



**MARINHA DO BRASIL  
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA  
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA MARINHA  
MERCANTE**



**DIEGO SALGADO DE LIMA**



**A PROPULSÃO ELÉTRICA NOS NAVIOS  
MERCANTES**

**RIO DE JANEIRO  
2013**

**DIEGO SALGADO DE LIMA**

**A PROPULSÃO ELÉTRICA NOS NAVIOS MERCANTES**

Monografia apresentada como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Orientador: Professor Engenheiro Hermann Regazzi Gerk

Rio de Janeiro

2013

**DIEGO SALGADO DE LIMA**

**A PROPULSÃO ELÉTRICA NOS NAVIOS MERCANTES**

Monografia apresentada como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas para Oficiais de Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Data da Aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Orientador (a): \_\_\_\_\_

Professor

\_\_\_\_\_  
Assinatura do Orientador

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

Aos meus pais, Carlos e Néia, aos  
quais devo tudo em minha vida e à minha  
namorada Amanda Neves que sempre me  
apoiou em tudo.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu professor de inglês Jander Barbosa.

Ao Oficial Superior de Máquinas Jorge Romanelle que sempre se pôs a disposição para sanar minhas dúvidas e me inspirou bastante.

Ao meu orientador professor Herman pelo auxílio e disponibilidade.

Obrigado pelo apoio.

## **RESUMO**

Este trabalho visa mostrar o sistema de propulsão elétrica usado pelo setor mercante. Essa monografia tem o propósito de detalhar todos os equipamentos necessários para essa operação, bem como mostrar as vantagens desse tipo de propulsão que ganha terreno no setor marítimo, além de mencionar que aparece como solução para a redução de custos e de emissão de poluentes.

Palavras-chave: Propulsão elétrica. Emissão de poluentes. Azimutais.

## **ABSTRACT**

This paper aims to show an electric propulsion system used by Merchant sector. Moreover, this monograph has a purpose to detail all equipment necessary for its operation. As well as shows the advantages of this type of propulsion which gains ground in the marine world. Not to mention that it is seems to be a solution to spend and reduce the emission of pollutants.

Key-words: Electric propulsion. Emission of pollutants. Azimuth.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b>	09
<b>1 A PROPULSÃO DOS NAVIOS MERCANTES</b>	10
1.1 TIPOS DE PROPULSÃO	10
1.1.1 PROPULSÃO A VELA	10
1.1.2 PROPULSÃO A VAPOR	11
1.1.3 PROPULSÃO MECÂNICA	11
1.1.4 PROPULSÃO ELÉTRICA	11
1.1.5 PROPULSÃO HÍBRIDA	11
1.2 A EVOLUÇÃO DA PROPULSÃO DOS NAVIOS MERCANTES	12
<b>2 PROPULSÃO ELÉTRICA</b>	14
2.1 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	14
2.1.1 GERADORES A DIESEL	15
2.1.2 TURBINAS A GÁS	16
2.2 MOTOR SÍNCRONO A IMÃS PERMANENTES (MSIP)	16
2.3 INVERSORES DE FREQUÊNCIA	18
2.3.1 CURVA V/F	19
2.3.1 INVERSORES DE FREQUÊNCIA ESCALARES	19
2.3.2 INVERSORES DE FREQUÊNCIA VETORIAIS	19
2.4 TRANSFORMADORES	20
2.5 TRANSMISSÃO	20
2.5.1 MECÂNICA	20
2.5.1.1 CONVENCIONAL	21

2.5.1.2 Z DRIVE	21
2.5.1.3 L DRIVE	21
2.5.2 PODDED	22
<b>3 VANTAGENS</b>	<b>23</b>
3.1 REDUÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL	23
3.2 FLEXIBILIDADE E REDUNDÂNCIA DE SISTEMAS	23
3.3 REDUÇÃO DOS CUSTOS COM MANUTENÇÃO	24
3.4 REDUÇÃO DA EMISSÃO DE POLUENTES	24
3.5 REDUÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDOS	25
3.6 MANOBRABILIDADE	25
3.7 GANHO DE ESPAÇO A BORDO	26
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>27</b>

## INTRODUÇÃO

Instalações elétricas estão presentes em todos os navios independentemente do seu propósito e a ideia de se acoplar a propulsão a este sistema elétrico não é nova. No fim do século XIX, experiências com aplicação de baterias suprimindo um sistema de propulsão elétrica foram feitas na Rússia e Alemanha. O primeiro sistema de propulsão elétrica com geração de energia foi implementado na década de 20 num esforço para se reduzir o tempo das travessias dos navios de passageiros. Nesse sistema, havia geradores que alimentam e variavam a velocidade dos motores elétricos através da sua variação de frequência. Com a introdução dos motores a diesel de alta eficiência e economia em meados do século XX, a propulsão elétrica e as turbinas a vapor foram desaparecendo dos navios mercantes até a década de 80.

O desenvolvimento dos inversores de frequência alavancou novamente o sistema de propulsão elétrica. 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.

No início da década de 90, mais uma inovação no campo da propulsão elétrica foi apresentada. A propulsão por PODs começou a ser instalada em navios quebra-gelo. Os PODs possuem a capacidade de girar 360° e nele o motor elétrico fica submerso acoplado a um hélice de passo fixo. Essa inovação aumentou a capacidade de manobra dos navios e melhorou sua eficiência hidrodinâmica.

Atualmente os navios de passageiros tem como padrão a propulsão elétrica e muitas marinhas o mundo já adotaram esse tipo de propulsão para seus navios



Fig.1:Esquema de um navio com propulsão elétrica e acionamento do hélice por linha de eixo

## CAPÍTULO 1

### PROPULSÃO DOS NAVIOS MERCANTES

Entende-se por propulsão todo e qualquer meio que coloque uma embarcação em movimento. Dentre os diversos tipos de propulsão podemos citar a propulsão a vela, a vapor, mecânica e elétrica.

