

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA MARINHA MERCANTE-EFOMM
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DE NÁUTICA

LUIZ FELIPE VIEIRA MENDES

**TECNOLOGIAS DE OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA CASCO-PROPULSOR E SUAS
ATUAÇÕES NA EFICIÊNCIA DE EMBARCAÇÕES**

RIO DE JANEIRO

2017

LUIZ FELIPE VIEIRA MENDES

**TECNOLOGIAS DE OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA CASCO-PROPULSOR E SUAS
ATUAÇÕES NA EFICIÊNCIA DE EMBARCAÇÕES**

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

Orientador: Professor Hermann Regazzi Gerk
(Eng. Químico especialista em
Mecânica dos Fluidos)

RIO DE JANEIRO

2017

LUIZ FELIPE VIEIRA MENDES

**TECNOLOGIAS DE OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA CASCO-PROPULSOR E SUAS
ATUAÇÕES NA EFICIÊNCIA DE EMBARCAÇÕES**

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

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador: Mestre Hermann Regazzi Gerk

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

Aos meus pais

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha mãe, Márcia, pelo apoio incondicional em todas as etapas da minha vida, sem o qual jamais conseguiria alcançar meus objetivos. Obrigado por todo o carinho de sempre.

Ao meu orientador, professor Hermann Regazzi, grande mestre o qual tive o prazer de ser aluno e, desde os primeiros encontros, me motivou e incentivou com seu profundo conhecimento sobre o tema, competência e profissionalismo. Muito obrigado pelos ensinamentos.

Que todos os nossos esforços estejam
sempre focados no desafio à
impossibilidade. Todas as grandes
conquistas humanas vieram daquilo que
parecia impossível.

(CHARLES CHAPLIN)

RESUMO

No contexto do mundo globalizado, no qual as relações comerciais entre os países ocorrem de forma rápida, é fundamental dispor de navios que sejam simultaneamente econômicos e capazes de atender às demandas comerciais no menor tempo possível. Impulsionados por essa redução de custos e concomitantemente, visando atender às exigências de convenções, regulamentos e tratados internacionais quanto à emissão de poluentes na atmosfera, a construção de navios modernos vem buscando atender a esses parâmetros através de modificações na estrutura do casco, bem como a instalação de dispositivos no mesmo, com o objetivo de otimizar a eficiência das embarcações, seja pelo incremento na propulsão ou pela economia de combustível. O objetivo da presente pesquisa é apresentar essas tecnologias, suas vantagens e desvantagens, bem como os problemas para os quais estes dispositivos são construídos para solucioná-los.

Palavras-chave: Eficiência energética. Eficiência propulsiva.

ABSTRACT

In the context of the globalized world, in which trade relations between countries occur rapidly, it is essential to have ships that are both economical and capable of meeting these trade demands in the shortest time possible. Driven by this cost reduction and concomitantly, in order to meet the requirements of international conventions, regulations and treaties regarding the emission of pollutants into the atmosphere, the construction of modern ships has sought to meet these parameters through modifications in the structure of the hull as well as the installation of devices in order to optimize the efficiency of vessels, either by increased propulsion or by fuel economy. The objective of the present research is to present these technologies, their advantages and disadvantages, as well as the problems that these devices are built to solve.

Keywords: Energy efficiency. Propulsion efficiency.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** - Forças que atuam em uma embarcação
- Figura 2** - Formação da camada limite
- Figura 3** - Formação de vórtices e esteira
- Figura 4** - Modificação estrutural do bulbo de proa
- Figura 5** - *Mitsubishi Air Lubrication System*
- Figura 6** - *Silverstream Air Lubrication System*
- Figura 7** - Zonas de atuação dos dispositivos de equalização de esteira
- Figura 8** - *Pre swirl stator*
- Figura 9** – *Pre-swirl stator* do estaleiro sul coreano *Daewoo*
- Figura 10** – Duto *Becker Mewis* integrado com leme *Becker*
- Figura 11** – *Becker Twisted Fin*
- Figura 12** - Duto *Schneekluth* integrado com aletas
- Figura 13** - *SHI Safer Fin*
- Figura 14** - Aletas *Grothues*
- Figura 15** - *Low Vicious Fin*
- Figura 16** - *Namura Control Fin*
- Figura 17** - *HHI Hi-Fin*
- Figura 18** - Navio tanque *Roy Maersk* com *CLT Propeller*
- Figura 19** - Propulsor *Kappel*
- Figura 20** - Propulsor azimutal *Azipod* patenteado pela *ABB Motors*
- Figura 21** - Navio de passageiros *Amsterdam* dotado de propulsão azimutal
- Figura 22** - Sistema de hélices contra rotativas
- Figura 23** - Sistema de hélices contra rotativas com eixos independentes
- Figura 24** - Conjuntos de hélices gêmeas
- Figura 25** - Sistema *Schottel Twin Propellers*
- Figura 26** - *Rudder Bulb Hubcap*
- Figura 27** - *Interceptor with Rudder Bulb*
- Figura 28** - *HHI Thrust-fin*
- Figura 29** - Leme assimétrico
- Figura 30** – Volante *Grim Vane*

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABB	Asea Brown Boveri
BMW	Becker Mewis Duct
CLT	Contracted and Loaded Tip Propeller
CO2	Gás Carbônico
DMSE	Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering
DNV	Det Norske Veritas
ESD	Energy Saving Devices
HHI	Hyundai Heavy Industries
IMO	International Maritime Organization
ITTC	International Towing Tank Conference
MALS	Mitsubishi Air Lubrication System
MARPOL	Marine Pollution
NYK	Nippon Yusen Kaisha
Promas	Propulsion and Manoeuvring System
Ro/Ro	Roll-on/Roll-off
SHI	Samsung Heavy Industries
STP	Schottel Twin Propellers
TBT	Tri-Butyl-Tin
Va	Velocidade de Avanço
V	Velocidade do Navio
VSP	Voith Schneider Propeller
W	Fator de Esteira

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	CONCEITUAÇÃO	14
2.1	Forças que atuam em uma embarcação	14
2.2	Camada limite	15
2.3	Esteira	16
2.4	Fator de esteira	17
3	TECNOLOGIAS	19
3.1	Tecnologias com atuação na resistência ao avanço	19
3.1.1	Modificação estrutural do bulbo de proa	21
3.1.2	Sistema de lubrificação do casco	22
3.1.3	Tintas anti-incrustantes	23
3.2	Tecnologias com atuação na equalização da esteira	24
3.2.1	Dispositivos avante do propulsor	25
3.2.1.1	<i>estatores de pré-giro</i>	25
3.2.1.2	<i>dutos de alta eficiência</i>	27
3.2.1.2.1	<i>duto Becker Mewis</i>	27
3.2.1.2.2	<i>duto Schneekluth</i>	29
3.2.1.3	<i>defletores</i>	30
3.2.1.3.1	<i>transversais à linha de fluxo</i>	30
3.2.1.3.2	<i>paralelos à linha de fluxo</i>	31
3.2.2	Dispositivos no propulsor	33
3.2.2.1	<i>hi-fin</i>	33
3.2.2.2	<i>contracted and loaded tip propeller</i>	34
3.2.2.3	<i>kappel propeller</i>	35
3.2.2.4	<i>propulsão azimutal</i>	36
3.2.2.5	<i>hélices de contra-rotação</i>	37
3.2.2.6	<i>hélices gêmeas</i>	39
3.2.3	Dispositivos após o propulsor	41
3.2.3.1	<i>bulbo de leme ou bulbo costa</i>	41
3.2.3.2	<i>aleta de impulso no cadaste</i>	43
3.2.3.3	<i>leme assimétrico</i>	44
3.2.3.4	<i>volante grim vane</i>	45

4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
	REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

No o auge da Revolução Industrial, os motores a vapor estavam transformando as indústrias como consequência do processo de redução de custos e maximização de lucros e, no setor da indústria naval, este processo não foi diferente. Nesse contexto, com o intuito de aperfeiçoar a eficiência propulsiva nas embarcações da época, coube ao visionário engenheiro *Izambard Kingdom Brunel* a incumbência de tornar esses grandes motores industriais adequados para que pudessem ser empregados em navios, o que foi idealizado, inicialmente, através da redução de suas dimensões. Além dessa redução, foi também necessário incrementar as embarcações com vigas de ferro ao longo de toda sua estrutura para que o navio não partisse devido ao peso dos motores.

Com a instalação dos motores, a força propulsiva preconizada foi viabilizada pelos dispositivos então conhecidos como rodas de pás - grandes rodas de madeira, posicionadas a meio navio em ambos os bordos - que, apesar de causarem uma grande perda na eficiência propulsiva quando emersas, por ocasião do balanço do navio, representaram um grande avanço no que concerne à eficiência propulsiva, ao diminuir substancialmente o tempo das viagens.

O impasse das rodas de pás ficarem emersas mostrou para a engenharia da época a necessidade de se construir propulsores que ficassem totalmente submersos e, conforme novas necessidades foram surgindo com o tempo, foi possível compreender a importância de melhorias contínuas acerca de uma eficiente máquina propulsiva nas embarcações.

