

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

**LEONÍSIO RODRIGUES DO NASCIMENTO**

**MODERNOS SISTEMAS DE PROPULSÃO**

**RIO DE JANEIRO**

**2014**

**LEONÍSIO RODRIGUES DO NASCIMENTO**

**MODERNOS SISTEMAS DE PROPULSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso 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: OSM Roberto Moreira Leal

**RIO DE JANEIRO**

**2014**

**LEONÍSIO RODRIGUES DO NASCIMENTO****MODERNOS SISTEMAS DE PROPULSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso 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.

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

Orientador: OSM Roberto Moreira Leal

---

Assinatura do Orientador

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

Aos meus pais, Luzineide e Dionísio

As minhas irmãs Liliane e Lidiane

Ao meu Orientador

E a todos que me apoiaram nesse trabalho

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais pela paciência e confiança nesses últimos anos, e as minhas irmãs Liliane e Lidiane pelo apoio e carinho quando mais precisava e a todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para minha formação.

*"Cada sonho que você deixa para trás é um pedaço do seu futuro que deixa de existir"*  
*(Steve Jobs)*

## RESUMO

Esse trabalho tem como objetivo principal mostrar ao leitor conhecimentos referentes aos modernos sistemas de propulsão, tais como: seu desenvolvimento e suas aplicações em embarcações.

Ao decorrer dessa monografia, pretende-se demonstrar a utilização de propulsão mais eficiente, o seu desenvolvimento, suas vantagens e desvantagens.

Citaremos também os melhores sistemas de propulsão existente, tais como: Voith Schneider e o Sistema AZIPOD, exemplificaremos a importância do hélice de passo variável da Schottel, buscando demonstrar a importância da evolução do sistema de propulsão para a marinha mercante.

**Palavras-chave:** Propulsão Voith Schneider, Eficiência, AZIPOD®, Schottel.

## ABSTRACT

**This work aims to show the reader knowledge concerning modern propulsion systems, such as: its development and its applications in boats.**

**The course of this monograph is intended to demonstrate the use of more efficient propulsion, its development, its advantages and disadvantages.**

**Will also be quoted the best existing propulsion systems, such as: Voith Schneider and the Azipod system, will be exemplified the importance of the variable pitch propeller Schottel, seeking to demonstrate the importance of the evolution of the propulsion system for the merchant navy.**

**Keywords:** Voith Schneider Propulsion, Efficiency, AZIPOD®, Schottel.



**LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

<b>Figura 1</b>	<b>Sala de controle de um navio a propulsão elétrica</b>	<b>14</b>
<b>Figura 2</b>	<b>Sistema de Pods</b>	<b>19</b>
<b>Figura 3</b>	<b>Propulsão AZIPOD dupla</b>	<b>20</b>
<b>Figura 4</b>	<b>Propulsão CRP AZIPOD.</b>	<b>21</b>
<b>Figura 5</b>	<b>Comparativos de energia requeridos por diversos sistemas de propulsão</b>	<b>22</b>
<b>Figura 6</b>	<b>Comparativo de consumo de óleo combustível do sistema AZIPOD e de um sistema convencional</b>	<b>23</b>
<b>Figura 7</b>	<b>Navio com propulsão Voith Schneider</b>	<b>24</b>
<b>Figura 8</b>	<b>Sistema de forças do Voith Schneider Propeller</b>	<b>26</b>
<b>Figura 9</b>	<b>Componentes do Voith Scheneider Propelle</b>	<b>26</b>
<b>Figura 10</b>	<b>Hélice de passo variável da Schottel</b>	<b>29</b>
<b>Figura 11</b>	<b>Campo de operação de um propulsor de passo controlável</b>	<b>30</b>
<b>Figura 12</b>	<b>Propulsor com dupla hélice</b>	<b>31</b>
<b>Figura 13</b>	<b>Propulsor transversal</b>	<b>32</b>
<b>Figura 14</b>	<b>Propulsor com jato de água</b>	<b>33</b>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>2 PROPULSÃO ELÉTRICA</b>	<b>12</b>
2.1 Desenvolvimento da Propulsão Elétrica	12
2.2 Propulsão A Corrente Contínua	13
2.3 Propulsão A Corrente Alternada	14
2.4 Tipos de Partida nos Motores Elétricos	15
2.5 Vantagens da Propulsão Elétrica	17
2.6 Desvantagens da Propulsão Elétrica	17
<b>3 AZIPOD</b>	<b>18</b>
3.1 Aplicação	19
3.2 Vantagens do Sistema	21
3.3 desvantagens do Sistema	22
<b>4 SISTEMA DE PROPULSÃO VOITH SCHNEIDER</b>	<b>23</b>
4.1 Vantagens do Sistema	26
4.2 Desvantagem do Sistema	26
4.3 Sobrecarga na Máquina	26
4.4 Comparação Entre os Sistemas VOITH SCHNEIDER e AZIMUTAL	27
<b>5 HÉLICE DE PASSO CONTROLÁVEL</b>	<b>28</b>
5.1 Propulsor com Duplo Hélice	30
5.2 Propulsor Transversal	31
5.3 Propulsor com Jato de Água	32
<b>6 CONCLUSÃO</b>	<b>35</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>36</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Propulsão é o processo de alterar o estado de movimento ou de repouso de um corpo em relação a um dado sistema de referência. Este processo pode ser realizado por vários meios, usando-se fontes de energia diversas. Os meios de propulsão são utilizados para mover aviões, veículos espaciais, automóveis, trens, navios, submarinos, etc.

Ao longo da história da humanidade o mar é importante fonte de economia, para o comércio, pesca e transporte. Hoje com os navios modernos, a evolução se faz clara na comercialização entre países, onde o produto negociado passa de mão em mão de maneira altamente eficaz tanto na questão prazo, quanto na precisão de entrega, contudo as modernizações das embarcações e de seus sistemas de propulsão sempre foi um fator primordial para o desenvolvimento desse tipo de transporte.

O remo seguido da vela foram os primeiros tipos de propulsão usados em embarcações. A vela permitiu que os navegantes se afastassem da costa e também a construção de embarcações maiores com propulsão mista de vela e remo, sendo assim o principal sistema usado até o século XIX, quando veio o surgimento do motor a vapor, novamente uma solução híbrida com vela e turbina a vapor com roda lateral. Devido a limitações desse sistema foi criado o hélice.

Com o desenvolvimento do motor a diesel, este substituiu o motor a vapor, pois os motores de combustão interna possuem maior rendimento, no entanto atualmente o motor a diesel dividiu seu espaço com o mercado de propulsão de embarcações com motores elétricos.

A seguir apresentaremos os mais modernos sistemas de propulsão de navios mercantes e os mais usuais.