A propulsão de um navio mercante sempre desempenhou papel fundamental no desenvolvimento do transporte marítimo. Das velas aos modernos motores elétricos, os sistemas de propulsão sempre determinaram a velocidade, quantidade de carga transportada e autonomia de um navio, além de interferir na questão econômica, pois os gastos com combustíveis representam uma fatia grande nas despesas totais para o armador.

#### 1.1 TIPOS DE PROPULSÃO

Cada tipo de sistema de propulsão teve sua época áurea, devido a fatores econômicos foram desaparecendo ou aperfeiçoados. A criação de novas tecnologias pertimiu a elaboração de sistemas cada vez mais econômicos e menos ruidosos.

Os sistemas de propulsão se diferenciam pela sua máquina propulsora que é responsável pela geração de empuxo para mover a embarcação.

##### 1.1.1 PROPULSÃO A VELA

A propulsão a vela consiste em velas latinas (triangulares) e redondas (quadradas) impulsionando um navio. Neste tipo de propulsão não há máquinas sendo utilizadas para impulsionar a embarcação, a força dos ventos é responsável por dar movimento à embarcação, o aranje das velas dita a velocidade e os rumos que podem ser assumidos.

Atualmente tem aplicação em embarcações com fins recreativos, representativos e esportivos, mas recentemente foi desenvolvida uma espécie de “pipa” que era utilizada com o sistema de propulsão mecânica tradicional para aumentar a economia do navio e reduzir a emissão de poluentes. Essa “pipa” foi instalada inicialmente no navio Beluga SkySails.

### 1.1.2 PROPULSÃO A VAPOR

A propulsão a vapor teve seu ápice no século XIX. Nesse sistema de propulsão, uma caldeira produz vapor para movimentar uma turbina ou um motor a vapor que movimentava inicialmente uma roda de pás que seria substituída pelo hélice.

Com o advento do motor de combustão interna e fatores econômicos, este tipo de propulsão foi deixado de lado, sendo hoje utilizada apenas em embarcações representativas,

Atualmente o vapor a bordo é utilizada para aquecimento de forma geral ou geração de energia por meio de turbo geradores.

### 1.1.3 PROPULSÃO MECÂNICA

O sistema de propulsão mecânica convencional é o mais difundido nos navios mercantes. Nesse tipo de propulsão, um motor de combustão interna, chamado de Motor de Combustão Principal (MCP), do ciclo diesel movimenta um hélice por meio de um eixo propulsor. Dentre as diversas configurações de MCP pode-se citar motores de 2 ou 4 tempos; motores de alta, média e baixa velocidades; motores de pequeno, médio ou grande porte.

A maioria dos MCPs de grande e médio porte utilizam tanto o óleo diesel quanto o óleo pesado, o que é uma grande vantagem devido ao fato de o óleo pesado ser extremamente barato, tornando viável o sistema de propulsão mecânica.

### 1.1.4 PROPULSÃO ELÉTRICA

A propulsão elétrica ainda é recente no meio marítimo e não tão difundida quanto a propulsão mecânica, mas ganha terreno a cada dia devido à eficiência e reduzidíssima emissão de poluentes. Nesse sistema de propulsão, um motor elétrico alimentado por um grupo de geradores de energia movimenta um hélice propulsor.

Quanto ao tipo de transmissão de movimento entre o motor elétrico e o hélice, há diversas configurações e posições do motor elétrico, podendo inclusive estar fora do navio e dentro da água.

### 1.1.5 PROPULSÃO HÍBRIDA

Por propulsão híbrida entende-se que é a existência de dois meios diferentes capazes de prover movimento ao navio.

Um dos sistemas propulsão híbrida mais antigos foi o de navios movidos a vela e a remos, seguidos dos navios movidos a vapor e a vela.

Hoje em dia os navios já misturam a propulsão elétrica com a mecânica e conseguem excelentes resultados.

