

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

**MARIANNA MEIRELLES DE SOUZA TEIXEIRA**

**SISTEMA DE PROPULSÃO ELÉTRICA**

RIO DE JANEIRO  
2015

**MARIANNA MEIRELLES DE SOUZA TEIXEIRA**

**SISTEMA DE PROPULSÃO ELÉTRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica/Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Orientador: Prof. Hermann Regazzi Gerk,  
Engenheiro Químico.  
Especialista em Mecânica de

Fluídos

**MARIANNA MEIRELLES DE SOUZA TEIXEIRA**

**SISTEMA DE PROPULSÃO ELÉTRICA**

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

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

Orientador: Prof. Hermann Regazzi Gerk,  
Engenheiro Químico.  
Especialista em Mecânica de Flúidos

---

Assinatura do Orientador

RIO DE JANEIRO  
2015

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

## AGRADECIMENTOS

*Agradeço, em primeiro lugar, a Deus por ter me permitido e ter me dado forças para conseguir chegar até aqui.*

*Aos meus pais, Ricardo e Alba Valéria, a minha irmã Bárbara, por me darem todo suporte, esforço e dedicação necessários para a conclusão do meu curso nesta Instituição.*

*Às minhas companheiras de camarote, por não terem me deixado desistir em nenhuma situação, em especial, a Ágatha Yasmin, uma pessoa muito importante na minha vida que pode me mostrar o que é companheirismo.*

*Ao meu orientador, Hermann Regazzi, por toda a sua paciência e esforço, guiando me nesse trabalho que pude fazer com muito carinho e dedicação.*

## RESUMO

Sempre coube aos projetistas fazer a opção pela configuração de propulsão mais adequada ao perfil operacional de cada embarcação, buscando o aumento da eficiência energética das mesmas. Ao longo dos anos, foi necessário que novas soluções fossem pensadas e desenvolvidas para que alguns resultados como redução do consumo de combustível, ruídos, vibrações e emissão de gases poluentes provenientes de navios, onde é acompanhando também a preocupação global com as mudanças climáticas do nosso planeta fossem almejadas. Atualmente, muitas embarcações como Navios de passageiros e navios quebra-gelo utilizam como sistema propulsivo o sistema de propulsão elétrica, que consegue suprir a maioria das necessidades apresentadas. Ao longo deste trabalho, será detalhada a evolução do sistema, desde o início da propulsão elétrica, na década de 1970, até a atualidade, e este sistema continua a ser desenvolvido, com um foco maior para seu uso em embarcações, tanto para embarcações de apoio marítimo como o Navio Queen Mary 2 e o Navio Quebra Gelo Timofey Guzhenko, onde são mais aplicados, visando sempre maior manobrabilidade, redução no consumo de combustível, maior espaço para ser utilizado como espaço para carga ou camarote de passageiros.

Palavras-chave: Eficiência energética. Propulsão elétrica. Navio de passageiros. Navios quebra-gelo

## ABSTRACT

Always fit the designers opting for more adequate propulsion setting the operating profile of each vessel, seeking increased energy efficiency thereof. Over the years, it was necessary that new solutions were designed and developed so that some results as reduced fuel consumption, noise, vibration and greenhouse gas emissions from ships, which is also following the global concern about climate change in our planet were achieved. Currently, many vessels as passenger ships and icebreakers used as propulsion system, the electric propulsion system, which can meet most of the needs presented. Throughout this work, it will be detailed system evolution, since the electric propulsion, in the 1970s, to the present, and this system continues to be developed, with a greater focus to their use in vessels, both vessels maritime support as the RMS Queen Mary 2 and the Ship Breaking Ice Timofey Guzhenko where they are most applied, always seeking greater maneuverability, reduced fuel consumption, larger space to be used as space for cargo or passenger cabin.

Keywords: Energy efficiency. Electric propulsion. Passenger ship. Icebreakers

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Navio USS Jupiter	13
<b>Figura 2</b>	Motor de Inducao Avancado (AIM)	16
<b>Figura 3</b>	Motor Síncrono de Imas Permanentes	17
<b>Figura 4</b>	Motor Síncrono com Material Supercondutor em alta temperatura	17
<b>Figura 5</b>	Protótipo de Motor Homopolar com Material Supercondutor em alta Temperatura	18
<b>Figura 6</b>	Sistema de Acionamento Elétrico Integrado	20
<b>Figura 7</b>	Estrutura de um Navio PSV	23
<b>Figura 8</b>	Figura da Sistema de Propulsão Mecânica	24
<b>Figura 9</b>	Embarcação com Sistema de Propulsão Diesel Elétrico	24
<b>Figura 10</b>	Diagrama de Propulsão Elétrico	25
<b>Figura 11</b>	Fluxo de Energia de um Sistema Elétrico	26
<b>Figura 12</b>	Fórmula da Eficiência do Sistema Elétrico	26
<b>Figura 13</b>	Diagrama de Combustível por Potencia em relação a carga de um Motor Diesel	27
<b>Figura 14</b>	Diagrama de Eficiência no Consumo em relação a carga na Propulsão	27
<b>Figura 15</b>	Gráfico de eficiência no consumo de combustível	29
<b>Figura 16</b>	Distribuição dos Equipamentos na Praça de Maquinas	30
<b>Figura 17</b>	Emissao de Poluentes	33
<b>Figura 18</b>	MEPs no Sistema de Propulsao Eletrica	37
<b>Figura 19</b>	Sistema Schottel	38
<b>Figura 20</b>	Turbina a Gas	40

<b>Figura 21</b>	Seções dos Inversores de Frequência	41
<b>Figura 22</b>	Z-Drive	43
<b>Figura 23</b>	Representação de uma Transmissão por L-Drive	46
<b>Figura 24</b>	Sistema de Propulsão Elétrica	48
<b>Figura 25</b>	Unidade POD	49
<b>Figura 26</b>	Representação de uma Unidade POD com seus respectivos componentes	51
<b>Figura 27</b>	Curva de Manobrabilidade	53
<b>Figura 28</b>	Sistema de Ims Permanentes	54
<b>Figura 29</b>	Embarcação Olympic Octopus	59
<b>Figura 30</b>	Tipos de Sistemas Propulsivos	60
<b>Figura 31</b>	Variações do Sistema de Propulsão Híbrido com quatro Motores Auxiliares	60
<b>Figura 32</b>	Variações do Sistema de Propulsão Híbrido com dois Motores Principais e Motor Auxiliar Navio Costa Concordia	62
<b>Figura 33</b>	Ilustração do Navio de Cruzeiro Queen Mary 2	63
<b>Figura 34</b>	Navio Costa Concordia	63
<b>Figura 35</b>	Sistema Propulsivo do Costa Concordia	64
<b>Figura 36</b>	Motor a Diesel do Navio de Cruzeiro Costa Concordia	65
<b>Figura 37</b>	Unidade POD do Navio Timofey Guzhenko	67
<b>Figura 38</b>	Navio Timofey Guzhenko	68

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

<b>AIM</b>	Motor de Indução Automático
<b>CC</b>	Corrente Contínua
<b>PID</b>	Dispositivo de Incremento da Propulsão
<b>CA</b>	Corrente Alternada
<b>PSV</b>	Plataform Supply Vessel
<b>Sistema DP</b>	Sistema de Posicionamento Dinâmico
<b>MARPOL</b>	Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios
<b>CO2</b>	Dióxido de Carbono
<b>SOx</b>	Óxido de Enxofre
<b>NOx</b>	Óxido de Nitrogênio
<b>HPC</b>	Hélice de Passo Controlável
<b>MEP</b>	Motor Elétrico de Propulsão
<b>MCP</b>	Motor de Combustão Principal
<b>SmCO</b>	Samário-Cobalto
<b>NdFeB</b>	Neodímio Ferro-Boro
<b>Sistema PM</b>	Sistema de Imãs Permanentes
<b>AHTS</b>	Anchor Handling Tug Supply
<b>QM2</b>	Queen Mary 2

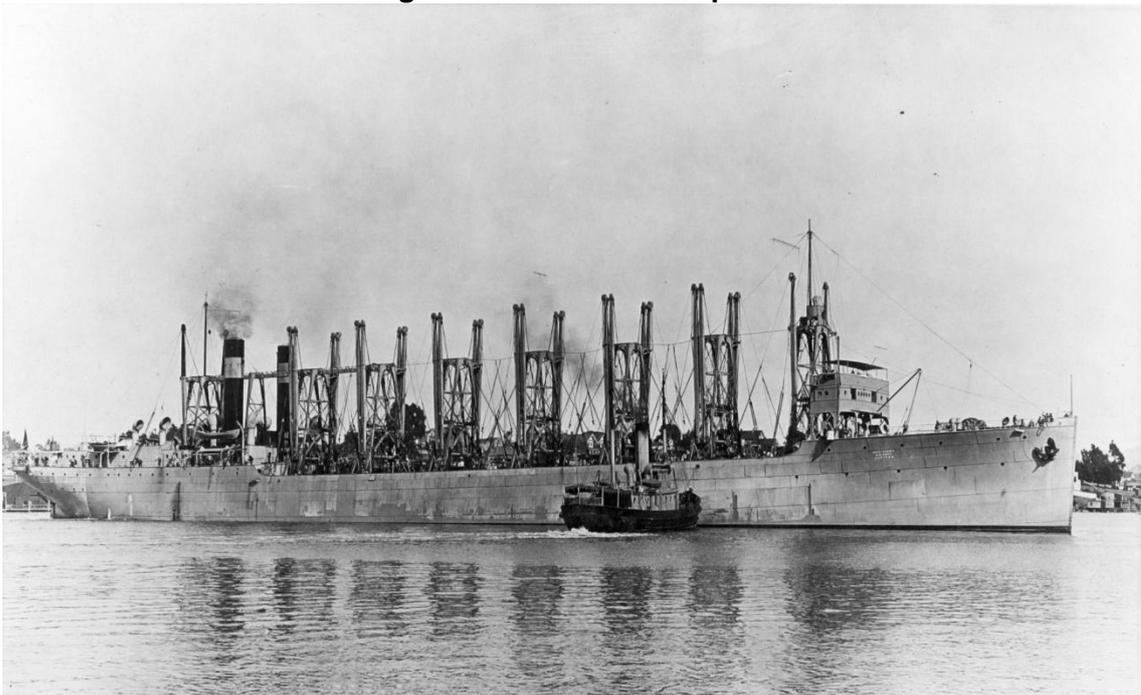
## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. MODERNIDADE.....	15
3. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	19
3.1. DETERMINAÇÃO DO SISTEMA PROPULSIVO.....	19
3.2. PROPULSÃO ELÉTRICA X PROPULSÃO MECÂNICA.....	23
3.3. VANTAGENS DA PROPULSÃO ELÉTRICA .....	27
4. COMPOSIÇÃO DE UM SISTEMA DE PROPULSÃO ELÉTRICA .....	34
4.1. PROPULSÃO ELÉTRICA EM CORRENTE CONTÍNUA.....	34
4.2. PROPULSÃO ELÉTRICA EM CORRENTE ALTERNADA .....	34
4.3. GERAÇÃO DE ENERGIA .....	38
4.4. INVASORES DE FREQUÊNCIA.....	38
4.5. TRANSFORMADORES .....	39
4.6. TRANSMISSÃO .....	42
4.6.1 MECÂNICA.....	42
5. TIPOS DE PROPULSÃO.....	40
5.1. PROPULSÃO DIESEL-ELÉTRICA.....	40
5.2. PROPULSÃO AZIMUTAL.....	42
5.3. PROPULSÃO POR IMÃS PERMANENTES.....	46
5.4. SISTEMAS HÍBRIDOS.....	50
6. ESTUDOS DE CASO .....	67
6.1. NAVIO QUEEN MARY 2.....	67
6.2. COSTA CONCORDIA.....	69
6.3. P. TIMOFEY GUZHENKON .....	69
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	71

## 1 INTRODUÇÃO

Ao começarmos uma dissertação sobre o sistema de propulsão elétrico, é necessário dizer que o uso da mesma não é essencialmente recente, sendo que sua primeira utilização como avanço tecnológico, em Navios, ocorreu no século XIX, onde a Rússia foi a pioneira nesse desenvolvimento. Nesta época, havia, no entanto, algumas desvantagens para a utilização da propulsão elétrica, o que a tornou um conceito pouco utilizado para o desenvolvimento de novas embarcações, como por exemplo, maiores pesos e volume e menor eficácia no que se tratava a eficiência energética, comparando-a com a propulsão mecânica, utilizada grandemente e popularmente conhecida como propulsão convencional.

**Figura 1 – Navio USS Jupiter**



**Fonte:** [www.gereportsbrasil.com.br](http://www.gereportsbrasil.com.br)

Ao escolher-se a melhor opção para a propulsão em grande escala, levou-se em consideração todas as melhorias tecnológicas obtidas no setor de engrenagem, como a redução do peso e do volume e melhores desempenhos dos equipamentos. Nas décadas de 1980 e 1990, estes mesmos avanços tecnológicos tornaram a

propulsão elétrica mais eficiente e compacta, possibilitando o retorno da utilização deste tipo de propulsão em diversos tipos de navio.

Visto que durante a Segunda Guerra Mundial a produção de engrenagens se tornou escassa, os navios de propulsão elétrica se tornaram uma ótima fonte de desenvolvimento para embarcações neste período.

Com o passar dos anos, o mercado passou a exigir que a estrutura das embarcações e seus respectivos equipamentos apresentassem novas tendências técnicas, aumentando a vida útil e os sistemas projetados devem possuir alta confiabilidade, de maneira a não prejudicar a operação dos navios ou dos sistemas oceânicos. Além disso, houve o aumento pela busca de navios cada vez mais eficientes, com obtenção de maiores potências e redução de peso. Os requisitos atuais englobam eficiência energética, segurança, preocupação ambiental e desempenho em serviço.

Este trabalho procura, inicialmente, caracterizar a eficiência energética do sistema de propulsão elétrico nas embarcações e listar os principais desenvolvimentos nos últimos anos que levaram à ampliação do emprego da Propulsão Elétrica e sua evolução até os dias atuais.

## 2 MODERNIDADE

Vinculado ao conceito que navios, atualmente, deverão ser projetados de forma a conciliar diversos requisitos como: grande flexibilidade operativa e robustez, além do aspecto econômico envolvendo os custos de projeto, construção, manutenção e operativos, ao longo da vida útil do meio, pode se dizer que são extremamente importantes e decisivos, pois devem ser os menores possíveis.

Um dos aspectos mais significativos no projeto de um novo navio é o método de propulsão que será empregado. A propulsão convencional mecânica está perdendo mercado em virtude da história de sucessos, ao longo dos últimos 30 anos, da aplicação da Propulsão Elétrica.

O sucesso obtido recentemente nas tentativas de aumentar a densidade de potência e reduzir o volume e o peso dos motores elétricos permitirá, em curto prazo, que navios de pequeno porte possam se beneficiar das vantagens associadas à Propulsão Elétrica. Ao contrário de alguns anos atrás, quando foi frisado que, a propulsão elétrica, como solução, não poderia ser aplicada a todos os navios, sendo uma ferramenta utilizada e empregada em embarcações específicas.

A utilização da Propulsão Elétrica reduzirá ou eliminará completamente as engrenagens redutoras, permitirá grande flexibilidade na disposição dos equipamentos a bordo, fará com que o motor primário opere frequentemente na faixa de ótimo desempenho, reduzirá o consumo de combustível, a manutenção e a emissão de poluentes.

Logo, pode se dizer que este tipo de Propulsão vem se difundindo fortemente nos diversos setores da indústria marítima, e está se estabelecendo como uma das melhores e mais atrativas opções para promover a redução dos custos operacionais, tão desejada neste ambiente altamente competitivo.

