

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE MÁQUINAS - APMA

LEONARDO MORISSON DE PAULA

**A AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE PROPULSÃO DIESEL ELÉTRICO EM
EMBARCAÇÕES DE APOIO MARÍTIMO**

RIO DE JANEIRO

2014

LEONARDO MORISSON DE PAULA

**A AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE PROPULSÃO DIESEL ELÉTRICO EM
EMBARCAÇÕES DE APOIO MARÍTIMO**

Monografia apresentada ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Orientador: Profº Ricardo Barreto.

RIO DE JANEIRO

2014

LEONARDO MORISSON DE PAULA

**A AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE PROPULSÃO DIESEL ELÉTRICO EM
EMBARCAÇÕES DE APOIO MARÍTIMO**

Monografia apresentada ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador: Profº Ricardo Barreto.

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

Dedico este trabalho às 2 mães especiais que tive, Helena (**in memoriam**) minha mãe e Janice (**in memoriam**) minha avó, que mesmo me faltando em presença a algum tempo me proporcionaram estar vivendo este momento.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, irmãos, e a toda minha família que, com muito carinho e apoio, ajudaram para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

A minha avó **MARISA** por todas as orações.

Em especial aos meus dois preciosos sobrinhos (**LARA** e **ARTUR** – Meus melhores e maiores presentes da vida). Vocês são a razão do meu sucesso, por vocês faço tudo o que for preciso.

A todos os companheiros da turma **APMA 1-2014** pela união e pelo companheirismo para vencer mais essa etapa.

À empresa **NORSKAN OFFSHORE** que me proporcionou conquistas profissionais e pessoais e por me disponibilizar para a realização deste curso.

A todos os profissionais com quem trabalhei nestes anos a bordo de várias embarcações mercantes, em especial minha equipe do skandi Vitória, por terem compartilhado conhecimento, experiências, por me darem incentivo e meios para o desenvolvimento na minha profissão.

De modo muito especial agradeço ao Mestre Ricardo Barreto que aceitou meu convite e orientou com tamanha destreza pela segunda! Muito obrigado.

“Mais importante que a vontade de vencer,
é a coragem de começar.”

(Roger Stankewski)

RESUMO

O fator “busca pelo sistema de propulsão que seja mais eficiente para uma embarcação” muitas vezes não é tarefa das mais simples. Uma embarcação normalmente apresenta diversificadas estruturas de tamanho e funções. Para que esse sistema de propulsão tenha uma eficiência maior, alternativas devem ser usadas para que haja importantes economias de energia. Sempre coube aos projetistas fazer a opção pela configuração de propulsão mais adequada ao perfil operacional dominante, restando ao armador conviver com a menor eficiência do sistema nas outras operações correntes, e esse era o tipo de problema do qual não havia escapatória possível, pois projetar é ponderar soluções e assumir compromissos. Porém, com o passar dos anos e o aumento dos custos de operação e combustível, tanto projetistas quanto os fabricantes de equipamentos de propulsão foram forçados cada vez mais a aumentar a eficiência das operações, e um dos caminhos mais imediatos para o aumento de eficiência é, por óbvio, a eliminação das perdas. Foi necessário então que novas soluções fossem pensadas e desenvolvidas. Comumente, um navio apresenta uma propulsão puramente mecânica, entretanto o uso de propulsões alternativas, como a diesel-elétrica tem crescido e muito no cenário atual. Neste trabalho faremos uma explicação simplificada da propulsão mecânica tradicional para então entrar na propulsão diesel elétrica e seus tipos de propulsores, redução do consumo de combustível, bem como as análises e cálculos elétricos, favorecimento das redundâncias dos sistemas, aumento da vida útil das embarcações, flexibilidade do projeto, redução dos custos de manutenção e redução da emissão de poluentes, mostrando as vantagens em relação ao sistema de propulsão convencional a diesel.

Palavras-chave: Propulsão diesel elétrica. Embarcações marítimas. Manutenção.

ABSTRACT

The factor "Quest for the propulsion system that is more efficient for a vessel" is often not a simple task. A vessel normally have diverse structures and functions size. For this propulsion system has a higher efficiency, alternatives should be used so that there is significant energy savings. Always fit designers to make the most appropriate choice for the dominant operational profile configuration propulsion , leaving the owner to live with the lower efficiency of the system in other current operations , and this was the kind of issue that there was no escape possible, because design is consider solutions and commitments. However, with the passing of years and the increased costs of operation and fuel, both designers as manufacturers of propulsion equipment were forced increasingly to increase the efficiency of operations, and one of the most immediate ways to increase efficiency is obviously, the elimination of losses. It was necessary then that new solutions were designed and developed. Commonly, a ship has a purely mechanical drives, however the use of alternative propulsion, such as diesel- electric and has grown a lot in the current scenario. In this work we will make a simplified explanation of the traditional mechanical drives and then enter the diesel electric propulsion and its types of propellants, reducing fuel consumption as well as the analyzes and electrical calculations, favoring redundancy of systems, increasing the life of the vessels, design flexibility, reduced maintenance costs and reduced emission of pollutants, showing advantages over conventional diesel propulsion system.

Keywords: Diesel electric propulsion. Marine vessels. Maintenance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Exemplo de embarcação de apoio marítimo com propulsão diesel elétrica	12
Figura 2 -	Sistema de Acionamento Elétrico Integrado	13
Figura 3 -	Diagrama de um Sistema de Propulsão Elétrica	14
Figura 4 -	Fluxo de energia de um sistema elétrico	15
Figura 5 -	Diagrama de combustível por potência em relação a carga de um motor diesel	16
Figura 6 -	Exemplo de propulsor de passo controlável	18
Figura 7 -	Vista da popa de uma embarcação de apoio com dois propulsores tipo Azipods	20
Figura 8 -	Exemplo de Twin Propeller	21
Figura 9 -	Exemplo de CRP Helices Contra rotativas	22
Figura 10 -	Unidade de propulsão tipo Z-drive	23
Figura 11 -	Azimutal dutado com L-Drive	24
Figura 12 -	Diagrama de eficiência no consumo em relação a carga na propulsão	25
Figura 13 -	Perfil do tempo de operações de Embarcações de apoio marítimo	26
Figura 14 -	Consumo de Combustível	27
Figura 15 -	Distribuição dos Equipamentos na Praça de Máquinas	28
Figura 16 -	Disposição de distribuição em embarcações de propulsão elétrica e mecânica e embarcações de propulsão diesel elétrica tipo POD	29
Figura 17 -	Arquitetura do sistema de controle com redundância	30
Figura 18 -	Emissão de poluentes	33