## **2 PROPULSÃO ELÉTRICA**

### **2.1 Desenvolvimento da propulsão elétrica**

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.

Instalações elétricas estão presentes em todos os navios independente do seu propósito, experiências com aplicação de baterias suprimindo um sistema de propulsão elétrica foram feitas na Rússia e Alemanha. Nesse sistema, havia geradores que alimentam e variavam a velocidade dos motores elétricos através da sua variação de frequência. Com a introdução dos motores a diesel de alta eficiência e economia em meados do século XX, a propulsão elétrica e as turbinas a vapor foram desaparecendo dos navios mercantes até a década de 80.

Com o desenvolvimento dos inversores de frequência o sistema de propulsão elétrica novamente entrou em foco. Diferentes dos antigos sistemas, as modernas plantas elétricas possuem tensão e frequência constantes nos barramentos alimentados por geradores elétricos, geralmente a diesel, que funcionam com velocidade constante. Contudo passou a ter uma maior economia e também se tornou possível à integração dos sistemas elétricos de propulsão e auxiliares.

Atualmente muitos navios mercantes e de passageiro usam esse tipo de propulsão como meio mais econômico e eficiente.

A utilização de rebocadores, para a movimentação lateral da embarcação para auxiliar na manobra é difícil e custosa, portanto embarcações mais modernas começaram a utilizar hélices laterais de túnel, movidos por motores elétricos e hidráulicos, na popa “Stern thruster” na proa “bowthruster”. Devido à fácil operação, maior rapidez de resposta e menores dimensões, os “thrusters” movidos por motores elétricos destacaram-se na marinha mercante mundial. Porém, o sistema de “thrusters”, embora muito eficiente, possui o problema da grande tensão empregada em alguns casos. Os motores de propulsão usados nesses sistemas, normalmente motores de indução de corrente alternada e possuem altas correntes de partida.



**figura 1-Sala de controle de um návio a propulsão elétrica**

## **2.2 Propulsão a corrente contínua**

As embarcações com propulsão elétrica em corrente contínua começaram a surgir no início do século XX, nessa época a propulsão elétrica em CC era considerada a melhor opção para realização de manobra porque tinha a possibilidade de ajustar gradualmente a velocidade da embarcação, para os rebocadores essa suavidade é muito importante para manter a integridade de seu casco, e do casco da outra embarcação que esta sendo rebocada. Esse procedimento de suavização na velocidade usava como controle reostatos que variavam a excitação do campo, propulsão em corrente contínua, são constituídos por quatro geradores elétricos da propulsão, em 220 volts CC e quatro motores elétricos de propulsão. Dois por eixo, localizados no eixo propulsor entre o mancal de escora e o hélice.

Devido a grande utilização desse sistema, com o atrito entre a escova e o coletor, provoca o desgaste da escova, gerando um centelhamento. Como consequência, ocorre um aumento do calor emanado, que pode avariar o coletor do motor.

A manutenção constante e complexa desse sistema é uma das maiores desvantagem desse sistema, devido ao problema de comutação. O uso contínuo desse sistema, com o atrito entre a escova e o coletor, provoca o desgaste da escova, gerando um centelhamento, como

consequência, ocorre um aumento do calor emanado, que pode avariar o coletor do motor. Sua manutenção é feita com a limpeza do coletor, checagem da tensão da mola que mantém a escova faceando o coletor e com a calagem ou ajuste angular do porta-escova.

Apesar dos problemas que encontramos no sistema de propulsão elétrica em corrente contínua, esse sistema ainda é utilizado em razão da sua grande capacidade de manobrabilidade, que é um fator fundamental no caso de rebocadores.

### **2.3 Propulsão a corrente alternada**

Devido às limitações tecnológicas da propulsão elétrica por corrente contínua, foram desenvolvidos os motores elétricos de corrente alternada por possuírem vida útil maior, pois nesse tipo de propulsão não existe o desgaste excessivo das escovas e permitem trabalhar com menor corrente e maior tensão, além disso, possuem chaveamento eletrônico mais barato e eficientes do que as chaves eletromecânicas utilizadas para corrente contínua.

O desenvolvimento do conceito de propulsão elétrica em corrente alternada é devido à expansão da tecnologia da eletrônica de potência com grande utilização de dispositivos de microeletrônica.

Os dispositivos da microeletrônica são, na realidade, semicondutores que permitem ou impedem a passagem de corrente elétrica, mas também são capazes de chavear altas correntes e altas potências de modo a controlar e processar a potência elétrica.

Em comparação com as chaves eletromecânicas usadas em corrente contínua, os chaveamentos eletrônicos são mais rápidos, menores, mais precisos, mais baratos e eficientes.

A propulsão elétrica em corrente alternada desenvolveu-se incorporando essa tecnologia.

Nas embarcações dessa espécie, os MEPs (Motores Elétricos de Propulsão) são motores de indução em corrente alternada. A variação de velocidade é feita através de vários chaveamentos eletrônicos que de modo isolado ou combinado vão atender às necessidades do navio. Conforme o navio e a época da construção, esses artifícios variam desde mudanças na amarração de campos múltiplos, como nos motores *Dahlander*, até o emprego de circuitos eletrônicos e uma combinação desses métodos.

Além disso, é comum encontrar hélices de passo controlado (HPC) nas instalações ora descritas, o que elimina a necessidade de variação na carga do MEP.

A variação de passo ainda permite a reversão sem precisar parar o MEP e inverter o sentido da sua rotação, como é preciso fazer nos motores elétricos menores, por exemplo, nos

guinchos de atracação e molinetes dos ferros.

Os mais modernos sistemas de geração de energia das embarcações empregam inúmeros equipamentos que controlam a frequência, tensão, corrente e fase da energia gerada. Devido a esses equipamentos serem muito sensíveis, o que acarreta em um problema para os sistemas de propulsão com corrente alternada. Quando a carga elétrica é variada, são gerados harmônicos de frequência e picos de corrente que podem provocar erros na leitura desses equipamentos, o que provoca a instabilidade dos geradores, podendo até ocorrer o desligamento desses sistemas. A solução para evitar esse excesso de corrente é a instalação de motores elétricos com sistemas azimutais.

## **2.4 Tipos de partida nos motores elétricos**

No sistema de propulsão elétrica temos os sistemas de partida dos seus motores, que são divididos em três sistemas, encontradas nos navios; são eles: o sistema direto, o estrela-triângulo e o soft-starter, no entanto o sistema direto e o estrela-triângulo são os mais utilizados.

