

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

DIORGE POLLI DE LIMA

**OS PROPULSORES DAS EMBARCAÇÕES MERCANTES: Propulsores Voith-
Schneider**

RIO DE JANEIRO

2014

DIORGE POLLI DE LIMA

**OS PROPULSORES DAS EMBARCAÇÕES MERCANTES: Propulsores Voith-
Schneider**

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

Orientador (a): Roberto Moreira Leal

RIO DE JANEIRO

2014

DIORGE POLLI DE LIMA

OS PROPULSORES DAS EMBARCAÇÕES MERCANTES: Propulsores Voith-Schneider

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

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador: Roberto Moreira Leal

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

AGRADECIMENTOS

Dedico meu trabalho principalmente aos meus pais que sempre me deram apoio acadêmico e me incentivaram a sempre buscar os meus sonhos, aos amigos pela força em horas difíceis que mesmo estando longe de casa me serviram de apoio e me deram um ombro amigo quando mais precisei e ao professor Roberto Moreira Leal pela sua orientação.

RESUMO

Este trabalho tem como principal objetivo explicar os princípios de funcionamento dos propulsores navais do tipo cicloidal principalmente sobre o modelo Voith-Schneider. No desenvolvimento do trabalho serão mostrados aspectos construtivos, hidrodinâmicos, físicos e operacionais do VSP. Nos primeiros capítulos há a introdução do uso dos propulsores através da história e suas modificações. Logo a seguir mostra-se o desenvolvimento do primeiro propulsor cicloidal, o modelo Kirsten-Boeing que depois de muitas pesquisas foi aperfeiçoado para o atual Voith-Schneider. O propulsor Voith Schneider possui um design robusto e gera impulso por meio de lâminas perfiladas que se projetam a partir do fundo da embarcação e que rodam em torno de eixos verticais, que são perpendiculares ao impulso gerado, diferenciando-se assim dos propulsores convencionais, que possuem a direção do impulso e o eixo de rotação no mesmo sentido. Neste trabalho também será apresentado um estudo realizado em que se compara o VSP com o modelo CRP e mostra as vantagens na escolha do modelo cicloidal.

Palavras-chave: Voith-Schneider, cicloidal, propulsor

ABSTRACT

This paper aims to explain the principles of operation of marine thrusters cycloidal type mainly on the Voith-Schneider model. In the development of constructive work, hydrodynamic, physical and operational aspects of the VSP are shown. In the early chapters there is the introduction of the use of propellants through history and its modifications. It later shows the development of the first cycloidal propeller, the Kirsten-Boeing model after a lot of research has been optimized for the current Voith-Schneider. The Voith Schneider propeller has a robust design and generates thrust by means of profiled blades that protrude from the bottom of the vessel and rotating about vertical axes, which are perpendicular to the momentum generated, thus differentiating itself from conventional thrusters, which have the momentum and direction of the axis of rotation in the same direction. This work is also a study that compares the VSP with the CRP model and shows the advantages in choosing the cycloidal model will be presented.

Keywords: Voith-Schneider cycloidal, propellant

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CFD	Computational Fluid Dynamics
OSV	Offshore Supply Vessel
CRP	Contra Rotational Propeller
DP	Dynamic Positioning
PSV	Platform Supply Vessel
VSP	Voith Schneider Propeller

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Coeficientes hidrodinâmicos para o VSP	31
Tabela 2: Principais dados do casco equipado com o VSP num calado de 5.2 metros	38
Tabela 3: Principais dados do casco equipado com o VSP num calado de 6 metros	39
Tabela 4: Principais dados do casco equipado com o CRP num calado de 5.2 metros	39
Tabela 5: Principais dados do casco equipado com o CRP num calado de 6 metros	39

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Propulsor Voith-Schneider	15
Figura 2 - Deslocamento do VSP	16
Figura 3 – VSP incorporado ao casco do navio	17
Figura 4 - Estrutura detalhada do VSP	18
Figura 5 - Instalação do VSP	20
Figura 6 - Potência do VSP regulada pela velocidade do motor num passoconstante	21
Figura 7 - Turbo acoplamento	22
Figura 8 - Deslocamento da pá em relação ao eixo propulsor	23
Figura 9 - a) ângulo zero da pá, b) ângulo da pá em movimento	24
Figura 10 - Combinação vetorial das velocidades na pá na condição de impulso zero	25
Figura 11 - a) referencial do propulsor, b) referencial estacionário	26
Figura 12 - Posições das lâminas nas partes dianteira e traseira do rotor	27
Figura 13 - Geração de impulso do VSP	27
Figura 14 - Empuxo em função da trajetória	28
Figura 15 – Comparação de movimento entre VSP e propulsor tipo hélice	28
Figura 16 - Variação de impulso através da variação do centro de manobra “N”	29
Figura 17 - Lâmina do VSP com placa de extremidade	32
Figura 18 - Coeficiente de impulso (K_s) como função do coeficiente de avanço (λ) e do passo (e)	33
Figura 19 - Grau de eficiência (η_o) como função do coeficiente (λ) e do ângulo (e)	33
Figura 20 - Coeficientes das forças de direcionamento (K_{sy} e K_{sx}) como função do coeficiente de avanço	34

Figura 21 - Propulsor inteiro	35
Figura 22 - Lâmina discriminada	35
Figura 23 - Distribuição de pressões nas lâminas do VSP (calculado com CFD)	36
Figura 24 - Contra Rotate Propeller	37
Figura 25 - Potência efetiva nos calados de 5.2 metros e 6 metros	40
Figura 26 - Potência produzida num calado de 5.2 metros	41
Figura 27 - Potência produzida num calado de 6 metros	41
Figura 28 - Eficiência da propulsão num calado de 5.2 metros	42
Figura 29 - Eficiência da propulsão num calado de 6 metros	42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 HISTÓRICO	11
2.1 Evolução dos mecanismos de propulsão	11
2.2 Modelo Kirssten-Boeing	13
2.3 Voith	14
3 MODELO VOITH-SCHNEIDER	15
3.1 Apresentação modelo Voith-Schneider	15
3.2 Estruturas do sistema propulsor VSP	17
3.3 Instalação do propulsor	19
3.4 Interação entre motor e propulsor	20
3.5 Linha de eixo	21
3.6 Turbo acoplamento com preenchimento de óleo	22
4 CARACTERÍSTICAS DE GERAÇÃO DE IMPULSO DO VSP	23
4.1 Cinemática VSP	23
4.2 Velocidade de rotação do VSP e suas vantagens	30
4.3 Características hidrodinâmicas do VSP	30
4.4 Base dos cálculos hidrodinâmicos dos VSP	34
5 COMPARAÇÕES ENTRE VSP E CRP	37
5.1 Apresentação CRP	37
5.2 O estudo comparatório	38
5.3 Testes de resistência da embarcação	40
5.4 Testes de propulsão e previsão de desempenho do propulsor	41
5.5 Eficiência de propulsão	42
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

1 INTRODUÇÃO

A marinha mercante é responsável, essencialmente, pelo transporte marítimo de pessoas e mercadorias. Em sentido, o transporte marítimo inclui, não só o transporte através de mar aberto, mas também através de rios, canais e lagos. Atualmente, a marinha mercante dedica-se, sobretudo, ao transporte de mercadorias e em apoio e operações em bacias petrolíferas. O transporte de pessoas perdeu bastante importância, em virtude do desenvolvimento da aviação comercial, subsistindo essencialmente nas curtas distâncias e nos cruzeiros turísticos. A marinha mercante desenvolve uma atividade de natureza internacional quando se trata de transporte de mercadorias, com exceção da navegação de cabotagem ao longo das costas de um país. Como seu principal objetivo a marinha mercante atual tenta aliar qualidade de serviços, rapidez e principalmente economia. Por esse motivo tem sido crescente a necessidade de métodos de propulsão mais eficientes que gastem menos e produzam mais energia. A partir desse pensamento e de inúmeras pesquisas foi desenvolvido o Voith Schneider que modificou totalmente o conceito de propulsão naval devido sua alta capacidade de manobrabilidade aliado a um alto desempenho. O VSP pode ser comparado ao movimento de impulso de um polvo devido a sua complexidade e forma singular de geração de força propulsora. Por sua diferença e complexidade ainda é uma área abrangente para estudos que foi o que me atraiu a falar sobre esse tema. Mesmo já tendo anos de uso sua forma de funcionamento ainda é pouco conhecida pela sociedade mercante em detrimento aos propulsores rotacionais que são muito comuns.

2 EVOLUÇÃO DOS MECANISMOS DE PROPULSÃO

2.1 HISTÓRICO

Para impelir uma embarcação o homem costumava utilizar sua própria força, a força do vento ou a de uma máquina convertendo-a de algum modo em uma força de tração. O uso de velas para aproveitar a força do vento é quase tão antigo quanto o do remo.

Na atualidade, os navios mercantes não utilizam este tipo de propulsão, porém a força do vento torna-se uma variável muito importante no desempenho dos navios podendo ajudar quando o navio recebe impulso diretamente na popa paralelo aos bordos, ajudando a empurrar e economizando combustível.

Enfim, a energia eólica, nos dias atuais, dificulta mais do que ajuda no desempenho de um navio, pois as condições atmosféricas também compõem uma variável importantíssima, tanto no consumo de combustível quanto no prazo de entrega da mercadoria, sendo um fator decisivo e enfatizado no contrato de afretamento.

Depois do uso das forças motoras e do desuso da energia eólica, Leonardo da Vinci propôs a aplicação do princípio do impulso em pás giratórias, mas somente na metade do século passado foi proposta por vários estudiosos sua aplicação dos hélices, em navios.

A invenção do motor a vapor por James Watt propiciou o sonho de mover grandes embarcações sem depender dos ventos, o que foi realizado por Robert Fulton com o Clermont em 1807. Esse navio utilizava como sistema de propulsão as Rodas de Pás. As rodas de pás possuem o formato de uma grande circunferência, com as lâminas ligadas em uma estrutura assemelhada a uma gaiola que atualmente é feita de aço. Uma parte das pás fica submersa. A rotação das pás faz com as mesmas se alternem naquelas que fiquem submersa, produzindo uma força de impulso que pode movimentar a embarcação para frente e também para trás, se necessário.

A invenção de Bushnell, (Turtle) em 1775 usava hélices em parafuso movidos à mão para obter propulsão vertical e horizontal. Josef Ressel projetou e patenteou um hélice em parafuso em 1827. Em 1839, John Ericsson instalou um hélice em parafuso num navio que mais tarde navegou através do Oceano Atlântico em 40 dias. Uma mistura de hélices em parafuso e rodas de água ainda era usada nesta altura.

No princípio do século XX os navios movidos a rodas de água estavam completamente ultrapassados. O hélice em parafuso substituiu a roda de água devido à sua grande eficiência, reduzido tamanho, reduzida complexidade no sistema de transmissão e o fato de ser menos susceptível a danificar-se, especialmente se usada em guerra. Os projetos iniciais deviam muito ao desenho do parafuso comum, daí o seu nome. Mais tarde os hélices consistiam em duas pás que de perfil tinham o tamanho equivalente ao de uma rotação dum parafuso correspondente em diâmetro (daí a designação de passo do hélice). Este design era o mais comum, mas os inventores experimentaram diferentes tamanhos de perfil e várias pás. O design do hélice estabilizou por volta de 1880.

Vários estudos e pesquisas continuaram a ser desenvolvidos sobre a propulsão naval e, graças a esses estudos, que no final do século XIX surgiram os primeiros

propulsores cicloidalis. Os propulsores cicloidalis são um tipo de propulsor que possui sua rotação em um eixo vertical e palhetas com movimentos cíclicos.