SÍMBOLOS, ABREVIATURAS, SIGLAS E CONVENÇÕES

%MCR - Maximum Continuous Rating

ANCOR HANDLIN - Manuseio de ancora AT

QUAY - Atracado

BALLAST PUMP - Bomba de lastro BOW

THRUSTER - Propulsor de proa HFO -

Heavy Fuel Oil

MARPOL - Convenção que trata da poluição no mar MDO -

Marine Diesel Oil

LNG - Liquefied Natural Gas

PIN - Potência entrando PLOSSES -

Potência perdida POUT - Potência

que saindo TRANSIT - Trânsito

η - Rendimento

SUMÁRIO

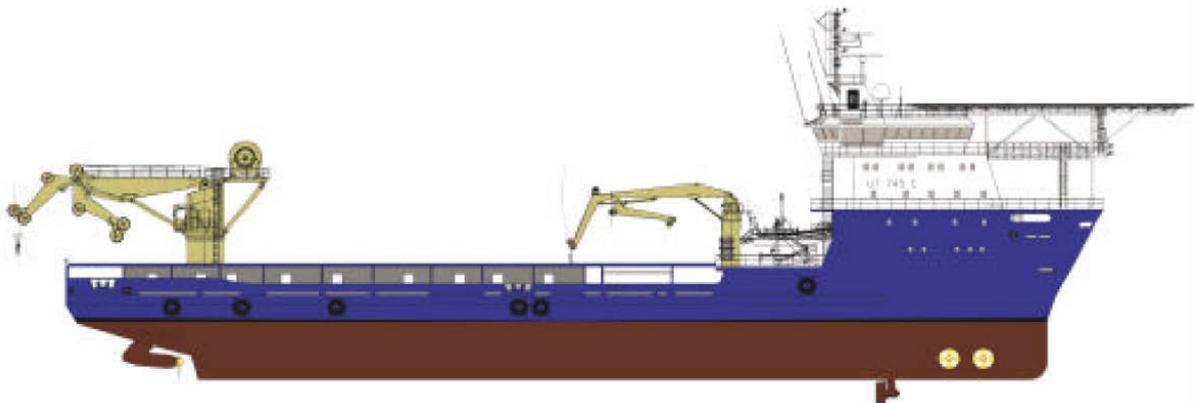
1	INTRODUÇÃO	12
2	PROPULSÕES MECÂNICA TRADICIONAL E ELÉTRICA	14
3	PROPULSORES ESPECIAIS ELÉTRICOS	18
3.1	Passo controlável	18
3.2	Azimutais POD e AZIPOD	18
3.3	Hélices duplas	20
3.3.1	STP Twin propeller	21
3.3.2	CRP Helices contra rotativas	21
3.4	Z- Drive	23
3.5	L- Drive	23
4	PRINCIPAIS VANTAGENS DA PROPULSÃO ELÉTRICA	25
4.1	Redução do consumo de combustível	25
4.2	Redução da tripulação	27
4.3	Flexibilidade do projeto	27
4.4	Favorecimento das redundâncias dos sistemas	29
4.5	Aumento da vida útil das embarcações	30
4.6	Redução dos custos de manutenção	31
4.7	Redução da emissão de poluentes	32
4.8	Redução da assinatura acústica	34
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1 INTRODUÇÃO

É Fato que o conceito de propulsão elétrica não é algo novo, essa ideia originou-se a muito mais de 100 anos. Entretanto, com o desenvolvimento da eletrônica de potência nas décadas de 80 e 90, foi possibilitado um controle melhor de motores elétricos que tinham uma velocidade variável em uma grande faixa de potência, fora ser um sistema compacto, de alta confiabilidade e competitivo.

Conceituando Propulsão Elétrica Integrada, encontramos que significa a utilização de acionamento elétrico, ou seja, é a tecnologia mais promissora nos desenvolvimentos da engenharia naval atual, desde o advento dos reatores nucleares e das turbinas a gás. É normal encontra que se Entende 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 (thruster) do navio. A principal característica deste tipo de sistema é o controle da propulsão da embarcação por um motor elétrico.

Figura 1 - Exemplo de embarcação de apoio marítimo com propulsão diesel elétrica

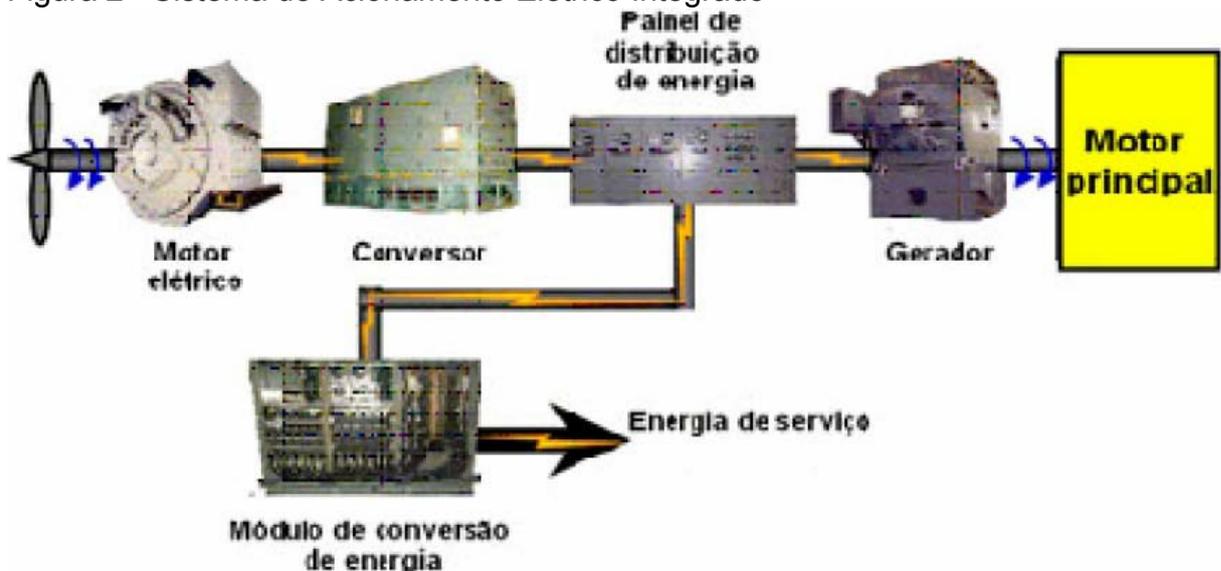


Fonte: Arquivo pessoal.

Em um sistema de Propulsão Diesel - Elétrica o normal de se encontra é, ao invés de dois sistemas de potência separados, aonde temos cada um com sua limitação de carga específica, encontraremos a disposição uma capacidade de geração única que pode ser distribuída com maior flexibilidade entre as diversas áreas e sistemas de bordo, de acordo com as alterações de demanda.

Temos então que, o conceito de Propulsão Diesel - Elétrica visa, basicamente fazer à integração entre o sistema de potência da propulsão da embarcação com os seus sistemas auxiliares (Fig. 2). E com a eletrificação dos sistemas auxiliares, abre-se a possibilidade de utilização de estruturas modulares com maior flexibilidade para expansões futuras.

Figura 2 - Sistema de Acionamento Elétrico Integrado



Fonte: Arquivo pessoal.

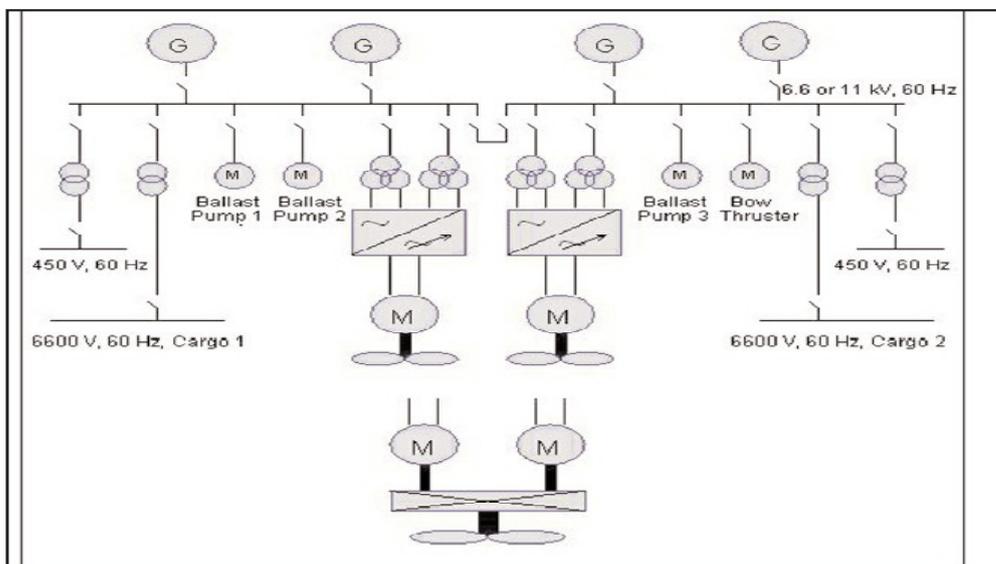
2 PROPULSÕES MECÂNICA TRADICIONAL E ELÉTRICA

Nas embarcações que possuem Propulsão Mecânica tradicional, a rotação do motor diesel é quem define a rotação do hélice, portanto, o motor em algumas condições de operação acaba não operando na faixa do rendimento ótimo, gerando então um inevitável desperdício de combustível.