### **Partida direta**

Partida direta é o método de acionamento de motores de corrente alternada, na qual o motor é conectado diretamente a rede elétrica, ou seja, quando aplicamos a tensão nominal sobre os enrolamentos do estator do motor, de maneira direta. Neste tipo de partida, a corrente de pico pode variar de 4 a 12 vezes a corrente nominal do motor, sendo a forma mais simples de partir um motor. Comumente, a vantagem principal é o custo, pois não é necessário nenhum outro dispositivo de suporte que auxilie a suavizar as amplitudes de corrente durante a partida. Há inúmeras desvantagens com relação a outros métodos de partida, como por exemplo, um transiente de corrente e torque durante a partida. A corrente variando entre quatro e 12 vezes a nominal obriga o projetista do sistema elétrico a superdimensionar o sistema de alimentação, disjuntores e fusíveis que fazem parte do circuito elétrico que alimenta o motor. Dependendo dos valores de pico de corrente, a tensão do sistema pode sofrer quedas. O Transiente de torque faz com que os componentes mecânicos associados ao eixo do motor sofram desgaste prematuro. A situação piora à medida que a potência elétrica do motor aumenta. Além disso, como há uma grande elevação da corrente de partida, teremos uma limitação considerável da quantidade de manobras que poderão ser realizadas por

determinado período de tempo.

### **Partida estrela-triângulo**

Nesse método, o motor realizará uma partida mais suave do que a primeira, devido a uma menor corrente de pico. Este é um método utilizado largamente em motores elétricos trifásicos, que utiliza uma chave de mesmo nome. Esta chave, que pode ser manual ou automática, é interligada aos enrolamentos do motor, que devem estar desmembrados em seis terminais.

O motor parte em configuração estrela, quando cada enrolamento receberá uma tensão mais baixa (fase-neutro). Após o motor vencer a sua inércia, a chave torna-se atuante, convertendo a configuração para triângulo e aumentando a tensão nos enrolamentos (fase-fase). Entre as vantagens do método em questão podemos citar seu custo, que é relativamente baixo, e sua corrente de partida, que é reduzida a  $1/3$  quando comparada com o método anterior. Como consequência disso, não haverá limitação do número de manobras que poderão ser feitas em um período de tempo. Tal sistema apresenta também suas desvantagens. Podemos destacar a redução do torque de partida a aproximadamente  $1/3$  do nominal (note que isto está intimamente ligado ao fato da corrente de partida estar reduzida à mesma proporção) e a necessidade de termos um motor com seis bornes. Além disso, caso o motor não atinja pelo menos 90% da velocidade nominal, o pico de corrente na comutação de estrela para triângulo será equivalente ao da partida direta. Observe também que, caso haja grande distância entre o motor e a chave de partida, o custo será elevado devido à necessidade de seis cabos.

### **Partida Soft starter**

O sistema de partida “soft-starter” é um complexo sistema eletrônico formado de pontes retificadoras. A diferença na retificação desse sistema para a convencional é que, ao invés do uso de diodo comum, são usados “tiristores”, os quais têm seus “Gates” acionados por uma placa eletrônica. Com esse arranjo, o sistema “soft-starter” controla a tensão sobre o motor através do circuito de potência, fazendo assim com que o problema da corrente de partida dos motores trifásicos em CA seja controlado. Devido a sua complexidade eletrônica e ao preço de seus componentes, o sistema se torna caro e de difícil manutenção. O uso desse método é comum em bombas centrífugas, ventiladores e motores de elevada potência, cuja aplicação não exija a variação de velocidade. Para que seja evitado um aquecimento desnecessário dos componentes desse sistema, quando o motor chega a sua carga nominal, o



sistema “soft-starter”, na maioria dos arranjos, é “by-passado” (transpassado) por uma contatora, a qual liga o motor direto ao barramento. As principais vantagens deste sistema são que sua corrente de partida possui um valor próximo da corrente nominal e, por isso, não há limitação do número de manobras a serem realizadas; possui longa vida útil, uma vez que ele não possui partes eletromecânicas móveis; o valor de seu torque de partida é bem próximo de seu torque nominal e, finalmente, vale ressaltar que ele pode ser empregado para desacelerar o motor.

### **2.5 Vantagens da propulsão elétrica**

- Capacidade de atender mudanças bruscas de cargas
- Dispensa o uso de leme
- Níveis baixos de ruído e vibração
- Espaço no casco que anteriormente era reservado para a propulsão pode ser utilizado para outros propósitos
  
- Capacidade de manobra significativamente melhor que os sistemas de leme convencional, pois o próprio propulsor pode girar em torno do seu eixo, comandando a direção do navio como se fosse o leme.
- Excelente capacidade de reversão durante a navegação à ré e melhor resposta no caso de desaceleração
- Baixo consumo de combustível
- excelente desempenho em campo de esteira

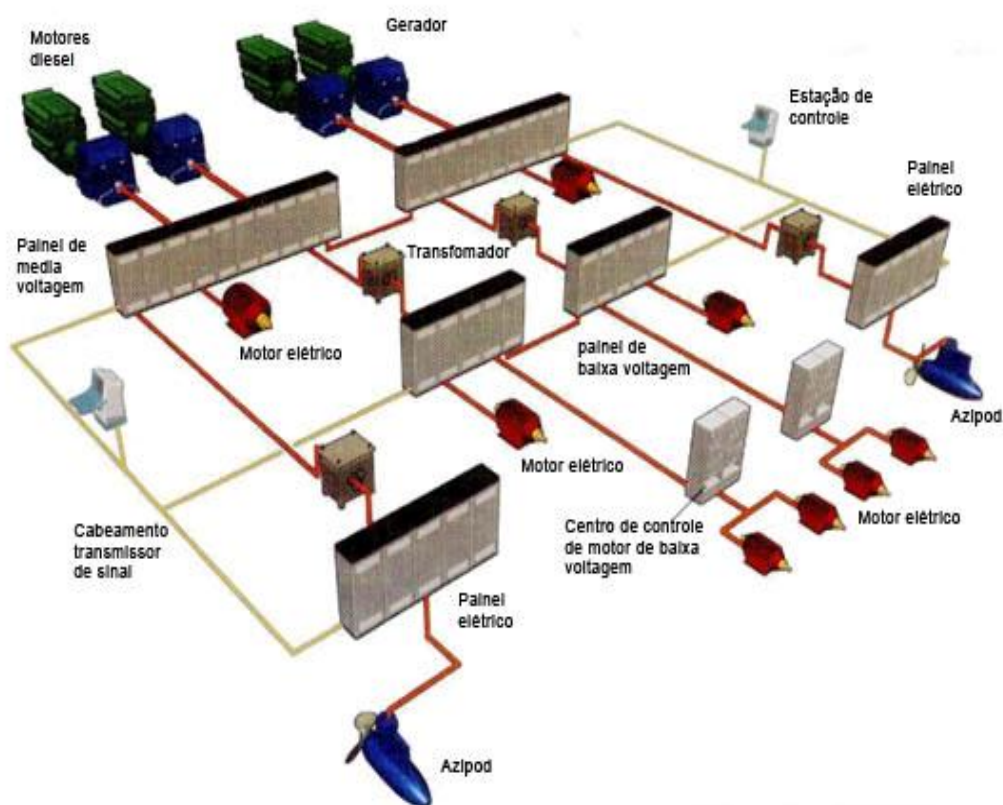
### **2.6 desvantagens da propulsão elétrica**

- Custo inicial elevado
- Limitação da potência produzida pelo motor
- Grande número de motores diesel é necessário para produção de energia

### 3 AZIPOD

O termo AZIPOD® vem da estruturação POD + AZIMUTH, o primeiro em referencia ao formato do *thruster* e o segundo por seu giro de 360 graus.