Sua maior vantagem sobre os propulsores convencionais é a possibilidade de gerar força de impulso em qualquer direção no plano de rotação. O primeiro modelo deste tipo do qual se tem conhecimento foi o modelo desenvolvido pelo professor do departamento de engenharia aeronáutica da universidade de Washington, F. K. Kirsten, com a cooperação do projetista de aviões, W. E. Boeing. No início do século seguinte, Ernst Schneider propôs um novo modelo de propulsor cicloidal que atualmente é desenvolvido e vendido pela empresa alemã Voith.

2.2 MODELO KIRSTEN BOEING

Nascido na Alemanha, Kirsten veio para a América em 1902 a bordo de uma velha escuna à vela. No incentivo de um amigo, começou a estudar engenharia elétrica na Universidade de Washington, graduando em 1909. Por natureza, Kirsten era um inventor. Sua invenção relacionada com a aeronáutica mais famosa foi o de um hélice semelhante ao modelo Voith-Schneider, que Kirsten passou mais de 20 anos tentando aperfeiçoar para uso em aviões. Em um ponto, ele se juntou com Bill Boeing para desenvolver ainda mais hélices cicloidalis para aplicações aeronáuticas e marítimas. Boeing colocou 175 mil dólares de seu próprio dinheiro para começar uma empresa com Kirsten. No entanto, o conceito eventualmente provou ser impraticável em aplicações aeronáuticas, e a empresa Kirsten-Boeing falhou. Convém, no entanto, notar que as hélices cicloidalis eram viáveis como um sistema de propulsão marítima. Ainda hoje, alguns rebocadores estão equipados com elas.

A vantagem deste propulsor está no ajuste do impulso em qualquer direção desejada. O funcionamento do modelo cicloidal Kirsten-Boeing consiste em um disco com seis pás em que cada pá faz meia volta em torno do seu próprio eixo, o movimento das lâminas para dirigir a pressão é obtida através da rotação das pás, num sentido oposto ao sentido de rotação do sistema, como um sistema inteiro. As forças que atuam sobre as pás é a metade da velocidade angular, de forma que cada lâmina se rotaciona apenas 180° durante a rotação completa de todo o sistema. O modelo VSP é mais complexo, visto que é composto por uma série de ligações que permitem movimentos individuais das pás para serem controladas por outros pontos além dos da circunferência do trajeto das pás.

2.3 VOITH

No ano de 1825, com apenas 22 anos, Johann Matthäus Voith assume a direção da serralheria de seu pai. Nessa época, cinco funcionários trabalham na oficina mecânica. Voith desenvolve a primeira desfibradora segundo a patente de Friedrich Gottlob Keller. Com isso, ele planta a semente para a empresa industrial Voith. As linhas de produtos da empresa – máquinas de papel e tecnologia de materiais – são complementadas com mais um ramo de negócios. Com a introdução da construção de turbinas, com uma turbina Henschel-Jonval com 100 HP, as turbinas passam a fazer parte também da oferta de produtos da Voith.

A partir de 1893, a empresa J.M. Voith inicia a construção de turbinas Pelton. Para Friedrich Voith, a produção das turbinas de impulso significa mais um avanço econômico e tecnológico. Para ele, o contato com a ciência e a pesquisa é essencial: “Para sobreviver à concorrência econômica, é preciso estar à frente do progresso tecnológico.”

No ano de 1927, juntamente com a empresa Voith em Sankt Pölten, foi patenteada a hélice propulsora Voith-Schneider (VSP), uma das linhas de produtos que remetem ao reconhecimento internacional da Voith. Construído no ano anterior segundo o projeto do engenheiro vienense Ernst Schneider, o VSP permite a manobra de embarcações com uma flexibilidade até então inexistente.

Em 1928 É lançada a primeira embarcação equipada com rotor de hélice propulsora Voith-Schneider, era conhecida como: Uhu.

No Brasil a Voith iniciou suas atividades em 1964, a história da Voith iniciou-se no Brasil devido ao enorme potencial hídrico e florestal do país. A imensidão territorial e a chance de aproveitamento dos recursos naturais chamaram a atenção de Hugo Rupf, presidente da empresa. O grupo Voith atua nas mais diversas áreas, sejam elas: industrial, automotiva, ferroviária ou naval. Desde sua criação, tem estendido sua participação no desenvolvimento brasileiro e, atualmente, está sediado num terreno de 3.000 m² na cidade de São Paulo. Emprega 5.000 pessoas, dentre as quais uma relativa porcentagem contribui para o crescimento da Voith Turbo.

Esta divisão da Voith trabalha com sistemas de propulsão marítima, dentre eles o famoso Voith Schneider Propeller, que proporciona precisão e segurança nas manobras das embarcações, e tem sua marca identificada em balsas, rebocadores, PSVs, BSMs e barcos para fins militares.

Atualmente, a Voith define padrões de referência em diversos setores, sendo excelência na área marítima com a Voith Turbo. Uma das maiores empresas familiares da Europa, conta com mais de 40000 funcionários, um volume de negócios de 5,6 bilhões de euros e tem subsidiárias em mais de 50 países.

3 MODELOS VOITH-SCHNEIDER

3.1 APRESENTAÇÃO VSP

O VSP é uma unidade propulsora marítima, é altamente manobrável, sendo capaz de mudar o rumo de seu impulso quase que instantaneamente. É amplamente utilizado em rebocadores e balsas.

A partir de uma placa circular, rotativo em torno de um eixo vertical, um conjunto circular de lâminas verticais (na forma de hidropianos) saliente do fundo do navio. Cada lâmina pode rodar-se em torno de um eixo vertical. A engrenagem interna muda o ângulo de ataque das pás em sincronia com a rotação do prato, de modo que cada lâmina pode proporcionar impulso em qualquer direção, muito semelhante ao coletivo e cíclico dos controles de vôo de helicópteros.

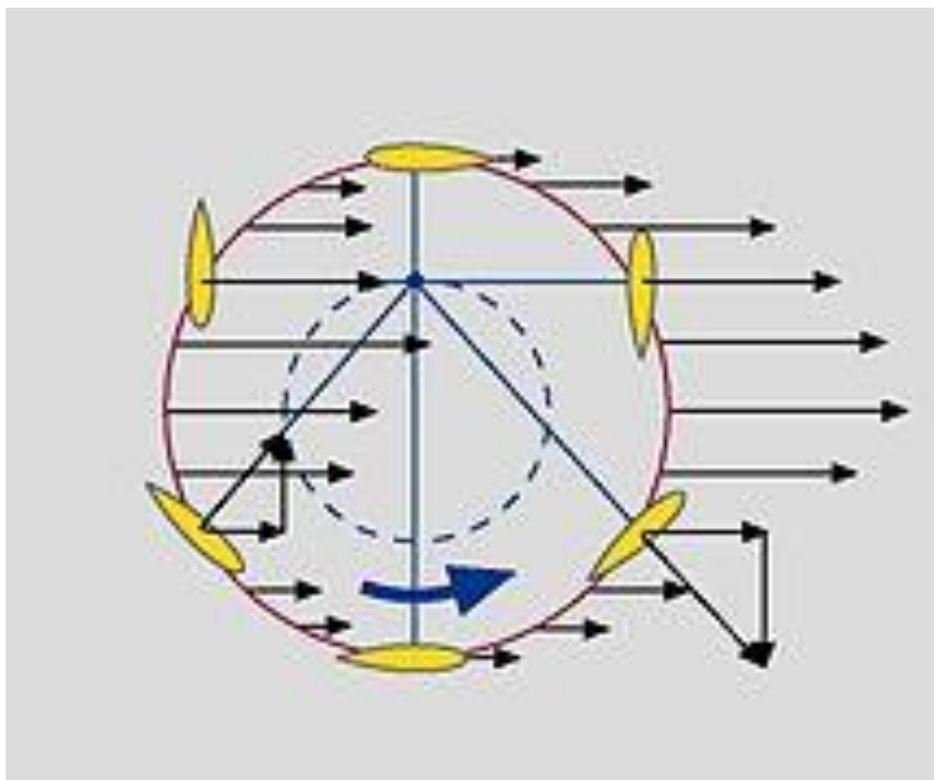
Figura 1: Propulsor Voith-Schneider



Fonte:(http://en.wikipedia.org/wiki/Voith_Schneider_Propeller#mediaviewer/File:VSPreal.jpg)

Ao contrário do propulsor de azimute (onde um hélice convencional é rodado em torno do eixo vertical, para dirigir a sua pressão, permitindo que um vaso para orientar sem o uso de um leme), a Voith-Schneider conduzir apenas requer a alteração do padrão de orientação das pás verticais. Numa situação marinho, prevê-se um acionamento que pode ser dirigida em qualquer direção e, assim, acaba com a necessidade de um leme. Ele é altamente eficiente e prevê uma mudança quase instantânea de direção. Essas unidades estão se tornando cada vez mais comum em barcos de trabalho, tais como fireboats e rebocadores onde é necessária extrema maneabilidade.

Figura 2: Deslocamento do VSP



Fonte: ([http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneiderpropellerapplicationsandnewdevelopments\(vsp\)](http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneiderpropellerapplicationsandnewdevelopments(vsp)))

