor turbohélice ou a movimentação de duas hélices em rotação contrária.

Duas hélices são dispostas uma atrás da outra, e a energia é transferida do motor através de uma engrenagem circular ou estimula a transmissão de engrenagens. Quando a velocidade é baixa a massa de ar que passa através do disco da hélice (pressão) faz com que uma quantidade significativa de fluxo de ar tangencie as lâminas giratórias. A energia desse fluxo de ar tangencial é desperdiçada quando se tem um único projeto-hélice. Para usar este esforço desperdiçado a colocação de uma segunda hélice atrás do primeiro aproveita então o fluxo de ar.

**Figura 15: Propulsor Contra-Rotativo**



**Fonte: GERK, Hermann Regazzi. Slide Propulsão e Propulsores especiais**

### 3.8 Propulsor azimutal e AZIPOD®

Este tipo de propulsor se diferencia dos demais pela não necessidade de leme na embarcação, pois este sistema consegue girar 360 graus, com isso proporciona uma ótima manobrabilidade. Ele é uma combinação dos sistemas de direção e propulsão. Consiste em um motor elétrico que fica fixo no casco, no caso dos azimutais; e fica fora do casco, ou seja, dentro do POD, no caso dos Azipods. Devido a essas características esse tipo de propulsor vem ganhando espaço no mercado.

As manutenções, principalmente dos POD, são mais simples, pois são padronizadas, o que proporciona um menor tempo necessário de manutenção, notabilizando outra vantagem em relação aos propulsores tradicionais. Inspeções podem ser realizadas dentro dos propulsores, facilitando assim um diagnóstico mais elaborado de problemas. Nos períodos de docagem, o fato de não ter uma linha de eixo faz com que o período de docagem seja menor deixando tempo para outras manutenções.

**Figura 16: Propulsor AZIPOD® duplo**



Fonte: <http://www.motorship.com/news101/industry-news/azipods-ordered-for-two-rclcruise-ships>

## 4 AS PRINCIPAIS VANTAGENS DA PROPULSÃO ELÉTRICA

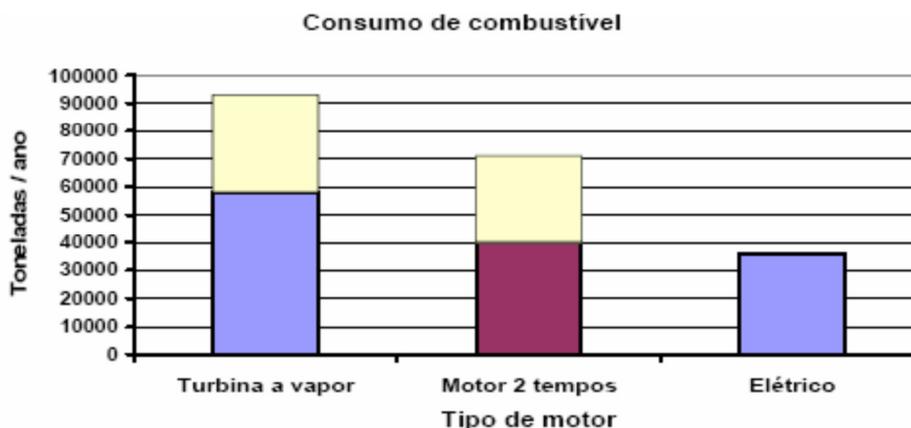
### 4.1 Diminuição do Consumo de Combustível

Em navios com propulsão mecânica tradicional, a velocidade do motor é que define a rotação do hélice; conseqüentemente, dependendo do perfil de operação do navio, o motor pode não operar na faixa de rendimento ótimo, associado às altas velocidades. Isto significa desperdício de combustível e excessivo desgaste mecânico.