Com o passar das décadas e o estreitamento das relações comerciais entre os países - mais especificamente a partir do século XX - houve um aumento considerável no porte dos navios, com o intuito de melhor atender a essas crescentes demandas, exigindo assim uma diminuição ainda maior no tempo das viagens. Tal fato exigiu a construção de propulsores mais eficientes tanto do ponto de vista da propulsão quanto da eficiência energética, uma vez que os propulsores até então utilizados tornaram-se ineficazes para as atuais dimensões dos navios, além de requererem um alto consumo de combustível.

Embora tenham surgido algumas inovações nesse período, foi somente a partir de década de setenta que houve um esforço efetivo no sentido de incrementar

a eficiência nos navios. Tal fato decorreu, principalmente, da crise do petróleo e o consequente aumento no preço dos combustíveis navais, concomitantemente ao estabelecimento de convenções, tratados e regulamentações internacionais no âmbito da Organização Marítima Internacional (IMO) para redução da emissão de gases poluentes à atmosfera.

Diante desse contexto, a engenharia naval e as grandes empresas do setor marítimo vêm, desde então, aprimorando técnicas, realizando inovações e experimentos, que buscam cada vez mais fornecer soluções eficientes para o incremento na propulsão e a redução no consumo de combustível. Para tal, faz-se necessária uma série de estudos e análises, sobretudo no que concerne à hidrodinâmica, a fim de promover uma otimização entre o casco, o propulsor e o meio em que a embarcação se desloca, tendo como objetivo final a redução das perdas e maximização dos lucros.

Neste trabalho serão apresentadas as mais recentes tecnologias de otimização do casco nas embarcações, com objetivo de atuar na eficiência propulsiva e energética dos navios. Basicamente, trata-se de alterações de forma de casco, bem como a instalação de dispositivos avante, no propulsor e a ré do propulsor, além da utilização de propulsores especiais, com os objetivos de tornar o escoamento do fluido pelo casco do navio mais eficaz, além de promover uma melhor atuação na esteira do navio.

Cabe ressaltar que essas tecnologias devem, sempre que possível, ser usadas conjuntamente, processo conhecido como sinergia, a fim de diminuir ao máximo as perdas que uma embarcação sofre ao deslocar-se sobre a água. Pode-se afirmar que ainda não se chegaram a soluções definitivas, cabendo, portanto, novas pesquisas que acarretarão inovações.

2 CONCEITUAÇÃO

As tecnologias desenvolvidas pela engenharia nos processos de otimização de um casco são resultados de análises hidrodinâmicas complexas, que envolvem, mais especificamente, o estudo da mecânica dos fluidos. Desta forma, faz-se necessária a apresentação dos conceitos mais relevantes utilizados como base de pesquisa pelos projetistas.

2.1 Forças que atuam em uma embarcação

Por se tratar de uma massa submetida a um campo gravitacional, as embarcações estão submetidas à força peso. Paralelamente, estando imersas na água, estão também submetidas ao empuxo, força resultante do campo de pressões ao longo do casco cuja resultante é dirigida para cima. Esta força é de natureza hidrostática, caracterizada pelo peso do fluido deslocado ou peso da carena do navio.

Por ocasião do deslocamento do navio, surgem duas forças: o *thrust* e o arrasto. No que diz respeito ao *thrust*, pode-se dizer que a rotação do propulsor aumenta a quantidade de movimento no fluido, acelerando uma massa de fluido para ré. Pela terceira lei de Newton, essa massa de fluido que foi acelerada reage impulsionando o conjunto para vante, gerando essa de força reativa de natureza hidrodinâmica.

O arrasto pode ser compreendido como uma força de natureza hidrodinâmica dada pelo somatório de todas as componentes que se opõe ao movimento do navio, sendo subdividido basicamente em quatro tipos de resistência:

- a) entre o casco e a água, conhecida como resistência de superfície ou friccional;
- b) resistência devida à energia gasta na formação de turbilhões ou vórtices pelo casco e seus apêndices, conhecida como resistência de forma;
- c) resistência de ondas, devida à energia cinética existente no casco, que ao entrar em contato com a água transfere parte desta energia e
- d) resistência do vento, devida à passagem do ar através da superestrutura e de parte do casco acima d'água.

É importante mencionar que as tecnologias de otimização do sistema casco-propulsor são desenvolvidas com o objetivo de promover modificações nas forças de

natureza hidrodinâmica, tendo sempre como objetivo o incremento do *thrust* e a redução do arrasto.

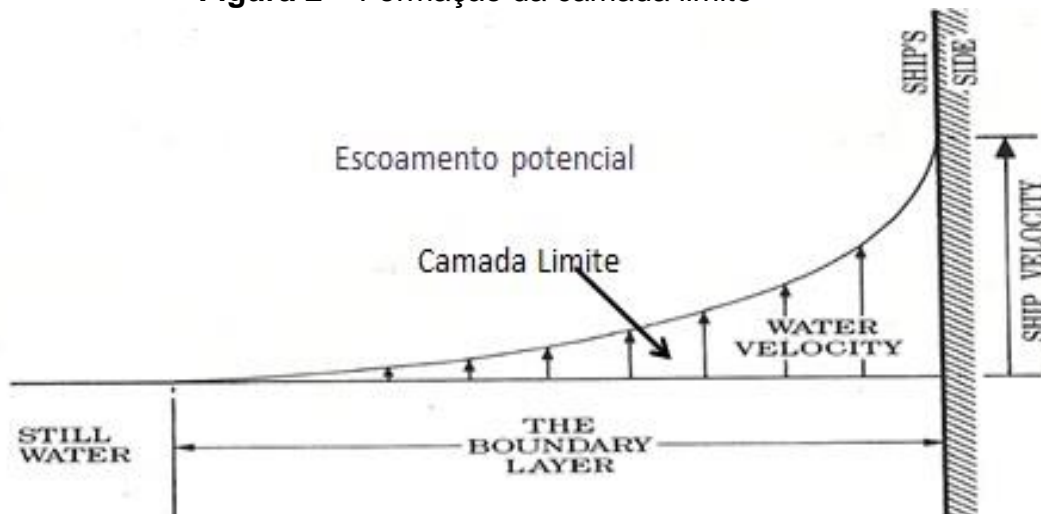
Figura 1 – Forças que atuam em uma embarcação



Fonte: GERK, Hermann Regazzi – Curso de Hidrodinâmica, 2016

2.2 Camada limite

Por ocasião de seu deslocamento, o navio carrega consigo uma camada de aderência, denominada camada limite. Trata-se de uma região do escoamento em que a velocidade do fluido é perturbada por esforços cisalhantes devido à presença de uma superfície sólida. Pelo princípio da aderência, a velocidade é máxima junto ao casco e devido aos esforços cisalhantes, vai diminuindo até o escoamento potencial, conforme ilustra a figura seguinte:

Figura 2 – Formação da camada limite

Fonte: GERK, Hermann Regazzi – Curso de Hidrodinâmica, 2016

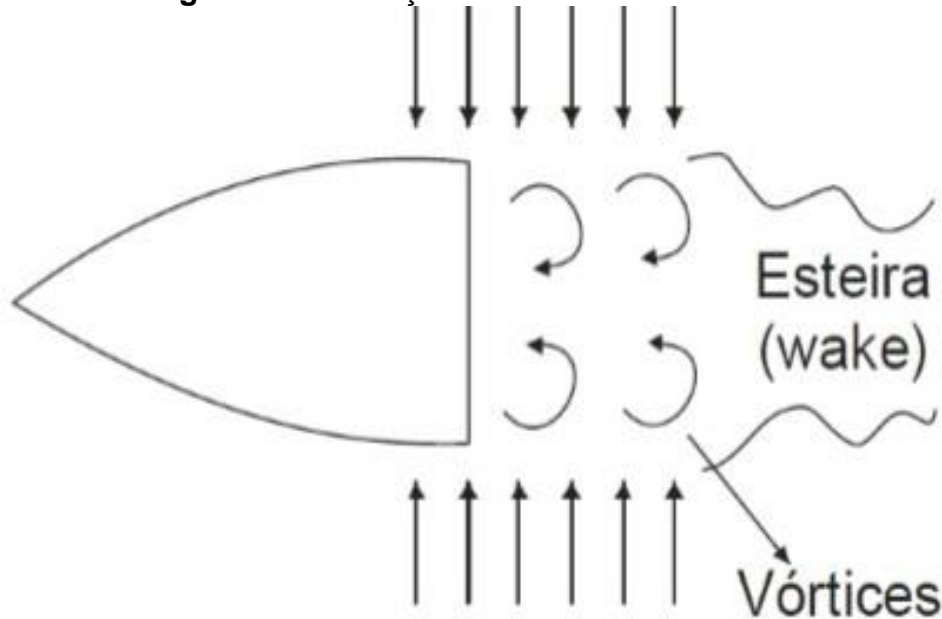
Conforme o fluido percorre o casco, nota-se um aumento na camada limite, bem como um aumento na velocidade conforme esta camada se afasta do casco. Essa variação de velocidades gera tensões cisalhantes e, no momento em que há uma mudança brusca na seção do objeto ou quando este termina, a camada limite se desprende, originando vórtices que dissipam sua energia cinética na esteira.