No sistema de propulsão mecânico convencional o dispositivo de acionamento principal a ser empregado, que geralmente é um motor diesel, é acoplado diretamente ao eixo propulsor da embarcação através da engrenagem redutora. Pode se ver neste tipo de configuração do sistema de propulsão a necessidade de um diesel gerador auxiliar, instalado em local separado do sistema de propulsão, que fornecerá a potência elétrica para o atendimento da carga para acomodações, dos sistemas operacionais e demais auxiliares de bordo.

De forma mais precisa pode-se descrever a Propulsão Elétrica como a transmissão elétrica de potência entre o dispositivo de acionamento principal e a carga representada pelo sistema propulsório da embarcação (Fig. 3). Este sistema de propulsão consiste de forma essencial 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 mover os propulsores.

Figura 3 - Diagrama de um Sistema de Propulsão Elétrica

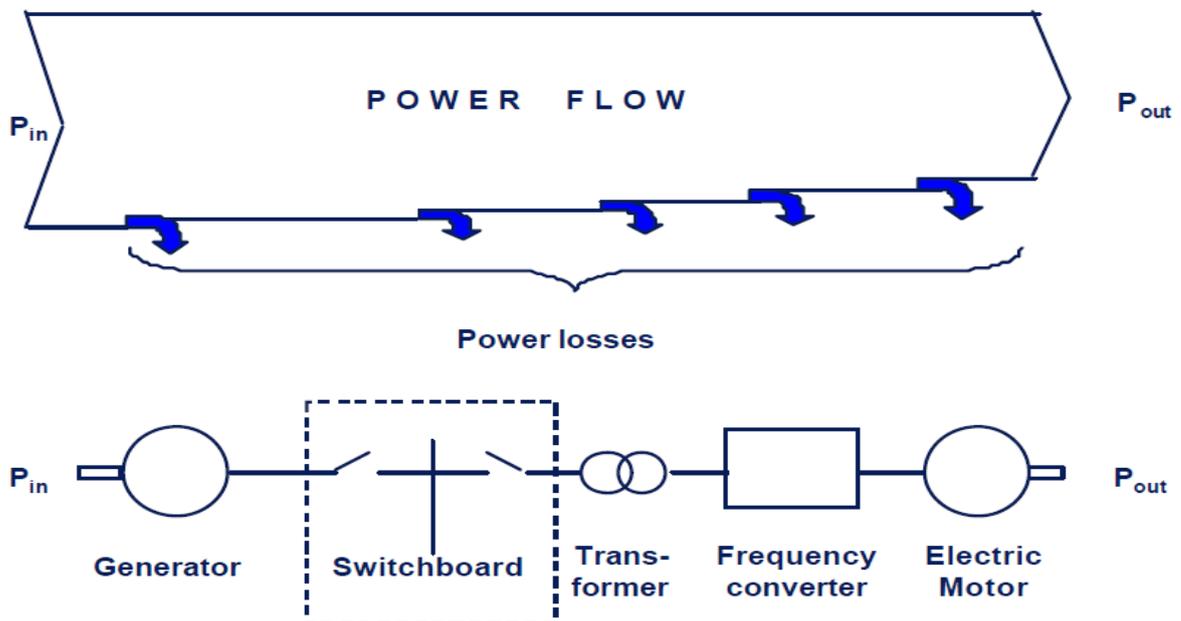


Fonte: Arquivo pessoal.

A eficiência da transmissão não é tão sensível à variação da velocidade do eixo propulsor no sistema de Propulsão Elétrica como ocorre com a transmissão mecânica convencional. Portanto, quando a embarcação opera com velocidade mais baixa a eficiência da transmissão elétrica é maior do que a da transmissão mecânica. E se considerar que as embarcações de apoio marítimo operam a maior parte do tempo em atividades com baixas velocidades, como em operações em posicionamento dinâmico (DP), em aguardo de operação ou atracado (Fig. 12) tem-se aí o grande diferencial positivo para justificar o emprego da Propulsão Elétrica.

Em todos os sistemas de alimentação isolados, tem-se que a quantidade de energia gerada 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 todas as perdas energéticas, o fluxo de potência pode ser ilustrado (fig. 4) abaixo:

Figura 4 - Fluxo de energia de um sistema elétrico



Fonte: Arquivo pessoal.

Os motores primários, neste exemplo 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 do motor elétrico são térmicos

e acústicos, causando aumento da temperatura em equipamentos e ambiente. A eficiência do sistema elétrico (Figura 4) é:

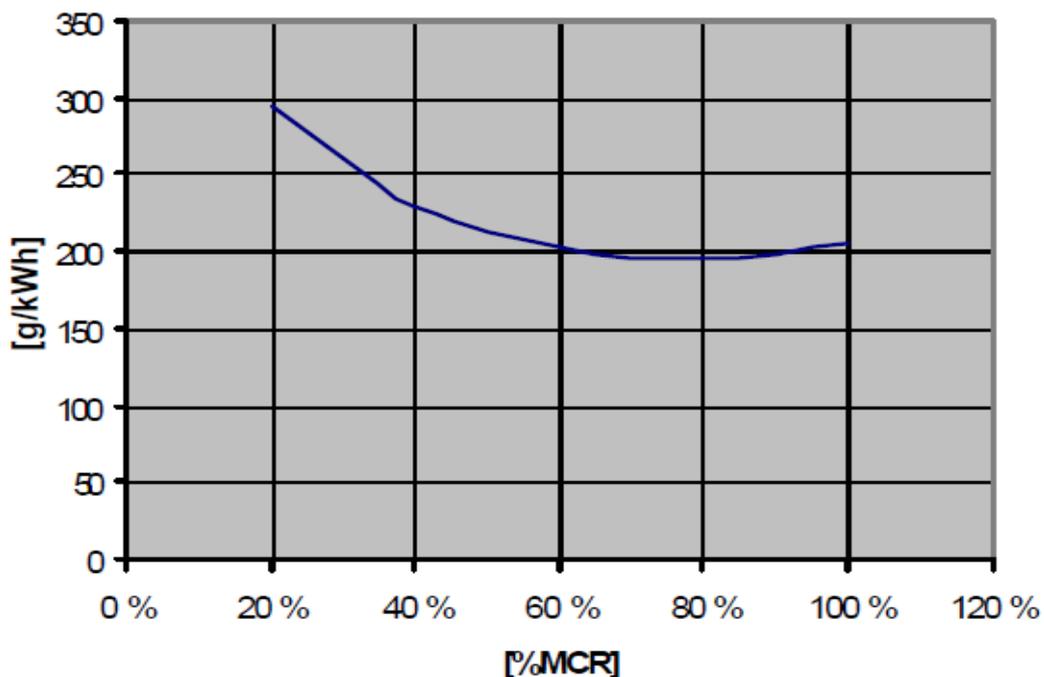
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{losses}}$$

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. 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 5 - Diagrama de combustível por potência em relação a carga de um motor diesel



Fonte: Arquivo pessoal.

No gráfico acima (Figura 5) 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.

3 PROPULSORES ESPECIAIS ELÉTRICOS

3.1 Passo controlável

Este tipo de sistema incorpora uma tecnologia de resposta rápida com nível de ruídos e vibrações perto do limite de zero. Pode ser utilizado em uma extensa variação de tipos de embarcação. Tem como uma de suas vantagens o fato de serem extremamente robustos e preparados para operarem em condições adversas de mar com baixo custo de manutenção.

O passo é controlado por um mecanismo hidráulico dentro do cubo e não tem necessidade de caixas inversoras. O impulso é controlado pelo passo do hélice, fazendo com que a embarcação possa navegar com sua velocidade mais eficiente.

