

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

**IAGO MOREIRA MAIA**

**PORQUE DA PROPULSÃO DIESEL ELÈTRICA**

**RIO DE JANEIRO**

**2015**

**IAGO MOREIRA MAIA**

**PORQUE DA PROPULSÃO DIESEL ELÈTRICA**

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

Orientador: Professor Mestre Jander Barbosa dos Anjos

**RIO DE JANEIRO**

**2015**

**IAGO MOREIRA MAIA**

**PORQUE DA PROPULSÃO DIESEL ELÈTRICA**

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.

Data de Aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Orientador: Professor Jander

---

Assinatura do Orientador

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

Dedico este trabalho a “Jesus” por  
sempre me guiar, iluminar e ajudar a  
tomar as decisões certas na hora certa.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a “Deus” por sempre estar presente no meu coração; me protegendo e me guiando. A minha mãe por estar sempre presente e ter participado da formação do meu caráter. Aos meus amigos da EFOMM, por me aguentarem em minhas peculiaridades.

De nada adianta a liberdade se não  
temos a liberdade de errar.

*“Mahatma Gandhi”*

## RESUMO

A água é um dos principais meios de deslocamento de cargas utilizados pelo homem, seu custo relativamente baixo e simplicidade na operação fazem dele uma das principais opções na escolha do deslocamento de quase qualquer tipo de carga, porém mesmo com custo relativamente baixo é necessário investimento em tecnologias na busca pelo melhor aproveitamento da energia, o modelo atual de propulsão diesel mecânico já não apresenta a eficiência necessária para as exigências do mercado atual, poluição e aproveitamento de energia são seu “calcanhar de Aquiles”. Vários métodos já foram testados e é aí que entra a propulsão diesel elétrica método que até agora se encontra como um dos mais viáveis, e aplicados como solução para substituir o modelo atual de propulsão predominante.

## **ABSTRACT**

Water is one of the main load-displacement means used by humans, its relatively low cost and simplicity of operation makes it a major options in the choice of the displacement of almost any type of cargo, but even with relatively low cost is required investment in technologies in the quest for better use of energy, the current model of mechanical propulsion diesel no longer has the necessary efficiency to the current market requirements, pollution and energy use are its "Achilles heel." Various methods have been tested and it is here enters the diesel electric propulsion method that so far is one of the most viable and applied as a solution to replace the current model of predominant propulsion.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Princípio das embarcações	<b>12</b>
<b>Figura 2</b>	Primeiras embarcações de comercio	<b>13</b>
<b>Figura 3</b>	Caravelas consideradas os primeiros transatlânticos de fato	<b>14</b>
<b>Figura 4</b>	Primeiros meios de propulsão	<b>15</b>
<b>Figura 5</b>	Esquema simplificado do sistema de propulsão diesel elétrico	<b>16</b>
<b>Figura 6</b>	Primeiro navio diesel elétrico experimental	<b>17</b>
<b>Figura 7</b>	Primeiro Navio Diesel Elétrico	<b>18</b>
<b>Figura 8</b>	Motor diesel muito utilizado na propulsão diesel elétrica	<b>19</b>
<b>Figura 9</b>	Comparativo das curvas de rendimento	<b>21</b>
<b>Figura 10</b>	Embarcação diesel elétrica	<b>22</b>
<b>Figura 11</b>	Esquema básico de um sistema diesel elétrica	<b>23</b>
<b>Figura 12</b>	Sistema diesel elétrico exemplificando a integração dos sistemas	<b>25</b>
<b>Figura 13</b>	Imagem comparativa do sistema diesel elétrico e o sistema diesel mecânico	<b>27</b>

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	HISTÓRIA DA NAVEGAÇÃO	12
2.1	Histórico	12
2.1.1	História do transporte aquático	12
2.1.2	Expansão marítima	13
2.1.3	Sistemas de propulsão	14
3	UM BREVE HISTÓRICO SOBRE A PROPULSÃO DIESEL ELÉTRICA	17
3.1	Início da propulsão diesel elétrica	17
3.1.1	Novas ideias	17
3.1.2	Efetivação da propulsão diesel elétrica	18
4	AS PRINCIPAIS VANTAGENS DA PROPULSÃO DIESEL ELÉTRICA	20
4.1	Consumo de combustível reduzido	20
4.2	Redução da tripulação	20
4.3	Maleabilidade no projeto	21
4.4	Aumento das opções e resposta em situações adversas	22
4.5	Redução no custo de manutenção	23
4.6	Redução na emissão de poluentes	24
5	FUNCIONAMENTO DA PROPULSÃO DIESEL ELÉTRICA	25
5.1	Básico propulsão diesel elétrica	25
6	PORQUE A PROPUSÃO MECÂNICA NÃO É MAIS EFICIENTE	26
6.1	Propulsão diesel mecânica	26
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
	REFERÊNCIAS	30



## 1 INTRODUÇÃO

A propulsão diesel elétrica vem apresentando grandes avanços no mercado marítimo mundial tanto na aplicação em navios de carga ou de apoio marítimo quanto em inovação tecnológica. É evidente que no cenário atual o sistema diesel elétrico de propulsão é um possível substituto para o atual sistema de propulsão aplicado no mercado.

