

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MÁQUINAS - APMA.1/2019

CAÊ MAHAN TORRES DE SANTANA

LEME E PROPULSORES

RIO DE JANEIRO
2019

CAÊ MAHAN TORRES DE SANTANA

LEME E PROPULSORES

Monografia apresentada como Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, como parte dos requisitos para obtenção do Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Orientador: Ramesses Cesar da Silva Ramos.

**RIO DE JANEIRO
2019**

CAÊ MAHAN TORRES DE SANTANA

LEME E PROPULSORES

Monografia apresentada como Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, como parte dos requisitos para obtenção do Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Data de Aprovação: ____/____/____

Orientador: Ramesses Cesar da Silva Ramos.

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

Assinatura do Aluno

Dedico este trabalho ao meu filho Noah, por me inspirar a seguir em frente, me tornar uma pessoa melhor e um profissional mais focado e dedicado.

RESUMO

Abordaremos neste trabalho todos os conceitos básicos com relação à propulsão, os principais propulsores utilizados em embarcações mercantes, passando por uma sucinta análise dos tipos de hélice e disposição do maquinário. Além de esmiuçar as máquinas propulsoras. Ressaltando a importância de possuir uma ótima manobrabilidade da embarcação, os fatores que influenciam diretamente no governo do navio, bem como o fator do aumento da eficácia trazer economia operacional.

Palavra-chave: Propulsão. Hélice. Máquinas propulsoras. Manobrabilidade. Economia operacional.

ABSTRACT

We will cover in this work all the basic concepts regarding propulsion, the main propellers used in merchant vessels, passing through a brief analysis of propeller types and machinery layout. In addition to crushing the propulsion machinery. Emphasizing the importance of having a great maneuverability of the vessel, the factors that directly influence the ship's government, as well as the factor of the increase of effectiveness bring operational economy.

Keyword: Propulsion. Propeller. Propulsion machinery. Maneuverability. Operating economy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES/FIGURAS

Figura 1:	Hélice com a diferença de pressão	13
Figura 2:	Hélice livre	14
Figura 3:	Coeficientes do hélice	15
Figura 4:	Diagrama de águas livres	16
Figura 5:	Hélice propulsora produzindo cavitação num túnel de água	17
Figura 6:	Diagrama de fase da água	17
Figura 7:	Valor máximo Golpe de Aríete	19
Figura 8:	Ventilação	20
Figura 9:	Efeito da Ventilação	20
Figura 10:	<i>Rake</i>	21
Figura 11:	<i>Rake angle</i>	21
Figura 12:	<i>Cup</i>	22
Figura 13:	<i>Cup demonstration</i>	22
Figura 14:	<i>Skem Angle</i>	23
Figura 15:	<i>Skem demonstration</i>	23
Figura 16:	Propulsão direta	24
Figura 17:	Propulsão indireta	25
Figura 18:	Hélice de passo variável	26
Figura 19:	Propulsor azimutal (azipod)	27
Figura 20:	Propulsor <i>Voith Schneider</i>	28
Figura 21:	Propulsor lateral	28
Figura 22:	Hélice de passo fixo	30

Figura 23:	Hélice de passo constante	30
Figura 24:	Hélice em dutos	31
Figura 25:	Hélice de passo controlável	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PSV	<i>Platform Supply Vessel</i>
LNG	<i>Liquefied Natural Gas</i>
RPM	<i>Revolutions per minute</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

T	Empuxo
ρ	Densidade de água
η	Rotação
D	Diâmetro da hélice
Q	Toque do propulsor
Va	Velocidade de avanço no hélice
Po	Pressão estática no hélice
Pv	Pressão de vapor na água

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	CONCEITOS BÁSICOS ALIADOS A PROPULSÃO	13
2.1	Funcionamento de um hélice	13
2.1.1	<u>Coeficientes do hélice</u>	14
2.2	Cavitação	16
2.3	Golpe de Aríete	18
2.4	Ventilação	19
2.5	<i>Rake, Cup e Skew</i>	21
3	PROPULSORES	24
3.1	Tipos de propulsão utilizadas em embarcações mercantes	24
3.1.1	<u>Propulsão Direta</u>	24
3.1.2	<u>Propulsão Indireta</u>	25
3.2	Categorias de hélice	29
3.2.1	<u>Hélice de passo fixo</u>	29
3.2.2	<u>Hélice de passo constante</u>	30
3.2.3	<u>Hélice em dutos</u>	31
3.2.4	<u>Hélice passo controlável</u>	32
4	MÁQUINAS PROPULSORAS	33
4.1	Modelos de máquinas de propulsão	33
4.2	Estrutura das aparelhagens de propulsão	33
4.3	Composição das aparelhagens de propulsão	34
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	36

1 INTRODUÇÃO

A demanda por embarcações do meio *offshore* tende a crescer até 2020 (CONEXÃO MARÍTIMA, 2014).

Podemos classificar a instalação propulsora, metaforicamente, como o "órgão vital" de uma embarcação. Fazer a escolha correta e adequada do sistema de propulsão, assim como dimensionar todos os seus componentes é fundamental para as operações.

Potencializar a eficiência traz como uma das vantagens, a redução de custos relativos aos materiais. Essas pequenas variações na maximização da eficiência podem parecer desnecessárias, porém, devido ao alto consumo de potência nos motores marítimos, esse acréscimo na eficácia, traz uma grande parcela de economia em termos operacionais (VALLE, 2011).