Com o uso da propulsão elétrica, este problema é eliminado, e o motor primário pode operar no ponto de melhor rendimento independente da velocidade de rotação do hélice. Em virtude da extinção da conexão mecânica entre motor primário (que gera potência através da queima de combustível) e o eixo propulsor, não existe mais relação direta entre a velocidade do eixo do motor primário e a rotação do hélice. Segundo o documento da referência [9], a Marinha Americana estimou a eficiência energética em aproximadamente 17% melhor que em relação à propulsão convencional mecânica.

De acordo com a linha de pesquisa apresentada em, que comparou três tipos de instalações propulsoras diferentes, para um mesmo navio gaseio, durante um ano de operação, a Propulsão Elétrica foi a que apresentou os melhores resultados e as maiores vantagens em relação ao consumo de combustível, conforme é visto na figura 17.

**Figura 17: Consumo de Combustível por tipo de motor**



Fonte: GERK, Hermann Regazzi. Slide Propulsão e Propulsores especiais

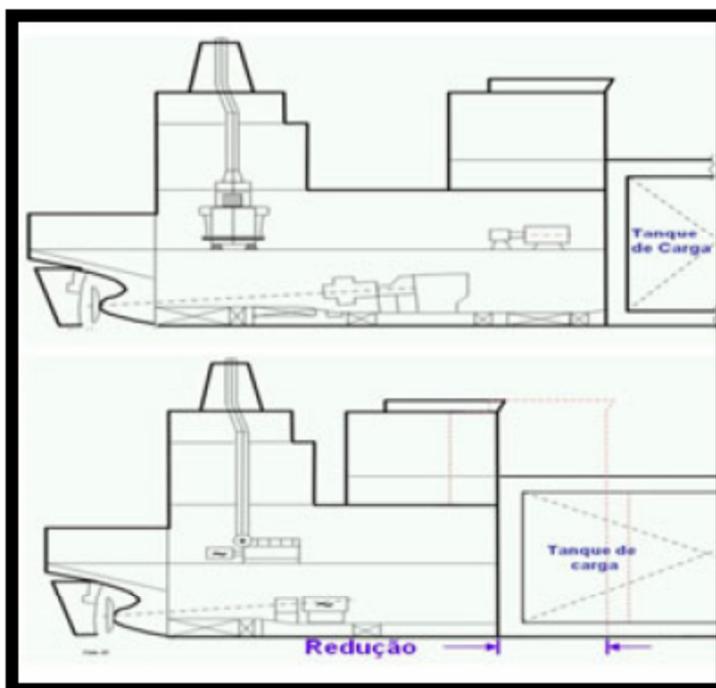
## 4.2 Diminuição da Tripulação

A tendência para os futuros navios elétricos é de uma ampla difusão de sistemas auxiliares e acessórios alimentados por eletricidade, em substituição aos sistemas mecânicos, hidráulicos e pneumáticos. Sistemas elétricos são mais fáceis de controlar à distância e possuem maior compatibilidade com controles eletrônicos. Esta tendência possibilita o incremento de automação com conseqüente redução de tripulação, proporcionando adicional benefício através da redução de custo operacional.

## 4.3 Flexibilidade do Projeto

Os equipamentos da propulsão elétrica são modulares e não precisam ser posicionados próximos uns aos outros (podem inclusive ser instalados em compartimentos diferentes). Dependendo do tamanho das máquinas, elas podem ser instaladas nas partes mais altas do casco, deixando apenas o motor elétrico junto ao fundo do casco conectado ao propulsor.

**Figura 18: Distribuição dos Equipamentos na Praça de Máquinas**



Fonte: GERK, Hermann Regazzi. Slide Propulsão e Propulsores especiais

Observa-se na figura 18 um ganho no espaço destinado ao transporte de cargas reposicionando a máquina diesel no convés superior, e desta forma, reduz-se o volume ocupado pelos dutos de admissão e exaustão dos motores.

Como resultado desta flexibilização, torna-se desnecessário concentrar equipamentos em praças de máquinas principais; sendo possível espalhar os compartimentos de máquinas pelo navio, em áreas menos críticas, com um aproveitamento otimizado do espaço disponível a bordo.