É importante ressaltar que a camada limite irá depender da área de flutuação do navio, atingindo o seu máximo volume e máxima velocidade na linha d'água do navio. A partir daí vai diminuindo até a quilha, onde é praticamente nula. A velocidade desta água arrastada pode chegar a 10% da velocidade do navio, possuindo assim, considerável atuação sobre a eficiência dos navios.

2.3 Esteira

Conforme a embarcação avança, forma-se uma região vazia em torno da popa do navio. Pelo princípio do contínuo, esse espaço não ficará desprovido de matéria e, sendo assim, a água em torno da popa adquire um movimento no sentido do deslocamento do navio, a fim de preencher este espaço vazio. Esse deslocamento da água no sentido de acompanhar o deslocamento do navio denomina-se esteira. Depreende-se então que o campo da esteira apresenta uma grande complexidade em termos de pressões e velocidades.

Figura 3 – Formação de vórtices e esteira



Fonte: GERK, Hermann Regazzi – Curso de Hidrodinâmica, 2016

2.4 Fator de esteira

Como consequência da formação da esteira, tem-se que a velocidade de avanço de um propulsor relativa ao fluido em que este opera é menor do que a velocidade observada do navio. Essa diferença de velocidades é expressa em porcentagem da velocidade do navio e é conhecida como fator de esteira, dado pela seguinte expressão:

$$W = (V - V_A) / V$$

A análise deste fator possui grande relevância, pois, dependendo da região em que operam, as pás dos propulsores ficam submetidas a diferentes fatores de esteira e, conseqüentemente, a diferentes carregamentos mecânicos. Essa diferença de carregamentos gera pulsos de pressão, que são transmitidos pela própria água ou pelo eixo, podendo resultar em uma ressonância estrutural do casco, caso a frequência dos pulsos de pressões formem um harmônico com a frequência de vibração natural do casco, o que culmina em uma perda na eficiência propulsiva dos navios.

Percebeu-se, então, que a pá na posição das doze horas fica submetida a um grande carregamento mecânico, em função do fator de esteira ser maior próximo à linha de flutuação. De modo análogo, a pá das três e das nove horas estão submetidas a um carregamento mediano, enquanto que a pá das seis horas está submetida a um menor fator de esteira.

É importante mencionar que o valor do coeficiente de esteira depende, além das velocidades do navio de avanço do propulsor, do formato do casco do navio, da localização e do tamanho do propulsor. De acordo com a *Wärtsilä*, empresa fornecedora de equipamentos navais, para embarcações com um único propulsor, o valor do fator de esteira fica entre 0,20 e 0,45. Navios com um grande coeficiente de bloco, como os navios porta-contêineres e navios tanque, possuem um elevado fator de esteira, independente do número de propulsores, pois a distribuição da velocidade da água ao redor do propulsor é muito turbulenta nesses navios.

3 TECNOLOGIAS

Conforme os estudos foram evoluindo, os projetistas concluíram que para garantir a máxima eficiência propulsiva e energética, levando em consideração as atuais dimensões e propósitos dos navios modernos, seria necessário realizar incrementos não somente no propulsor, como também no casco, e mais especificamente, seria necessário promover uma eficiente integração entre esses dois sistemas.

As tecnologias atuais que atendem a esses parâmetros englobam um conjunto complexo, que necessita ser analisado individualmente, fazendo-se necessário, então, dividi-lo em duas vertentes: as tecnologias com ênfase na resistência ao avanço, que visam, principalmente, reduzir o consumo de combustível e as tecnologias com atuação na equalização da esteira, com objetivo principal de gerar incrementos na propulsão, além de apresentar resultados consideráveis na eficiência energética.

É importante mencionar que atualmente estão disponíveis no mercado diversas dessas tecnologias, de diferentes fabricantes, visando atender a diferentes tipos de embarcações, com suas próprias características e propósitos. A aplicação de cada dispositivo, ou ainda a combinação sinérgica de alguns deles, irá variar conforme o tipo de embarcação, suas áreas de atuação, limitações físicas de projetos e também a critério do armador. Uma embarcação de apoio à plataforma, por exemplo, certamente empregará dispositivos diferentes daqueles instalados em um navio conteneiro. Além disso, dependendo dos fatores acima mencionados, muitas dessas tecnologias podem se resumir à utilização dos denominados propulsores especiais, apresentando maior vantagem no incremento da propulsão e na redução do consumo de combustível.

Nesse sentido, serão apresentadas as mais recentes tecnologias de otimização do sistema casco-propulsor, divididas em suas áreas de atuação e aplicadas a cada um desses grupos de embarcações.

3.1 Tecnologias com atuação na resistência ao avanço

Por se tratar de um processo complexo, a otimização de um casco passa por diversas etapas, sendo uma das mais importantes a criação de um eficiente escoamento ao redor do casco, através da diminuição da resistência ao avanço,

mais especificamente da resistência friccional e da resistência de ondas. Essa diminuição da resistência ao avanço é obtida principalmente por meio de alterações na forma do casco, bem como a instalação de dispositivos no mesmo. Sendo assim, a tendência do mercado para este segmento visa à construção de cascos hidrodinâmicos, isto é, cascos que sejam dotados de modificações em sua estrutura ou que apresentem dispositivos de otimização integrados ao mesmo.

Atualmente, diversas tecnologias já foram desenvolvidas no sentido de atenuar essa resistência. Dentre elas, merece destaque o bulbo de proa, com atuação na eficiência energética para o navio na condição de gerador de ondas, alterando significativamente a forma da onda causada pela proa em movimento, reduzindo o arrasto induzido pela onda no casco, o que garante uma diminuição no consumo de combustível. Todavia, cabe mencionar que a utilização do bulbo deve ser cuidadosamente considerada, pois eles aumentam a área molhada, aumentando a resistência viscosa. Para que a utilização do bulbo seja eficaz, este aumento deverá ser menor do que o ganho obtido na redução desta resistência viscosa.

Além do bulbo de proa, outra tecnologia já desenvolvida para diminuir o arrasto que merece destaque é o *Axe Bow* (X-Bow). Esta forma de otimização do casco atua na eficiência energética para o navio na condição de receptor de ondas, diferente, portanto da atuação do bulbo de proa. Concebido pela *Norwegian Ullsten Group* em 2006, o *X-Bow* introduz um formato arredondado na proa das embarcações, com um pequeno alargamento na parte mais avante do navio. Tal formato proporciona um aumento no volume avante e acima, permitindo que a embarcação responda com eficiência a grandes ondas, diferentemente de uma proa convencional, que empurra as ondas para baixo e para vante, retardando o avanço do navio. Dentre os aperfeiçoamentos advindos desta forma de otimização, pode-se destacar a redução da perda de velocidade em ondas, que se reflete em uma diminuição considerável do consumo de combustível para a mesma velocidade do navio.

Embora as tecnologias acima mencionadas contribuam significativamente com a eficiência energética, a busca constante pelo menor consumo de combustível tem fomentado a necessidade de novas tecnologias nesse segmento. Aliado a isso, novas regulamentações internacionais no âmbito da IMO acerca da redução da emissão de poluentes atmosféricos, como o anexo VI da MARPOL (73/78) que,

dentre outras medidas, determina a redução na emissão de enxofre em combustíveis marítimos para um valor menor que 0,5% até o ano de 2020, vêm exigindo que novas pesquisas sejam realizadas neste setor. Nesse contexto, serão apresentadas e detalhadas as especificações técnicas das mais recentes tecnologias deste segmento marítimo.

3.1.1 Modificação estrutural do bulbo de proa

A modificação do bulbo de proa é uma maneira eficiente de reduzir o consumo de combustível nos navios. Empresas como o grupo *Nippon Yusen Kaisha* (NYK) e a linha *Maersk* utilizam esta técnica com sucesso nos navios de suas frotas.

O grupo NYK fez ajustes no bulbo de em navios conteneiros, resultando em uma redução verificada de 23% nas emissões de dióxido de carbono (CO₂) ao longo de meio ano, enquanto o grupo *Maersk* conseguiu reduzir os custos de combustível em aproximadamente 8%. A *Det Norske Veritas* (DNV) também realizou um estudo abrangente para desenvolver uma nova forma de bulbo de proa otimizada para as condições comerciais esperadas. Depois de implementado o sistema, os resultados mostraram consumo de combustível reduzido em quase mil toneladas por ano.