Figura 2: VSP incorporado ao casco do navio

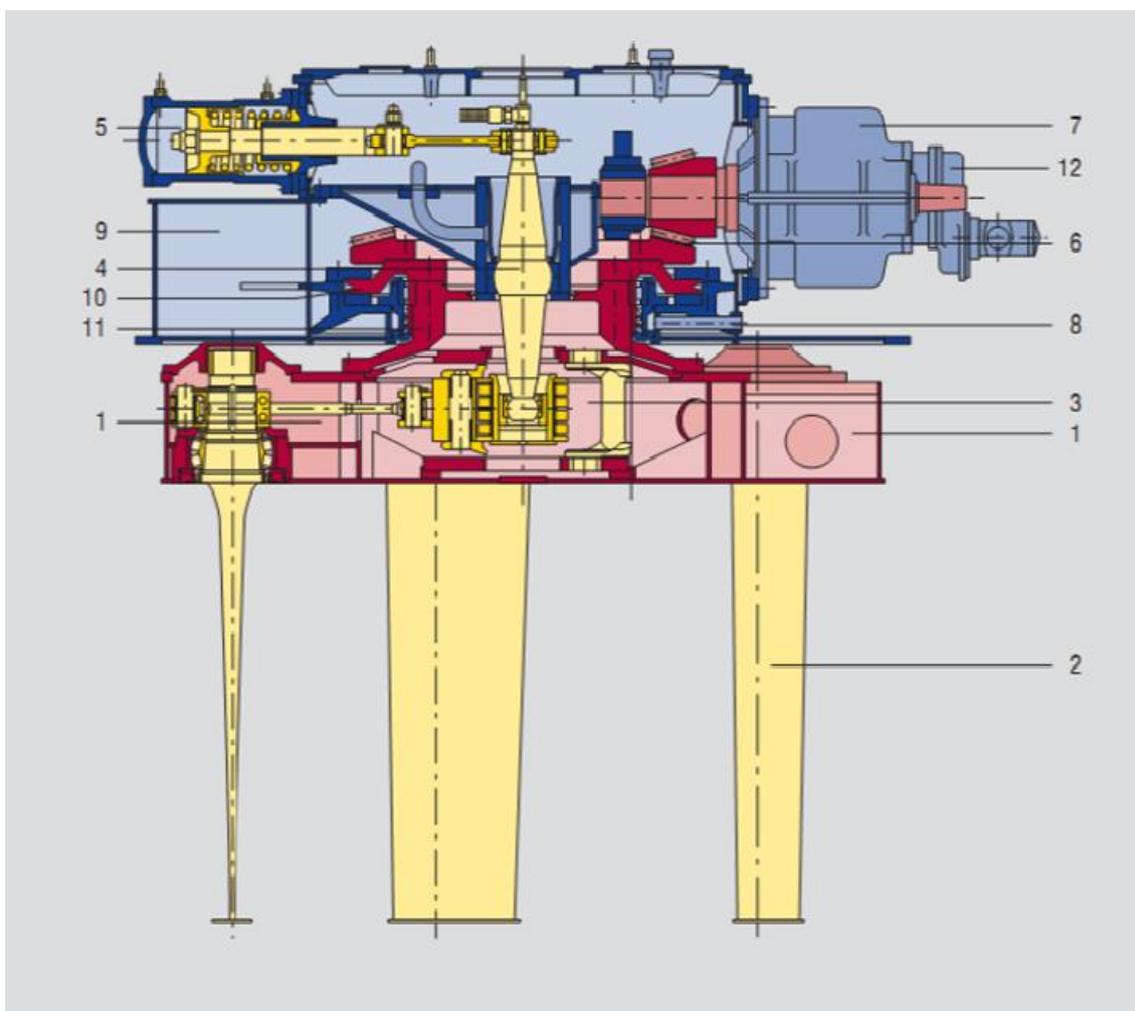


Fonte: ([http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneiderrpropellerapplicationsandnewdevelopments\(vsp\)](http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneiderrpropellerapplicationsandnewdevelopments(vsp)))

3.2 ESTRUTURAS DO SISTEMA PROPULSOR VSP

De acordo com a imagem abaixo, pode-se observar a estrutura do sistema. A energia necessária para a geração do impulso é fornecida ao invólucro do rotor (1) pelo redutor flangeado (7) e pela engrenagem cônica (6). Mancais de bucha flangeada ou mancais de rolamento especiais são usados para apoiar o eixo da lâmina. A carcaça do rotor é apoiada axialmente pelo prato de encosto (10) e centrada radialmente pelo mancal de rolamento (11). Devido ao sistema cinemático (3), as lâminas (2) realizam um movimento oscilatório.

Figura 4: Estrutura detalhada do VSP



Fonte:([http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneiderrpropellerapplicationsandnewdevelopments\(vsp\)](http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneiderrpropellerapplicationsandnewdevelopments(vsp)))

A amplitude e a fase do movimento das lâminas é determinada pela posição do centro de manobra e, portanto, a magnitude e a direção do impulso são variadas por meio da haste de comando (4). A haste de controle é acionada por dois servo motores dispostos ortogonalmente (5). O servo motor da propulsão é usado para ajustar o passo do impulso longitudinal (movimento para vante e para ré do navio). O servo motor do leme é usado para o impulso transversal (movimento para boreste e para bombordo). Os dois servo motores permitem um direcionamento de acordo com as coordenadas cartesianas X/Y (idêntico aos eixos principais do navio) e as mudanças controladas são possíveis através da condição de impulso livre (“do zero”).

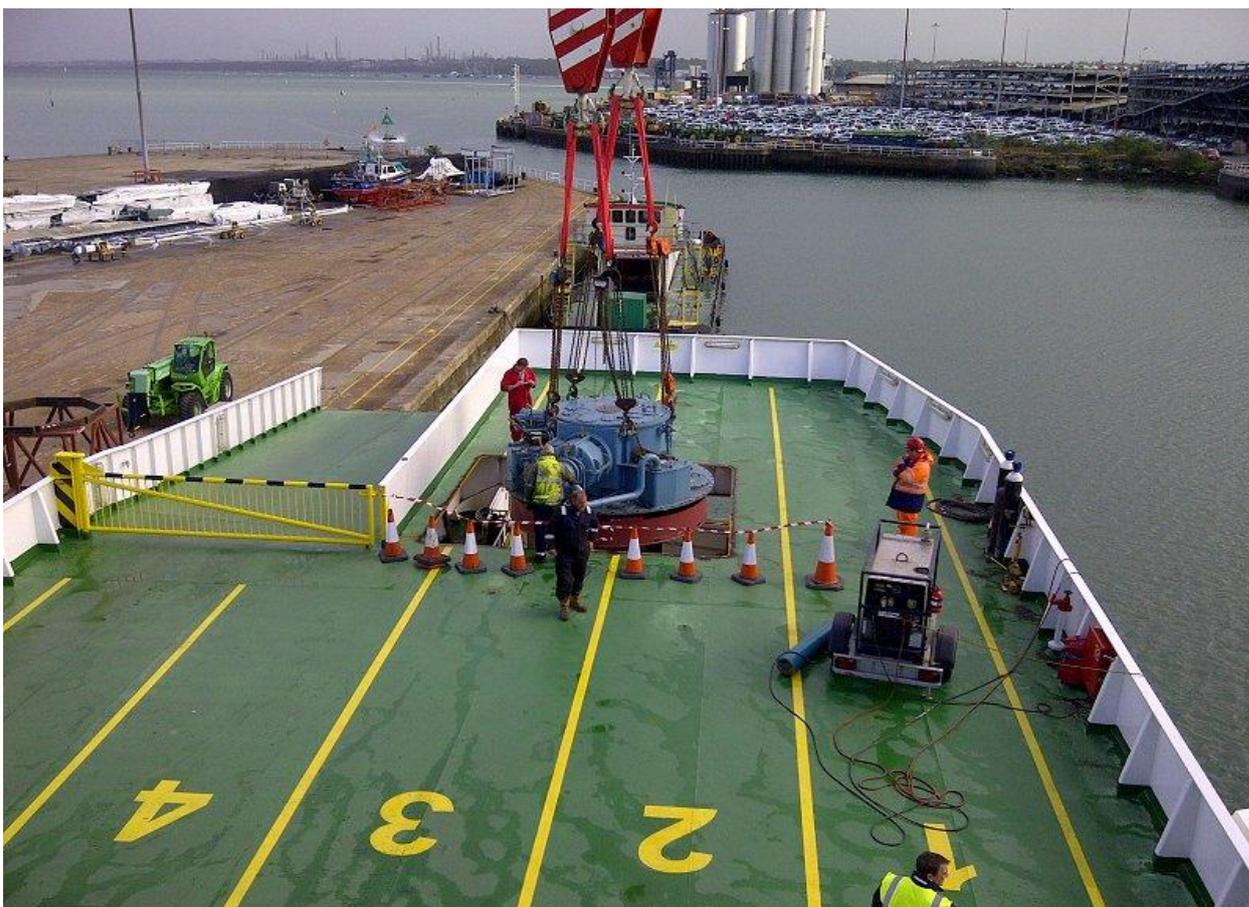
Por exemplo, a sua direção pode ser mudada de toda força avante para toda força a ré com uma velocidade de rotação constante, sem criar forças transversais perturbadoras. A divisão em impulso de propulsão e forças de direção, isto é, direcionamento de acordo com coordenadas cartesianas, torna o manuseio do navio um processo de fácil compreensão e de fácil utilização para o piloto. A montagem do VSP com controles mecânicos para os servo motores e com uma bomba de óleo (12), flangeada a uma engrenagem de entrada, resulta em um sistema independente de propulsão e direcionamento, o qual, além da entrada de torque, não requer nenhuma outra fonte de energia.

3.3 INSTALAÇÃO DO PROPULSOR

A instalação de um VSP deve ser acompanhada por um funcionário da Voith e pode ser feita durante o posicionamento do sistema propulsor do navio. Para o alinhamento do sistema deve ser seguida a seguinte ordem: VSP, motor e linha de eixo (ocorre com a embarcação em flutuação)

Os propulsores localizados abaixo da linha d'água são equipados com um reservatório de óleo elevado e sua montagem é feita a meia nau em uma altura aproximada de 0,5 a 2 m acima da linha d'água. Isto previne a entrada de água na estrutura.

O sistema de propulsão é independente e não precisa de energia secundária para operação. O VSP está pronto para entrar em funcionamento logo após a partida do MCP.

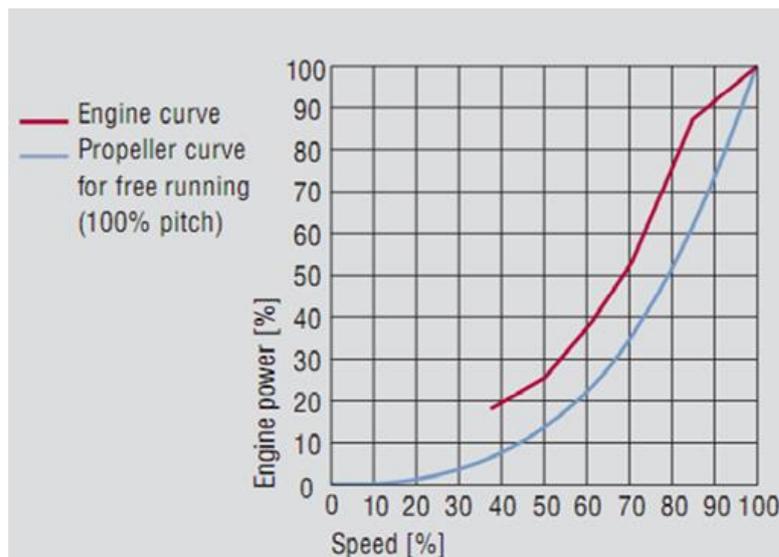
Figura 5: Instalação do VSP

Fonte: (<http://www.redfunnel.co.uk/ferry-travel/passenger-vehicle-ferry-service/vehicle-ferry-fleet/voith-propulsion-unit-swop-out>)

3.4 INTERAÇÃO ENTRE MOTOR E PROPULSOR

O VSP é um propulsor de passo variável, ou seja, não precisa ser revertida a direção de rotação do motor para a sua manobra. Devido ao passo variável o empuxo é alterado em força e direção com facilidade e que unido a operação controlada do motor a partir da carga de funcionamento proporciona uma alta taxa de eficiência e economia de todo o sistema

Figura 6: Potência do VSP regulada pela velocidade do motor num passo constante



Fonte: (<http://www.voith.com/en/products-services/power-transmission/voith-schneider-propeller-10002.img>)

O acionamento do VSP a partir da utilização de um motor diesel é o um dos tipos de sistemas mais comuns, em que o passo variável permite o aproveitamento máximo da potência total do motor em diferentes condições de operação e carga. É importante destacar que a sobrecarga do motor é prevenida, ao contrário dos propulsores de passo fixo.

Já o VSP acoplado ao motor elétrico é empregada quando uma grande quantidade de energia elétrica é utilizada em outros equipamentos a bordo, como guindastes e balsas. Neste tipo de sistema, são encontrados motores trifásicos e assíncronos, cujo acionamento é efetuado por um dispositivo “soft-starter” com partida estrela-triângulo.

3.5 LINHA DE EIXO

A linha de eixo, que transmite a potência do motor para o VSP, normalmente consiste de um turbo acoplamento e um acoplamento móvel de dentes curvos com eixo intermediário.

