

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

CAÍQUE AUGUSTO DE OLIVEIRA

**DISPOSITIVOS RESPONSÁVEIS PELO CONTROLE E MANOBRA DAS
EMBARCAÇÕES.**

RIO DE JANEIRO

2014

CAÍQUE AUGUSTO DE OLIVEIRA

**DISPOSITIVOS RESPONSÁVEIS PELO CONTROLE E MANOBRA DAS
EMBARCAÇÕES.**

Monografia apresentada 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: Prof. HERMANN REGAZZI GERK

RIO DE JANEIRO

2014

CAÍQUE AUGUSTO DE OLIVEIRA

**DISPOSITIVOS RESPONSÁVEIS PELO CONTROLE E MANOBRA DAS
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: Prof. Hermann Regazzi Gerck

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus pais, exemplos de bondade e perseverança que, com o passar do tempo, não se endureceram, mas adquiriram a virtude da mudança à medida que o tempo passa. Isso realmente é deixar Deus trabalhar em nossas vidas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades encontradas ao longo dessa trajetória.

A este Centro de Instrução, seu corpo docente, direção e administração que tornaram possível a concretização de um sonho de caráter pessoal e profissional.

Ao Prof. Hermann Regazzi Gerk pelo essencial apoio na organização e conclusão de toda a pesquisa, sendo paciente ao orientar esta monografia, quanto ao direcionamento e disponibilização das ferramentas indispensáveis para sua materialização.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

Escolhe um trabalho de que gostes, e não
terás que trabalhar nem um dia na tua
vida.

(CONFÚCIO)

RESUMO

O aperfeiçoamento dos mecanismos de manobra e controle das embarcações é de vital importância para a indústria naval e de grande interesse do armador, pois representa economia de tempo e dinheiro. Mecanismos estabilizadores são imprescindíveis, por exemplo, em navios de passageiros, que possuem a hotelaria e o conforto de seus passageiros como uma de suas maiores preocupações. Este trabalho de pesquisa visa apresentar a importância do estudo, baseado em conceitos da hidrodinâmica e aerodinâmica, dos dispositivos responsáveis por tornar a embarcação estável e capaz de manobrar da melhor maneira possível, executando curvas de giro cada vez menores e mais precisas.

Palavras-chave: Manobra. Indústria naval. Hidrodinâmica. Controle. Aerodinâmica

ABSTRACT

The improvement of the mechanisms of control and maneuvering of vessels is of vital importance to the shipping industry and the great interest of the shipowner, as it represents time and money. Stabilizing mechanisms are essential, for example, in passenger ships, which have the hospitality and comfort of its passengers as one of their biggest concerns. This research aims to present the importance of the study, based on concepts of hydrodynamics and aerodynamics, the devices responsible for making stable and capable of maneuvering in the best possible way vessel, running curves turning increasingly smaller.

Key words: Maneuvering. Shipping industry. Hydrodynamics. Control. Aerodynamics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Leonardo da Vinci	13
Figura 2	Atuação do leme em um navio	14
Figura 3	Fórmula para o cálculo da força de resistência	15
Figura 4	Fluxo do fluido na superfície de um <i>foil</i>	15
Figura 5	Perfil de um <i>foil</i> de natureza simétrica	16
Figura 6	Perfil de um <i>foil</i> de natureza assimétrica	16
Figura 7	<i>Foil</i> assimétrico com ângulo de ataque igual a 0°	17
Figura 8	RMS Titanic	17
Figura 9	Simulação do perfil de placa	18
Figura 10	Simulação do perfil de placa	18
Figura 11	Análise Placa x Foil	19
Figura 12	NASA	20
Figura 13	Perfil NACA	21
Figura 14	Análise do leme em perfil NACA	21
Figura 15	Aeronave “estolando”	22
Figura 16	Análise da decomposição de forças	22
Figura 17	Análise de curvatura do leme	24
Figura 18	Leme com flap	25
Figura 19	Atuação do flap	25
Figura 20	Leme em formato de Fishtail	26
Figura 21	Voith Schneider Propeller (VSD)	26
Figura 22	Leme acoplado ao cilindro rotativo	27
Figura 23	Rebocador utilizando cilindro rotativo	27
Figura 24	Leme Becker	28
Figura 25	Leme cicloidal Voith Schneider	29
Figura 26	Leme Schilling	30
Figura 27	Queen Mary II	31
Figura 28	Estabilizadores laterais do Queen Mary II	31
Figura 29	Submarino Nuclear HMS Vanguard	33
Figura 30	Análise do formato dos estabilizadores laterais	33
Figura 31	Estabilizadores do submarino Nuclear Chinês	33
Figura 32	Pés de Galinha	35

Figura 33	Propulsão dupla com a utilização de skegs	35
Figura 34	Skeg	36
Figura 35	Propulsão dupla com a utilização de skegs	37
Figura 36	Aplicação do fin	37
Figura 37	Análise comparativa entre VWT e demais projetos	39
Figura 38	Esquema de um Turbo Kort	40
Figura 39	Propulsores azimutais	41
Figura 40	Schottel Twin Propeller	42
Figura 41	Bow thruster	43
Figura 42	Z-Drive	43
Figura 43	L-Drive	44
Figura 44	Slotted guard aplicado ao Voith Water Tractor	45

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Análise da força em relação ao ângulo de ataque	23
Gráfico 2	Razão de aspecto do leme	24
Gráfico 3	Voith Water Tractor	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 LEMES	13
2.1 Efeito asa	13
2.2 Forças atuantes no leme	15
2.2.1 <i>Foil</i> simétrico	16
2.2.2 <i>Foil</i> assimétrico	17
2.3 Leme em formato de placa	17
2.4 Perfil NACA	20
2.5 Efeito estol	22
2.6 Leme com <i>Flap</i>	24
2.7 Leme com perfil <i>fishtail</i>	26
2.8 Cilindro rotativo	27
2.9 Tipos especiais de lemes	28
3 ESTABILIZADORES	30
3.1 Estabilizadores laterais	31
3.1.1 Lemes e estabilizadores aplicados aos submarinos	32
3.2 Skeg	34
3.3 Voith Turbo fin	37
4 PROPULSORES ESPECIAIS	39
4.1 Propulsão azimutal	39
4.2 Schottel Twin Propeller	41
4.3 Bow Thrusters	42
4.4 Z-Drive	43
4.5 L-Drive	44
4.6 VWT Slotted guard	44
CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	47

1 INTRODUÇÃO

Dentre os meios de transportes, o mais antigo é o transporte por vias marítimas, pois vem sendo utilizado desde a Antiguidade. No mundo, cerca de 70% de todas as mercadorias que circulam são transportadas por meio de transporte marítimo. Tal fato é resultado da gigantesca capacidade de transporte de carga dos navios.

No entanto, seu incremento aconteceu efetivamente após o término da Primeira Grande Guerra, resultado de grandes inovações no campo tecnológico, as quais resultaram em significativas evoluções. Dentre as mudanças, podemos destacar a melhora em relação à capacidade de carga a ser transportada nos navios, características relacionadas a manobra e controle das embarcações, além da criação de navios específicos, especializados no transporte de um determinado tipo de carga.

Com o constante avanço na área da indústria naval, diversos dispositivos foram desenvolvidos de forma a garantir que as embarcações sejam capazes de operar com sua máxima eficiência e segurança, contribuindo, portanto, para a economia e conforto dos tripulantes e passageiros. Baseado nisso, o estudo da hidrodinâmica tornou-se uma importante ferramenta no que diz respeito ao controle das embarcações e melhora de suas condições de navegabilidade e manobra.

2 LEMES

Importante componente hidrodinâmico no controle e manobrabilidade das embarcações, o leme configura-se em uma ótima superfície geradora de lift, onde, portanto, constata-se o “efeito asa”. Este capítulo busca explorar, basicamente, o princípio de atuação do leme na estabilidade de governo dos navios, abordar conceitos técnicos como, por exemplo, Lift, Drag e ângulo de ataque; demonstrar sua eficiência e importância, bem como alternativas ao seu emprego, através do uso de novas tecnologias.

2.1 Efeito Asa

Desde os primórdios até os dias contemporâneos, o homem sempre buscou interpretar os fatores naturais e tomar como base a natureza para desenvolver algumas de suas mais interessantes e curiosas tecnologias. A admiração pela habilidade de vôo dos pássaros, por exemplo, levou diversos aventureiros que não obtiveram sucesso, a tentarem imitar os seres de asas. Uma das figuras mais importantes que buscaram entender a anatomia dos pássaros foi Leonardo da Vinci (figura 1), que obteve informações importantes sobre o mecanismo das asas em relação ao ar. Tempos depois, tivemos a importante contribuição do brasileiro Alberto Santos Dumont, que conseguiu voar com seu 14-BIS (1906), aeronave biplano, durante alguns metros, fazendo com que a indústria da aviação mundial deslanchasse na época.

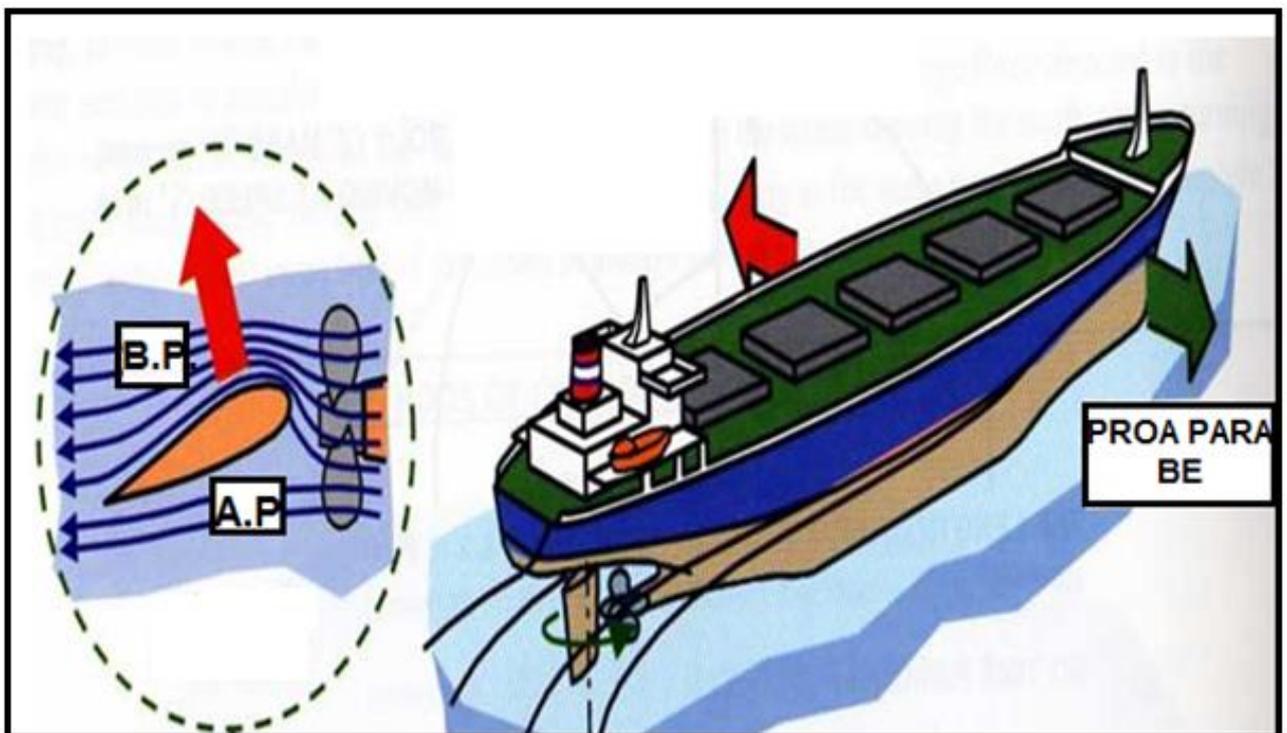
Figura 1: Leonardo da Vinci inspirou-se na anatomia das águias.