Figura 4 – Modificação estrutural no bulbo de proa



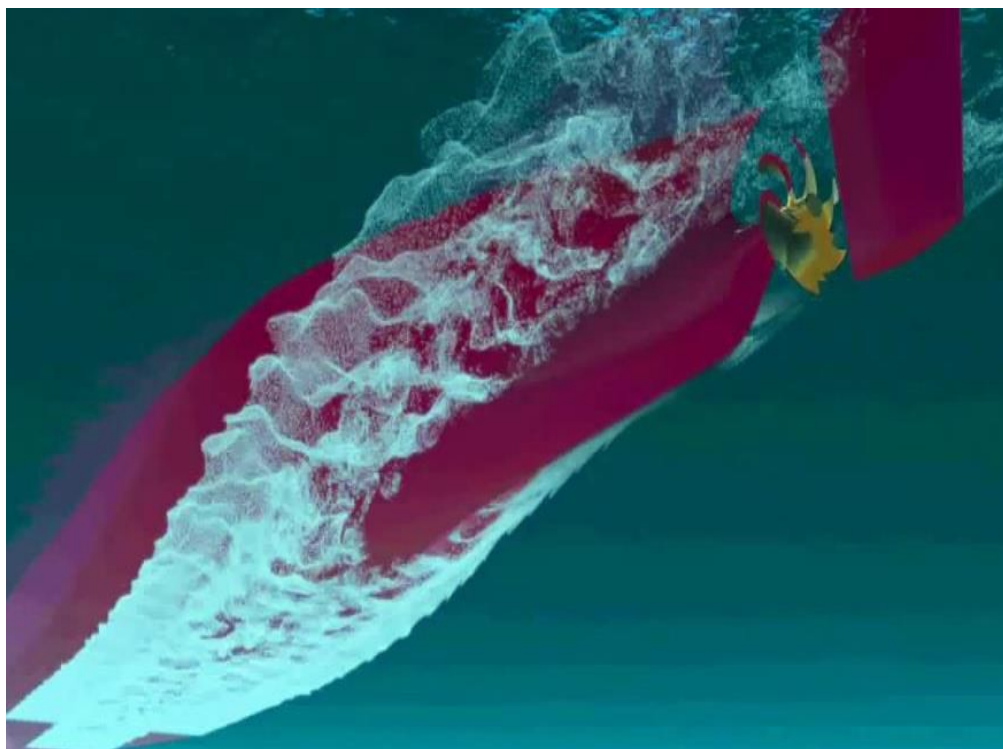
Fonte: <http://www.marineinsight.com/tech/7-technologies-to-reduce-fuel-consumption-of-ships>

3.1.2 Sistema de lubrificação do casco

Assim como a alteração estrutural do bulbo, esse sistema possui atuação na eficiência energética, sendo composto basicamente por um dispositivo utilizado para gerar as bolhas de ar e passá-las continuamente sob o casco do navio. As saídas de ar são dispostas ao longo do fundo do casco e o ar é soprado a uma taxa constante, de modo a formar uma camada contínua de bolhas distribuídas simetricamente em ambos os lados da linha de centro do navio, o que reduz consideravelmente a resistência entre o navio e a água do mar. Com o projeto correto do casco e dependendo do porte do navio, o sistema poderá atingir uma redução de 10 a 15% das emissões de gás carbônico, garantindo assim uma eficiente redução de poluentes na atmosfera, bem como uma economia significativa de combustível.

Embora seja uma tecnologia promissora, este sistema ainda é restrito para certos tipos de navios. A *Mitsubishi*, empresa que preconizou o projeto com o sistema *Mitsubishi Air Lubrication System* (MALS), afirma que até o momento o sistema pode ser usado somente em navios com cascos planos, como navios *Roll-on/Roll-off* (Ro-Ro) e *Heavy-lifts*. Navios de cascos irregulares podem não usufruir inteiramente dos benefícios do sistema.

Figura 5 – Mitsubishi Air Lubrication System



A *Silverstream Technologies* também instalou o seu sistema de lubrificação a ar, o *Silverstream System*, em navios da *Norwegian Cruise Line*. A análise extensiva do desempenho dos dados do ensaio marítimo original da *Silverstream System*, financiado pela *Royal Duct Shell*, empresa multinacional anglo-holandesa, confirmou economias na eficiência energética de 4%, podendo alcançar até 8% para navios maiores.

Cabe mencionar que uma grande vantagem desta tecnologia está na flexibilidade de instalação, podendo ser adicionada a um novo projeto de construção ou ser adaptada a um navio existente.

Figura 6 - Silverstream Air Lubrication System



Fonte: <https://www.marinelink.com/news/silverstream-lubrication418320>

3.1.3 Tintas anti-incrustantes

Com o tempo, a incrustação marinha e as condições do mar danificam a superfície do casco do navio. À medida que a resistência de superfície causada pelo fluxo de água sobre o casco aumenta, o motor precisa consumir mais combustível para superar essa resistência. Desta forma, a aplicação de revestimentos protetores de tintas anti-incrustantes faz-se necessária, resultando em um casco liso e sem

qualquer incrustação marinha, o que diminui consideravelmente a resistência causada pelo fluxo de água e, conseqüentemente, reduz o consumo de combustível em valores que podem chegar até 8%.

O *Tri-Butyl-Tin* (TBT) foi, durante muitos anos, uma tinta muito empregada como principal toxina contra o crescimento marinho. No entanto, verificou-se que este tipo de pintura era prejudicial à flora e fauna marinha. Por esta razão, atualmente utilizam-se outros métodos, como a pintura autoerosiva, que utiliza um biocida mais fraco e garante os mesmos resultados na redução do consumo de combustível.

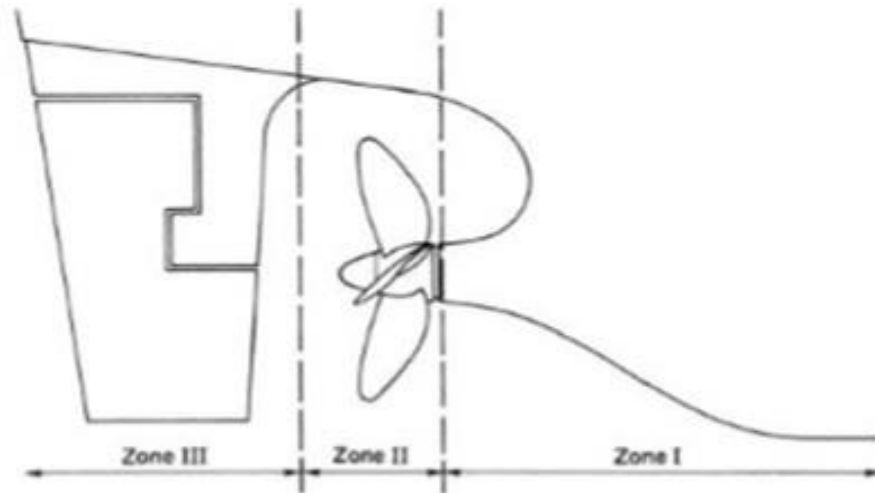
3.2 Tecnologias com atuação na equalização da esteira

A redução da resistência ao avanço, embora exerça grande influência em termos de eficiência energética, não garante a melhor condição operacional, além de não atuar diretamente no incremento da propulsão do navio, mesmo com uma eficiente forma de casco e uma correta integração entre o motor e o propulsor. Para garantir o incremento na propulsão, é fundamental também uma eficiente atuação na esteira do navio, que pode ser obtida com a instalação dos dispositivos equalizadores de esteira, além da utilização dos propulsores especiais.

Os dispositivos empregados nesta tecnologia têm por finalidade direcionar sua atuação para a entrada e saída do fluxo do fluido no propulsor, direcionando as linhas de corrente para o propulsor, de modo a transformar a componente axial de entrada do fluido em uma componente rotacional, diminuindo assim o trabalho realizado pelo propulsor e, por ocasião da passagem do fluido pelo propulsor, impedir que o fluido desloque-se de uma área de alta para baixa pressão. Por ocasião da saída do fluido do propulsor, os dispositivos reconvertem esta componente rotacional novamente em uma componente axial útil à propulsão.

É importante mencionar que, embora a utilização dos dispositivos equalizadores de esteira apresentem resultados satisfatórios com o hélice convencional, muitas vezes, tem-se obtido resultados satisfatórios com a substituição, ou até mesmo a utilização em conjunto de algumas dessas tecnologias com os propulsores especiais, razão pela qual os mesmos serão apresentados nesta abordagem.

Figura 7 – Zonas de atuação dos dispositivos de equalização de esteira



Fonte: BERBERT, Yuri Magnami – A Influência de *Energy Saving Devices*

3.2.1 Dispositivos avante do propulsor

A possibilidade de aplicação destes dispositivos são maiores em relação aos dispositivos no hélice e após o hélice devido ao maior espaço ofertado na parte avante do propulsor em um casco de navio moderno.

A instalação dos dispositivos nesta zona visa à indução de um pré-giro no fluido, bem como proporcionar uma canalização do fluxo de água para as pás que operam próximas a posição das 12 horas, posição em que ocorre o maior fator de esteira e, conseqüentemente, o maior carregamento da pá do hélice.

3.2.1.1 estatores de pré-giro

Os estatores de pré-giro (*pre-swirl stator*) são dispositivos complexos em formato de aerofólio, formados por um conjunto de lâminas avante do propulsor. O objetivo deste sistema é induzir um pré-giro no fluido, fazendo o fluido girar antecipadamente e em sentido oposto ao sentido de rotação do propulsor, reduzindo assim as perdas rotacionais do hélice.