Desde a navegação em troncos até os modernos cruzeiros empregados atualmente, o homem sempre sentiu a necessidade de se locomover. Portanto, o meio aquático foi de fundamental importância para o desenvolvimento do transporte marítimo.

O sistema de propulsão diesel elétrica não é algo recente. Suas primeiras aplicações datam do século XIX e após muito desenvolvimento e possível ver sua expansão em termos de aplicação no mercado atual.

As principais vantagens da propulsão diesel elétrica são: consumo de combustível, maleabilidade no projeto, aumento das opções de resposta em situações adversas, redução da tripulação, diminuição no custo de manutenção e redução da emissão de poluentes.

O sistema é composto basicamente por Gerador Diesel Elétrico, painéis de distribuição, cabos de transmissão além de propulsores do tipo azimutais.

Os navios com propulsão diesel mecânica não trabalham sempre na melhor faixa de trabalho dos motores diesel e por esse fator o consumo é elevado. Além disso, este tipo de propulsão proporciona maior desgaste, poluição e também um mau aproveitamento de energia.

A busca para um substituto do sistema atual de propulsão marítima é algo a se considerar.

## 2 HISTÓRIA DA NAVEGAÇÃO

### 2.1 Histórico

Os transportes aquáticos ou aquaviários são responsáveis pelo deslocamento de mercadorias e passageiros através de barcas, navios e barcos em oceanos, rios, riachos, lagoas e lagos. Ele pode ser dividido em marítimo, quando ocorre nos grandes mares e oceanos e fluvial ou hidroviário, quando acontece dentro dos rios, lagoas e lagos.

#### 2.1.1 História do Transporte Aquático

Desde o início da história, o homem utilizou pequenas embarcações marítimas ou fluviais para se deslocar de um lugar para o outro. A primeira forma que o homem primitivo encontrou para se locomover dentro da água, a longas distâncias, foi usando troncos de madeira. Logo, foi capaz de usá-los para construir jangadas e depois canoas e conforme seu conhecimento ia se aprimorando, ele utilizou outros materiais como bambu e junco, por exemplo.

**Figura 1-** Princípio das embarcações



Fonte: < <https://www.historiadhomen.com>

Há vestígios da utilização de embarcações primitivas no período paleolítico (na idade da pedra lascada). No período neolítico (cerca de 7.000 a 2.000 a.C.) foram encontrados vestígios de um veleiro em um túmulo sumério, em 4.000 a.C. No Egito

e na Mesopotâmia, há indícios de que em aproximadamente 3.000 a.C., haviam redes de canais vinculados a vias terrestres. Ainda, em hieróglifos e pinturas egípcias foram encontrados desenhos de navios e da arte de navegar.

Os Egípcios, Fenícios e Gregos foram os primeiros a trabalhar na construção de barcos, tanto para o comércio, quanto para as guerras. No antigo Egito, eles eram feitos de cana de papiros, aproximadamente 2500 a. C., e através deles, estes começaram a navegar pelo rio Nilo.

Já no mar aberto, os que se arriscavam, procuravam ficar próximo da costa, assim poderiam retornar para casa. Um exemplo disso, foi uma população que residia na Polinésia. Posteriormente, em 1200 a.C, os povos de Creta e do Egito já navegavam pelo Mar Mediterrâneo. Em 600 a.C, os Gregos da Jônia e Fenícia deram início as navegações por grandes distâncias.

**Figura 2-** Primeiras embarcações de comércio.



Fonte: < <https://www.joaoleitao.com>

### 2.1.2 Expansões marítimas

O homem foi capaz de conquistar o mundo depois que conseguiu dominar as águas do mar. As caravelas portuguesas são exemplo disso: foi preciso muito conhecimento para construí-las e sair pelo mar, desbravando-o. Isso permitiu a descoberta de um novo continente e outro rumo para a história mundial.

Os europeus foram os primeiros a construir um transporte que atravessasse os oceanos. Com o absolutismo e as relações comerciais, vários países da Europa decidiram se aventurar em alto-mar através da Expansão Marítima, no século XV. Todo conhecimento científico sobre os ventos, a invenção do astrolábio e da bússola,

a construção das caravelas facilitou a saída dos europeus de seu continente e a chegada ao outro lado do Atlântico. O que desencadeou a descoberta das Américas e sua conquista. Além disso, foi uma grande contribuição para a economia, trazendo novos recursos para a construção naval, viagens longas e novas mercadorias.

**Figura 3-** Caravelas consideradas os primeiros transatlânticos de fato.



Fonte: < <https://www.joaoleitao.com>

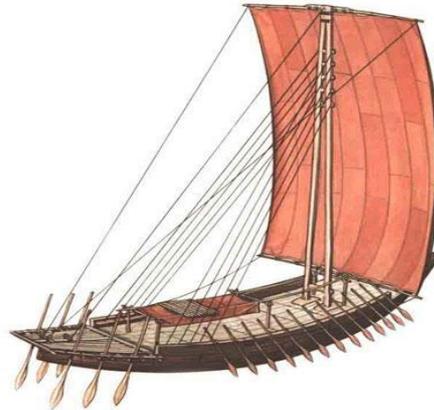
### 2.1.3 Sistemas de propulsão

Os homens das sociedades primitivas usavam troncos, canoas e pirogas como meio de transporte em rios e lagos utilizando-se da energia armazenada no próprio corpo ou da energia cinética das correntezas dos rios.