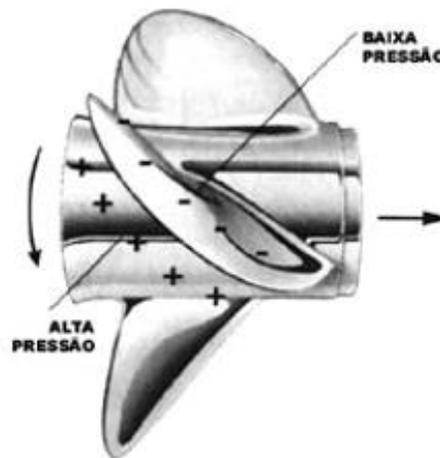
Realizar qualquer tipo de manobra em uma embarcação consiste em mudar o seu movimento, podendo alterar sua velocidade, rumo ou ambos. Aparentemente é algo simples, porém essa tarefa é composta de uma rede de fatores que fazem com que a velocidade ou o rumo escolhidos não fiquem exatamente iguais aos que o operador da embarcação escolheu. Podemos citar como fatores que influenciam diretamente no governo do navio: vento, corrente de esteira, deriva, efeitos do propulsor, efeitos do leme, condições de mar, calado, entre outros. As manobras também podem ser influenciadas pelas próprias características da embarcação (propulsor utilizado, por exemplo). Ou seja, possuir uma boa manobrabilidade está diretamente ligado ao tipo de propulsor escolhido para a embarcação, o tipo de hélice, a disposição do maquinário, bem como outros fatores correlatos ao sistema de propulsão de bordo.

2 CONCEITOS BÁSICOS ALIADOS A PROPULSÃO

2.1 Funcionamento de um hélice

Para compreender o conceito de um hélice, imagine-o em movimento com as pás projetadas direto para a pessoa que o visualiza. Este está girando de cima para baixo e da esquerda para a direita. Para este caso, a pá empurra a água do mesmo modo que se faz quando se está nadando. A água na palma da mão corre para ocupar o espaço criado na parte de cima e isso também ocorre com o movimento da pá de um hélice. Este movimento gera uma diferença de pressão entre os dois lados da pá (uma pressão positiva empurrando a pá no lado de baixo e uma pressão negativa puxando a pá no lado de cima). Este efeito ocorre em todas as pás ao mesmo tempo, cada uma das pás puxando e empurrando água simultaneamente, por meio de um tubo imaginário, minimamente mais largo que o diâmetro do hélice (LYRA, 2011).

Figura 1: Hélice com a diferença de pressão.



Fonte: <http://navegarepescar.blogspot.com/2011/>.

Figura 2: Hélice livre.



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/H%C3%A9lice>.

2.1.1 Coeficientes do hélice

Após o armador realizar a escolha do tipo de propulsor, é necessário dimensionar o mesmo. Para o dimensionamento ser feito de forma correta, o escoamento não uniforme (chamado também de esteira não uniforme) devido à presença da embarcação deve ser considerado. Porém nos ensaios realizados em escala reduzida, o hélice é analisado em condições no qual o fluxo que chega até ele é praticamente uniforme. Com o hélice sendo testado desta maneira, chega-se em relações não dimensionais, as quais só dependem das particularidades do propulsor, em resumo, sem influência da esteira formada pelo casco (TRINDADE, 2012).

De acordo com Carlton (2007), as relações essenciais adimensionais são:

Figura 3: Coeficientes do hélice.

Coeficiente de força propulsiva:

$$K_t = \frac{T}{\rho n^2 D^4}$$

Coeficiente de torque:

$$K_q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5}$$

Coeficiente de avanço:

$$J = \frac{V_a}{nD}$$

Número de cavitação:

$$\sigma = \frac{P_o - P_v}{\rho n^2 D^4}$$

Fonte: Schoeping; Djonatan, 2014.

Legenda:

T = Empuxo;

ρ = Densidade da água;

η = Rotação;

D = Diâmetro do hélice;

Q = Torque do propulsor;

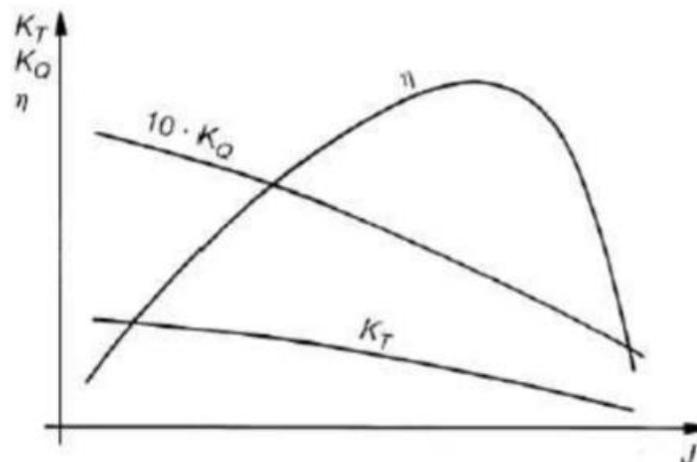
V_a = Velocidade de avanço no hélice;

P_o = Pressão estática no hélice;

P_v = Pressão de vapor da água.

Mediante os coeficientes de avanço, de torque e de força propulsiva pode-se chegar até o diagrama em águas livres, nele η ou η_o é a eficiência em águas abertas. O diagrama abaixo mostra as principais características do hélice em diversas condições de operação e ele é utilizado na parte de projeto para dimensionar e/ou escolher o propulsor (SCHOEPING, 2014).

Figura 4: Diagrama de águas livres.