É importante mencionar que devido à complexidade deste sistema, a instalação dos estatores pode ser bem sucedida ou não, dependendo da sua aplicação. Por isso, deve ser integrado com o desenho do casco e, sempre que possível utilizado de forma sinérgica com outros dispositivos, como os dutos de alta eficiência.

Figura 8 – Pre-swirl stator



Fonte: GERK, Hermann Regazzi – Curso de Hidrodinâmica, 2016

O estaleiro sul-coreano *Daewoo* desenvolveu um *pre-swirl* que oferece um aumento da eficiência propulsiva entre 1 a 6,3%.

Figura 9 - Pre-swirl stator do estaleiro sul-coreano *Daewoo*



Fonte: BERBERT, Yuri Magnami – A Influência de *Energy Saving Devices*

3.2.1.2 dutos de alta eficiência

São dispositivos equalizadores de esteira especialmente projetados para reduzir os problemas com vibração - responsável pela perda na eficiência propulsiva - uniformizando o fluxo de água no propulsor e reduzindo os efeitos do pico de esteira. Podem ser combinados sinergicamente com estatores ou aletas, conforme anteriormente mencionado, aumentando consideravelmente a eficiência propulsiva.

Dentre os dutos existentes no mercado, merecem destaque por sua atuação o duto *Becker Mewis* (BMW) e o duto *Schneekluth*.

3.2.1.2.1 duto Becker Mewis (BMW)

Trata-se de uma inovação da empresa *Becker Marine Systems*. O sistema é composto por dois elementos fixamente acoplados à estrutura do casco: o duto e os estatores, formados por um conjunto de lâminas internas ao duto. Foi projetado visando solucionar o problema da baixa eficiência propulsiva devido à vibração em navios com grandes coeficientes de bloco, como graneleiros, navios tanque e porta-contêineres, em que seus propulsores operam em campos de esteira desfavoráveis devido a grande boca destes navios.

A atuação na eficiência propulsiva se dá pela operação conjunta destes dois dispositivos. O duto irá direcionar e acelerar o fluxo de água para o propulsor, enquanto que o sistema de lâminas integradas, formado pelos estatores, irá produzir um pré-giro no fluxo de água na direção contrária de rotação do eixo, resultando em considerável economia e aumento na propulsão avante.

No que tange a eficiência energética, o modelo de testes utilizando o duto atingiu uma velocidade de 16,45 nós, o que equivale a uma economia de potência de 4,5%. Para maior eficiência, este duto pode ser integrado com dispositivos pós-hélice, como o *Boss Cap Fin* e o leme *Becker*.

Figura 10 - Duto *Becker Mewis* integrado com leme *Becker*



Fonte: http://www.becker-marine-systems.com/03_products/products_mewis.html

Embora apresente grande eficiência em navios com grandes coeficientes de bloco, o BMW mostra-se ineficaz quando esses navios empregam grandes velocidades de cruzeiro. Desta forma, surgiu um aperfeiçoamento do BMW, denominado *Becker Twisted Fin*, especialmente projetado para navios mais rápidos, capazes de empregar velocidades acima de dezoito nós. Dentre as principais diferenças, pode-se dizer que o anel do bocal é menor que o *Becker Mewis Duct* e, além disso, as aletas neste dispositivo se prolongam para fora do bocal.

Figura 11 – *Becker Twisted Fin*



Fonte: GERK, Hermann Regazzi – Curso de Hidrodinâmica, 2016

3.2.1.2.2 duto Schneekluth

A atuação deste duto de alta eficiência consiste em direcionar o fluxo de água para a parte superior do propulsor, ou seja, para as pás que operam próximas a posição das 12 horas, homogeneizando a esteira e melhorando a eficiência. O duto acelera o fluxo por meio da força de sustentação, gerada pela forma de sua seção.

Conforme as inovações foram evoluindo, descobriu-se que a eficiência deste sistema seria maximizada se fossem incluídos no projeto duas aletas em cada bordo, uma acima da linha de centro e mais próxima do duto e outra mais afastada e abaixo da linha de centro, responsáveis por direcionar o fluxo de água para o duto.

Dentre as melhorias do sistema, pode-se citar a redução de até 50% nas vibrações, proteção dos componentes eletrônicos, melhor controle da embarcação, economia de até 12% no consumo de combustível e redução na emissão de poluentes.

Figura 12 - Duto Schneekluth integrado com aletas



Fonte: GERK, Hermann Regazzi – Curso de Hidrodinâmica, 2016

3.2.1.3 defletores

Trata-se de apêndices instalados no casco próximo ao propulsor, com o objetivo de melhorar o fluxo de entrada do fluido no hélice, reduzindo os pulsos de pressão e vibração.

Atualmente, diversos tipos de defletores vêm sendo desenvolvidos no mercado com diferentes perfis e resultados, alguns com perfis planos e outros com perfis de asa. Basicamente, eles são divididos conforme sua instalação em relação ao fluxo de água como transversais à linha de fluxo ou paralelos à linha de fluxo.

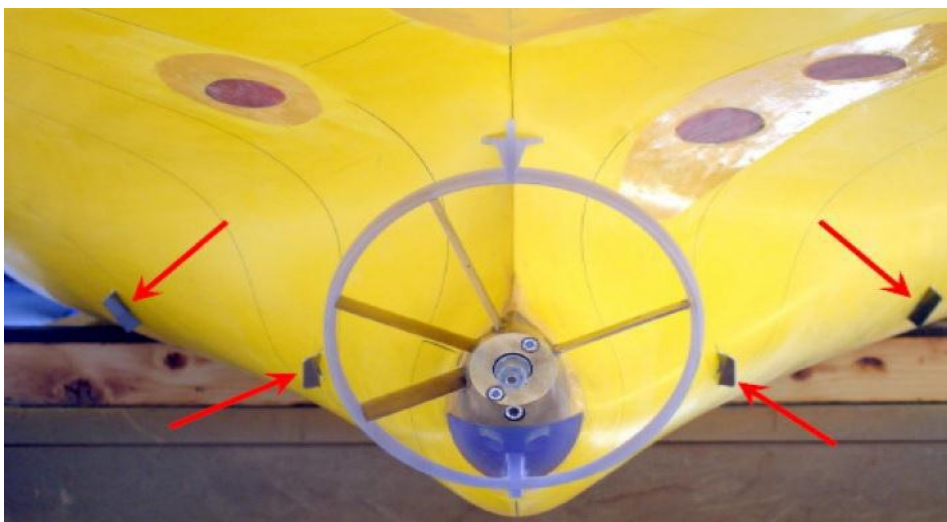
3.2.1.3.1 transversais à linha de fluxo

É um apêndice externo ao casco, com a capacidade de direcionar o fluxo da camada limite para o propulsor, bem como gerar vórtices e assim, modificar a esteira a ponto de reduzir em até 50% os pulsos de vibração, com a penalidade de causar um aumento em torno de 2% na resistência.

É importante mencionar que o arrasto gerado pela implantação deste dispositivo é um fator que deve ser considerado, pois um grande aumento na resistência ao avanço pode anular os benefícios gerados por sua implantação, reduzindo a eficiência propulsiva do navio.

Dentre os modelos de defletores transversais de maior eficiência no mercado atualmente, merece destaque o *Samsung Heavy Industries Safer Fin*, no qual estudos comprovam um aumento de até 3,2% na eficiência propulsiva, mantendo os efeitos de redução de pressão e vibração.

Figura 13 - SHI Safer Fin



Fonte: GERK, Hermann Regazzi - Curso de hidrodinâmica 2016.

3.2.1.3.2 Paralelos à linha de fluxo

Esses dispositivos têm a finalidade de criar um fluxo uniforme e axial maior dentro do disco propulsor, acelerando o fluxo lento, funcionando de modo análogo à asa do avião. Podem ser longos ou curtos, e oferecem menos resistência se comparado com os defletores transversais (em torno de 1%), porém, mantendo bons resultados na eficiência propulsiva ao melhorar a esteira.

Alguns desses dispositivos merecem destaque atualmente no mercado, como o *Namura Control Fin*, o *Low Viscous Fin* e as *Aletas Grothues*. O ganho na eficiência propulsiva estudada nesses casos pode variar de 2 a 5% para Namura, 2% para Low Viscous e 3 a 9% para as Aletas Grothues. Esse último dispositivo possui o diferencial de ter defletores curvados, com bordo de ataque avante, alinhado com o fluxo e o bordo de fuga alinhado com o eixo propulsor, esperando que se tenha uma redução na resistência ao avanço, ao mesmo tempo em que promova um aumento na eficiência propulsiva. Todos os resultados acima podem ser maximizados com a combinação sinérgica do duto.