O desenvolvimento da aerodinâmica esteve intimamente ligado ao desenvolvimento da hidrodinâmica, que apresentava problemas similares, e com algumas facilidades experimentais, uma vez que já havia tanques de água circulante na época embora não houvesse túneis de vento. O principal obstáculo nas primeiras tentativas de colocar o avião no ar era o seu peso, força decorrente da gravidade. Tal problema foi solucionado através do uso de superfícies aerodinâmicas (asas) feitas, na época, artesanalmente.

O leme é uma superfície de controle de direção utilizado nos diferentes tipos de embarcações, análogo à asa de uma aeronave, onde se verifica a existência de uma força de sustentação (lift), em decorrência do efeito asa. O seu princípio de funcionamento baseia-se em desviar o fluxo do fluido em questão (água no caso de navios e ar no caso de aeronaves) de modo a criar uma diferença de pressão hidrodinâmica, em decorrência da diferença de velocidade do fluido existente entre a superfície superior e inferior do leme. Com isso, haverá o surgimento de uma força de guinada, como mostrado na figura abaixo, responsável por alterar a direção do navio.

Figura 2: Atuação do leme em um navio



Fonte: Marine Insight

A força de resistência (F) exercida por um fluido sobre uma superfície sólida imersa nesse fluido é de natureza oblíqua e pode ser calculado pela fórmula abaixo:

Figura 3: Fórmula para o cálculo da força de resistência

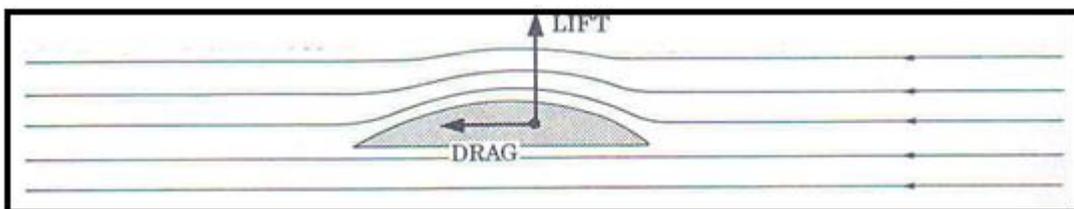
$$F = P_d \times C \times A$$

onde: P_d = Pressão dinâmica
 C = Constante
 A = Área

Fonte: Acervo Pessoal

Por se tratar de uma força oblíqua, a sua ação é melhor entendida fazendo-se a sua decomposição em duas componentes ortogonais. Uma vertical denominada sustentação (lift) outra horizontal conhecida como drag ou arrasto (Ilustração 3).

Figura 4: Fluxo do fluido na superfície de um *foil*.



Fonte: Acervo pessoal

2.2 Forças atuantes no leme

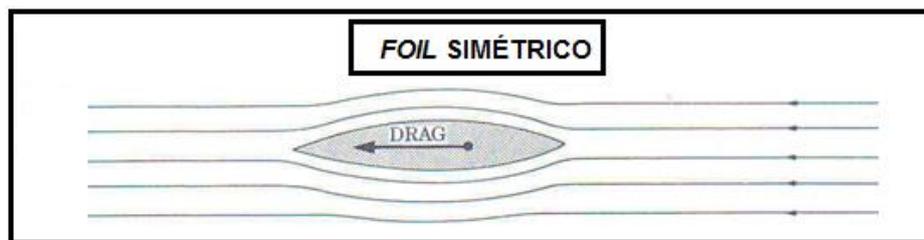
O leme, sendo um perfil de natureza hidrodinâmica, está sujeito à ação de uma força de resistência da água. Como essa força é oblíqua, enfocam-se suas componentes ortogonais. A vertical, denominada sustentação, que é efetivamente a força de guinada, e a componente na horizontal, o arrasto, como dito anteriormente. No entanto, é importante que se tenha em mente que o projeto de construção deste dispositivo deve ser feito visando-se uma força de sustentação máxima para um arrasto mínimo, de forma a otimizar o seu emprego nas embarcações. Para melhor compreender a atuação e as situações nas quais se tem a predominância de uma

dessas forças, será feito um estudo de casos focado nos *foils* de natureza simétrica e assimétrica.

2.2.1 *foil* simétrico

Analisando o *foil* de natureza simétrica, pode-se concluir através da ilustração abaixo que a velocidade do fluxo do fluido é igual na parte inferior e superior da superfície, podendo-se afirmar, portanto, a inexistência de uma diferença de pressão hidrostática. Com isso, não haverá presença da força de sustentação (lift), não havendo, portanto, a guinada.

Figura 5: Perfil de um *foil* de natureza simétrica



Fonte: Acervo Pessoal

Outra situação que ainda pode ser avaliada dentro do estudo do *foil* simétrico é a existência de um ângulo de ataque. Nesse caso, existirá a presença da força de sustentação justamente pela diferença de velocidade existente entre a superfície inferior e superior do *foil*, o que não se verificava no caso anterior, com ângulo de ataque igual a 0° .

Figura 6: Perfil de um *foil* de natureza assimétrica

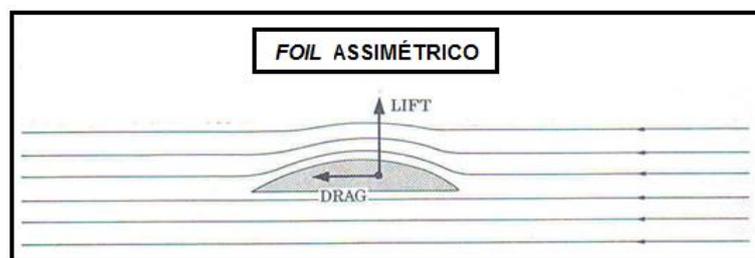


Fonte: Acervo Pessoal

2.2.2 *foil* assimétrico

No sistema utilizando *foil* assimétrico, pode-se observar a existência de uma diferença de velocidade entre a parte inferior e superior do *foil*, mesmo com ângulo de ataque igual a 0° . Diferentemente do modelo anteriormente exposto, verifica-se, portanto, a existência da força de guinada ainda que inexista o ângulo de ataque. Esse modelo inviabilizaria o seu emprego nas embarcações, pois o navio sempre estaria guinando, afetando, portanto, sua estabilidade de governo.

Figura 7: *Foil* assimétrico com ângulo de ataque igual a 0°

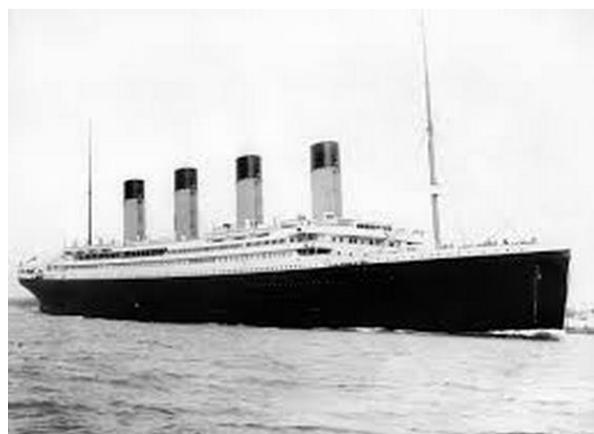


Fonte: Acervo Pessoal

2.3 Leme em formato de placa

O primeiro perfil de leme utilizado em embarcações, como o navio de cruzeiro RMS Titanic (ilustração 5), foi o de placa. No entanto, esse tipo de formato não possibilitava uma resposta rápida de guinada, um dos motivos pelos quais o navio Titanic não conseguiu mudar sua direção a tempo, vindo a colidir com um *iceberg* e tendo posteriormente naufragado.

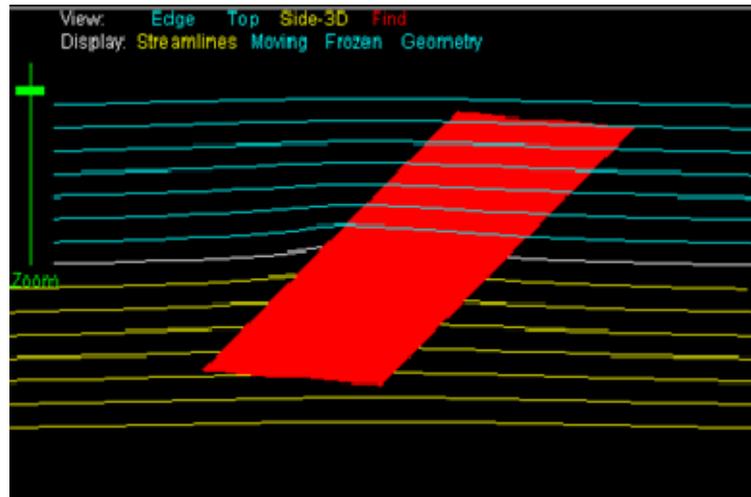
Figura 8: *RMS Titanic*



Fonte: wikipedia.com

Com o programa de simulação “foilsim 4.1” é possível analisar a resposta de guinada deste formato de leme. As linhas na cor amarela (figura 6) representam o fluxo do fluido na parte inferior da placa, enquanto a cor azul, na superior.

Figura 9: Simulação do perfil de placa

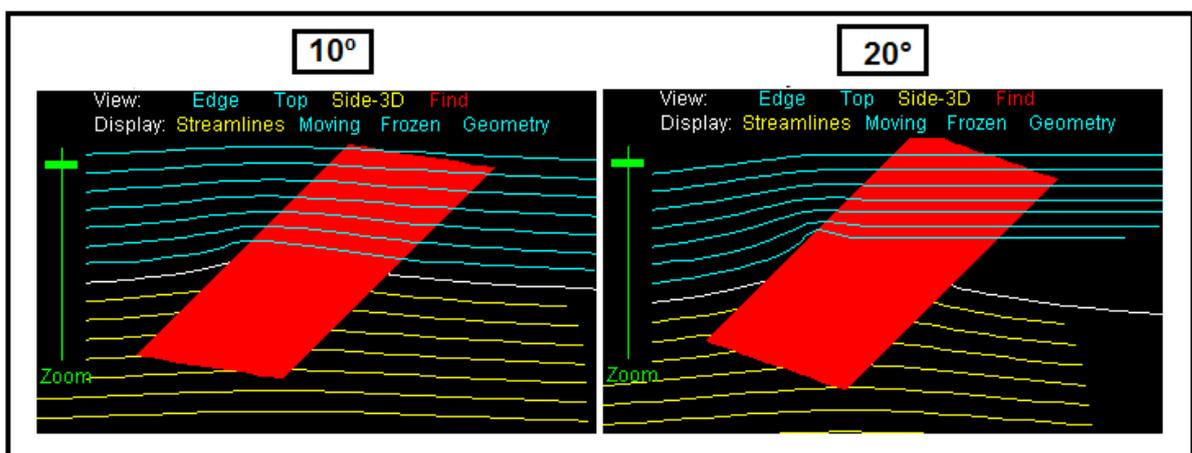


Fonte: Foilsim

É importante notar que quanto maior o ângulo de ataque, maior será a diferença de velocidade entre a parte inferior e superior da placa. As linhas de fluxos tendem a ficarem mais próximas nas regiões das maiores velocidades.