O turbo acoplamento divide o sistema de vibração em lados primário e secundário, por meio do qual todos os pulsos oscilatórios provenientes do motor são

amortecidos e quase nenhum é transmitido para o lado secundário. Podem ser citadas como vantagens do turbo acoplamento:

- Aceleração suave;
- Inércias;
- Possibilidade de utilização de motores de indução com rotores em curto com preço acessível;
- Partida do motor e aceleração sem carga;
- Superdimensionamento do motor desnecessário;
- Limitação do torque na partida;
- Amortecimento efetivo de choques e vibrações;
- Proteção contra sobrecargas para o motor e a máquina; e
- Equalização da carga para acionamentos multimotores.

3.6 TURBO ACOPLAMENTO COM PREENCHIMENTO DE ÓLEO

Figura 7: Turbo acoplamento



Fonte: (<http://www.voith.com/br/sala-de-imprensa/imagens/materias-primas-21794.html>)

Existem basicamente duas versões do turbo acoplamento: Turbo acoplamento com preenchimento constante de óleo e turbo acoplamento com controle do fluxo de óleo.

Na maioria dos casos, os turbo acoplamentos com preenchimento constante de óleo são os mais aplicados. Necessitam de pouca manutenção, pois não sofrem muito desgaste. Geralmente, são instalados diretamente junto ao motor. Caso não suportem a carga, são fornecidos rolamentos de pedestal na entrada e na saída da estrutura.

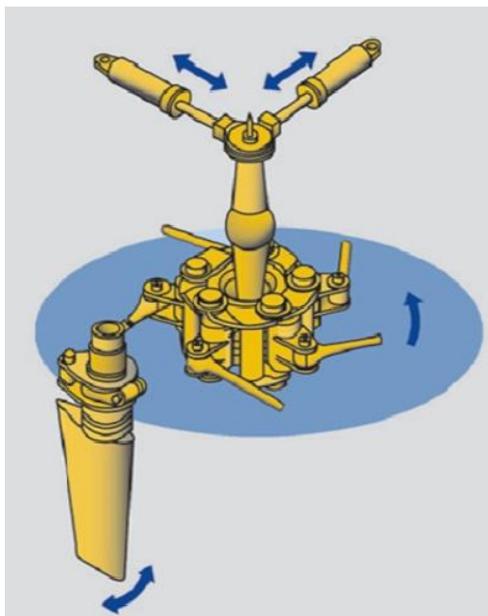
Os turbo acoplamentos com controle do fluxo de óleo só são usados em casos especiais quando há elevados valores de torque e velocidade.

4 CARACTERÍSTICAS DE GERAÇÃO DE IMPULSO DO VSP

4.1 CINEMÁTICA VSP

Se o centro do mancal esférico inferior (centro de manobra) está no centro da carcaça do rotor, as lâminas não são inclinadas em relação à tangente da circunferência de rastro da lâmina. A figura 8 mostra o princípio cinemático do VSP.

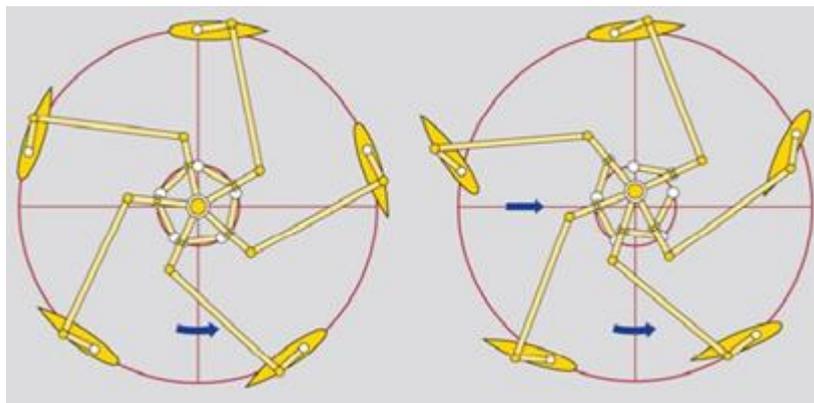
Figura 8: Deslocamento da pá em relação ao eixo propulsor



Fonte:([http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneiderpropellerapplicationsandnewdevelopments\(vsp\)\)](http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneiderpropellerapplicationsandnewdevelopments(vsp))))

Se o mancal inferior esférico é deslocado para longe do centro da carcaça do rotor, através do acionamento de um ou ambos os servo motores e da ação da alavanca da haste de controle, as pás são estabelecidas por um ângulo regulável à tangente do caminho conforme elas giram.

Figura 9: a) ângulo zero da pá, b) ângulo da pá em movimento



Fonte: ([http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneiderrpropellerapplicationsandnewdevelopments\(vsp\)](http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneiderrpropellerapplicationsandnewdevelopments(vsp)))

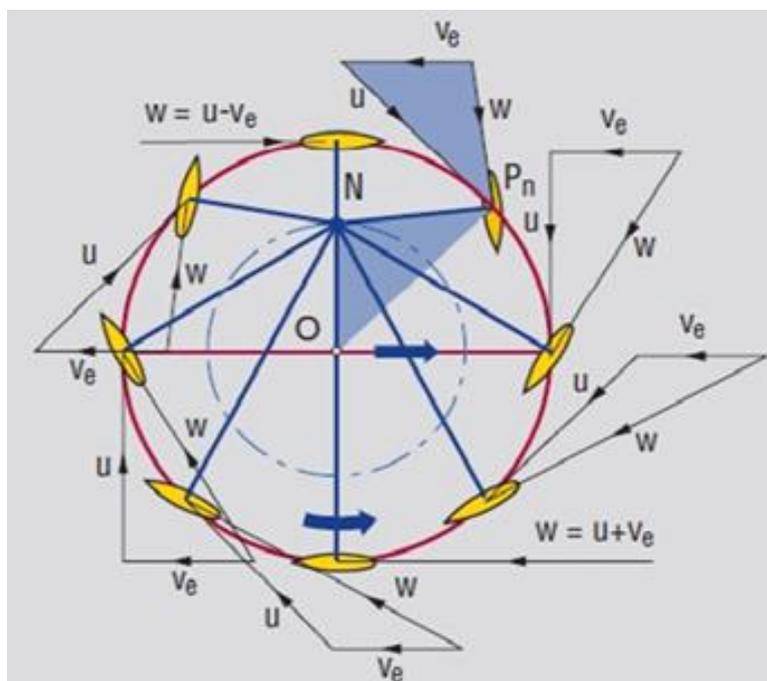
O ângulo máximo de ataque das lâminas aumenta com a excentricidade. Uma vez que as lâminas são muito equilibradas, isto é, a força resultante devido ao efeito hidrodinâmico e à ação da inércia na região do eixo estendido, a excentricidade pode ser variada rapidamente e com pouca energia dos servo motores, em virtude do efeito da alavanca da haste de controle. Esta solução técnica é a base para a rápida e sensível de variação de impulso do VSP. Devido ao passo controlável do VSP, ele pode ser operado a uma velocidade constante. No entanto, é comum variar a velocidade e o passo para otimizar a utilização de energia. Os VSPs estão atualmente disponíveis para uma alimentação de entrada de até 3.900 kW. O diâmetro da órbita da lâmina varia dentro de uma faixa de 1,2 m a 3,6 m.

Todas as lâminas do VSP movem-se ao longo de uma trajetória circular ao mesmo tempo em que realizam um movimento pivotante sobreposto.

As perpendiculares traçadas a partir do perfil das lâminas se cruzam em um único ponto, o centro de manobra "N", conforme a rotação. "N" indica o centro de

manobra na ausência de propulsão, "N" indica a posição do centro de manobra para certa condição de impulso. A figura 10 mostra o centro de manobra "N".

Figura 10: Combinação vetorial das velocidades na pá na condição de impulso zero



Fonte:([http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneiderpropellerapplicationsandnewdevelopments\(vsp\)](http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneiderpropellerapplicationsandnewdevelopments(vsp)))

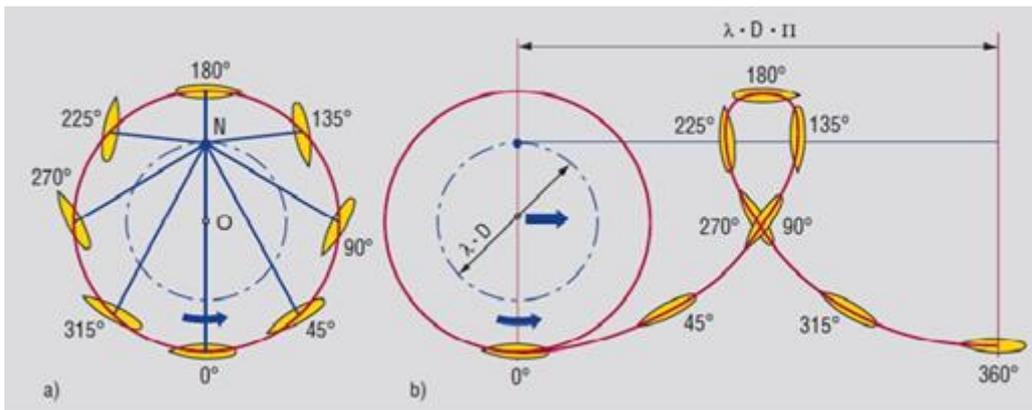
O passo do VSP pode variar em uma gama de e . A excentricidade da pá do VSP, também conhecida como passo, é definida como:

$$e = \frac{ON}{D/2}$$

O passo da hélice Voith Schneider pode ser variada dentro de uma faixa de $e < 0,8$. Propulsores com o passo $e > 1$ são conhecidos como propulsores trocoidais; O propulsor Kirsten-Boeing é um exemplo desse tipo de trocoidal.

A figura a seguir mostra o deslocamento das pás e respectivo trajeto.

Figura 11: a) referencial do propulsor, b) referencial estacionário



Fonte: (<http://users.skynet.be/havenslepers/en/doc/vsp.htm>)

O coeficiente de avanço do VSP é a razão entre a velocidade de convergência da água na hélice (V_A) e a velocidade circunferencial das lâminas (u):

$$\lambda = \frac{V_A}{u}$$

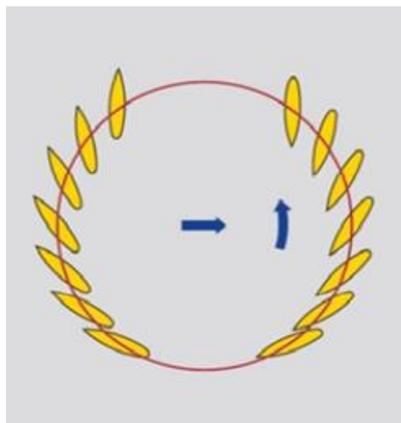
A relação entre a velocidade circunferencial da lâmina (u), a velocidade do rotor (n) e o diâmetro (D) é dada por:

$$u = \pi \cdot D \cdot n$$

O movimento relativo da lâmina, tendo-se um referencial estacionário, é o resultado da superposição do movimento de rotação do invólucro do rotor e da linha reta que representa o movimento avante do navio. A lâmina segue a curva de uma cicloide. O raio de rolamento da cicloide é $D/2$. Durante uma revolução, a hélice se desloca uma distância D na direção do movimento da embarcação.

A figura a seguir mostra as posições individuais das lâminas que contribuem para a geração de impulso do VSP, a qual se divide em dois estágios. As lâminas produzem forças na direção desejada para o impulso tanto na parte dianteira quanto na parte traseira do rotor. Uma vez que os perfis da dianteira e a metade posterior do rotor se movem em sentidos opostos, o VSP dá origem a efeitos hidrodinâmicos comparáveis às interações conhecidas dos propulsores contra-rotacionais.