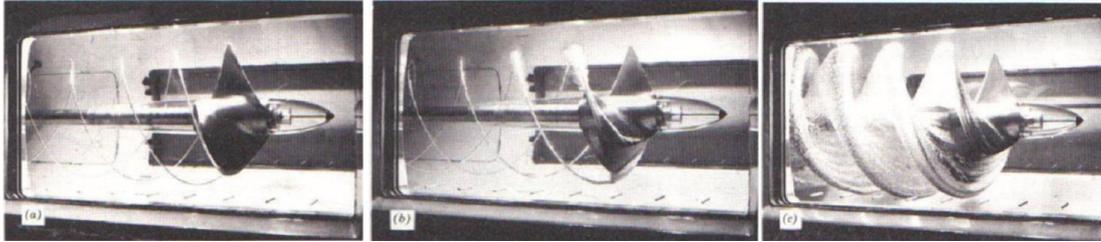


Fonte: TRINDADE, 2012.

2.2 Cavitação

O formato das pás do hélice faz com que a água que se encontra à vante seja levada para trás, assim gerando um movimento para vante. Este movimento ocasiona pressões diferentes nas pás do hélice, uma maior no lado posterior e outra menor no anterior. Quanto maior for o giro, maior será a diferença de pressão entre os lados de uma mesma pá. Como no fenômeno físico, a água ferve a uma determinada pressão, ou seja, quanto menor for a pressão mais facilmente a água ferverá e isso ocorre em algumas áreas do hélice, aparecendo pequenas bolhas de vapor, quando as mesmas migram para o lado da pressão mais elevada, ocasiona um colapso e o vapor retorna a forma líquida. Quando esse fenômeno ocorre, uma quantidade de energia é liberada, criando pequenas cavidades no hélice, dessa forma, resulta em perda de material, aparentando ser até corrosão ou eletrólise. A causa da cavitação pode ser devido alguma irregularidade no bordo de ataque da pá, porosidade na superfície da pá ou até uma pá má projetada (LYRA, 2011).

Figura 5: Hélice propulsora produzindo cavitação num túnel de água.

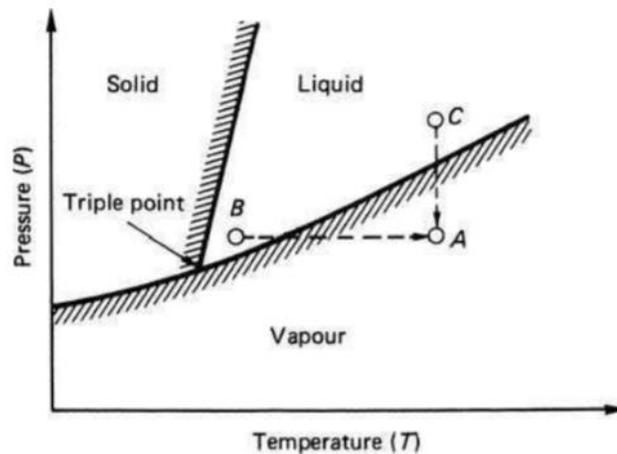


Fonte: National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex, England.

De acordo com Molland et al. (2011):

O fenômeno da cavitação é indesejado nos hélices navais e deve ser evitado ou tolerado a baixos níveis durante o funcionamento do mesmo. Trata-se de um fenômeno no qual a água muda de estado físico devido à baixa pressão a temperatura constante (Processo C→A). A figura abaixo ilustra esta situação pelo trajeto do ponto 'C' para o ponto 'A'. Em geral, a cavitação ocorre no dorso do hélice, na zona de pico de sucção, dando origem a bolhas de vapor.

Figura 6: Diagrama de fase da água.



Fonte: CARLTON, 2007.

Após essa situação, a bolha irá colapsar na face do hélice em consequência do aumento posterior de pressão (com isso, retorna ao estado líquido). A mudança de fase líquido vapor e vapor-líquido provocam ruído, vibração, redução da eficiência no propulsor e erosão da superfície das pás (TRINDADE, 2012).

2.3 Golpe de Aríete

Para tal fenômeno, foi inspirado no artefato bélico "aríete", o qual era utilizado na era medieval para derrubar os portões de fortalezas e castelos. Hidraulicamente esse fenômeno ocorre sempre que acontece algum tipo de alteração no fluxo da água: quanto mais brusca for, mais violento é o golpe. A sobrepressão causada por esse fenômeno ocorre em uma fração de segundo e não pode ser detectada por instrumentos convencionais. A velocidade de propagação da onda de pressão é aproximadamente 1.000 metros por segundo. Ao fechar-se repentinamente uma válvula (tempo de fechamento $t_{cl} = 0$), pela qual esteja escoando um fluido em regime permanente, toda a coluna de fluido a montante da válvula é instantaneamente desacelerada da velocidade w_l para $w = 0$. Isto acaba produzindo uma onda de pressão através do fluido em sentido oposto ao de escoamento deste fluido, o qual se desloca a velocidade do som. A onda de pressão é refletida na saída do tanque, retorna para a entrada da válvula e é refletida ali novamente e assim sucessivamente. A sobreposição das ondas de pressão em sentido contrário ao escoamento com as ondas de pressão refletidas resulta em golpes de pressão (LYRA, 2011).

O valor máximo do Golpe de Aríete pode ser calculado pela seguinte fórmula:

Figura 7: Valor máximo Golpe de Aríete.