Figura 14 - Aletas Grothues

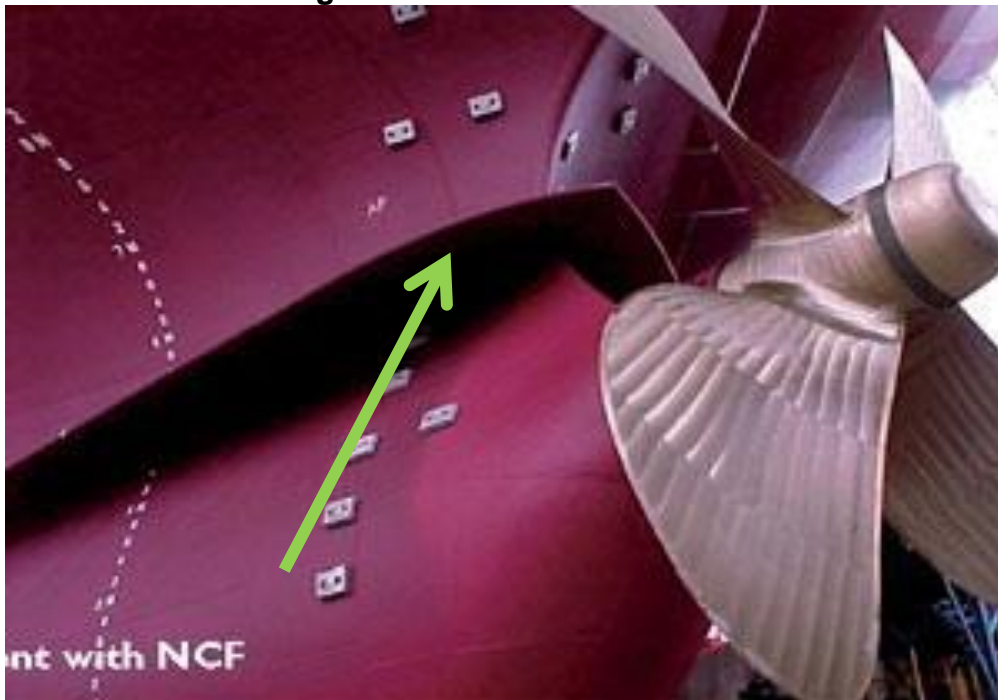


Figura 15 - Low Vicious Fin



Fonte: BERBERT, Yuri Magnami – A Influência de *Energy Saving Devices*

Figura 16 - Namura Control Fin



Fonte: GERK, Hermann Regazzi - Curso de hidrodinâmica 2016

Cabe ressaltar que existem estatores que não atuam diretamente na propulsão do navio, porém promovem uma diminuição da resistência ao avanço, além de fornecerem maior estabilidade ao navio através da redução do balanço em

até 90%, como é o caso dos estabilizadores laterais, dispositivo comumente empregado em submarinos e navios de passageiros.

3.2.2 Dispositivos no propulsor e propulsores especiais

A região do propulsor é considerada a mais importante, visto que é responsável pela propulsão do navio em si. O hélice, seu principal componente, é o conjunto formado pelo bossó e por pás espaçadas em ângulos iguais em torno do eixo propulsor da embarcação.

Pode-se dizer que, atualmente, diversas tecnologias já estão sendo estudadas e aplicadas no âmbito da eficiência propulsiva e energética para a região do propulsor, podendo contemplar desde a utilização de dispositivos integrados ao mesmo, ou até a substituição completa do propulsor convencional pelos propulsores especiais. Desta forma, serão abordadas as principais inovações deste segmento, bem como os principais propulsores especiais que já empregam algumas destas tecnologias em seus sistemas propulsivos.

3.2.2.1 *hi-fin*

No hélice convencional observa-se a formação de vórtices na região a ré do “bossó” do propulsor por ocasião do seu movimento de rotação, causando grandes perdas na eficiência propulsiva. Com base neste impasse, a *Hyundai Heavy Industries* (HHI) desenvolveu seu sistema integrado de propulsão, muito semelhante ao *Propeller Boss Cap Fins* (PBCF), capaz de recuperar essas perdas a partir da criação de um fluxo rotacional contrário ao fluxo que sai do propulsor, melhorando assim a eficiência propulsiva.

No que tange ao consumo de combustível, verificou-se com a utilização do sistema uma eficiência de 2,5%, quando comparado com navios de mesma classe sem a tecnologia. De acordo com a HHI, para navios porta-contêineres com uma base 8,600 TEU, pode-se ter uma economia de setecentos e cinquenta mil dólares por ano ou dezenove milhões de dólares em vinte e cinco anos, tempo de vida estimado de um navio.

Figura 17 – HHI *Hi-Fin*



Fonte: <http://www.marineinsight.com/tech/7-technologies-to-reduce-fuel-consumption-of-ships/>

3.2.2.2 *contracted and loaded tip propeller*

Com a rotação do hélice, há uma tendência de deslocamento da água das áreas de alta pressão para as áreas de baixa pressão na ponta das pás do hélice, fenômeno que se conhece por vórtice de ponta de asa (*tip vortex*), o que causa aumento no arrasto, vibrações mecânicas (colapso estrutural) e perda de área útil de propulsão.

Com base nesse impasse e inspirados nos *winglets* usados nos aviões, os projetistas desenvolveram a tecnologia dos *end plates*. Trata-se de uma modificação estrutural das pás do hélice, caracteriza por um prolongamento lateral da pá do propulsor, com a finalidade de evitar os vórtices de pontas de asa, aumentando consideravelmente o desempenho na propulsão.

Através da tecnologia dos *end plates* surgiram propulsores especialmente projetados para evitar esta fuga do fluxo de águas das áreas de alta pressão para

as de baixa pressão, como o *Contracted and Loaded Tip (CLT) Propeller*, cujo fabricante garante uma melhoria na eficiência da propulsão em até 6%.

As vantagens deste propulsor foram constatadas em diferentes tipos de navios de acordo com o fabricante, incluindo navios tanque, carga geral, graneleiros, Ro/Ro e porta contêineres. Dentre estas vantagens, pode-se citar a maior eficiência energética, visto que sua utilização garante uma economia de combustível de cerca de 10%, melhor manobrabilidade devido às menores dimensões do hélice e aumento na eficiência propulsiva de 6 a 12%. Outras vantagens incluem também a diminuição da vibração, cavitação e nível de ruídos.

Figura 18 – Navio tanque *Roy Maersk* com *CLT Propeller*



Fonte: GERK, Hermann Regazzi - Curso de hidrodinâmica 2016

3.2.2.3 propulsor kappel

Trata-se de um propulsor dotado de curvaturas, sendo essa uma característica especial atribuída às pás do hélice no que diz respeito à concavidade e que tem por finalidade evitar que o fluxo de água que atinge as pás passe da área de alta pressão para a área de baixa pressão, além de evitar a cavitação. Quanto à eficiência propulsiva, dados do fabricante garantem uma melhoria de 4 a 6%.

Figura 19 - Propulsor Kappel



Fonte: BERBERT, Yuri Magnami – A Influência de *Energy Saving Devices*

3.2.2.4 propulsão azimutal

A propulsão azimutal é uma unidade de propulsão especial que dispensa o uso de lemes e seus principais acessórios, permitindo que o hélice gire ao redor de um eixo por 360°, permitindo, assim, um *thrust* em qualquer azimute. Seu funcionamento é feito através de um motor elétrico que aciona um hélice trator em geral de passo fixo, contido em um *pod* submerso.

Com a propulsão azimutal a manobrabilidade é excelente, economiza-se espaço no interior do casco dos navios e tem-se muita liberdade para o projeto do navio. Outra vantagem está no reduzido consumo de combustível acarretando baixas emissões de CO₂.

Figura 20 – Propulsor azimuthal *Azipod* patentado pela ABB Motors



Fonte: GERK, Hermann Regazzi - Curso de hidrodinâmica 2016

Figura 21 – Navio de passageiros *Amsterdam* dotado de propulsão azimuthal



Fonte: GERK, Hermann Regazzi - Curso de hidrodinâmica 2016

3.2.2.5 hélices de contra rotação

Trata-se de um propulsor especial composto por dois eixos propulsores com direções rotacionais contrárias, a fim de aproveitar a energia cinética perdida no

movimento circular do escoamento. A contra rotação também é uma maneira de aumentar a potência sem aumentar o diâmetro do hélice e anular o efeito do torque nos motores de alta potência.

Dentre as vantagens do sistema em embarcações, pode-se destacar a redução das perdas rotacionais, minimização da cavitação e o aumento na eficiência do hélice. Além disso, com o aumento da área das pás, tem-se a possibilidade de utilização de engrenagens maiores.

No que diz respeito às desvantagens, pode-se dizer que a instalação mecânica dos eixos de contra rotação é complexa e, conseqüentemente, os ganhos hidrodinâmicos são parcialmente reduzidos em perdas mecânicas nos eixos. Uma solução para este impasse foi tornar os eixos dos hélices concêntricos geometricamente, podendo a eficiência propulsiva ser aumentada em até 10%.

Figura 22 - Sistema de hélices contra rotativas



Fonte: BERBERT, Yuri Magnami – A Influência de *Energy Saving Devices*

Esta tecnologia contra rotativa pode também ser obtida através da combinação de um propulsor convencional e um propulsor azimutal, sistema conhecido como sistema contra rotativo com eixos independentes ou sistema híbrido. Essa combinação garante um aumento na eficiência propulsiva em até 15%, além de garantir melhor manobrabilidade através do azimutal.