Não se sabe quando ou onde foi inventada a vela. A primeira notícia da navegação à vela vem do Egito (III milênio a.C.). Os antigos barcos egípcios tinham uma única vela quadrada e só navegavam com vento a favor. Levou algum tempo até o homem perceber que o vento podia impulsionar um barco contra o vento, não diretamente mas a um ângulo menor que 90°, e só recentemente se compreendeu a aerodinâmica desse fato. Até o século XIII, os maiores barcos eram movidos a remo, os remadores ocupavam a maior área do barco sobrando pouco espaço útil para o transporte de cargas. Isso porque o controle do barco era feito por um homem que manobrava um grande remo. Estes barcos usavam uma única vela e que não serviam nos barcos maiores para impulsioná-los, mas somente para auxiliar o piloto a dirigir o

barco.

**Figura 4-** Primeiros meios de propulsão.



Fonte: < <https://www.wikipedia.com>

A ideia trazida da China para o Ocidente, no século XIII, por Marco Polo, de navios de vários mastros e do leme de dobradiça (que multiplicava a força do piloto ) favoreceu o desenvolvimento do transporte marítimo a vela.

Do século XV ao XIX a evolução do transporte marítimo a vela foi o responsável pelos grandes descobrimentos, pela ampliação do mundo conhecido, e pelas mudanças sociais e econômica de vários países.

O transporte marítimo e hidroviário teve dois momentos de evolução extraordinária: no século XIX com a substituição da energia eólica pela energia térmica usada na máquina a vapor (máquina térmica), e no século XX com o uso do petróleo no lugar do carvão como combustível e da utilização do motor a explosão como meio de propulsão.

Após a segunda guerra mundial, foram desenvolvidas turbinas que utilizam energia nuclear como combustível para gerar vapor para impulsionar tanto navio de guerra, como mercantes.

No século XX o transporte marítimo perdeu o mercado intercontinental de passageiros para o transporte aéreo, sendo tal perda compensada pelo avanço do transporte marítimo de carga. O transporte marítimo tem um custo cinco vezes menor que o ferroviário, nove vezes menor que o rodoviário e trinta vezes menor que o aéreo.

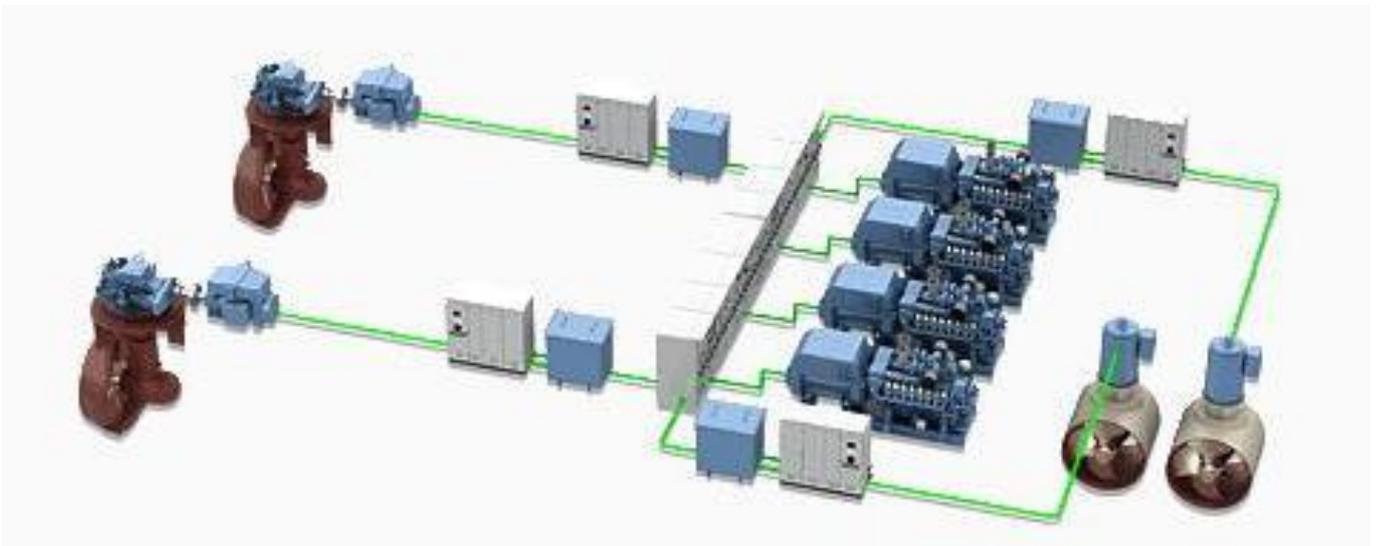
A indústria naval já percorreu um longo caminho. O sistema de propulsão convencional mcp mais propulsor de passo fixo dos navios é eficiente, mas requer

altos custos operacionais e aumenta a poluição marinha.

Entre todas as fontes de energia alternativas potenciais, o sistema de propulsão diesel elétrica é uma das alternativas que melhor se experimentou no tempo de hoje, seu consumo de combustível relativamente baixo, confiabilidade e ruído reduzidos tornam o um sistema extremamente recorrido nos tempos atuais são inúmeros os exemplos de aplicações deste tipo de sistema como Rebocadores, Dragas, Navios de posicionamento dinâmico, Navios quebra-gelo, Navio de Pesquisa ,Guindastes flutuantes, Navios de passageiros, Navios empregados no ramo offshore de um modo geral.