Figura 6 - Exemplo de propulsor de passo controlável



Fonte: Arquivo pessoal.

3.2 Azimutais POD e AZIPOD

Sistema Propulsor azimutal é aquele capaz de girar 360° dispensando o uso de leme e dando maior manobrabilidade a embarcação, sendo dessa forma bastante indicado para embarcações de apoio marítimo. Além dessa principal vantagem, a propulsão azimutal também é mais eficiente que a

convencional graças ao uso de motores elétricos. Ela faz também melhor uso das dimensões da embarcação possibilitando mais espaço para outras instalações e dispõe de custos de manutenção também menores. Os propulsores azimutais podem apresentar transmissão mecânica ou elétrica, sendo que na segunda o motor fica localizado fora do casco da embarcação eliminando a necessidade de caixa de transmissão, já nos modelos tradicionais de transmissão mecânica onde o motor fica localizado no interior da embarcação o torque chega até a embarcação graças ao sistema de transmissão que pode ser do tipo Z-drive ou L-drive.

De acordo com Harrington (1970) o conjunto gerador-motor elétrico pode ser tratado como um sistema de transmissão elétrico. O primeiro projeto de propulsão tipo *Pod* foi concebido em 1955, quando Pleuger e Busmann projetaram o sistema e o patentearam nos Estados Unidos (PÊGO et al., 2005). Em 1990, a empresa ABB lançou no mercado o mesmo conceito de propulsão aprimorado para aplicações comerciais denominado Azipod. Basicamente, este sistema consiste de um motor elétrico, alojado no interior de um Pod adequado de forma que possa fornecer melhor escoamento do fluido, conectado a um hélice. Este conjunto é instalado na parte externa do casco e possui capacidade de girar 360° em torno do seu próprio eixo.

Embora existam outras empresas que fabriquem os propulsores em Pod, durante a investigação notou-se que apenas os sistemas fabricados pela ABB seriam de interesse para uso nas embarcações, dadas as suas configurações. Este sistema pode ser observado na figura abaixo.

Figura 7 - Vista da popa de uma embarcação de apoio com dois propulsores tipo Azipods



Fonte: Arquivo pessoal.

3.3 Hélices duplas

A utilização de mais de um hélice na propulsão de embarcações não é algo recente, vários rebocadores fazem uso de par de propulsores azimutais e dessa forma dispensam o uso de leme, entretanto, nestes casos bem como em outros exemplos anteriores, os hélices se encontram em eixos e estrutura mecânica diferentes. No entanto, este trabalho ao adotar o termo hélice dupla não se refere a esse tipo de tecnologia e sim algo muito mais recente na navegação que são os pares de hélice em mesmo eixo e mesma estrutura mecânica.

Os dois modelos estudados são: o STP (Twin Propellers) e o CRP (Hélices contra rotativas) vistos a seguir.

3.3.1 STP Twin Propeller

Utilizando-se dois hélices montados num mesmo eixo, girando na mesma direção e com aletas direcionais integradas ao propulsor, obtêm-se, entre outras, as seguintes vantagens: alta confiabilidade proveniente de uma construção simples e com poucas peças móveis, redução do diâmetro do hélice sem comprometimento da eficiência do sistema, baixo consumo de combustível e baixo custo de manutenção. Esse tipo de propulsor tem 20% a mais de eficiência propulsora comparado a propulsores comuns.

Figura 8 - Exemplo de Twin Propeller



Fonte: Arquivo pessoal.

3.3.2 CRP Hélices contra rotativas

O propulsor tipo CRP consiste em dois hélices alinhados girando em sentidos opostos onde o hélice traseiro irá se aproveitar da energia rotacional do turbilhão deixada pelo hélice dianteiro, e dessa forma o sistema como um todo apresentará substanciais ganhos de eficiência se comparado aos modelos tradicionais de propulsão, visto que a exigência por potência se torna menor reduzindo dessa forma a necessidade de espaço e consumo de combustível. A

contra rotação é então uma maneira de aumentar a potência sem aumentar o diâmetro da hélice e anular o efeito de torque nos motores de alta potência. O impulso fica dividido entre os dois hélices, e assim, a carga em cada um, bem como seus diâmetros, são reduzidos o que reduz significativamente os efeitos da cavitação. Outras vantagens são o nível de ruído reduzido e a melhor manobrabilidade em baixas velocidades, o que é muito importante especialmente em portos e canais.

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

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

Figura 9 - Exemplo de CRP Hélices Contra rotativas

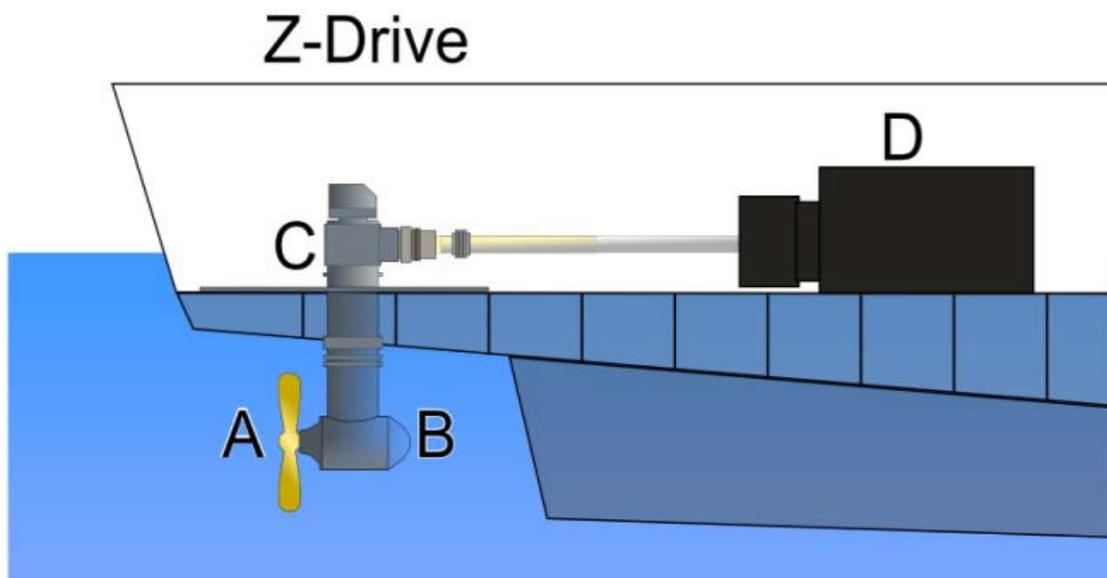


Fonte: Arquivo pessoal.

3.4 Z-Drive

O Z-drive é um tipo de unidade de propulsão marítima, especificamente falando, é um propulsor azimuthal. Como visto anteriormente, o “pod” pode girar 360°, permitindo mudanças rápidas na direção de impulso e, assim, na direção da embarcação. Isso elimina a necessidade de um leme convencional. Esta forma de transmissão de energia é chamado de Z-drive, porque o movimento de rotação tem que fazer duas voltas ângulo reto, assemelhando-se, assim, a letra "Z". Tem a desvantagem de possuir duas “gearbox”, causando perdas.

