

**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE
GRAÇA ARANHA – CIAGA
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA
MARINHA MERCANTE – EFOMM**

**SISTEMAS DE PROPULSÃO ELÉTRICA PARA NAVIOS
MERCANTES**

Por: **Adonis** Batista da Silva

Orientador

CMG-Refº Eden Gonzalez IBRAHIM

Rio de Janeiro

2012

**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE
GRAÇA ARANHA - CIAGA
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA
MARINHA MERCANTE - EFOMM**

**SISTEMAS DE PROPULSÃO ELÉTRICA PARA NAVIOS
MERCANTES**

Apresentação de monografia ao Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como condição prévia para a conclusão do Curso de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Máquinas FOMQ da Marinha Mercante.

Por: Adonis Batista da Silva

**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE
GRAÇA ARANHA - CIAGA
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA
MARINHA MERCANTE - EFOMM**

AVALIAÇÃO

PROFESSOR ORIENTADOR (trabalho escrito): _____

NOTA - _____

BANCA EXAMINADORA (apresentação oral):

Prof. (nome e titulação)

Prof. (nome e titulação)

Prof. (nome e titulação)

NOTA: _____

DATA: _____

NOTA FINAL: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família, pois sem ela eu não estaria em lugar nenhum, meus amigos que sempre estiveram comigo, a minha namorada que sempre me incentivou, ao Grande Mestre Ibrahim, que além de ótimo professor tive o prazer de ter como orientador, e a quase todos os outros mestres que me proporcionaram conhecimento suficiente para a realização desta monografia.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus grandes pais e minha irmã e a toda a minha família que sempre me apoiou, a minha namorada e a todos os meus amigos e quaisquer outras pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

Esse trabalho tem por objetivo proporcionar ao leitor informações gerais sobre a propulsão elétrica aplicada em navios, principalmente em navios mercantes, mostrando as origens da mesma no final do século XIX e as grandes mudanças que essa tecnologia trouxe para a área de propulsão naval.

Nessa monografia o leitor poderá acompanhar o desenvolvimento dos diversos meios de propulsão usando eletricidade, sendo por corrente contínua ou corrente alternada, a fim de levar o leitor a entender as dificuldades encontradas em cada sistema e como elas foram contornadas.

Por fim esta monografia tem o propósito de conscientizar os leitores dos bens que a propulsão elétrica pode causar ao meio ambiente se devidamente implantada.

Palavras-chave: propulsão, propulsão elétrica, propulsão elétrica por corrente contínua, propulsão elétrica por corrente alternada e tecnologia Azipod

ABSTRACT

This paper aims to provide the reader with general information about the electric propulsion applied on vessels, mainly merchant vessels, showing its origins at the end of the nineteenth century and the great changes that technology has brought to the area of naval propulsion.

In this study, the reader can follow the development of various means of propulsion using electricity, as direct current or alternating current, in order to lead the reader to understand the difficulties found in each system and how they were solved.

Finally this study has the purpose of making the readers aware of the benefits the electric propulsion can provide to the environment if properly applied.

Keywords: propulsion, electrical propulsion, continuous current electrical propulsion, alternating current electrical propulsion and Azipod technology.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Esquema sistema Del Proposto_____	11
Figura 2.	Tabela dos primeiros navios à diesel e seus sistemas de propulsão _____	13
Figura 3.	Rebocador de Alto Mar Triunfo_____	16
Figura 4.	Esquema MCP – POD no Sistema Schottel_____	18
Figura 5.	Diagrama básica de uma EAM movida por propulsão elétrica_____	20
Figura 6.	POD do sistema de propulsão AZIPOD®_____	23
Figura 7.	Comparação dos gastos de OC no AZIPOD®_____	24
Figura 8.	Arranjo duplo AZIPOD® com X-tail_____	26
Figura 9.	Esquema de uma embarcação com CRP AZIPOD®_____	26
Figura 10.	Sistema CRP AZIPOD® em um navio com casco com apenas um skeg_____	27
Figura 11.	Comparativo de energia requerido por diversos sistemas de propulsor____	27

SUMÁRIO

INDÍCE DE FIGURAS	7
INTRODUÇÃO	9
CAPÍTULO I A evolução da propulsão elétrica	10
1.1- Primeiras Aplicações	12
1.2- Cenário Atual	13
CAPÍTULO II Propulsão elétrica de corrente contínua	15
CAPÍTULO III Propulsão elétrica de corrente alternada	18
3.1- Sistema Schottel	18
3.2- Propulsão elétrica em corrente alternada	19
CAPÍTULO IV Sistema de propulsão AZIPOD®	23
4.1- Arranjos possíveis	25
4.1.1 - Arranjos simples e duplo	25
4.1.2 - Propulsão CRP AZIPOD®	26
4.1.3 - Sistema compacto	28
4.2- Sistema de governo	28
4.3- Conclusão	29
CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
GLOSSÁRIO	32

INTRODUÇÃO

A importância dos mares no cenário econômico mundial atual é inegável, tanto para o transporte de mercadorias como na área de extração de petróleo. Em ambos os casos, os navios são imprescindíveis. A evolução das embarcações vem desde o uso de remos, passando por velas e máquinas a vapor e então temos o surgimento dos motores de combustão interna no século XIX, que só foram se popularizar na área naval na segunda metade do século XX, e podem ser encontrados nas embarcações, automóveis e indústrias atualmente.

A constante busca por melhorias nos atuais sistemas de propulsão, no que se refere a custos, potência, eficiência, manobrabilidade, densidade de potência, controle de poluentes entre outros, é o que provoca a inevitável evolução, e aqueles que não evoluem, perecem.

Os sistemas atuais envolvendo a transmissão mecânica de energia atingiram seu limite tecnológico e viabilidade econômica nos forçando a evoluir mais uma vez em busca de melhorias, e a tecnologia que promete atender à todas essas melhorias é justamente a propulsão elétrica tratada adiante.

CAPÍTULO I

EVOLUÇÃO DA PROPULSÃO ELÉTRICA

Não é possível falar sobre a evolução da propulsão elétrica e não tratar dos submarinos, onde houve a necessidade e foi então criado tal sistema de propulsão no final do século XIX.

Os submarinos convencionais (não nucleares), tanto os primeiros como os atuais, não podem acionar seus grupos geradores movidos por motores de combustão interna (MCI) enquanto submersos, pois a combustão exige uma quantidade de ar que não pode ser encontrada embaixo do mar.