O principio de funcionamento da propulsão azipod é através da substituição do hélice com eixo fixo, que produz uma força sempre na direção longitudinal por um propulsor elétrico que pode mudar o sentido da sua corrente de descarga dirigindo sua força para qualquer ponto do azimute da embarcação, trazendo assim, vantagens como não precisar do leme para governar, pois o propulsor tem uma atuação de 360 graus, alta manobrabilidade, além de aumentar o espaço interno do casco do navio, já que o motor fica do lado de fora do casco em unidades chamada PODs. Devido a essas vantagens, esse sistema vem sendo utilizado em larga escala para navios de cruzeiro, embarcações de apoio às plataformas e até mesmo plataformas.



**Figura 1 Sistema de Pods**

No início da década de 90, surgiu o sistema de propulsão elétrica, no qual o MEP fica instalado dentro do POD, portanto, dentro da água, e o POD tem movimento azimutal. Esse

sistema recebeu a denominação de AZIPOD®. O nome AZIPOD® corresponde a uma marca registrada ou TRADEMARK.

Um POD pré-fabricado inclui a estrutura e o motor e é instalado e conectado ao sistema elétrico do navio e ao sistema de governo.

A primeira instalação AZIPOD® operou em 1990. Azipod® é uma marca registrada da empresa “ABB Oy Marine”.

### 3.1 Aplicação

As unidades AZIPOD® têm sido instaladas em três modalidades de arranjos: simples; duplos e triplos. Citaremos agora a aplicação de cada modalidade

#### Propulsão AZIPOD® simples e dupla

A propulsão AZIPOD® simples, ou singela, é mais empregada em navios cargueiros e tanques.

A propulsão AZIPOD® dupla é mais usada em navios de cruzeiro e *ferry-boats*, e é um excelente sistema de propulsão nos casos em que é preciso uma boa capacidade de manobra e alta redundância.

Redundância é a capacidade de poder acionar outro equipamento de forma automática a partir do momento exato em que o equipamento principal der problema sem o prejuízo da interrupção da operação.

Na figura temos uma propulsão AZIPOD® dupla.



**figura 3- Propulsão Azipod dupla**

### Propulsão CRP AZIPOD®

Lançada como nova modalidade de propulsão, o modelo CRP AZIPOD® (**CRP** = *Contra Rotating Propellers*). Foi projetado para altas velocidades e surge como solução competitiva para navios de contêineres.

Neste sistema, a linha de eixo convencional e o AZIPOD® atuam como um leme e um hélice de “contra rotação”.

Com isto, elimina-se a linha rígida do eixo, concedendo-lhe maior capacidade de manobra.

Conforme demonstram os testes com modelos, o CRP AZIPOD® tem uma eficiência muito maior se comparado ao navio com a convencional linha de eixo.

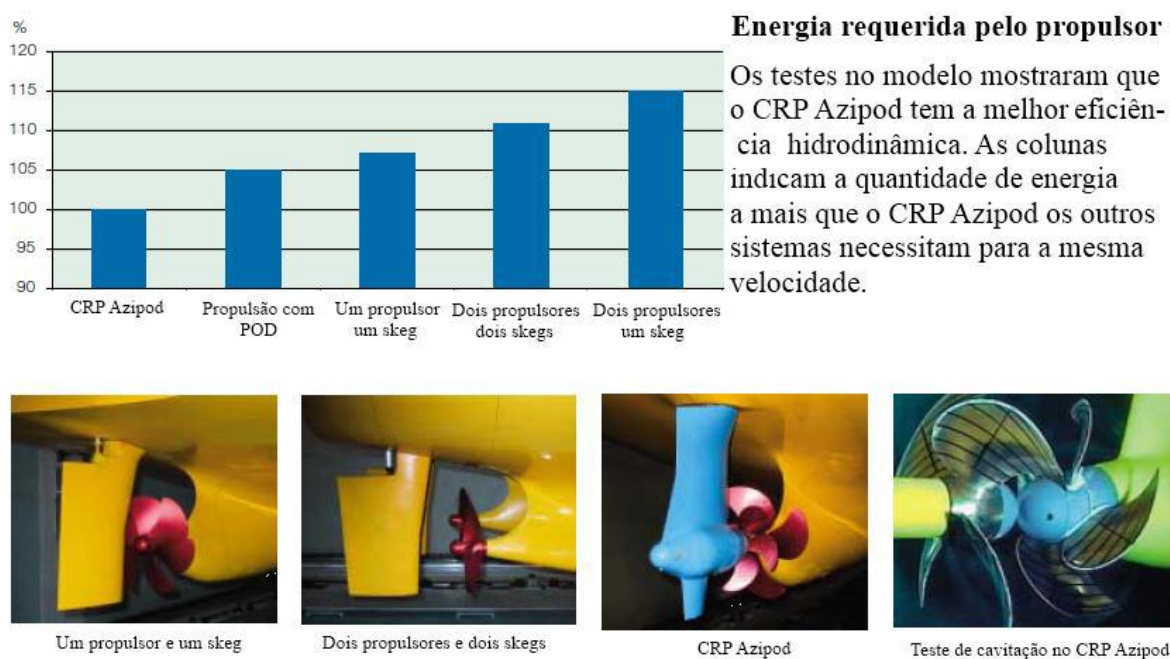


**figura 4- Propulsão CRP Azipod**

### Propulsão AZIPOD® Compacta

A propulsão AZIPOD® compacta é excelente para uma variedade de embarcações com potências entre 0,5 e 5MW, como iates e pequenas embarcações de carga. Ela é de confecção simples e na manutenção da embarcação.

É fácil de instalar e ocupa pouco espaço.