A simplicidade dos componentes a operação em regime mais contínuo dos motores diesel e duplicação na presença dos componentes traz não só mais segurança nas manobras como facilidade nos procedimentos de manutenção e menor emissão de poluentes com uma pequena especialização de operários, também é possível reduzir seu quantitativo também em uma margem considerável se comparado ao sistema de propulsão convencional.

**Figura 5-** Esquema simplificado do sistema de propulsão diesel elétrico



Fonte: < <https://www.marineinsight.com> > Acesso em ago. 2015.

Basicamente o sistema é constituído de um grupo gerador um quadro elétrico principal(QEP) e os motores elétricos com ou sem caixa redutora como visto na imagem acima.

### 3 UM BREVE HISTÓRICO SOBRE A PROPULSÃO ELÉTRICA:

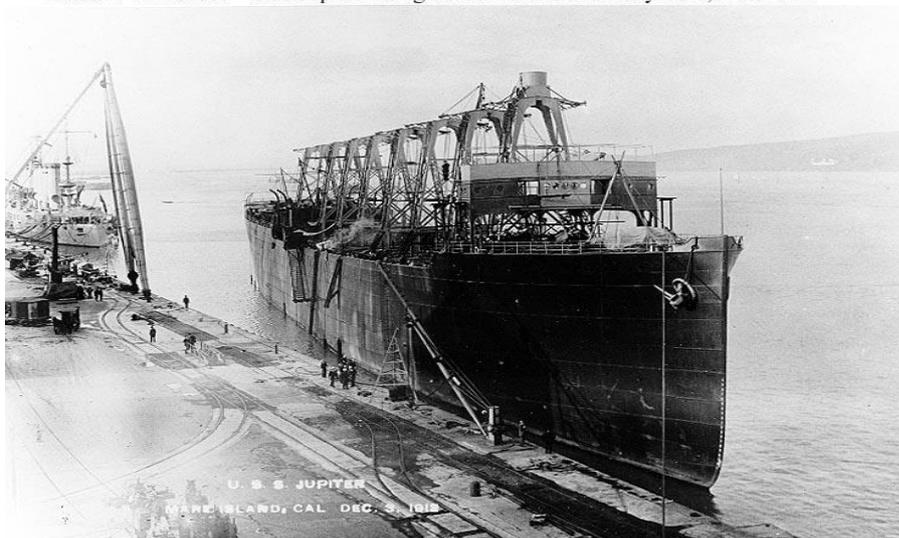
#### 3.1 Início da propulsão diesel elétrica

##### 3.1.1 Novas ideias

A propulsão de navios e submarinos utilizando motores elétricos não é uma inovação tecnológica recente. A primeira aplicação de propulsão elétrica no setor naval ocorreu no século XIX, com a construção e operação de uma pequena lancha movida a baterias para o transporte de passageiros na Rússia. A utilização da propulsão elétrica também não é um conceito novo para a Marinha Americana (USN). Em 1913, a bordo do navio carvoeiro USS “Jupiter”, foi implementada uma instalação experimental com 4.1 MW de potência instalada por eixo.

**Figura 6-** Primeiro navio experimental

Photo # NH 81339 USS Jupiter fitting out at Mare Island Navy Yard, Dec. 1912



Fonte: < <https://www.wikipedia.com> > Acesso em ago. 2015.

O sistema de propulsão do USS “Jupiter” consistia de um turbo gerador em corrente alternada (CA) que alimentava dois motores de indução com rotor bobinado. O experimento obteve sucesso e o navio foi convertido em 1922, no primeiro navio-aeródromo da Marinha Americana, chamado USS “Langley”. O navio apresentou uma elevada robustez e permaneceu em plena capacidade operativa até 1942, quando foi

afundado em combate

**Figura 7-** Primeiro navio diesel elétrico



Fonte: < <https://www.wikipedia.com> > Acesso em ago. 2015

### 3.1.2 Efetivação da propulsão diesel elétrica

O sucesso obtido na utilização da propulsão elétrica e a percepção dos seus benefícios estimularam o grande esforço empregado para a construção de 50 navios com este tipo de propulsão, durante o período entre a Primeira e a Segunda Guerra Mundiais. Entre estes navios estava o USS “New Mexico” com 30 MW de potência instalada, o segundo e o terceiro navios aeródromo da Marinha Americana, USS “Lexington” e USS “Saratoga”, com potência instalada de 135 MW USS “New Mexico”.

Durante a Segunda Guerra Mundial, mais de 160 navios de escolta dotados de propulsão elétrica foram construídos para a Marinha Americana, utilizando turbo ou diesel geradores na faixa de 4,5 a 9,0 MW. Aproximadamente 500 navios de pequeno porte foram também equipados com sistemas de propulsão elétrica em corrente contínua com potência instalada na faixa de 225 kW a 15 MW. É interessante destacar que a falta de capacitação técnica para a produção em larga escala de engrenagens foi um dos 8 motivos que também contribuíram para o significativo aumento do número de navios com propulsão elétrica durante o período bélico. Entretanto, por volta de 1940, os desenvolvimentos na tecnologia dos sistemas de engrenagens de dupla redução, para aplicações no setor naval e militar, passaram a apresentar preços competitivos nos Estados Unidos. Aliado a este fator, e também a algumas

desvantagens da propulsão elétricas existentes naquela época, como maior peso, maior volume e menor eficiência energética, a expansão do uso da propulsão elétrica em larga escala foi drasticamente inibida, em detrimento da propulsão mecânica convencional.