Devido à escassez de oxigênio, os MCI só podem ser ligados quando o submarino se encontra na superfície ou quando está a uma pequena distância desta, podendo fazer o uso do “snorkel”. Com os MCI ligados, são eles que fornecem energia para a recarga das baterias de acumuladores e para o motor elétrico de propulsão (MEP). Quando submersos, os submarinos usam somente a energia armazenada nas baterias para alimentar toda a embarcação, inclusive os MEP.

A tecnologia de propulsão nos submarinos convencionais continua a mesma desde quando inventada, pois devido à necessidade do mergulho dos mesmos, essa solução acaba sendo insubstituível, e o que muda é a tecnologia dos acumuladores de energia, sendo usados outros materiais.

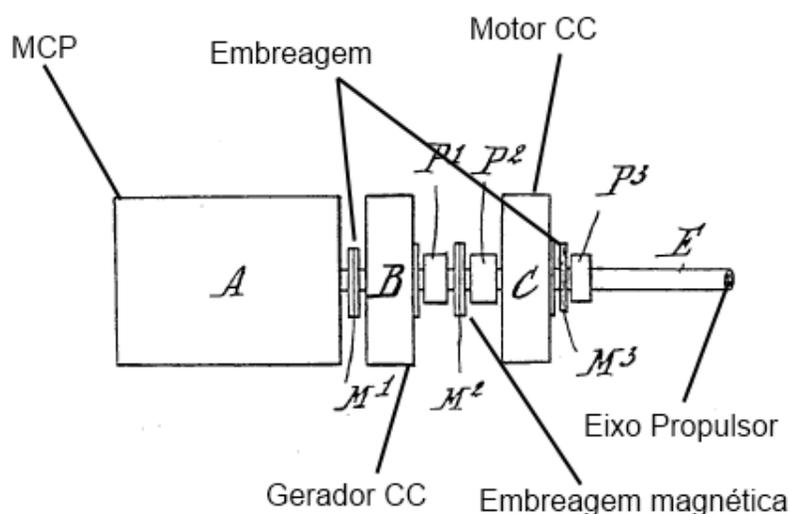
Esta mesma tecnologia é impraticável nos navios mercantes, pois diminuiria o espaço útil da embarcação e também aumentaria o deslocamento do navio, comprometendo assim a estabilidade. Além desses problemas, há ainda algumas manobras de carga de bateria em submarinos que exigem que toda a tripulação seja removida de bordo para a terra. Isso é inaceitável em um navio mercante que precisa executar sua derrota com rapidez.

Simultaneamente ao desenvolvimento da propulsão nos submarinos, em 1903, os MCI já eram considerados confiáveis o suficiente para serem usados como meio de propulsão, mas

ainda havia um problema, eles não eram reversíveis, e a propulsão elétrica foi a única solução para esse problema técnico básico.

A solução para este empecilho veio do Engenheiro Elétrico italiano Cesido Del Proposto, que inventou e desenvolveu a então nova forma de propulsão, paralelamente era desenvolvido um trabalho semelhante no Ludwig Nobel, em São Petersburgo, Rússia. A solução consistia simplesmente, além do eixo e do propulsor, de um gerador de corrente contínua acionado por um motor diesel e um motor, também de corrente contínua, ligado ao eixo propulsor.

Figura 1 – Esquema sistema Del Proposto.



O que diferenciava esse sistema de uma propulsão diesel-elétrica é que enquanto não estivesse em manobra ou em máquinas a ré, o eixo propulsor continuava conectado ao MCP através da embreagem magnética M2, que era atuada pela corrente proveniente do gerador CC, como vemos na figura 1. Nesse caso o gerador e o motor elétrico tinham a função de volante para o MCP.

Para inverter a rotação era necessário desacoplar a embreagem M2 parar o motor elétrico e mudar as conexões elétricas fazendo-o partir no sentido contrário. Nesse caso o propulsor era acionado apenas pelo motor elétrico.

Com isso foi superado o maior obstáculo da época com relação ao uso de motores não reversíveis, simplesmente usando os MCI para acionar geradores e usando a energia dos geradores para acionarem motores elétricos.

1.1 – PRIMEIRAS APLICAÇÕES

A primeira aplicação da propulsão elétrica foi em um navio-tanque russo, *Vandal*, uma embarcação de 75m da empresa *Nobel Petroleum Company*, sediada em São Petersburgo, Rússia.

A embarcação possuía 3 motores diesel com 120hp/250rpm cada, permitindo uma velocidade de até 8 nós. Contrário a algumas publicações, o *Vandal* não utilizava o sistema de propulsão Del Proposto, mas sim um sistema diesel-elétrico, o primeiro no mundo a usar este método de propulsão.

O navio foi entregue no outono de 1902, mas a viagem de estréia se deu na primavera de 1903, pouco depois de o gelo ter se quebrado após o inverno.

O navio foi uma grande inovação e chamou bastante atenção, com esta tecnologia a manobra de *Full Ahead* para *Full Reverse* levava de 8 a 10 segundos apenas. Mas isso não quer dizer que não havia problemas, por exemplo, tínhamos uma potência total dos motores de 360HP, mas o que chegava aos propulsores era aproximadamente 290HP, uma perda de 20%, criticou Del Proposto na época.

Posteriormente Del Proposto disse em seu livro “*Der Antrieb Von Schiffen durch nichtreversierbare Maschinen*”, 1906, “A propulsão de navios por máquinas não-reversíveis” na tradução livre, que era bem óbvio que a transmissão elétrica contínua tinha muitas vantagens, mas que também muitas desvantagens, e considerando os prós e os contras, o problema em propulsionar grandes navios por motores não reversíveis ainda não estava totalmente solucionado, pelo menos não satisfatoriamente. O navio tanque *Vandal* operou até 1913 e pouco depois foi desmantelado.

Figura 2 – Tabela dos primeiros navios a diesel e seus sistemas de propulsão.

Embarcação <i>Uso</i>	Viagem inicial <i>País</i>	Motor utilizado	Fabricante <i>País</i>	Tipo de propulsão
Vandal <i>navio tanque</i>	primavera de 1903 <i>Rússia</i>	3x120 HP / 255 rpm	A.B. Diesel Motorer <i>Suécia</i>	Diesel-elétrica
Ssarmat <i>navio tanque</i>	verão de 1904 <i>Rússia</i>	2x180 HP / 240 rpm	Ludwing Nobel <i>Rússia</i>	Nobel / Del Proposto
Aigrette <i>submarino</i>	1904 <i>França</i>	~ 200 HP	Sautter-Harlé <i>França</i>	Transmissão elétrica
Venoge <i>cargueiro</i>	1905 <i>Reino Unido</i>	40 HP / 260 rpm	Gebr. Sulzer <i>Suíça</i>	Del Proposto

Em 1913, a bordo do navio carvoeiro USS “Jupiter” da Marinha Americana, foi instalado um sistema experimental com 4.1 MW de potência instalada por eixo. O sistema de propulsão consistia de um turbo gerador de corrente alternada que alimentava dois motores de indução com rotor bobinado. A experiência foi um sucesso e a embarcação foi convertida, em 1922, no primeiro navio-aeródromo da Marinha Americana, chamado USS “Langley” e continuou em plena operação até 1942 quando foi afundado em combate.

