

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

**RAPHAEL DE LEMOS MEZZAVILLA
MATTHEUS AVELINO DA SILVA**

PROPULSÃO DIESEL-ELÉTRICA PARA NAVIOS MERCANTES

**RIO DE JANEIRO
2018**

RAPHAEL DE LEMOS MEZZAVILLA
MATTHEUS AVELINO DA SILVA

PROPULSÃO DIESEL-ELÉTRICA PARA NAVIOS MERCANTES

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

Orientador: MSc. Eng. Paulo Roberto Batista Pinto

RIO DE JANEIRO

2018

RAPHAEL DE LEMOS MEZZAVILLA

MATTHEUS AVELINO DA SILVA

PROPULSÃO DIESEL-ELÉTRICA PARA NAVIOS MERCANTES

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

Orientador: MSc. Eng. Paulo Roberto Batista Pinto

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador: MSc. Eng. Paulo Roberto Batista Pinto

Assinatura do Orientador

Assinatura do Aluno

Assinatura do aluno

NOTA FINAL: _____

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a nossa família, pois sem elas não estaríamos em lugar nenhum, nossos amigos que sempre nos incentivaram, aos nossos mestres que foram ótimos professores e nos proporcionaram conhecimento suficiente para a realização desta monografia.

“Sonhos determinam o que você quer.
Ação determina o que você conquista.”

Aldo Novak

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso tem por finalidade apresentar os tipos de propulsão que já foram e ainda são utilizados nos navios mercantes e realizar uma comparação entre elas a fim de esclarecer qual dos meios é o mais eficiente e utilizado atualmente. Além disso, proporcionar-se-á aos leitores informações gerais sobre os meios de propulsão, focando na propulsão diesel-elétrica.

Nessa monografia o leitor poderá acompanhar o desenvolvimento dos diversos meios de propulsão usando eletricidade e, também, conhecer os impactos dessas tecnologias tanto no mercado de trabalho como no meio ambiente.

Palavras-chave: propulsão, eficiência, propulsão diesel-elétrica e sistemas.

ABSTRACT

The purpose of this course is to present the types of propulsion that have been and are still used in merchant ships and to make a comparison between them in order to clarify which of the means is the most efficient and currently used. In addition, readers will be provided with general information on propulsion media, focusing on diesel-electric propulsion.

In this monograph the reader can follow the development of the various means of propulsion using electricity and also know the impacts of these technologies both in the labor market and in the environment.

Keywords: propulsion, efficiency, diesel-electric propulsion and system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Funcionamento da turbina a gás	12
Figura 2: Diagrama de funcionamento de uma turbina a vapor	15
Figura 3: Propulsão diesel-mecânica	18
Figura 4: Esquema de funcionamento da propulsão diesel-elétrica	20
Figura 5: Diagrama de arranjo do sistema diesel-elétrico	20
Figura 6: Tipos de operação do sistema híbrido	22
Figura 7: Exemplificação do sistema híbrido	23
Figura 8: Equipamentos do sistema híbrido	23
Figura 9: Comparação do gasto de energia	25
Figura 10: Gráfico do Consumo de combustível por KWh de energia produzida	26
Figura 11: Perdas significativas durante o processo de transmissão de energia	26
Figura 12: Perfil operacional e comparação entre diesel-mecânico e elétrico	27
Figura 13: Arranjo do sistema híbrido em PSV	30

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. SISTEMAS DE PROPULSÃO	11
2.1.Turbina a gás	11
2.1.1.Funcionamento da turbina a gás	11
2.1.2.Tipos de turbina a gás	11
2.1.3.Utilização e características da turbina a gás	12
2.2.Turbina a vapor	13
2.2.1.Funcionamento da turbina a vapor	13
2.2.2.Tipos de turbina a vapor	14
2.2.3.Utilização e características da turbina a vapor	14
2.3.Diesel	15
2.3.1.Funcionamento do motor a diesel	15
2.3.2.Tipos de motores a diesel	16
2.3.3.Utilização e características dos motores a diesel	17
2.4.Diesel-elétrica	18
2.4.1.Funcionamento do sistema diesel-elétrico	18
2.4.2.Utlização e características do sistema diesel-elétrico	19
2.5.Sistema híbrido	21
2.5.1.Funcionamento do sistema híbrido	21
2.5.2.Utilização e características do sistema híbrido	21
3. COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS PROPULSIVOS	24
4. DADOS DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL	29
4.1.Embarcação PSV	29
4.1.1.Híbrido	30
4.1.2.Diesel-mecânico	33
4.1.3.Diesel-elétrico	36
5. RESULTADOS	39
6. COMPARAÇÕES	40
7. CONCLUSÃO	41
8. REFERÊNCIAS	42

1. INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos existentes hoje em dia fazem com que existam diferentes tipos de sistemas propulsivos. Isso proporciona uma redução no consumo de combustível, redução nos impactos ambientais, simplificam tanto o projeto quanto a

construção, torna a utilização dos espaços a bordo melhor aproveitados, além de melhorar o ambiente de trabalho da tripulação (vibração e ruído).

Devido à crescente evolução da frota internacional de embarcações (ONU, 2015) – gerada, principalmente, pelo grande fluxo de importação e exportação oriunda da globalização – e, também, à busca constante pela diminuição de poluentes nocivos ao meio ambiente, faz-se imprescindível uma propulsão menos poluente e mais eficiente que os motores de combustão normais, que atenda a estes fatores e, também, a convenção internacional para a prevenção da poluição por navios (MARPOL).

O objetivo de uma empresa de navegação é o mesmo que o de qualquer outra empresa não filantrópica: o lucro. Para isso, sua frota deve ter, entre outros fatores, uma boa equipe de trabalho, boa infraestrutura e bons equipamentos. Esses últimos representam uma boa parte dos gastos de uma empresa, pois há a necessidade de sobressalentes, consertos e até mesmo substituições. Além disso, outro fator de extrema importância para diminuição dos gastos e, conseqüentemente, o aumento do lucro é o tipo de propulsão utilizado, já que a quantidade de combustível utilizada em apenas uma viagem é muito grande. Dessa forma, utilizar a forma de propulsão mais eficiente seria, não só vantajoso para empresa como também muito lucrativo.

2. SISTEMAS DE PROPULSÃO

2.1. Turbina a gás

A turbina é uma máquina térmica de pequenas dimensões, baseada em um ciclo termodinâmico fechado, ela tem a função nos motores de transformar as energias, antes desperdiçadas, em energias de propulsão.

A nomenclatura adotada de turbina a gás induz a pensar que todas as turbinas a gás utilizam como combustível o gás natural ou outro tipo de gás combustível. Na verdade, a grande maioria das turbinas a gás queima combustível líquido derivado do petróleo, como querosene de aviação, óleo diesel e, em alguns casos, óleo combustível pesado.

2.1.1. Funcionamento da turbina

Uma turbina a gás utiliza como fluido operante um gás acelerado no lugar de um vapor (por exemplo de uma turbina a vapor) ou de um líquido (por exemplo, de uma turbina hidráulica).

Uma turbina pode utilizar gás de diversas fontes, mas o maior interesse para o uso de propulsão marítima está na utilização da queima de combustível. Este tipo de turbinas deve produzir o próprio gás que atua nela, gás que poderá ser ar atmosférico (no caso de um ciclo aberto) ou também ser ar ou outro gás qualquer num ciclo fechado.

As turbinas a gás são equipamentos compostos basicamente por compressor, câmara de combustão e a turbina propriamente dita. O seu funcionamento é baseado na seguinte sequência cronológica:

- Compressão do fluido de trabalho (ar);
- Aumento da energia interna desse fluido;
- Expansão do fluido na turbina.

2.1.2. Tipos de turbinas

As turbinas podem ser divididas em três tipos distintos, são eles:

- Turbina de Impulso;

- Turbina de Reação;
- Turbina de Impulso-reação.

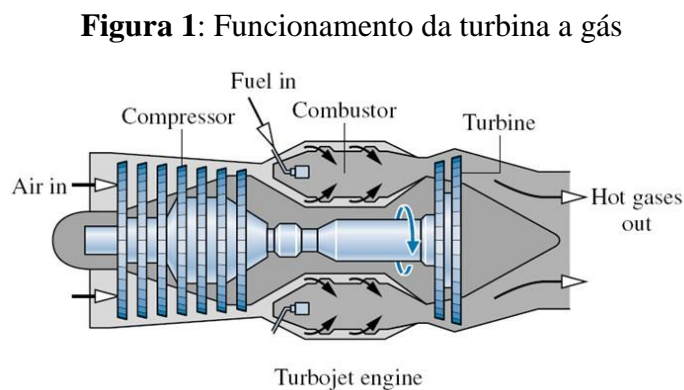
2.1.3. Utilização e vantagens da turbina a gás

O uso de turbinas a gás está gradativamente ganhando espaço nesse mercado marítimo de grandes máquinas, com fortes fornecedores como a “Rolls-Royce” e a “General Electric”. Atualmente seu uso como propulsão principal tem sido mais limitado a navios de guerra, onde são valorizadas por sua alta relação peso/potência e aceleração (torque).

É possível perceber as principais vantagens das turbinas a gás:

- As turbinas a gás são muito leves quando comparadas a outras máquinas que possuem a mesma potência e produzem a mesma quantidade de trabalho, isto é, elas possuem uma relação de potência por peso bem superior aos motores diesel;
- Consomem menos óleo lubrificante, aproximadamente 1% em relação aos motores a diesel;
- Possuem bastante flexibilidade como capacidade de uma partida rápida mesmo quando fria, ou seja, em baixas temperaturas;
- São bastante compactas;
- Número reduzido de pessoas e peças necessárias para sua manutenção e operação.

Abaixo pode ser verificada uma ilustração esquemática do sistema de propulsão a gás, uma turbina axial de aviação:



Fonte: <https://slideplayer.com.br/slide/1848278/>

Para navios, utiliza-se um disco de turbina para transformar os gases de saída em alta velocidade em força mecânica para uso na propulsão, quase sempre com algum tipo de redução de velocidade, e também permite o uso híbrido com turbinas a vapor para geração elétrica (recuperação).

2.2. Turbina a vapor

2.2.1. Funcionamento da turbina a vapor

A turbina a vapor utiliza vapor produzido pelo aquecimento de água ou outros líquidos para gerar o movimento de rotação e de energia. A maioria das turbinas deve ter um tipo de reservatório de líquido, ou caldeira, com uma fonte de calor para aquecer o líquido. Todas as turbinas devem ter um impulsor, um objeto com a forma de uma ventoinha que roda em resposta à pressão do vapor. Muitos hoje têm mais de um impulsor. O rotor está ligado a um gerador rotativo que gera energia elétrica, ou de algum outro mecanismo de rotação que requer a força mecânica para operar, como uma roda.