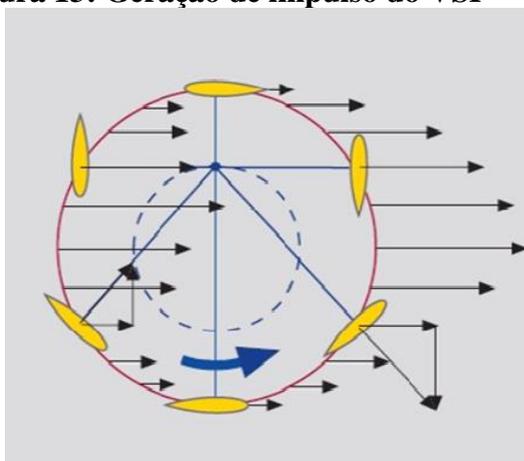
Figura 12: Posições das lâminas nas partes dianteira e traseira do rotor



Fonte:([http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneide_rpropellerapplicationsandnewdevelopments\(vsp\)](http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneide_rpropellerapplicationsandnewdevelopments(vsp)))

A figura 13 apresenta as forças de impulso geradas por cada lâmina. Devido à variação do ângulo de ataque da lâmina, há uma variação contínua do empuxo durante cada revolução. As componentes da força que atuam perpendicularmente a direção desejada da propulsão se anulam mutuamente, enquanto que as componentes da força que atuam na direção do impulso adicionam-se ao longo da circunferência da hélice.

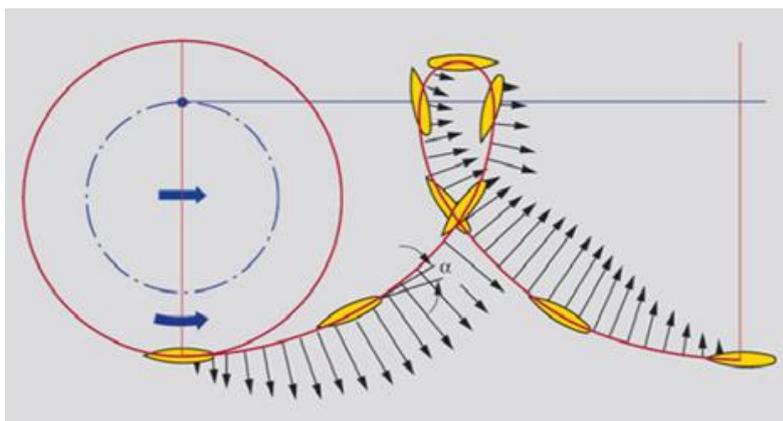
Figura 13: Geração de impulso do VSP



Fonte:([http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneide_rpropellerapplicationsandnewdevelopments\(vsp\)](http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneide_rpropellerapplicationsandnewdevelopments(vsp)))

A Figura seguinte mostra as condições de empuxo como uma função da trajetória cicloidial para um referencial estacionário. O princípio físico envolvido na geração de impulso pelo VSP é o empuxo hidrodinâmico, que é semelhante ao das hélices propulsoras convencionais.

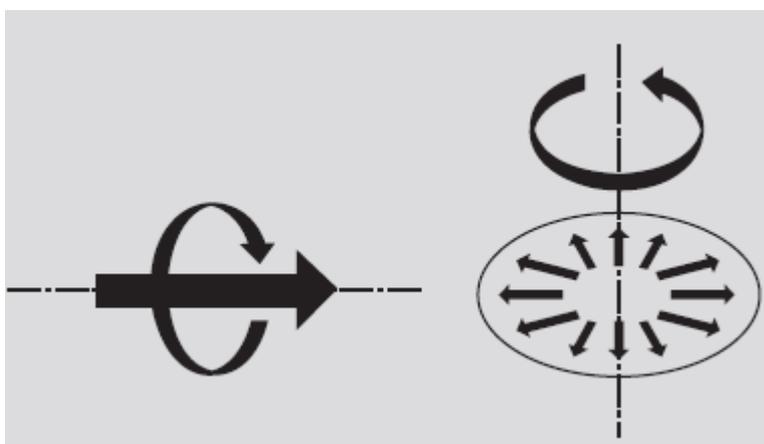
Figura 14: Empuxo em função da trajetória



Fonte:([http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneide_rpropellerapplicationsandnewdevelopments\(vsp\)](http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneide_rpropellerapplicationsandnewdevelopments(vsp)))

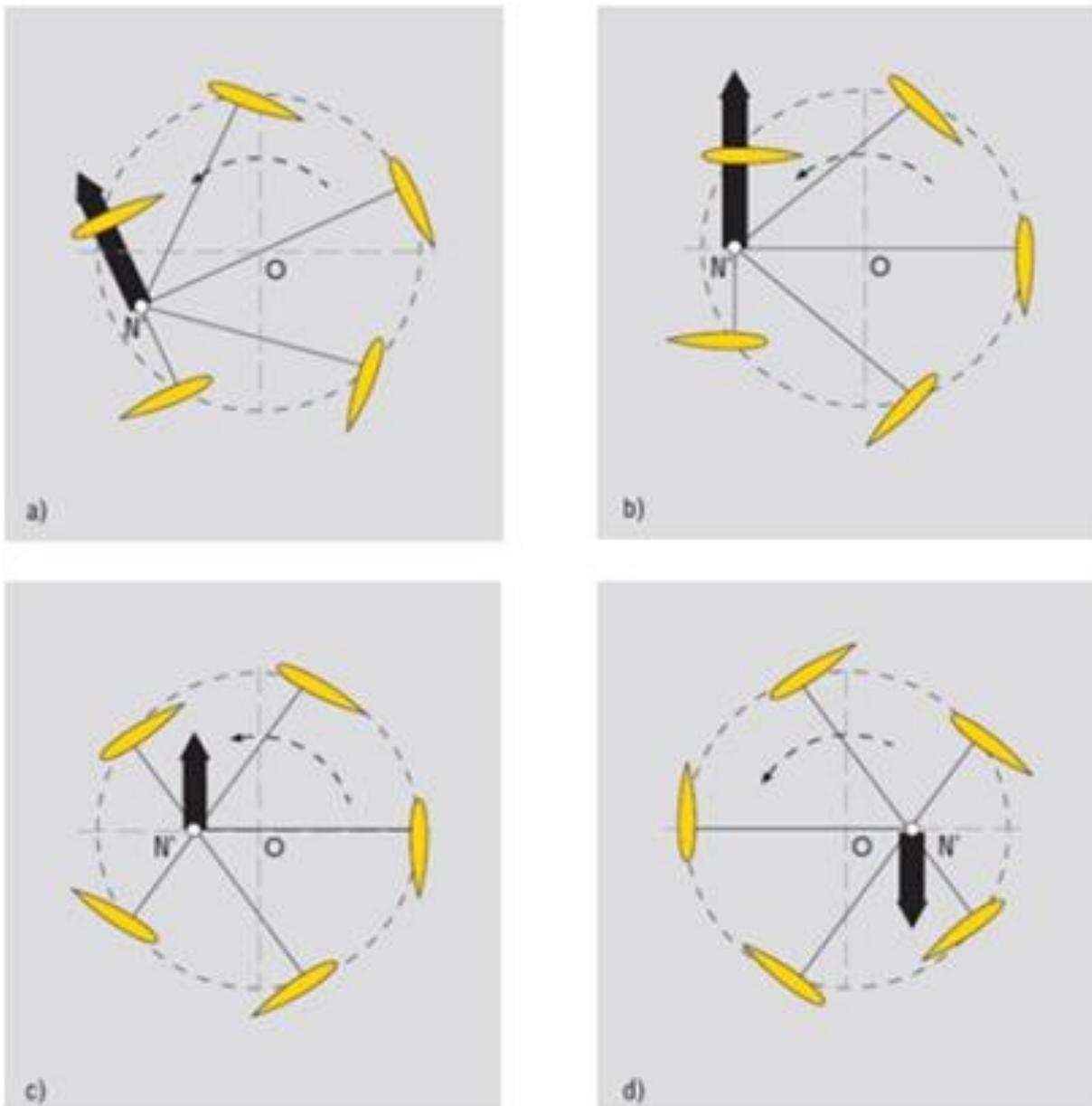
A figura 16 ilustra o efeito da alteração do centro de manobra "N". Ela mostra uma posição "N" em que ambos, forças de impulso e de manobra, são geradas. Se "N" é deslocado em direção ao centro do rotor a partir de um determinado ponto de partida, como na Figura 16b, a pressão é reduzida (figura 16c). Deslocar o centro de manobra N' em um quadrante resulta em uma reversão do sentido do impulso (figura 16d). Por conseguinte, é possível reverter o impulso simplesmente ajustando o centro de manobra, sem sofrer o efeito de forças transversais indesejáveis. O ajuste de zero impulso pode ser selecionado em qualquer momento, o que torna o navio muito seguro de ser manuseado.

Figura 15: Comparação de movimento entre VSP e propulsor tipo hélice



Fonte:([http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneide_rpropellerapplicationsandnewdevelopments\(vsp\)](http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneide_rpropellerapplicationsandnewdevelopments(vsp)))

Figura 16: Variação de impulso através da variação do centro de manobra “N”



Fonte: ([http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneiderrpropellerapplicationsandnewdevelopments\(vsp\)](http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneiderrpropellerapplicationsandnewdevelopments(vsp)))

4.2 VELOCIDADE DE ROTAÇÃO DO VSP E SUAS VANTAGENS

A velocidade de rotação é aproximadamente 25% do que a encontrada em hélices propulsoras convencionais de dimensões e potência comparáveis. Os motivos para isso podem ser resumidos como os seguintes:

- Sob condições normais de instalação, a área retangular varrida pelo VSP é aproximadamente duas vezes maior do que a das hélices propulsoras convencionais;
- As lâminas estão dispostas na periferia do rotor. A convergência de água resultante da rotação do rotor e da velocidade do navio é constante ao longo de todo o comprimento vertical das lâminas. Nas hélices convencionais, a velocidade desta afluência, de baixo valor no cubo do propulsor, é uma função do raio;
- As condições de escoamento na lâmina são não-estacionárias. Maiores ângulos de ataque eficazes podem ser atingidos sem a separação do fluxo; e
- Semelhante aos propulsores contra-rotacionais, o VSP gera impulso em duas etapas, na parte dianteira e na parte traseira do rotor (figura 12).

A baixa velocidade de rotação resulta em torques elevados, que exigem um modelo robusto. Isto tem como consequência seu maior peso. No entanto, as baixas velocidades de rotação do VSP têm algumas vantagens significativas, a exemplo:

- Alto grau de eficiência;
- Longa vida útil, especialmente dos rolamentos e vedações;
- Menor vulnerabilidade a obstáculos como troncos e gelo. As lâminas geralmente atingem esses obstáculos com o seu bordo de ataque, o que significa que as lâminas apresentam um elevado coeficiente de resistência;
- Baixa produção de ruídos na água, a partir de uma perspectiva hidroacústica, o que torna o sistema adequado para a propulsão de navios de investigação e caçador de minas; e
- Os componentes do VSP possuem uma grande resistência a choques e vibrações.

4.3 CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS DO VSP

Para ilustrar os efeitos da velocidade de rotação sobre as características do VSP, uma analogia pode ser estabelecida com motores diesel. Neles, a velocidade de rotação tem um efeito decisivo sobre os parâmetros técnicos, tais como o grau de eficiência, requisitos de serviço, peso e custo.