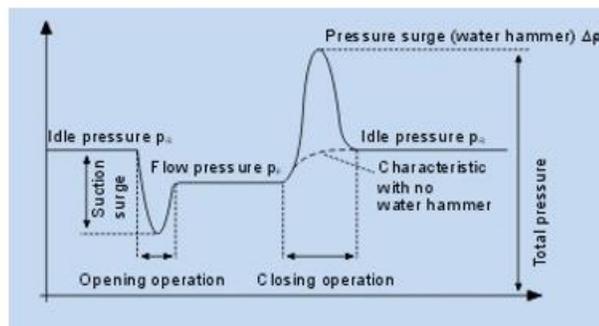
$$\Delta p_{\max} = a \cdot \rho \cdot w_1$$

Δp_{\max} : Pressure directly after closing the valve

a: Speed of propagation or sound

ρ : Density of the fluid

w_1 : Velocity with stationary outflow



Fonte: National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex, England.

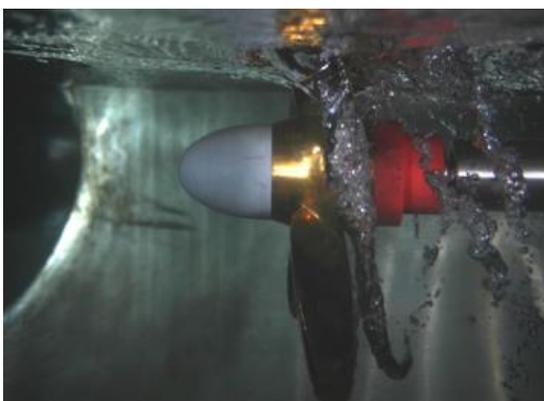
A pressão pode atingir diversas vezes a pressão de operação, levando a ruídos indesejáveis e principalmente, aumentar as tensões aplicadas ao sistema (LYRA, 2011).

2.4 Ventilação

Ela ocorre quando ar ou gases de descarga são sugados pelo hélice. Neste tipo de circunstância, não existe nada substancial para as pás impulsionarem. Dessa forma, perde-se a tração e o giro sobe. Com o aumento do giro, aparece a cavitação. Os efeitos causados pela cavitação e ventilação podem ser reduzidos se for aumentada a profundidade em que o hélice se encontra. A cavitação será reduzida devido ao aumento da pressão hidrostática que aumenta a

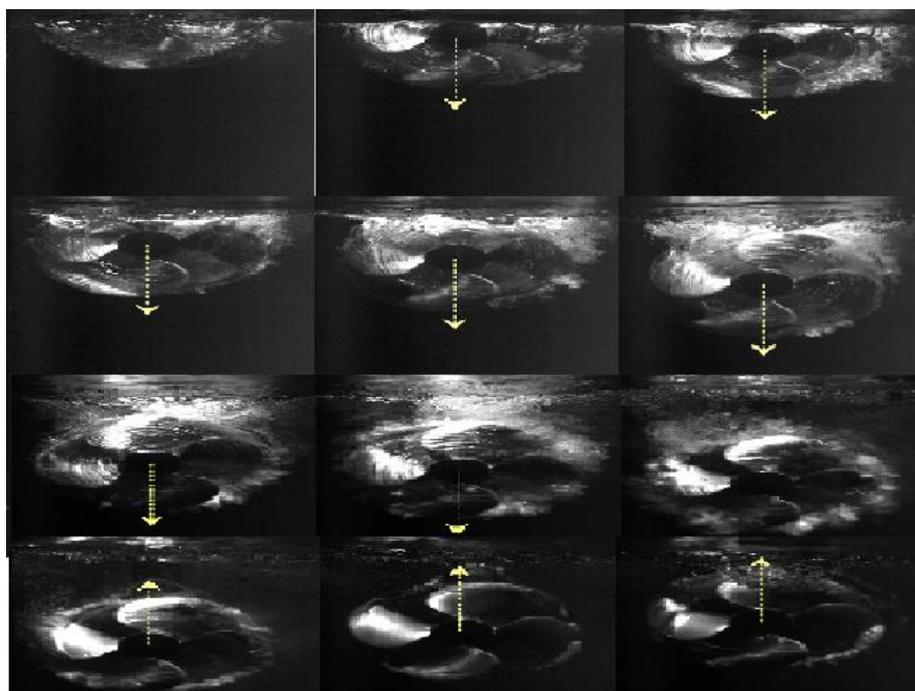
margem da pressão a vapor; e a ventilação também será minimizada, pelo fato do hélice estar mais longe da superfície e do ar e outros gases, os quais poderiam ser "sugados" pelo efeito do giro das pás (LYRA, 2011).

Figura 8: Ventilação.



Fonte: Lyra; Lydiane, 2011.

Figura 9: Efeito da Ventilação.

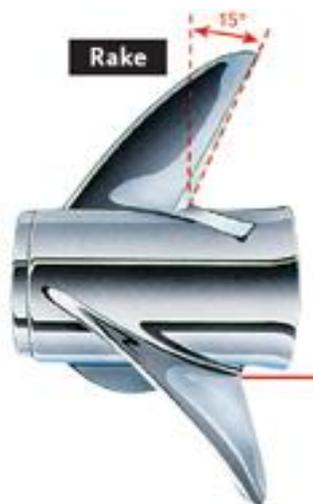


Fonte: Lyra; Lydiane, 2011.