Figura 10 - Unidade de propulsão tipo z-drive

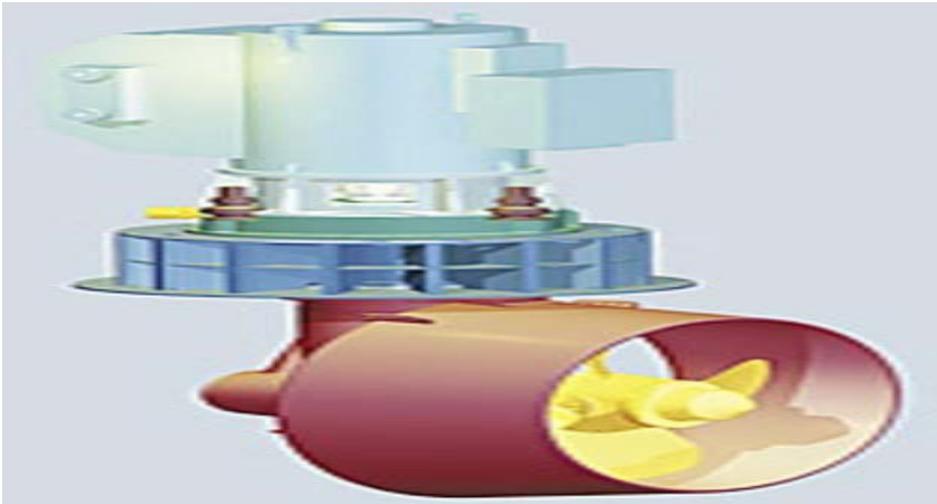


Fonte: Arquivo pessoal.

3.5 L-Drive

O L-drive é um tipo de propulsor azimuthal em que o “pod” é movido mecanicamente ao invés de eletricamente. Esta forma de transmissão de energia é chamada uma L-drive, porque o movimento de rotação tem que fazer girar um ângulo reto, parecendo, assim, um pouco com a letra "L". É mais vantajoso do que a Z-Drive por possuir apenas uma “gearbox”, diminuindo as perdas.

Figura 11 - Azimutal dutado com L-Drive



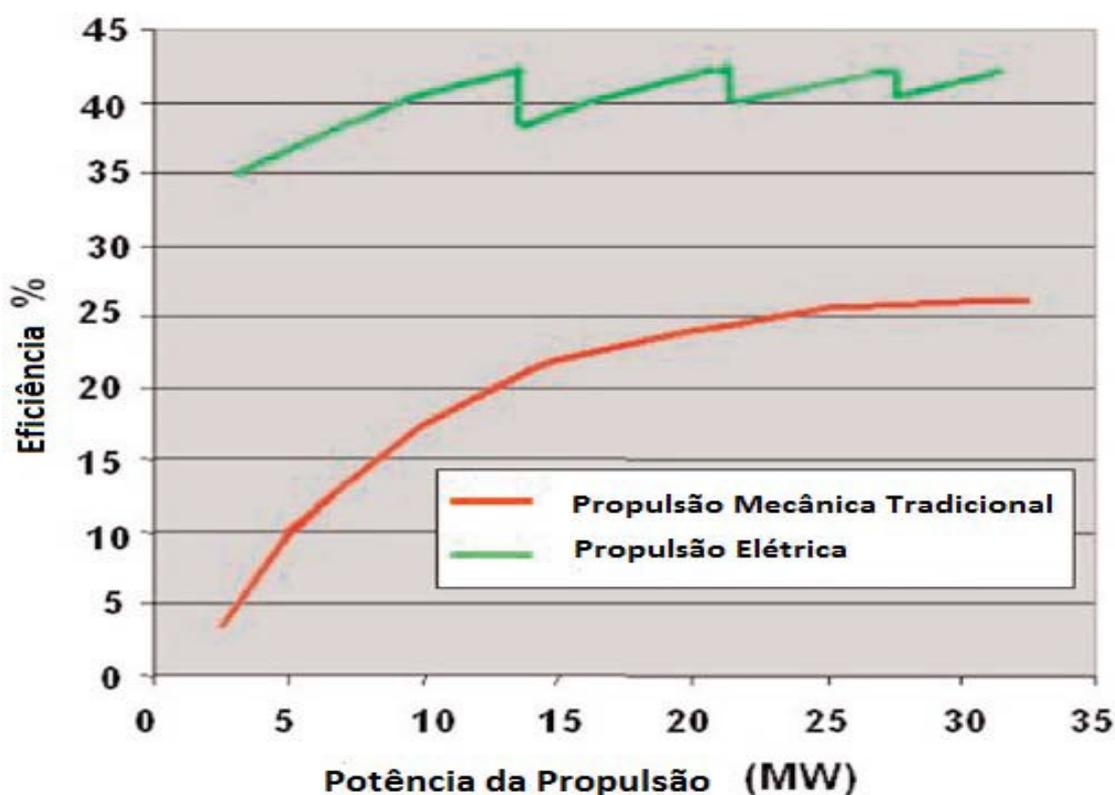
Fonte: Arquivo pessoal.

4 PRINCIPAIS VANTAGENS DA PROPULSÃO ELÉTRICA

4.1 Redução do consumo de combustível

Em embarcações de apoio marítimo 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 12 - Diagrama de eficiência no consumo em relação a carga na propulsão



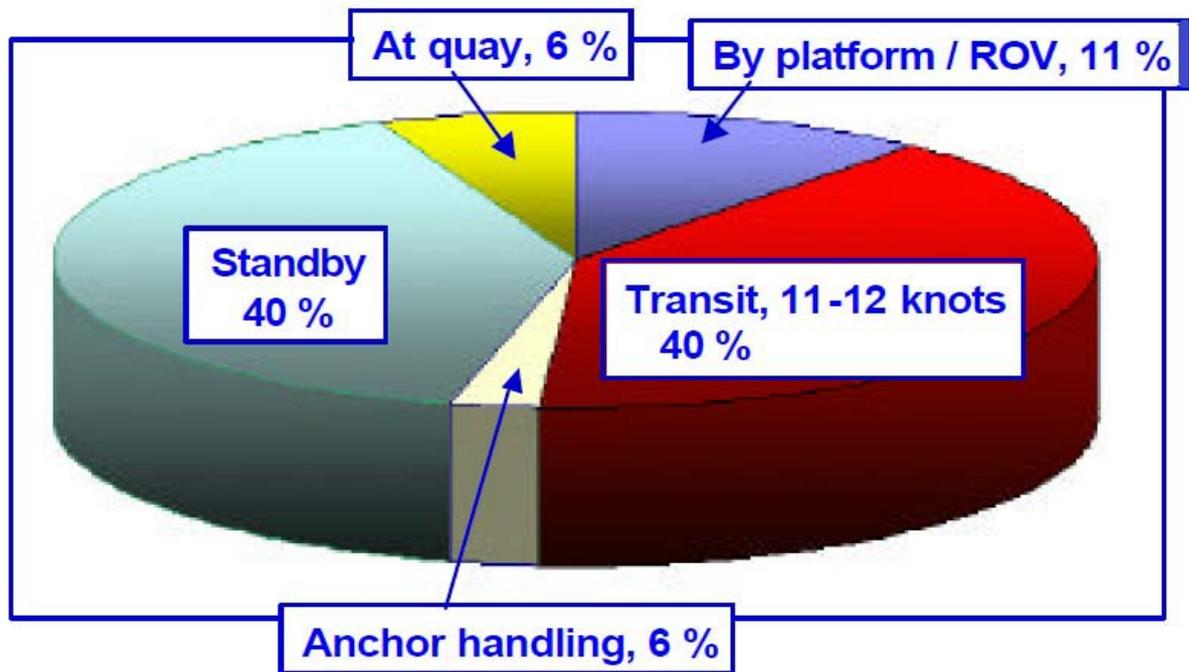
Fonte: Arquivo pessoal.

Com o uso da propulsão elétrica, tem-se este problema eliminado, e o motor primário pode operar no ponto de melhor rendimento independente da velocidade de rotação do hélice. Em virtude da não utilização da conexão mecânica (linha de eixo) entre motor primário (que gera potência através da queima de combustível) e o eixo propulsor, não existe mais relação direta entre a velocidade do eixo do motor primário e a rotação do hélice.