Como exposto na figura abaixo, pode-se verificar que os espaços entre as linhas de cor azul, estão mais estreitos para um ângulo de guinada de 20°.

Figura 10: Simulação do perfil de placa

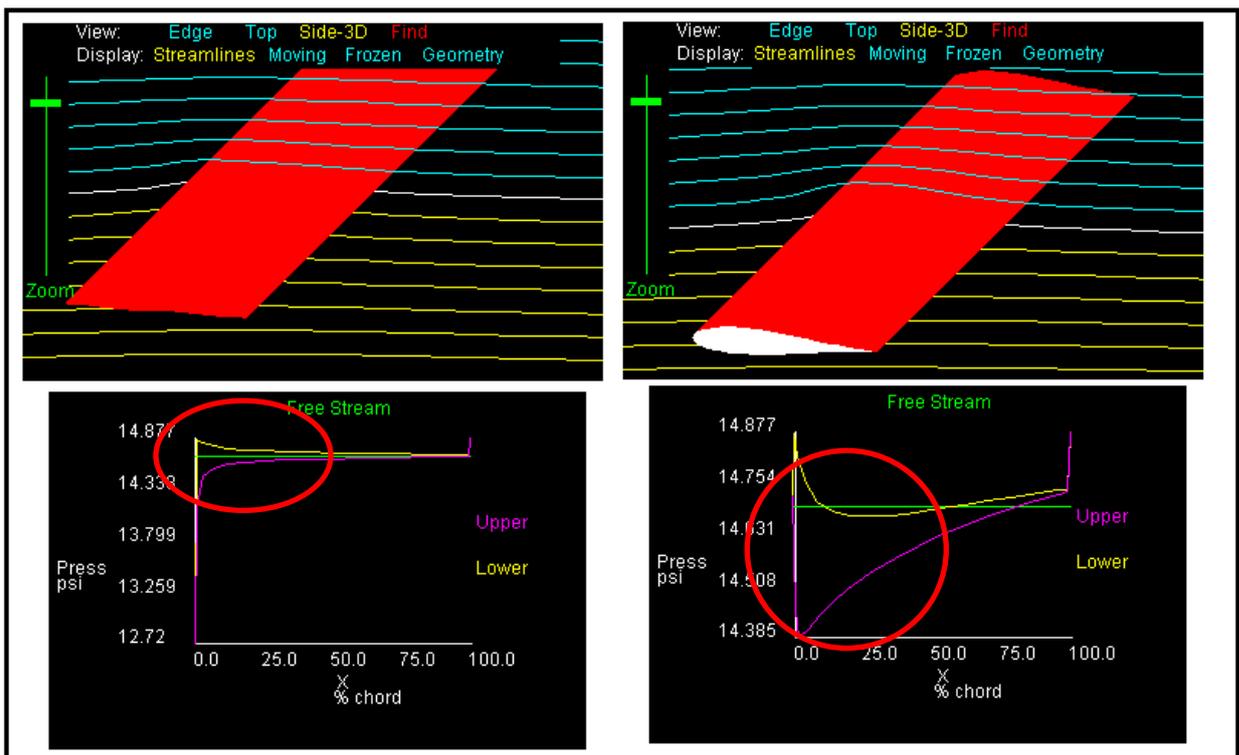


Fonte: Foilsim

Como já foi dito anteriormente, a força de sustentação é proveniente de uma diferença de pressão entre a camada inferior e superior de uma superfície de controle. Quanto maior for essa diferença de pressão, melhor será a resposta de guinada da embarcação. Traçando um paralelo comparativo entre uma superfície de controle em formato de placa e outra em formato de asa (foil), pode-se concluir que a resposta do leme em formato de asa é muito melhor do que o de placa.

Nos gráficos a seguir, identifica-se a pressão na parte superior do leme pela cor roxa e na inferior pela cor amarela. É claramente visível através dos dados abaixo expostos, que o formato em asa oferece uma resposta de guinada muito melhor em relação à placa, devido ao fato da diferença de pressão, considerando um mesmo ângulo de ataque, ser bem maior.

Figura 11: Análise Placa x Foil



Fonte: Foilsim

Ter uma superfície de controle em formato de placa em seu projeto é considerado um dos principais motivos pelos quais o navio RMS Titanic não conseguiu efetuar a sua guinada a tempo de evitar o sinistro.

Na década de XX, Surgiram novos projeto de leme que foram desenvolvidos e “otimizados” em algoritmos matemáticos pela NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*). Esse será o assunto do próximo item desta pesquisa.

2.4 Perfil NACA

A NACA (figura 12) foi criada pelo governo dos Estados Unidos em 1915. Após um início tímido, chegou à década de 1930 com quatro grandes laboratórios, contando com cerca de 500 funcionários e sendo considerada uma referência na solução de todo tipo de problema relacionado ao vôo e à fabricação de aviões. Sua importância cresceu durante a Segunda Guerra Mundial, e em 1947 desenvolveu o X-1, que ficou conhecido como o primeiro avião a quebrar a barreira do som.

Figura 12: NASA

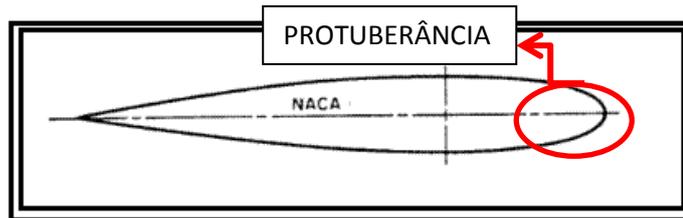


Fonte: Wikipedia.com

Em outubro de 1957, a URSS pôs em órbita o Sputnik, o primeiro satélite artificial, e o governo norte-americano temeu ficar para trás na exploração espacial. Em julho de 1958, a NACA trocou o “C” de conselho pelo “S” de “space” e surgiu a NASA. A nova agência começou a funcionar em outubro do mesmo ano, com três laboratórios, 8 mil funcionários e um orçamento de 100 milhões de dólares, com a missão de colocar os EUA na liderança do que mais tarde ficaria conhecido como a “corrida espacial.”

O perfil de leme Naca possui uma protuberância no bordo que possibilita diferenças de pressões maiores em decorrência do acréscimo de velocidade do fluxo do fluido. Utilizando esse perfil de leme, chegou-se a conclusão que a força de guinada aumentava significativamente melhorando, portanto, a manobra das embarcações.

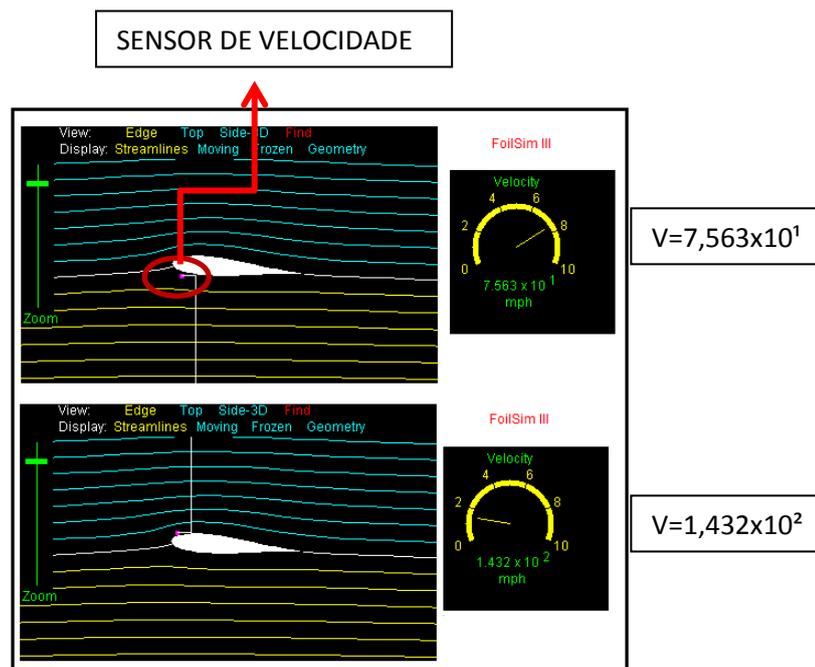
Figura 13: Perfil NACA



Fonte: Acervo pessoal

Com o auxílio do programa de simulação “Foilsim”, utilizando-se um sensor de velocidade, é possível comprovar tal fato. Pode ser observado que o perfil NACA possibilita grandes diferenças de velocidade no bordo de ataque do *foil*, entre a superfície superior e inferior da asa. Com isso, a atuação da força de guinada aumenta significativamente.

Figura 14: Análise do leme em perfil NACA

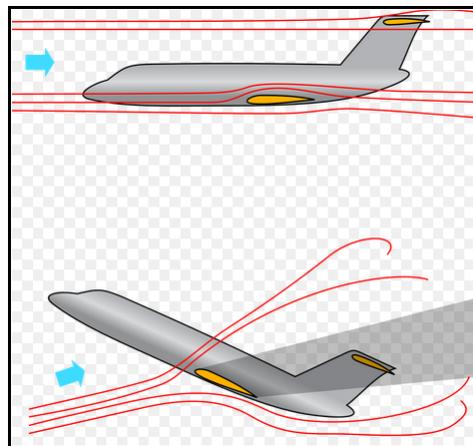


fonte: Foilsim

2.5 Efeito estol

O efeito estol (do inglês *stall*) é um termo técnico utilizado em aviação e aerodinâmica que indica perda de sustentação em decorrência da separação do fluxo do ar extradorso da asa. Uma aeronave em situação de estol, por exemplo, não está voando, mas sim caindo. Isso ocorre porque o ar descola da asa, deixando de passar por cima do extradorso, de forma a gerar uma depressão que forme um vetor de sustentação.

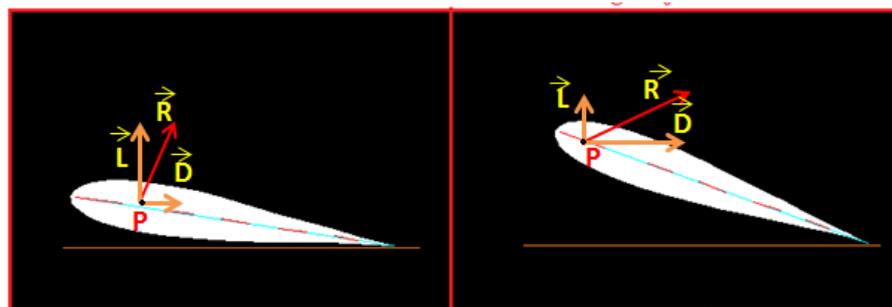
Figura 15: Aeronave “estolando”



Fonte: Foilsim

Na hidrodinâmica, com o aumento do ângulo de ataque, o centro de pressão do leme desloca-se para o bordo de ataque. Com isso, a força de resistência (R) inclina-se cada vez mais, causando, desta forma, a redução da componente vertical (Lift) e aumento da horizontal (Drag), como mostrado na figura abaixo. Nesta situação, pode-se dizer, portanto, que o leme “estolou”.