No navio com propulsão elétrica não são necessários motores auxiliares. Toda energia demandada pelo navio será gerada pelos motores principais. Esta diminuição na quantidade de motores também provoca redução de custos e economia de espaço.

A modularidade do sistema permite também que em altas velocidades sejam utilizados todos os dispositivos de acionamento principal e, nas velocidades econômicas sejam desligados os que não forem necessários.

#### **4.4 Beneficiamento das redundâncias dos sistemas**

A modularidade e a flexibilidade proporcionam um sistema de geração de energia e de sistemas redundantes, distribuídos e reconfiguráveis. Conseqüentemente os danos em um compartimento de máquinas, sejam provocados por incêndio, alagamento, colisão ou simples mau funcionamento, podem facilmente ser detectados e “by-passados”, mantendo-se o funcionamento do sistema para o afastamento de uma unidade, por exemplo.

A facilidade para o redirecionamento da energia elétrica a bordo, possibilita uma gama de possibilidades de ações para minimizar os efeitos decorrentes de múltiplas falhas simultâneas, propiciando redundâncias.

#### **4.5 Aumento da Vida Útil do Navio**

Os navios militares modernos incorporam cada vez mais sensores e armas de alta complexidade tecnológica, que os tornam muito mais potentes do que os navios de gerações anteriores. Já os investimentos necessários para a aquisição destes meios têm crescido numa progressão ainda maior, tornando

difícil justificar este gasto considerando o tempo de vida útil dos navios tradicionais.

Com o evento da automação dos sistemas de armas, nas décadas de 1980 e 1990, mais equipamentos elétricos e eletrônicos estão sendo incorporados aos navios, aumentando a demanda por energia elétrica. Isto vem fazendo com que os geradores instalados a bordo sejam de potência mais elevada, a fim de suprir a demanda já instalada e manter uma reserva para crescimento futuro. A futura adoção das armas elétricas, que estão atualmente em pleno desenvolvimento, tende a agravar ao extremo esta situação.

Com a propulsão elétrica, o cenário muda radicalmente. Os geradores de bordo alimentam simultaneamente a propulsão, as auxiliares e os sistemas de armas, através de um sistema de distribuição redundante e reconfigurável. Os motores são dimensionados para atender ao navio em velocidade máxima, com todos os sistemas vitais em operação.

Com isto, em velocidade normal, o navio possui capacidade de geração em excesso, capaz de atender todos os usuários com folga, assimilando sem dificuldades as substituições ou inclusões futuras de novos equipamentos ou sistemas.

Os navios projetados com propulsão elétrica podem ter vida útil maior, da ordem de 50 anos, contra 25 ou 40 anos dos navios com propulsões tradicionais.

#### **4.6 Diminuição dos Custos de Manutenção**

A viabilidade da existência de uma tecnologia comum dentre as diversas plataformas navais (ex: navios de superfície e submarinos), com a adoção da Propulsão Elétrica, possibilitará a coordenação do desenvolvimento e aplicação de modelos comuns, ferramentas de projetos, métodos de fabricação, novos materiais, componentes, sistemas, contribuindo para significativas reduções no risco do projeto e maximizando os custos e a logística.

Uma vez que com a adoção da Propulsão Elétrica não são necessários motores auxiliares, esta redução na quantidade de equipamentos instalados resulta numa diminuição dos custos de manutenção. Associado a este fato, sabe-se que os equipamentos elétricos apresentam custos e períodos menores

de manutenção e devido à elevada automação dos sistemas elétricos, as manutenções preditiva e preventiva são ferramentas eficazes para a redução dos custos totais de manutenção.

#### **4.7 Diminuição da Emissão de Poluentes**

Atualmente todas as Marinhas do mundo são pressionadas pelos órgãos ambientais para que as mesmas em seus projetos de futuros navios, e também em relação aqueles já em funcionamento, apresentem uma redução na quantidade de poluentes emitidos durante a realização das operações militares.