Inicialmente adotada em projetos de quebra-gelos e navios especializados, a Propulsão Elétrica tem conquistado novos mercados. Ela já é padrão nos mais modernos navios comerciais de cruzeiro, como o “Transatlântico Queen Mary II”.

A mudança da preferência do tipo de propulsão a ser empregada em larga escala também foi influenciada pelas melhorias tecnológicas obtidas no setor de

metalurgia e na manufatura de engrenagens redutoras com peso e volume menores e melhores resultados no desempenho acústico dos equipamentos.

Este panorama da situação persistiu até o início do século XXI, quando a capacidade de transmissão mecânica de energia atingiu seu limite tecnológico e de viabilidade econômica.

Atualmente, as pesquisas para a definição das melhores alternativas de tecnologia envolvendo propulsão elétrica estão em plena evolução. As pesquisas relativas aos motores de propulsão, para aplicação naval e militar, apresentam os seguintes requisitos essenciais: formato compacto, peso e volume reduzido, elevadas faixas de potência gerada para valores específicos de torque, resistência ao choque, e baixos valores de assinatura acústica e eletromagnética.

Além dos requisitos apresentados acima, atualmente, o Mercado vem investindo em elevados recursos financeiros no caso em quatro frentes de pesquisa em motores para a propulsão:

- Motores de Indução: oferece um *design* robusto e elevada densidade de potência elétrica;

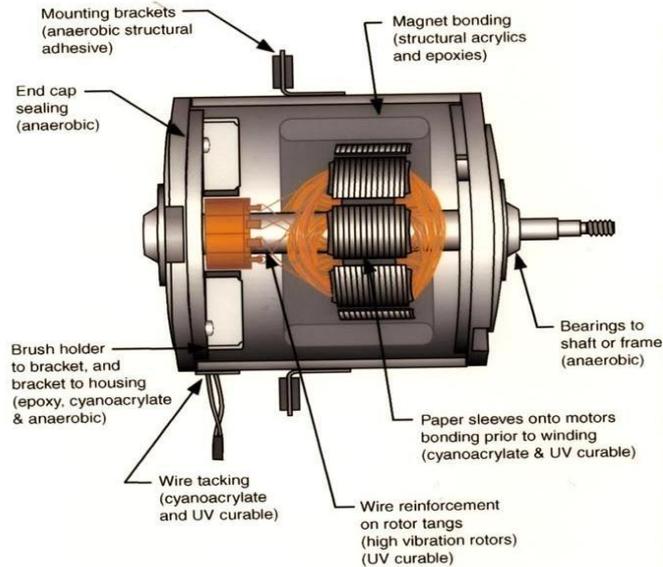
**Figura 2 – Motor de Indução Avançado (AIM)**



Fonte: <http://www.alstom.com/pt/countries/brazil/>

- Motores Síncronos de Imãs Permanentes: quando comparados com os motores de indução de mesmo tamanho, possuem maior densidade de potência elétrica e menor nível de ruído acústico;

**Figura 3 – Motor síncrono de ímãs permanentes**



**Fonte:** GERK, HERMANN REGAZZI. Slides do Curso de Hidrodinâmica do Navio

- Motores Síncronos com materiais supercondutores em alta temperatura: apresentam significantes reduções no volume e peso, quando comparados com os motores elétricos convencionais, devido às suas bobinas supercondutoras com elevados níveis de densidade de corrente elétrica (Fig. 6). Este tipo de motor apresenta a densidade de potência elétrica cerca de cinco vezes maior do que aquela encontrada em motores convencionais de mesmas dimensões físicas. Outra característica deste motor é o reduzido nível de ruído e a elevada eficiência (devido à redução das perdas elétricas no rotor), particularmente em situações com velocidade reduzida e demandas parciais de cargas e;

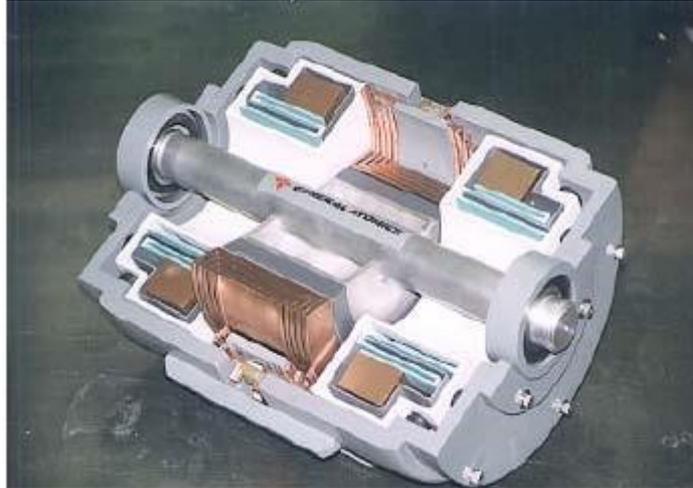
**Figura 4 – Motor Síncrono com material supercondutor em alta temperatura**



**Fonte:** <http://www.pee.ufrj.br/teses/textocompleto/2007102901.pdf>

- Motores Homopolares em Corrente Contínua (CC): também utilizam bobinas confeccionadas com materiais supercondutores em seu rotor e apresentam peso e volume reduzidos e estratégias de controle menos complexas.

**Figura 5** – Protótipo do Motor Homopolar com Material Supercondutor em CC



Fonte: <http://www.pee.ufrj.br/teses/textocompleto/2007102901.pdf>

### **3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

A eficiência de um navio pode ser aumentada de várias formas como, por exemplo, melhorias no projeto do casco, nos sistemas de propulsão e no processo de manutenção. Do ponto de vista propulsivo, para obter-se eficiência deve ser avaliado a utilização de propulsores mais eficientes para cada caso, além da determinação adequada do Sistema Propulsivo.

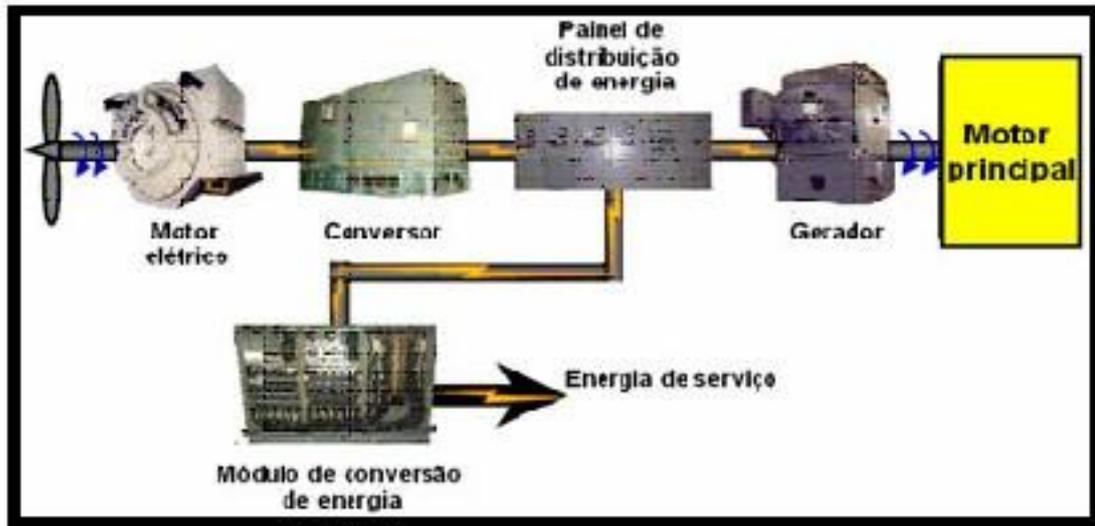
Assim, para que as embarcações apresentem alto desempenho três características devem ser levadas em consideração: propulsão, seakeeping e manobrabilidade. Elas devem possuir alta eficiência na propulsão, capacidade para enfrentar condições de mar adversas e devem ser adequadas para garantir uma navegação segura. A eficiência é aumentada à medida que é introduzida aperfeiçoamento nos dispositivos de incremento da propulsão (PID) e na otimização do propulsor.

#### **a. Determinação do Sistema Propulsivo**

O sistema de propulsão de um navio consiste em um conjunto de meios e sistemas tecnológicos projetados de modo conveniente com a finalidade de efetuar a propulsão da embarcação, superando as condições atmosféricas adversas ao avanço do navio, de modo a obter o melhor rendimento possível para a instalação propulsora e, conseqüentemente para o tipo de propulsão adotada. A preferência por um tipo de instalação propulsiva depende do tipo do navio e é feita através de uma comparação técnico-econômica entre as alternativas disponíveis, analisando variáveis como custos, consumos de combustível, ruídos, vibrações, eficiência energética, dentre outras.

No caso dos Sistemas de Propulsão Elétrica, eles possuem 4 componentes em comum: o equipamento de acionamento principal, o gerador, o motor elétrico e seu conversor.

**Figura 6 – Sistema de Acionamento Elétrico Integrado**



**Fonte:** GERK, HERMANN REGAZZI. Slides do Curso de Hidrodinâmica do Navio

Apesar de possuir os mesmos componentes básicos, a metodologia de operação do sistema e o arranjo dos equipamentos podem ser totalmente distintos.

Existem quatro aspectos de maior relevância na escolha do arranjo da propulsão elétrica a ser empregado [16]:

- O tipo de potência elétrica disponível entre o gerador e o motor elétrico (CA ou CC);
- O método de controle da velocidade (variação da tensão CC e/ou a variação da frequência e da tensão para aplicações em CA);
- O tipo do equipamento de acionamento principal, e;
- O método de controle do propulsor.

O tamanho e os requisitos operacionais do navio são os fatores que irão definir o tipo de equipamento de acionamento principal que será empregado na propulsão do navio (turbina a gás, a vapor ou motor diesel). Nos arranjos atuais o acionador principal gira em uma velocidade fixa e as variações na frequência ocorrem na saída do conversor.

Os aspectos relevantes na escolha do tipo de acionamento principal são: o tamanho, o peso incluindo os calços, a economia de combustível alcançada e os custos operativos (manutenção, estoque de peças sobressalentes, treinamento de pessoal, e o custo de indisponibilidade do meio durante o reparo).

A escolha da arquitetura da distribuição da energia ao longo do navio também merece cuidadosos estudos e análises. A distribuição em corrente alternada, desde a unidade geradora até a carga consumidora é a mais utilizada atualmente nos navios.

A outra possibilidade consiste na distribuição em corrente contínua por zonas, através de um barramento que direciona a energia para diferentes partes do navio onde a regulação da tensão é efetuada até o nível desejado.

Dentro das zonas de distribuição em corrente contínua, caso seja necessário, a potência elétrica pode ser convertida em alternada e utilizada por consumidores locais que estiverem posicionados dentro desta região. A distribuição por zonas em corrente contínua consegue obter uma simples monitoração e controle eletrônico do nível da corrente elétrica, desde a quase instantânea detecção da falta, fato este, que irá possibilitar uma rápida substituição entre as fontes geradoras disponíveis em operação.

Logo, nesta fase de determinação do Sistema Propulsivo o potencial do navio deve ser especificado e analisado em ordem para definir o empuxo requerido para navegar, manobrar e “seakeeping”, assim como a aplicabilidade para as operações pretendidas. Baseadas nos objetivos para as operações do navio o tipo de propulsão e as unidades de thruster, sua avaliação na localização no navio deve ser determinada, também como a configuração ótima da divisão da geração de energia e do Sistema de distribuição.

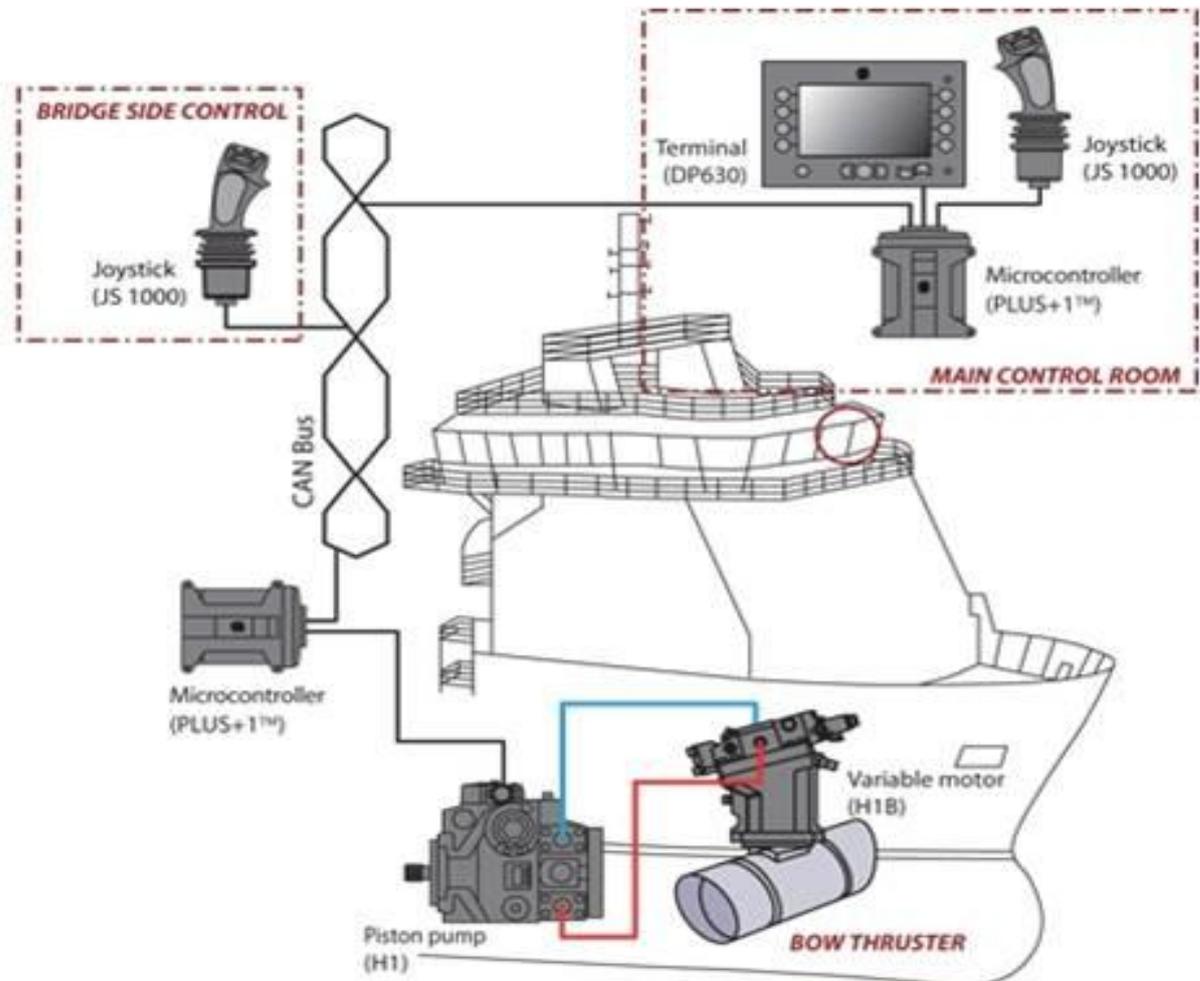
Para este projeto de estudo, a escolha do Sistema Propulsivo foi feita levando em consideração os principais aspectos de operação aos quais a embarcação será submetida. No caso de um navio PSV, aspectos como alto grau de manobrabilidade e a necessidade do sistema de DP (Dynamic Positioning) fazem com que a escolha de um sistema não-convencional (elétrico) seja a melhor. A decisão pelo sistema de propulsão Azipod Diesel-Elétrico veio a partir das seguintes características:

- Excelente resposta dinâmica;
- Redução do número de motores;
- Redução do consumo de combustível;
- Redução da manutenção;
- Redução do nível de ruído e de vibração;

- Redução na emissão de gases poluentes;
- Acréscimo da manobrabilidade.