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.

Durante as décadas de 1980 a 1990, os avanços tecnológicos, na área de Eletrônica de Potência, tornaram a transmissão elétrica de energia mais eficiente e compacta, e desta forma, possibilitou o retorno do emprego da propulsão elétrica em diversas classes de navios, como quebra-gelos, oceanográficos, tanque e numerosos transatlânticos.

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.

**Figura 8-** Motor diesel muito utilizado no sistema diesel elétrico



Fonte: < <https://www.caterpillar.com>

## 4 AS PRINCIPAIS VANTAGENS DA PROPULSÃO DIESEL ELÉTRICA

### 4.1 Consumo de combustível reduzido

Em navios com propulsão convencional a velocidade do hélice é definida pela rotação do motor logo pode haver faixas de trabalho do hélice que não coincidem com o melhor rendimento do motor propulsor havendo um consumo excessivo de combustível, e também um desgaste mecânico considerável, já no sistema de propulsão diesel elétrica não temos esse problema devido ao fato do motor principal operar sempre na faixa de melhor rendimento isso é devido à ausência de eixo de transmissão entre o sistema propulsor e o motor principal. A propulsão elétrica ao longo dos anos tem demonstrado uma substancial redução de consumo de combustível em comparação com a propulsão direta mecânica em navios de apoio.

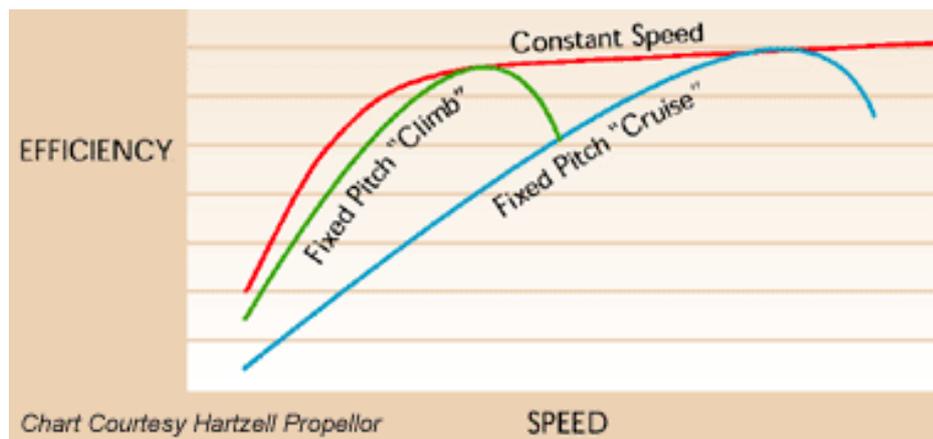
A economia de combustível, muitas vezes, chega a 15-25 por cento em perfis normais de operação, e até 40-50 por cento em operações com posicionamento dinâmico (DP).

A redução no consumo de combustível em sistemas diesel-elétrico pode ser atribuída a três elementos essenciais; o primeiro é a possibilidade de variação na velocidade dos propulsores, o que reduz as perdas nos hélices para um mínimo quando comparado com os de velocidades fixas e passo controlável. O segundo elemento é a partida e parada automática dos motores diesel, o que assegura que a carga do motor seja mantida próxima ao ponto ótimo, dentro do limite operacional.

A concepção clássica de navios de apoio offshore incluindo embarcações AHTS e PSV usa velocidades fixas com hélices de passo controlável. Quando comparado com hélices de velocidade variável se mostra uma maneira muito ineficiente de controlar o hélice devido às perdas em condições "idle run" (sem carga). Isso por si só contribui para economia em propulsão elétrica quando aplicada a embarcações offshore. Além disso, quando em DP a utilização da capacidade do propulsor é muito baixa para maior parte do tempo que o navio está em operação, o que pode acarretar em um desperdício de potência pelo fato do sistema propulsivo não se adequar ao perfil operacional da embarcação. Em navios com propulsão convencional a velocidade do hélice é definida pela rotação do motor logo pode haver faixas de trabalho do hélice que não coincidem com o melhor rendimento do motor propulsor havendo um consumo excessivo de combustível, e também um desgaste

mecânico considerável, já no sistema de propulsão diese elétrica não temos esse problema devido ao fato do motor principal operar sempre na faixa de melhor rendimento isso e devido à ausência de eixo de transmissão entre o sistema propulsor e o motor principal.

**Figura 9-** Comparativo de curvas de rendimentos



Fonte: < <https://www.wikipedia.com> > Acesso em ago. 2015

## 4.2 Redução da tripulação

A tendência na propulsão elétrica e a maior presença da eletricidade em sistemas auxiliares do que sistemas hidráulicos, pneumáticos ou mecânicos no caso dos sistemas elétricos eles basicamente são mais fáceis de operar e mais compatíveis com controles automáticos a distância e ao uso da automação tornando assim sua operação mais simples.