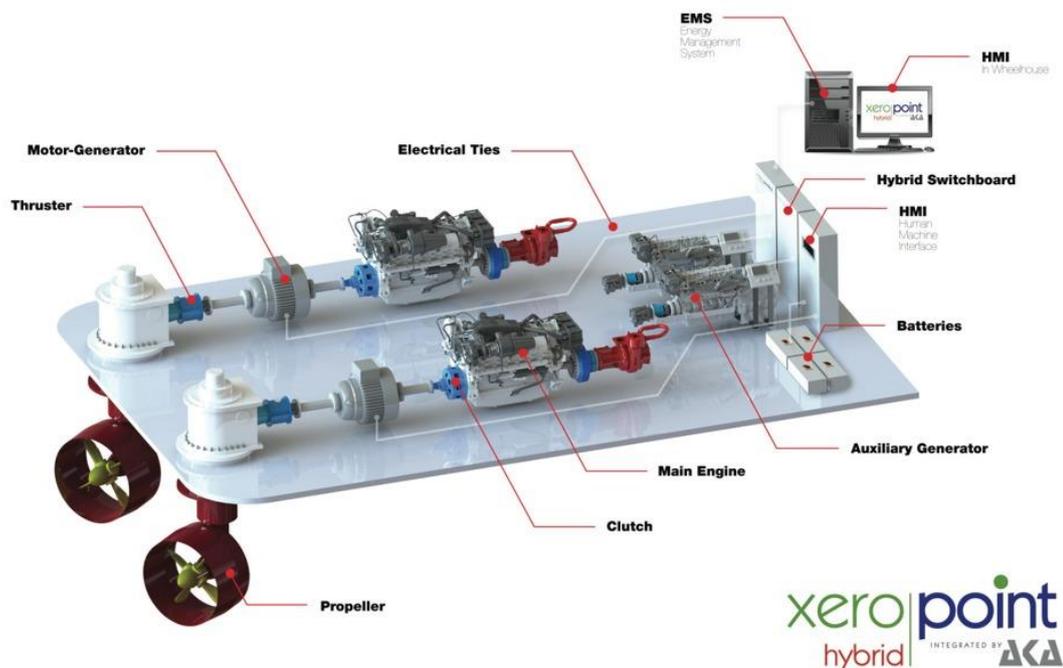


Fig.2: Representação de um navio com propulsão híbrida

## 1.2 A EVOLUÇÃO DOS MEIOS DE PROPULSÃO

O mar sempre representou uma importante fonte econômica. Os primeiros barcos que se aventuraram na conquista dos mares eram movidos à vela e surgiram no Egito, Grécia e Roma. Porém, com o ser humano desejando cada vez mais se afastar da costa, o primeiro sistema de propulsão híbrida da história foi implementado, navios movidos a vela e a remos surgiram suprimindo a deficiência das velas redondas, que não permitinham que as embarcações se movessem contra o vento. Essa limitação só teve fim com a invenção das velas latinas, permitindo um maior afastamento da costa e travessias maiores e iniciando a navegação marítima propriamente dita. Apesar de não haver gastos com combustível, as embarcações a vela apresentavam velocidades limitadas o que tornavam demoradas as viagens.

No século XIX, o advento do motor a vapor mudou o cenário marítimo. Inicialmente instalados em navios com velas, o motor a vapor permitiu às embarcações alcançarem

velocidades maiores, mas ainda havia limitações quanto à carga útil dos navios, pois os motores exigiam grandes quantidades de carvão. O surgimento do hélice, o aumento e construção totalmente metálica dos navios, o surgimento da turbina a vapor e dos motores de múltiplas expansões firmaram o vapor como meio de propulsão principal.

Porém, com o aumento no preço do diesel, os armadores começaram a procurar uma máquina propulsora com maior rendimento e o motor a diesel surgiu como solução. Esses motores possuíam um rendimento maior do que os motores a vapor. Os motores de combustão interna começaram consumindo diesel, o que os tornava caros, mas esse problema foi resolvido com o óleo pesado, um combustível de baixa qualidade e barato, o que reafirmou a propulsão mecânica no mercado até os dias de hoje.

Apesar das vantagens dos motores a diesel, os espaços requeridos para suas instalações ainda são grandes, ou seja, perde-se espaço de carga para instalações de máquinas. O espaço requerido e peso de uma instalação do sistema de propulsão mecânica são tão grandes que o navio é projetado em função do MCP. Visando a redução dos gastos com máquinas e aumento dos espaços criou-se a propulsão elétrica. Eliminando-se o MCP e todos os sistemas necessários para o seu funcionamento libera-se muito espaço no navio que pode ser utilizado para carga ou conforto da tripulação, além de reduzir a temperatura na praça de máquinas, reduzir o nível de ruídos no navio, reduzir a emissão de poluentes e aumentar a economia da embarcação.

## CAPÍTULO 2

### PROPULSÃO ELÉTRICA

A idéia de se ter um motor elétrico propulsando um navio não é recente, sua consolidação só se tornou realidade devido aos avanços nas últimas décadas realizados na área da eletrônica de potência, o que permitiu um controle mais preciso da velocidade e aumento da potência dos motores elétricos, tornando a propulsão elétrica competitiva no mercado.

Um sistema básico, porém completo, de propulsão elétrica é constituído por um grupo de geração de energia elétrica, um drive para o motor elétrico constituído de computadores, inversores de frequência e sistemas de controle de velocidade e torque, um motor elétrico, a transmissão e um hélice propulsor.

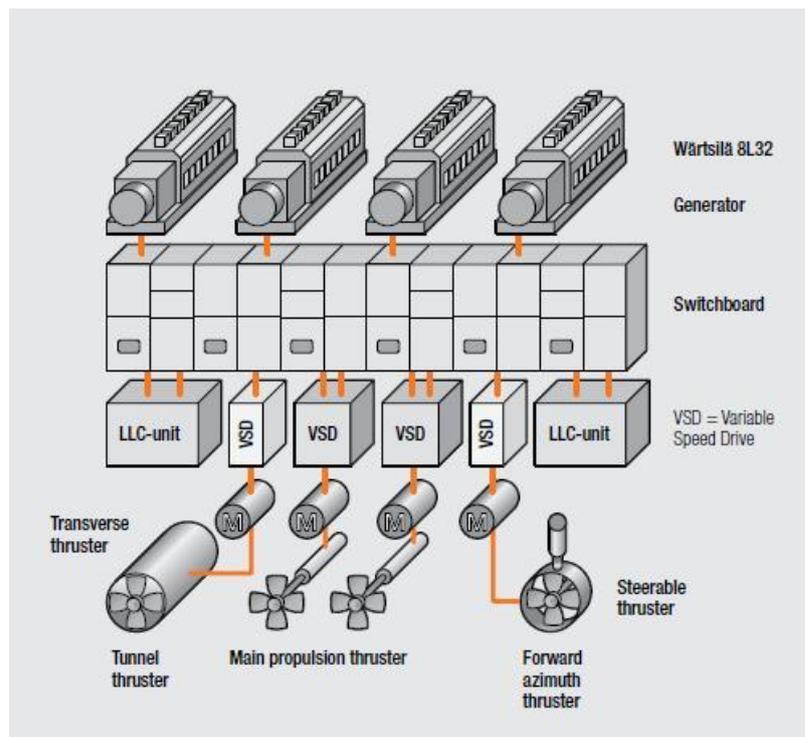


Fig. 3: Esquemática de um sistema de propulsão elétrica moderno.

#### 2.1 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

O grupo de geração de energia elétrica de bordo é vital em qualquer tipo de embarcação, independente do tipo de propulsão. Seja para fazer funcionar compressores, bombas ou iluminação, um sistema eficaz de geração de energia elétrica é essencial para o bom funcionamento da embarcação.

Num sistema de propulsão elétrica, a geração elétrica de bordo, além de suprir todos os sistemas essenciais, ainda tem que alimentar os motores elétricos de propulsão.

Quando se fala em propulsão elétrica, deve-se citar o conceito de propulsão elétrica integrada, onde a geração de energia supre o sistema de propulsão e os sistemas auxiliares ao mesmo tempo. Transformadores abaixam a tensão de alimentação dos motores de propulsão para os demais equipamentos.