A redução no consumo de combustível e emissão de gases poluentes com a propulsão diesel-elétrica comparadas à propulsão mecânica convencional é significativa para navios com perfil operacional diversificado, como é o caso dos PSVs. Reduções de 30% a 40% no consumo anual de combustível tem sido reportados por armadores, e com foco crescente em custos e impactos no meio ambiente gerados pela indústria do petróleo, a propulsão diesel-elétrica tem sido encontrada em um número crescente de PSVs, primeiramente no Mar do Norte, e depois em outras áreas geográficas. Na figura 7, pode ser observado um PSV que utiliza o sistema CAN BUS, oriundo da Alemanha, destinado ao controle e ao diagnóstico de falhas no sistema propulsivo. Começou a ser utilizado a partir de 2001 em carros da Volkswagen.

**Figura 7** –Estrutura de um navio PSV



Fonte: GERK, HERMANN REGAZZI. Slides do Curso de Hidrodinâmica do Navio

## b. Propulsão Elétrica X Propulsão Mecânica

Nas embarcações dotadas do Sistema de Propulsão Mecânico, a rotação do motor diesel é quem define a rotação do hélice, portanto, o motor em algumas condições de operação não opera na faixa do rendimento ótimo, 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 é necessário um diesel-gerador auxiliar, instalado em local separado do sistema de propulsão, que fornecerá a potência elétrica para o atendimento da carga destinada as acomodações do navio, do sistema de combate e demais auxiliares de bordo.

**Figura 8** - Figura do Sistema de Propulsão Mecânica.



**Fonte:** GERK, HERMANN REGAZZI. Slides do Curso de Hidrodinâmica do Navio

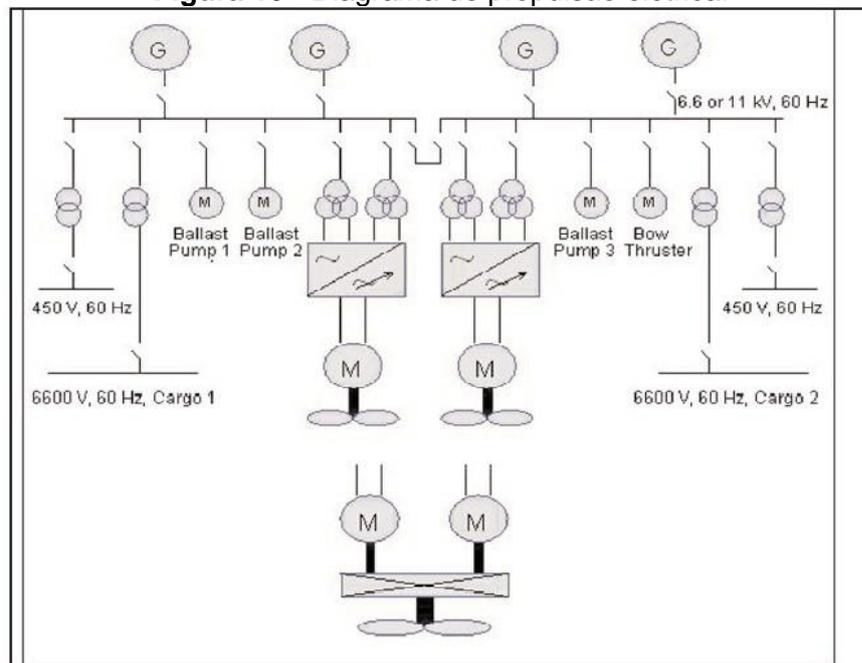
**Figura 9** – Embarcação com sistema de propulsão diesel-elétrica



**Fonte:** www.wartsila.com

De forma mais precisa para descrição do sistema de propulsão, pode se dizer que é a transmissão elétrica de potência entre o dispositivo de acionamento principal e a carga representada pelos propulsores do navio. Este sistema de propulsão consiste essencialmente na transmissão elétrica para a mudança entre a relativamente alta velocidade e baixo torque do dispositivo de acionamento principal para a baixa velocidade e elevado torque requerido para girar os propulsores.

**Figura 10 - Diagrama de propulsão elétrica.**



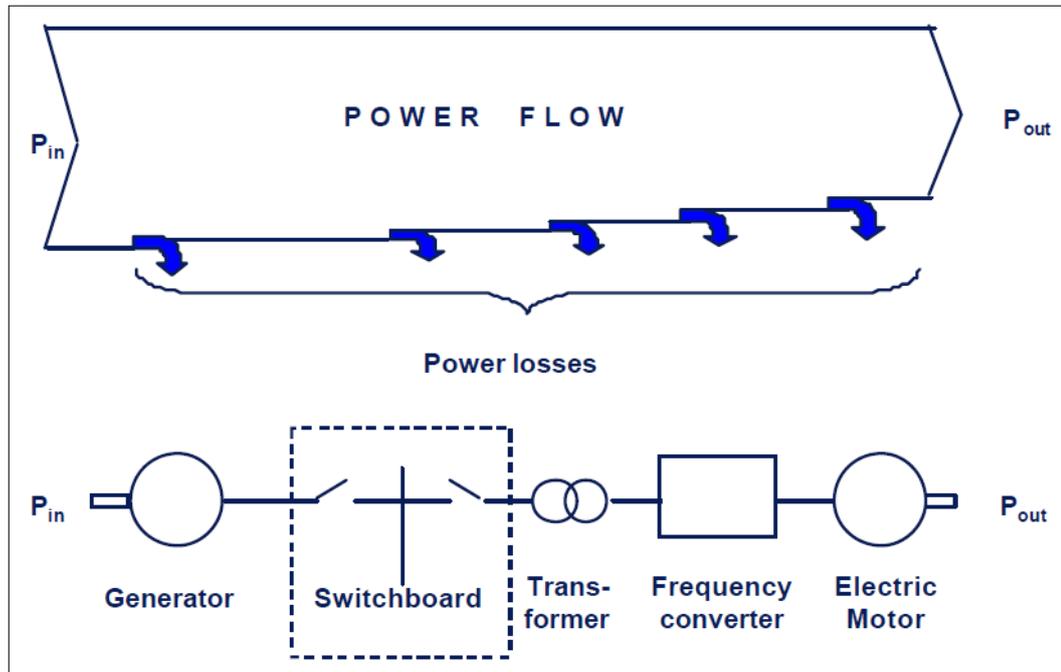
**Fonte:** GERK, HERMANN REGAZZI. Slides do Curso de Hidrodinâmica do Navio

No sistema de Propulsão Elétrico a eficiência da transmissão não é tão sensível à variação da velocidade do eixo propulsor, como ocorre com a transmissão mecânica convencional. Portanto, nos períodos em que a embarcação opera com velocidade mais baixa a eficiência da transmissão elétrica é maior que a transmissão mecânica. Esse considerar que as embarcações de apoio marítimo operam a maior parte do tempo em atividades com baixas velocidades, como em operações de posicionamento dinâmico (DP), em aguardo de operação ou atracado tem-se aí o grande diferencial positivo para justificar o emprego da Propulsão Elétrica.

Em todos os sistemas de alimentação isolados, tem-se a quantidade de energia gerada que deverá ser igual à energia consumida, e isso incluindo as

perdas. Para um sistema elétrico que consiste em uma planta de geração de energia elétrica e um sistema de distribuição, incluindo as perdas energéticas, o fluxo de potência pode ser ilustrado abaixo:

**Figura 11 – Fluxo de Energia de um Sistema Elétrico.**



**Fonte:** MORRISON, 2014,p.15

Os motores primários, neste exemplo de motores diesel, são uma fonte de alimentação para o eixo do gerador elétrico. O motor elétrico, que poderia ser o motor de propulsão, é energizado pelo barramento. A energia perdida nos componentes entre o eixo do motor diesel e do eixo elétrico são térmico-acústicos, causando aumento da temperatura em equipamentos e ambiente. A eficiência do sistema elétrico é:

**Figura 12 – Fórmula da eficiência do Sistema Elétrico.**

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{losses}}$$

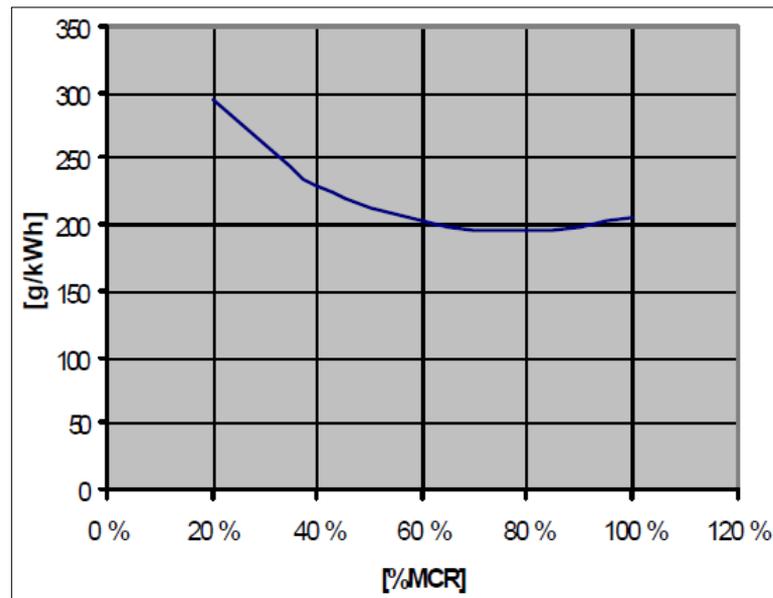
**Fonte:** MORRISON,2014,p.15

Para cada um dos componentes, a eficiência elétrica pode ser calculada, e os valores típicos de potência (nominal) completo são: gerador :  $\eta = 0,95$  a  $0,97$ , barramento principal:  $\eta = 0,999$ ; transformador:  $\eta = 0,99$  a  $0,995$ ; conversor de frequência:  $\eta = 0,98$  a  $0,99$ ; e motor elétrico:  $\eta = 0,95$  a  $0,97$ .

Assim, a eficiência de um sistema elétrico diesel, a partir do eixo do motor diesel, é normalmente entre  $0,88$  e  $0,92$  em plena carga. Ou seja, a eficiência depende da carga do sistema.

Portanto entre o eixo do motor diesel e o eixo do motor elétrico, de propulsão de um sistema de propulsão diesel elétrica, as perdas são fixas e por volta de  $10\%$ . O fator de eficiência energética do sistema vai depender dinamicamente da variação da carga na propulsão.

**Figura 13** – Diagrama de combustível por potência em relação à carga de um motor diesel



**Fonte:** GERK, HERMANN REGAZZI. Slides do Curso de Hidrodinâmica do Navio

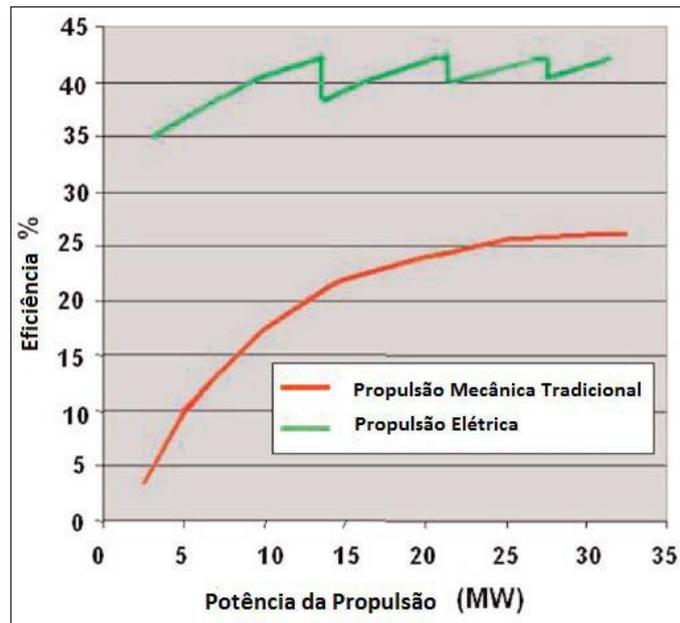
No gráfico acima nota-se que a eficiência ótima de um motor diesel fica em torno de  $80\%$  de carga, baseado nisso, uma planta de propulsão em que mantenham os motores diesel constantemente nesta faixa ótima de trabalho, teria a eficiência aumentada.

### c. PRINCIPAIS VANTAGENS DA PROPUSÃO ELÉTRICA

- Redução do consumo de combustível:

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

**Figura 14** – Diagrama de eficiência no consumo em relação à carga na propulsão.

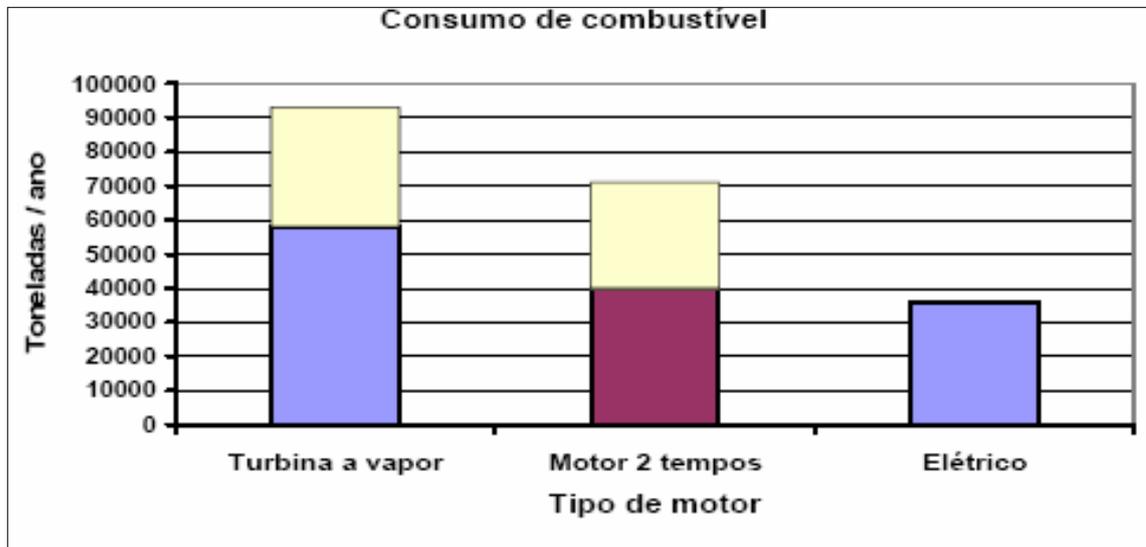


**Fonte:** GERK, HERMANN REGAZZI. Slides do Curso de Hidrodinâmica do Navio

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 o motor primário (que gera potência através da queima de combustível) e o eixo propulsor, não existe mais relação direta entre a velocidade do eixo motor primário e a rotação do hélice. Segundo referências estudadas, estima-se que uma 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 gaseiro, 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.

**Figura 15** – Gráfico de eficiência no consumo de combustível.



**Fonte:** GERK, HERMANN REGAZZI. Slides do Curso de Hidrodinâmica do Navio

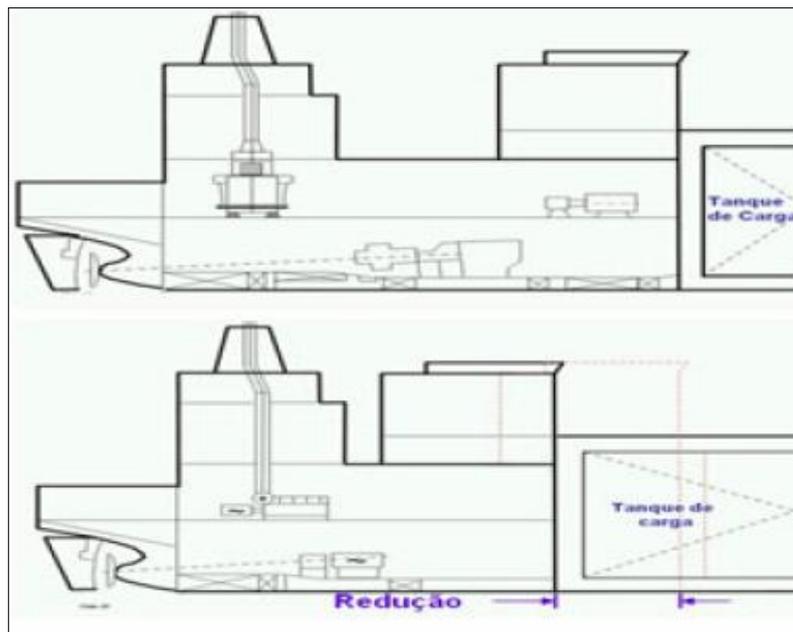
- Redução da Tripulação:

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 a distância e possuem maior compatibilidade com controles eletrônicos. Esta tendência possibilita o incremento de automação com conseqüente redução da tripulação, proporcionando adicional benefício da redução de custo operacional.