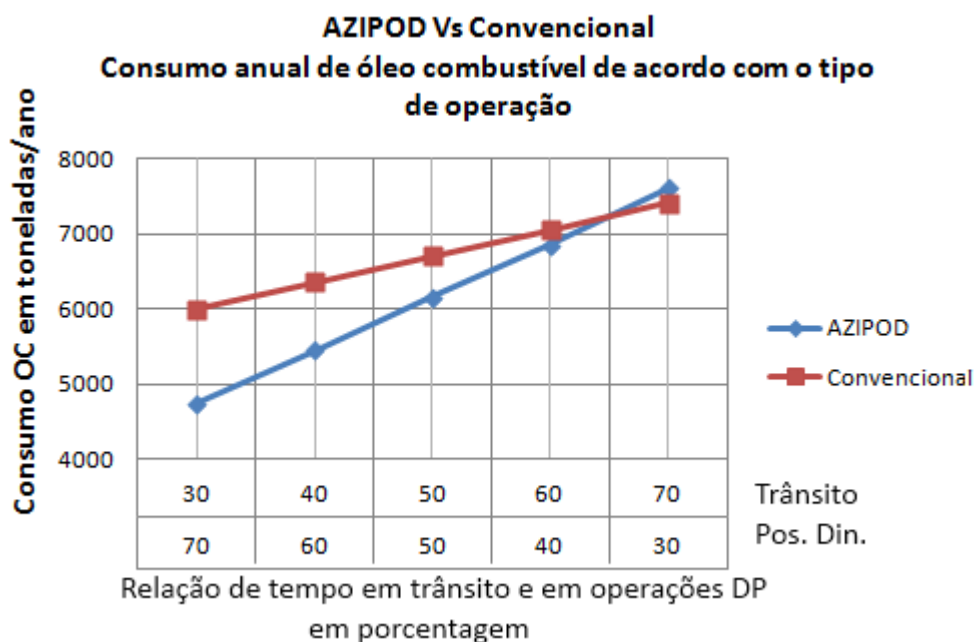


**Figura 5-Comparativo de energia requerido por diversos sistemas propulsores**

### 3.2 VANTAGENS DO SISTEMA

- Algumas características da embarcação que utiliza o AZIPOD®, são a excelente manobrabilidade, uma vez que proporciona melhor hidrodinâmica, mesmo nas piores condições como em ambientes árticos e em apoio marítimo;
- Combinado com uma planta de energia elétrica bem elaborada, a propulsão AZIPOD® proporciona melhor distribuição e aproveitamento do espaço na praça de máquinas e carga, com menores níveis de ruído e vibrações, menos tempo de indisponibilidade e mais redundância, o que aumenta consideravelmente a segurança da embarcação;
- Elimina a utilização de longas linhas de eixo, bem como lemes, *thrusters*, hélices de passo variável e caixa redutora;
- O propulsor AZIPOD® proporciona uma excelente capacidade de resposta, com torques consideráveis em qualquer direção, permitindo uma rápida mudança na direção do empuxo do hélice;
- O dinamismo de operações com o sistema AZIPOD® traz um consumo mais econômico de combustível, com menor emissão de gases e manutenção reduzida;
- A unidade AZIPOD® é um projeto versátil. Ela pode ser montada para puxar ou para empurrar, em águas livres ou em águas com gelo.

- Na figura abaixo mostramos a vantagem de uma embarcação equipada com AZIPOD® e outra de eixo acoplado ao MCP em relação ao consumo de combustível. Estudando o gráfico verificamos que o sistema AZIPOD® comporta-se melhor em relação ao consumo quando suas operações são em maior parte de posicionamento dinâmico e não longas jornadas.



**Figura 6-** comparativo de consumo de OC do sistema AZIPOD e de um sistema convencional.

### 3.3 DESVANTAGENS DO SISTEMA

- Custo inicial elevado
- Limitação da potência produzida pelo motor, grandes números de motores diesel são necessários para produção necessária de energia.
- Não podem ser instalados em grandes navios com grandes capacidades de carga os quais precisão de muita potência e grandes motores.



#### 4 SISTEMA DE PROPULSÃO VOITH SCHNEIDER

A propulsão cicloidal refere-se aos propulsores que possuem eixo de rotação na posição vertical e uma série de pás verticais fixadas à periferia de um disco rotativo. O sistema Voith Schneider é o único que utiliza esse princípio. Esse princípio se baseia num sistema de propulsão cicloidal muito solicitado atualmente em embarcações rebocadoras que é composto de dois conjuntos de lâminas verticais móveis fixados em discos paralelos ao fundo da embarcação. Normalmente se localizam a vante da embarcação, localizados na mesma linha transversal. Esse sistema precisa de um estabilizador a ré com o intuito de aumentar a estabilidade de governo. Dispensam o uso do leme e proporciona resposta imediata ao comando.



**figura 7- návio com propulsão voith schneider**

Quem observar um rebocador equipado com propulsores Voith Schneider® Propeller operando ficará impressionado com a rapidez, segurança e precisão com que ele controla uma enorme embarcação. Esta extraordinária agilidade pode ser comparada com as habilidades verificadas em um golfinho, que apenas utilizando sua cauda altera com facilidade o sentido e velocidade de seus movimentos na água.

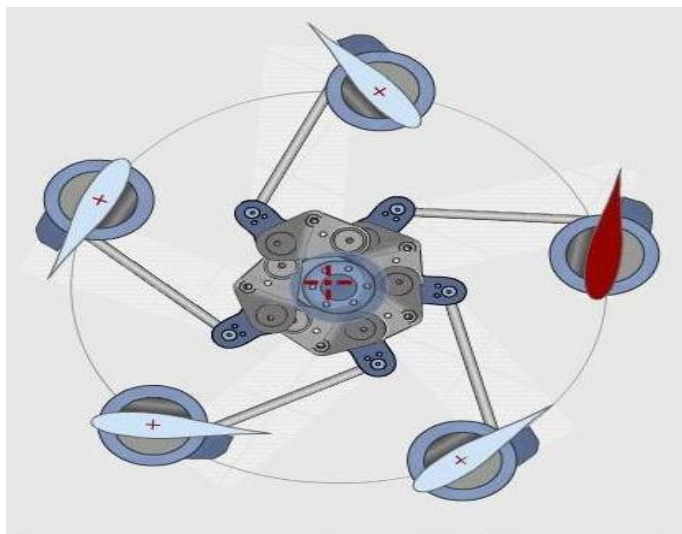
Em ambos os casos, a explicação é simples: os movimentos são possíveis devido a um sistema inteligente de manobra que combina propulsão e dirigibilidade em um único

equipamento. Este é o segredo dos propulsores navais Voith Schneider® Propeller que são reconhecidos por proporcionarem manobras em todas as direções, confiabilidade, velocidade e precisão e estão presentes em diversos tipos de embarcação tais como: rebocadores, ferry boats, embarcações de passageiros, guindastes flutuantes (cábreas), embarcações militares caça-minas, lançadores de bóias sinalizadoras, barcos de apoio a plataformas (PSV), dentre outros.