2.5 *Rake, Cup e Skew*

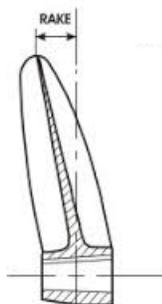
Rake é a inclinação para vante ou para ré, as quais algumas pás possuem. Ele é medido em ângulos, caso a pá seja perpendicular ao eixo, marca-se 0 graus de *rake*. Quanto maior for o ângulo de *rake*, melhor será a habilidade do hélice em trabalhar próximo à superfície, evitando assim efeitos de cavitação e ventilação (LYRA, 2011).

Figura 10: *Rake*.



Fonte: <https://styleboats.blogspot.com/2015/11/helices-e-sua-importancia.html>.

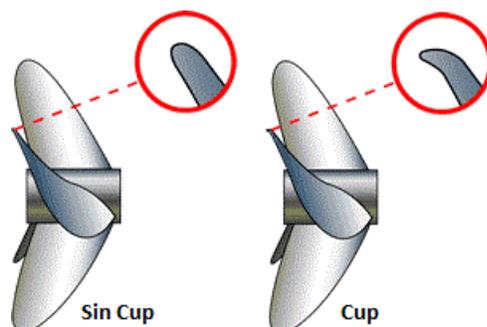
Figura 11: *Rake angle*.



Fonte: <http://www.ricepropulsion.com/TNL/Manuel/tnl52-1.jpg>.

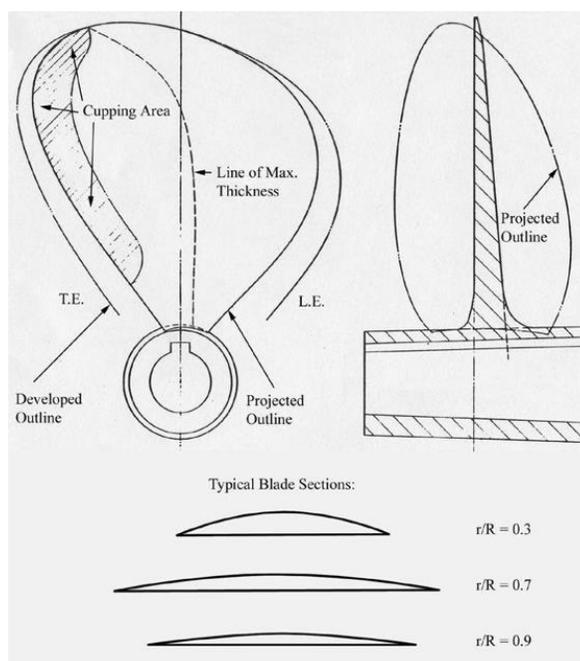
Cup é a concavidade que se vê no bordo de fuga da pá de um propulsor, assim evitando que o fluxo de água passe da área de maior pressão para a de menos pressão. Além disso, evitar a cavitação proporciona melhorar a atuação do hélice em altas velocidades.

Figura 12: *Cup*.



Fonte: <http://heliceskelly.com/2018/10/08/cup/>.

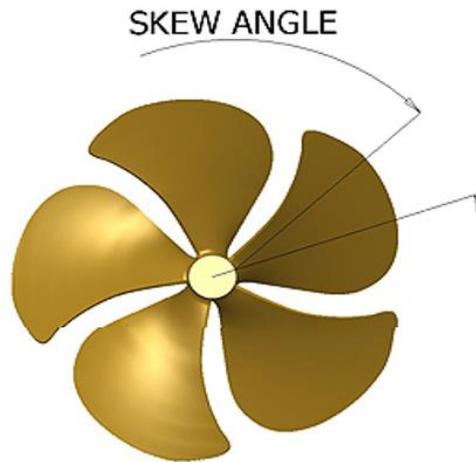
Figura 13: *Cup demonstration*.



Fonte: Lyra; Lydiane, 2011.

Skem é definido como a assimetria das pás. Uma pá com maior *skem* ou que esteja mais inclinada radialmente, minimiza a vibração da pá ao entrar na água. O quantitativo de pás também causa influência na vibração do navio, quanto maior for o número de pás, menor será a eficiência, mas também menos vibração (LYRA, 2011).

Figura 14: *Skem Angle*.



Fonte: Lyra; Lydiane, 2011.

Figura 15: *Skem demonstration*.



Fonte: <http://www.ricepropulsion.com/TNL/Manuel/tnl52-1.jpg>.

3 PROPULSORES

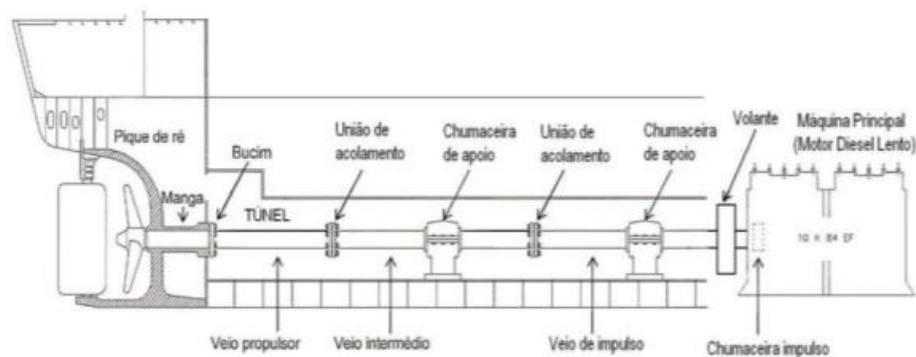
3.1 Tipos de propulsão utilizadas em embarcações mercantes

Ao falar em tipos de propulsão, citaremos dois tipos, a propulsão direta e a indireta, cada uma com seus sistemas e componentes específicos.