Figura 23 – Sistema de hélices contra rotativas com eixos independentes



Fonte: BERBERT, Yuri Magnami – A Influência de *Energy Saving Devices*

3.2.2.6 hélices gêmeas

Trata-se de um sistema de propulsores especiais que funciona com duas hélices girando no mesmo sentido de rotação, sincronizadas com aletas integradas no tubo de governo. Este sincronismo proporciona um aumento significativo na eficiência e maior transmissão de potência se comparados com unidades de apenas um hélice, bem como menor risco de cavitação, baixo consumo de combustível e baixo custo de manutenção.

Quanto ao princípio hidrodinâmico, pode-se dizer que a distribuição da potência nos dois hélices contribui para uma diminuição da carga na superfície das pás. Além disso, a instalação de um segundo hélice proporciona a recuperação das perdas rotacionais do hélice frontal, juntamente com o sistema de difusor integrado, que ao gerarem um *lift* no fluxo rotacional advindo do propulsor avante, diminuem consideravelmente as perdas rotacionais, aumentando assim o grau de potência do sistema.

Figura 24 - Conjuntos de hélices gêmeas



Fonte: GERK, Hermann Regazzi - Curso de hidrodinâmica 2016

O sistema propulsivo de hélices gêmeas mais difundido no mercado atualmente é o *Schottel Twin Propellers* (STP), que, além das características anteriormente mencionadas deste sistema, é capaz de converter grande parte da potência do motor em impulso (*thrust*) e possibilita ainda a utilização da força total de propulsão para a manobra da embarcação através da rotação de 360° da parte subaquática. De acordo com a *Schottel*, o sistema provê alta confiabilidade devido à construção simples, com poucas peças móveis, baixo consumo de combustível, baixo custo de manutenção e menor risco de cavitação devido à distribuição de carregamento nas duas hélices. Em termos de eficiência propulsiva, o fabricante garante um aumento de 20% em relação aos propulsores comuns.

Figura 25 – Sistema Schottel Twin Propellers



Fonte: <https://www.schottel.de/marine-propulsion/stp-twin-propeller/>

3.2.3 Dispositivos após o propulsor

Pelo princípio da independência dos movimentos, a descarga do hélice pode ser decomposta em dois movimentos: o movimento axial e o rotacional, sendo esse último uma perda à propulsão. Desta forma, tendo em vista que o fluxo que sai do propulsor será espiralado, a instalação dos dispositivos nesta região visa converter a componente rotacional do fluxo criado pelo propulsor em um fluxo axial útil à propulsão, a fim de diminuir as perdas rotacionais ao máximo, garantindo assim um maior *thrust*, bem como um menor consumo de combustível.

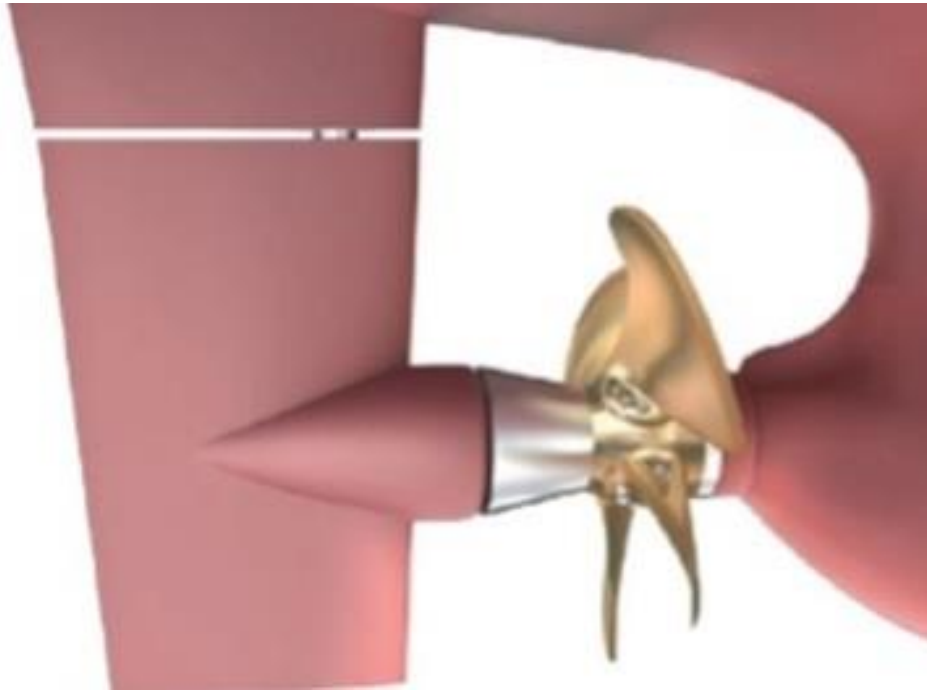
3.2.3.1 bulbo de leme ou bulbo costa

Consiste na integração sinérgica leme-propulsor, garantindo não somente uma melhoria na eficiência propulsiva, como também uma melhor manobrabilidade ao conduzir o fluxo do leme de maneira a diminuir o vórtice na região a ré do hélice e convertendo-o em força propulsiva.

Dentre os sistemas conhecidos no mercado, merecem destaque o *Rudder Bulb Hubcap* e o *Interceptor with Rudder Bulb*. O primeiro promove uma melhora na eficiência propulsiva de 6 a 8% e o segundo em torno de 4,4%. Além destes, a

fabricante *Rolls-Royce* oferece o seu sistema integrado de propulsão e manobras (*Promas*), garantindo um ganho na eficiência propulsiva de 3 a 8%, bem como significativa redução do consumo de combustível.

Figura 26 – Rudder Bulb Hubcap



Fonte: BERBERT, Yuri Magnami – A Influência de *Energy Saving Devices*

Figura 27 – Interceptor with Rudder Bulb



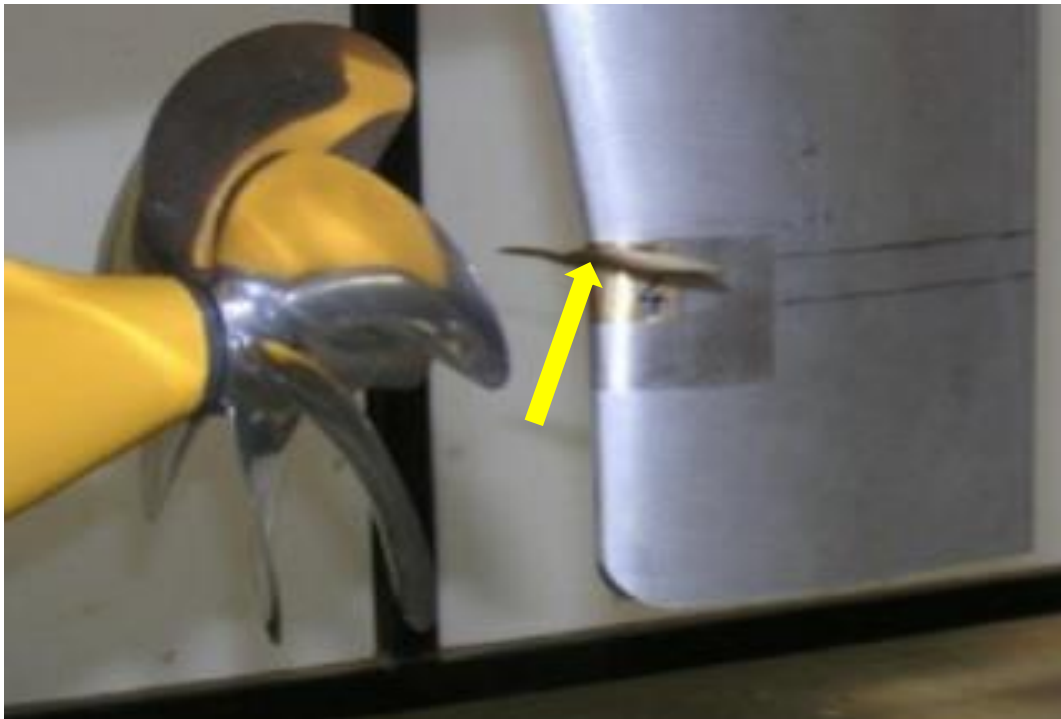
Fonte: BERBERT, Yuri Magnami – A Influência de *Energy Saving Devices*

3.2.3.2 aleta de impulso no cadaste

São dispositivos acoplados ao leme que recuperam as perdas de energia rotacionais geradas pelo propulsor, produzindo um escoamento laminar e, conseqüentemente, um aumento considerável na força propulsiva.

O sistema é composto por duas aletas acopladas ao leme dispostas horizontalmente, presas no cadaste ou ligeiramente acima do eixo do hélice. Estes dispositivos podem fornecer um ganho de até 5% na eficiência propulsiva. Dentre os modelos disponíveis no mercado, merece destaque a fabricante *Hyundai* com o *HHI Thrust-fin*, que garante um aumento de até 4,9% na eficiência propulsiva.