Figura 16: Análise da decomposição de forças



Fonte: Acervo pessoal

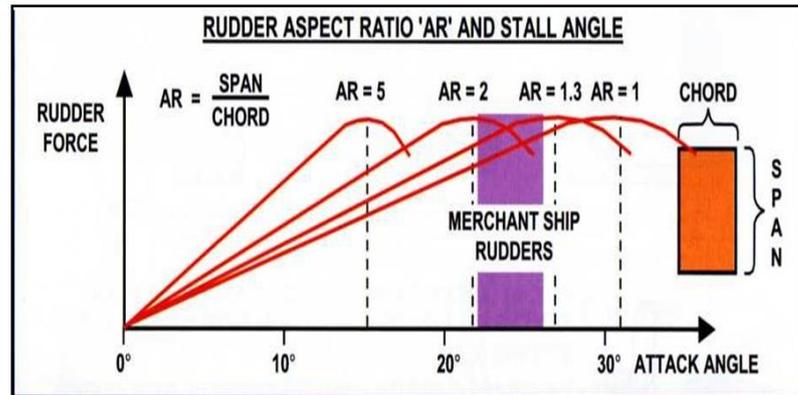
Como mostrado no gráfico abaixo, Inicialmente, $f(\alpha)$ aumenta de uma maneira aproximadamente linear com o ângulo de ataque, mas depois a taxa de aumento decresce, e um aumento adicional em α pode produzir uma queda no valor de $f(\alpha)$. Nesse caso, pode-se dizer que o leme “estolou”, ou seja, perdeu sustentação.

Gráfico 1: Análise da força em relação ao ângulo de ataque



Fonte: Acervo pessoal

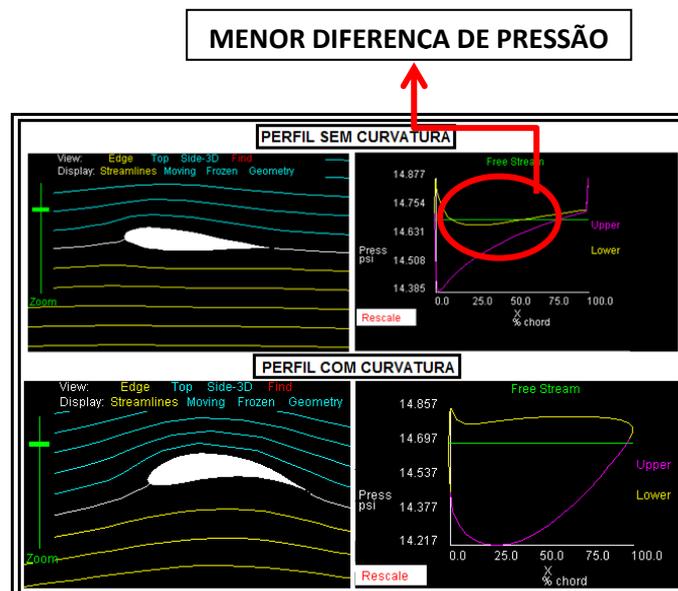
Projetar um leme para operar numa condição de estol não faz nenhum sentido, essa é a razão pela qual na maioria das aplicações, os ângulos de leme são limitados a 35 graus, em média. Com algum cuidado, ângulos de lemes de até 45 graus podem ser usados para obter círculos de curvatura menores. A perda de velocidade durante a curva não tornam esses grandes ângulos atrativos. Existe também uma relação que pode ser feita levando-se em consideração as dimensões (*chord* x *span*) dos diferentes tipos de lemes aplicados nas embarcações, de forma a obter o ângulo a partir do qual o efeito estol se configura. No gráfico 2, será exposta a razão de aspecto do leme.

Gráfico 2: Razão de aspecto do leme

Fonte: Marine Insight

2.6. Leme com Flap

Após estudos realizados, chegou-se a conclusão que, aplicando uma curvatura (*camber*) ao perfil do leme, poderia ser obtido melhores características de sustentação sem que ocorresse o estol, fenômeno indesejável. Será utilizado um programa computacional para melhor exemplificar esse fato. Na simulação, foram analisadas duas situações em que uma delas existe a aplicação de uma curvatura ao perfil do leme. Sem a curvatura, as diferenças de pressões são bem menores em relação ao foil com *camber*.

Figura 17: Análise de curvatura do leme

Fonte: Foisim

Para aplicar o *camber* ou curvatura ao perfil do leme, emprega-se o Flap, como mostrado na figura abaixo.

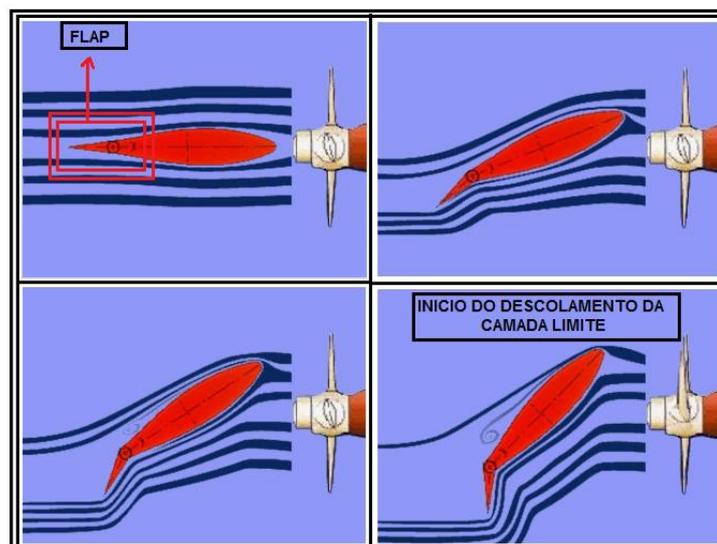
Figura 18: Leme com flap



Fonte: Acervo Pessoal

Além de melhorar a condição de sustentação das superfícies de controle, esse dispositivo atua retardando o estol. O flap consiste em uma estrutura posterior do leme, que se move até atingir um ângulo, geralmente duas vezes maior do que a do leme principal. Normalmente, um terço da área total do leme é usado como flap. A sequência de imagens abaixo exemplifica a atuação do flap em diferentes ângulos de ataque.

Figura 19: Atuação do flap

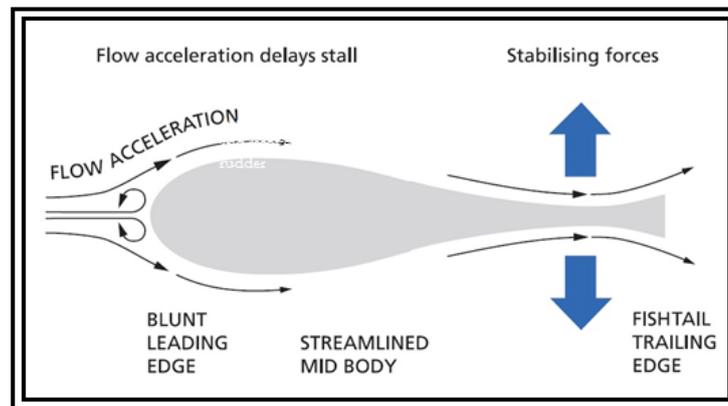


Fonte: Acervo pessoal

2.7 Leme com formato *fishtail*

No bordo de fuga da estrutura do leme, verificou-se que existia somente a presença da força de arrasto, elemento de natureza indesejável. A aplicação do perfil em *fishtail*, comumente conhecido como cauda de peixe, surgiu com o objetivo de recuperar a sustentação nessa região, através da aceleração do fluxo do fluido, aproveitando, portanto, toda a superfície de controle. Quando o leme encontra-se com ângulo de ataque igual 0° , essas forças se estabilizam, e em situações diferentes desta, ocorrerá um ganho de lift em uma região onde, anteriormente, somente se tinha arrasto.

Figura 20: Leme em formato de Fishtail



Fonte: hidrodinâmica.ufrj.br

Esse formato não só é aplicado aos lemes como passou a ser empregado, também, nas lâminas de alguns propulsores como, por exemplo, o *Voith Schneider Propeller (VSD)*.

Figura 21: Voith Schneider Propeller (VSD)

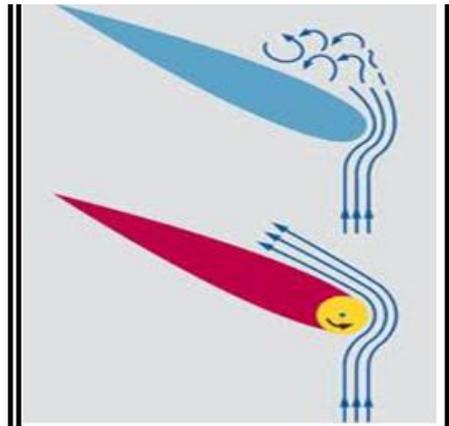


Fonte: Voith

2.8 Cilindro rotativo

Os estudos que resultaram no desenvolvimento dos cilindros rotativos são resultado direto das características especiais de escoamentos em estabilizadores. Ao ser instalado, esse dispositivo proporciona um aumento da força de sustentação de até 20 %, por um processo que consiste na energização da camada limite (figura 22).

Figura 22: Análise Placa x Foil



Fonte: Voith Schneider

Uma das grandes vantagens reside no fato do cilindro rotativo requerer pouca energia para seu pleno funcionamento, podendo ser acionado por mecanismos independentes.

O cilindro rotativo é mais uma das inovações a ser incorporada aos rebocadores responsáveis pela tração. É utilizado para se obter forças de sustentação a fim de permitir a manobra ou a redução de velocidade de grandes navios em águas restritas. Este dispositivo torna-se altamente eficiente quando instalado no bordo de ataque do *skeg* e *fins*.

Figura 23: Rebocador utilizando cilindro rotativo



Fonte: Marine Insight

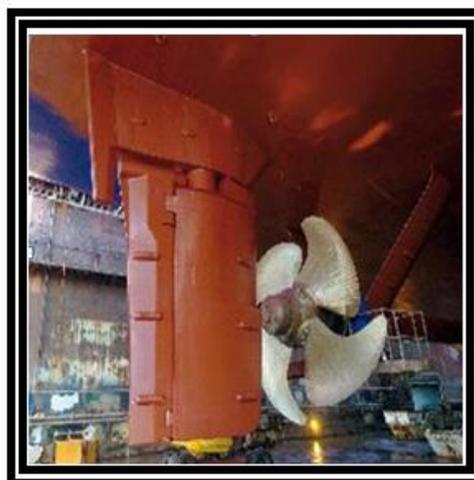
2.9 Tipos especiais de lemes

Em condições ideais, os padrões de manobrabilidade desejados devem ser definidos em função das manobras a serem executadas. Através de vários testes com modelos e valendo-se da ajuda de softwares, poderão ser quantificados os vários parâmetros de estabilidade, bem como as forças e momentos proporcionados pelas superfícies de controle, isto é, lemes e hidrofólios. Desta forma, torna-se possível fazer uma perspectiva acerca do desempenho das embarcações e comparar os resultados com os padrões desejados e, portanto, introduzir as modificações necessárias nas áreas de sobre-quilha e hidrofólios.