No início, a caldeira de uma turbina de vapor usada em propulsão era alimentada exclusivamente por carvão, mas a tecnologia moderna permitiu outras fontes de calor mais eficientes, como a energia nuclear ou gás. Uma vez que o líquido ferve e libera um vapor, o vapor viaja para o primeiro rotor através de um tubo. Este tubo aumenta a velocidade do vapor até que seja suficientemente elevada para acionar a turbina. O vapor continua a viajar ao longo do rotor e outros tubos, desde que a turbina de vapor tenha mais do que um impulsor. Cada rotor subsequente permite menos carga (consumo mecânico) que o anterior, porque o vapor tem menos energia cinética após a passagem através de cada rotor.

O resultado de todos estes rotores é uma força de rotação, a qual pode ser utilizada para gerar eletricidade, se o rotor estiver ligado a um gerador elétrico. Normalmente, estes geradores elétricos geram eletricidade através da rotação de um circuito de cobre dentro de um campo magnético. A rotação do cobre dentro do campo magnético gera eletricidade, como afirma a lei de indução.

O vapor remanescente no interior da turbina tem de ser reciclado, de modo que a turbina não tenha que ser constantemente cheia com mais líquido. Para este fim, o vapor é permitido condensar-se, tornando-se um líquido e é então bombeado de volta para o

tanque de caldeira para ser aquecido e enviado através dos impulsores, para gerar mais energia.

2.2.2. Tipos de turbina a vapor

As turbinas a vapor podem ser divididas em dois tipos:

- Turbinas de ação;
- Turbinas de reação.

2.2.3. Utilização e vantagens da turbina a vapor

Do ponto de vista termodinâmico: O ciclo térmico a vapor, do qual a turbina é parte integrante, apresenta rendimentos bastante satisfatórios, quando comparados com os ciclos térmicos de outras máquinas (Turbinas à Gás e Motores de Combustão Interna).

- O rendimento do ciclo térmico a vapor melhora à medida que aumentam a potência das máquinas, as pressões e as temperaturas de geração de vapor.
- O aproveitamento da energia liberada pelo combustível torna-se satisfatório se o calor residual contido no vapor descarregado pela turbina puder ser aproveitado em processos industriais ou para aquecimento geral.

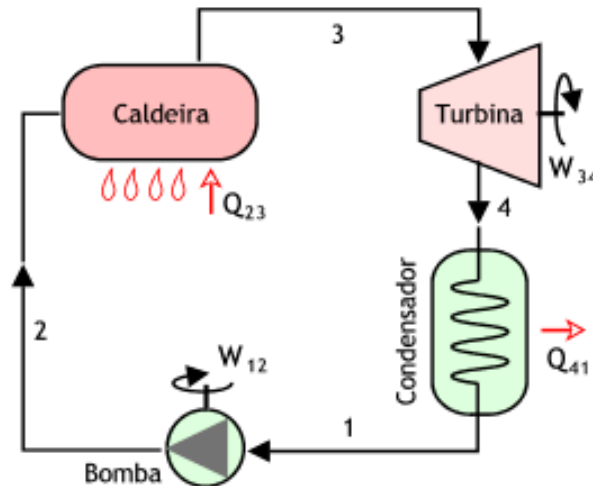
Do ponto de vista mecânico: As TV são puramente rotativas, i.e., a força acionadora é aplicada diretamente no elemento rotativo da máquina. Têm balanceamento bastante fácil, resultado em um funcionamento extremamente suave da máquina.

- Os impulsos aplicados pelo vapor nas palhetas da turbina são regulares e constantes. Se a carga acionada é mantida constante, o torque aplicado no acoplamento da turbina será bastante uniforme.
- É uma máquina de alta rotação (3.500 a 6.000 rpm) sendo ideal para acionar bombas e compressores centrífugos.
- Não há lubrificação interna. Devido a isso o vapor exausto da turbina é isento de óleo, dispensando-se procedimentos de filtragem e separação do vapor. O óleo circula somente através dos mancais e do sistema de controle, sendo continuamente filtrado e resfriado. Não há problemas de contaminação e a consequente oxidação do lubrificante, podendo o mesmo ter uma vida útil longa.

- A facilidade de controle e a possibilidade de variação de velocidade feita pelo o governador, é bastante simples, precisa e confiável.

A seguir pode ser verificada uma ilustração esquemática do sistema de propulsão a vapor:

Figura 2: Diagrama de funcionamento de uma turbina a vapor



Fonte: <http://www.mspsc.eng.br/termo/termod0540.shtml>

2.3.Diesel

2.3.1.Funcionamento do motor a diesel

A propulsão Diesel Mecânica é o sistema propulsivo mais comumente utilizado em embarcações que necessitam de grande potência propulsiva, que produzam a tração estática (*Bollard Pull*) necessária para atividades como reboque de unidades flutuantes e/ou outras embarcações, além da fixação de âncoras em solo marinho.

A configuração de tal sistema propulsivo é caracterizada pela presença de duas linhas de eixo em navios de apoio, com caixas redutoras de dupla entrada e saída única, além de dois motores diesel por linha de eixo, em um arranjo conhecido como *father-and-son*, no qual os motores possuem potências distintas. Em cada caixa redutora há geralmente uma tomada de força com um gerador de eixo. Devido a isso cada linha de eixo pode então ser servida por cada um dos motores, individualmente o simultaneamente.

Os motores de combustão interna, segundo o tipo de combustível que utilizam, são classificados em motores do ciclo Otto e motores do ciclo Diesel, nomes devidos aos seus descobridores.

Motores do ciclo Otto são aqueles que aspiram a mistura ar-combustível preparada antes de ser comprimida no interior dos cilindros. A combustão da mistura é provocada por centelha produzida numa vela de ignição. É o caso de todos os motores a gasolina, álcool, gás, ou metanol, que são utilizados, em geral, nos automóveis.

Motores do ciclo diesel são aqueles que aspiram ar, que após ser comprimido no interior dos cilindros, recebe o combustível sob pressão superior àquela em que o ar se encontra. A combustão ocorre por autoignição quando o combustível entra em contato com o ar aquecido pela pressão elevada. O combustível que é injetado ao final da compressão do ar, na maioria dos motores do ciclo diesel é o óleo diesel comercial, porém outros combustíveis, tais como nafta, óleos minerais mais pesados e óleos vegetais podem ser utilizados em motores construídos especificamente para a utilização destes combustíveis. O processo diesel não se limita a combustíveis líquidos. Nos motores segundo o processo diesel podem ser utilizados também carvão em pó e produtos vegetais. Também é possível a utilização de gás como combustível no processo diesel, nos motores conhecidos como de combustível misto ou conversíveis, que já são produzidos em escala considerável e vistos como os motores do futuro.

2.3.2. Tipos de motores a diesel

Segundo sua aplicação, são classificados em 4 tipos básicos:

- Estacionários: destinados ao acionamento de máquinas estacionárias, tais como geradores, máquinas de solda, bombas ou outras máquinas que operam em rotação constante;
- Industriais: destinados ao acionamento de máquinas de construção civil, tais como tratores, carregadeiras, guindastes, compressores de ar, máquinas de mineração, veículos de operação fora-de-estrada, acionamento de sistemas hidrostáticos e outras aplicações onde se exijam características especiais específicas do acionador;
- Veiculares: destinados ao acionamento de veículos de transporte em geral, tais como caminhões e ônibus;

- Marítimos: destinados à propulsão de barcos e máquinas de uso naval.

Conforme o tipo de serviço e o regime de trabalho da embarcação, existe uma vasta gama de modelos com características apropriadas, conforme o uso (laser, trabalho comercial leve, pesado, médio-contínuo e contínuo).

Além dos segmentos de aplicações, os motores diesel podem ser classificados pelo tipo de sistema de arrefecimento que utilizam, normalmente a água ou a ar e pelo número e disposição dos cilindros, que normalmente são dispostos em linha, quando os cilindros se encontram em linha reta, ou em “V”, quando os cilindros são dispostos em fileiras oblíquas.

As diferenças básicas entre os diversos tipos de motores diesel residem, essencialmente, sobre os sistemas que os compõem. Todos funcionam segundo às mesmas leis da termodinâmica, porém as alterações de projeto que se efetuam sobre os sistemas e seus componentes resultam em características de operação que os tornam adequados para aplicações diferentes.

Os sistemas que constituem os motores diesel são:

- Sistema de admissão de ar;
- Sistema de combustível, aí incluindo-se os componentes de injeção de óleo diesel;
- Sistema de lubrificação;
- Sistema de arrefecimento;
- Sistema de exaustão ou escapamento dos gases;
- Sistema de partida.

2.3.3.Utilização e características dos motores a diesel

- O combustível utilizado no diesel é menos volátil e, portanto, oferece maior segurança no transporte e no armazenamento;
- O rendimento total do motor diesel é maior, ultrapassando hoje os 40%;
- Menor número de peças;
- Não necessita de um sistema elétrico de ignição;
- Melhor adaptação e economia ao ciclo a dois tempos por fazer a lavagem apenas com ar;
- Maior durabilidade;

- Necessita de maior robustez porque trabalha com pressões mais elevadas, ficando também mais pesado;
- Seu sistema de combustível é mais complexo;
- Funcionamento mais ruidoso;
- Partida mais difícil;
- Maior número de peças;
- Maior preço por unidade de potência.

De um modo geral podemos dizer que o motor diesel é mais adequado às grandes potências (ônibus, caminhões, grupos diesel geradores de eletricidade e navios).

Abaixo pode ser verificada uma ilustração esquemática do sistema de propulsão a diesel:

Figura 3: Propulsão diesel-mecânica



Fonte: <http://keywordsuggest.org/gallery/1131236.html>

2.4. Diesel Elétrica

2.4.1. Funcionamento do sistema diesel-elétrico

No tipo diesel-elétrica, a geração de energia ocorre de maneira diferente, através de um sistema de um conjunto moto gerador, o motor a diesel é responsável pela produção de energia mecânica, que através do movimento do eixo, irá produzir energia elétrica no gerador. A partir dessa produção de energia elétrica, no sistema elétrico, motores elétricos serão responsáveis pelo giro das hélices. Será mostrado que esse tipo de sistema apresenta um rendimento maior comparado à propulsão convencional, além do fato de que em um sistema elétrico, todos os principais equipamentos terão rendimentos maiores do que puramente mecânicos. Pode-se ainda dizer que no sistema diesel-elétrico, o controle dos

equipamentos presentes é feito de maneira mais eficiente, desde a geração até o controle da rotação dos motores.