As características hidrodinâmicas do VSP são representadas pelos coeficientes adimensionais que, como um fruto de um desenvolvimento histórico, diferem por fatores constantes dos das hélices convencionais. Um breve sumário, bem como os fatores correspondentes de conversão, são indicados na tabela 1.

Tabela 1 – Coeficientes hidrodinâmicos para o VSP

	Voith definition	Coefficients by analogy with screw propellers	Conversion
Advance coefficient	$\lambda = \frac{V_A}{\pi \cdot n \cdot D}$	$J = \frac{V_A}{n \cdot D}$	$J = \lambda \cdot \pi$
Thrust coefficient	$k_S = \frac{T}{0,5 \cdot \rho \cdot D \cdot L \cdot u^2}$	$k_T = \frac{T}{\rho \cdot n^2 \cdot D^3 \cdot L}$	$k_T = 0,5 \cdot \pi^2 \cdot k_S$
Torque coefficient	$k_D = \frac{4 \cdot M}{\rho \cdot D^2 \cdot L \cdot u^2}$	$k_Q = \frac{M}{\rho \cdot n^2 \cdot D^4 \cdot L}$	$k_Q = k_D \cdot \frac{\pi^2}{4}$
Open-water efficiency	$\eta_O = \frac{k_S}{k_D} \cdot \lambda$	$\eta_O = \frac{k_S}{k_D} \cdot \frac{J}{2 \cdot \pi}$	—————
Circumferential velocity of VSP blades		$u = \pi \cdot n \cdot D$	

Fonte: ([http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneidpropellerapplicationsandnewdevelopments\(vsp\)](http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneidpropellerapplicationsandnewdevelopments(vsp)))

Na representação adimensional, é útil incorporar o comprimento L da lâmina para os coeficientes correspondentes para impulsão e torção. O número de Reynolds para a Voith Schneider Propeller, baseado no comprimento médio da circunferência de rastro da pá “c” do perfil, é definido como se segue:

$$Re = \frac{c}{\nu} \cdot \sqrt{V_A^2 + u^2}$$

Onde “ ν ” é a viscosidade de escoamento do fluido. Devido ao baixo número de revoluções do VSP, o número obtido para um modelo de hélice em testes é relativamente baixo.

Para elevar a eficiência do VSP, as extremidades das lâminas são equipadas com placas de extremidade.

A eficiência do propulsor pode ser elevada para:

- a) máxima eficiência em mar aberto;
- b) máxima força de tração;

c) potência mínima requerida durante o posicionamento dinâmico e de estabilização do balanço (“roll stabilization”)

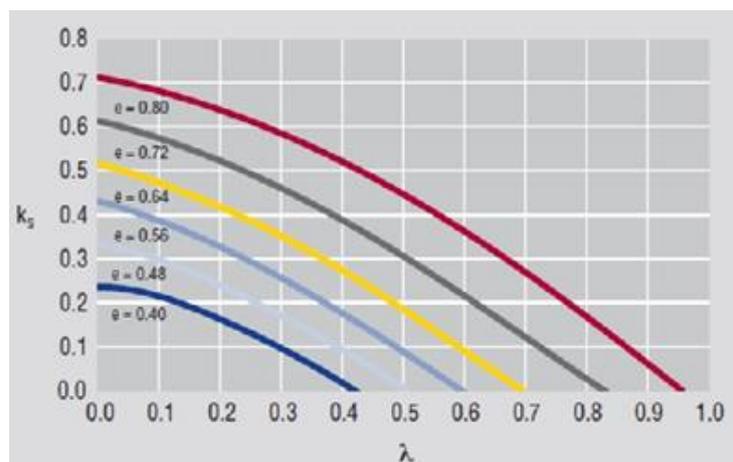
Figura 17: Lâmina do VSP com placa de extremidade



Fonte:([http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneide_rpropellerapplicationsandnewdevelopments\(vsp\)](http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneide_rpropellerapplicationsandnewdevelopments(vsp)))

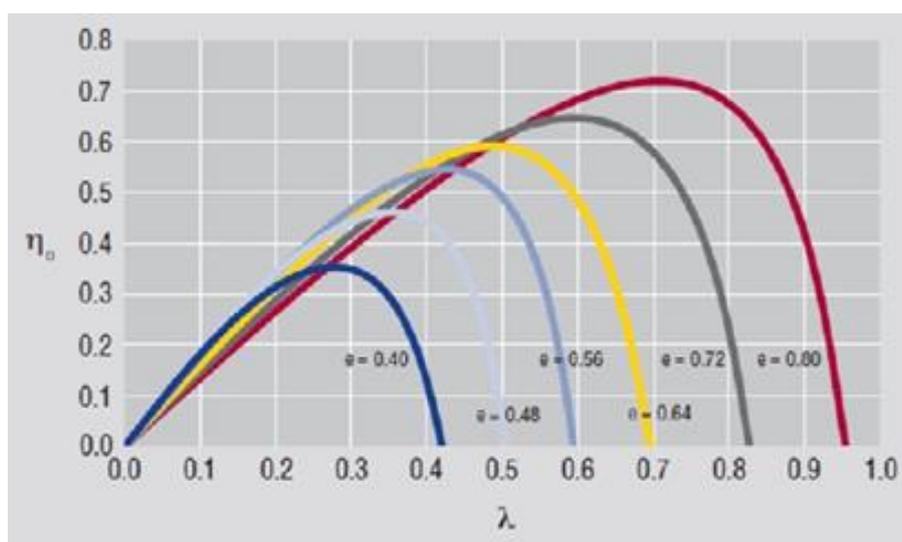
As figuras 18 e 19 mostram as características em mar aberto de um Voith Schneider Propeller para vários ângulos de inclinação.

Figura 18: Coeficiente de impulso (K_s) como função do coeficiente de avanço (λ) e do passo (e)



Fonte: ([http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneiderrpropellerapplicationsandnewdevelopments\(vsp\)](http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneiderrpropellerapplicationsandnewdevelopments(vsp)))

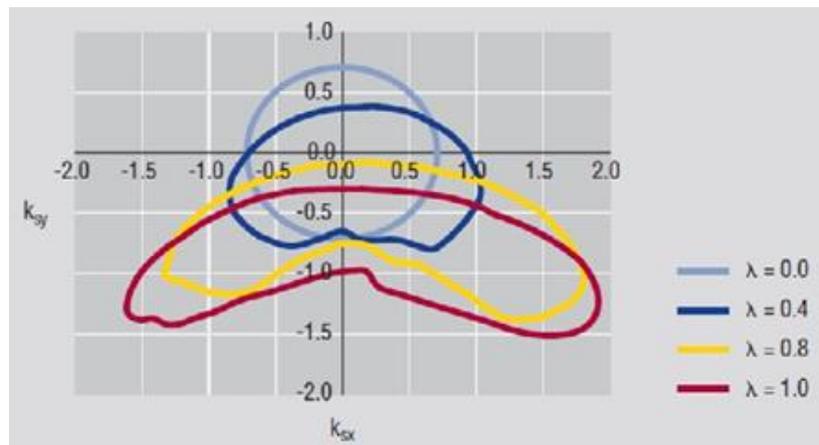
Figura 19: Grau de eficiência (η_o) como função do coeficiente (λ) e do ângulo(e)



Fonte: ([http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneiderrpropellerapplicationsandnewdevelopments\(vsp\)](http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneiderrpropellerapplicationsandnewdevelopments(vsp)))

A figura 20 mostra um exemplo das forças de direcionamento do VSP, que se dividem em direção longitudinal do navio (K_{sx}) e direção transversal do navio (K_{sy}).

Figura 20: Coeficientes das forças de direcionamento (K_{sy} e K_{sx}) como função do coeficiente de avanço



Fonte: ([http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneide_rpropellerapplicationsandnewdevelopments\(vsp\)](http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneide_rpropellerapplicationsandnewdevelopments(vsp)))

A medida que a velocidade do navio aumenta enquanto a velocidade da hélice permanece constante, as forças de direção também aumentam. Uma vez que o VSP é uma hélice de passo variado, grandes forças de direcionamento podem ser geradas por mudanças muito rápidas no passo. Estes são utilizados de forma eficiente para equilíbrio do balanço e posicionamento dinâmico.

4.4 BASE DOS CÁLCULOS HIDRODINÂMICOS DOS VSP

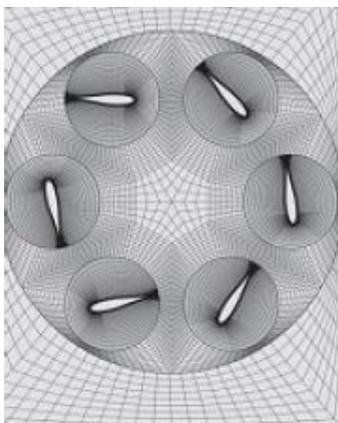
Tal como acontece com o cálculo do fluxo nos arredores das hélices propulsoras convencionais, vários métodos têm sido desenvolvidos para VSP:

- Métodos de cálculo simples com base no teorema do impulso e na teoria
- Hidrodinâmica para estado estacionário. Estes métodos são fáceis de manipular, mas dão origem a valores imprecisos quando o ângulo é relativamente grande e não permitem avaliação dos valores locais hidrodinâmicos, tais como pressões e forças em função do ângulo de rotação.
- Os métodos baseados na teoria da linha de empuxo estendida, de acordo com todos os vértices livres em movimento a uma velocidade constante e exclusivamente na direção do fluxo. A variação do fluxo na direção das linhas são desprezadas. É possível calcular as forças e os torques locais.

- Métodos de cálculo que envolvam a resolução RANSE. Ao adaptar códigos comerciais para resolver RANSE, é possível calcular o fluxo nos arredores do VSP com grande precisão. Há uma excelente concordância entre os cálculos e medições. Este método é também conhecido como CFD. Este último método, CFD, é utilizado para calcular as propriedades hidrodinâmicas do VSP.

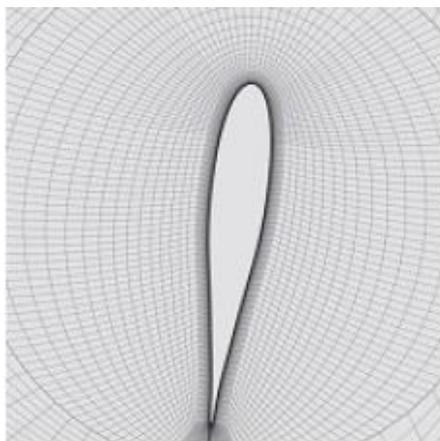
As figuras 21 e 22 mostram a malha de cálculo para todo o propulsor e, em detalhe, o modelo de diferenciação de apenas uma lâmina. Através do método CFD, todos os parâmetros hidrodinâmicos globais, como a propulsão e a eficiência, bem como as pressões e velocidades locais, podem ser precisamente calculados.