Todos os tipos de poluentes emitidos (gasosos, líquidos ou sólidos) estão sendo cada vez mais monitorados e as legislações (ex: MARPOL) estão sendo elaboradas com requisitos mais rigorosos.

Em decorrência das pressões internacionais busca-se utilizar cada vez menos combustíveis fósseis. As emissões de gases poluentes oriundas da queima de óleo diesel e gasolina são os maiores responsáveis pelo efeito estufa. Neste contexto, a propulsão elétrica está sendo fortemente indicada, principalmente para navios que operam em países que assinaram o Protocolo de Kyoto.

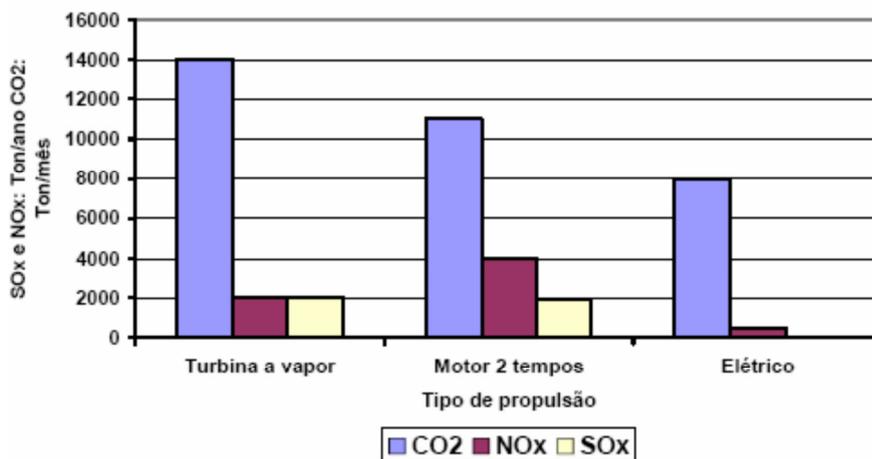
Durante a operação com navios civis e militares, deve-se sempre levar em conta os aspectos ambientais do transporte. Neste sentido, a utilização da propulsão elétrica apresenta vantagens em relação à propulsão mecânica, tais como:

- Redução das emissões de gases poluentes oriundos da queima do óleo diesel;
- Menor utilização de insumos que podem gerar resíduos poluidores; e
- Menor emissão de ruídos durante as viagens.

De acordo com a linha de pesquisa apresentada, a figura 19, apresenta claramente que a Propulsão Elétrica gera menos gases poluentes que os sistemas convencionais (que operam somente com turbinas a vapor ou motor diesel), pois o motor diesel opera constantemente no ponto ótimo de projeto, o que proporciona uma redução no consumo de combustível e conseqüentemente uma menor liberação de gases poluentes (ex: CO<sup>2</sup> - Dióxido Carbônico, NO<sub>x</sub> – Óxido de Nitrogênio e SO<sub>x</sub> – Óxido de Enxofre) durante as

operações. É interessante destacar que o modelo utilizado na pesquisa considerou também a geração de gases durante a operação portuária e tempos com o navio parado durante as viagens.

**Figura 19: Emissões de Gases na Atmosfera por Tipo de Motor**



**Fonte: GERK, Hermann Regazzi. Slide Propulsão e Propulsores especiais**

No futuro não somente os poluentes emitidos durante a vida operativa do navio serão controlados, mas também todos aqueles produzidos durante a sua construção até o encerramento do período operativo do meio (desativação do meio naval). É uma nova filosofia, ainda de difícil aplicação prática, mas que está ganhando muita força nos dias atuais, devido às atitudes políticas de interesse mundial.

#### **4.8 Diminuição da Assinatura Acústica**

Na Propulsão Elétrica não é necessário haver o alinhamento das máquinas acionadoras principais com as linhas de eixo, tornando, portanto desnecessária a utilização de engrenagens redutoras. A eliminação desta engrenagem contribui significativamente para a redução nos níveis de ruído e vibração, garantindo desta forma uma significativa diminuição da assinatura acústica do meio, reduzindo conseqüentemente a possibilidade do navio ser detectado.