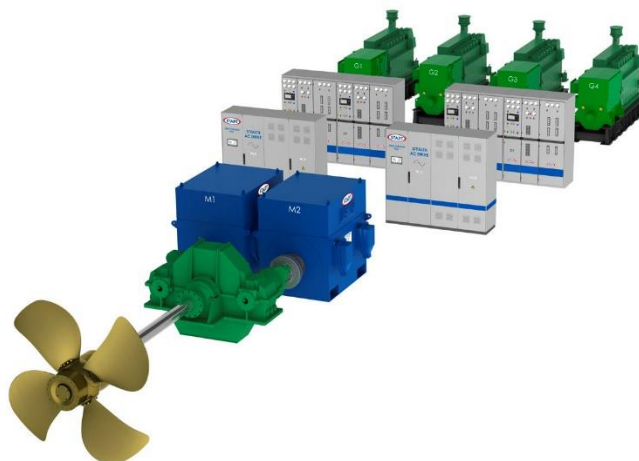
2.4.2.Utilização e característica do sistema diesel-elétrico

A propulsão diesel-elétrica é normalmente utilizada em embarcações em que 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 seja o melhor, caso típico de PSV's. O sistema é composto basicamente por gerador diesel-elétrico, painéis de distribuição, cabos de transmissão além de propulsores do tipo azimutais. Tal sistema apresenta as seguintes vantagens:

- Flexibilidade na organização da sala de máquinas;
- Eliminação das linhas de eixo;
- Manutenção menor para os Motores Diesel;
- Menor Consumo de Combustível;
- Alta confiabilidade;
- Maior disponibilidade;
- Menor nível de vibração e ruído;
- Redução de emissão de gases poluentes (CO₂, NO_x)

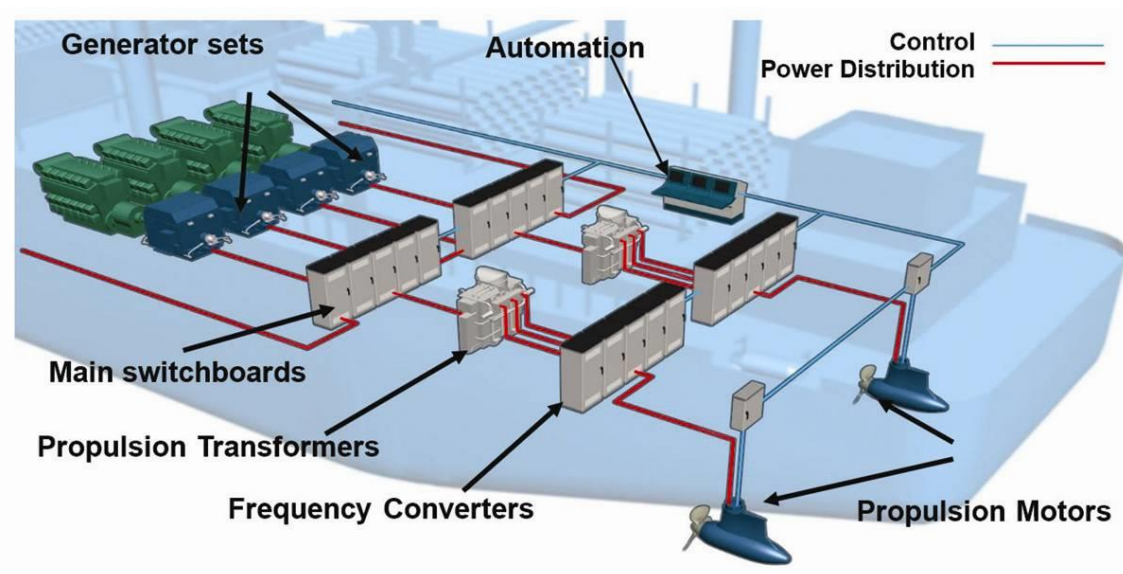
A seguir pode ser verificada uma ilustração esquemática do sistema diesel-elétrico:

Figura 4: Esquema de funcionamento da propulsão diesel-elétrica



Fonte: <http://www.nauticexpo.com/pt/prod/stadt/product-32120-200622.html>

Figura 5: Diagrama de arranjo do sistema diesel-elétrico



Fonte: <http://pt.marinelink.com/news/barcos-trabalho-internos-t%C3%A0m-muito-ganhar-com-239465>

2.5.Sistema Híbrido

2.5.1.Funcionamento e utilização do sistema híbrido

O sistema híbrido é caracterizado por ter os sistemas diesel-mecânico e diesel-elétrico operando em conjunto e de acordo com a conveniência operacional colhendo o melhor de cada sistema, e por isso possibilitando grande economia de combustível. Ele é composto pela parte mecânica, com motores diesel, caixas redutoras, geradores de eixo, pela parte elétrica, com motores elétricos, além de geradores auxiliares necessários para suprir a demanda elétrica da embarcação juntamente com geradores de eixo. A hibridização utiliza conversores de frequência sob a forma de conversão de energia e a tecnologia Grid Converter. Embarcações híbridas operam usando duas ou mais fontes de energia: motores principais e geradores são normalmente combinados com o armazenamento integrado de energia na forma de baterias ou super capacitores.

Esse sistema permite uma versatilidade na geração de energia, atendendo todas as faixas de consumo, dentro das faixas de operação dos motores e geradores do sistema, resultando em maior eficiência energética e economia de combustível. Foi uma forma escolhida por projetistas de aliar as melhores qualidades do diesel-mecânico com o diesel elétrico, afim de com isso evitar o consumo excessivo de combustível em embarcações com perfis operacionais com atividades distintas, que exigem diferentes níveis de energia.

2.5.2.Utilização e características do sistema híbrido

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

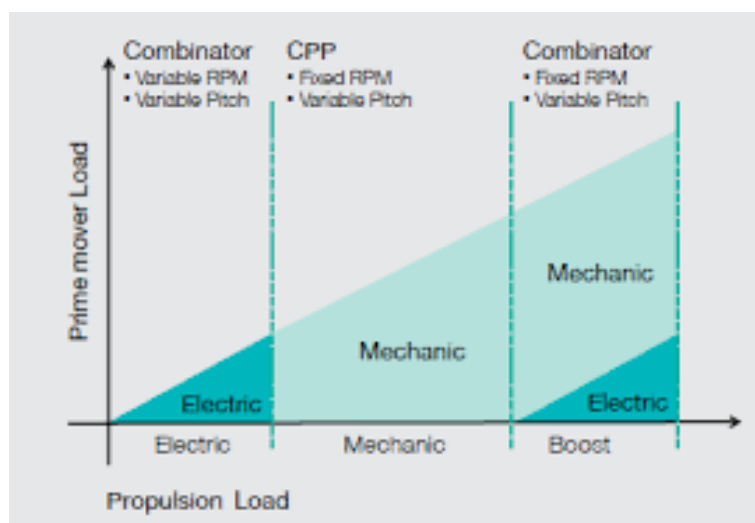
Até pouco tempo atrás quase todos os navios do tipo AHTS (*Anchor Handling Tug Supply*) eram construídos com sistema propulsivo do tipo diesel-mecânico, devido ao foco primordial da embarcação que é o *ballard pull*, capacidade de tração estática, característica necessária para as atividades operacionais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

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

Em princípio, a embarcação com sistema propulsivo híbrido pode ser operada de três maneiras:

- Propulsão elétrica pura para manobras de baixa velocidade, trânsito e DP;
- Propulsão mecânica pura para operações de reboque e trânsito de alta velocidade;
- Propulsão elétrica e mecânica híbrida, onde equipamentos elétricos podem ser utilizados como um “reforço” para o sistema de propulsão mecânica no intuito de atingir os requisitos de tração estática.

Figura 6: Tipos de operação do sistema híbrido

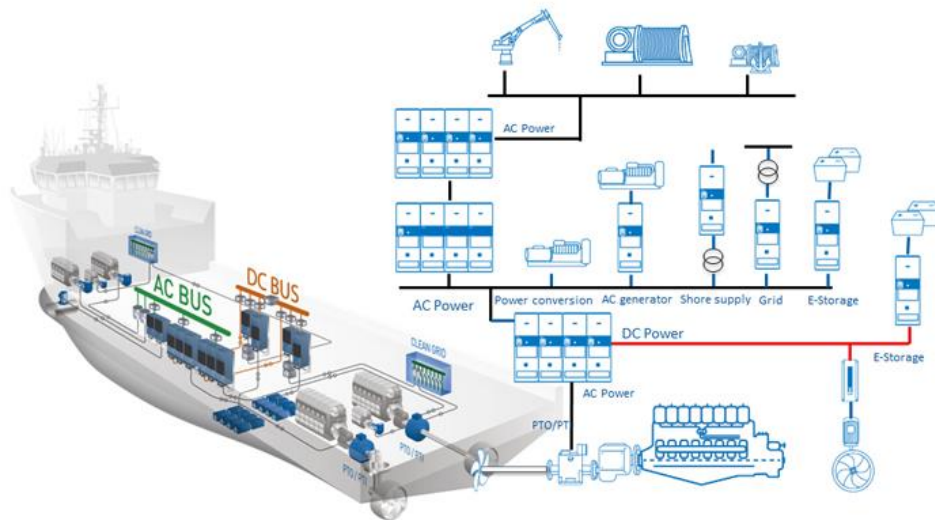


Fonte: <https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/ref/smac1c.html>

O sistema híbrido apresenta as seguintes vantagens:

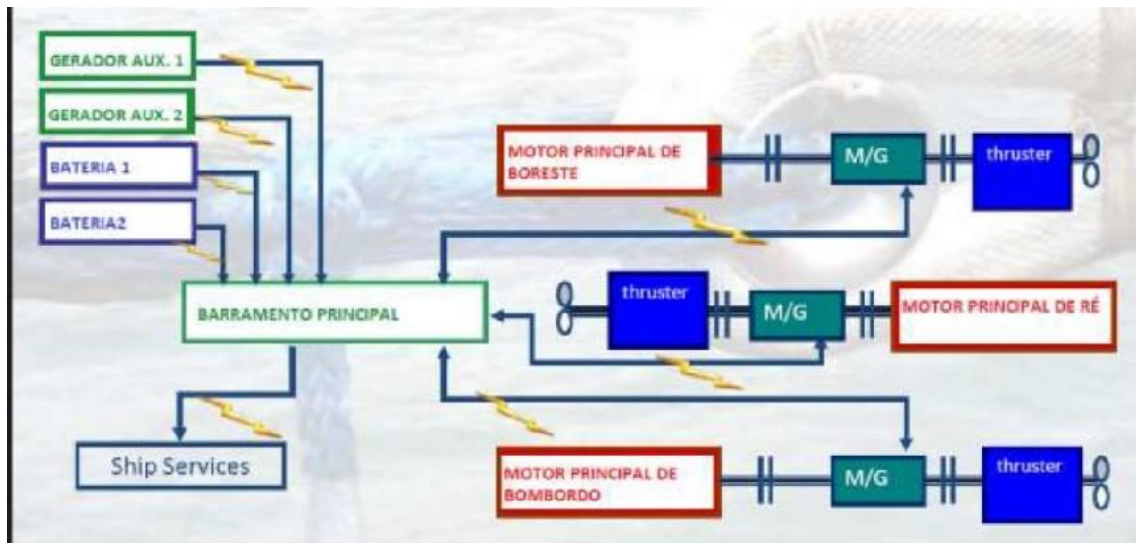
- Melhor desempenho da embarcação;
- Redução nas emissões de NO_x ;
- Custos operacionais mais baixos devido ao menor consumo de combustível;
- Custos de manutenção mais baixos relacionados com motores diesel;
- Níveis de ruído reduzidos;
- Melhorar a eficiência de longo prazo do sistema de fornecimento de energia.

Figura 7: Exemplificação do sistema híbrido



Fonte: <http://drives.danfoss.com.br/industries/marine-and-offshore/hybrid-propulsion-solutions/#/>

Figura 8: Equipamentos do sistema híbrido



Fonte: <http://www.nauticexpo.com/pt/prod/waertsilae-corporation/product-24872-352342.html>

3. Comparação entre os sistemas propulsivos

Atualmente, o sistema de propulsão mais comum encontrado nos navios que trabalham com serviços de apoio (*offshore*) ainda é o diesel-mecânico, também conhecido como convencional.

Um navio com adaptabilidade para os mais variados tipos de contrato é o fator principal para que o armador opte por uma configuração focada na tração estática, ao invés de um menor consumo de combustível.

A presente preocupação com a utilização de combustíveis menos danosos ao meio ambiente e, conseqüente diminuição na emissão de poluentes (gases estufa), além do aumento da eficiência energética para os navios deram início a mudanças nos novos projetos das embarcações, que a partir de agora passam a ter foco na economia do combustível.

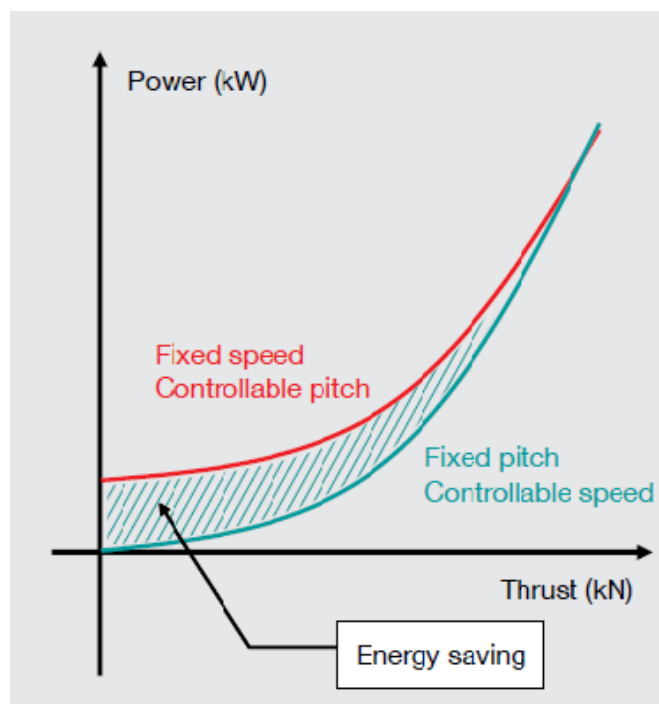
Através dos anos, a propulsão diesel-elétrica comprovou uma forte diminuição de consumo do combustível quando comparada a propulsão convencional utilizada nos navios de apoio. A economia por esse sistema atinge valores de 15-25 por cento em regimes normais de operação e até 40-50 por cento em situações de operação com posicionamento dinâmico.

Estes valores de economia do sistema diesel-elétrico são possíveis por conta de dois elementos fundamentais: primeiramente, deve-se a possibilidade de controle na velocidade dos propulsores, fato que diminui perdas nos hélices para um mínimo quando em comparação aos de velocidades fixas e passo controlável; e, em segundo lugar, a partida e parada automática dos motores diesel, o que permite que a carga do motor seja mantida próxima do ponto ideal, dentro do limite de operação.

O conceito tradicional dos navios *offshore* (o que inclui as embarcações PSV e AHTS) utiliza velocidades fixas com hélices de passo variável. Quando comparado com hélices de velocidade controlável se mostra um meio incompetente de controlar o hélice por conta das perdas em situações sem carga (*idle run*). Por si só isso já ajuda na economia da propulsão diesel-elétrica aplicada nas embarcações *offshore*. De mesmo modo, em situação de operação em DP, o uso da capacidade do propulsor é muito pequeno na maior parte do tempo de total de operação da embarcação, fator que pode gerar um desperdício de potência, já que o sistema diesel-mecânico não se encaixa ao perfil de serviço da embarcação.

A figura a seguir compara o gasto de energia quando o hélice está em passo fixo e em passo variável. A curva vermelha representa o hélice com passo controlável e velocidade fixa, caso do sistema diesel-mecânico e a curva azul o contrário, com passo fixo, caso sistema diesel-elétrico. Nota-se uma nítida economia de energia no sistema elétrico. Isso se explica, pois em passo zero as pás do hélice, no mecânico, apesar de palhetar no vazio, sem gerar empuxo, consomem de 15-20 por cento da potência total instalada para propulsão.

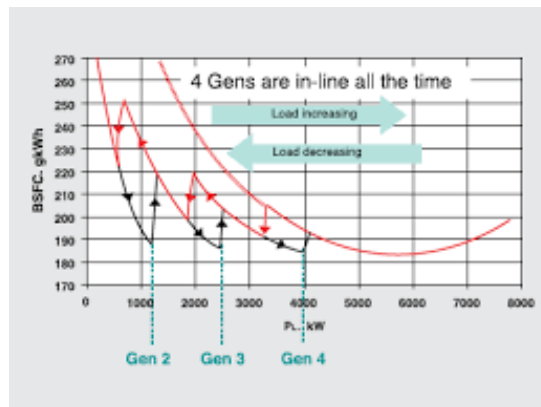
Figura 9: Comparação do gasto de energia



Fonte: <https://new.abb.com/marine/systems-and-solutions/electric-propulsion>

A propulsão diesel-elétrica apresenta o potencial para ponto de carga ótima dos motores diesel por meio do uso de um número menor de motores, em comparação ao uso de unidades maiores. Tendo a carga exigida como fator determinante, o acionamento automático dos motores diesel produz melhor carga e aumenta a economia de combustível através da diminuição do seu consumo, como está ilustrado no gráfico da figura abaixo:

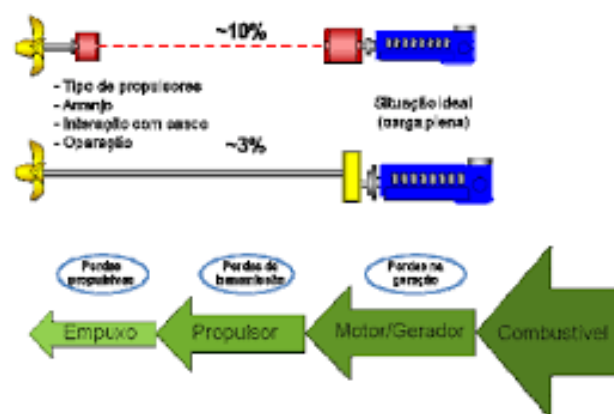
Figura 10: Gráfico do Consumo de combustível por KWh de energia produzida



Fonte: <https://new.abb.com/marine/systems-and-solutions/electric-propulsion>

Por outro lado, o aumento da economia de combustível é, de certa forma, prejudicado por conta das altas perdas de eficiência durante a transmissão da energia entre os motores diesel e os propulsores do sistema diesel-elétrico. Enquanto as perdas nas linhas de eixo e caixas redutoras do sistema convencional atingem um valor de 3 por cento, as perdas no sistema diesel-elétrico encontram-se na faixa de 8-10 por cento. A ilustração abaixo mostra de forma mais clara as perdas de cada um dos sistemas citados acima:

Figura 11: Perdas significativas durante o processo de transmissão de energia

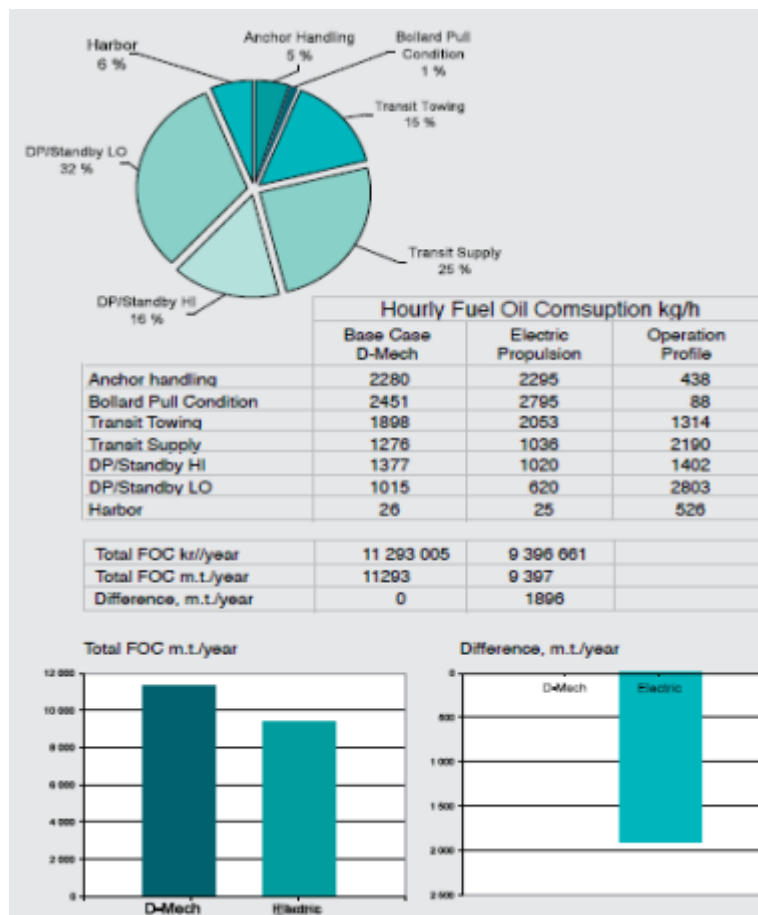


Fonte: Wartsila

Nota-se, a partir do que foi dito, que o perfil de operação do navio é de extrema importância na escolha do sistema propulsivo, visto que a potencial redução no consumo de combustível é maior em embarcações com perfil operacional, no qual boa parte do tempo é utilizado em DP, manobra ou espera, enquanto os benefícios são menos evidentes quando o modo de serviço é majoritariamente o deslocamento com alta velocidade de

serviço. A seguir conseguimos visualizar as relações acima mencionadas em embarcações AHTS.