Segundo Whitman (2001), estimou-se a eficiência energética em

aproximadamente 17% melhor que em relação à propulsão convencional mecânica de acordo com Newell (2000, p. 67-85). Nota-se (Fig. 11) que essa diferença de eficiência é maior em cargas baixas e media, situação favorável para as embarcações de apoio marítimo, já que é o caso em que fica a maior parte do tempo, como veremos Fig. 12 abaixo:

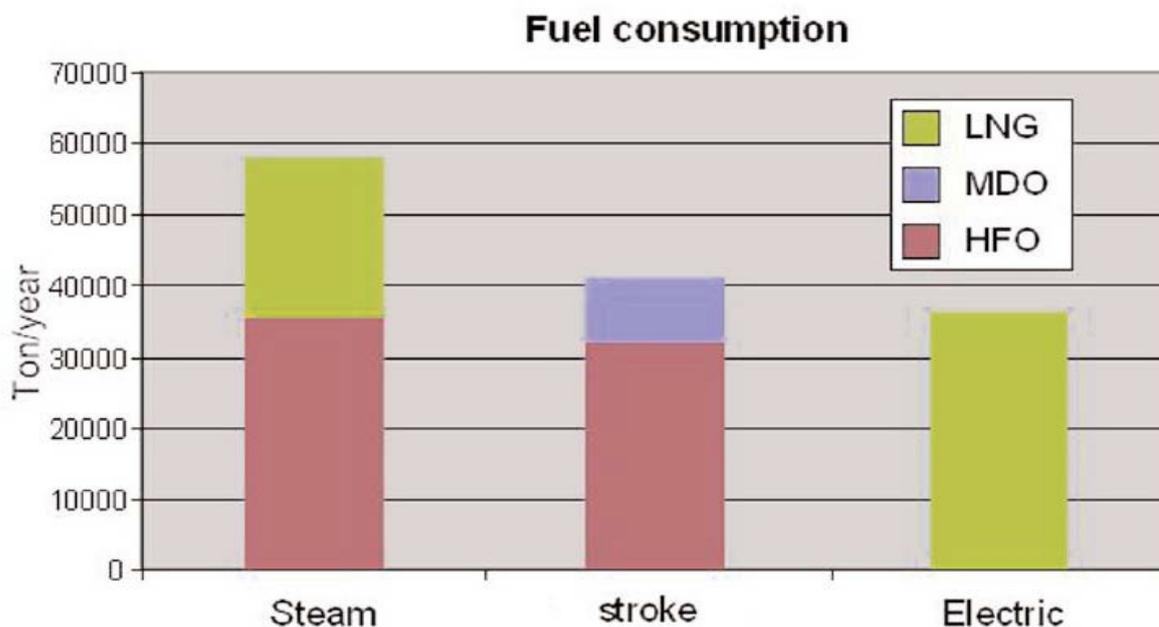
Figura 13 - Perfil do tempo de operações de Embarcações de apoio marítimo



Fonte: Arquivo pessoal.

De acordo com a linha de pesquisa apresentada por Pereira (2006, p.12-27), que comparou três tipos de instalações propulsoras diferentes, para um mesmo navio do tipo 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 Fig. 13.

Figura 14 - Consumo de Combustível



Fonte: Arquivo pessoal.

4.2 Redução da tripulação

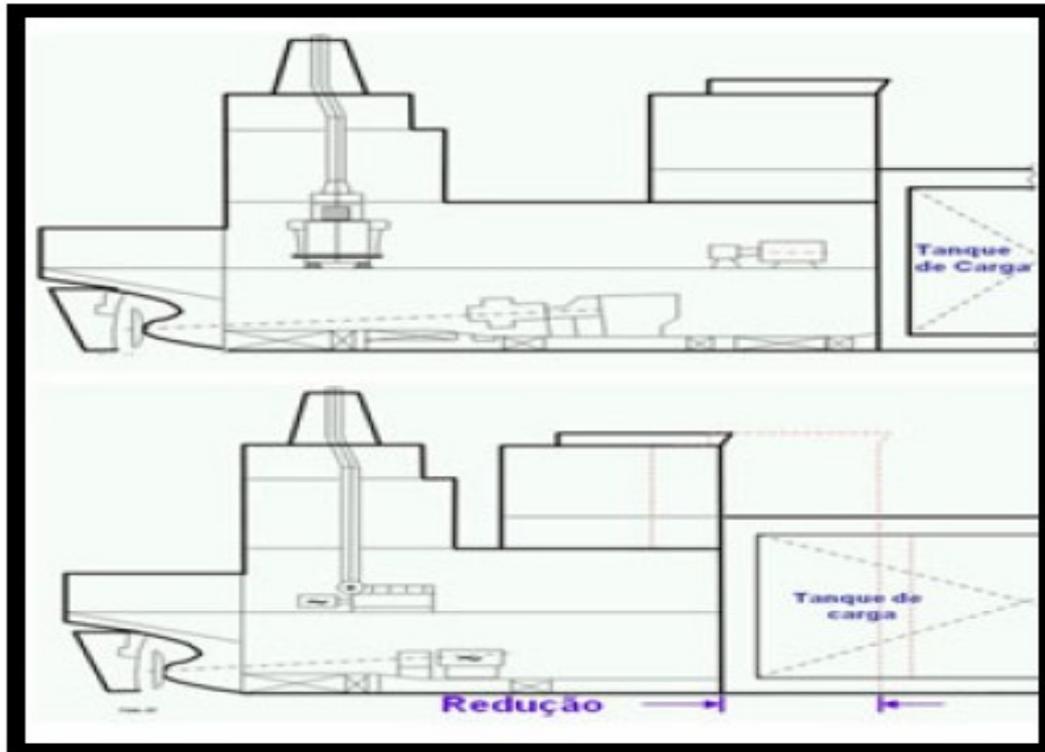
A tendência e o atual cenário nas embarcações de Propulsão Elétrica é de uma ampla difusão de sistemas auxiliares e acessórios alimentados por eletricidade, em substituição aos sistemas mecânicos, hidráulicos e pneumáticos. Os sistemas elétricos são mais fáceis de controlar à distância e possuem maior compatibilidade com controles eletrônicos. Esta tendência possibilita o avanço ainda maior da automação, fator este considerado na elaboração do cartão de tripulação de segurança, e como consequente deste, temos a redução de tripulação, proporcionando adicional benefício através da redução de custo operacional.

4.3 Flexibilidade do projeto

Os equipamentos da propulsão elétrica são modulares e não precisam ser posicionados próximos uns aos outros (podem inclusive ser instalados em compartimentos diferentes). Dependendo do tamanho das máquinas, elas

podem ser instaladas nas partes mais altas do casco, deixando apenas o motor elétrico junto ao fundo do casco conectado ao propulsor.