Na América Latina existem 21 Voith Schneider Propellers instalados, sendo três na Colômbia, 10 no Panamá, dois na Venezuela e seis no Brasil. O mais recente contrato fechado pela Voith Turbo no mercado nacional foi com a Transbarga Navegación (TBN), empresa do Grupo Rio Tinto, que acaba de investir na construção de um barco de proa acionado por este equipamento. Construído em Nova Orleans, EUA, o equipamento da TBN ajudará na otimização do escoamento da produção de minério de ferro da Mineração Corumbaense (MCR) ao longo de 2.300 Km entre Corumbá e a Argentina, através dos Rios Paraguai e Paraná. Outros negócios foram negociados com bow steering module (BSM) e rebocadores que operam nos portos de Angra dos Reis (RJ) e São Sebastião (SP).

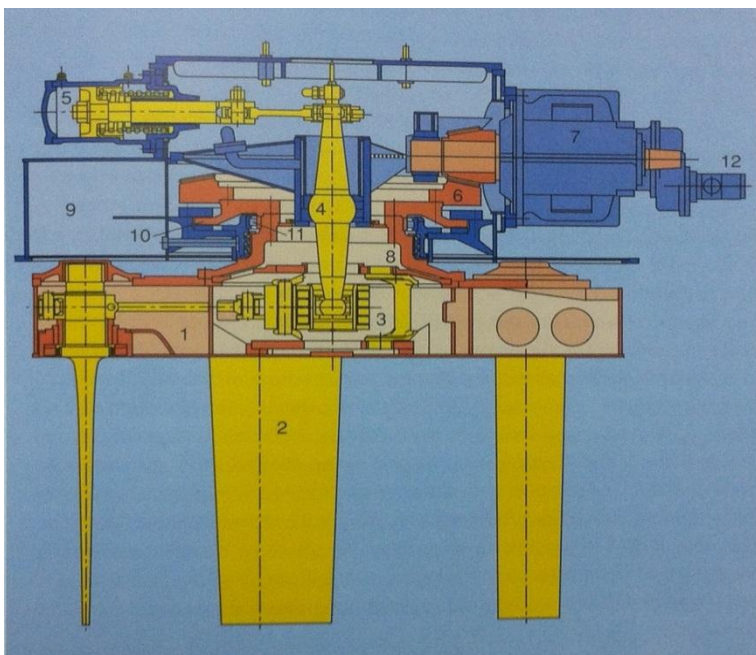
O sistema de propulsão cicloidal encontrado no Voith Schneider® Propeller (VSP) é composto por um conjunto de lâminas verticais móveis instaladas em um disco rotativo paralelo ao fundo do rebocador. O disco gira em velocidade baixa e constante, produzindo uma força de intensidade e sentido controlados através do ângulo (passo) de cada uma das lâminas. O conceito é semelhante ao do hélice de passo controlado (variável), porém, com a diferença de que o posicionamento das pás é transversal à força exercida.





**figura 8- Sistema de forças do Voith Schneider**

### Componentes do sistema



**figura 9- Componentes do Voith Schneider Propeller**

o item (1) é o “rotor casing”, no qual é alimentado de energia, para geração do “thrust” pelo item (7) que é chamado de “Spur reduction gear” que está acoplado ao “bevel gear” item (6) no qual está fixo ao “rotor casing”. Já o “Plain thrust” item (10) sustenta o “rotor casing” que também é centralizado radialmente pelo “roller bearing” item (11).

Devido ao “kinematic system” item (3), as “blades” item (2) realizam um movimento de oscilação. A amplitude e as fases do movimento das “blades” são determinados pelo “steering center”, por isso a intensidade e direção do “thrust” são variáveis de acordo com o “control rod” item (4). O “control rod” é ativado por dois “servo motors” item (5) arranjados ortogonalmente nos quais, são utilizados para ajustar o ângulo de ataque das “blades”, o item (12) corresponde a um “oil pump”

A principal vantagem desse sistema de propulsão, além da óbvia importância de poder atuar para todas as direções radiais com a mesma força de tração, é a velocidade com que as alterações do sentido da aplicação e da intensidade da força podem ser aplicadas, ou seja, alta manobrabilidade.

#### **4.1 Vantagens**

- Dispensa o uso do leme
- Proporciona imediata resposta ao comando
- Rapidez na transição de direção e intensidade do empuxo
- Torna a embarcação mais estável

#### **4.2 Desvantagem**

- Necessita de um maior calado

#### **4.3 Sobrecarga na máquina**

Para obter a máxima eficiência do propulsor torna-se necessário respeitar alguns limites para evitar sobrecarga de esforços. Conhecer as limitações do propulsor é fundamental para não expor o sistema a elevados níveis de esforços durante um determinado período de tempo, a sobrecarga da máquina é indicada por luzes de advertência e alarme acústico. Alguns procedimentos podem ser evitados para que não ocorra a sobrecarga, tais como: ajuste da posição do volante repentinamente; manobrar sem restrição de ‘pitch’ se estiver ajustado na posição à vante ou à ré; retardar o segmento da embarcação ajustando a alavanca na posição alta e por fim, executar a manobra de puxar ou de empurrar com as alavancas configuradas acima do indicado.

#### **4.4 COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS VOITH SCHNEIDER E AZIMUTAL**

O Sistema Voith Schneider apresenta, assim como o azimutal, grande capacidade de manobra podendo movimentar a embarcação para qualquer direção com o mesmo impulso.

Se comparado o uso dos dois sistemas com igual tração estática, percebemos que o Voith Schneider apresenta um deslocamento superior ao azimutal, porém oferece maior custo de instalação e manutenção.

Ao apresentar maiores dimensões, o propulsor cicloidal se torna mais eficiente, mas por outro lado, ao oferecer um maior calado, impede que a embarcação atinja velocidades adquiridas com o azimutal.

O sistema Voith de propulsão ao longo de suas evoluções tecnológicas representa hoje um sistema confiável, muito veloz, preciso, e é considerada uma fortaleza para as embarcações que o adquirem. Mas apesar de toda sua eficiência oferecem um maior calado que impede, que em algumas áreas, a embarcação atinja velocidades que podem alcançadas com o azimutal.