- 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 16** – Distribuição dos equipamentos na Praça de Máquinas.



**Fonte:** GERK, HERMANN REGAZZI. Slides do Curso de Hidrodinâmica do Navio

Observa-se na figura acima, 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.

Na embarcação 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.

- Aumento da Capacidade de Sobrevivência da Embarcação:

A modularidade e a flexibilidade proporcionam um sistema de geração de energia e de propulsão redundantes, distribuídos e reconfiguráveis. Conseqüentemente os danos em um compartimento de máquinas, seja provocado

por incêndio, alagamento ou simples mau- funcionamento, podem facilmente ser detectados e “by-passados”, mantendo-se o funcionamento do sistema inalterado.

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

- Aumento da Vida Útil da Embarcação:

As embarcações de construções mais modernas incorporam cada vez mais sensores e equipamentos auxiliares de razoável complexidade tecnológica, que os tornam muito mais versáteis do que as embarcações de gerações anteriores. Já os investimentos necessários para a aquisição destes meios têm crescido numa progressão maior ainda, tornando difícil justificar este gasto considerando o tempo útil de vida útil das embarcações tradicionais. Com o desenvolvimento da automação dos sistemas, nas décadas de 80 e 90, mais equipamentos elétricos e eletrônicos estão sendo incorporados as embarcações, aumentando a demanda por energia elétrica. Isto vem fazendo com que os geradores instalados a bordo sejam de potência mais elevadas, a fim de suprir a demanda já instalada e manter uma reserva para crescimento futuro.

Com a propulsão elétrica, o cenário muda radicalmente. Os geradores de bordo alimentam simultaneamente a propulsão e os auxiliares, 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.

- Redução dos Custos de Manutenção:

A possibilidade de existir uma tecnologia comum funcionando dentro das inúmeras plataformas em operação, adotando a Propulsão Elétrica, possibilitará a

coordenação do desenvolvimento e aplicação de modelos comuns, ferramentas de projetos, métodos de fabricação e construção, novos tipos de materiais, componentes e sistemas, contribuindo para significativas reduções no risco do projeto e maximizando os custos e a logística. 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 preditivas e preventivas são ferramentas eficazes para a redução dos custos totais de manutenção.

- Redução da Emissão de Poluentes:

Atualmente todas as empresas 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 de suas operações. Todos os tipos de poluentes emitidos (gasosos, líquidos ou sólidos) estão sendo cada vez mais monitorados e as legislações (exemplo: 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 oriundos da queima de óleo diesel e gasolina são os maiores responsáveis pelo efeito estufa. Neste contexto, a propulsão elétrica está sendo fortemente indicada para embarcações de apoio marítimo.

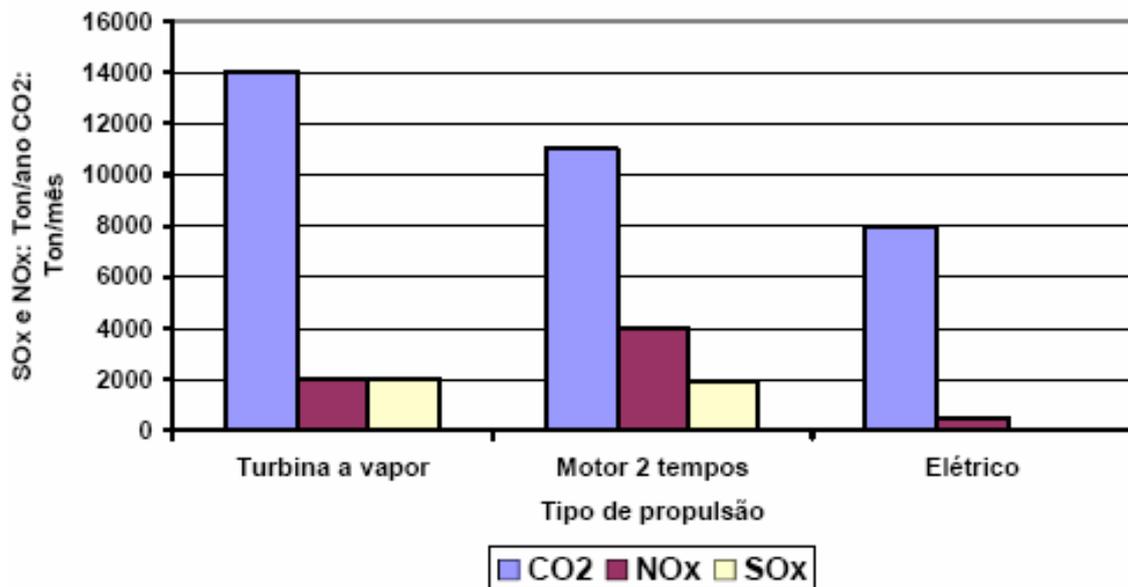
Durante a operação com embarcações, deve-se sempre levar em conta os aspectos ambientais do transporte. Neste sentido, a utilização da propulsão elétrica apresenta vantagens em relação à propulsão mecânica, tais como:

- 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 na Figura 17, apresenta claramente que a Propulsão Elétrica gera menos gases poluentes que os sistemas convencionais (que operam somente com turbinas a vapor ou motores 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 de Carbono, 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 durante as viagens. Além disso, a partir da figura pode ser visto que a missão de SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub> é feita por toneladas/ano e o CO<sub>2</sub> é por tonelada/ mês. Ou seja, a emissão do CO<sub>2</sub> será bem maior no mês do que no ano todo em relação ao SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub>, em qualquer equipamento propulsivo.

**Figura 17 – Emissão de poluentes.**



**Fonte:** GERK, HERMANN REGAZZI. Slides do Curso de Hidrodinâmica do Navio

Em breve a tendência é que não apenas os poluentes emitidos durante a vida operativa da embarcação sejam controlados, mas também aqueles produzidos durante a sua construção até a desativação ou corte. 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.

- Redução 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.

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 aos equipamentos mecânicos.

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

## **4 COMPOSIÇÃO DE UM SISTEMA DE PROPULSÃO ELÉTRICO**

Entende-se por Propulsão Elétrica um sistema básico, porém completo, constituído por um grupo de gerações de energia elétrica, um drive para o motor elétrico constituído de computadores, inversores de frequência e sistema de controle de velocidade e torque, um motor elétrico, a transmissão e um hélice propulsor.

O sistema de propulsão elétrica é dividido em duas partes, sendo elas:

- Propulsão Elétrica em corrente contínua
- Propulsão Elétrica em corrente alternada

### **4.1 PROPULSÃO ELÉTRICA EM CORRENTE CONTÍNUA**

A propulsão elétrica em CC deu-se no início do século XX e existiam em rebocadores de alto mar que em sua maioria eram destinados ao socorro e salvamento, embarcações estas que são os antepassados das atuais embarcações de apoio marítimo.

Atualmente ainda se faz uso de propulsão e instalações em corrente contínua, apesar de toda a evolução dos motores que utilizam corrente alternada para a propulsão de navios. Ou seja, existem embarcações que trabalham com sistemas de propulsão elétrica que utilizam corrente contínua devido à melhor capacidade de manobra por possibilitar suaves variações de velocidade, especialmente na partida. Para os rebocadores essa suavidade é crucial para manter a integridade de seu casco, e do casco da embarcação a ser empurrada.

Os rebocadores com propulsão elétrica em corrente contínua possuem motores diesel que operam sem parar e sempre na mesma rotação, acionando o gerador elétrico principal, mesmo com o navio atracado ou fundeado. Essa energia gerada é usada para movimentar um motor elétrico que pode ser acelerado, partindo do zero, evitando assim choques contra os navios empurrados, ou o rompimento dos cabos de reboque.

Esse sistema fez-se muito eficiente durante muitos anos, mas a propulsão elétrica em corrente contínua possui uma grande desvantagem por possuir coletor (comutador) de teclas e escovas. Devido ao atrito dessas escovas contra o coletor, o uso contínuo e as grandes variações de corrente, o desgaste dessas escovas é muito rápido, fazendo-se necessária uma manutenção frequente.

À medida que essas escovas se desgastam, o atrito e a alta corrente que passa pelas escovas começam a provocar pequenas centelhas e o aquecimento dessas escovas. Esse problema se agrava muito rápido, aumentando exponencialmente as centelhas e o calor nas escovas. Se a manutenção dessas escovas não for feita quando necessária, o calor pode avariar o coletor do motor, e essas centelhas misturadas a um ambiente não controlado podem iniciar um incêndio a bordo. Com isso este sistema de propulsão foi caindo em desuso.

#### **4.2 PROPULSÃO ELÉTRICA EM CORRENTE ALTERNADA**

O sistema tem o intuito de eliminar o eixo que interliga o MCP e o hélice sobrepõe as limitações tecnológicas da propulsão em corrente contínua. Seu desenvolvimento foi possibilitado pela evolução da eletrônica de potência, a qual se utiliza de dispositivos semicondutores que operam em regime de chaveamento para realizar o controle do fluxo de energia e a conversão de formas de onda de tensões e correntes entre fontes e cargas.

A propulsão em corrente alternada é muito utilizada hoje em dia, pois não requer constante manutenção e não exige tanto espaço para seus equipamentos, área que pode ser comercializada. Além destes, há outros fatores decisivos para a expansão da sua utilização na indústria naval como diminuição de ruídos e vibrações em relação à propulsão mecânica e a substituição de eixos por cabos elétricos, o que impossibilita problemas de desalinhamento.

É comum o uso de propulsão em CA em navios que façam muitas manobras, principalmente de atracar e desatracar, e cuja operação é irregular. Caso essas embarcações usassem motores diesel conectados diretamente ao hélice seus

cilindros estariam sujeitos à carbonização por trabalhar em baixa carga constantemente, consumindo combustível em excesso e aumentando seu custo de manutenção.

O uso de hélice de passo controlável (HPC) é comum junto a esses sistemas uma vez que seu emprego diminui a variação de carga no MEP. A reversão de passo facilita a manobra de inversão, pois adapta o passo do hélice sem parar o MEP e inverter a rotação do eixo. Sua aplicação ocasiona redução no consumo de energia elétrica (não demanda altas correntes como na partida e na reversão dos motores) e de óleo combustível, pois permite que os motores diesel trabalhem na faixa de máxima eficiência (maior torque e menor consumo).

Além dos recursos já expostos, podemos contar ainda com os thrusters, que são conjuntos de motor e hélice que permitem a propulsão transversal do navio e facilita as suas manobras. Eles são encontrados abaixo da linha d'água em um túnel que atravessa o casco do navio na proa (bow thruster) ou na popa (stern thruster) e criam impulso em qualquer direção. São usados em manobras de atracar/desatracar e dispensam o uso de rebocadores. A relação custo-benefício vai depender da redução das despesas obtida com o menor uso de rebocadores e da quantidade de manobras a serem realizadas pela referida embarcação.

**Figura 18 – MEPs no Sistema de Propulsão Elétrica**



Fonte: DILÉO, 2013,p.22

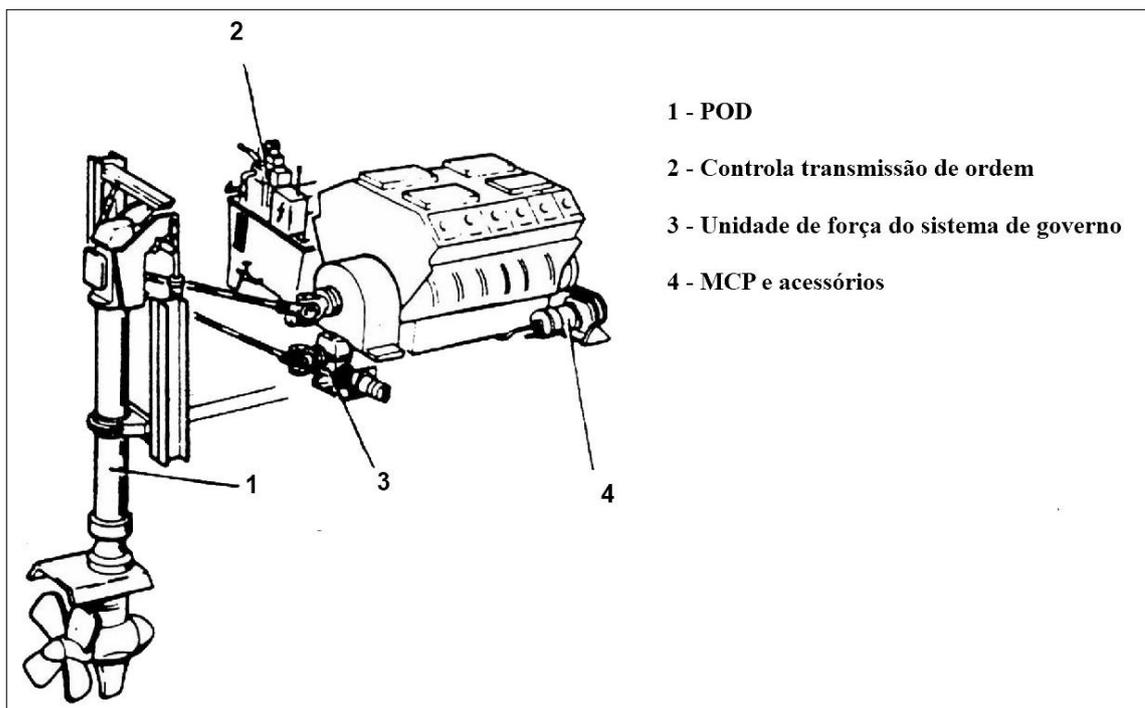
Os MEPs, neste tipo de sistema, são motores de indução em corrente alternada caracterizados pela robustez, simplicidade e baixo custo. A velocidade é

variada através de chaveamentos eletrônicos que isoladamente ou de modo combinado atenderão às necessidades do navio.

- **PROPULSÃO SCHOTTEL**

Desenvolvido na década de 70, o sistema Schottel, inicialmente acionado mecanicamente, introduziu o conceito de POD, que consiste no conjunto de motor e propulsor encontrado na parte externa do casco do navio. Sua capacidade de manobra ainda era ampliada pela movimentação do POD em azimute, ou seja, 360°, o que garante a eliminação do sistema de governo.

**Figura 19 – Sistema Schottel**



**Fonte:** [http://www.oceanica.ufrj.br/deno/prod\\_academic/relatorios/2009/nara\\_ugo/relat1/](http://www.oceanica.ufrj.br/deno/prod_academic/relatorios/2009/nara_ugo/relat1/)

O grande inconveniente dessa planta é a grande distância entre o motor principal e o propulsor a ré. Por isso, o sistema evoluiu para o acionamento por propulsão elétrica, onde são utilizados uma igual quantidade de geradores e de MCPs e os quadros elétricos dos propulsores são posicionados próximos aos PODs.

RIO DE JANEIRO

2015

### **4.3 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

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 baixam a tensão de alimentação dos motores de propulsão para os demais equipamentos.