Existem varios tipos de lemes instalados em diferentes partes ao redor do mundo. Muitos são de aplicação limitada, e ideias sobre novos tipos de lemes devem ser examinadas cuidadosamente e testadas no que diz respeito ao uso que se espera do navio. Por exemplo, alguns lemes só são bons em navios com propulsão simples e de velocidade relativamente baixa. Não é viável discutir aqui todos os tipos de lemes existentes, portanto, o foco será dado aos lemes Becker, cicloidal Voith Schneider e Schilling.

O leme Becker, como mostrado na figura abaixo, possui o seu corpo em formato convencional NACA. Sua principal vantagem é seu grande poder de manobra em decorrência da largura maior de sua placa principal. As correções de curso podem ser feitas a ângulos menores, com isso, haverá menos perda de velocidade e, portanto, economia de combustível.

Figura 24: Leme Becker

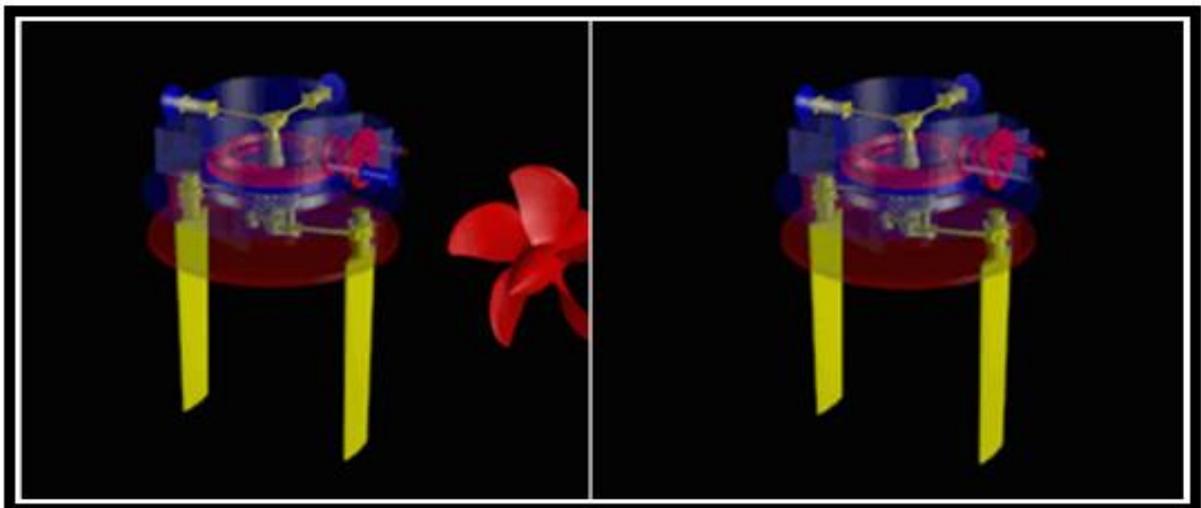


Fonte: Marine Insight

O Leme cicloidal *Voith Schneider* consiste em um disco colocado paralelamente ao fundo do navio com duas lâminas (blades), que antes possuíam formato de hidrofólio, evoluindo, posteriormente, para o perfil em fishtail, graças a dados revelados por computação CFD. Todo o conjunto é posicionado após o propulsor, recebendo sua corrente de descarga. Este dispositivo pode ser utilizado de duas formas: modo passivo e modo ativo.

No modo passivo, o conjunto gira parcialmente para um lado ou outro, assim como um leme convencional de porta dupla, geralmente é utilizado em navios cuja velocidades são mais altas, pois quando em baixas, o leme começa a perder eficiência (6 nós para menos). Já no modo ativo, o disco gira em velocidade constante, tal como no propulsor cicloidal e as lâminas possuem um valor angular ajustado de forma a produzir a força na direção desejada. Neste modo, o VCR pode também atuar alterando o segmento, em conjunto com o propulsor principal ou atuando como “Stern thruster” no controle direcional da força aplicada.

Figura 25: Leme cicloidal Voith Schneider



Fonte: Voith Schneider

Outro modelo de leme muito empregado na indústria naval é o leme Schilling (figura 26), dotado de duas placas terminais transversais, cujo principal objetivo é evitar a fuga de fluxo de água da área de maior pressão para a de menor. O seu formato é em fishtail.

Figura 26: Leme Schilling



Fonte: Google imagens

3 ESTABILIZADORES

Os estabilizadores destinam-se a reduzir o movimento de balanço do navio, e, portanto, fazer com que a embarcação se mova de forma mais suave, reduzindo a possibilidade de tontura e desconforto dos passageiros e tripulação.

Quando existe uma grande quantidade de movimento, pode haver uma discrepância entre o que uma pessoa vê e o que ela percebe. Essa é a principal causa da ocorrência de tonturas. Com a atenuação da “rolagem”, ou seja, balanço da embarcação, menores serão as chances de tal desconforto.

Os estabilizadores são geralmente usados em navios de passageiros, navios de cruzeiro ou até mesmo em outros tipos de embarcações nas quais o balanço poderia avariar a carga transportada, como nos roll-on/roll-off (RO-RO), por exemplo. A imagem abaixo é do navio transatlântico RMS Queen Mary II, que utiliza alguns dos dispositivos estabilizadores em sua estrutura que serão citados ao longo deste capítulo, zelando, assim, pelo bem estar dos passageiros.

Figura 27: Queen Mary II



Fonte: Google imagens

Neste capítulo, serão apresentados os principais tipos de estabilizadores utilizados nos diferentes tipos de embarcações de superfície e de fundo.

3.1 Estabilizadores laterais

Os estabilizadores laterais (figura 28) são dispositivos utilizados, principalmente, em embarcações de superfície tais como navios de passageiros. Embora seja considerado um apêndice de casco, oferecendo resistência ao avanço da embarcação, seu emprego torna-se altamente vantajoso tendo em vista que maior conforto será oferecido aos passageiros, favorecendo, pois, a hotelaria. Grandes transatlânticos como o RMS Queen Mary II, por exemplo, utilizam estabilizadores laterais em seu projeto de construção.

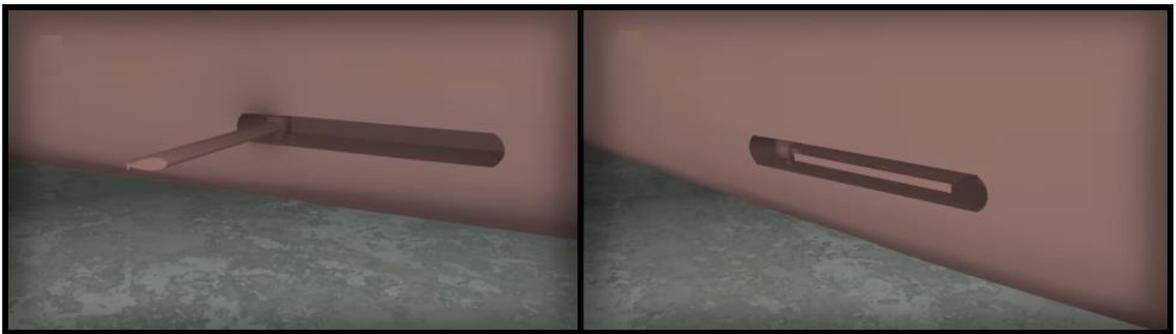
Figura 28: Estabilizadores laterais do Queen Mary II



Fonte: National Geographic

Cada estabilizador empregado no transatlântico RMS Queen Mary II, famoso navio de cruzeiro, possui o seu formato em *fishtail*, pesando cerca de 70 toneladas, com um comprimento de 6,25m, largura de 2,55m, podendo gerar uma força de sustentação de até 1070 GN. Estima-se uma redução de até 90% do balanço da embarcação (roll). Em águas tranquilas, situação em que o balanço é menor, esses dispositivos são retirados de atuação por meio de mecanismos hidráulicos, evitando, pois, um aumento desnecessário da força de arrasto.

Figura 28: Estabilizadores laterais do Queen Mary II

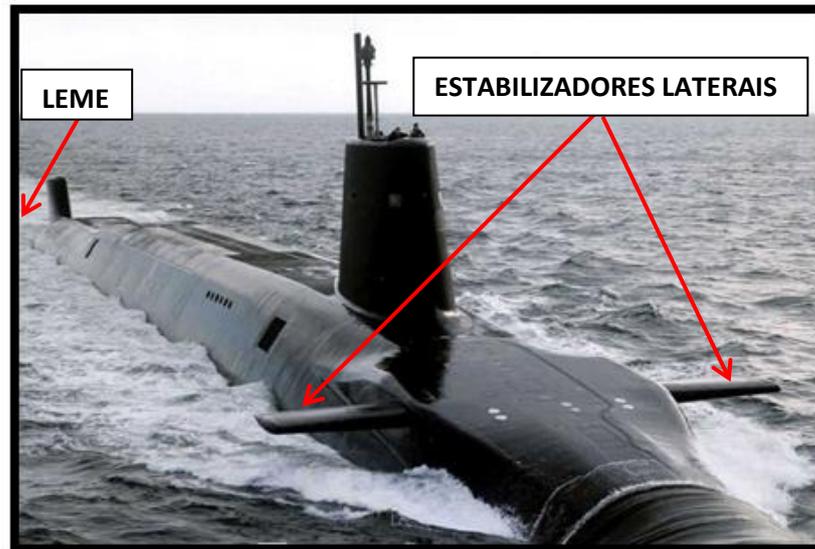


Fonte: National Geographic

3.1.1 Lemes e estabilizadores aplicados à submarinos

Os estabilizadores podem também ser empregados em embarcações que não sejam de superfície, principalmente os submarinos. Este tipo de embarcação possui em sua estrutura estabilizadores laterais que, além de controlar a embarcação, atua em conjunto com o lastro na operação de emersão e imersão do submarino, enquanto o leme, posicionado na parte traseira, atua no controle direcional do submarino. Na figura 29, é mostrado o submarino Nuclear *HMS Vanguard*, destacando-se seus estabilizadores laterais e leme.