## 4.3 Maleabilidade no projeto

Os equipamentos do sistema de propulsão diesel elétrica são modulares e por esse motivo não necessitam de ser instalados próximos uns dos outros podendo até serem instaladas em compartimentos diferentes como no exemplo abaixo

**Figura 10-Embarcação diesel elétrica**



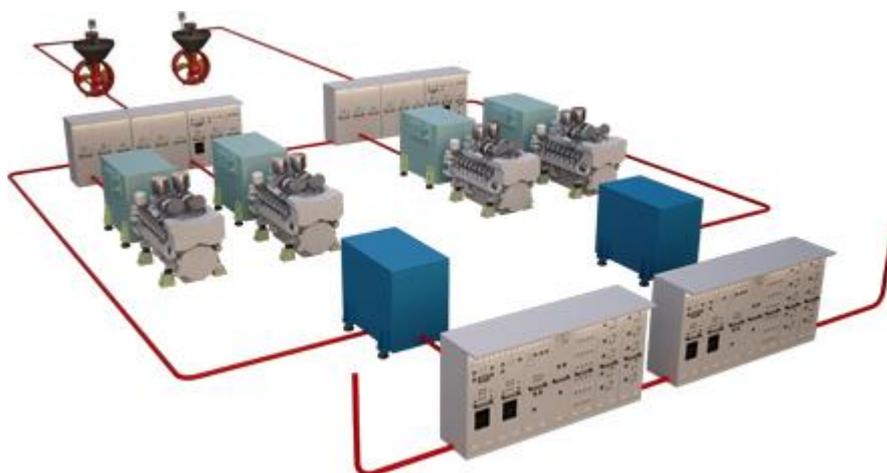
Fonte: < <https://www.marineinsight.com> > Acesso em ago. 2015

Na imagem acima é possível observar a alocação distanciada dos equipamentos no caso diesel geradores avante e sistema de conversores de frequência e motores elétricos a ré, esse sistema é bem comum em embarcações off-shore tal disposição se deve também a ausência de eixo de comunicação mecânico entre motor principal e sistema de propulsão no caso do sistema diesel elétrico essa energia é transportada por fios até o conversor de frequência e por sua vez comunicada aos motores propulsores elétricos, propulsores laterais para auxílio em manobras também podem ser instalados uma vez que a localização dos equipamentos é muito flexível tal exemplo também pode ser observado na imagem acima.

#### **4.4 Aumento das opções de resposta em situações adversas**

Com uma descentralização dos equipamentos temos uma maior quantidade de alternativas em caso de um sinistro como incêndio, alagamento ou mal funcionamento de um equipamento devido à redundância quantitativa podemos também “bypassar” setores em no objetivo de manter as condições operacionais da embarcação. Outro fator interessante também na questão da resposta do navio a situações adversas é o fator da redundância dos equipamentos o que deixa o navio em uma posição confortável de operação em caso de uma falha de equipamento já que o sistema não trabalha centralizado ou apoiado em um só equipamento.

**Figura 11-Esquema básico de um sistema diesel elétrico**



Fonte: < <https://www.marineinsight.com> > Acesso em ago. 2015

#### 4.5 Redução no custo de manutenção

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

Uma vez que com a adoção da Propulsão Elétrica não são necessários motores auxiliares, esta redução na quantidade de equipamentos instalados resulta numa diminuição dos custos de manutenção. Associado a este fato, sabe-se que os equipamentos elétricos apresentam custos e períodos menores de manutenção e devido à elevada automação dos sistemas elétricos, as manutenções preditiva e preventiva são ferramentas eficazes para a redução dos custos totais de manutenção. Outro fator de interesse na questão da manutenção é o desgaste menos acentuado dos diesel geradores devido a sua operação em um regime mais contínuo sem variações na faixa de operação,

## 4.6 Redução da Emissão de Poluentes

Atualmente a marinha mercante é pressionada pelos órgãos ambientais para que as mesmas em seus projetos de futuros navios, e também em relação aqueles já em funcionamento, apresentem uma redução na quantidade de poluentes emitidos durante a realização das operações. Todos os tipos de poluentes emitidos (gasosos, líquidos ou sólidos) estão sendo cada vez mais monitorados e as legislações (ex: MARPOL) estão sendo elaboradas com requisitos mais rigorosos. Em decorrência das pressões internacionais busca-se utilizar cada vez menos combustíveis fósseis. As emissões de gases poluentes oriundos da queima de óleo diesel e gasolina são os maiores responsáveis pelo efeito estufa. Neste contexto, a propulsão elétrica está sendo fortemente indicada, principalmente para navios que operam em países que assinaram o Protocolo de Kyoto. Durante a operação com navios civis e militares, deve-se sempre levar em conta os aspectos ambientais do transporte. Neste sentido, a utilização da propulsão elétrica apresenta vantagens em relação à propulsão mecânica, tais como:

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

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 Carbônico, NO<sub>x</sub> – Óxido de Nitrogênio e SO<sub>x</sub> – Óxido de Enxofre) durante as operações. No futuro não somente os poluentes emitidos durante a vida operativa do navio serão controlados, mas também todos aqueles produzidos durante a sua construção até o encerramento do período operativo do meio (desativação do meio naval). É uma nova filosofia, ainda de difícil aplicação prática, mas que está ganhando muita força nos dias atuais, devido às atitudes políticas de interesse mundial.