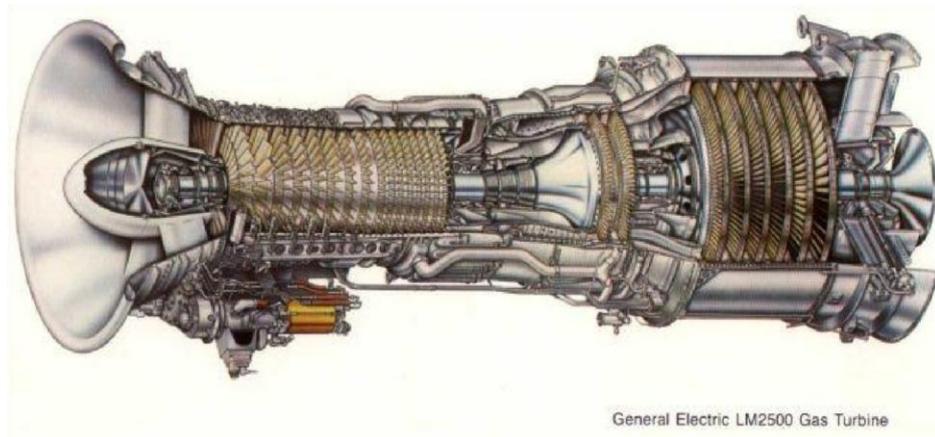
Com o desenvolvimento dos motores elétricos, e conseqüentemente aumento de potência, as máquinas que movem os geradores de energia devem ser igualmente potentes e hoje há dois equipamentos que são capazes de prover a potência e tensão necessárias, sejam eles: turbinas a gás e motores a diesel.

#### **4.3.1 TURBINA 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.

**Figura 20 – Turbina a Gás**



**Fonte:** LIMA, 2013, p.17

#### **4.4 INVERSORES DE FREQUÊNCIA**

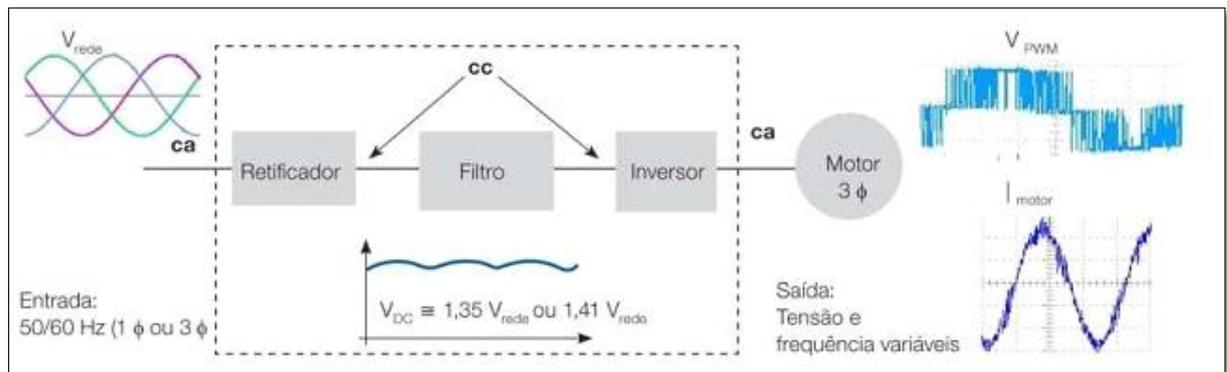
Os avanços na eletrônica de potência permitiram o surgimento dos inversores de frequência. São equipamentos que permitem o controle da velocidade, através da variação da frequência, e torque, através da variação de tensão, dos motores elétricos.

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.

**Figura 21** – Seções dos Inversores de Frequência



**Fonte:** GERK, HERMANN REGAZZI. Slides do Curso de Hidrodinâmica do Navio

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.

## 4.5 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.

## **4.6 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.

### **4.6.1 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.

#### 4.6.1.1 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.

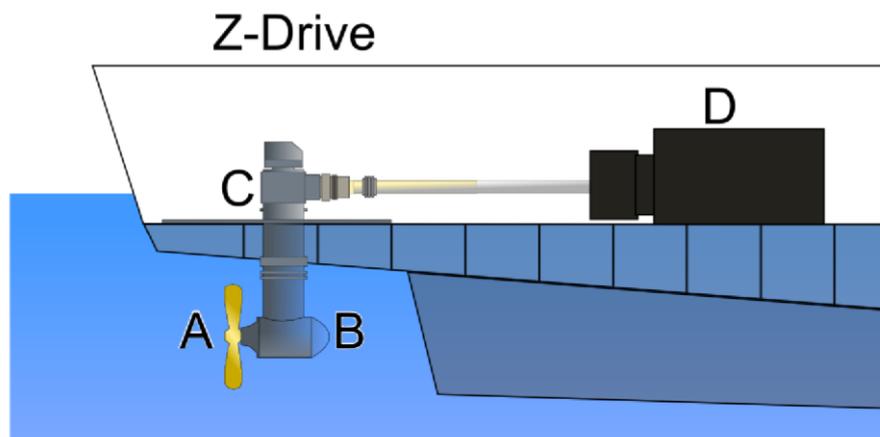
A transmissão convencional tem em sua constituição o motor elétrico acoplado a uma linha de eixo com mancais de sustentação, fura o “casco” e chega ao hélice.

#### - 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.

**Figura 22:** 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.



Fonte: Google Imagens.

- 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.

**Figura 23:** Representação de uma transmissão por L Drive.



Fonte: Google Imagens.

## 5 TIPOS DE PROPULSÃO ELÉTRICA

De acordo com qualquer dicionário da língua portuguesa é possível afirmar que propulsão é todo e qualquer meio que coloque uma embarcação em movimento.

Cada tipo de sistema de propulsão teve sua época áurea, devido a fatores econômicos foram desaparecendo ou aperfeiçoados. A criação de novas tecnologias permitiu 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.

Conforme a linha de estudo seguida, é possível classificar o sistema de propulsão elétrico em algumas frentes de propulsão, como:

- Propulsão Diesel- Elétrica;
- Propulsão Azimutal;
- Propulsão por ímãs permanentes;
- Sistemas Híbridos.

### 5.1 PROPULSÃO DIESEL-ELÉTRICA

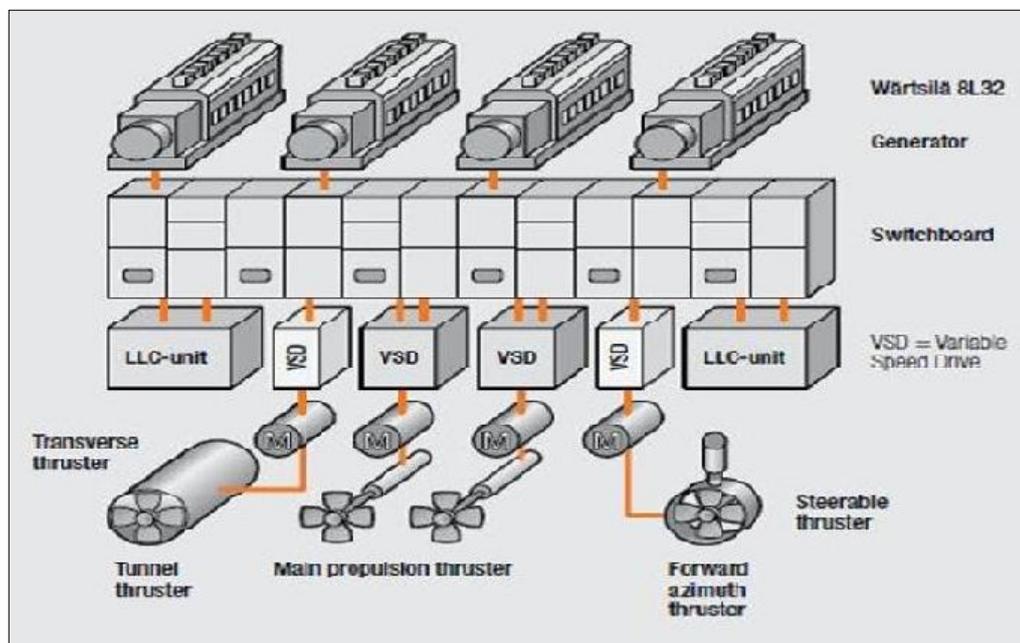
Esse método de propulsão permite o uso de vários motores pequenos, de alta rotação, leves, reversíveis ou não, para acionar um único propulsor eficiente de baixa rotação. A energia embarcada é garantida por geradores a diesel, mas a propulsão é elétrica, proporcionando uma economia significativa no consumo de combustível, maior flexibilidade operacional, redução da poluição ambiental e do tempo de docagem.

Esse sistema passou a ser um sistema de propulsão muito utilizado, pois as embarcações se tornaram autossuficientes, já que tal sistema de propulsão elétrica transforma o movimento mecânico gerado pelo próprio navio em energia elétrica. Abrange dois ou mais geradores de alta potência acionados por motores diesel de quatro tempos, os quais operam a uma velocidade média.

A demanda elétrica do Sistema Diesel-Elétrico é configurada de forma que possa suprir todos os sistemas principais e auxiliares, como os propulsores auxiliares (Thrusters) com redundância de forma que possa assegurar grandes períodos de operacionalidades com segurança.

Os geradores principais são acionados diretamente ou indiretamente, sendo a forma indireta por meio de uma caixa reversora. Os geradores são rígidos e os motores a diesel podem ser rígidos ou de montagem flexível. Os motores elétricos acionam sistema de propulsão principal, bem como as transmissões auxiliares.

**Figura 24** – Sistema de propulsão diesel-elétrica



**Fonte:** GERK, HERMANN REGAZZI. Slides do Curso de Hidrodinâmica do Navio

As principais vantagens desse sistema de propulsão são:

- Operação econômica: o propulsor em uma velocidade reduzida permite que o número de geradores possa ser associado à energia demandada. Isso reflete particularmente no custo efetivo operacional, como uma maneira eficaz de fornecer cargas do gerador a diesel com baixa eficiência;
- Excelentes características dinâmicas: alterações na velocidade e inversões na manobra de posicionamento podem ser realizadas a uma velocidade ótima;
- Alto grau de automação: todas as unidades de propulsão podem ser controladas automaticamente por um sistema de navegação do navio e de comando

superior, ou manualmente a partir de qualquer console. Todas as funções e estados operacionais são monitorados para evitar erros operacionais e sobrecargas;

- Configuração redundante: maior confiabilidade e disponibilidade pela configuração redundante do sistema de propulsão;
- Capacidade máxima de carga útil: otimização do uso do espaço disponível por redução do volume e arranjo descentralizado de componentes do sistema de propulsão.

Entretanto, há algumas desvantagens nesse sistema como em qualquer um:

- Aumento da quantidade e complexidade da eletrônica embarcada nas máquinas, o que requer maior controle e supervisão;
- Aumento da complexidade dos sistemas de supervisão e controle da planta de propulsão- grande quantidade de pontos (sinais);
- Desenvolvimento de conversores de frequência: necessário o acionamento dos motores.

## **5.2 PROPULSÃO AZIMUTAL**

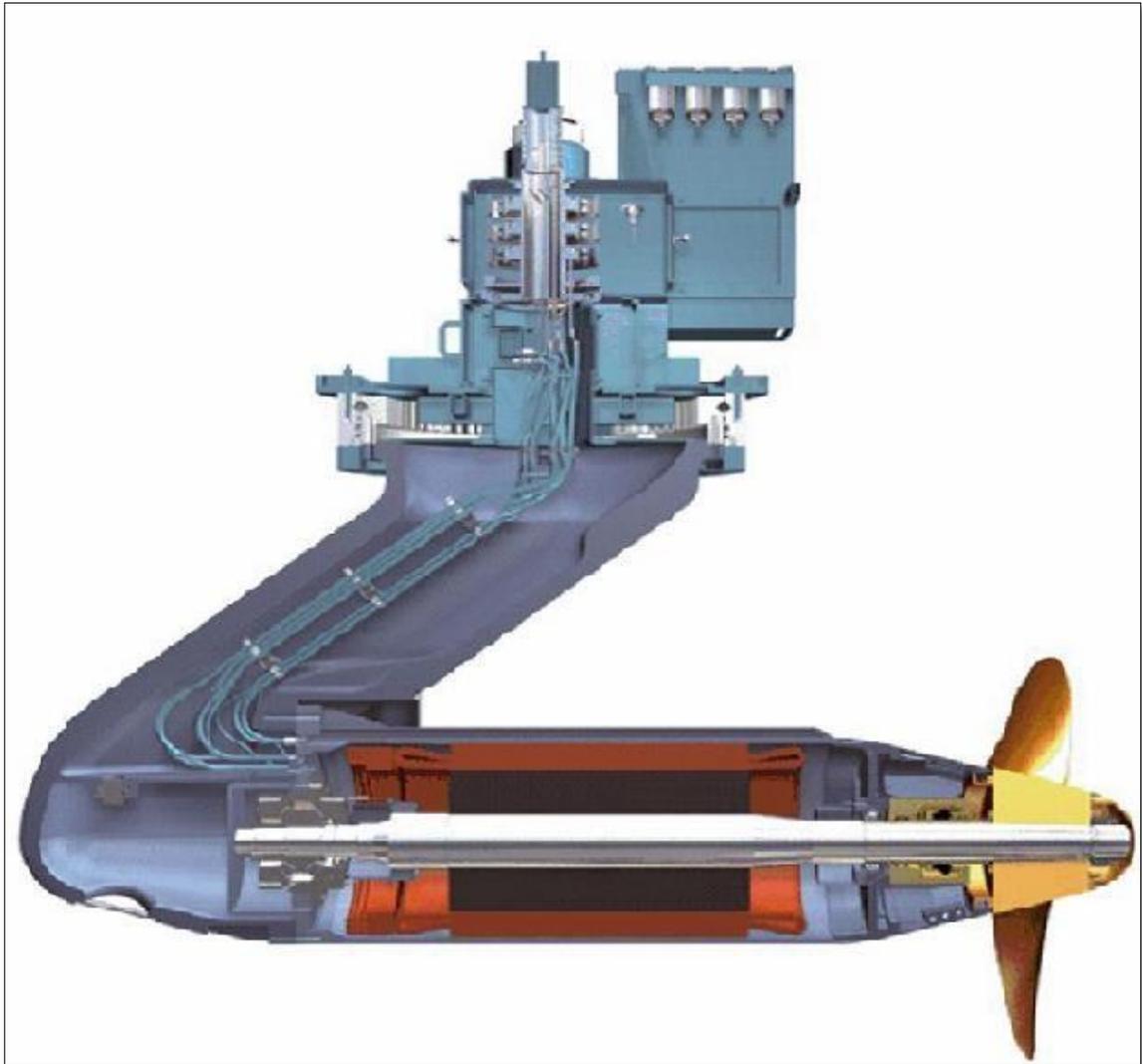
A propulsão Azimutal foi criada em 1990 e, nesta década, teve destaque em embarcações turísticas, que foram os primeiros navios construídos com esta tecnologia. O sistema possui o sistema propulsor e o sistema de governo acoplados em uma única estrutura, formando uma unidade de propulsão elétrica (azipod ou pod), posicionando exteriormente e abaixo do casco.

Os tipos de embarcações que se adequam a este tipo de propulsão são as que necessitam de uma excelente capacidade de manobra, um ótimo torque para diversas direções e de um sistema que permita uma imediata mudança na direção do empuxo do hélice propulsor.

Os motores elétricos utilizados nessa unidade apresentam frequência elétrica variada, fato que permite o controle da velocidade rotacional do propulsor, o qual apresenta a capacidade de orientação para qualquer direção em torno de um eixo

vertical, ou seja, gira em torno de um eixo vertical com amplitude de 360 graus. Sua direção é hidráulica e como o fluxo de água da propulsão é direcionado pelo azipod, dispensa o uso de lemes, os quais teoricamente permitem por si só o deslocamento da embarcação em todas as direções.