Com o desenvolvimento dos motores elétricos, e consequente aumento de potência, as máquinas que movem os geradores de energia devem ser igualmente potentes e hoje há dois equipamentos que são capazes de prover a potência e tensão necessárias, sejam eles: turbinas a gás e motores a diesel.

### 2.1.1 GERADORES A DIESEL

A geração a diesel é a fonte de energia elétrica mais comum nos navios de todo o mundo. Largamente difundidos no meio marítimo, esses geradores são movidos por um motor de combustão interna do ciclo diesel que podem utilizar tanto diesel marítimo quanto óleo pesado, essa versatilidade oferece vantagens na operação e permite uma redução nos gastos com combustível. Esses geradores também trabalham em sua rotação ideal possuindo uma pequena variação de velocidade para evitar variações na frequência da rede elétrica, com isso a vida útil desses motores é otimizada.

Os geradores a diesel também apresentam reduzido nível de emissão de poluentes e estão sendo aperfeiçoados cada vez mais visando reduzir ainda mais a emissão de poluentes junto com um aumento na economia e na potência. Assim, esses equipamentos se firmam como a fonte de energia elétrica mais atrativa para navios mercantes.



Fig.4: Gerador a diesel fabricado pela empresa Wärtsilä.

### 2.1.2 TURBINAS A GÁS

A turbina a gás é uma máquina de combustão interna que trabalha no ciclo Brayton e seu funcionamento é relativamente simples. O ar entra na turbina e é comprimido pelo compressor, segue para a câmara de combustão onde o combustível se mistura com o ar comprimido e é queimado, os gases provenientes da queima passam pela turbina e giram a máquina que está acoplada a um gerador. São equipamentos extremamente eficientes e entregam grandes potências, porém necessitam de um combustível de alta qualidade que torna o seu funcionamento caro, além de exigir um compartimento com ventilação excelente, pois a demanda de ar exigida para este equipamento é grande.

As turbinas a gás são equipamentos raros na geração de energia elétrica em navios, porém há embarcações que utilizam este meio para gerar energia a bordo, como exemplo o Queen Mary 2.

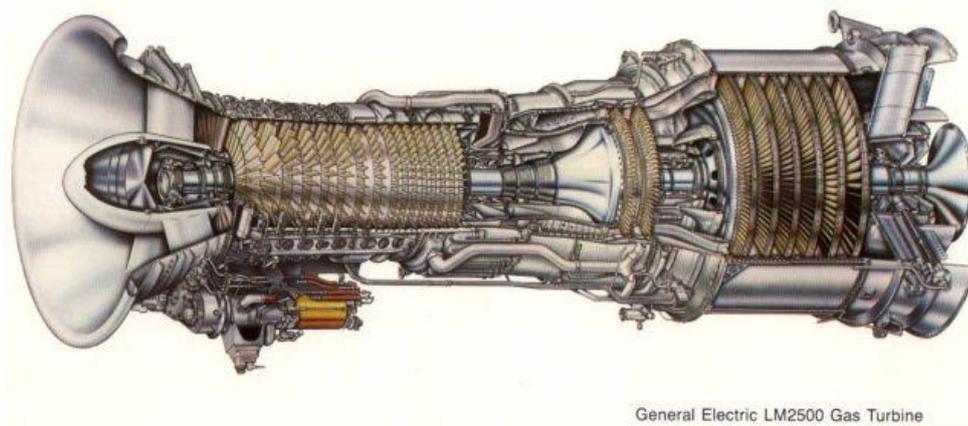


Fig.5: Turbina a Gás GE LM2500 Gas Turbine.

### 2.2 MOTOR SÍNCRONO A IMÃS PERMANENTES (MSIP)

A alma de qualquer sistema de propulsão é o motor propulsor, é ele quem diz a potência que pode ser entregue ao hélice propulsor. No caso da propulsão elétrica, um motor elétrico faz o papel de máquina propulsora e toda a vantagem e eficiência deste tipo de propulsão gira em torno dele.

Os Motores Síncronos a Imãs Permanentes (Permanent Magnetic Synchronous Motor – PMSM) são motores elétricos que possuem imãs permanentes no seu rotor e ganham cada dia mais espaço na indústria, é o motor mais atrativo para fins de propulsão naval, uma vez que possui alto rendimento, baixo volume e peso, baixo nível de vibração e ruído, torque suave,

ampla faixa de rotação com torque constante e atualmente há versões com potências de até 35Mw.

Existem dois tipos de MSIP: os de ímãs internos e os com ímãs superficiais.

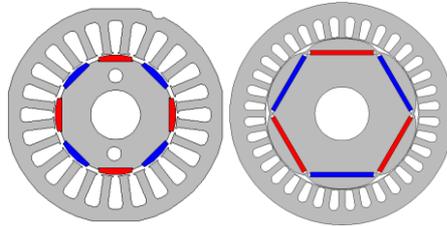


Fig.6: Motor com ímãs superficiais (esquerda) e Motor com ímãs Internos (direita)

O motor de ímãs internos ou pólos salientes possui ímãs montados internamente no rotor. Devido à geometria do rotor, este tende a produzir saliência e indutâncias do eixo direto e quadratura diferentes. Esta saliência produz torque de relutância que, somado ao torque eletromagnético devido aos ímãs, produz um maior torque resultante. Os motores de ímãs internos são capazes de funcionar em uma grande faixa de velocidades acima da nominal, com potência constante.

O motor com ímãs superficiais também é conhecido como motor de pólos lisos, pois as indutâncias do eixo direto e quadratura são praticamente iguais e constantes, apresenta uma limitada capacidade de operar em velocidades acima da nominal, com potência constante, devido à baixa indutância resultante do grande entreferro.