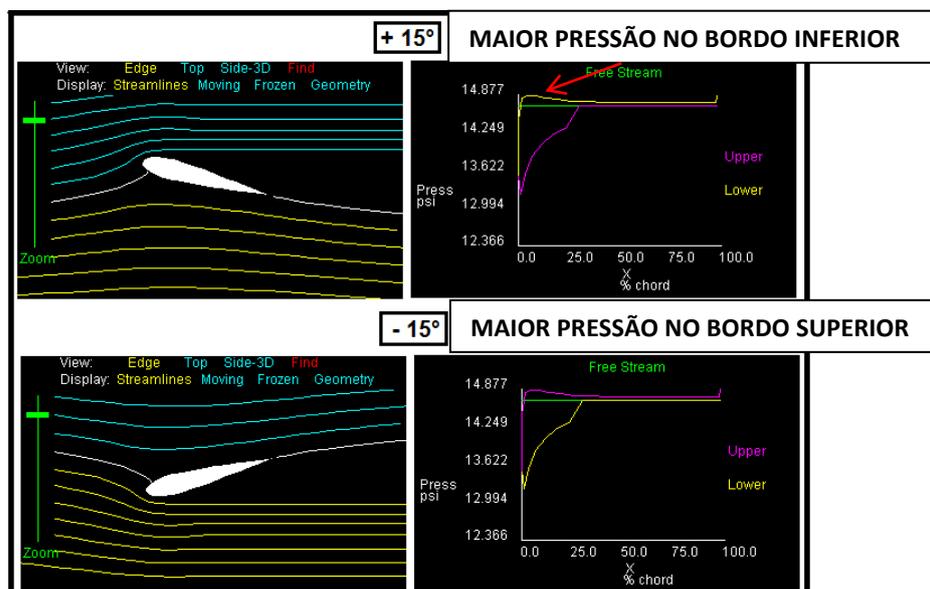
Figura 29: Submarino Nuclear HMS Vanguard



Fonte: Google imagens

Para melhor compreender a atuação dos estabilizadores laterais na operação de imersão e emersão dos submarinos em conjunto com o lastro, será utilizado o programa de simulação *foilsim*. Vale ressaltar que a atuação dos estabilizadores complementa a operação de lastro da embarcação de profundidade. Assim como o leme, esses dispositivos são controlados angularmente, podendo ter um valor de ângulo de ataque positivo ou negativo.

Figura 30: Análise do formato dos estabilizadores laterais



Fonte: Foilsim

Na figura 30, a linha na cor amarela representa a pressão na parte inferior do *foil* enquanto a parte superior, pela cor roxa. É claramente visível através dos gráficos apresentados que, quando aplicado ângulo de ataque negativo ao hidrofólio, a maior pressão se concentra na parte superior, fazendo com que haja um lift para baixo, ao contrário do que acontece com um ângulo de ataque positivo. Partindo desse princípio, o submarino é capaz de emergir quando aplicado um ângulo positivo em seus estabilizadores laterais em formato de asa e imergir aplicando-se um ângulo de ataque negativo.

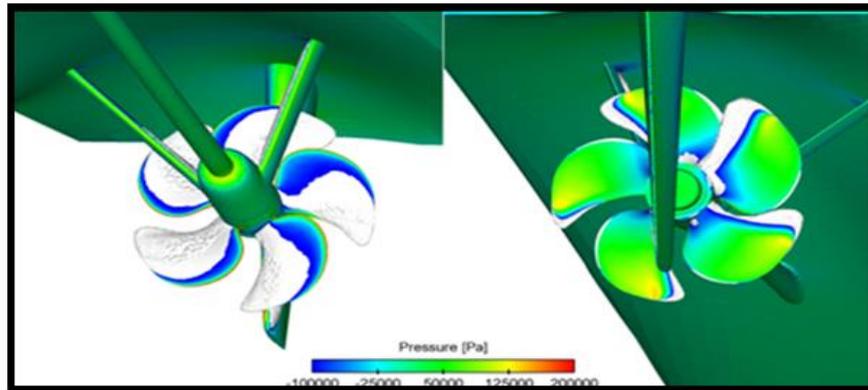
Figura 31: Estabilizadores do submarino Nuclear Chinês



Fonte: Google imagens

3.2 Skeg

O Skeg é um dispositivo estabilizador aplicado nos mais variados tipos de embarcações, desde grandes embarcações a rebocadores, cujo principal objetivo é homogeneizar o fluxo em ambos os propulsores. Utilizava-se, antigamente, “pés de galinha” na sustentação dos propulsores, como mostrado na figura 32. No entanto, chegou-se a conclusão que, durante a manobra, os vãos permitem um fluxo de água lateral indejado, fazendo com que a curva fosse mais aberta, perdendo-se, portanto, eficiência na guinada.

Figura 32: Pés de Galinha

Fonte: Voith

Para embarcações de eixo duplo aberto, a eficiência é geralmente comprometida quando comparada com a configuração de apenas um eixo, graças ao aumento de resistência de apêndices (pés-de-galinha e sapatas). A introdução do projeto dos *skegs* duplos elimina a necessidade desses apêndices mencionados, e podem, ainda, oferecer uma melhor *performance* hidrodinâmica, especialmente para navios volumosos ($C_b > 0,70$) e aqueles com bocas amplas e/ou calados menores.

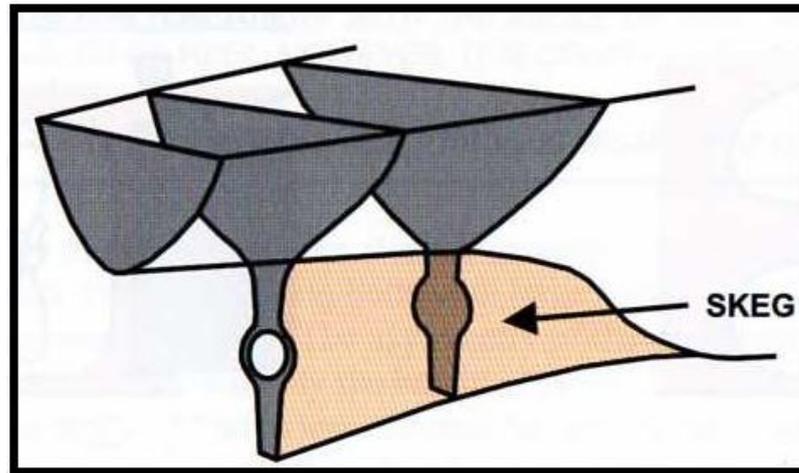
Figura 33: Propulsão dupla utilizando skegs

Fonte: Voith

A popa do navio pode apresentar uma extensão com perfil em forma de V estreito conhecido como **skeg**, através do qual o eixo do propulsor pode atravessar ou passar. Este dispositivo homogeneiza e direciona favoravelmente o fluxo para o propulsor e ainda, aumenta a resistência lateral na popa.

O skeg influencia também o desempenho direcional da embarcação, deslocando o ponto de aplicação da força hidrodinâmica do casco no sentido da proa, aumentando a estabilidade direcional do navio.

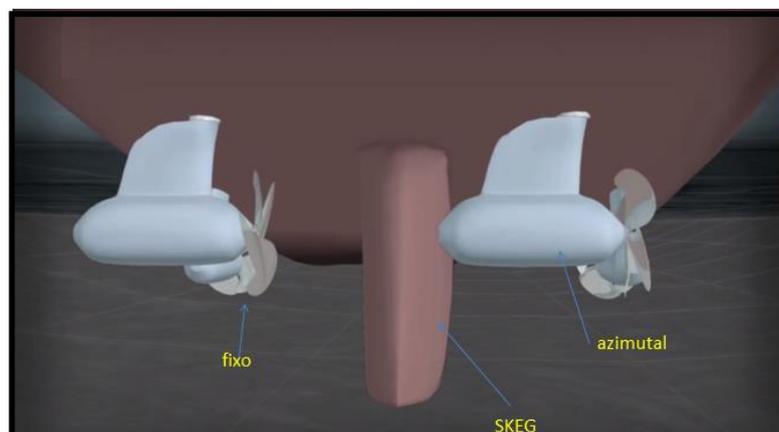
Figura 34: Skeg



Fonte: Acervo pessoal

O projeto de skeg, aplicado no eixo central do navio, também pode ser aplicado em conjunto com dois propulsores azimutais e um fixo. Quando a embarcação move-se avante ou para ré, o propulsor fixo contribui, possibilitando maior eficiência aplicada ao seu movimento. Nas manobras de guinada, o propulsor fixo passa a ser indiferente, podendo ser desativado eletricamente. O sistema mostrado na figura abaixo proporciona um grande ganho de eficiência nas guinadas das embarcações, além de diminuir consideravelmente a curva de giro.

Figura 35: Propulsão dupla utilizando skegs



Fonte: Voith

3.3 Voith Turbo Fin

O Fin (ou aleta) consiste em um tipo de skeg, com formato em *fishtail*, contruído em conjunto com um cilindro rotativo, cujo principal objetivo é evitar o descolamento da camada limite, e placas terminais (*end plates*). É posicionado na extremidade oposta à do conjunto do propulsor, no plano central.

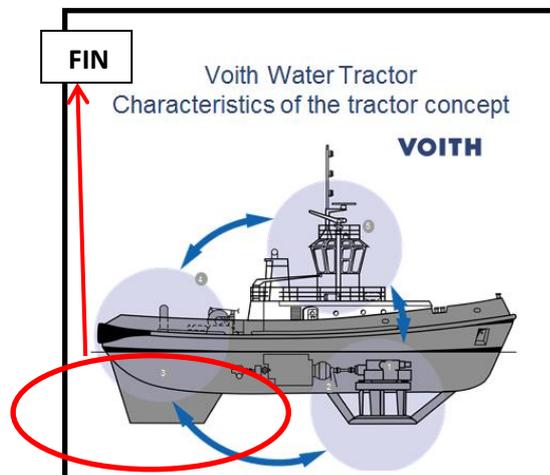
Figura 36: Aplicação do fin



Fonte: Voith

O Voith Water Tractor (VWT) é um conceito único e muito seguro de rebocadores que empregam o fin em sua estrutura. A posição dos propulsores em relação ao ponto de reboque assegura uma força de equilíbrio estável e, por conseguinte, uma elevada segurança durante a assistência às embarcações. O *fin* tem um importante papel para a geração de forças elevadas de guinada.