Figura 21: Propulsor inteiro



Fonte:(<http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneide>
[rpropellerapplicationsandnewdevelopments\(vsp\)](http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneide))

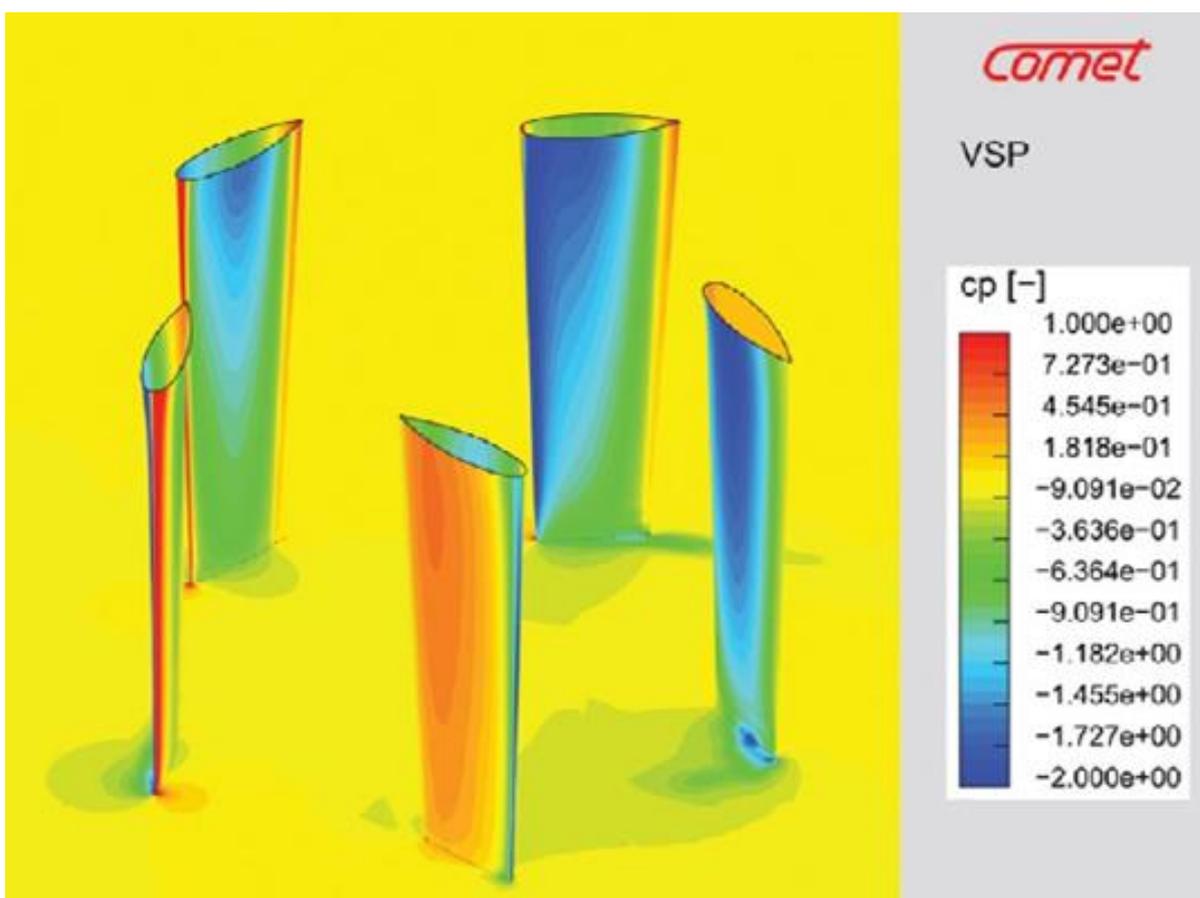
Figura 22: Lâmina discriminada



Fonte:(<http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneide>
[rpropellerapplicationsandnewdevelopments\(vsp\)](http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneide))

A Figura 23 mostra a distribuição de pressão sobre as lâminas de um VSP. Isto mostra que níveis elevados de impulso são gerados, principalmente na segunda metade do rotor, embora os ângulos efetivos de ataque devam ser menores nesta região, devido às velocidades induzidas da primeira metade. A razão para isto é encontrada em aproximadamente 30% do eixo da lâmina do VSP.

Figura 23: Distribuição de pressões nas lâminas do VSP (calculado com CFD)



Fonte: ([http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneiderrpropellerapplicationsandnewdevelopments\(vsp\)](http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/0077p003thevoithschneiderrpropellerapplicationsandnewdevelopments(vsp)))

5 COMPARAÇÕES ENTRE O VSP E O CRP

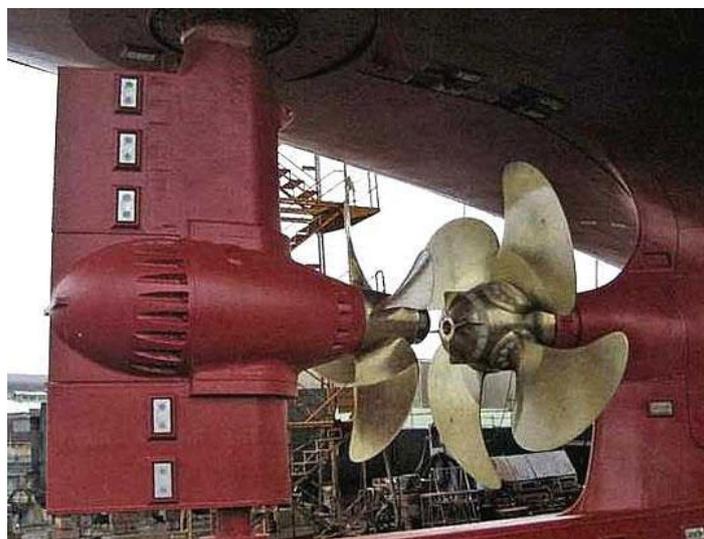
5.1 APRESENTAÇÃO DO CRP

É o nome de um sistema de propulsão aparecido há alguns anos e que vem sendo introduzido em alguns tipos de navios. Caracteriza-se por funcionar com 2 hélices em linha, girando em sentidos opostos e montados num pedestal rotativo, funcionando também como leme. Tecnicamente chamado CRP (“contra-rotating pod”), o equipamento consiste em uma única unidade instalada em modo de contra-rotação, reduzindo a resistência ao arrasto e aumentando a eficiência em relação aos mecanismos manobráveis tradicionais, em razão da incorporação do efeito de contra-rotação

O CRP tem a vantagem hidrodinâmica de recuperar uma parcela da energia rotacional que seria perdida no caso dos propulsores convencionais. Além disso, devido à distinta configuração, os CRPs possuem a capacidade de equilibrar a reação do torque proveniente da hélice e outros problemas similares.

Normalmente, o diâmetro do propulsor traseiro é menor que o do dianteiro, assim como a quantidade de pás deste é menor que a daquele. O princípio de funcionamento do CRP tem sido assunto de pesquisas teóricas e experimentais. Embora existam diversas aplicações, particularmente em unidades pequenas de elevada velocidade, operando numa faixa de 1500 a 2000 rotações por minuto, os problemas mecânicos associados a sistemas de embarcações maiores com extensa linha de eixo têm feito com que seu uso fosse evitado.

Figura 24: Contra Rotate Propeller



Fonte: <http://www.seapowerhellas.gr/act02-ie.htm>

5.2 O ESTUDO COMPARATÓRIO

Na Marintek, empresa que presta serviços de pesquisa, desenvolvimento e consultoria técnica avançada em engenharia naval, oceânica e de materiais, localizada na Noruega, foi realizado testes na água com dois modelos PSV de 85.5 metros de comprimento, como comparação de dois sistemas diferentes de propulsão.

O teste nº 601956.00.01 foi realizado com o Voith Schneider Propeller (VSP), fabricado pela Voith, e o teste nº 601956.00.02 foi realizado com o Contra Rotating Propeller (CRP), fabricado pela Rolls-Royce/Aquamaster.

Nesse estudo comparativo, características, como dimensões principais, desempenho da embarcação, condições de operação e consumo de combustível de sistemas específicos, podem ser definidos como iguais. Isso significa que uma comparação muito apurada dos sistemas de propulsão propriamente ditos pode ser descoberta.

Apesar das duas embarcações apresentarem dimensões muito similares, as linhas de popa diferem uma da outra, devido aos requisitos especiais dos propulsores.

O requisito para as embarcações foi alcançar 15 nós de velocidade em calados de 5.2 metros e 6 metros.

O modelo de testes mostrou claramente que o VSP é um sistema de propulsão adequado para a área de apoio offshore. Além da durabilidade, segurança e manobrabilidade deste sistema de propulsão, a superioridade da eficiência do VSP em relação ao CRP foi provada durante os testes.

Tabela 2 - Principais dados do casco equipado com o VSP num calado de 5.2 metros

Dados do casco (calado 5.2 metros WL1)	Símbolo	Modelo	Embarcação
Comprimento da linha d'água	$L_{WL}(m)$	5.396	86.340
Comprimento entre perpendiculares	$L_{FP}(m)$	4.838	77.400
Comprimento da boca até a linha d'água	$B_{WL}(m)$	1.200	19.200
Calado na metade da L_{PP}	T (m)	0.325	5.200
Calado a vante	$T_{FP}(m)$	0.325	5.200
Calado a ré	$T_{AP}(m)$	0.325	5.200
Trim	(m)	0	0
Volume deslocado	V (m ³)	1.198	4905.6

Fonte: Offshore Supply Vessels Summary of Development and Model Testing. Primeira edição. 2005

Tabela 3 - Principais dados do casco equipado com o VSP num calado de 6 metros

Dados do casco (calado 6 metros WL2)	Símbolo	Modelo	Embarcação
Comprimento da linha d'água	$L_{WL}(m)$	5.342	85.470
Comprimento entre perpendiculares	$L_{FF}(m)$	4.838	77.400
Comprimento da boca até a linha d'água	$B_{WL}(m)$	1.200	19.200
Calado na metade da L_PP	T (m)	0.378	6.050
Calado a vante	$T_{FF}(m)$	0.397	6.350
Calado a ré	$T_{AP}(m)$	0.359	5.750
Trim	(m)	-0.038	-0.600
Volume deslocado	V (m ³)	1.459	5977.2

Fonte: Offshore Supply Vessels Summary of Development and Model Testing. Primeira edição, 2005

Tabela 4 - Principais dados do casco equipado com o CRP num calado de 5.2 metros

Dados do casco (calado 5.2 metros WL1)	Símbolo	Modelo	Embarcação
Comprimento da linha d'água	$L_{WL}(m)$	5.057	85.170
Comprimento entre perpendiculares	$L_{FF}(m)$	4.596	77.400
Comprimento da boca até a linha d'água	$B_{WL}(m)$	1.140	19.200
Calado na metade da L_PP	T (m)	0.309	5.200
Calado a vante	$T_{FF}(m)$	0.309	5.200
Calado a ré	$T_{AP}(m)$	0.309	5.200
Trim	(m)	0	0
Volume deslocado	V (m ³)	1.027	4905.6

Fonte: Offshore Supply Vessels Summary of Development and Model Testing. Primeira edição, 2005