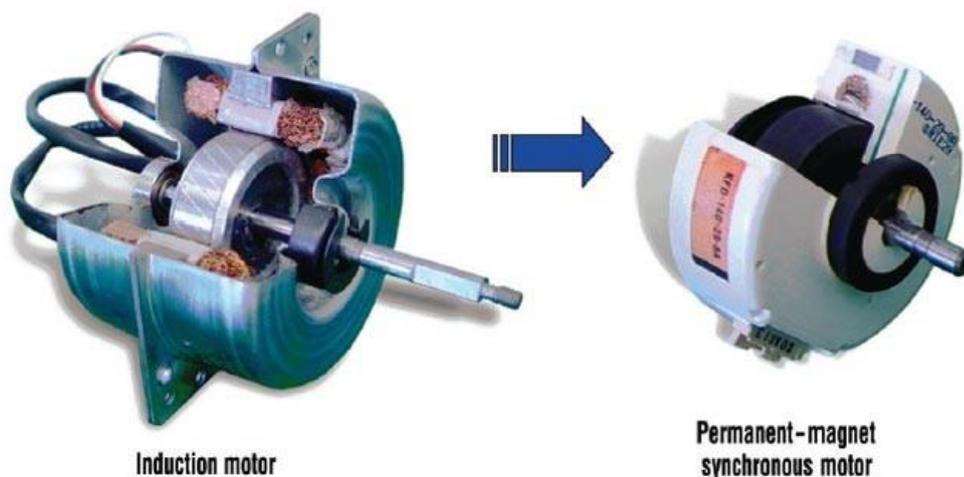


Fig.7: Comparação entre motores elétricos de indução (esquerda) e a imas permanentes (direita). Um MSIP é 30% menor e de 10-15% mais eficiente.

## 2.3 INVERSORES DE FREQUÊNCIA

Os avanços na eletrônica de potência permitiram o surgimento dos inversores de frequência. São equipamentos que permitem o controle da velocidade, através da variação da frequência, e torque, através da variação de tensão, dos motores elétricos.

Em paralelo aos avanços na eletrônica de potência, os avanços na área de microprocessadores e microcontroladores permitiram o uso de inversores de frequência comandados por computadores para controlar com precisão o comportamento dos motores de propulsão elétricos.

A função básica do inversor de frequência é transformar a frequência da rede elétrica, que é constante, em uma frequência demandada pelo motor elétrico para que funcione a certa velocidade.

Os inversores de frequência são divididos em duas seções básicas: a seção retificadora e a seção inversora. Na Seção retificadora a tensão alternada de entrada é transformada pelo retificador em contínua pulsada e um capacitor transforma a tensão contínua pulsada em contínua pura. Na seção inversora, a tensão retificada é novamente transformada em tensão alternada por meio de transistores IGBT. Estes transistores chaveiam várias vezes por ciclo, gerando um trem de pulsos com largura variável senoidal. Esta tensão de saída, aplicada a um motor elétrico, irá gerar uma forma de onda de corrente bem próxima da senoidal através do enrolamento do motor.



Fig.8: Inversor de frequência produzido pela ABB

### 2.3.1. CURVA V/F

Os inversores de frequência conseguem variar a velocidade de motores elétricos alterando a frequência, porém um motor elétrico precisa alterar seu torque nas diversas rotações, para velocidades menores necessita-se de mais torque e para velocidades maiores necessita-se de menos torque, similar aos motores a diesel.

Para alterar e controlar o torque, o inversor de frequência atua na tensão de alimentação do motor elétrico. Com diversas tensões de alimentação pode-se manter a mesma frequência e com isso obtem-se a relação V/f.

A curva V/f deve ser mantida de forma que proporcione ao motor um comportamento adequado e que atenda à velocidade requisitada. O valor V/f pode ser parametrizado em um motor ou controlado por computador, esta relação faz com que o motor consiga manter o rendimento elevado em qualquer faixa de velocidade.

O controle de frequência consegue alterar a tensão de saída pela modulação por largura de pulso. Quando a tensão tem que ser aumentada, os pulsos são “alargados”. Quando deve ser abaixada, os pulsos são “estreitados”.

Existem dois meios de um inversor de frequência controlar esta curva, e são estes meios que diferenciam os Inversores de Frequencia Escalares e os Vetoriais.

### 2.3.2 INVERSORES DE FREQUÊNCIA ESCALARES

Os inversores de frequência escalares tem sua curva V/f parametrizada manualmente, ou seja, definida pelo operador, tomando como base o regime de trabalho em que o inversor irá operar. Porém, em baixas rotações, o sistema não consegue bom torque devido ao próprio rendimento do motor.

### 2.3.3 INVERSORES DE FREQUÊNCIA VETORIAIS

Para sanar os problemas dos inversores escalares, foram desenvolvidos os Inversores de Frequencia Vetoriais. A sua grande inovação é que nele a curva V/f não é parametrizada pelo operador, mas sim pelo próprio equipamento que ajusta esta curva a cada milissegundo para otimizar o torque e, por consequencia, o rendimento do motor elétrico de propulsão.

Os inversores vetoriais utilizam correntes de magnetização e rotóricas do motor para configurar a curva V/f. Existem os inversores vetoriais chamados sensorless que não se utilizam de sensores de velocidade externos.

## 2.4 TRANSFORMADORES

Transformadores são equipamentos que aumentam ou reduzem a tensão nos barramentos de um navio. Constituem-se basicamente de dois enrolamentos denominados primário e secundário e são interligados por meio de um núcleo de entreferro. Quando se submete o enrolamento primário a uma tensão, um campo magnético é produzido e conduzido pelo núcleo até o enrolamento secundário, este campo irá gerar no enrolamento secundário uma tensão proporcional ao número de espiras que este possui. Em um sistema de propulsão elétrica integrada, os transformadores possuem papel crítico, uma vez que são eles que abaixam a tensão do barramento principal para os demais sistemas elétricos auxiliares de bordo.

Em navios, apesar de a rede elétrica ser trifásica, os transformadores são monofásicos, isto permite que não se perca toda a rede elétrica em caso de avaria em algum dos transformadores.