Figura 28 – HHI Thrust-fin



Fonte: BERBERT, Yuri Magnami – A Influência de *Energy Saving Devices*

3.2.3.3 leme assimétrico

Trata-se de uma tecnologia desenvolvida para melhorar o fluxo de água proveniente do hélice de modo a fornecer um melhor poder de manobra ao navio. Para isso, são feitas modificações estruturais nas partes do leme situadas acima e abaixo do propulsor, aproveitando o fluxo rotacional após o hélice. Para aumentar a eficácia pode-se ainda combinar esta tecnologia com o bulbo de leme e garantir entre 2% e 4% de melhora no escoamento do fluxo. É importante mencionar que,

apesar das vantagens anteriormente citadas, nenhuma melhoria no leme incrementa propulsão ao navio.

Figura 29 - Leme assimétrico

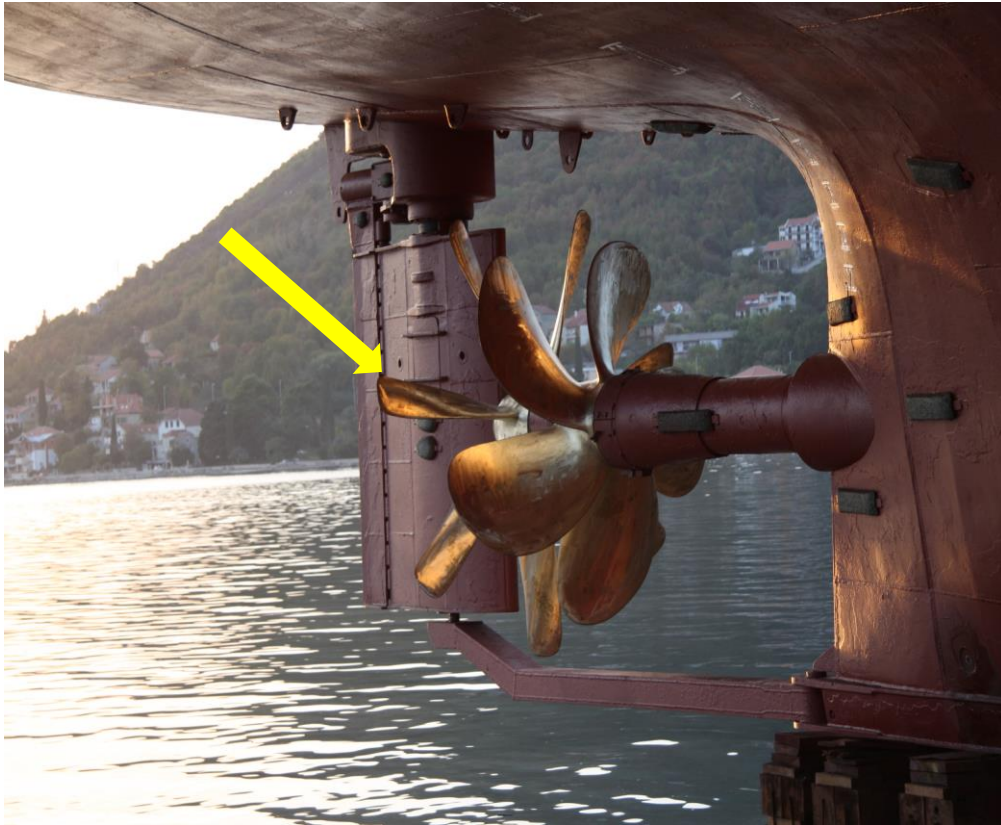


Fonte: <https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/rudder>

3.2.3.4 volante *grim vane*

Trata-se de um segundo propulsor localizado a ré do hélice principal, capaz de girar livremente sem gerar torque no eixo. Basicamente, este dispositivo aproveita a energia de rotação do hélice principal, entrando em movimento pela esteira do hélice principal, gerando assim um *thrust* adicional á propulsão. Segundo propaganda do fabricante, pode-se ter um aumento na eficiência propulsiva de 5 a 10%.

Figura 30 - Volante *Grim Vane*



Fonte: GERK, Hermann Regazzi - Curso de hidrodinâmica 2016

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa apresentou, em um primeiro momento, uma sucinta descrição da evolução da propulsão marítima - a partir da utilização do motor a vapor nos navios - juntamente com os problemas que surgiram decorrentes desse aperfeiçoamento e as soluções criadas pelos projetistas da época para mitigá-los.

Conforme novas exigências relativas à eficiência propulsiva e a questão energética foram surgindo, a engenharia naval constatou, após décadas de estudo, que para garantir as condições de máxima eficiência seria necessário analisar a interação casco-propulsor detalhadamente.

De acordo com normas modernas de gerência, todo sistema complexo é dividido em sistemas mais simples, mas que interagem entre si. Aplicando esse conceito para os navios, por se tratarem de sistemas complexos, pode-se dizer que os projetistas analisam esse aumento de eficiência nos navios em dois conjuntos simplificados e distintos entre si: os que atuam na resistência ao avanço e os que atuam na esteira. As conclusões, obtidas a partir de estudos complexos envolvendo a mecânica dos fluidos, mostram que, para maximizar essa eficiência se faz necessário diminuir ao máximo o arrasto que uma embarcação está submetida ao deslocar-se sobre a água, bem como promover uma eficiente equalização na esteira.

No que concerne à resistência ao avanço, a ideia geral é melhorar o escoamento do fluido através do casco, diminuindo a resistência friccional, seja com alterações na forma de casco ou com a instalação de componentes integrados ao mesmo. No que diz respeito à esteira, busca-se induzir o fluido a um pré-giro na região avante do propulsor. Neste momento, a componente axial é transformada em rotacional, diminuindo consideravelmente o trabalho do propulsor de rotacionar o fluido. Após a passagem pelo propulsor, busca-se reverter essa componente rotacional em axial, de modo a torná-la útil à propulsão.

No que tange a equalização da esteira, é importante frisar que muitas melhorias já foram feitas e, embora a propulsão mecânica com hélice seja mais utilizada - juntamente com os dispositivos de otimização avante e após o hélice - hoje não significa que ela tenha exclusividade. Levando em consideração que o propulsor trabalha na posição desfavorável da esteira, outros tipos de propulsores

podem se apresentar mais eficazes em barcos com aplicações e características específicas, como o propulsor especial *Voith-Schneider* (VSP), largamente empregado em rebocadores por dispensar o uso do leme, bem como proporcionar uma rápida resposta ao comando. Além disso, pode-se citar o *Waterjet*, tipo de propulsão muito utilizada por embarcações rebocadoras que operam em águas rasas e, mais recentemente no submarino nuclear francês *Le Tri Ouphant*.

Cabe mencionar que os problemas não foram eliminados e, portanto, as tecnologias disponíveis no mercado não são as soluções definitivas. A combinação, portanto, de alguns desses dispositivos, atuando sinergicamente, deve ser empregada sempre que possível, uma vez que o resultado final destes dispositivos somados apresentam resultados superiores do que a soma dos resultados individuais. É importante mencionar que o incremento da eficiência não se limita ao casco e ao propulsor, de forma que sempre caberão inovações, decorrentes de novas pesquisas para o desenvolvimento e aperfeiçoamento desses dispositivos.

REFERÊNCIAS

BERBERT, Yuri Magnani. **Análise da Influência de *Energy Saving Devices* em casco *Twin-Skeg* otimizado de navio gaseiro.** 2015. 64p. (Graduação em Engenharia Naval) – Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

CARDOSO, Felipe Dias. **Influência dos Dispositivos Equilizadores de Esteira na Eficiência Energética das Embarcações.** 2016. 53p. (Graduação em Ciências Náuticas) – CIAGA, Rio de Janeiro, 2016.

GERK, Hermann Regazzi. **Hidrodinâmica para navegantes.** 3 ed. Rio de Janeiro: CIAGA, 2014

Marine Insight, Technologies to reduce fuel consumption. Disponível em: <<http://www.marineinsight.com/tech/7-technologies-to-reduce-fuel-consumption-of-ships/>>. Acesso em: 15 ago. 2017

Marine Link, Silverstream Air Lubrication for Cruise Ship Refit. Disponível em: <<https://www.marinelink.com/news/silverstream-lubrication418320>>. Acesso em: 08 fev. 2017

Mitsubishi Heavy Industries, Air Lubrication System. Disponível em: <https://www.mhi.com/products/detail/engineering_mals.html>. Acesso em: 19 mar.2017

Rolls Royce, Propulsion and Manoeuvring System. Disponível em:<<https://www.rolls-royce.com/products-and-services/marine/product-finder/propulsion-systems/propulsion-and-manoeuving-system/promas-propulsion-and-manoeuving-system.aspx#section-product-search>>. Acesso em: 18 abr. 2017

SOUZA, Amauri Philipe Bonfadini de. **Formação de Esteira e Vibrações em Navios de Propulsão Moderna e os Efeitos na Navegação Moderna.** 2013. 40p. (Graduação em Ciências Náuticas) – CIAGA, Rio de Janeiro, 2013.

Wartsilla, Encyclopedia of Marine Technology. Disponível em: <<https://www.wartsila.com/encyclopedia>>. Acesso em: 24 mai.2017