**Figura 25 – Unidade Pod**



**Fonte:** [www.marineinsight.com](http://www.marineinsight.com)

O Sistema padrão AZIPOD® consta dos seguintes componentes: No mínimo um gerador elétrico movido por motores a diesel ou turbina, no qual é utilizado para conduzir ou para produzir empuxo. O sistema precisa de uma maneira para rotacionar o hélice e isso é realizado através de um motor elétrico; transformadores de corrente elétrica, que tem como finalidade reduzir a alta energia produzida por

geradores, aproximadamente 6600 KV, para a tensão necessária, podendo ser fornecida ao motor; conversores de frequência e controle de propulsão.

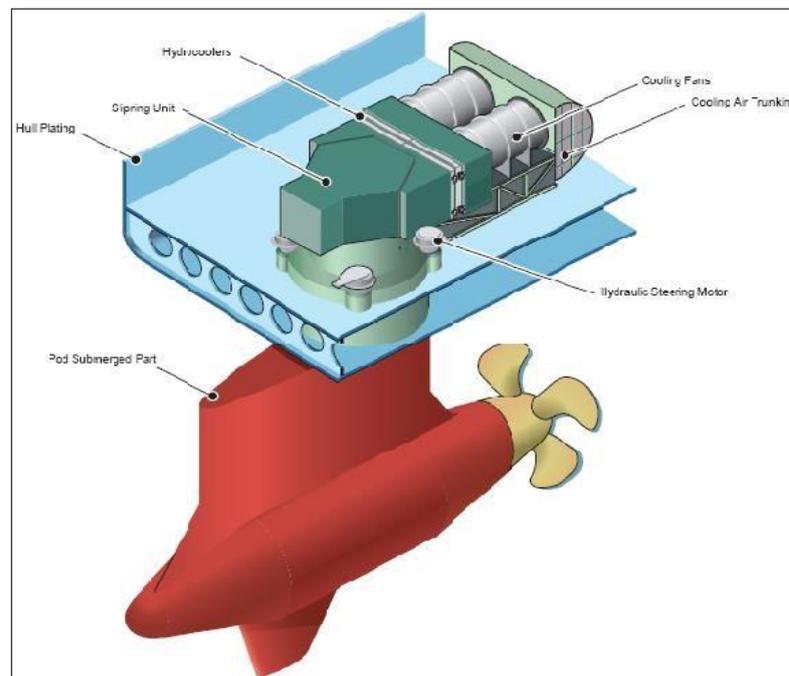
Os geradores de energia, na maioria dos casos, são acionados por motores a diesel. Sendo necessários vários grupos de geradores para que haja redundância no sistema, ou seja, para que dessa forma seja possível parar um gerador em viagem para realizar serviços de manutenção e mesmo assim manter a embarcação em operação.

O motor elétrico, instalado no azimuthal, aciona diretamente um hélice propulsor de passo fixo, sendo capaz de proporcionar o torque total em todas as direções, em baixas rotações e em maiores que o máximo projetado, como no exemplo dos navios quebra gelo.

Este tipo de controle de frequência fornece uma medida exata e precisa da velocidade dos hélices do AZIPOD® sendo bastante eficiente em manobras que requeiram alto controle da embarcação sem a utilização de rebocues.

O controle preciso e suave da velocidade do motor é uma grande vantagem deste sistema pois gera um funcionamento suave do motor elétrico cortando gastos de manutenção.

**Figura 26** – Representação de uma unidade Pod com seus respectivos componentes



Fonte: [www.marineinsight.com](http://www.marineinsight.com)

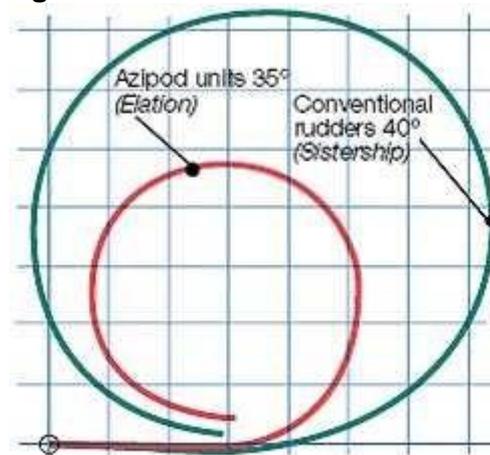
O sistema de propulsão AZIPOD<sup>®</sup>, desenvolvido a cerca de duas décadas, combinou o melhor de todos os sistemas de propulsão existentes. Vejamos algumas vantagens:

- Maior estabilidade. No caso dos navios de grande boca, dois ou mais Azipods, independentes uns dos outros, podem ser utilizados. Isso proporciona manobras mais sutis. Neste caso, os hélices operam em contra-rotação. A contra rotação pode ser obtida ao combinarmos um propulsor tipo Azipod, operando frente a um propulsor convencional. As vantagens apresentadas ao utilizar essa operação são: hélices contra rotativas eliminam as perdas rotacionais, não produzem forças laterais e minimizam a cavitação; a área aumentada das pás permite a utilização de relações de engrenagem maiores; mais energia pode ser transmitida para um dado raio de hélice. Já as desvantagens são: instalação mecânica de eixos coaxiais de contra rotação é complicada, cara e requer mais manutenção; e os ganhos hidrodinâmicos são parcialmente reduzidos em perdas mecânicas nos eixos.

- Baixa vibração e emissão de ruídos;
- Elimina necessidade de leme, longas linhas de eixo, hélices de passo variável e engrenagens redutoras;
- Melhor aproveitamento dos espaços de máquinas e carga;
- Boa capacidade de resposta em variados torques e direcionamento do empuxo em qualquer direção;
- Custo de manutenção inferior;
- Redução na emissão de gases poluentes;
- Alta manobrabilidade, pois o hélice pode ser orientado para todas as direções.

Deste modo um melhor resultado é obtido nas manobras de “crash manouering”, ou seja, a distância percorrida entre o momento de mudança, de toda a força avante para toda a força a ré, e a parada total da embarcação é menor se comparada às embarcações que utilizam o sistema convencional.

**Figura 27 – Curva de manobrabilidade**



**Fonte:** GERK, HERMANN REGAZZI. Slides do Curso de Hidrodinâmica do Navio

O aspecto ambiental, nesse sistema, é um ponto diferenciado devido à baixa emissão de gases. Estudos sobre máquinas de combustão interna comprovam que, operando em rotações constantes, emitem menos gases tóxicos que os motores operando em velocidades variáveis, além do consumo de combustível ser mais eficiente.

O sistema apresenta também algumas desvantagens, mas que podem ser relevantes se comparados com a grande quantidade de vantagens já citadas a cima. São elas as seguintes:

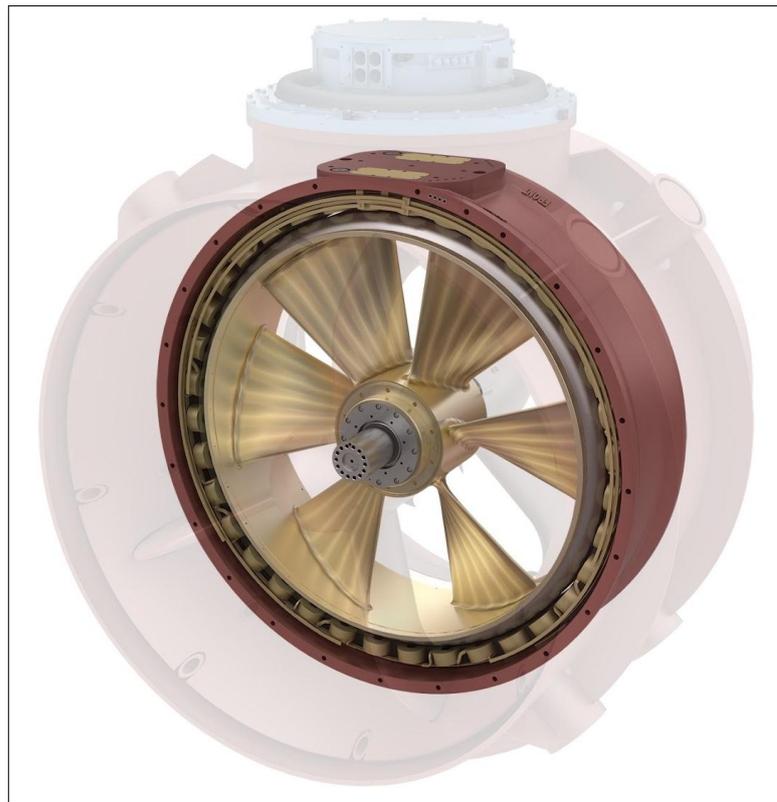
- Requer um custo inicial elevado;
- Um grande número de motores diesel é necessário para a produção de energia necessária;
- Há uma limitação da potência produzida pelo motor. Atualmente as potências mais elevadas disponíveis estão na faixa dos 25 MW;
- Não pode ser instalado em grandes navios com grandes capacidades de carga os quais precisão de muita potência e grandes motores.

### 5.3 PROPULSÃO POR IMÃS PERMANENTES

Com o avanço das pesquisas e a descoberta da disponibilidade de alta energia nos ímãs de terras raras de Samário-Cobalto (Sm Co) em 1970 e nos ímãs de Neodímio Ferro-Boro (Nd FeB) em 1983, tornou-se, possível, um grande avanço na tecnologia e no desempenho das máquinas de ímãs permanentes. Tais ímãs propiciam uma melhora na relação potência/massa da máquina, na eficiência, confiabilidade e em seu desempenho dinâmico. A sua grande desvantagem está ainda nos altos preços, os quais apresentaram, ao longo dos anos de 2011-2012, grandes flutuações, ocasionando impacto negativo nas vendas de produtos com ímãs.

Os motores síncronos (ou elétrico) de ímãs permanentes, ou motor PM, estão tomando gradativamente o espaço dos motores de corrente contínua. Há algum tempo vem tornando-se uma alternativa real e possível para solucionar problemas específicos os quais são presenciados nos demais motores elétricos e por isso apresentam maiores vantagens, especialmente no que se refere ao peso por potência instalada, densidade de energia e volume limitado.

**Figura 28** – Sistema de Imãs Permanentes



**Fonte:** GERK, HERMANN REGAZZI. Slides do Curso de Hidrodinâmica do Navio

Esse novo conceito de propulsão é composto por um motor de imã permanente no aro, que move a hélice no centro. O sistema é formado por um estator que carrega diversos enrolamentos de bobinas elétricas e um rotor equipado com uma série de imãs permanentes resistentes, além de ser o local onde é feita a produção de um campo magnético estacionário pela corrente de campo, assim como as correntes circulares. A partir disso, pode ser dizer que existem dois campos presentes no motor e o campo do rotor tenderá a se alinhar com o campo do estator à medida que este gira, interagindo com os imãs permanentes do rotor. Isso gera a força necessária para arrastar o rotor, o que fornece a energia mecânica para o equipamento. Como o sistema fica em um aro, o espaço acima desse propulsor, onde outros motores normalmente estão localizados, é maior. Desse modo, há a possibilidade de instalar equipamentos diversos no local.

Podem ser ativados tanto com sinais elétricos contínuos quanto alternados, mas é importante notar que aplicações de motores de corrente alternada são mais utilizados e eficientes em termos de disponibilidade de conversão de energia e

manutenção. Em geral, podemos afirmar que os motores elétricos apresentam maior tamanho, maior peso e maior custo do que um sistema mecânico. Entretanto, com o advento dos motores PM tem sido possível a diminuição dessas desvantagens.

Pode ser dado como exemplo a embarcação Olympic Octopus pertencente à empresa Olympic Shipping que utiliza um propulsor de túnel com imã permanente (TT-PM), dada pela Rolls-Royce, empresa de sistemas de energia.

**Figura 29** – Embarcação Olympic Octopus



**Fonte:** GERK, HERMANN REGAZZI. Slides do Curso de Hidrodinâmica do Navio

O aspecto mais notável do motor de ímãs permanentes quanto à eficiência do motor são as perdas devido à excitação de campo e do arrefecimento em comparação com outros motores atualmente utilizados na propulsão de embarcações. Além disso, deve notar-se que o peso e tamanho desses motores são substancialmente menores de modo que suas vantagens passam a ser algo relevante e categórico.

As principais vantagens desse sistema são:

- Propulsores de túnel são posicionados à frente e atrás de uma grande variedade de embarcações e fornecem empuxo lateral para manobras e para a estabilização do navio em mar agitado e propiciam um aumento da potência de

saída em cerca de 25%, em comparação com hélices do mesmo tamanho, e a redução significativa do ruído e da vibração da embarcação. O propulsor também é removível debaixo d'água, o que elimina a necessidade de docagem seca.

- A eficiência do motor PM é maior que a de um motor síncrono de indução. Não são necessários os enrolamentos do motor já que o fluxo criado por ímãs permanentes de corrente contínua é de igual potência, uma vez que as perdas são muito baixas ao não contar com enrolamento do campo.

- Poucas partes móveis que requerem poucas manutenções.

- É possível construir motores com diâmetros maiores que permitam desenvolver alto torque em baixas rotações sem considerar um aumento peso, situação oposta ao que aconteceria em uma máquina síncrona convencional com enrolamento de campo. A obtenção de baixas rotações é especialmente importante para onde se queira diminuir os efeitos de cavitação do hélice.

- Remoção submersa: não requer docagem seca para reparos.

- Motor de alta eficiência (97% de eficiência elétrica)

- Baixas perdas mecânicas por fricção

- Design simétrico para propulsores iguais e condições submersas favoráveis em qualquer direção

- Simplificação da logística de construção, devido a instalação particionada do propulsor

- Rápida resposta devida a eficiente variação de rotações por minuto.

- Conforme o advento dos motores PM, é possível notar algumas desvantagens, mesmo sendo elas bem menores:

- A inversão de corrente contínua para alternada implica necessariamente na introdução de um alto conteúdo harmônico em sinais elétricos de excitação que por sua natureza não são desejáveis e são altamente prejudiciais na conversão de energia, eficiência e qualidade de serviço. Os harmônicos geram torques e ruídos perfeitamente detectáveis e audíveis. Assim, é necessário o estabelecimento de técnicas de controle para minimizar os efeitos prejudiciais.

- Deve ter sensores e dispositivos de realimentação e de proteção tanto para o funcionamento normal quanto para as eventuais falhas que poderiam ocorrer, especialmente um curto-circuito de uma fase.
- O motor alimentado por uma fonte de corrente contínua requer um dispositivo inversor, pois sua operação síncrona requer excitação de corrente alternada. Isso os torna dependentes de uma grande quantidade de componentes eletrônicos de potência que devem atender aos requisitos de potência necessários. Um número elevado de elementos aumenta significativamente a taxa de falhas.

## 5.4 SISTEMAS HÍBRIDOS

Uma nova configuração de sistema propulsores vem despontando e ganhando força no disputado mercado. Denominado de sistema híbrido de propulsão, ainda é pouco conhecido e pouco utilizado no transporte marítimo comercial em comparação com os sistemas mais conhecidos de propulsão – o Diesel-Mecânico e o Diesel-Elétrico.

Por arranjar sistemas Diesel, Elétrico e Mecânico, surgiu como uma alternativa valiosa e interessante por se tratar de embarcações cujo perfil operacional alterne momentos de alta e de baixa demanda de potência na saída do eixo propulsor (potência útil); normalmente embarcações que carecem de grande redundância de propulsão nas quais a utilização propulsiva diesel-elétrica não é eficiente, e de embarcações que possuem uma elevada gama de operações distintas.