O sucesso no experimento do USS “Langley” foi tão grande que seus benefícios estimularam grandes esforços para a construção de 50 navios com esse tipo de propulsão durante o período entre as Guerras Mundiais.

Durante a Segunda Guerra Mundial, mais de 160 navios de apoio com propulsão elétrica foram produzidos para a Marinha Americana utilizando tanto turbo como diesel geradores. Outro grande incentivo para a produção de tantas embarcações com propulsão elétrica foi a falta de capacitação técnica para a produção em larga escala de engrenagens necessárias para a produção de embarcações com transmissão mecânica, problema esse que foi solucionado por volta dos anos 1940, quando os desenvolvimentos na tecnologia dos sistemas de engrenagens para o setor naval passaram a apresentar um preço competitivo e também devido a desvantagens dos sistemas elétricos na época como menor densidade energética.

1.2 – CENÁRIO ATUAL

Na década de 1970 ocorreu a crise do petróleo, o que levou vários países a mudarem o rumo das atividades petrolíferas da época, fazendo com que muitos mudassem o foco para a

prospecção de petróleo no leito dos oceanos, chegando muitas vezes a profundidades em que apenas veículos operados remotamente era capazes de operar, controlados por profissionais capacitados localizados em plataformas no meio do mar, longe de qualquer terra e, portanto longe de suprimentos. Estes suprimentos tinham que chegar até as plataformas, e de tempos em tempos a tripulação da plataforma também deveria ser substituída, sendo necessária assim a criação de um tipo embarcação para fazer esses serviços.

A embarcação que veio como solução para estas atividades foi a Embarcação de Apoio Marítimo (EAM), responsável pelo abastecimento, manobras de fundeio, reboque e algumas operam com certas atividades específicas, mas todas com o objetivo de fornecer apoio às plataformas de petróleo.

Juntos com esse tipo embarcação vieram novas tecnologias visando atender às necessidades das plataformas de forma mais eficiente e mais econômica, que serão oportunamente discutidas nos próximos capítulos.

Durante as décadas de 1980 e 1990, o avanço tecnológico, na área da Eletrônica de Potência, tornou a transmissão elétrica novamente competitiva comparada com a transmissão mecânica convencional, apresentando formato compacto, menores peso e volume, elevadas faixas de potência gerada para valores específico de torque, resistência ao choque e ainda baixos valores de assinatura acústica e eletromagnética, e com essas melhorias muitos armadores substituíram a convencional transmissão mecânica pela transmissão elétrica.

CAPÍTULO II

PROPULSÃO ELÉTRICA DE CORRENTE CONTÍNUA

O MEP do sistema de propulsão elétrica em corrente contínua era do tipo série universal com coletor (comutador) de teclas e muitas escovas. O tempo prolongado em uso e as grandes variações de corrente quando em manobra provocam desgaste acelerado de ambos, e por isso se faziam necessárias manutenção das escovas e dos coletores com grande frequência.

Outro problema apresentado por este sistema era a grande quantidade de calor nos diversos controles necessários para garantir a flexibilidade de manobra, controles que consistiam praticamente apenas de chaves manuais e reostatos, sendo imperativo o uso de equipamentos de dissipação de calor, e fazendo impossível o enclausuramento dos mesmos como podemos fazer com os modernos motores de corrente alternada do tipo gaiola de esquilo.

Para sanar o problema do calor nos motores acabava-se gerando outro problema. Eventualmente ocorriam problemas por baixa resistência de isolamento nos campos, pois o calor gerado no MEP precisa ser dissipado, e normalmente usava-se uma ventoinha, mas a circulação de ar acaba introduzindo nos campos da máquina o pó proveniente do atrito entre a escova e o coletor, e às vezes até mesmo pedaços das escovas. Isso tudo, somado a umidade e a poeira da praça de máquinas, corrobora para o aumento da vulnerabilidade do isolamento dos campos, tanto dos geradores como dos motores.

A demanda cada vez maior por potência, necessária para as novas embarcações que surgiam ano após ano no mercado mundial fez com que os sistemas baseados em corrente contínua tivessem seus dias contados. À medida que se aumentava a potência dos MEP e dos GEP, o peso e o tamanho dos mesmos sofriam um aumento tão grande que comprometiam uma enorme quantidade de espaço e capacidade de carga do navio e também a altíssima corrente nas escovas de comutação acabam atingindo níveis inaceitáveis.

Mesmo apresentando muitos problemas, o sistema de propulsão elétrica em corrente contínua era bastante utilizado por embarcações de superfície que exigiam especificamente uma maior manobrabilidade, como os antigos rebocadores de alto mar (RbAM) da Marinha do Brasil (MB). Esses rebocadores precisavam ter um controle suave da velocidade, tanto na partida e especialmente nas manobras de reboque.

Figura 3 - Rebocador de Alto Mar Triunfo. Possuía propulsão elétrica em Corrente Contínua.



Outro motivo para o uso da propulsão elétrica nos rebocadores é que quando utilizada a propulsão convencional, com o MCP ligado diretamente ao eixo-propulsor, a partida é dada a cinco nós, aproximadamente, porque em rotações menores o MCP “morre”. A solução para conseguir utilizar velocidades menores consiste em partir o MCP e logo em seguida pará-lo. A única limitação desta manobra é a quantidade de partidas possíveis com a energia armazenada nas ampolas de ar de ar comprimido, número este que pode variar entre uma ou duas dúzias. O que acontece é que muitas vezes as embarcações precisam ficar dando voltas aguardando o carregamento das ampolas para novamente poderem partir o MCP.

Os rebocadores à propulsão elétrica em corrente têm os motores diesel sempre operando, mesmo que o navio esteja atracada ou fundeado. O acionamento dos hélices propulsores pelos MEP pode ser feito lentamente, RPM por RPM, a partir do zero. Com esse controle fino na rotação de eixo propulsor era possível ajustar o deslocamento do rebocador

conforme o necessário para a realização da faina, evitando assim choques bruscos capazes de danificar cabos ou outros dispositivos usados para o reboque.