## 2.5 TRANSMISSÃO

Um sistema de transmissão eficiente garante o mínimo de perda. Nenhum meio de transmissão mecânico garante 100% de eficiência devido ao atrito, calor e ruído. A transmissão elétrica também não possui eficiência total, pois sofre influência do efeito joule.

### 2.5.1 MECÂNICA

Nos sistemas de transmissão mecânica, também chamados de In Hull, o motor fica “fora da água”, ou seja, dentro do navio numa praça de máquinas.

Basicamente a configuração deste sistema de transmissão é constituído por motor, transmissão mecânica e propulsor. O que diferencia os subgrupos do sistema In Hull é a transmissão, que pode ser feita por L Drive, Z Drive ou a convencional com a tradicional linha de eixo.

### 2.5.1.1 CONVENCIONAL

A transmissão convencional é a mais desvantajosa, pois não elimina nem reduz a linha de eixo, bucha do eixo, a quantidade de mancais e o tradicional sistema de governo do navio por leme.

A transmissão convencional tem em sua constituição o motor elétrico acoplado a uma linha de eixo com mancais de sustentação, fura o “casco” e chega ao hélice.

### 2.5.1.2 Z DRIVE

A transmissão por Z Drive foi um dos primeiros tipos de transmissão a não utilizar a tradicional linha de eixo. O motor fica montado na posição horizontal dentro do navio e é conectado ao eixo do propulsor por meio de duas caixas de engrenagens.

Além de eliminar a linha de eixo, o Z Drive ainda elimina o sistema de governo por meio de leme. Com duas caixas de engrenagens, o hélice propulsor pode ser posicionado em qualquer posição, girando num ângulo de 360°, esse sistema de governo é chamado de azimutal.

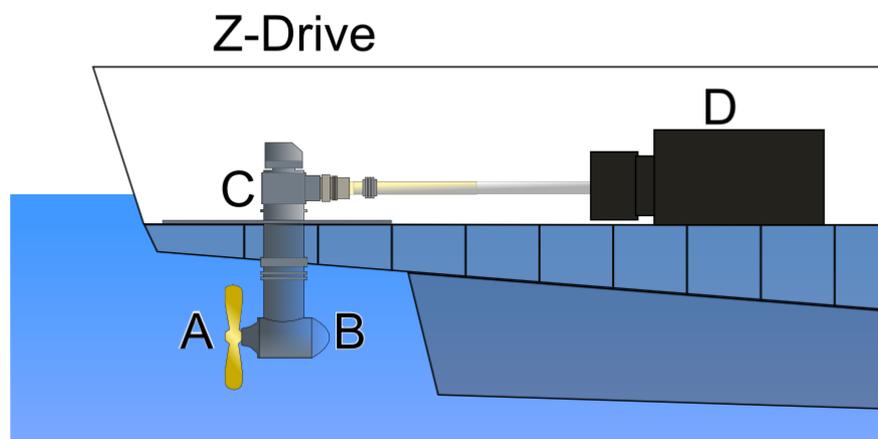


Fig.9: Representação da transmissão Z Drive, onde D é a máquina motriz, C e B são as caixas de engrenagens e A é o hélice propulsor.

### 2.5.1.3 L DRIVE

Assim como o Z Drive, o L Drive também elimina a tradicional linha de eixo, porém possui a vantagem de só possuir uma caixa de engrenagem, reduzindo as perdas por

transmissão. De fato, é a única diferença entre os dois tipos de transmissão junto com a posição do motor.

A configuração da transmissão por L Drive é constituída por um motor elétrico montado na vertical ligado a um pequeno eixo propulsor por meio de uma única caixa de engrenagens.

A posição do motor e a existência da caixa de engrenagens também permite o posicionamento do hélice em qualquer direção, girando 360°. Dessa forma elimina-se o sistema de governo por leme.



Fig.10: Representação de uma transmissão por L Drive

### 2.5.2 PODDED

O POD foi desenvolvido para reduzir ainda mais as perdas por transmissão e são o que há de mais moderno e eficiente no campo da propulsão elétrica. Nele o motor fica fora do navio e abaixo da linha d'água, dentro de estruturas chamadas pods. O acoplamento do hélice se dá diretamente no eixo do motor elétrico, assim elimina-se perdas com mancais de escora, caixas de engrenagens e a linha de eixo.

O posicionamento do motor elétrico também permite eliminar o sistema de governo tradicional, pois os sistemas podded são azimutais e ganha-se ainda mais espaço na praça de máquinas



Fig.11: Esquema de um POD

## CAPÍTULO 3

### VANTAGENS

#### 3.1 REDUÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

Nas embarcações com propulsão mecânica, a velocidade do MCP define a rotação do eixo propulsor e, por consequência, do hélice. Caso o navio não seja dotado de um Hélice de passo controlável, pode ocorrer de o motor não trabalhar na sua faixa de rendimento ótimo e isso gera um desperdício de combustível e seu desgaste excessivo.

Um navio propulsado por um motor elétrico não apresenta esse problema, pois o motor que irá mover o hélice pode trabalhar em qualquer velocidade mantendo o rendimento elevado. Dessa forma não haverá mais perdas de combustível e nem de potência.

Estima-se que a eficiência energética da propulsão elétrica seja 17% maior em relação à propulsão mecânica convencional. Pesquisas mostram que para um mesmo navio gaseiro, durante um ano de operação, o sistema de propulsão elétrica obteve resultados e vantagens melhores em relação à propulsão a vapor e mecânica convencional (Figura 12).