O sistema híbrido tem aproveitado com muito êxito a disseminação de sistemas de controle eletrônico embarcados. Por misturar sistemas propulsão diesel mecânica e a propulsão diesel-elétrica, o sistema híbrido combina os benefícios de cada um dos dois tipos de forma a trabalhar sempre com a maior eficiência possível, este tem sido seu diferencial.

Seu uso se fez necessário, por causa da necessidade imposta pelos armadores aos construtores em ajustar os projetos focando aliar economia de combustível sem perder potência a uma maior diversidade operacional.

O sistema é composto mecanicamente por motores diesel, caixas redutoras, geradores de eixo e pela parte elétrica, com motores elétricos, além de geradores auxiliares que irão complementar a demanda de energia elétrica da embarcação com os geradores de eixo. Esse conjunto de equipamentos podem ser configurados de três formas diferentes caracterizando o Sistema Propulsivo Híbrido:

- Somente com Propulsão Elétrica para manobras de baixa velocidade, trânsito e operação em Posicionamento Dinâmico (DP);

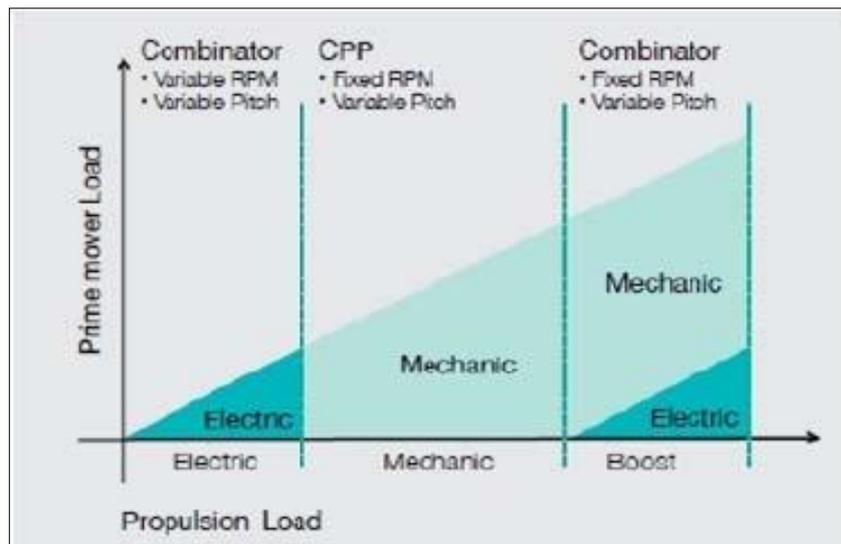
- Em operações de reboques, manuseio de âncoras (para embarcações AHTS), em trânsito em velocidade elevadas, utilizando o Sistema Propulsivo Mecânico;

- E a combinação da Propulsão Elétrica e Mecânica Híbrida utilizando o conjunto elétrico como suprimento de potência para o Sistema de Propulsão Mecânica em manobras que requisite uma tração estática considerável.

Dessa forma, define-se sistema propulsor híbrido a possibilidade de se operar em modos distintos ou combinados com utilização da potência dos sistemas que o compõem sem que esteja numa condição de emergência operacional.

O gráfico abaixo demonstra a prioridade do Sistema Propulsor a ser utilizado em relação a carga operacional.

**Figura 30** – Tipos de sistemas propulsivos



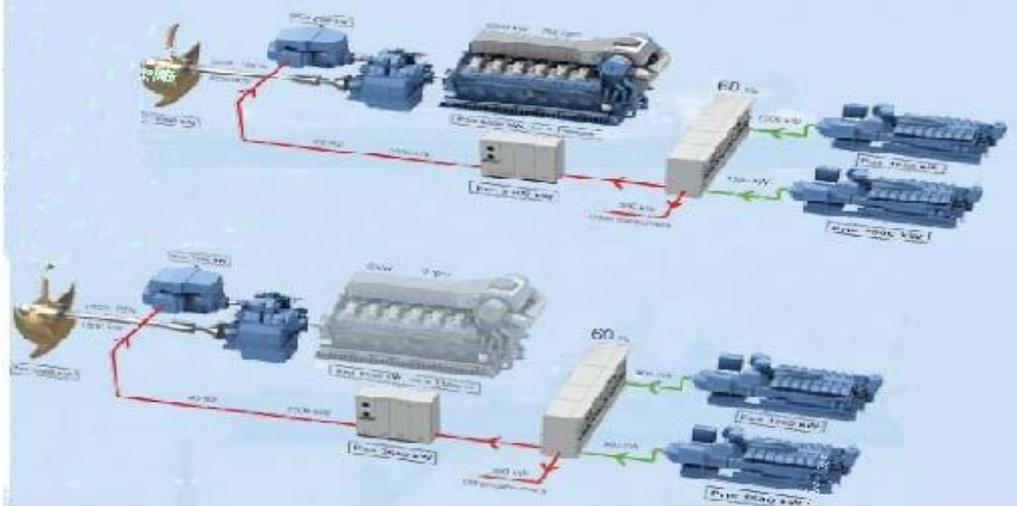
**Fonte:** SOUZA, 2013, p. 15

Uma vantagem muito importante apresentada pelo sistema híbrido é a versatilidade na geração de energia, atendendo todas as faixas de consumo, dentro das faixas de operação dos Motores e Geradores do sistema. A consequência ao trabalhar a maior parte do tempo dentro da faixa de operação de projeto dos motores e geradores é obter maior eficiência energética e economia de combustível.

As Figuras 14 e 15 demonstram graficamente plantas com configurações operacionais para múltiplas situações, que vão de altas velocidades a longos

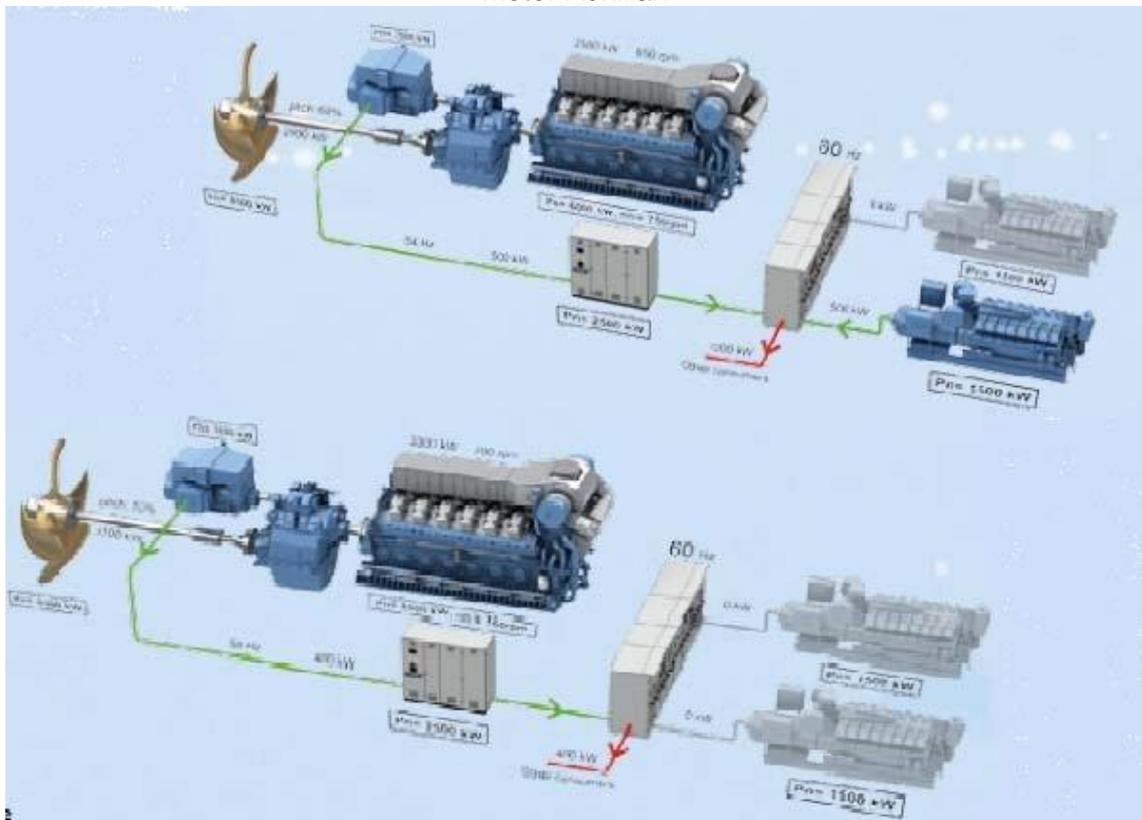
períodos de monobrabilidades, características muito exigida das embarcações AHTS.

**Figura 31** – Variações do Sistema de Propulsão Híbrido com quatro Motores Auxiliares.



**Fonte:** Rolls-Royce

**Figura 32** – Variações do Sistema de Propulsão Híbrido com dois Motores Principais e Motor Auxiliar.



**Fonte:** Rolls-Royce



## 6 ESTUDO DO CASO

Visto que é necessário um sistema de propulsão adequado para cada tipo e embarcação, com o intuito de se obter o aumento da eficiência energética. Muitas embarcações, como navios de passageiros e navios quebra-gelos, utilizam o sistema de Propulsão Elétrico, tais casos como: Navio Queen Mary, Costa Concordia, P. Timofey Guzhenko.

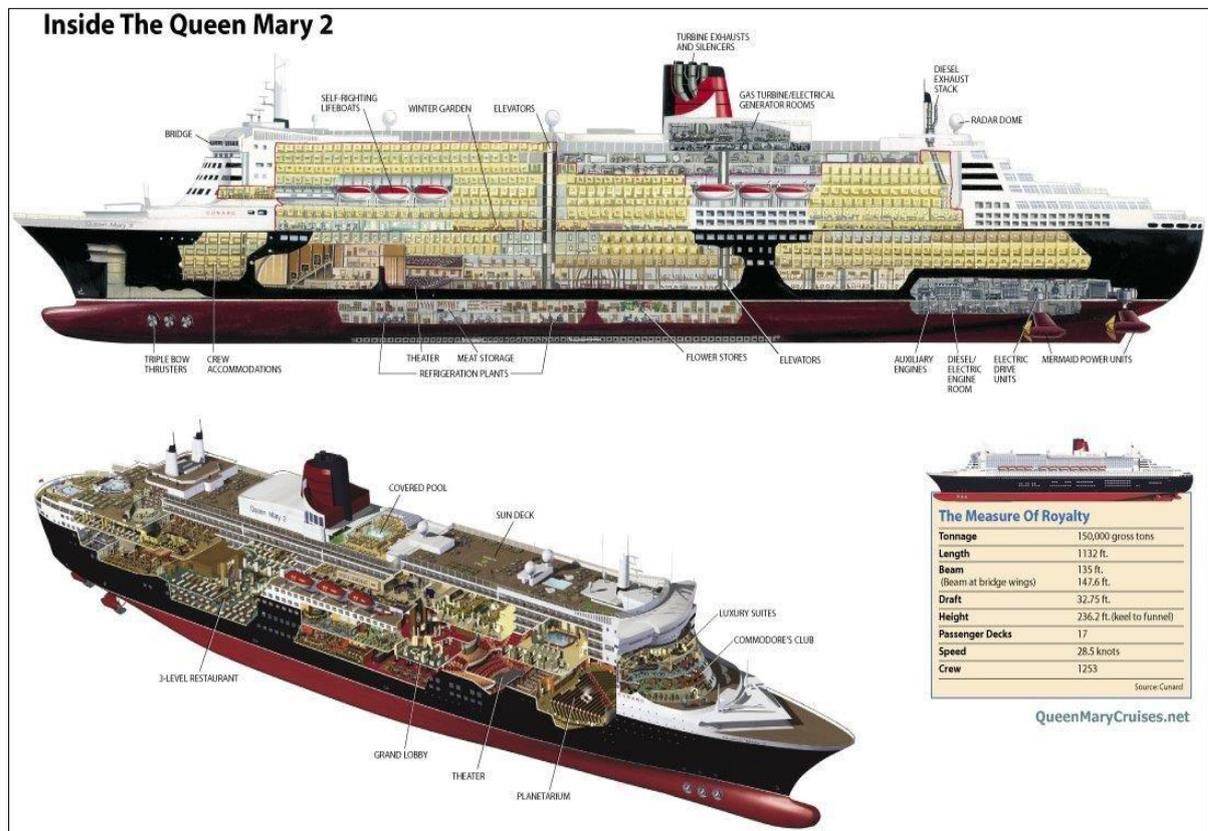
### 6.1 Navio Queen Mary 2

O Queen Mary 2 é um navio transatlântico. Ele é o primeiro grande transatlântico construído desde o RMS Queen Elizabeth 2 em 1969, o mesmo navio que ele sucedeu como capitânia da Cunard Line. Na época de sua construção em 2003 nos estaleiros Chantiers de l'Atlantique, ele era o navio de passageiros mais longo, mais alto e mais largo da história, com sua tonelage de 148 528 também sendo um recorde. Seu custo final foi de aproximadamente US\$ 300.000 por ancoradouro, quase o dobro do que os navios de cruzeiro contemporâneos. Os gastos subiram pela alta qualidade do material e pelo projeto de transatlântico; ele precisou de 40% a mais de metal do que um cruzeiro padrão. O Queen Mary 2 tem uma velocidade máxima de 30 nós (56 km/h) e velocidade de cruzeiro de 26 nós (48 km/h). Ao invés da configuração diesel-elétrica encontrada em muitos navios, o Queen Mary 2 usa uma propulsão elétrica integrada. Turbinas a gás são usadas para aumentar a potência gerada pelo navio.

Em relação ao seu sistema propulsivo elétrico, pode se dizer que ele obteve máxima importância em relação ao funcionamento da instalação elétrica. Sua configuração é de diesel e gás combinada (CDDAG) baseada em duas turbinas de gás situadas numa câmara de turbinas elétricas localizada a ré da chaminé, e em quatro motores diesel que desenvolvem uma potência unitária de 16800KW a 514 rpm, instaladas numa única casa de máquinas. Com esta configuração o Queen

Mary 2 possui quatro propulsores pod, os dois avante fixos e outros dois a ré azimutais, localizados todos na popa da embarcação. Com a propulsão elétrica azipod as linhas de veio, lemes e servo-motores são dispensáveis, possibilitando uma economia de peso e espaço, os quais podem ser disponibilizados para outros fins, tais como uma maior capacidade de passageiros. Esta combinação de turbinas possui uma grande vantagem quanto a outros navios: uma boa flexibilidade operacional e redundância para uma operação normal. Como os grupos de motores diesel-alternadores e as turbinas de gás-alternadores possuem quadros elétricos diferentes e também estão separados a uma distância considerável, alguma possibilidade de incidente que possa deixar uma ou outra fonte de energia elétrica não resultará na inoperação do navio. Além disso, o QM2 possui baixos níveis de ruídos e vibrações, assim como uma menor necessidade de manutenção e um arranque mais rápido.

**Figura 33 – Ilustração do navio de cruzeiro Queen Mary 2**



Fonte: [www.queenmarycruises.net](http://www.queenmarycruises.net)

## 6.2 NAVIO COSTA CONCORDIA

Costa Concordia foi um navio de cruzeiro com lotação para cerca de 4 890 pessoas (3 780 passageiros e 1 110 tripulantes) construído pelo Fincantieri - Cantieri Navali Italiani S.p.A., em Trieste . Naufragou em 13 de janeiro de 2012, após colisão contra rochas junto à Isola del Giglio.

O barco estava inclinado num ângulo de 80°. No naufrágio 32 pessoas faleceram (com o último corpo sendo localizado apenas em novembro de 2014). O navio teve os seus tanques de combustível esvaziados. Costa Concordia naquela noite, estava carregando 3 229 passageiros e 1 023 tripulantes.

Antes de seu naufrágio, em novembro de 2008, Costa Concordia sofreu danos em seu arco, quando os ventos fortes empurraram o navio contra o seu deck. Não houve ferimentos e os reparos começaram logo depois.