Além disto, os motores elétricos apresentam menor nível de ruído irradiado, devido às suas características construtivas e, portanto, não produzem tanta vibração e ruído quanto os equipamentos mecânicos.

E à medida que os sistemas e equipamentos que atualmente são mecânicos forem substituídos pelos elétricos, ocorrerá à diminuição da assinatura acústica total emitida.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A busca incessante do ser humano por novas alternativas de energia sustentável gerando uma maior eficiência energética é sempre um desafio para a sociedade que tem se intensificado nos últimos anos, assim inúmeras pesquisas e novas tecnologias estão sendo criadas e disponibilizadas numa velocidade enorme.

Um sistema elétrico completo para ser analisado é um processo demorado e minucioso, este sendo feito nos mínimos detalhes irão surpreender até os mais experientes conhecedores de tecnologia.

O sistema diesel-elétrico não é mais novidade para o mercado mundial e mostra que está crescendo e evoluindo para que no futuro próximo essa tecnologia esteja implementada em grande parte das embarcações marítimas.

Abaixo serão listadas as principais vantagens associadas à adoção do sistema diesel-elétrico:

- Facilidade para adoção de controles automáticos e remotos;
- Excelente controle de velocidade e torque em toda faixa de velocidade;
- Não é necessário usar hélice de passo controlável, haja vista que, o custo deste hélice representa cerca de 33% do valor da máquina principal, enquanto que, o hélice de passo fixo representa apenas 8%;
- Maior capacidade de reversão rápida de velocidade, propiciando a redução de tempo e distância de parada brusca (30 a 50% de redução na distância de parada, em caso de emergência);
- Flexibilidade no gerenciamento da distribuição da potência em operações normais e rápida recuperação após a detecção de defeitos (incêndios, alagamentos, ataques a bala, e outros tipos de falhas); e
- Redução do ruído do motor e da vibração transmitida do eixo ao hélice.

O objetivo deste trabalho é mostrar as vantagens da utilização do sistema diesel elétrico, várias delas foram citadas anteriormente, diante disso, podemos dizer que a constante evolução tecnológica e a busca pela eficiência só tem a favorecer a Marinha Mercante. Podemos notar então que o objetivo foi concluído, a tendência natural será todos os navios do futuro usando sistema diesel elétrico, além disso, os sistemas híbridos com certeza será uma nova tendência dessa evolução onde o objetivo a ser alcançado serão sistemas mais eficientes, seguros e melhor ao meio ambiente.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arrington, J., W. **The Analysis of Components, Designs, and Operation for Electric Propulsion and Integrated Electrical System, Master of Science in Electrical Engineering, Naval Postgraduate School (NPS).** Monterey. California, USA, 1998.

Freire, P., R., M., Ferreira, C., L.. **Propulsão Elétrica – Histórico e Perspectivas Futuras. 20º Congresso Nacional de Transporte Marítimos. Construção Naval e Offshore – Exponaval 2004,** Sociedade Brasileira de Engenharia Naval – Sobena.

Harrington, R.L., **Reliability and maintainability analyses of shipboard systems. In: Marine Technology.** Society of Naval Architects and Marine Engineers Sname. New York, EUA. 1970.

WEISS, James M. G. **Desenvolvimento de Supply Boats para Operações na Bacia de Santos.**

ALVES, Renata Nunes. **Propulsão Elétrica de Navios.** <<http://pee.ufrj.br/teses/textocompleto/2007102901.pdf>>. Acesso em: Junho 2019

WARTSILA.Marine Products. Disponível em: <<http://www.wartsila.com/en/marine-solutions/products/products>>. Acesso em: Junho 2019.

COSTA, Fernanda. **Introdução a Marinha Mercante,** 2015.

GERK, Hermann Regazzi. **Hidrodinâmica para navegantes,** 2016