3.1.1 Propulsão Direta

A propulsão direta a máquina principal e o hélice operam com um bom rendimento e à mesma velocidade de rotação. A máquina principal irá acionar a linha de veios, onde fica montado o hélice (propulsor). A propulsão direta é composta pelos seguintes componentes: máquina principal, as quais podem ser motores a diesel lento e o de dois tempos, as linhas de veios, as quais são acionadas diretamente pelos motores e os hélices (propulsores) que podem ser de passo fixo ou variável (OLIVEIRA, 2015).

Figura 16: Propulsão direta.

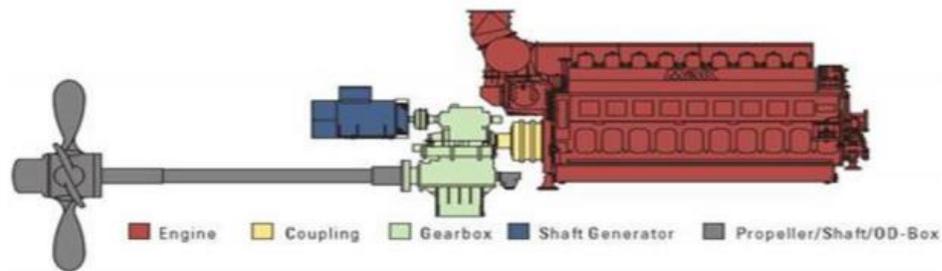


Fonte: http://images.slideplayer.com.br/3/1234578/slides/slide_7.jpg.

3.1.2 Propulsão Indireta

Na propulsão indireta, a máquina principal consegue operar tendo um bom rendimento apenas a uma velocidade de rotação superior à do hélice. A máquina principal irá acionar a linha de veios através de uma caixa de engrenagens redutoras, dessa forma, o hélice irá operar com rendimento, mas a uma rotação mais baixa. Seus componentes são divididos em máquina principal (onde podemos ter motores a diesel de dois tempos, quatro tempos de média velocidade, turbinas a vapor e turbinas a gás), linha de veios, as quais possuem caixa de engrenagem e redutoras, e os hélices que comumente são de passo variável (OLIVEIRA, 2015).

Figura 17: Propulsão indireta.



Fonte: http://images.slideplayer.com.br/3/1234578/slides/slide_10.jpg.

Segundo Trindade (2012), “*na engenharia naval a escolha do propulsor varia de acordo com os requisitos de projeto, tais como: rendimento, interação com o casco e cavitação*”.

Os principais tipos de propulsores de acordo com Molland et al. (2011); Carlton (2007) e Oliveira (2015) são os seguintes:

- **Hélice de passo fixo:** Este tipo de hélice possui as pás fixas no cubo do hélice. Essas fixações das pás no cubo podem ser feitas de forma separada na fundição ou podem ser parte de um único bloco de fundição. No geral, a razão diâmetro do cubo pelo diâmetro do hélice está dentro da faixa de 0,18 a 0,20.

- **Hélice de passo variável:** Este tipo de propulsor possibilita a variação do passo para as diferentes condições de carregamento no hélice. Diferentemente do hélice, de passo fixo sua razão diâmetro do cubo/diâmetro do hélice é em torno de 0,25. O custo inicial de aquisição e de manutenção também é maior em relação ao hélice de passo fixo. Mesmo com esses custos mais altos, este propulsor é útil em rebocadores, *trawlers*, *ferries* e embarcações de apoio *offshore*, como o PSV.

Figura 18: Hélice de passo variável.



Fonte: <http://www.nauticexpo.com/pt/prod/schottel/product-22142-78103.html>.

- **Hélice com duto:** É um hélice dentro de um duto, pode ser separado em duto acelerados (*Accelerating Duct*) e o duto desacelerador (*Decelerating duct*). O acelerador tem como principal objetivo ter uma maior eficácia em situações de forte carregamento do hélice e o desacelerador tem como objetivo a redução da cavitação.
- **Propulsor contra-rotativo (ou *Contra-Rotating Propeller*):** A configuração permite a utilização de dois hélices em linha, estes possuem sentidos de rotação diferentes com um eixo de rotação concêntrico. O propulsor contrarotativo objetiva recuperar a perda de eficiência realinhando o escoamento. Nos hélices, o escoamento de saída tem significativas componentes tangenciais e centrífugas.

- **Propulsor tandem:** Similar ao *Contra-Rotating Propeller*, o propulsor tandem possui dois hélices em linha, entretanto estes hélices estão conectados ao mesmo eixo, assim, possuem o mesmo sentido de rotação. Este sistema é usado quando um hélice só não basta para o empuxo (*thrust*) necessário.
- **Propulsor azimutal e *azipod*:** Tipo de propulsor no qual o motor que fornece potência ao hélice pode estar dentro do *pod* (*azipod*) ou estar fixo no casco do navio (azimutal), em quase todos os casos dos propulsores do tipo *azipod*, o *pod* consegue girar 360 graus e nos dois tipos de propulsão não há a necessidade de leme. Estas características facilitam as tarefas que exigem uma boa manobrabilidade;

Figura 19: Propulsor azimutal (*azipod*).



Fonte: <http://www.nauticexpo.com/pt/prod/rolls-royce/product-39194-389213.html>.