Esse sistema era muito bom para a época pós Segunda Guerra Mundial, mas apresentava muitos problemas já citados, e hoje em dia não se vê muitas aplicações, exceto em algumas dragas, devido às necessidades de manobra em águas restritas.

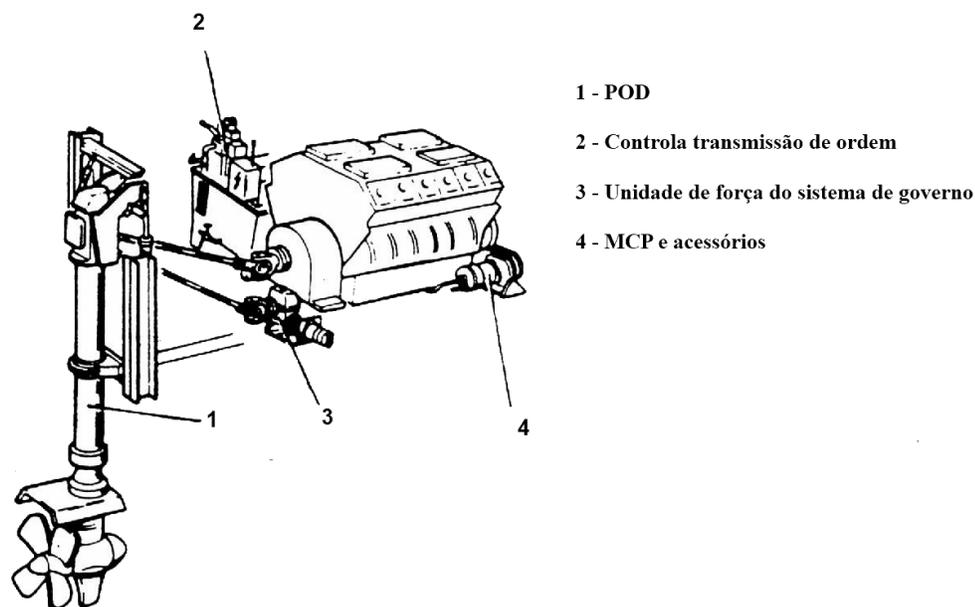
CAPÍTULO III

PROPULSÃO ELÉTRICA EM CORRENTE ALTERNADA

3.1 – SISTEMA SCHOTTEL

Antes de se falar no sistema de propulsão elétrica em corrente alternada propriamente dito, não podemos deixar de mencionar o sistema Schottel, que introduziu o importante conceito do POD na área dos sistemas de propulsão naval.

Figura 4 - Esquema MCP – POD no Sistema Schottel



Após a década de 1970 o mercado para as EAM começou a crescer. Com o tempo, cada vez mais se tornaram necessárias realizar manobras em águas restritas de um porto ou terminal utilizando embarcações de apoio portuário. Com a crise do petróleo e o fechamento do Canal de Suez, a solução econômica encontrada consistia em navios tanque gigantescos para fazer o transporte do petróleo do oriente médio até portos europeus e japoneses. Com o surgimento destas gigantesca embarcações, também foi necessária a criação de melhores embarcações para que fosse possível realizar as manobras de forma satisfatória. Um dos

sistemas que surgiram para oferecer melhor manobrabilidade para as embarcações de apoio foi o Sistema Schottel.

O Sistema Schottel, apresentado na figura 4, consiste basicamente de hélices propulsores montados em um conjunto com capacidade de ser movimentado em azimute. O MCP aciona o hélice através de transmissão mecânica e o sistema de governo movimenta, em azimute, o conjunto inteiro. Ainda não era um sistema de propulsão elétrica, como podemos perceber pela presença da transmissão mecânica do movimento do MCP ao hélice, mas já proporcionava um avanço, pois já dispensava o uso do leme. O conjunto formado pelo propulsor somado ao sistema que o direciona em azimute é chamado de POD por muitos autores, em analogia aos motores de embarcações de recreio.

O sistema Schottel se apresenta como uma solução para a capacidade de manobra, mas ao mesmo tempo dispõe de inconvenientes, como a necessidade de eixos propulsores muito longos devido a localização do MCP na proa e os propulsores na popa, no caso das EAM, mas continua sendo aplicável no caso dos rebocadores tratores, que possuem hélices localizados na popa, onde a pequena distância MCP – Propulsor não constitui problema.

3.2 – PROPULSÃO ELÉTRICA CORRENTE ALTERNADA

Devido aos inúmeros problemas já citados nos capítulos anteriores, referentes a cada sistema de propulsão mencionado, ainda não havia no mercado um sistema que atendesse de forma eficiente as EAM necessárias para dar conta de manobras com embarcações cada vez maiores que vinham surgindo após a crise do petróleo na década de 1970.

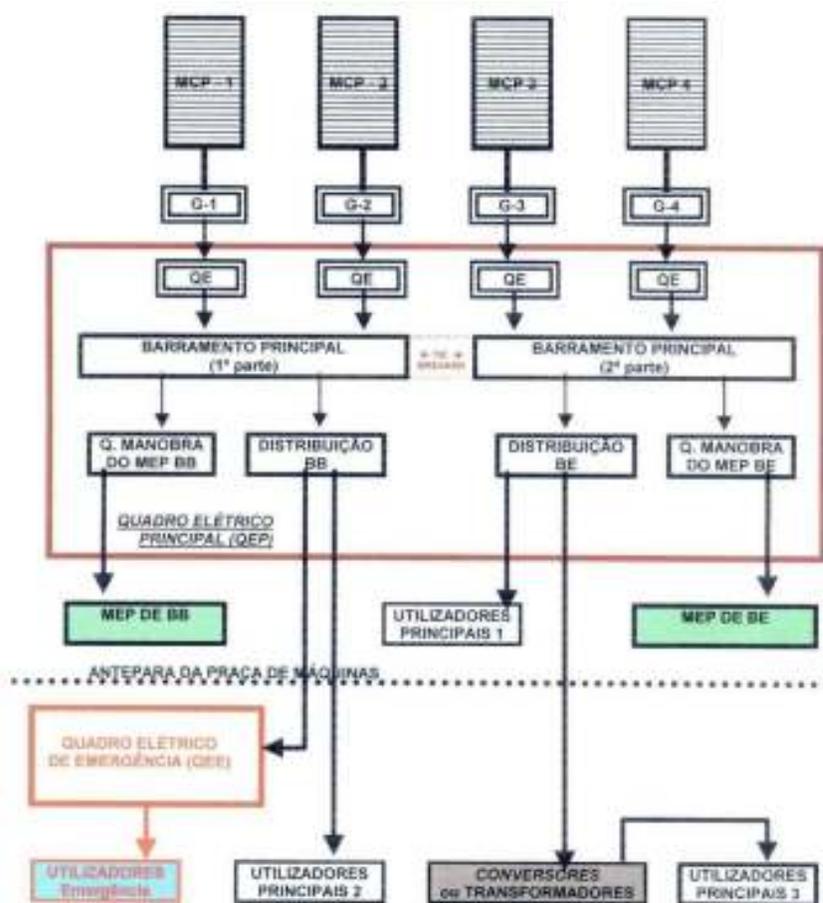
Diante de tantos inconvenientes nos meios de propulsão da época, eis que surge uma solução, um sistema que veio com o objetivo de eliminar o eixo que interligava o MCP e o hélice. Era novamente o sistema de propulsão elétrica, mas desta vez em corrente alternada (CA).