## 5 HÉLICE DE PASSO CONTROLÁVEL

Ao contrário dos hélices de passo fixo convencionais, no hélice de passo controlável as pás giram em torno do seu próprio eixo e seu passo pode ser ajustado variável e continuamente da propulsão zero para avante e ré. Através de modernos sistemas de cálculo o hélice é otimamente projetado as condições hidrodinâmicas do casco do navio, onde se atenta a máxima eficiência e a mínima emissão de ruídos.

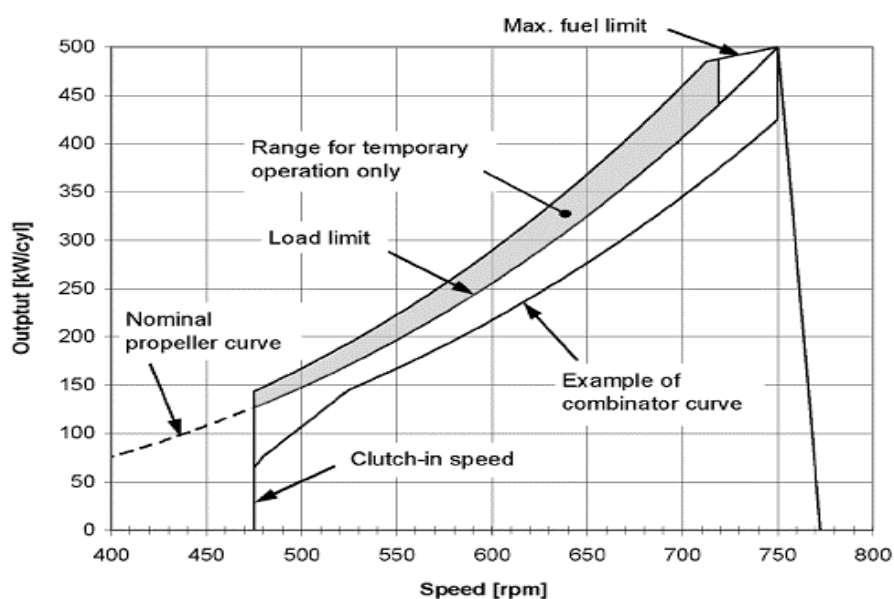
Este sistema incorpora uma tecnologia de resposta rápida com nível de ruídos e vibrações perto do limite de zero. O propulsor SCHOTTEL de passo controlável (SCP) é um produto da *SCHOTTEL – Schiffsmaschinen GmbH*. Trata-se de um propulsor que pode ser utilizado em qualquer tipo de embarcação. Opera na faixa de potência entre 600 kW 30.000 kW, com hélices de 1,5 a 8,0 m de diâmetro. A simplicidade da estrutura dos propulsores SCP tem a seu favor o fato de serem extremamente robustos e preparados para operarem em condições adversas de mar com um baixo custo de manutenção, o que lhe confere um alto índice de vida útil.



figura 10- Hélice de passo variável da Schottel.

Os hélices de passo variável da Schottel (SCP) são a solução ideal quando se necessita de máxima eficiência em mudanças de velocidade e cargas, e paralelamente, de uma grande capacidade de manobra. Independentemente de tratar-se de grandes embarcações, navios porta container, navios de cargas pesadas elevador (Heavy Lift Vessels) ou navios de apoio (Offshore supply Vessels).

Faixa de funcionamento do motor de media rotação acoplado a um propulsor de passo controlável: Abaixo da velocidade nominal, a carga deve ser limitada de acordo com os diagramas, a fim de manter os parâmetros de funcionamento do motor dentro dos limites aceitáveis. Operação na área sombreada é permitida apenas temporariamente durante períodos transientes, conforme pode ser vista no gráfico abaixo em que retrata a curva de operação para um propulsor de passo controlável. Velocidade mínima e velocidade no intervalo para acoplamento da embreagem são indicadas nos esquemas.



**Figura11- Campo de operação de um propulsor de passo controlável**

### Vantagens

- Maior força de empuxo durante mudanças de velocidade e cargas
- Não necessita de caixa reversora
- Manobrabilidade aperfeiçoada
- Manutenção simples devido ao design robusto
- Operação fácil
- Pacote de propulsão disponível

### Desvantagens

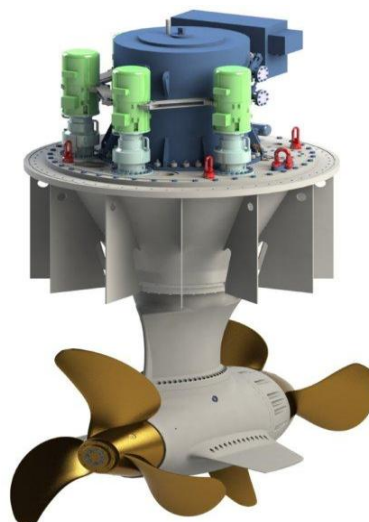
- Incorporam mais peças móveis que diminui a confiabilidade geral da hélice
- Pode permitir que vaze fluido hidráulico para o mar
- Maior número de cilindros;
- Maior consumo de combustível;
- Maiores perdas de transmissão de potencia devido à caixa redutora;
- Maior número de equipamentos periféricos instalados (Caixa redutora, acoplamento flexível e/ou embreagem).

### 5.1 Propulsor com duplo hélice

É uma evolução do hélice de passo variável, esse sistema é conhecido como SCHOTTEL twin-propeller (STP). Seu funcionamento é através de dois hélices montados num mesmo eixo girando na mesma direção e aletas direcionais ao propulsor.

Vantagens:

- a) construção simples e com poucas peças móveis;
- b) diâmetro do hélice menor, o que produz um menor nível de ruídos e vibrações;
- c) baixo consumo de combustível e baixo custo de manutenção.



**figura 12- Propulsor com duplo hélice**

## 5.2 Propulsor transversal

O propulsor transversal *SCHOTTEL (STT)* é construído, utilizando-se um sistema de caixas redutoras. Os propulsores transversais são configurados por engenheiros da Schottel conforme a sua aplicação e operação. A facilidade na operação de manobra permite um alto e específico desempenho do equipamento com uma velocidade circunferencial do hélice de até 33m/s. Em operações de offshore mais exigentes opera-se com a velocidade circunferencial do hélice mais baixa.

Propulsores transversais podem ser operados com motores a diesel, elétricos ou hidráulicos. Os motores elétricos podem ser fornecidos opcionalmente. A conexão para o motor pode ser feita tanto na horizontal quanto na vertical. Desta forma o motor pode ser posicionado de acordo com as condições particulares de construção da embarcação.