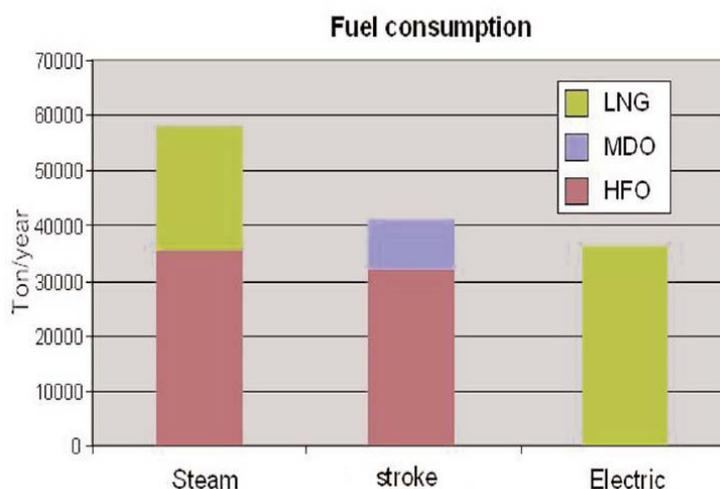


Fig.12: Consumo de combustível em um navio gaseiro

#### 3.2 FLEXIBILIDADE E REDUNDÂNCIA DE SISTEMAS

Os equipamentos de um sistema de propulsão elétrica são modulares, montados em blocos. Dessa forma não é mais necessário manter os equipamentos próximos uns dos outros. Pode-se espalhá-los por todo o compartimento de máquinas, podem inclusive serem

instalados em compartimentos separados e até criar sistemas redundantes que, quando avariados, podem ser “bypassados”.

Além da liberação de espaços a bordo, a modularidade de sistemas permite que se escolha quais equipamentos devem ser utilizados ou desligados nas diversas condições do navio.

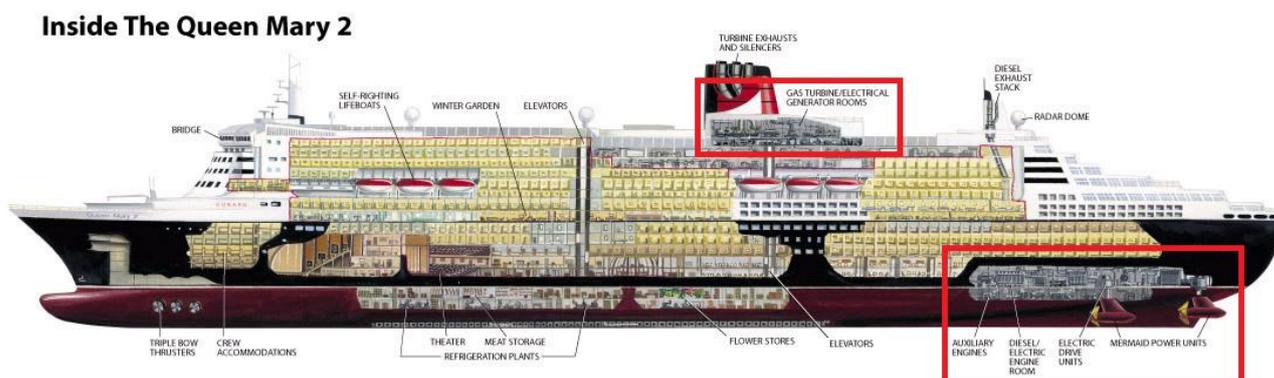


Fig.13: Navio Queen Mary 2. Em destaque o compartimento de máquinas e o compartimento das turbinas. Observa-se o reduzido espaço ocupado pelas máquinas e a segregação do sistema de geração de energia.

### 3.3 REDUÇÃO DOS CUSTOS COM MANUTENÇÃO

Com a adoção da propulsão elétrica diversos equipamentos auxiliares são eliminados. Essa redução de equipamentos instalados resulta em um menor custo com manutenção. Somado a esse fato, os custos e períodos de manutenção dos equipamentos elétricos são menores e com o elevado grau de automação as manutenções preditivas e preventivas se tornam excelentes ferramentas para a redução dos custos totais com manutenção.

### 3.4 REDUÇÃO DA EMISSÃO DE POLUENTES

A visão de não poluição do meio ambiente por navios é cada dia mais difundida entre a comunidade marítima. Um dos anexos da MARPOL trata da poluição do ar por navios e, assim como todos os outros anexos, está se tornando mais rigorosa e cobrada com o passar do tempo.

Os gases provenientes da queima de combustível fóssil são os principais responsáveis pelo efeito estufa. Sendo assim, a redução da quantidade de combustível queimada pelos motores de bordo é sempre bem-vinda, tanto no aspecto financeiro quanto no ambiental.

A supressão de um MCP torna a propulsão elétrica atrativa também no aspecto ambiental, pois reduz a emissão de poluentes oriundas da queima de combustível fóssil e utiliza menos insumos que podem gerar resíduos poluidores.

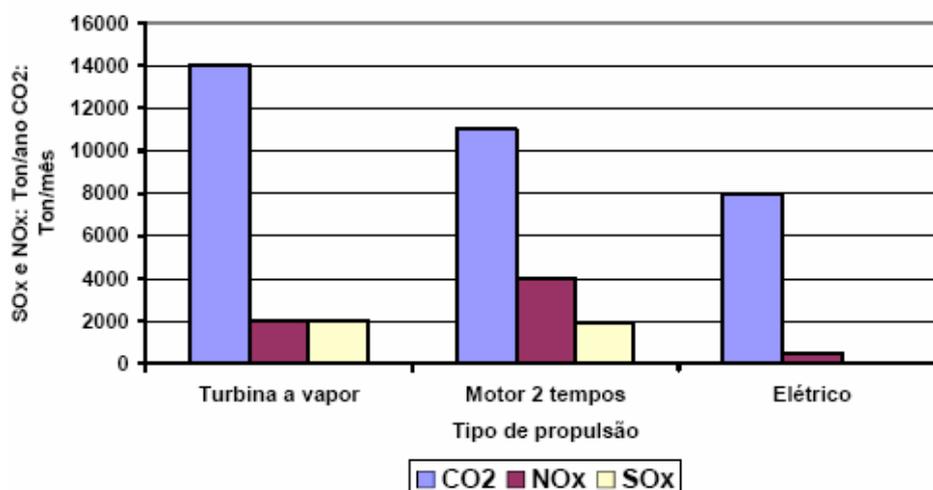


Fig.14: Gráfico representando a quantidade de emissão de poluentes nas propulsões a vapor, mecânica e elétrica.