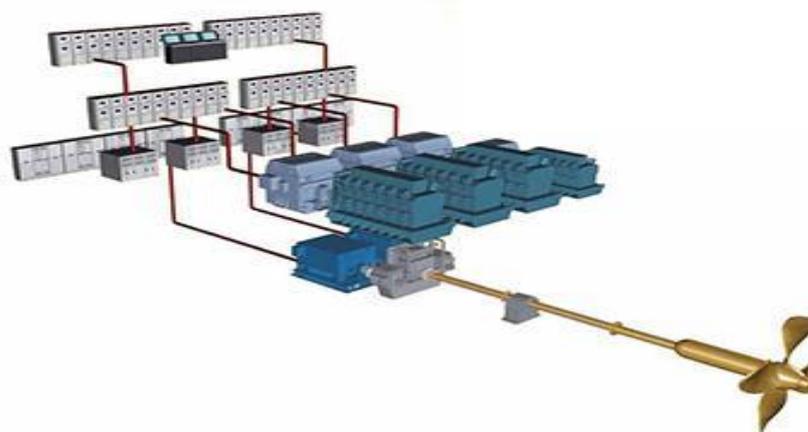
## 5 FUNCIONAMENTO DA PROPULSÃO DIESEL ELÉTRICA

### 5.1 Básico propulsão diesel elétrica

Entende-se por Propulsão Elétrica um sistema constituído por um gerador elétrico, acionado por um dispositivo de acionamento principal, que fornece energia para um motor elétrico que aciona o hélice do navio. A principal característica deste sistema é o controle da velocidade do navio pelo controle da rotação do motor elétrico. No Sistema de Propulsão Elétrica em vez de dois sistemas de potência separados, cada um com sua limitação de carga específica, passa-se a dispor de uma capacidade de geração única que pode ser distribuída com maior flexibilidade entre as diversas áreas e sistemas de bordo de acordo com as alterações de demanda.

Portanto, o conceito de Propulsão Elétrica visa basicamente à integração entre o sistema de potência da propulsão do navio com os sistemas auxiliares. E com a eletrificação dos sistemas auxiliares, abre-se a possibilidade de utilização de estruturas modulares com maior flexibilidade para expansões futuras.