Figura 15 – Distribuição dos Equipamentos na Praça de Máquinas

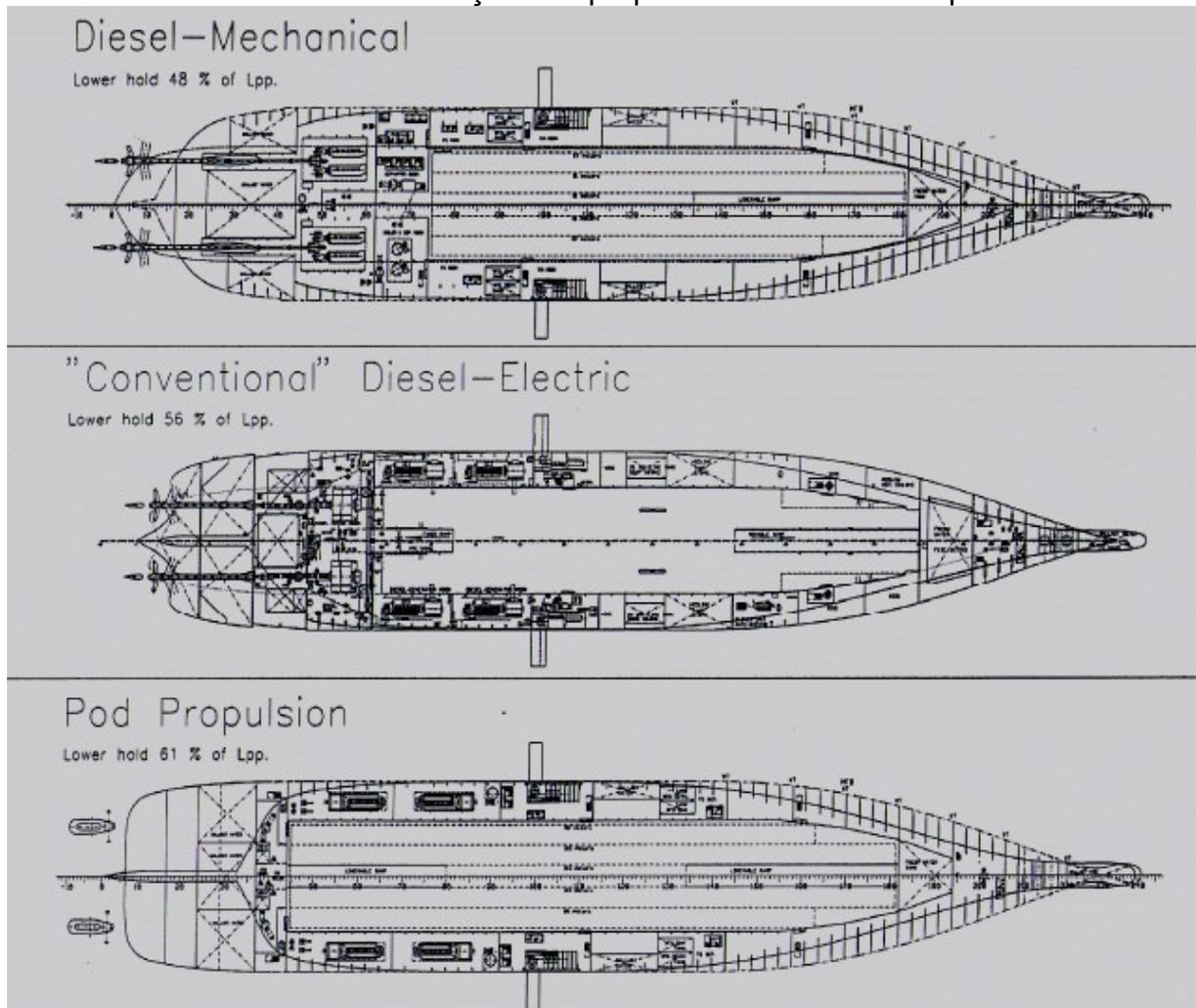


Fonte: Arquivo pessoal.

Observa-se na Fig. 14 e Fig. 15 um ganho no espaço destinado ao transporte de cargas reposicionando diesel-geradora num 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 pela embarcação de apoio marítimo, em áreas menos críticas, com um aproveitamento otimizado do espaço disponível a bordo.

Nas embarcações com propulsão elétrica não são necessários motores auxiliares. Toda energia demandada pela embarcação será gerada pelos motores diesel. Esta diminuição na quantidade de motores também provoca redução de custos e economia de espaço.

Figura 16 – Disposição de distribuição em embarcações de propulsão elétrica e mecânica e embarcações de propulsão diesel elétrica tipo POD



Fonte: Arquivo pessoal.

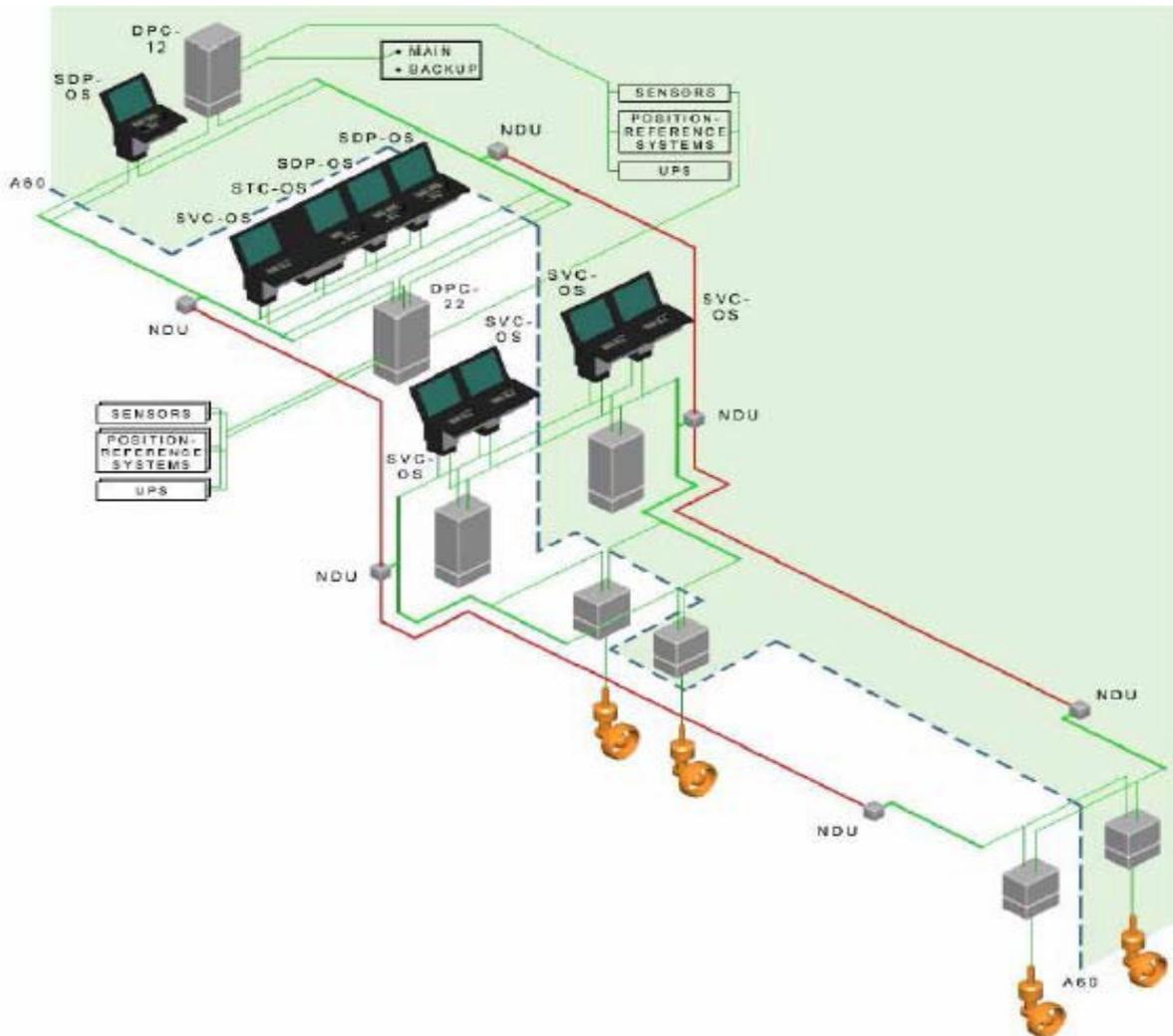
A modularidade do sistema permite também que em altas velocidades sejam utilizados todos os dispositivos de acionamento principal e, nas velocidades econômicas sejam desligados os que não forem necessários.

4.4 Favorecimento das redundâncias dos sistemas

A modularidade e a flexibilidade proporcionam um sistema de geração de energia e de sistemas redundantes, distribuídos e reconfiguráveis. Consequentemente os danos em um compartimento de máquinas, seja provocado por incêndio, alagamento, colisão ou simples mau funcionamento, podem facilmente ser detectados e "by-passados", mantendo-se o

funcionamento do sistema para se afastar de uma unidade com a qual se esteja operando, por exemplo. A facilidade para o redirecionamento da energia elétrica a bordo, possibilita uma gama de possibilidades de ações para minimizar os efeitos decorrentes de múltiplas falhas simultâneas, proporcionando redundâncias.

Figura 17 - Arquitetura do sistema de controle com redundância



Fonte: Arquivo pessoal.