A propulsão elétrica por corrente alternada, diferente da por corrente contínua, não requer constante manutenção, por isso a preferência no mercado atual. Quando comparado com a propulsão por combustão interna, as vantagens também são claras no sistema por CA. Geralmente os MCP ocupam uma quantidade de espaço interno muito grande, o que é inaceitável, pois este espaço pode ser comercializado ou mesmo utilizado para uso geral da embarcação. Outro problema dos MCP é a enorme quantidade de ruídos e vibrações, que

assim como diminuem a vida útil e desempenho de equipamentos também geram desconforto, principalmente quando se tratando de navios de passageiros. ‘

Usando a transmissão elétrica no lugar da transmissão mecânica, utilizada no sistema Schottel, em conjunto com quatro ou seis GEP acionados por igual número de MCP, alimenta-se o QEP de onde sairá a energia para os utilizadores na embarcação e também para os quadros de manobra dos MEP. A energia então vai dos quadros de manobra até os motores de propulsão através de cabos elétricos onde antigamente se utilizava extensos eixos, como podemos ver na figura 5. Com os MEP dentro do casco do navio localizados próximos ao propulsor se faz possível a redução da extensão do eixo propulsor, o que resulta em menor quantidade de problemas e menor manutenção requerida como já dito anteriormente.

Figura 5 – Diagrama básico de uma EAM movida por propulsão elétrica.



Como podemos ver no diagrama acima, há um “tie breaker”, ou chave seccionadora, entre os barramentos principais. Em embarcações com propulsão elétrica, o barramento do QEP é obrigado pela Convenção SOLAS a ter esta chave. Essa seccionadora pode ser do tipo

normalmente aberta (NO) ou normalmente fechado (NC), o tipo da chave deverá estar indicado nos planos dos quadros e nos balanços elétricos da instalação. Podem existir várias chaves seccionadoras ou apenas uma, dependendo somente da corrente de carga.

Os MEP nesse tipo de embarcação são motores de indução em corrente alternada, onde a velocidade desejada é alcançada usando-se de inúmeros artificios, isoladamente ou em conjunto de acordo com a necessidade. Atualmente usam-se modernos circuitos eletrônicos para a obtenção das velocidades necessárias.

A corrente de partida nesse tipo de motor, quando feita de forma direta, pode alcançar de quatro a doze vezes o valor da corrente nominal. A vantagem de se utilizar a partida direta é a simplicidade da mesma, pois consiste de uma ligação direta dos enrolamentos do estator do motor entre as fases. Esta alta corrente nesse tipo de partida obriga o projetista do sistema elétrico a superdimensioná-lo de forma a garantir que não ocorram danos ao mesmo durante a partida. Muitas vezes o motor alcança altos valores de pico de corrente que acabam provocando quedas de tensão na rede.

Outro tipo de partida utilizado é o estrela-triângulo, quando se tratando de motores elétricos trifásicos. Consiste basicamente de partir o motor em estrela, ou seja, cada enrolamento receberá uma tensão mais baixa do que a tensão entre as fases, a tensão entre a fase e o neutro. Após a quebra da inércia do motor, uma chave é acionada, manual ou automaticamente, mudando de estrela para triângulo, onde agora cada enrolamento receberá a tensão plena entre as fases. Mesmo sendo uma partida mais suave, que proporciona menores correntes de partida do que a direta, ainda é considerada uma mudança brusca de tensão.

Por último se tem o “soft-starter”, que consiste de pares de tiristores (SCR) ou combinações de tiristores/diodos, para cada fase do motor. A partida é controlada eletronicamente de modo que a tensão aplicada seja gradativamente e suavemente variada até atingir a tensão de trabalho, conseguindo assim com que a corrente de partida seja próxima a corrente nominal.

Neste sistema de propulsão também é comum encontrar hélices de passo controlado (HPC), pois diminui as grandes variações de carga sofridas pelo MEP. Usando o passo variável é possível fazer a reversão sem precisar parar o MEP, inverter o sentido da rotação e só então dar a partida novamente, manobra comum em motores elétricos menores como os usados nos guinchos de atracação e molinetes de ferros.

Um dos problemas apresentados pelo sistema acima proposto é que ele se opõe às variações de corrente, o que resulta na ocorrência de valores harmônicos de frequência. Esses valores harmônicos não constituem problema se pensarmos apenas no lado do consumo de energia, mas eles influenciam negativamente nos controles da automação, pois alteram a precisão dos mesmos. Sem precisão torna-se difícil manter o paralelismo dos geradores no mesmo barramento, devido aos erros de leitura dos instrumentos atrapalharem na distribuição de carga entre os geradores e até fazer com que a automação derrube algum gerador. Se algum gerador sair do barramento acarretará na perda de um MEP. Se isso acontecer enquanto o navio estiver manobrando para atracar ou se estiver pairando próxima a uma plataforma, haverá perda de controle da embarcação, pois sua capacidade de manobra de manobra seria reduzida drasticamente, logo os danos seriam enormes. Daí se percebe o porquê da grande preocupação com estes harmônicos.

Para se fazer o controle da velocidade nesses motores, usa-se atualmente inversores no lugar dos antigos atuadores mecânicos. Os inversores são componentes eletrônicos que são capazes de modular precisamente a amplitude e a frequência da onda que será enviada motor elétrico, controlando assim sua velocidade e torque desejados, entre outros parâmetros, adequando-os de acordo com a necessidade da operação específica que embarcação precisar desempenhar.

O uso dos inversores também causa a aparição de harmônicos no sistema elétrico devido à natureza do retificador de entrada. A solução é retificar a corrente antes que ela chegue ao inversor.