Figura 12: Perfil operacional e comparação entre diesel-mecânico e elétrico



Fonte: <https://new.abb.com/marine/systems-and-solutions/electric-propulsion>

Deve-se levar em conta um outro ponto, em navios AHTS a potência máxima é determinada através do *Bollard Pull* requerido pela embarcação, onde na maioria das vezes se torna muito maior do que as potências requeridas em outras condições operacionais. Fazendo o estudo do caso mostrado, comparando à propulsão elétrica, mostra que em um AHTS de 200 toneladas de tração estática, o consumo de combustível é de 1,9 toneladas menor.

Ainda é visto na maioria dos AHTS a utilização do sistema convencional diesel-mecânico, embora haja um crescente interesse no uso da propulsão diesel-elétrica nesse tipo de embarcação tendo em vista o evidente potencial de economia de combustível. Um fator que pode contribuir para isso é o fato dos fretadores desse setor possuírem um foco maior no cumprimento da exigência de tração estática em detrimento do menor consumo

de combustível, até mesmo por exigências de contrato em relação a capacidade homologada pela autoridade marítima.

Uma solução para esse problema é a utilização da união dos dois sistemas, conhecido como sistema híbrido. Inicialmente, a solução híbrida ganha mais na eficiência energética nas operações de carga baixa, devido à utilização de propulsores de velocidade variável e ao motor diesel ideal para essas operações, e ao mesmo tempo reduz as perdas de transmissão relativas ao sistema elétrico, além de, em termos de custos de instalação, são mais econômicas do que os sistemas puramente elétricos. Por essas razões, novos projetos em navios AHTS tem sido baseado em tais soluções híbridas, especialmente aqueles com alta capacidade de tração estática (*Bollard Pull*).

A atualização do sistema de propulsão e conseqüentemente o aumento da sua complexidade mecânica, faz com que os sistemas híbridos exijam que as tripulações das embarcações sejam mais ativas para selecionar manualmente qual condição deve prevalecer o sistema, dando foco nos diferentes modos de trabalho buscando seu funcionamento ideal.

Com o sistema de propulsão elétrica pura, torna-se muito mais fácil a configuração de alimentação automática de um sistema voltado para a reduzir o consumo de combustível e minimizar as emissões de poluentes, especialmente o NO e o CO₂, tudo através de um sistema de gestão de potência.

Nota-se assim, que a atual adoção da propulsão diesel-elétrica em AHTS, usadas também em PSV's, reduziram expressivamente o consumo de combustível, custos operacionais e até mesmo a emissão de poluentes para a atmosfera.

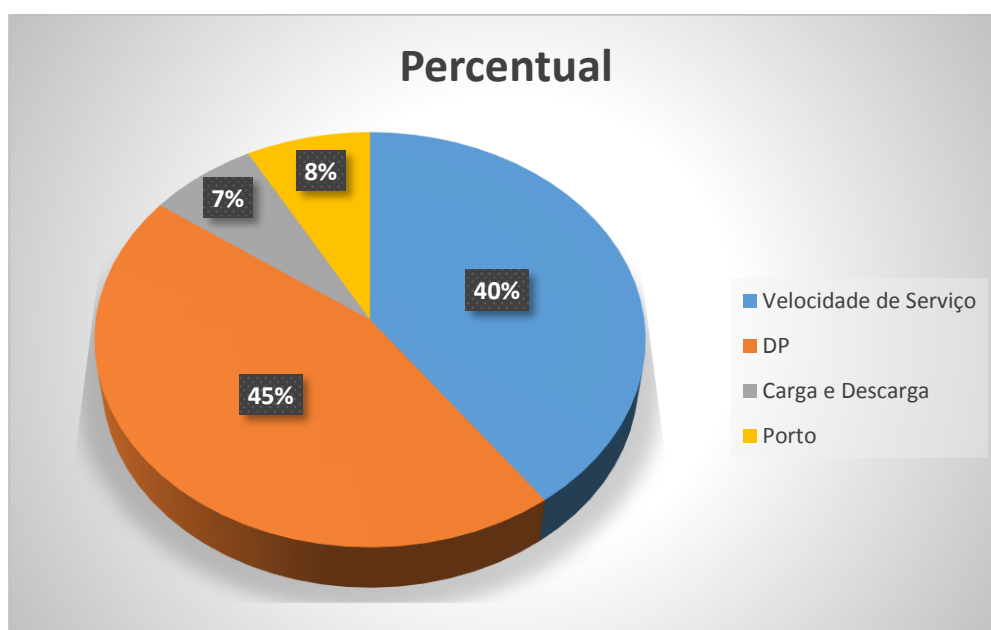
4.DADOS DE CONSUMO COMBUSTÍVEL

Os dados que serão apresentados a seguir são os valores calculados pelas equações próprias para o cálculo mais aproximado do consumo de combustível, dentro do conceito do custo baseado na atividade, utilizando uma base de dados oriunda informações obtidas junto a outras monografias. Os dados estão expostos de uma forma que retrata a sequência do desenvolvimento deste estudo e têm um caráter comprobatório das propostas colocadas.

O caráter é ter a dimensão dos valores calculados e o que cada parcela representa dentro do total calculado. Os resultados também possibilitam análises, avaliações e comparações dentre as alternativas da operação de escoamento.

4.1.Embarcação PSV

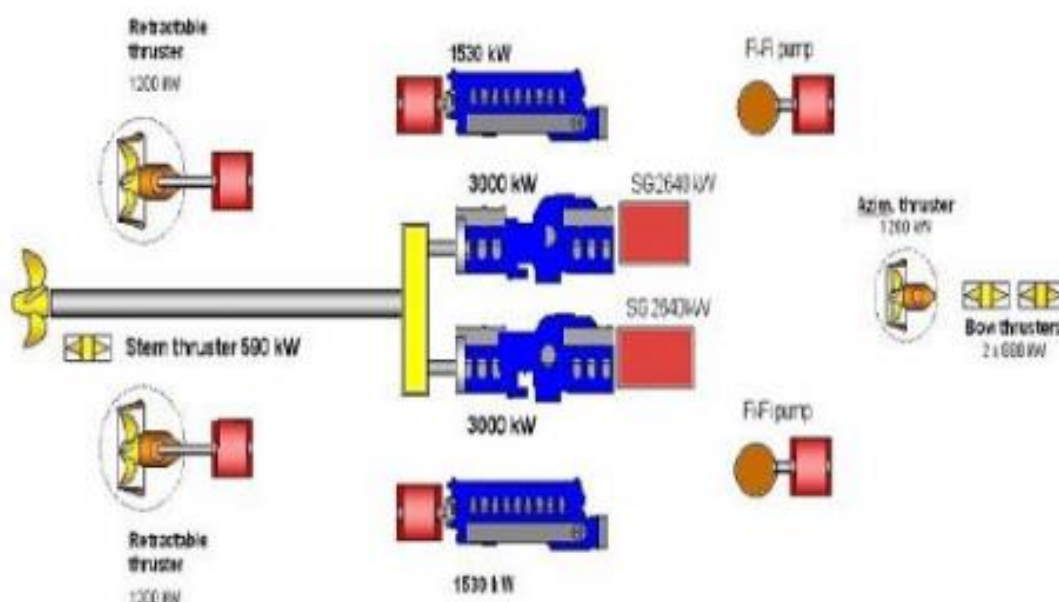
Em primeiro lugar para se iniciar os cálculos de consumo de combustível para os diferentes tipos de sistema propulsivo foi realizada a escolha de um perfil operacional típico para embarcação em questão atuando na Bacia de Campos. Como se trata de um navio PSV as atividades típicas bem como o tempo em cada uma podem ser observada no gráfico abaixo. Pode-se perceber que a embarcação em questão permanece 40% do tempo em viagem, 45% em posicionamento dinâmico, 7% em atividades de carga e descarga e 8% no porto.



4.1.1. Híbrido

O sistema híbrido é composto por uma única linha de eixo com propulsor de passo controlado, essa linha é acoplada a uma caixa redutora que possui dois geradores de eixo e dois motores principais (MCP) ligados a ela. Contando ainda com a presença de geradores auxiliares (MCA) necessários para suprir a demanda elétrica de toda a embarcação. A figura abaixo pode representar em imagens essa configuração típica em PSV's.

Figura 13: Arranjo do sistema híbrido em PSV



Fonte: <http://www.grupocho.com.br/oceana-estaleiro/>

O navio usado de exemplo possui as mesmas dimensões:

- LOA- 88 metros
- LPP- 79 metros
- Boca- 21,5 metros

Possuindo assim uma resistência ao avanço de 133,5 KN.

A partir daí escolheremos qual o meio de propulsão que virá a ser usado na embarcação e assim escolhemos o motor necessário, que atenda o empuxo requerido em condição de viagem.