Figura 37: Voith Water Tractor

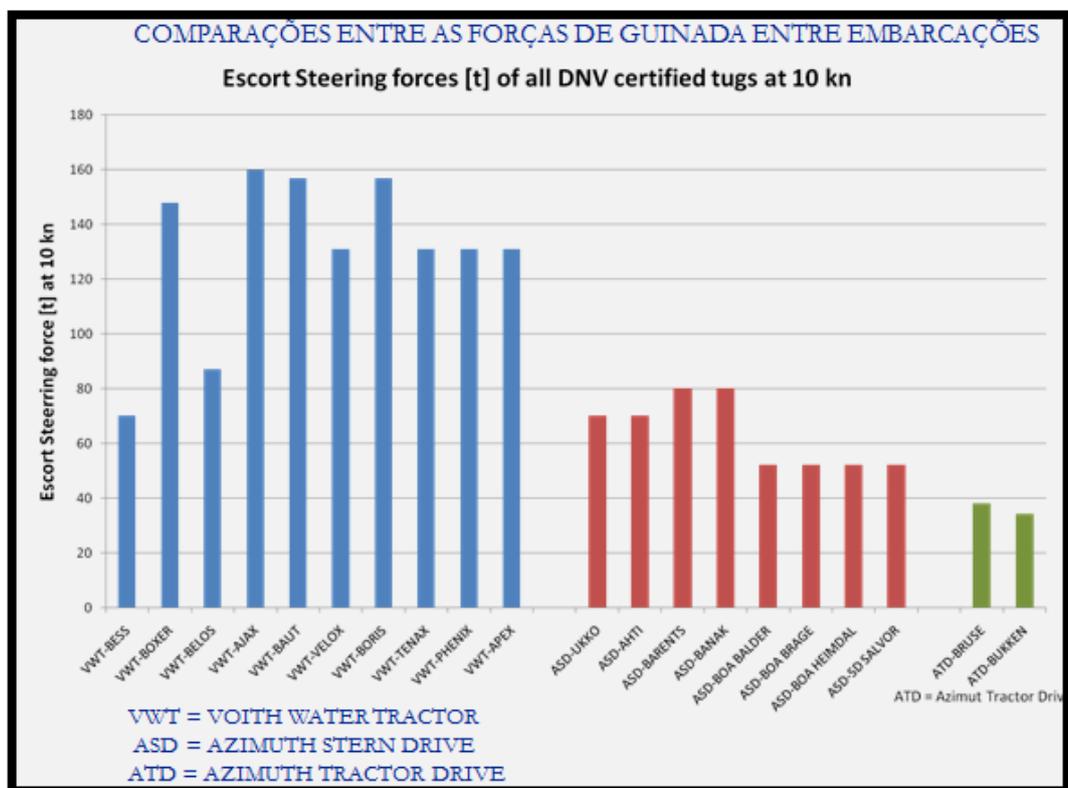


Fonte: Voith

Embora as conclusões pareçam puramente teóricas, testes na prática demonstram, sem deixar nenhuma sombra de dúvidas, que o desempenho do Voith Water Tracker se destaca. O seu sistema de propulsão Voith Schneider aliado ao dispositivo fin possibilita uma elevada força de guinada, melhorando, portanto, a manobra dos rebocadores.

No gráfico a seguir, é mostrado uma comparação entre as forças de guinada de diferentes tipos de rebocadores.

Gráfico 3: Análise comparativa entre VWT e demais projetos.



Fonte: Voith Schneider

É claramente visível, através do gráfico acima, que o sistema Voith Water Tractor supera os demais rebocadores em manobrabilidade e força de guinada.

4. PROPULSORES ESPECIAIS

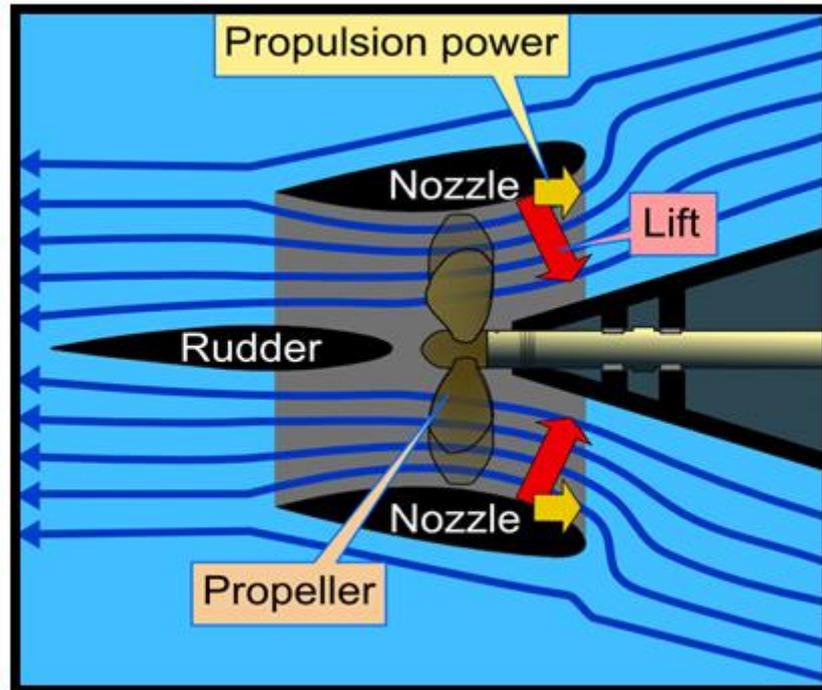
Ao longo de décadas, a indústria naval vem buscando inovações técnicas que possibilitem às embarcações operarem com a maior eficiência possível. O leme, embora seja uma importante superfície de controle e manobra, constitui um apêndice de casco, gerando, portanto, uma resistência ao avanço das embarcações. Além do que a máquina do leme e seus periféricos ocupam um espaço muito grande no interior do casco, podendo ser uma potencial fonte de problemas mecânicos, que exigem manutenção. Baseado nisso, a atenção será agora dada aos propulsores azimutais, que, além de dispensarem a utilização de lemes, trazem muitas vantagens e facilidades para a propulsão e manobra, como será abordado neste capítulo.

4.1 Propulsão azimutal

Na década de 50, vários fabricantes de propulsores buscaram soluções que proporcionassem maior manobrabilidade às embarcações. A propulsão azimutal foi concebida em 1955 por FW Pleuger e Busmann Friedrich (empresa Pleuger Unterwasserpumpen GmbH, Hamburg – Hoje, Flowserve Hamburg GmbH), como o desenvolvimento de um leme ativo. Embora tenha sido patenteado na época (patente 2.714.866 do Escritório de Patentes dos Estados Unidos, em agosto de 1955), era muito à frente de seu tempo e acabou não sendo construído. As empresas pioneiras na construção dos propulsores azimutais foram a alemã Schottel e a finlandesa Wärtsilä.

O tubo Kort fixo, organizando e acelerando o fluxo de saída do propulsor, mostrou grande eficiência no thrust por proporcionar um aumento de cerca de 30% no Bollard pull e, posteriormente, ao se adotar o perfil de asa para o tubulão que envolve o propulsor, este proporcionou um thrust adicional mostrado nas setas amarelas da figura abaixo.

Figura 38: Esquema de um tubo Kort

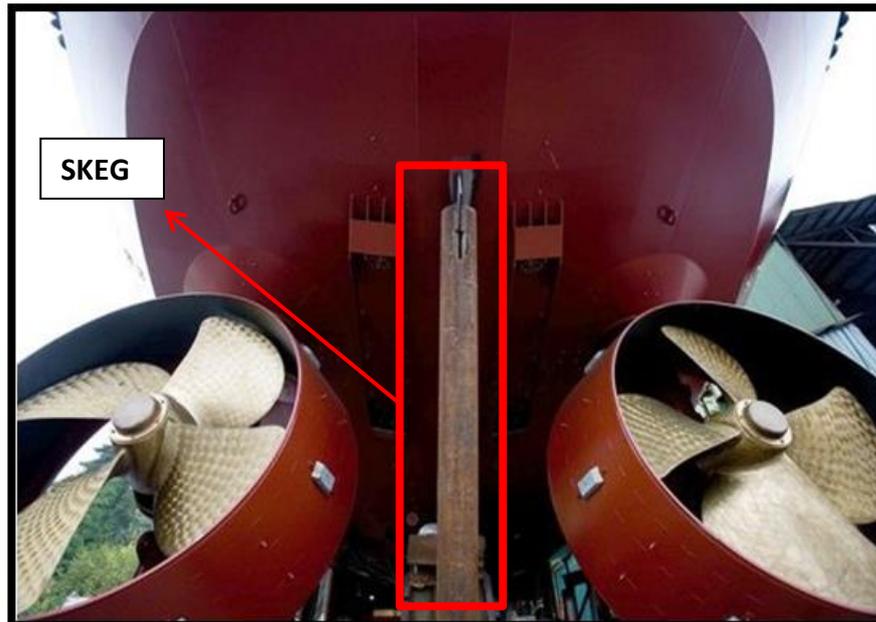


Fonte: How Stuff Works

No entanto, quando em um tubo Kort fixo se dá máquinas a ré, a descarga do propulsor se faz sobre a carena, perdendo-se uma boa fração do thrust pelo efeito Coanda, além do fato de, hidrodinamicamente, ser necessário acelerar o fluxo da seção convergente para divergente. Uma decorrência do estado da técnica foi conferir inteira liberdade de rotação, eliminando a linha de eixo e transferindo a rotação para o bulbo propulsor pelos sistemas Z-Drive e L-Drive. Originava-se, portanto, o propulsor azimuthal.

O propulsor azimuthal usando a transmissão Z-drive foi inventado em 1950 pelo fundador Joseph Becker Schottel na Alemanha. As primeiras aplicações ocorreram em 1960, sob o nome de marca Schottel. Em 2004, Joseph Becker recebeu o Prêmio A. Elmer Sperry por esta invenção considerada uma importante contribuição para a melhoria do transporte marítimo mundial.

Um propulsor azimuthal (ASD), portanto, é uma hélice que pode direcionar o fluxo de água em várias direções, girando 360° em torno de um eixo vertical. Com isso, existe uma melhora na capacidade de manobra da embarcação, fazendo com que o leme seja desnecessário.

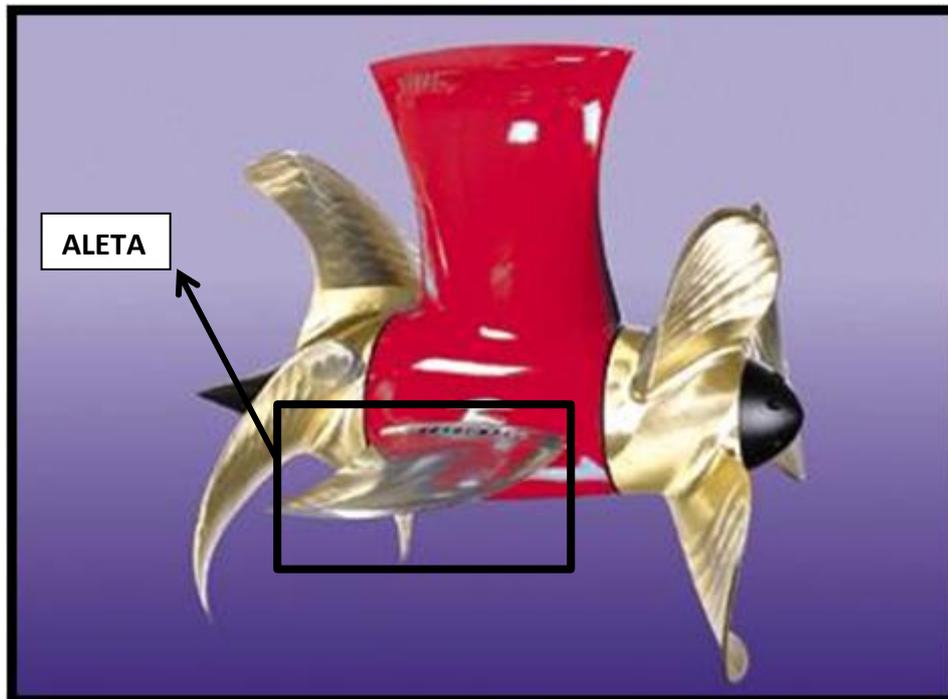
Figura 39: Propulsores azimutais

Fonte: Voith

4.2 Schottel Twin Propeller

Este sistema converte a potência do motor em impulso ideal e possibilita também a utilização da força total de propulsão para a manobra da embarcação através da rotação de 360° da parte subaquática.