### 3.5 REDUÇÃO DO NÍVEL DE RUIDOS

No sistema de propulsão elétrica, tornam-se desnecessárias a utilização de diversos componentes mecânicos como caixa de engrenagens redutoras, MCP e diversos outros. A supressão desses equipamentos causa uma redução considerável no nível de ruídos e vibração, proporcionando conforto acústico à tripulação.

### 3.6 MANOBRABILIDADE

A utilização de pods e azimutais nas embarcações com propulsão elétrica permite a geração de empuxo em qualquer direção, uma vez que o propulsor pode ser colocado em qualquer posição ao girar 360°. Para fins de manobrabilidade, isso representa uma enorme vantagem sobre as embarcações com propulsão mecânica convencional. Tanto nas manobras de atração/desatração quanto nas de aproximação, os operadores podem direcionar o empuxo para onde for mais conveniente.

Como exemplo das vantagens de se ter um elevado grau de manobrabilidade pode-se citar a eliminação do uso de rebocadores portuários para atracar/desatracar ou a facilidade de se anular as forças externas quando operar em Posicionamento Dinâmico.

### 3.7 GANHO DE ESPAÇO A BORDO

A supressão do MCP junto com todos os sistemas necessários ao seu funcionamento e do sistema de governo por leme nos sistemas azimutais de propulsão elétrica proporciona um enorme ganho de espaço.

Enormes motores com cerca de oito metros de altura por cinco de largura com a enorme linha de eixo dão espaço aos motores elétricos que ocupam muito menos espaços e se utilizados os sistemas Podded economiza ainda mais espaços. (Fig k). Montado em módulos, o sistema de propulsão elétrica pode ser alocado de forma a otimizar o espaço do compartimento de máquinas.

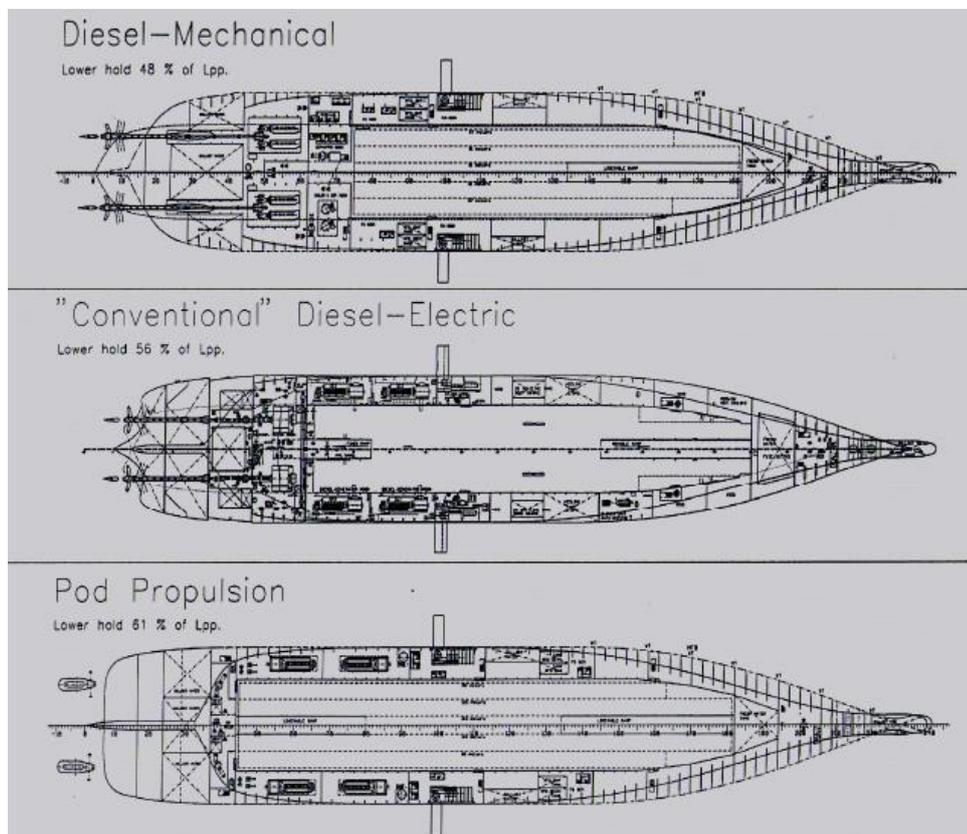


Fig.15: comparação do espaço dos porões de carga nos diversos sistemas de propulsão encontrados em navios atualmente.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao fim desse trabalho, ve-se que a propulsão elétrica apresenta diversas vantagens sobre a propulsão mecânica convencional em diversos tipos de navios.

Os recentes avanços no aumento de potência dos motores elétricos, da densidade energética dos ímãs permanentes, nos estudos de hidrodinâmica e no desenvolvimento de geradores elétricos cada vez mais potentes e econômicos, possibilita a aplicação da propulsão elétrica em embarcações.

Dentre as diversas vantagens, destacam-se a redução da emissão de poluentes, a alta eficiência do sistema, alto grau de manobrabilidade e a redução e modularidade desse tipo de propulsão, tornando os motores elétricos uma alternativa viável à propulsão mecânica.

**Bibliografia**

ADNANES, Alf Kåre. **Maritime Electrical Installations and Diesel Electric Propulsion.**

RADAN, Damir. **Power Electronic Converters for Ship Propulsion Electric Motors.**

PINHEIRO, Milton de Lima. **Acionamento de motores Síncronos de Ímas Permanentes (MSIP) em Embarcações com Sistema de Propulsão Elétrica.**

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

WEG Equipamentos Elétricos S.A. **Motor de Ímãs Permanentes e Inversor de Frequência WEG.**

ALVES, Renata Nunes. **Propulsão Elétrica de Navios.**