4.5 Aumento da vida útil das embarcações

As embarcações de apoio marítimo 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 itens têm crescido numa progressão ainda maior, tornando difícil justificar este gasto considerando o tempo de vida útil das embarcações tradicionais para Arrington (1998, p.23-28).

Com o evento do desenvolvimento da automação dos sistemas, nas décadas de 80 e 90, mais equipamentos elétricos e eletrônicos estão sendo incorporados nas embarcações, aumentando a demanda por energia elétrica. Isto vem fazendo com que os geradores instalados a bordo sejam de potência mais elevada, a fim de suprir a demanda já instalada e manter uma reserva para crescimento futuro, como por exemplo as instalações de um ROV.

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

As embarcações de apoio marítimo projetadas com propulsão elétrica podem ter vida útil maior, da ordem de 50 anos, contra 25 ou 40 anos dos navios com propulsões tradicionais.

4.6 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.

4.7 Redução da emissão de poluentes

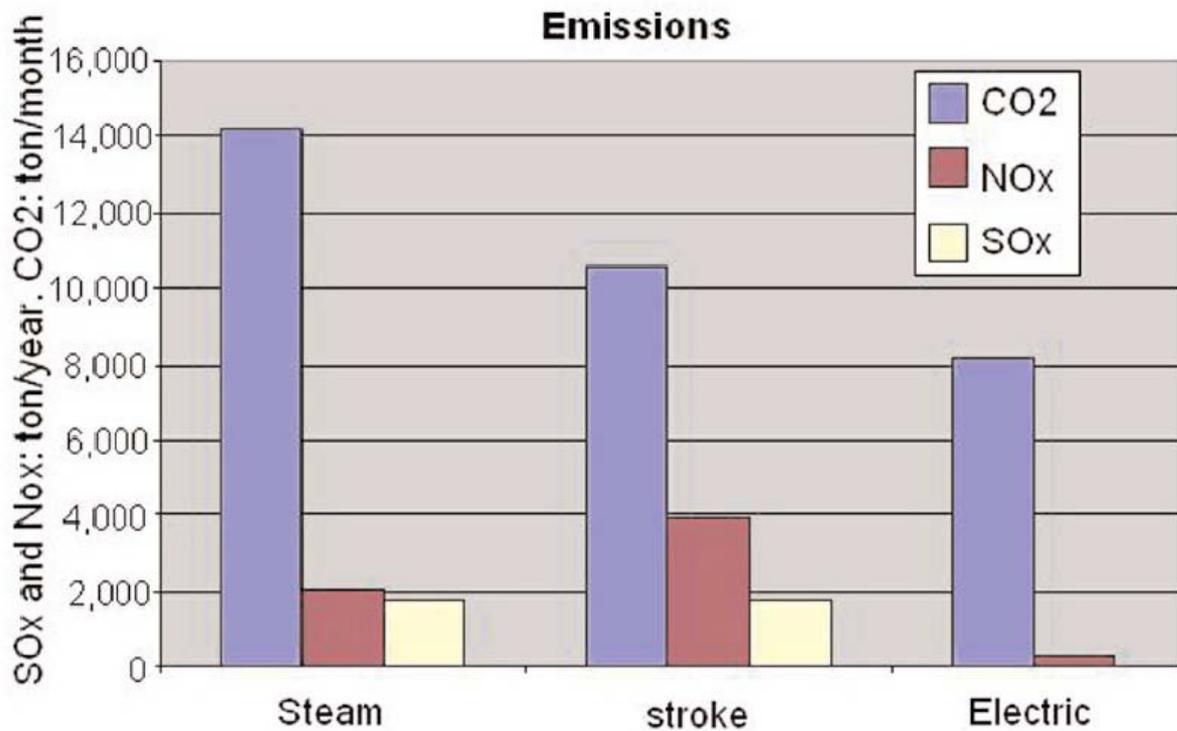
Atualmente existe no mundo uma pressão pelos órgãos ambientais, para que as empresas em seus projetos de futuras embarcações, e também em relação aquelas já estão em funcionamento, apresentem uma redução na quantidade de poluentes emitidos durante a realização das operações. Todos os tipos de poluentes emitidos (gasosos, líquidos ou sólidos) estão sendo cada vez mais monitorados e as legislações estão sendo elaboradas com requisitos mais rigorosos.

Em decorrência disto busca-se utilizar cada vez em menor quantidade os combustíveis fósseis. As emissões de gases poluentes oriundas da queima de óleo diesel e gasolina são os maiores responsáveis pelo efeito estufa. Neste contexto, a propulsão elétrica está sendo fortemente indicada para embarcações de apoio marítimo.

Durante a operação com embarcações de apoio marítimo, 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:

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

Figura 18 - Emissão de poluentes



Fonte: Arquivo pessoal.

Conforme mostra a Figura 18, é possível ver nitidamente 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: CO₂ - Dióxido Carbônico, NO_x – Óxido de Nitrogênio e SO_x – Óxido de Enxofre) durante as operações.

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 à atitudes políticas de interesse mundial.

4.8 Redução da assinatura acústica

Conforme visto anteriormente a não necessidade de utilização de engrenagens redutoras entre o motor de acionamento e a propulsão, e com isso sem alinhamento das mesmas. A eliminação desta engrenagem contribui de forma significativa para a redução nos níveis de ruído e vibração, garantindo assim 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 os equipamentos mecânicos.

E à medida que os sistemas e equipamentos que atualmente são mecânicos forem substituídos pelos elétricos, ocorrerá à diminuição da assinatura acústica emitida, podendo aumentar assim, o conforto acústico da tripulação.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A principal função deste trabalho foi apresentar a propulsão elétrica como uma melhor alternativa em relação a propulsão mecânica tradicional em embarcações de apoio marítimo.

O sucesso nas tentativas recentes, de aumentar a densidade de potência dos motores elétricos empregados neste tipo de propulsão, permite que embarcações 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).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADNANES, Alf Kåre. **Maritime electrical Installations and diesel electric propulsion**. Disponível em: Disponível em: [http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/c348ae87dd99ce5cc12574e30023fede/\\$file/maritime%20el%20installations%20and%20de%20propulsion.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/c348ae87dd99ce5cc12574e30023fede/$file/maritime%20el%20installations%20and%20de%20propulsion.pdf). Acesso em: 05 jan. 2012.

ARRINGTON, J., W. **The analysis of components, designs, and operation for electric propulsion and integrated electrical system, master of science in electrical engineering, naval postgraduate school (NPS)**. Monterey, California, USA, 1998.

FREIRE, P., R., M.; FERREIRA, C., L.. **Propulsão elétrica: histórico e perspectivas futuras**. 20º Congresso Nacional de Transporte Marítimos. Construção Naval e Offshore – EXPONAVAL 2004, Sociedade Brasileira de Engenharia Naval – SOBENA.

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

MCCOY, T., J. **Trends in ship electric propulsion power engineering society summer Meeting**. Vol. 1, pp. 343-346, IEEE, 2002.

NEWELL, J., M.; YOUNG, S., S. **Beyond electric ship**. Transactions IMarE, Vol. 112, 2000.

PÊGO, J.; LIENHART, H.; DURST, F. BRADRAN, O. **Construction of a test facility for the research of ship propulsion systems**. Emirates Journal for Engineering Research, 10 (2), 1-8. 2005.

PEREIRA, N., N., BRINATI, H., L. **Estudo do impacto da propulsão diesel-elétrica na emissão de gases poluentes**. 22º Congresso Nacional de Transporte Marítimos, Construção Naval e Offshore – EXPONAVAL 2006, Sociedade Brasileira de Engenharia Naval – SOBENA.

SMITH, S., WILLIAMSON, S.; HODGE, C. **Direct drive marine propulsion motors**. ICEM Conference, Brugge. 2002.

WHITMAN, E., C. The IPS advantage. **Electric drive: a propulsion system for tomorrow's submarine fleet?** Seapower Magazine, Julho, 2001.