O Schottel Twin Propeller (STP) baseia-se também neste princípio simples e eficaz. Diferentemente do propulsor azimutal SRP, o Schottel Twin Propeller é equipado com dois hélices que giram no mesmo sentido de rotação. O sincronismo dos hélices e do tubo de governo com aletas integradas proporcionam um aumento significativo da eficiência se comparados a unidades com apenas um hélice. Esse sistema de propulsão é sucesso de otimização do completo sistema de propulsores azimutais e assim ideal como sistema de propulsão para todas as embarcações de velocidade média com aplicações que usam cargas de hélice mais elevadas. Isto acontece por causa da tecnologia do duplo hélice que distribui a potência em dois hélices reduzindo a carga em cada hélice e aumentando desta forma a eficiência do sistema.

Figura 40: Schottel Twin Propeller

Fonte: Schottel

4.3 Bow Thruster

“Bow thruster” é um tipo de equipamento propulsor que fornece maior manobrabilidade às embarcações. O termo pode ser traduzido como “propulsor para manobras” ou também como impelidor lateral, mas sua forma em inglês é comumente utilizada no Brasil.

Um bow thruster típico é formado por um hélice lateral embutido dentro de um pequeno túnel cilíndrico no casco da proa localizado um pouco abaixo da linha d’água (alguns preferem utilizar o termo “tunnel thruster” para este caso). Este hélice pode ser acionado por um motor elétrico ou hidráulico. Assim como existe o bow thruster, também existe o stern (popa) thruster. Nesses casos, o hélice poderá ser de passo fixo (FPP), com caixa inversora, ou passo controlável (CPP).

Este tipo de dispositivo é muito útil nas manobras para atracar uma embarcação lateralmente. Também é largamente empregado nos navios que apoiam a indústria off-shore. Independente da função da embarcação, esses dispositivos também auxiliam em sistemas DP.

Figura 41: Bow thruster

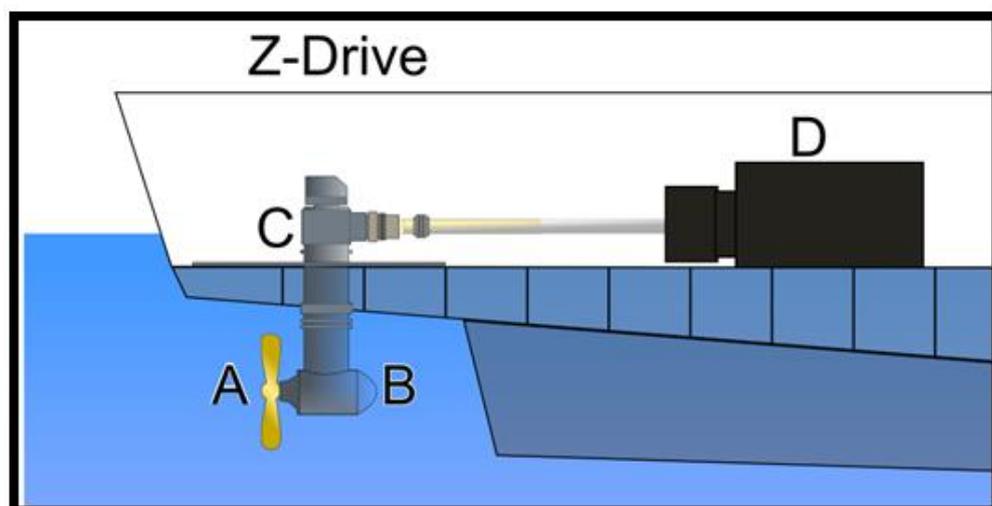


Fonte: Google imagens

4.4 Z-Drive

É um sistema de transmissão mecânica em que o “pod” pode girar até 360 graus, permitindo mudanças rápidas na direção de impulso. Isso elimina a necessidade de um leme convencional. O Z-drive é assim chamado pela aparência (na seção transversal) do eixo motor mecânico, ou configuração de transmissão, utilizado para conectar a energia mecânica fornecida ao dispositivo acionador do hélice. O movimento de rotação tem que realizar duas voltas em ângulo reto, assemelhando-se, assim, à letra "Z". Tem como desvantagem o fato de possuir duas “gearbox”, (B) no pod e (C) no interior do casco, causando perdas.

Figura 42: Z-Drive

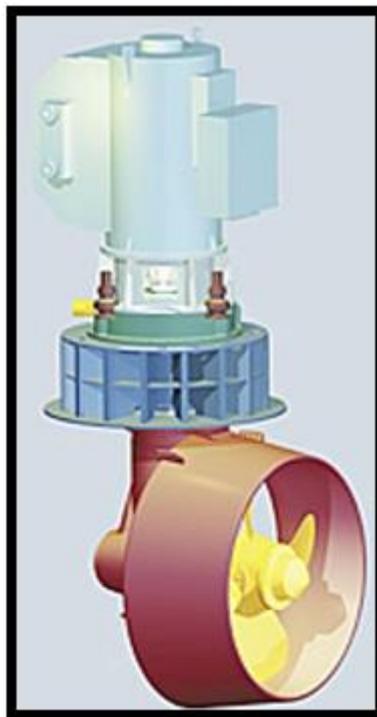


Fonte: Voith

4.5 L-Drive

O L-drive é um tipo de transmissão para um propulsor azimutal, em que no “pod” montado, os hélices são movidos mecanicamente ao invés de eletricamente. O “pod” pode ser girado de 360 graus, permitindo mudanças rápidas na direção da impulsão e eliminando a necessidade de um leme convencional. Esta forma de transmissão de energia é chamada L-drive, porque o movimento de rotação tem que executar um giro em ângulo reto, conformando, assim, a letra "L". É mais vantajoso do que a Z-Drive por possuir apenas uma “gearbox” no pod, diminuindo as perdas.

Figura 43: L-Drive



Fonte: Voith

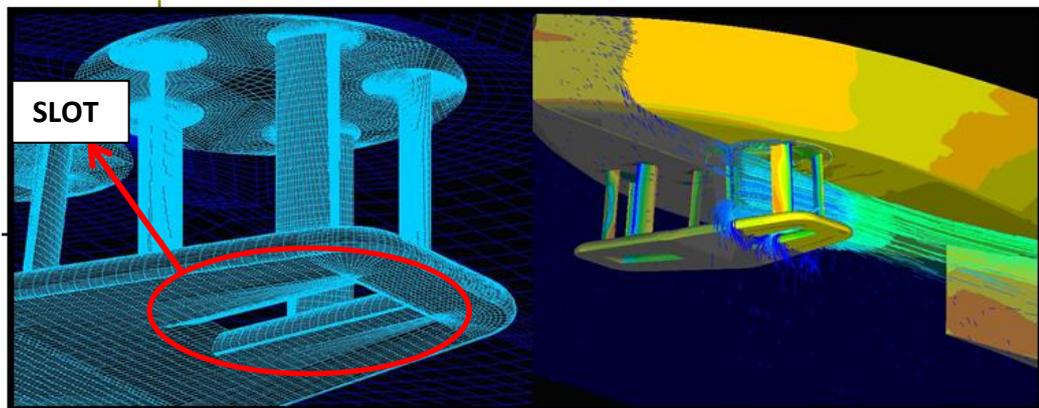
4.6 VWT Slotted Guard

As lâminas do propulsor Voith Schneider, na sua concepção original, por ter nenhum tipo de proteção, estavam sujeitas à sérias avarias em regiões de baixo calado. Como ideia inicial, colocou-se uma placa plana que envolvesse as lâminas de forma a protegê-las sem o comprometimento do seu funcionamento, podendo, ainda, servir como apoio em conjunto com o dispositivo fin por ocasião de docagem. A colocação dessa placa plana, apesar da sua utilidade, acarretou um ligeiro

aumento na resistência por consistir em um apêndice de casco. Verificou-se, então, a necessidade de se manter a placa, porém com perfil modificado.

Pesquisas iniciais fundamentadas em CFD mostraram que, ao conferir a essa placa um perfil de hidrofólio onde a face externa da placa é plana e região curva da face interna da placa, sendo a de maior velocidade. Dados mostraram que, com a adoção do perfil de hidrofólio, o efeito asa proporcionou um lift adicional, aumentando o Bollard pull. Continuando com as pesquisas, foram sugeridos a introdução de slots (fendas longitudinais), por analogia aos slots das asas das aeronaves. Tal detalhe permitiu que uma parte do fluxo da região de maior pressão, na face plana da placa, fosse transferido através do slot para a face interna, energizando, portanto, a camada limite e aumentando ainda mais a força de sustentação e, conseqüentemente, o Bollard pull.

Figura 44: Slotted guard aplicado ao Voith Water Tractor



Fonte: Voith

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No trabalho apresentado, pode-se concluir que o desenvolvimento da hidrodinâmica sempre esteve intimamente ligado à aerodinâmica e esta, por sua vez, inspirou-se, na maioria de suas invenções, na natureza.

O controle e as características de manobra das embarcações são de extrema importância no que diz respeito à eficiência da embarcação, conforto e segurança dos passageiros e de sua tripulação. O leme, importante superfície de controle, sofreu sensíveis modificações em seu projeto, a fim de possibilitar uma boa e rápida resposta de guinada. Esse dispositivo, por se tratar de um apêndice de casco, passou a ser substituído pela propulsão azimutal, otimizando, portanto, a operação das embarcações.

Grandes navios de cruzeiros como o Queen Mary II, por exemplo, preocupados com a segurança e conforto de seus passageiros, aplicaram na estrutura do casco, dispositivos estabilizadores em formato de asas para reduzir, portanto, o balanço do navio, grande inconveniente a bordo. Além dos estabilizadores laterais, o skeg e o fin contribuíram em grande escala para a redução do “roll” das embarcações.

Nas atividades offshore, principalmente nas que são realizadas longe da costa e em grandes profundidades, mostrou a necessidade de desenvolver novas embarcações para que pudessem ser atendidas as operações complexas e de alto risco no suprimento das plataformas e navios sonda. Deste modo, nessas novas embarcações foram incorporados novos propulsores, principalmente azimutais, e dispositivos de controle, tais como estabilizadores e aletas,

Com o estudo de tais dispositivos que visam melhorar o controle e manobra das embarcações, conclui-se que a indústria naval vem avançando ao longo dos anos em busca de melhorias para o projeto das embarcações que possibilitem aumentar a sua eficiência e reduzir gastos. Novos aperfeiçoamentos surgirão e são desejados.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro, 2004.

CLARK, I. C. Ship dynamics for mariners: a guide to the theory of hull resistance, power requirements, propulsion, steering, control systems and ship motion in a seaway. London: The Nautical Institute, 2005 300p. ISBN 1870077687

JURGENS, Birgit; Werner Fork. The Fascination of the Voith-Schneider Propeller History and Engineering. KOEHLER, Hamburg, p.10-47, 2002.

JURGENS, Dr.Dirk: Interview dated 8.07.2013. Heidenheim, Germany

LE CHEVALIER, Captain Yves; RADIKE Olaf: Voith Water Tractor Maneuver Manual. Heidenheim, Germany.

PALM, Michael: Interview dated 9.07.2013. Heidenheim, Germany

PAFFETT, J. A. H. Ships and water. A short book about physical interpretations which occur between a ship and her liquid environment. London: The Nautical institute. 1990. 95p. ISBN 1870077067

Slides de hidrodinâmica. Autor: Prof.: Hermann