- **Propulsor cicloidal (*Cycloidal Propeller*):** Também chamado de *Voith Schneider*, este sistema possui as pás posicionadas na vertical e dispensa o uso de leme. Ele é encontrado em rebocadores, *ferries* e embarcações de apoio.

Figura 20: Propulsor *Voith Schneider*.



Fonte: <https://grabcad.com/library/voith-schneider-propeller-1>.

- **Propulsor lateral (*Lateral Thrust Units*):** É o propulsor posicionado lateralmente nos navios e no início era disposto na proa (*bow thruster*). Passando a ter necessidade de maiores manobras por parte das embarcações, este propulsor é intensamente aplicado tanto na proa quanto na popa. Comumente encontrado em embarcações de apoio *offshore*.

Figura 21: Propulsor lateral.



Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Manoeuvring_thruster.

3.2 Categorias de hélice

O sistema propulsivo de uma embarcação carece de um propulsor que ministre uma boa capacidade de manobra (MATHEDI, 2010).

Cada tipo de hélice possui uma particularidade, alguns armadores optam por máxima velocidade, outros querem uma que seja econômica de cruzeiro, até os que exigem máxima velocidade. A escolha de um hélice tem influência direta nas características da manobra, aceleração, velocidade máxima, economia de combustível, além da segurança (OLIVEIRA, 2015).

Abaixo, alguns tipos de hélice:

3.2.1 Hélice de passo fixo

É o mais utilizado em quase todos os tipos de embarcações mercantes, sendo formado por três ou mais pás rigidamente fixadas ao cubo. Para um observador que esteja colocado a ré do navio e voltado para a proa, na marcha a vante, o hélice roda em um sentido e na mudança de marcha, caso seja colocado a marcha ré, o hélice roda no sentido contrário, então a velocidade do navio regula-se através da variação de velocidade de rotação do hélice e por isso da máquina principal, a paragem e a inversão de marcha do navio, implica normalmente a paragem e novamente no arranque da máquina principal em sentido contrário. As embarcações podem possuir dois ou mais hélices, além disso, os ângulos das pás não podem ser controlados (OLIVEIRA, 2015).

Figura 22: Hélice de passo fixo.



Fonte: <http://www.nauticexpo.com/pt/prod/veth-propulsion/product-31774-345678.html>.

3.2.2 Hélice de passo constante

O significado de passo constante é que este é igual ao longo da pá. Desde o bordo de ataque até o de fuga, as pás não apresentam curvatura. Esse é utilizado em alguns tipos de *tunnel thrusters* (OLIVEIRA, 2015).

Figura 23: Hélice de passo constante.



Fonte: http://img.nauticexpo.fr/images_ne/photo-g/25344-397411.jpg.

3.2.3 Hélice em dutos

É escolhido para navios que necessitam de uma grande capacidade de tração a baixas velocidades, por exemplo, os rebocadores. As particularidades desse hélice é que ele trabalha no interior de uma tubeira (POD), a qual pode ser fixa ou não, ao caso do navio. Esse tubo possui uma forma ligeiramente cônica, que decresce na direção da popa, com a finalidade de acelerar o escoamento da água em seu interior. Temos um aumento de rendimento de propulsão com relação ao obtido com o hélice tradicional (para cargas elevadas e baixas velocidades de operação). No caso de velocidades de operação mais elevadas, a resistência ao avanço da própria tubeira, faz diminuir o rendimento da propulsão, porém em alguns navios, como os rebocadores e barcaças de rio, o sistema integrado de tubeira e hélice pode rodar, de modo a ser manobrados de forma mais eficiente (OLIVEIRA, 2015).

Figura 24: Hélice em dutos.



Fonte: OLIVEIRA; LUIZ, 2015.

3.2.4 Hélice passo controlável

Foram projetados para possibilitar uma maior eficiência de propulsão em uma ampla faixa de velocidade em diversas condições de carga. O navio ao estar completamente carregado, a propulsão requerida é muito maior do que quando se está vazio. Ajustando o passo das pás, a máxima eficiência pode ser obtida e então haverá economia de combustível. O hélice de passo controlável possui uma disposição de "palhetas", as quais são úteis quando combinadas com vela/motor. Essa disposição dá menor resistência à água quando não estiver usando o hélice (ao não se usar as velas, por exemplo), fora isso, dispensa caixas inversoras. As pás são montadas separadamente no cubo e podem sofrer um deslocamento angular durante a rotação do hélice. Elas são acionadas por um sistema hidráulico, o qual faz variar o passo. O início da marcha, a regulação da velocidade, a paragem e a inversão de marcha do navio, são realizadas sem que seja necessário parar a máquina principal. Estes hélices são indicados para embarcações que tenham que variar suas condições de operação com frequência, podendo a máquina principal operar sempre no regime mais eficiente, uma vez que o impulso é controlado pela regulação do passo do hélice (OLIVEIRA, 2015).

Figura 25: Hélice de passo controlável.



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/H%C3%A9lice_de_passo_vari%C3%A1vel.