**Figura 12-Sistema diesel elétrico exemplificando a integração dos sistemas**



Fonte: < <https://www.marineinsight.com> > Acesso em ago. 2015

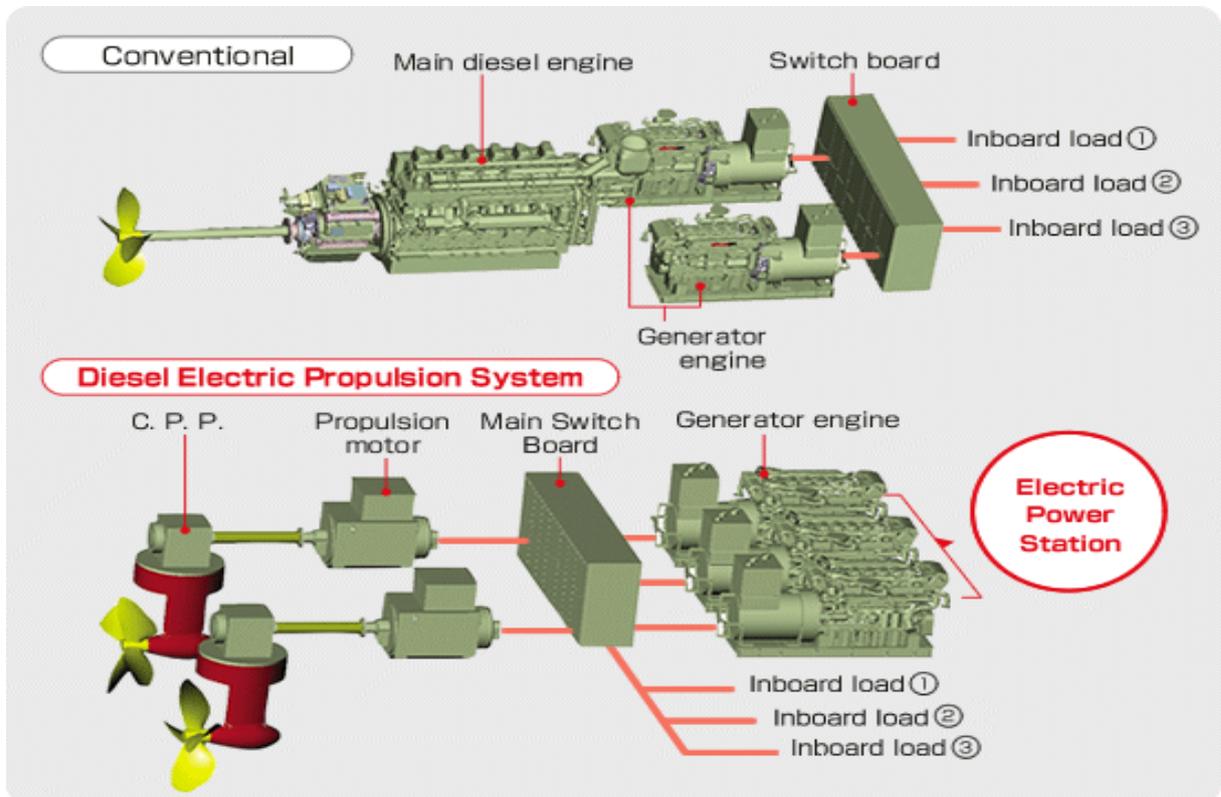
## **6 PORQUE A PROPULSÃO DIESEL MECÂNICA NÃO É MAIS EFICIENTE ATUALMENTE**

### **6.1 Propulsão diesel mecânica**

Nos navios dotados de Propulsão Mecânica tradicional, 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 hotel, do sistema de combate e demais auxiliares de bordo.

A Propulsão Elétrica pode ser descrita de forma mais precisa como 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. 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 o navio opera com velocidade mais baixa a eficiência da transmissão elétrica é maior do que a da transmissão mecânica

Figura 13-Imagem comparativa do sistema diesel elétrico e o diesel mecânico.



Fonte: < <https://www.mandiesel.com>

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme proposto no escopo desta dissertação, inicialmente foram apresentados os novos conceitos e as modernas tecnologias que viabilizaram a aplicação da Propulsão Elétrica em navios. Os avanços na área de elétrica de Potência proporcionaram um acentuado desenvolvimento dos motores elétricos, especialmente no caso dos motores não convencionais empregados na Propulsão Elétrica de navios.

Para que um estudo completo fosse feito, seria necessário que os resultados numéricos encontrados fossem comparados com os resultados experimentais de navios reais que operassem com o mesmo perfil operacional e mesma configuração de sistema propulsivo. Com isso, poder-se-ia comprovar a eficiência do método utilizado para encontrar os valores de consumo e custo de combustível e conseqüentemente de custo operacional para essas embarcações. Porém em uma análise apenas superficial como apresentado nesta dissertação é possível perceber a eficiência e as diversas opções de aplicação da propulsão diesel elétrica no meio naval.

Como visto acima o homem sempre sentiu necessidade de se deslocar e a água não podia ficar de fora como um meio de transporte, de troncos a modernos cruzeiros percorremos um grande caminho, os meios de propulsão não podem ficar de fora dessa temos uma imensa evolução no histórico da propulsão e ainda há muito a se observar com relação ao aprimoramento da propulsão para embarcações é possível se observar uma solução viável e muito aplicada tanto em termos de eficiência energética quanto em termos de tecnologia o sistema diesel elétrico

A propulsão diesel elétrica vem sendo aplicada desde o começo do sec XX até o presente momento porém somente recentemente que a sua aplicação se tornou não só viável mais também vantajosa em relação aos sistemas convencionais de propulsão, a presença da eletrônica e de sistemas de injeção eletrônica permitem controle mais efetivo do consumo da potência e rpm ideal para qualquer uso do sistema com isso o consumo de combustível e poluição são consideravelmente reduzidos.

Outro fator interessante é a questão da integração dos sistemas de propulsão e de geração de energia no sistema diesel elétrico o que torna o mesmo mais compacto e aumenta a área para afretamento de bordo, a ausência de peças como um eixo que comunica motor diesel e sistema de propulsão também são fatores

efetivos na alocação dos componentes do sistema. Com relação a operação do sistema a automação muito presente atualmente na indústria não fica de fora, a possibilidade da total automação do sistema o torna algo extremamente seguro tanto em relação a operação quanto em relação a falhas, uma vez que um sistema automatizado informa a situação em tempo real. Outro fator que aumenta a operacionalidade de tal sistema e a questão da duplicidade dos componentes.

Com relação a propulsão em um sentido final temos uma operação mais suave e com isso uma possibilidade da precisão para operações como acoplamentos em alto mar como em plataformas não deixando de lado a potência para o caso de uma resposta mais emergencial.

Devido ao exposto acima temos uma conclusão, a propulsão diesel elétrica veio para ficar sua aplicação e cada vez maior e são muitos os fatores que favorecem essa tendência ela não é uma solução definitiva porem uma viável para a atual situação do mercado.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BRASIL. Código Internacional de Gerenciamento de Segurança (Código ISM). Rio de Janeiro: Diretoria de Portos e Costas da Marinha Brasileira. 2001.

Disponível em <http://www.dpc.mar.mil.br>. Acesso em 24/05/2015. BRASIL. Convenção Internacional para Salvaguarda da Vida Humana no Mar, (SOLAS), 1974 e seu protocolo de 1988, incorporando todas as emendas até 1997. Diretoria de portos e costas da Marinha Brasileira. Rio de Janeiro. 2001. DOYLE, T., J., STEVENS, H., O., ROBEY, H., An historical overview of navy electric drive. Naval Symposium on Electric Machines Warfare Center, Annapolis Detachment, 1999.

Disponível em: <http://www.dpc.mar.mil.br>. Acesso em: 24/06/2015. Disponível em: [www.marineinsight.com](http://www.marineinsight.com). Acesso em: 13/06/2015. NAVIOS MERCANTES.

Disponível em: [www.portosenavios.com](http://www.portosenavios.com). Acesso em: 27/07/2015.