### Vantagens

- Para cargas máximas como por ex: em aplicações offshore
- Para operação intermitente e contínua
- Baixa emissão de ruídos
- Opção entre hélices de passo variável ou fixo
- Design compacto com instalações horizontal, vertical ou inclinada do flange de entrada de força.
- Combinável com motores hidráulico, elétrico ou a diesel.

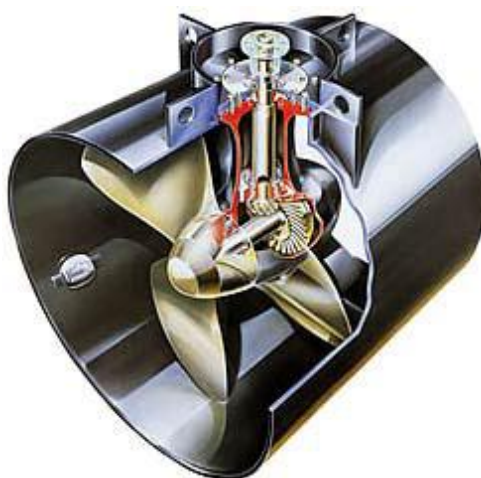


figura 13- Propulsor transversal



### 5.3 PROPULSOR COM JATO DE ÁGUA

O SCHOTTEL Pump-Jet (SPJ) funciona no mesmo princípio de operação de uma bomba centrífuga.

Um rotor aspira a água da parte de baixo da embarcação e a impulsiona para uma voluta.

Por possuírem as aberturas de saída de água na parte inferior bem na tangência da linha.



**figura 14- Propulsor com jato de água**

#### **Vantagens**

- Unidade propulsora completa e dirigível a 360°
- Design compacto, economia de espaço na instalação com menor perda de deslocamento possível
  - Montagem embutida no casco, deste modo não ha aumento da resistência e nem o risco de colisão com os destroços
  - Ideal para operações em águas extremamente rasas
  - Grade supressora na entrada o que impede danificações por destroços
  - Possibilidade de assoreamento. Mínimo risco de danificação em caso de aterramento
- Pequeno fluxo volumétrico de sucção em conjunto com baixa velocidade de entrada. Desta forma não ocorre sucção no solo e a tendência de aspiração de objetos será mínima



- Baixo ruído de operação e vibração devido ao design encapsulado o que proporciona o máximo de conforto em embarcações de recreio (Iates)
- Diversas variedades de instalação para navios com designs diferenciados
- Opções de motores: Diesel, elétrico e hidráulico
- Utilizado como unidade principal de propulsão, apoio para manobras e adicionalmente como “Booster“ ou Take-home-device

### **Desvantagens**

Pode ser menos eficiente em velocidades mais baixas, mais caro do que os sistemas de propulsão do tipo hélice convencional e a grade de admissão está sujeita a entupir com algas marinhas, cordas, dentre outras matérias que podem afetar o desempenho do sistema.

## 6 CONCLUSÃO

Este trabalho procurou demonstrar os mais modernos sistemas de propulsão suas funcionalidades e vantagens. Com o crescimento da Marinha Mercante tornou-se necessário métodos mais econômicos e eficientes de propulsão além da crescente preocupação com o meio ambiente, tornou-se necessário, também, a busca por tecnologia para o controle de emissões. Devido a essas grandes preocupações potencializou-se as pesquisas referentes a melhoria na propulsão. Empresas como a VOITH e a SCHOTTEL foram grandes incentivadoras dessas tecnologias, buscando sempre a qualidade em manobrabilidade e eficiência desses propulsores.

O sistema de propulsão AZIPOD® é a melhor evolução da propulsão elétrica, pois contribuiu para eliminar as linhas de eixo, equipamentos em excesso e motores maiores. Somente com geradores, facilitou a distribuição, tornando um sistema flexível e simplificado, pois concentrou sua atenção na distribuição de energia elétrica de bordo. As vantagens trazidas pelo AZIPOD são inúmeras e vem ganhando espaço graças ao turismo e as necessidades do mercado petrolífero, aproveitando o momento e com as expectativas depositadas no pré-sal, a eletricidade será muito solicitada.

Contudo podemos observar que a evolução dos sistemas de propulsão, seja de suma importância para economia e qualidade no transporte marítimo.

## REFERÊNCIAS

ABRAHIM, **Propulsão Elétrica de Embarcações**. Rio de Janeiro: CIAGA, 2006. 170p.

ALVES, R. N. **Propulsão Elétrica de Navios**. 2007. 70f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.

PINHEIRO, M. L. **Acionamento de Motor Síncrono de Ímãs Permanentes (MSIP) em embarcações com sistema de propulsão elétrica**. 2012. 50f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - UFRJ, Rio de Janeiro, 2012.

ROBINSON, S. M. **Electric Ship Propulsion**. EUA: Boardman Publishing Company , 2013. 70p.

**ABB**. Disponível em: <[www.abb.com](http://www.abb.com)> Acesso em: 5 jul. 2014

**ABB - Azipod Selection Guide**. Disponível em:  
<<http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/589ea2a5cd61753ec12570c9002ab>>  
Acesso em: 11 jul. 2014

**ABB MARINE. AZIPOD PROPULSION**. Disponível em: <[www.abb.com/marine](http://www.abb.com/marine)> Acesso em: 25 jul. 2014

**Azimuthing pulling propeller - Rolls-Royce**. Disponível em: <[www.rolls-royce.com/marine/products/propulsors/azimuth.../azipull.jsp](http://www.rolls-royce.com/marine/products/propulsors/azimuth.../azipull.jsp)> Acesso em: 1 jul. 2014

**AZIPOD®**. Disponível em: <[www.abb.com.br](http://www.abb.com.br)> Acesso em: 6 jul. 2014

**Hybrid propulsion in Feadship's X-Stream and F-Stream concept designs**. Disponível em: <[Hybrid propulsion in Feadship's X-Stream and F-Stream concept designs](#)> Acesso em: 2 jul. 2014

**The CRP Azipod Propulsion Concept, The most economic way from crane to crane..**  
Disponível em:  
<<http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/90580p007%20crp%20azipod.pdf> >  
Acesso em: 13 jul. 2014

**Voith Schneider**. Disponível em:<<http://navalunivali.wordpress.com/2010/05/24/sistema-de-propulsao-cicloidal-voith-schneider>> Acesso em: 8 jul. 2014

GOMES, Alexandre de Oliveira; GALINDO, Gabriel de Andrade. **Máquinas e sistemas de propulsão**. 1.ed., Rio de Janeiro: DPC, 2008.

SCHOTTEL PROPELLER – Disponível em  
<[http://www.schottel.nl/pdf\\_data/port\\_SCP.pdf](http://www.schottel.nl/pdf_data/port_SCP.pdf)>. Acesso em : 03 jul. 2014.