4 MÁQUINAS PROPULSORAS

4.1 Modelos de máquinas de propulsão

Segundo MOLLAND (2008) as máquinas propulsoras mais utilizadas em embarcações de grande médio porte são:

- **Motor diesel:** sistema motriz mais comum encontrado em navios mercantes. Ele possui uma eficiência térmica ao redor de 30% e tem a capacidade de consumir combustíveis menos refinados e baratos. É separado em três categorias: baixa, média e alta rotação;
- **Turbina a gás:** Tem uma ótima proporção potência/peso, fora isso, possui eficiência superior ao motor diesel. Sua aplicação gira em torno destes navios: cruzeiros, *ferries*, porta-contêineres de maior velocidade, militares e navios de transporte de gás natural (*LNG carriers*);
- **Turbina a vapor:** normalmente é aplicada quando se necessita de elevadas potências. Possui baixos índices de vibração, ocupa pouco espaço e peso. Tem uma desvantagem considerável, que é o seu consumo de combustível, o qual é maior que o de um motor diesel. Este sistema é geralmente usado em submarinos nucleares e *LNG carriers*;
- **Motor elétrico:** Um gerador fornece energia a um motor elétrico. O motor elétrico possui o eixo diretamente acoplado ao propulsor.

4.2 Estrutura das aparelhagens de propulsão

A estrutura de uma aparelhagem de propulsão é uma tarefa que deve ser analisada de acordo com os requisitos que o armador deseja para a embarcação, de acordo com os requisitos

do navio e das possibilidades de transmissão do torque oriundo da máquina principal ao elemento propulsor. A potência é transmitida do sistema motriz principal até o propulsor e isso varia de acordo com o tipo de operação da embarcação. Essa transmissão pode ocorrer de duas formas: direta ou indiretamente. A direta é definida quando o eixo do propulsor é o mesmo da máquina propulsora, a indireta ocorre quando o eixo da máquina principal não está acoplado diretamente no eixo propulsivo (TRINDADE, 2012).

4.3 Composição das aparelhagens de propulsão

Os arranjos das composições propulsoras são frequentemente divididos em cinco vertentes (MOLLAND et al., 2011):

- **Acoplamento direto diesel:** o motor diesel é acoplado diretamente no eixo propulsor. O motor opera em baixa rotação, faixa de 90 até 130 rotações por minuto (rpm). É utilizado em navios tanques, graneleiros, cargueiros e porta-*containers*;
- **Motor diesel com caixa de rotação:** formado por um ou dois motores de média rotação, em torno de 500 até 600 rpm. O eixo da máquina motriz principal fica acoplado a uma caixa de redução, logo, o eixo do propulsor fica acoplado a esta caixa de transmissão. Pode ser aplicado em navios *ferries*, cruzeiros, cargueiros e embarcações de apoio *offshore*;
- **Disel-elétrico ou turbina-elétrico:** sistema motriz acoplado a um gerador elétrico, o qual fornece energia ao motor elétrico. Possui uma boa flexibilidade de configuração, fácil controle e possui um índice baixo de vibração. Normalmente aplicados em navios de passageiros, militares e embarcações de apoio;
- **Sistema híbrido:** sistema no qual possui um/dois motores diesel e um/duas turbinas a gás acoplados a uma caixa de transmissão. Utilizado em navios de guerra, pois em situações que requerem economia de energia, usa-se motor diesel e onde há necessidade de maior velocidade, turbina a gás;

- **Propulsores para alta velocidade:** de forma geral, possui uma máquina motriz que varia de 500 a 1000 rpm acoplada a uma caixa de transmissão. A potência gerada pode ser usada para um propulsor jato d'água ou um *surface piercing propeller* (propulsores utilizados para embarcações a altas velocidades, a partir de 40 nós ou mais).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas de propulsão acompanharam a evolução do meio marítimo. Começando pela simples navegação à vela até os dias atuais, onde dispomos de um enorme acervo de escolhas para a propulsão da embarcação. Tudo isso com o intuito de melhorar o rendimento dos navios, obtendo lucro para os armadores e empresários que investem nesse meio. A velocidade da embarcação era um dos pontos mais importantes, quanto mais rápido fosse o navio, melhor seria, pois reduziria o tempo das viagens. Assim, a evolução foi ocorrendo, novos tipos de propulsores surgiram, novos hélices, propulsores combinados, entre outras inovações. O sistema de propulsão elétrica, possui um alto custo, entretanto é o mais vantajoso com relação aos outros sistemas, pois além de possuir um ótimo aproveitamento de eficácia do motor, o sistema de propulsão elétrica também polui bem menos. Mais uma vantagem é a manobrabilidade dos navios, ele dispensa o uso de leme, não possui caixa de marcha e eixo, minimizando assim equipamentos abaixo do navio, mas ele ainda não é o mais utilizado, a maioria utiliza o motor diesel, os quais tem a capacidade de consumir combustíveis menos refinados e baratos. A propensão é que todos passem a utilizar o diesel elétrico no futuro.

REFERÊNCIAS

ASSIS, V. E. S. **Manobrabilidade do Navio**. 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. Marinha do Brasil, 2013. Disponível em: <<http://www.redebim.dphdm.mar.mil.br/vinculos/000005/0000055f.pdf>>. Acessado em: 12/06/2019.

LYRA, L. **Propulsores**. Slide. Marinha do Brasil- CIAGA, 2011.

OLIVEIRA, L. E. T. **Evolução da Propulsão no Transporte Marítimo**. Monografia de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica/Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha. Marinha do Brasil, 2016. Disponível em: <<http://www.redebim.dphdm.mar.mil.br/vinculos/00000a/00000aed.pdf>>. Acessado em: 12/06/2019.

SCHOEPING, D. G. E. **Projeto Preliminar de Sistema Propulsivo de uma Embarcação de Apoio Offshore do Tipo Platform Supply Vessel**. Monografia de conclusão de curso submetido ao Programa de Graduação em Engenharia Naval da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Naval. Universidade Federal de Santa Catarina, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/127429/TCC_Djonatan_Guilherme.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acessado em: 10/06/2019.