A tabela abaixo mostra os propulsores estudados para a embarcação em questão:

Dados de Entrada			
Comp. Linha d'Água (Lwl)	=	81,890	m
Velocidade Serviço (Vs)	=	12,000	nós
Coef. Esteira (w)	=	0,159	--
Coef. Red. Força Prop. (t)	=	0,165	--
Ef. Rot. Relativa (η_{rr})	=	0,984	--
Ef. Eixo (η_s)	=	0,930	--
Resistência Total (Rt)	=	133,51	kN
Calado de Projeto (T)	=	7,0	m
Número de Propulsores (NProp)	=	2	--
Dens. Água do Mar (ρ)	=	1025	kg/m ³
Velocidade Avanço (Va)	=	5,193	m/s
Empuxo Requerido (Treq)	=	159,949	kN
Pot. Efetiva (EHP)	=	1602,074	HP
Pot. Empuxo (THP)	=	1614,530	HP
Ef. Casco (η_h)	=	0,992	--

Condição de Velocidade de Serviço														
N. Propulsor	Diâmetro Máximo [m]	Número de Pás	Razão de Área	Rotação [rpm]	J	Passo / Diâmetro	Kt	Kq	Ef. Águas Abertas (η_D)	Emp. Disp. (T _{0w})	Teste Treq	η_B	DHP	BHP
1	4,20	3-19A	0,65	150	0,49	1,0	0,25	0,033	0,60	498,36	OK	0,59	2752,92	2960,13
2	4,20	3-19A	0,65	162,5	0,46	1,0	0,28	0,035	0,58	655,06	OK	0,57	2824,18	3036,75
3	4,20	3-19A	0,65	175	0,42	0,8	0,16	0,020	0,54	434,12	OK	0,53	3041,42	3270,34
4	4,20	3-19A	0,65	187,5	0,40	0,8	0,15	0,021	0,45	467,21	OK	0,44	3649,70	3924,41
5	4,20	3-19A	0,65	200	0,37	0,8	0,20	0,023	0,51	708,78	OK	0,50	3197,84	3438,53
6	4,20	4-19A	0,55	150	0,49	1,0	0,25	0,035	0,56	498,36	OK	0,55	2919,76	3139,53
7	4,20	4-19A	0,55	162,5	0,46	0,8	0,16	0,021	0,55	374,32	OK	0,54	2965,38	3188,58
8	4,20	4-19A	0,55	175	0,42	0,8	0,17	0,022	0,52	461,26	OK	0,51	3148,76	3385,77
9	4,20	4-19A	0,55	187,5	0,40	0,8	0,18	0,022	0,52	560,65	OK	0,51	3186,25	3426,07
10	4,20	4-19A	0,55	200	0,37	0,8	0,20	0,024	0,49	708,78	OK	0,48	3336,87	3588,03
11	4,20	4-19A	0,70	150	0,49	1,0	0,21	0,030	0,55	418,62	OK	0,54	2979,35	3203,60
12	4,20	4-19A	0,70	162,5	0,46	1,0	0,24	0,033	0,53	561,48	OK	0,52	3106,59	3340,42
13	4,20	4-19A	0,70	175	0,42	1,0	0,25	0,035	0,48	678,32	OK	0,47	3406,39	3662,78
14	4,20	4-19A	0,70	187,5	0,40	1,0	0,26	0,036	0,45	809,83	OK	0,45	3609,60	3881,29
15	4,20	4-19A	0,70	200	0,37	0,8	0,18	0,021	0,51	637,90	OK	0,50	3244,18	3488,37
16	4,20	4-22	0,70	150	0,49	1,0	0,22	0,033	0,52	438,55	OK	0,52	3128,32	3363,78
17	4,20	4-22	0,70	162,5	0,46	1,0	0,25	0,035	0,52	584,88	OK	0,51	3163,08	3401,16
18	4,20	4-22	0,70	175	0,42	1,0	0,27	0,036	0,51	732,59	OK	0,50	3244,18	3488,37
19	4,20	4-22	0,70	187,5	0,40	1,0	0,29	0,037	0,49	903,27	OK	0,49	3326,08	3576,43
20	4,20	4-22	0,70	200	0,37	0,8	0,20	0,022	0,54	708,78	OK	0,53	3058,80	3289,03
21	4,20	4-24A	0,70	150	0,49	1,2	0,35	0,051	0,54	697,70	OK	0,53	3038,94	3267,67
22	4,20	4-24A	0,70	162,5	0,46	1,0	0,25	0,035	0,52	584,88	OK	0,51	3163,08	3401,16
23	4,20	4-24A	0,70	175	0,42	1,0	0,26	0,036	0,49	705,45	OK	0,48	3368,96	3622,53
24	4,20	4-24A	0,70	187,5	0,40	1,0	0,28	0,037	0,48	872,13	OK	0,47	3444,87	3704,16
25	4,20	4-24A	0,70	200	0,37	0,8	0,18	0,022	0,48	637,90	OK	0,48	3398,67	3654,48
26	4,20	4-37A	0,70	150	0,49	1,2	0,20	0,040	0,39	398,69	OK	0,39	4171,09	4485,04
27	4,20	4-37A	0,70	162,5	0,46	1,2	0,22	0,042	0,38	514,69	OK	0,37	4313,29	4637,94
28	4,20	4-37A	0,70	175	0,42	1,2	0,25	0,045	0,37	678,32	OK	0,37	4379,64	4709,29
29	4,20	4-37A	0,70	187,5	0,40	1,0	0,15	0,026	0,36	467,21	OK	0,36	4518,68	4858,80
30	4,20	4-37A	0,70	200	0,37	1,0	0,18	0,028	0,38	637,90	OK	0,37	4325,57	4651,16
31	4,20	5-19A	0,75	150	0,49	1,0	0,25	0,036	0,55	498,36	OK	0,54	3003,18	3229,23
32	4,20	5-19A	0,75	162,5	0,46	1,0	0,28	0,038	0,54	655,06	OK	0,53	3066,25	3297,04
33	4,20	5-19A	0,75	175	0,42	1,0	0,31	0,040	0,52	841,12	OK	0,51	3139,53	3375,84
34	4,20	5-19A	0,75	187,5	0,40	1,0	0,32	0,042	0,48	996,72	OK	0,47	3421,60	3679,14
35	4,20	5-19A	0,75	200	0,37	0,8	0,20	0,025	0,47	708,78	OK	0,46	3475,91	3737,54
36	4,20	5-33	1,00	150	0,49	1,0	0,37	0,058	0,50	737,57	OK	0,49	3269,23	3515,30
37	4,20	5-33	1,00	162,5	0,46	1,0	0,38	0,059	0,47	889,01	OK	0,46	3507,92	3771,96
38	4,20	5-33	1,00	175	0,42	1,0	0,39	0,060	0,44	1058,18	OK	0,43	3743,29	4025,04
39	4,20	5-33	1,00	187,5	0,40	1,0	0,40	0,061	0,41	1245,89	OK	0,41	3975,57	4274,81
40	4,20	5-33	1,00	200	0,37	1,0	0,41	0,062	0,39	1452,99	OK	0,38	4205,00	4521,51

Fonte: SOUZA, FELIPE A. COELHO. Avaliação de Sistemas Diesel Elétrico, Mecânico e Híbrido para Embarcações de apoio de plataformas.

Após a análise da tabela, concluiu-se que o propulsor que atingiu maior eficiência em águas abertas e menor potência entregue foi de número 1.

O propulsor em análise possui as seguintes características:

- Diâmetro Máximo - $D_{máx} = 4,2m$
- Número de Pás = 3
- Razão de Área = 0,65
- Rotação- $N = 150 \text{ rpm}$
- Razão Passo/Diâmetro (P/D) = 1,0
- Potência Produzida pelo Motor – **BHP=2960,13 HP**

Para calcular a porcentagem de potência necessária em cada equipamento para as suas respectivas atividades, devemos conhecer a configuração do sistema híbrido em cada operação.

- **Velocidade de Serviço (Diesel Mecânico):**

- Os 2 Motores Principais ligados;
- Os 2 Geradores de Eixo ligados;
- Os 2 Geradores Auxiliares desligados.

- **Posicionamento Dinâmico (DP) (Diesel Elétrico):**

- Os 2 Motores Principais desligados;
- Os 2 Geradores de Eixo ligados;
- Os 2 Geradores Auxiliares ligados.

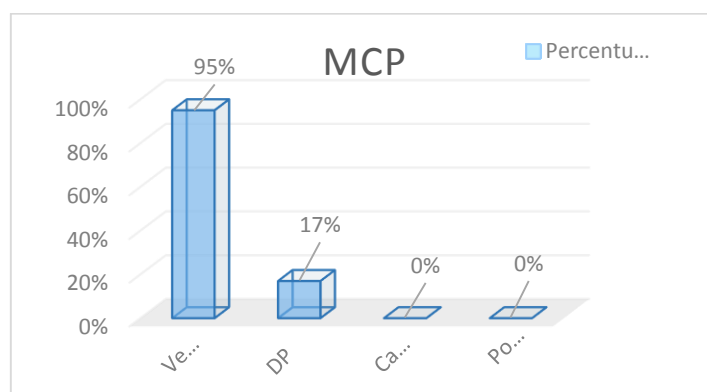
- **Carga e Descarga:**

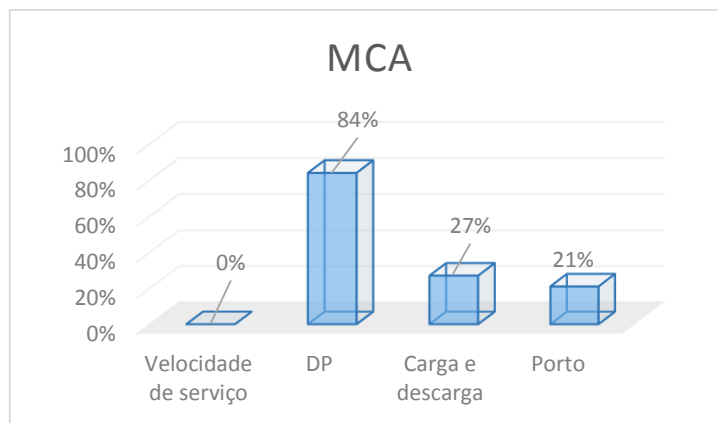
- Apenas um Gerador Auxiliar ligado.

- **Porto:**

- Apenas um Gerador Auxiliar ligado.

Definida a configuração em cada operação temos as seguintes potências em cada equipamento:





Observando todos os dados encontrados, é possível calcular o custo médio diário de combustível e também o custo operacional diário da embarcação tratada. O cálculo de consumo em cada operação foi feito considerando o tempo que a embarcação fica naquela atividade específica, assim como a porcentagem de potência requerida de cada equipamento para cada operação. O cálculo foi executado com auxílio da ferramenta Excel e pode ser visualizado na tabela abaixo:

	MCP	MCA	% Tempo	Consumo em Cada Perfil (g/h)
Velocidade de Serviço	95%	0%	40%	466.058,83
DP	17%	84%	45%	330.275,09
DP (Passo Zero)	12%	0%	45%	65.229,71
Carga e Descarga	0%	27%	7%	11.689,74
Porto	0%	21%	8%	10.586,32

Com os devidos cálculos feitos através de fórmulas, chega-se à conclusão de que o consumo médio diário de combustível é de 19.140,13 US\$.