**Figura 34** – Navio Costa Concordia

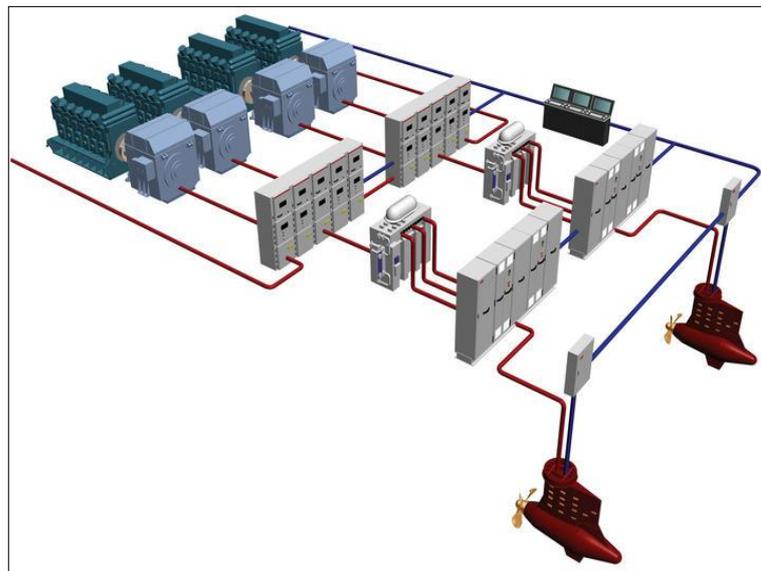


**Fonte:** <http://cdn1.mundodastribos.com/377340-fotos-do-naufragio-do-cruzeiro-costa-concordia-na-italia-23.jpg>

Em relação ao seu sistema propulsivo, possuía o sistema Diesel-Elétrico, dois eixos nos motores de propulsão e duas hélices de passo fixo. Em suma, contava com seis geradores a diesel, os quais geram uma potência combinada superior a 100000 cavalos e alimentam dois motores elétricos que giram os propulsores. O acidente ocorreu quando o navio, ao aproximar-se da ilha de Diblí, teve o seu casco rasgado no lado de bombordo por uma rocha de granito, mesmo lado onde se localizavam os geradores a diesel. Tais geradores eram localizados abaixo do nível da água para ajudar na estabilidade da embarcação. A área foi inundada logo após o impacto e a água salgada atingiu os painéis de controle elétrico, tendo como consequência a perda de energia pelo navio, ficando este à deriva após o impacto. Os motores começaram a falhar e sem energia elétrica o navio começou a perder velocidade, levando o Concordia a assumir um adernamento muito perigoso e que resultou em mortes.

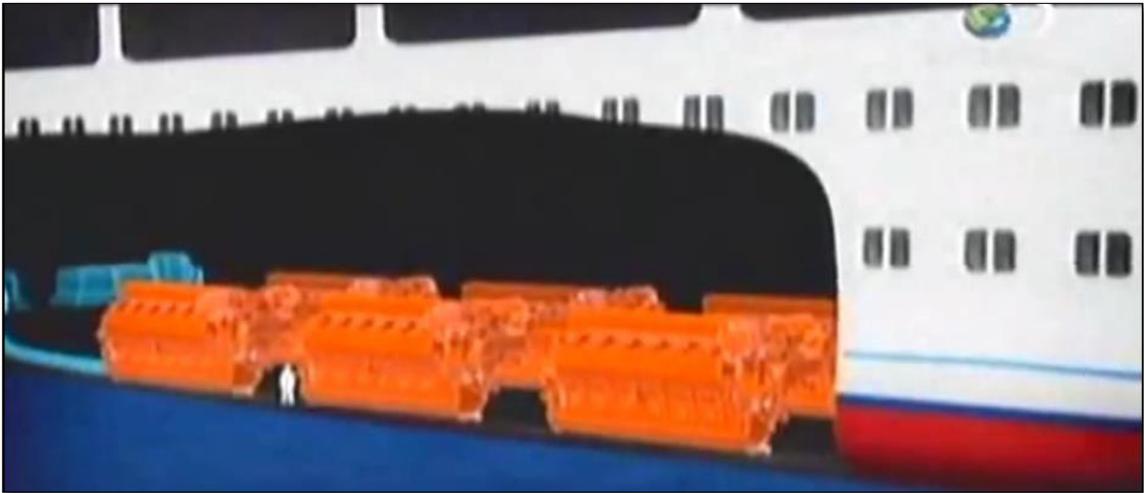
Numa embarcação, é notório dizer que a redundância passou a ser não só um aspecto importante para o aumento da eficiência da embarcação, mas também um aspecto relativo a segurança. Já que, comparando o Costa Concordia com o Queen Mary, é perceptível que os dois não possuem a mesma redundância, pois assim ela poderia permitir que o Concordia continuasse com energia elétrica e continuaria operando.

**Figura 35** – Sistema Propulsivo do Costa Concordia



Fonte: <http://www.ship-technology.com/>

**Figura 36** – Motor a diesel do navio de cruzeiro Costa Concordia



Fonte: vídeo Discovery Channel

### 6.3 Navio P. Timofey Guzhenko

Acredita-se que 25% das reservas de petróleo e gás natural do mundo estejam escondidas em baixo dos mares congelados, ao norte. Este navio foi projetado para trazer de volta essas riquezas naturais.

Construído com mais de 90.000 toneladas e com um custo de 150.000.000 de dólares, o Navio Timofey Guzhenko, navio russo, não é apenas um petroleiro, mas também um navio quebra gelo (icebreaker).

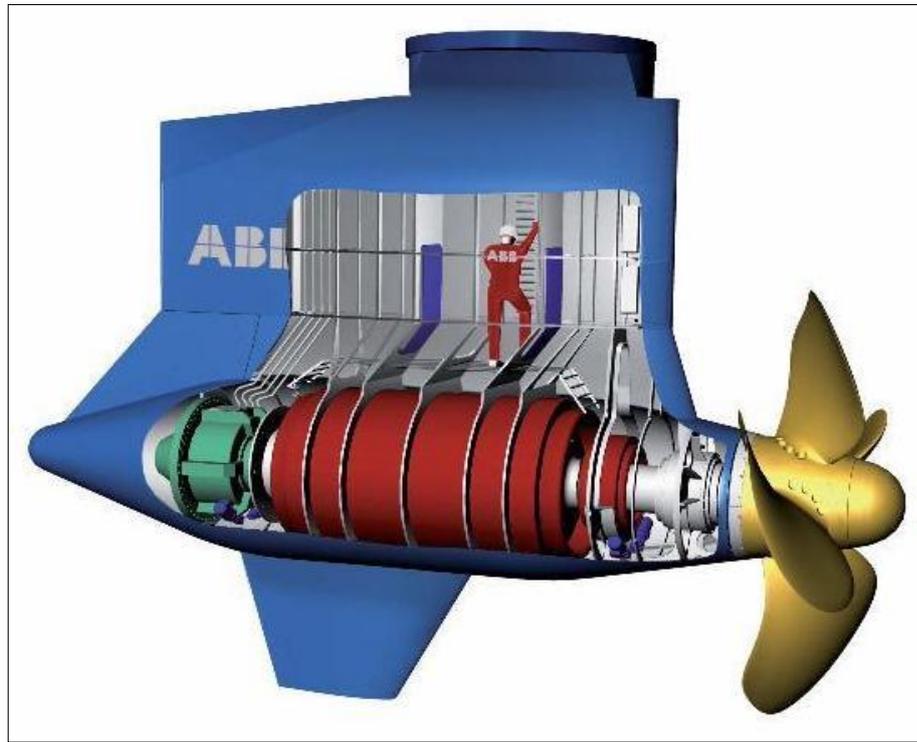
A partir do século XIX, os comerciantes de Hamburgo começaram a lutar para que seus portos não congelassem, já que nessa época esse porto era o mais movimentado da Europa, tendo que construir uma máquina que quebrasse o gelo já que equipamentos manuais não podiam resolver a situação.

Entretanto, nessa época o casco dos navios possuía a característica de serem afiados e retos de modo que cortasse o gelo, como uma faca, contudo ao bater em qualquer calota polar eles ficariam presos. Então a partir disso, foi projetado um casco côncavo, em formato de colher, desse modo as embarcações poderiam quebrar o gelo facilmente.

Por ser um navio petroleiro, o navio em questão não parece em nada, em relação ao casco, do que foi inventado inicialmente, pois quando o tanque do navio está vazio, seu casco se aproxima da superfície, mas quando está cheio o casco é empurrado para baixo. Assim o casco encurvado bateria com a parte frontal no gelo e simplesmente não conseguiria supera-lo. Logo, em vez de um casco em formato de colher, seus projetistas deram para ele um casco reto com um ângulo para que possa quebrar o gelo. Dessa forma a embarcação pode deslizar por cima do gelo para quebrá-lo sem se importar com a carga.

Todavia, não é só a proa que ajudará o navio a atravessar o gelo. Qualquer máquina abaixo da linha d'água fica vulnerável aos blocos de gelo que passam por baixo do casco. Caso a hélice ou o leme do navio quebrem por conta do gelo, eles se encontraram em más condições de navegação. Então ao serem projetados os navios quebra gelos, foi colocado 2 hélices extras em ambos os lados, ajudando a repelir o gelo para longe da hélice principal. Já que o Timofey Guzhenko consegue ser reabastecido facilmente, ele pode ser movido por motores a diesel. Possui hélices azimutais, que não só propelem o navio mas atuam em diferentes combinações. Essas hélices conseguem fazer um giro de 360°, podendo, portanto, fazer com que o navio gire e não só deslize pelo gelo, além de dar a possibilidade de gira-la para qualquer direção. São fortes o suficiente para transformar pedaços grandes de gelo em uma lama de neve, tendo uma pesagem de 30 toneladas e feita de aço inoxidável sólido fundido, além de seu diâmetro de 5,6m. Os propulsores são projetados para serem robustos e suportarem as duras condições do Ártico. Com isso, conseguem encarar as cristas de gelo (paredes de grandes dimensões de gelo) com a popa, de modo que os propulsores fiquem virados e fazendo elas virarem pequenos pedaços. Entretanto numa velocidade bem mais baixa do que a navegada.

**Figura 37** – Unidade POD do navio Timofey Guzhenko



**Fonte:** GERK, HERMANN REGAZZI. Slides do Curso de Hidrodinâmica do Navio

Para ser evitado que o gelo congele no casco do navio, tem-se dois artifícios. O primeiro é o casco ser coberto por uma camada de tinta escorregadia específica para tal objetivo. Já o segundo, é obtido através de pequenos buracos em seu casco, onde o navio irá sugar a água do mar e se misturará com o ar interior do navio, então esta mistura borbulhenta passa através de bicos para baixo do vulnerável casco, formando uma camada escorregadia entre o casco e gelo, de modo que ele não se prenda. A partir disso, os propulsores azimutais criam uma corrente de água que passa ao longo do casco e leva o gelo quebrado para longe. Com os jatos de água, a lavagem feita vai soltando o gelo no casco do navio.

**Figura 38** – Navio Timofey Guzhenko



**Fonte:** [www.jornalpelicano.com.br](http://www.jornalpelicano.com.br)

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A principal função deste trabalho foi apresentar a propulsão elétrica como uma melhor alternativa em relação a outros tipos de sistema propulsivos. Nas presentes condições da indústria naval, faz-se necessário a opção de propulsão visando não somente a eficiência do propulsor, mas também em perspectivas ambientais além do consumo de combustível e porte líquido do navio.

Um fato notório é que, antes da chegada do sistema de propulsão elétrica, os sistemas anteriores possuíam uma série de deficiências e limitações que foram solucionadas com os sistemas posteriores. Assim, tornou-se necessária uma nova busca por sistemas que poderiam não somente substituir os sistemas anteriores, como trabalhar junto a eles, trazendo benefícios e respostas para alguns problemas. O sucesso nas tentativas recentes, de aumentar a densidade de potência dos motores elétricos empregados no tipo de propulsão elétrica, permite que embarcações como as de apoio marítimo possam se beneficiar das vantagens inerentes ao uso da propulsão elétrica. Algumas vantagens associadas à adoção do acionamento elétrico são listadas a seguir: excelente controle de velocidade e torque em toda faixa de velocidade; facilidade para adoção de controles automáticos e remotos; flexibilidade do Projeto; favorecimento das redundâncias dos sistemas; redução dos Custos de Manutenção; redução da Emissão de Poluentes; redução do ruído do motor e da vibração transmitida do eixo ao hélice; e flexibilidade no gerenciamento da distribuição da potência em operações normais e rápida recuperação após a detecção de defeitos (incêndios, alagamentos e outros tipos de falhas).

A uma unanimidade de pensamento observado entre desigine, projetistas e construtores que as exigências dos armadores têm sido cada vez mais acirradas quanto a conciliar economia de combustível, potência para que possa suportar os sistemas redundantes com a menor quantidade de poluentes lançados na atmosfera. Uma escolha difícil devido a complexa escolha definitiva do sistema de propulsão de uma embarcação dará o retorno esperado ao longo da vida útil

operacional e lhe garantirá futuros contratos no decorrer da sua existência. Como toda opção que precisa ser feita, definir pela melhor configuração de um sistema propulsor significa estar alinhado com a estratégia que o armador traçou para a vida útil da sua embarcação.

Podemos citar como exemplo a tecnologia AZIPOD que é, uma das mais novas tecnologias da propulsão elétrica, onde desde sua primeira utilização em 1990 vem conquistando cada dia mais adeptos. Com um fator principal que deve ser citado, é que seu MEP fica localizado dentro do POD, ou seja, dentro da água, possibilitando assim, a utilização de uma menor quantidade de máquinas. Além de economizar um grande espaço na praça de máquinas tendo uma resposta mais rápida na manobra do navio e ganhando em dinamismo e economia de combustível pois não necessita de máquina do leme aumentando o rendimento em níveis de propulsão. Este leva ligeira vantagem diante dos requisitos cobrados atualmente.

O que concluímos na verdade é que, com o tempo e o avanço tecnológico nesta área, o sistema de propulsão elétrico poderá sim, ser o futuro dos navios em todo mundo, por suas vantagens e simplicidade, atuando com menos agressão ao ambiente e proporcionando maior espaço útil dentro das embarcações.

Com isso, é aguardado que o mundo aumente seu investimento neste tipo de propulsão, que como visto, trará e traz vantagens a todos os usuários e responsáveis pelos serviços náuticos prestados por todas as embarcações.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Renata Nunes. Propulsão Elétrica de Navios. UFRJ, 2007.

DE CARVALHO, Igor Soares. Comparação de Eficiência entre Propulsão Azipod e Propulsão Diesel em Navios Mercantes. CIAGA, 2013.

DE LIMA, Diego Salgado. A Propulsão Elétrica nos Navios Mercantes. CIAGA, 2013.

DE PAULA, Leonardo Morisson. A avaliação do Sistema de Propulsão Diesel Elétrico em Embarcações de Apoio Marítimo. CIAGA, 2014.

DILÉO, Bruna Gallipoli. Sistemas de Propulsão Elétrica. CIAGA, 2013.

GERK, Hermann Reggazzi. Slides do Curso de Hidrodinâmica do Navio, 2014 Rio de Janeiro.

PINHEIRO, Milton de Lima. Acionamento de Motor Síncrono de Ímãs Permanentes (MSIP) em Embarcações com Sistema de Propulsão Elétrico. COPPE, UFRJ. 2013.

SOUZA, Raquel Abreu. Eficiência Energética Analisando Sistema de Propulsão e Formato do Casco. CIAGA, 2014.

TEIXEIRA, João Reus de Pinho. Sistemas Propulsores: diesel-elétrico, diesel mecânico e híbridos, evolução no mundo naval offshore. CIAGA, 2014.