Usando todos estes artifícios para o controle da corrente é possível manter os GEP trabalhando em rotações ideais para o consumo de combustível enquanto os MEP podem variar sua velocidade independentemente das velocidades dos MCI e dos GEP. Caso seja necessária mais energia para os MEP, a automação acionará mais geradores e fará o balanceamento das cargas ativas e reativas entre eles, todos operando na faixa ideal para melhor economia.

CAPÍTULO IV

PROPULSÃO AZIPOD®

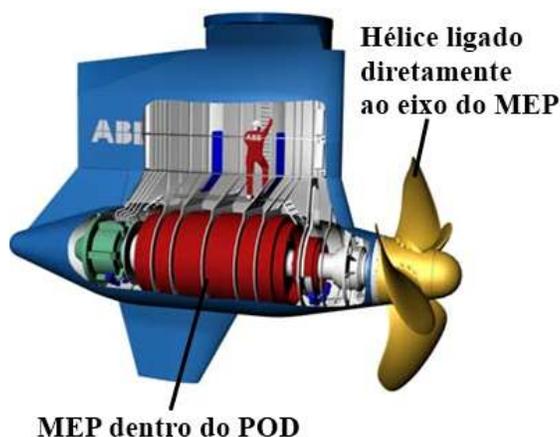
Mesmo o sistema de propulsão Azipod® fazendo parte do grupo de sistemas em corrente alternada, ele merece um capítulo a parte, pois possui diversas características que devem ser levadas em conta ao mencioná-lo.

O sistema AZIPOD® é o sistema com propulsão azimutal do Grupo ABB. Criado na década de 1990 é um sistema bem recente e revolucionou a área de propulsão marítima na época e vem evoluindo constantemente até os dias de hoje, visando sempre obter melhorias no sistema em geral mas mais especificamente no que tange a eficiência, tratando assim também das questões ambientais, e é claro, a manobrabilidade, o ponto forte do sistema.

Diferente dos outros sistemas azimutais onde o MEP estava no navio e a transmissão era feita através de eixos, o AZIPOD® possui o MEP no próprio POD e o hélice é assim ligado diretamente ao eixo do motor. Dispensando o uso do eixo tradicional é possível instalar o propulsor mais abaixo do casco do que o normal, alcançando assim um fluxo de água menos turbulento, proporcionando melhores hidrodinâmica e eficiência mecânica.

Figura 6 – POD do sistema de propulsão AZIPOD®

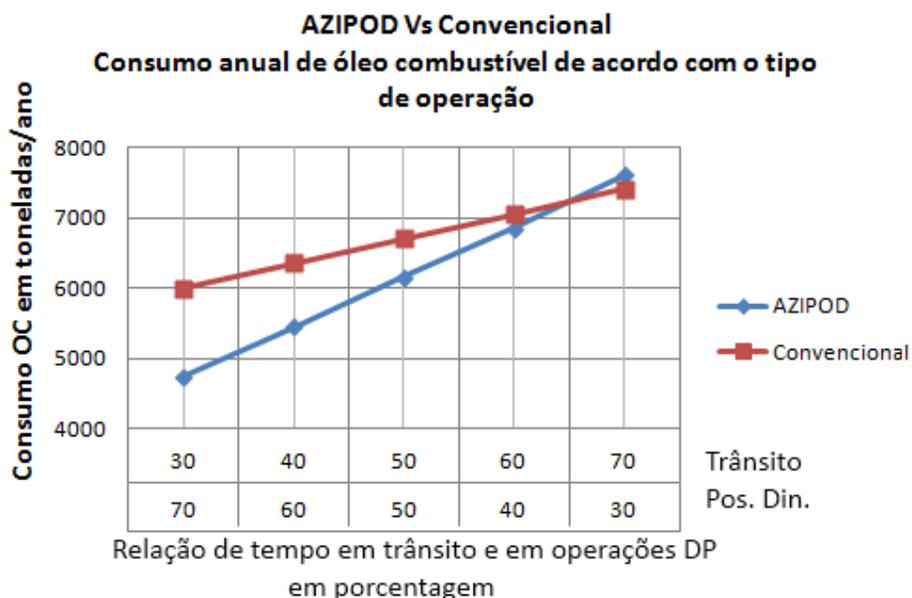
POD de um AZIPOD®



A transmissão da energia elétrica para o motor é feita através de anéis deslizantes, o que garante ao POD a rotação de 360 graus em torno do eixo. Em consequência do grande grau de liberdade do POD, a embarcação passa a dispor de uma grande capacidade de manobra quando equipado com esse sistema e ainda dispensa o uso de lemes, hélices laterais, thrusters e engrenagens redutoras.

Na figura 7 vemos um gráfico comparativo do consumo de óleo combustível (OC) relacionando uma embarcação com sistema AZIPOD® e outra com propulsão convencional com eixo acoplado ao MCP. O gráfico ainda separa o consumo de acordo com a relação de tempo em cada operação realizada, podendo ser em trânsito ou em operações de posicionamento dinâmico (DP).

Figura 7 – Comparação do gasto de OC no sistema AZIPOD® e no convencional de acordo com a operação realizada, trânsito ou operação de posicionamento dinâmico.



Nota-se que na medida em que a embarcação passa mais de 70% do tempo em trânsito e 30% em operações DP já não há mais vantagem no consumo de OC em relação ao sistema convencional, pelo contrário, há um gasto maior. A principal vantagem do sistema então é a aplicação em embarcações que necessitem de grande capacidade de manobra e que utilizem posicionamento dinâmico por longos períodos.

Mesmo às vezes o sistema não sendo tão econômico quando comparado ao sistema de propulsão convencional, como visto na figura 7, deve-se notar que a manutenção é também

um dos fatores que podem comprometer a economia de um sistema ou melhorá-la, como é o caso do AZIPOD®, que apresenta custos de manutenção menores do que os sistemas convencionais e menor número de máquinas para dar problema.

Além da óbvia economia de combustível que pode prover, o sistema proporciona um maior espaço dentro do casco e o principal é que ele também apresenta uma baixa emissão de gases poluentes por manter rotação constante, conseguindo obter sempre a melhor faixa de operação possível ao fazer o uso de controladores de frequência e amplitude para alterar a velocidade dos MEP sem alterar a velocidade dos GEP.

Em 2011 já havia mais de 100 navios com a tecnologia AZIPOD® instalada, e mais 240 encomendas de instalação, totalizando cerca de sete milhões de horas confiáveis acumuladas em atividades exigentes tais como navios quebra-gelo, navios de cruzeiro de luxo, navios de pesquisa, embarcações de apoio offshore, plataformas de perfuração, ferries e mega iates, demonstrando a confiabilidade do sistema.