4.1.2. Diesel-mecânico

Como observado no decorrer dos nossos estudos, foi comprovado que o sistema diesel mecânico não se utiliza de motores elétricos em sua composição, diferentemente do sistema propulsivo híbrido. Sendo assim, ele é composto por dois motores principais diesel (MCP) cada um com uma caixa redutora e uma linha de eixo ligando ao propulsor de passo controlado. Ainda sendo utilizados dois geradores de eixo e dois geradores auxiliares (MCA) para comportar a demanda elétrica da embarcação.

Utilizaremos nos cálculos o mesmo tipo de navio com o mesmo perfil operacional e mesmas dimensões principais do caso estudado anteriormente. Possuindo assim as mesmas características do nosso PSV estudado, diferenciando unicamente o seu sistema de propulsão.

Sendo assim, devemos selecionar os equipamentos do sistema de propulsão mecânico, avaliando a embarcação nas atividades críticas em seu perfil operacional, antes mesmo de escolher:

- **Condição de velocidade de serviço:**

Potência requerida em velocidade de serviço: **5331KW**

Demanda elétrica requerida (balanço elétrico): **1129,4KW**

- **Condição de posicionamento dinâmico (DP):**

Demanda elétrica requerida (balanço elétrico): **3995,43KW**

Como os geradores de eixo auxiliam na demanda elétrica nessa atividade temos assim, a potência dos geradores de eixo = **2000KW**

Após selecionar todos os equipamentos a ser utilizado, deve ser feito o cálculo da porcentagem da potência necessária em cada equipamento para determinada atividade. Para isso saberemos a configuração do nosso sistema diesel mecânico em cada operação.

- **Velocidade de serviço:**

- Os 2 motores principais ligados;
- Os 2 geradores de eixo ligados;
- Os 2 geradores auxiliares desligados.

- **Posicionamento dinâmico (DP):**

- Os 2 motores principais ligados a baixa carga;
- Os 2 geradores de eixo ligados;
- Os 2 geradores auxiliares ligados.

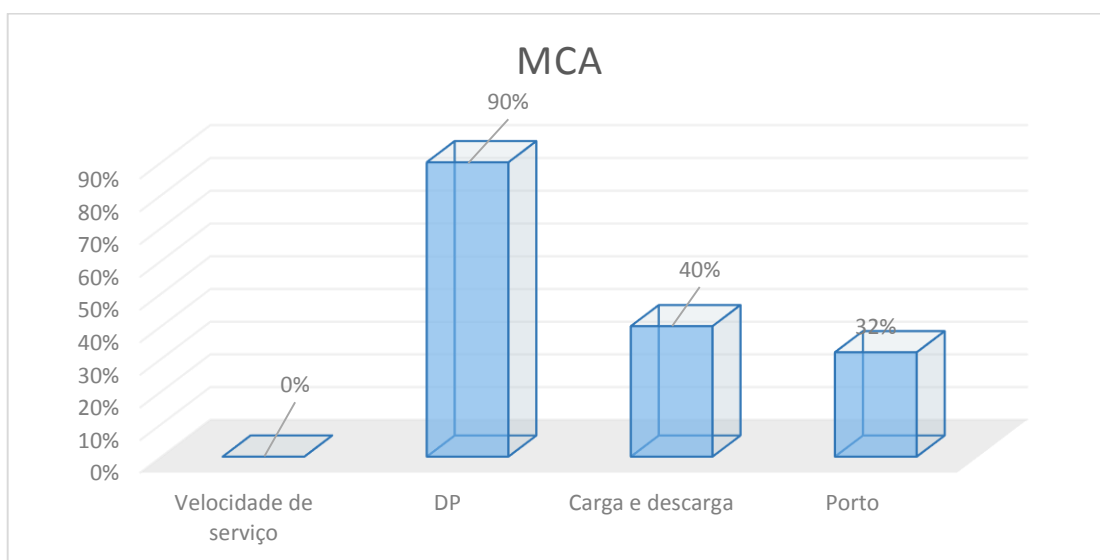
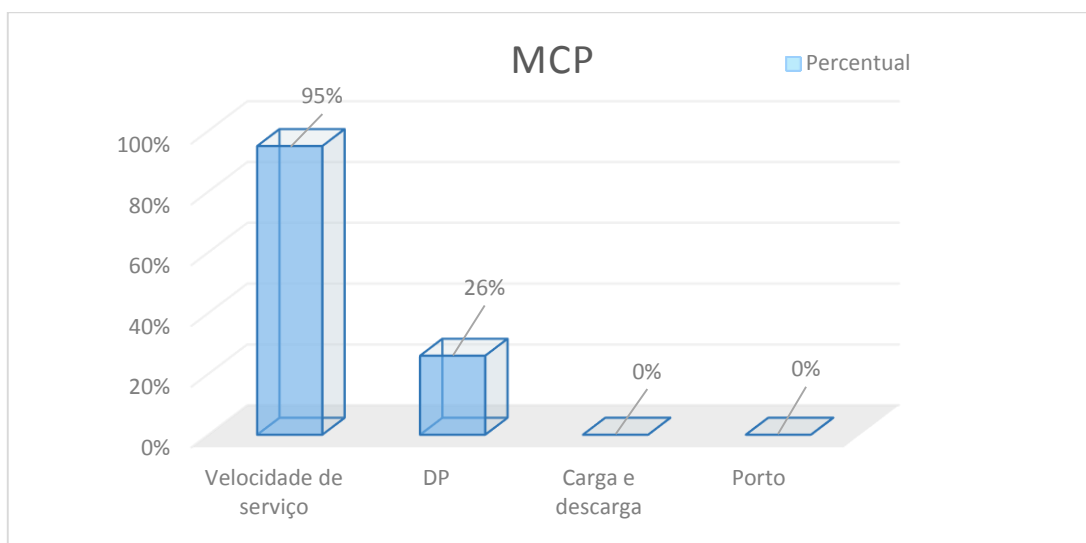
- **Carga e descarga:**

- Apenas um gerador auxiliar ligado.

- **Porto:**

- Apenas um gerador auxiliar ligado.

Definido a configuração em cada operação temos as seguintes potências em cada equipamento:



Cálculo do consumo médio diário de combustível:

	MCP	MCA	% Tempo	Consumo em Cada Perfil (g/h)
Velocidade de Serviço	95%	0%	40%	534.386
DP	26%	90%	45%	334.235,09
DP (Passo Zero)	10%	0%	45%	65.229,71
Carga e Descarga	0%	40%	7%	11.689,74
Porto	0%	32%	8%	10.586,32

Com os devidos cálculos feitos através de fórmulas, chega-se à conclusão de que o consumo médio diário de combustível é de 20.705,57 US\$.

4.1.3. Diesel-elétrico

O sistema diesel-elétrico é composto por geradores auxiliares (MCA), que através de cabos elétricos de transmissão acionam os motores elétricos dos propulsores que normalmente são do tipo azimutal. Diferentemente do sistema de propulsão híbrida e do sistema diesel mecânico, constatou-se que o sistema de propulsão diesel elétrico não possui os motores principais diesel com linhas de eixo e geradores de eixo em sua composição.

Utilizaremos nos cálculos o mesmo tipo de navio com o mesmo perfil operacional e mesmas dimensões principais do caso estudado nos dois exemplos anteriores. Possuindo assim as mesmas características do nosso PSV estudado, diferenciando unicamente o seu sistema de propulsão, agora o diesel-elétrico.

Desde modo, para selecionar os equipamentos necessários nesse novo sistema utilizaremos da avaliação da embarcação nas atividades críticas em seu perfil operacional:

- **Condição de Velocidade de Serviço:**

Potência Requerida em Velocidade de Serviço: **5331KW**

Demanda Elétrica Requerida (Balanço Elétrico): **1129,4KW**

Constatando essa potência total requerida na condição de velocidade de serviço determinada, podemos selecionar os geradores auxiliares, que utilizaremos quando a embarcação estiver em viagem. Tendo em vista a demanda elétrica requerida pelo sistema da embarcação em outras atividades, optamos por dois grupos de geradores.

Após selecionar os equipamentos, podemos fazer o cálculo da porcentagem da potência necessária em cada equipamento para seu determinado serviço. Para isso devemos saber a configuração do sistema Diesel Elétrico em cada operação. Conhecendo assim, a configuração do sistema diesel-elétrico de cada operação.

- **Velocidade de Serviço:**

- Os 2 Geradores Auxiliares 1 ligado;
- Os 2 Geradores Auxiliares 2 ligados com 100% da carga;

- **Posicionamento Dinâmico (DP):**

- Os 2 Geradores Auxiliares 1 desligado;
- Os 2 Geradores Auxiliares 2 ligados.

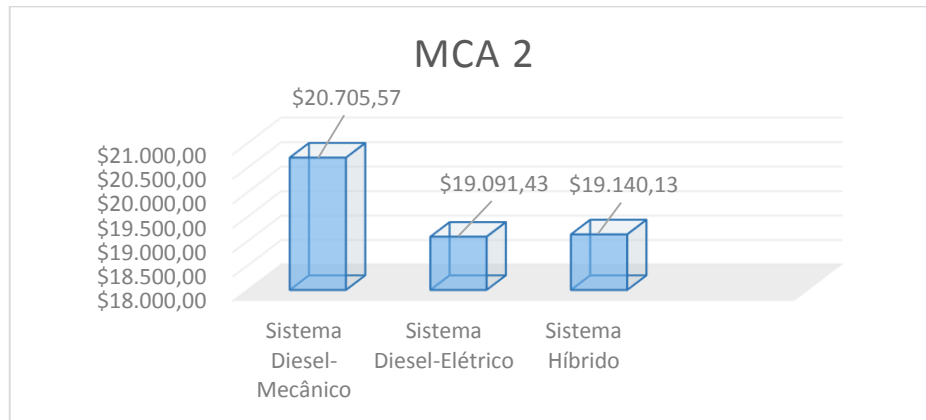
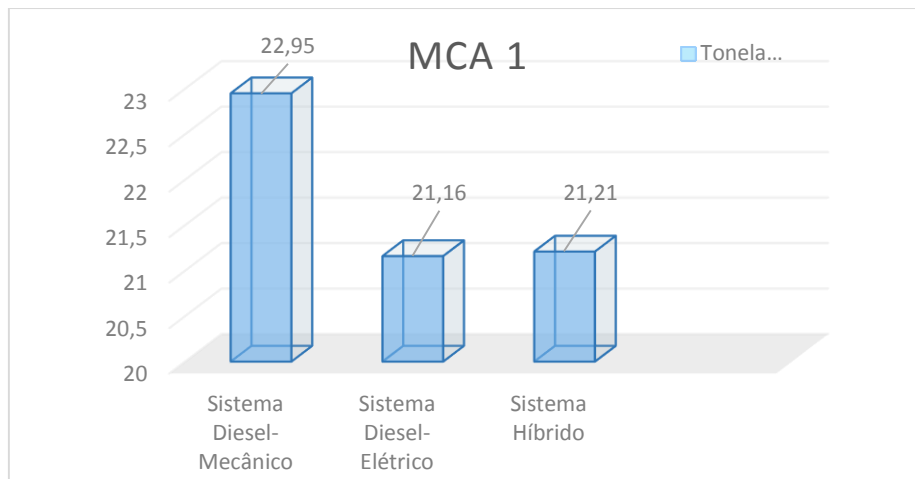
- **Carga e Descarga:**

- Apenas um Gerador Auxiliar 1 ligado.

- **Porto:**

- Apenas um Gerador Auxiliar 1 ligado.

Depois de definido sua configuração de cada operação, temos as seguintes potências em cada equipamento:



Cálculo do Consumo Médio Diário de Combustível:

	MCA 1	MCA 2	% Tempo	Consumo em Cada Perfil (g/h)
Velocidade de Serviço	81%	100%	40%	523.099,54
DP	0%	77%	45%	336.215,09
Carga e Descarga	40%	0%	7%	11.689,74
Porto	32%	0%	8%	10.586,32

Com os devidos cálculos feitos através de fórmulas, chega-se à conclusão de que o consumo médio diário de combustível é de 19.091,43 US\$.

5. RESULTADOS

Obtivemos os seguintes resultados relatados a baixo na tabela com o nosso estudo referente ao consumo médio diário de combustível e ao seu custo médio diário em nosso navio PSV, relatados para os sistemas de propulsão diesel-mecânico, diesel-elétrico e o híbrido.

Embarcação PSV		
	Consumo Médio Diário (ton)	Custo Médio Diário de Combustível (US\$)
Sistema Diesel-Mecânico	22,95	\$20.705,57
Sistema Diesel-Elétrico	21,16	\$19.091,43
Sistema Híbrido	21,21	\$19.140,13

Levando em conta o perfil operacional da nossa embarcação, as perdas relativas às transmissões de cada configuração e suas potências requeridas, obtivemos os resultados acima demonstrados.

Quando se estuda o perfil de gastos e custos de algum sistema de operação, é de melhor valia quantificar seus resultados focando em um consumo ao longo de um determinado prazo, utilizaremos o prazo de um ano de operação das embarcações e os resultados desse estudo demonstraremos na tabela abaixo:

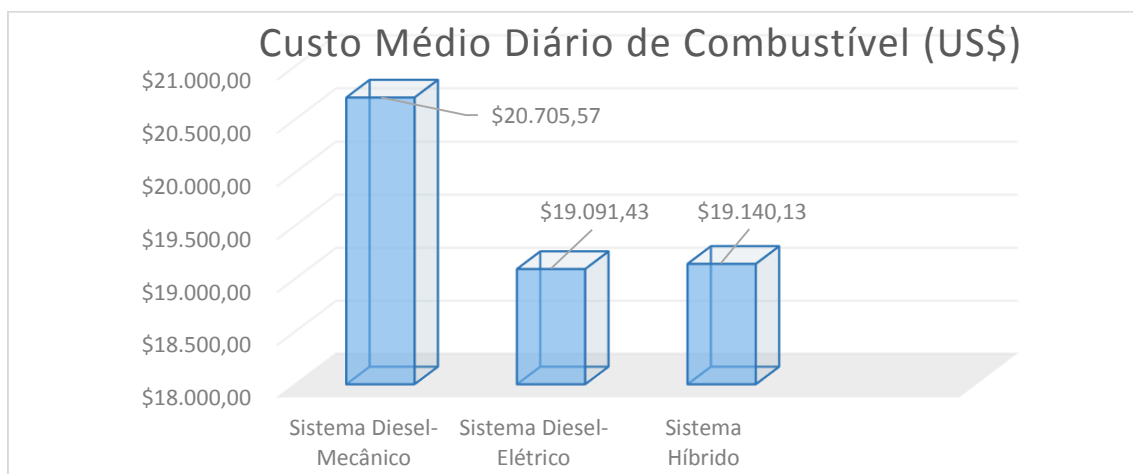
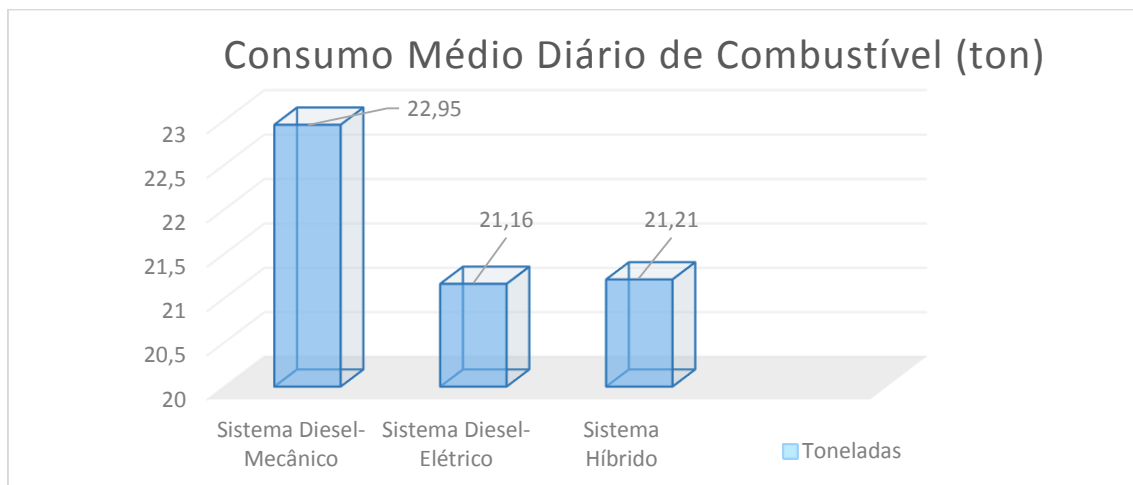
Embarcação PSV	
	Custo com Combustível em um Ano (US\$)
Sistema Diesel-Mecânico	\$7.557.533,05
Sistema Diesel-Elétrico	\$6.968.371,95
Sistema Híbrido	\$6.986.147,45

6.COMPARAÇÕES

A partir dos resultados obtidos em nossa pesquisa sobre o consumo de combustível do navio PSV, conclui-se que o sistema de propulsão com o menor consumo e custo de combustível foi o sistema diesel-elétrico, apesar de não poder ser generalizado por haver muitos tipos de navios, vamos levar em conta apenas para a sua categoria e sua condição de serviço exercida.

Verificou-se, apesar de não muito grande, a diferença do consumo em toneladas do sistema diesel-elétrico em relação ao sistema híbrido foi menos de 1% e, para uma melhor comprovação, essa diferença em relação ao sistema diesel-mecânico foi de 8%. A explicação para essa diferença vem do perfil operacional da embarcação, visto que é um tipo de embarcação encarregada de levar suprimentos a plataforma, resultando em uma necessidade de utilizar, em grande parte do seu tempo, o posicionamento dinâmico, precisando assim de um sistema de propulsão mais maleável em sua configuração.

Abaixo será ilustrado através de gráficos a comparação desta embarcação referente ao consumo e ao custo médio de combustível:



7.CONCLUSÃO

Este trabalho tornou possível notar a grande influência, quantitativa e qualitativa da melhor escolha de um sistema de propulsão em embarcações que atuam na área de apoio marítimo (no caso deste projeto, os PSV's).

A partir do trabalho em questão foi possível compreender a relevância do sistema de propulsão no custo de operação de um navio. Assim como notou-se que para uma mesma embarcação, com mesmas dimensões e perfil operacional equivalentes, o gasto com o combustível pode ser muito diferente, sofrendo variação conforme a potência empregada por seus equipamentos em cada atividade do navio e, também, com a configuração do sistema de propulsão.

Realizando uma comparação entre os tipos de propulsão citados neste trabalho (diesel-mecânico, diesel-elétrico e híbrido), percebe-se que em navios que operam na maior parte do tempo em situação de posicionamento dinâmico o melhor sistema de propulsão é o diesel-elétrico, porque nessa configuração o propulsor possui passo fixo não havendo, por consequência, consumo de combustível enquanto o hélice encontra-se em passo-zero, ou seja, sem gerar empuxo.

Portanto conclui-se que um estudo preliminar de escolha de sistema propulsivo levando-se em consideração o objetivo da embarcação, área de atuação e perfil de operacional se mostra de grande utilidade na diminuição de custos operacionais, tornando-a mais lucrativa e competitiva frente ao mercado de afretamento.

8.REFERÊNCIAS

- 1 – Generations ABB. Parallel hybrid propulsion for AHTS. [S.l.], 2012.
- 2 – BARCELLOS, R. O sistema híbrido de propulsão como uma alternativa viável aos sistemas diesel-elétrico e diesel-mecânico. [S.l.]: 24º Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore, 2012.
- 3 – SOUZA, FELIPE A. COELHO. **Avaliação de Sistemas Diesel Elétrico, Mecânico e Híbrido para Embarcações de apoio de plataformas.** TCC (Graduação em Engenharia Naval) – Escola Politécnica – Engenharia Naval e Oceânica – Universidade Federal do Rio de Janeiro – 2013
- 4 – <http://tecnologiamaritima.blogspot.com.br/2012/07/posicionamento-dinamico-parte-4.html>
- 5 – <http://www.gereportsbrasil.com.br/post/95917247504/navios-movidos-a-eletricidade>
- 6 – BERTRAM, H. S. A. V. Ship Design for Efficiency and Economy. 2nd. ed. [S.l.]: Butterworth-Heinemann, 1998.
- 7 – WARTSILA. Marine Products. Disponível em: <http://www.wartsila.com/en/marine-solutions/products/products>.