4.1 – ARRANJOS POSSÍVEIS

As unidades AZIPOD® podem ser instaladas de formas variadas de acordo com a necessidade de maior manobrabilidade ou potência da embarcação. Encontra-se atualmente as instalações deste sistema nas seguintes configurações: arranjos simples, duplos e triplos, utilizado praticamente em qualquer embarcação atendendo às finalidades básicas; e arranjos do tipo CRP, utilizado para tarefas mais específicas, normalmente encontrado em navios do tipo RoRo, ferries e navios de carga e contêineres.

4.1.1 – ARRANJOS SIMPLES E DUPLO

O arranjo simples nada mais é do que a instalação de apenas um POD no casco do navio. Esse arranjo é mais voltado para navios tanque, enquanto que o duplo é comumente utilizado em luxuosos navios de passageiros, tais quais os cruzeiros, e também em ferries, utilizados para pequenas travessias transportando passageiros e carros muitas vezes.

Podemos ver na figura 8 uma instalação do arranjo duplo com uma nova tecnologia da ABB que é chamada por eles de X-tail, que é responsável por receber o fluxo de água do propulsor com um ângulo menos agudo do que o usado anteriormente, e seu novo design redireciona o fluxo mais eficientemente e o alinha fazendo com que haja menor efeito espiral da água.

Figura 8 – Arranjo duplo AZIPOD® com X-tail



4.1.2 – PROPULSÃO CRP

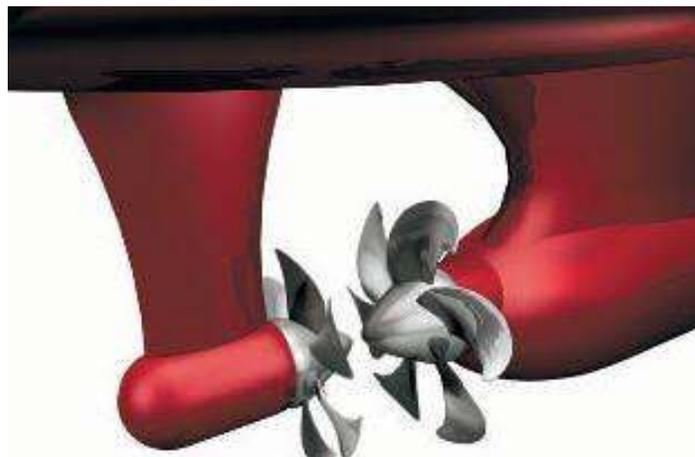
Em 2011 a ABB, empresa responsável pelo AZIPOD®, anunciou uma parceria com a Samsung para desenvolver um conceito de sistema de propulsão para o então novo navio contêiner da própria Samsung. Ao invés de ser direcionada por um leme, a embarcação apresentou um CRP Azipod diretamente atrás do propulsor principal. Ambos alinhados de forma concêntrica e sem ligação física, cada um girando em um sentido diferente.

Figura 9 – Esquema de uma embarcação com CRP AZIPOD®



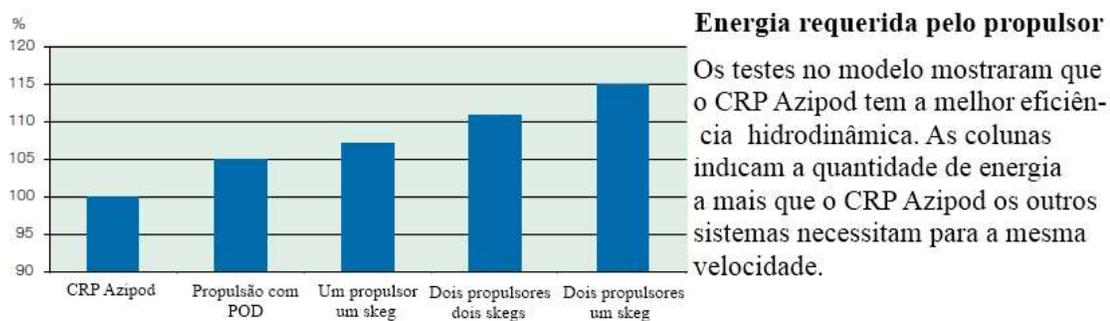
CRP do inglês é a abreviação de Contra Rotating Propellers. O propulsor ligado ao eixo convencional é responsável por direcionar um melhor fluxo de água de forma a fornecer mais energia para ser utilizada pelo propulsor traseiro.

Figura 10 – Sistema CRP AZIPOD® em um navio com casco com apenas um skeg.



O casco do navio com apenas um skeg é o mais suave possível, garantindo uma melhor hidrodinâmica. O hélice do Azipod é menor para prevenir um possível vórtice de cavitação formado pelo propulsor maior, o número de pás também é diferente um do outro para evitar ressonância e a velocidade do propulsor do Azipod é maior do que no propulsor principal de forma a garantir a máxima eficiência em ambos os propulsores.

Figura 11 – Comparativo de energia requerido por diversos sistemas de propulsor.



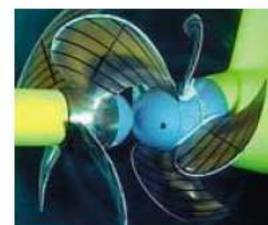
Um propulsor e um skeg



Dois propulsores e dois skegs



CRP Azipod



Teste de cavitação no CRP Azipod

Na figura 11 podemos ver a grande eficiência hidrodinâmica do CRP Azipod quando comparados a alguns outros sistemas de propulsão. A ABB afirma que são possíveis

melhorias de 10% na eficiência de propulsão hidrodinâmica, garantindo uma enorme economia de combustível e grandes velocidades.

Este sistema é mais utilizado para ferries rápidos e outros navios que precisem de bastante potência para o propulsor, como grandes navios contêineres. Em 2004 dois ferries japoneses foram equipados com o CRP AZIPOD®. A ShinNihonkai, empresa responsável pelos ferries, reportou economias de combustível de 20%, assim como 15% mais capacidade de transporte de carga, quando comparado com embarcações de tamanhos similares usando propulsão convencional com MCP.

4.1.3 – SISTEMA COMPACTO

Além dos arranjos já citados, utilizados em grandes navios, temos ainda o sistema compacto, mais voltado para menores embarcações com potências que variem entre 0,5 e 4MW, como iates e pequenos cargueiros. O sistema é modular, ou seja, a instalação é simples e pode ser feita facilmente em praticamente qualquer tipo de embarcação, trazendo benefícios durante a construção, manutenção e operação da embarcação.

4.1.4 – SISTEMA DE GOVERNO

Com a ausência de leme na presença do sistema Azipod, ele próprio assume a função de governar o navio. Pelo fato de o próprio Azipod ser o sistema de governo do navio, ele tem que obedecer às normas definidas pela Convenção SOLAS para sistemas de governo. A SOLAS exige condições mínimas de manobrabilidade em casos de emergência, onde o sistema deve ser capaz acionar por máquina hidráulica o controle de rotação horizontal.

Cada Azipod dispõe de dois motores hidráulicos para o controle da rotação horizontal, sendo um energizado pelo QEP e outro pelo QEE. Caso haja queda de energia no QEP o QEE será responsável pelo governo do Azipod, seguindo assim as normas da SOLAS. Durante a operação normal, apenas um conjunto motor-bomba hidráulica é acionado, ficando o outro em stand-by, de modo a ser acionado apenas em caso de emergência, quando será então energizado pelo QEE.

4.2 – CONCLUSÃO

O sistema AZIPOD® oferece inúmeras vantagens, como já foi visto no último capítulo, oferecendo alta manobrabilidade e eficiência hidrodinâmica superior, menores custos de manutenção por apresentarem menor quantidade de máquinas e também pela eliminação de grandes eixos, lemes, hélices laterais, hélices de passo variável e engrenagens reductoras. Os projetos dos cascos voltaram a ser o mais simples possível, diminuindo custos de construção, há mais espaço livre dentro do navio devido à menor quantidade de máquinas dentro do casco e há um menor nível de ruídos e vibrações. A segurança também é um ponto forte deste sistema, apresentando menor tempo de indisponibilidade e uma maior redundância. O meio ambiente também foi favorecido, pelo fato de o sistema apresentar uma maior economia de combustível e em consequência menores níveis de emissão de poluentes.

Mesmo apresentando as vantagens já expostas e algumas outras mais, o sistema ainda não é muito acessível a um maior número de embarcações pois a sua instalação é ainda muito cara, mas a tendência é os preços diminuírem à medida em que o sistema for mais adotado, pois sendo os componentes do sistema produzidos em série e em larga escala há uma maior possibilidade de se obter preços mais competitivos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com esta monografia podemos acompanhar a evolução da propulsão elétrica desde o seu surgimento até os mais atuais sistemas de propulsão e então podemos perceber uma tendência mundial voltada para aplicação deste sistema.

Com o passar do tempo muitos problemas foram sanados de forma satisfatória com constantes melhorias e inovações na área de propulsão elétrica, visando sempre a segurança, maiores economias de combustível e aumento da manobrabilidade dos navios.

Vimos que existem ainda hoje inconvenientes na propulsão elétrica, mas nada comparado aos problemas enfrentados no surgimento deste sistema. Hoje esse sistema é aplicado à uma ampla área de atividades marítimas, onde podem garantir uma melhor operação do que os sistemas convencionais.

A propulsão elétrica começa a receber uma maior atenção em virtude da baixa emissão de poluentes, visto que hoje em dia a principal preocupação tem sido com o meio ambiente, de forma a preservar melhor o nosso planeta e também o consumo dos bens não renováveis.

As tendências são claras. O número de embarcações fazendo o uso da propulsão elétrica vem aumentando nas últimas décadas e com as mais recentes tecnologias uma maior variedade de atividades marítimas pode feita com embarcações que dispõem desse sistema apresentando um melhor desempenho no aspecto geral.

Diante dos fatos apresentados, pode-se concluir que os sistemas marítimos de propulsão elétrica estarão cada vez mais no foco das empresas de navegação, tanto no cenário nacional como no internacional, ganhando cada vez mais espaço.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DOYLE, T., J., STEVENS, H., O., ROBEY, H., *An historical overview of navy electric drive*. Naval Symposium on Electric Machines Warfare Center, Annapolis Detachment, 1999.
- [2] HUMBLE, Richard, *Undersea warfare*. Chartwell Books, 1981.
- [3] ARRINGTON, J., W., *The analysis of components, designs, and operation for electric propulsion and integrated electrical system*. Monterey, California: Master of Science in Electrical Engineering, Naval Postgraduate School (NPS), 1998.
- [4] IBRAHIM, Eden Gonzalez. *Propulsão elétrica de embarcações*. Rio de Janeiro: Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, 2006.
- [5] OEHLERS, Werner. *95 years of diesel-electric propulsion form a makeshift solution do a modern propulsion system*. 2. Ed. Helsinki, Finlândia: Norwegian Society of Chartered Engineers, 1998.
- [6] ÅDNANES, Alf Kåre. *Maritime electrical installations and diesel electronic propulsion*. ABB AS Marine, 2003.
- [7] ABB Azipod Efficiency Improved Again.
<http://www.marinelink.com/news/efficiency-improved341498.aspx>
Acesso em: 15 de junho de 2012.
- [8] What is Azipod®?
<http://www.abb.com/cawp/db0003db002698/b4c6f2757969bba6c12571f100410217.aspx> Acesso em: 17 de junho de 2012.
- [9] ABB, Samsung develop new propulsion concept.
<http://www.marinelink.com/news/article/abb-samsung-develop-new-propulsion-concept/303953.aspx> Acesso em: 17 de junho de 2012.
- [10] The CRP Azipod Propulsion Concept, The most economic way from crane to crane. ABB Group.
<http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/90580p007%20crp%20azipod.pdf> Acesso em: 23 de julho de 2012.

GLOSSÁRIO

ABB	acrônimo da empresa Asea Brown Boveri
AZIPOD	abreviatura da expressão em língua inglesa “AZImuthing POdded Drive”. Usada pela empresa ABB para designar seu produto.
CA	abreviatura de corrente alternada.
CC	abreviatura de corrente contínua.
EAM	acrônimo de Embarcação de Apoio Marítimo, significando navio ou embarcação empregada em apoio às plataformas marítimas de petróleo.
GEP	acrônimo de Gerador Elétrico da Propulsão
HPC	abreviatura de Hélice de Passo Controlado
MB	abreviatura de Marinha do Brasil
MCP	abreviatura de Motor de Combustão Principal, significando um motor de combustão interna empregado na propulsão do navio, conectado diretamente ao eixo propulsor no sistema convencional, ou ligado a um gerador no caso da propulsão elétrica.
MEP	acrônimo de Motor Elétrico de Propulsão, significando um motor elétrico empregado na propulsão do navio.
POD	expressão técnica da língua inglesa, usada no meio marítimo para designar um conjunto propulsor com engrenagens ou motores que, muitas vezes, pode ser direcionado em azimute.
QEE	abreviatura de Quando Elétrico de Emergência.
QEP	acrônimo de Quadro Elétrico Principal.