Tabela 5 - Principais dados do casco equipado com o CRP num calado de 6 metros

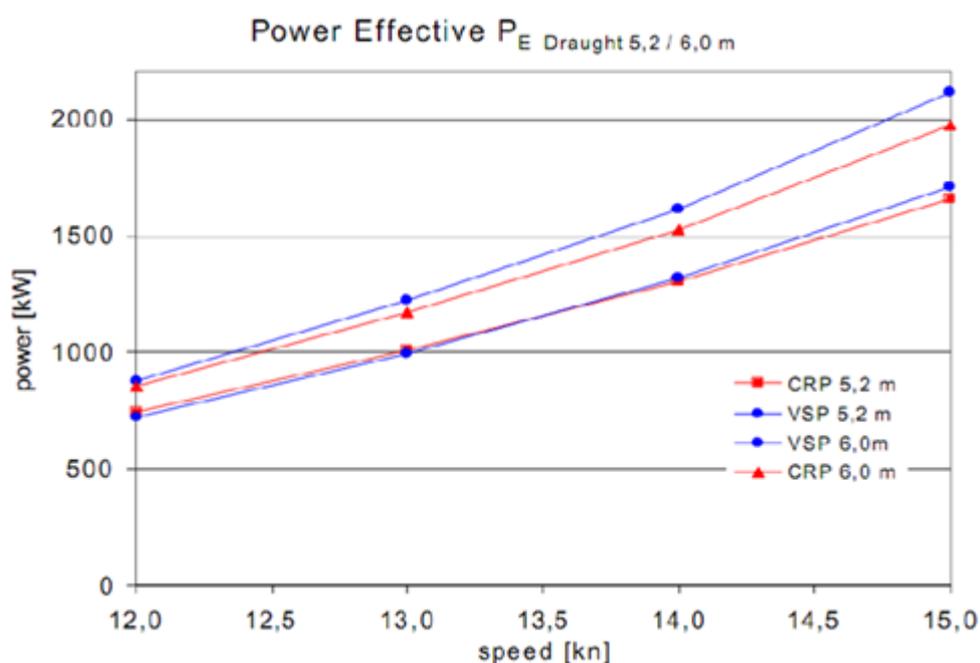
Dados do casco (calado 6 metros WL2)	Símbolo	Modelo	Embarcação
Comprimento da linha d'água	$L_{WL}(m)$	5.037	84.830
Comprimento entre perpendiculares	$L_{FF}(m)$	4.596	77.400
Comprimento da boca até a linha d'água	$B_{WL}(m)$	1.140	19.200
Calado na metade da L_PP	T (m)	0.356	6.000
Calado a vante	$T_{FF}(m)$	0.356	6.000
Calado a ré	$T_{AP}(m)$	0.356	6.000
Trim	(m)	0	0
Volume deslocado	V (m ³)	1.246	5952.5

Fonte: Offshore Supply Vessels Summary of Development and Model Testing. Primeira edição, 2005

5.3 TESTES DE RESISTÊNCIA DA EMBARCAÇÃO

Para julgar a diferença quanto ao design das linhas do navio, um teste de resistência para ambos os calados foi desenvolvido. O resultado mostra os valores de PE (potência efetiva), potência necessária para rebocar o navio a diferentes valores de velocidade através da água.

Figura 25: Potência efetiva nos calados de 5.2 metros e 6 metros



Fonte: (<http://www.docstoc.com/docs/82244874/2006-VSP-in-OSV>)

A partir da análise da figura acima, pode-se concluir que a potência efetiva necessária para rebocar embarcações equipadas com o VSP é mais alta do que as embarcações com o CRP.

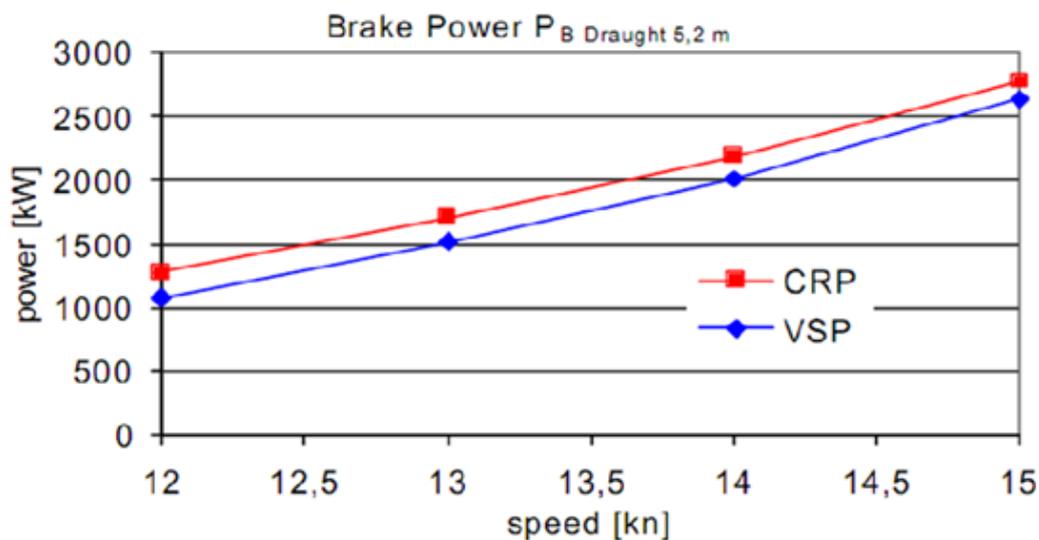
Para o alcance de velocidade em torno de 15 nós, a diferença é de 3% no calado de 5.2 metros e 7% no de 6 metros. Os resultados apenas mostram valores para a resistência do navio, sem considerar os sistemas de propulsão.

Isto significa que existe uma lacuna a ser preenchida com melhorias quanto a desempenho do VSP no sentido de melhorar os dados apresentados. Porém esta opção não foi considerada na primeira série de testes.

5.4 TESTES DE PROPULSÃO E PREVISÃO DE DESEMPENHO DO PROPULSOR

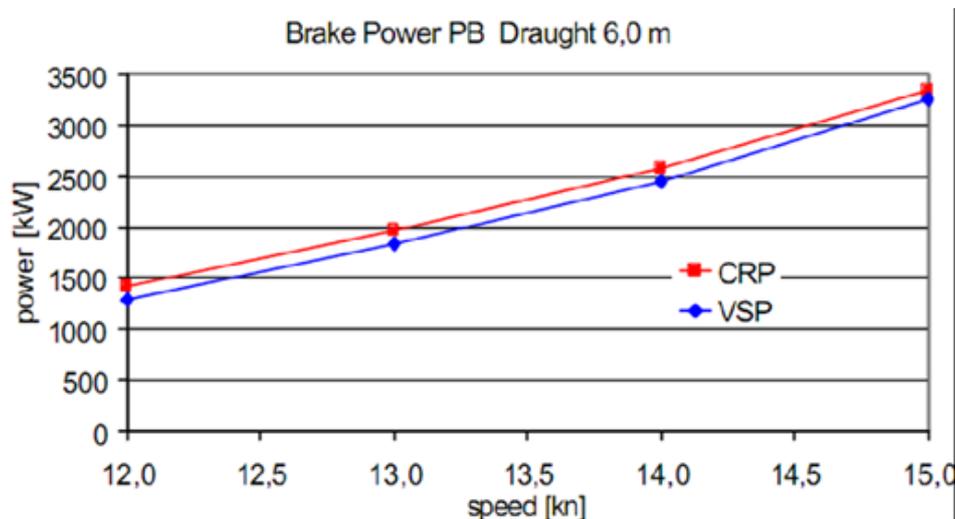
Para avaliar a potência produzida (PE é a potência eficaz do motor) no intuito de atingir a velocidade desejada, um teste de propulsão e de previsão de desempenho foi realizado de acordo com valores mais aproximados da realidade.

Figura 26: Potência produzida num calado de 5.2 metros



Fonte: <http://www.docstoc.com/docs/82244874/2006-VSP-in-OSV>

Figura 27: Potência produzida num calado de 6 metros



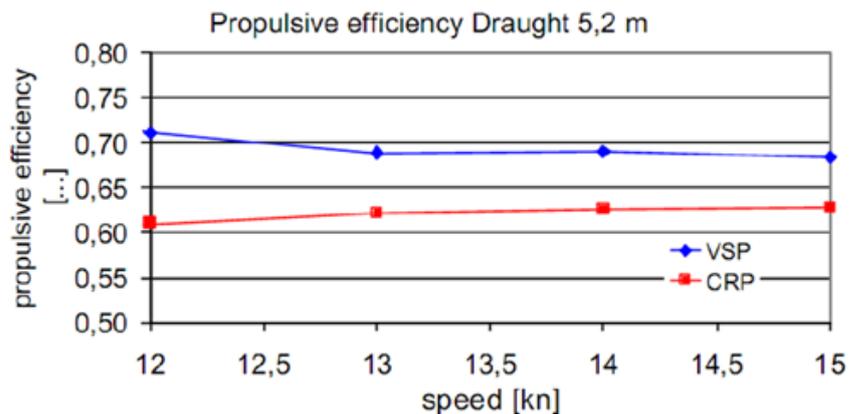
Fonte: <http://www.docstoc.com/docs/82244874/2006-VSP-in-OSV>

As imagens anteriores mostram resultados muito bons para o VSP, visto que a potência produzida é mais baixa que os valores desenvolvidos pelo CRP. O navio no qual funciona o CRP necessita de 8% a mais de potência para determinadas faixas de velocidade, mesmo considerando que a resistência do casco do navio no qual se aplica o VSP é aproximadamente 4 a 7% maior.

5.5 EFICIÊNCIA DE PROPULSÃO

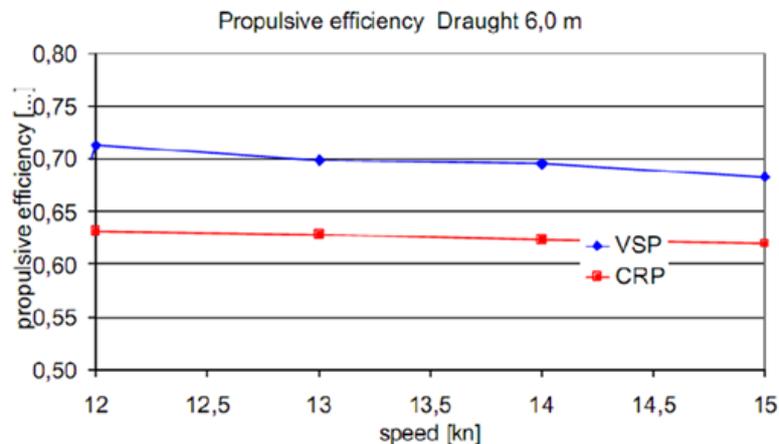
As seguintes mostram claramente que o VSP tem uma eficiência maior em toda a margem de velocidade. Isto vai resultar em uma menor quantidade de potência necessária e menor consumo de combustível em situação real.

Figura 28: Eficiência da propulsão num calado de 5.2 metros



Fonte: <http://www.docstoc.com/docs/82244874/2006-VSP-in-OSV>

Figura29: Eficiência da propulsão num calado de 6 metros



Fonte: (<http://www.docstoc.com/docs/82244874/2006-VSP-in-OSV>)

Nesta comparação, é importante notar que a potência efetiva com o uso do VSP é maior quando se comparada com os resultados obtidos pelo CRP. Esta diferença está relacionada com a modificação da estrutura da popa para a adaptação e alojamento de todo o sistema do VSP.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A marinha mercante tem se desenvolvido de uma forma exacerbada nos últimos anos devido à alta na exploração de petróleo no Brasil. Devido a crescentes necessidades tecnológicas as embarcações, principalmente as de apoio marítimo, têm necessidade de excelentes condições de manobrabilidade devido à dificuldade de suas operações. Por esse motivo, pela demanda de propulsores versáteis cheguei à escolha do meu tema sobre propulsores Voith-Schneider.

Durante o desenvolvimento do trabalho pode-se observar que além do posicionamento perpendicular em relação ao eixo de rotação umas das características que fazem do VSP único é sua rápida resposta em manobras, sendo eficiente e seguro. Podemos também certificar o seu alto grau de desempenho quando comparado a outro sistema de propulsão, que no trabalho foi o CRP, durante o trabalho desenvolveram-se pesquisas voltadas para o melhor entendimento do VSP de maneira não só prática, mas também por análise estrutural e física.

Portanto mesmo que de forma superficial tudo que tange o funcionamento e desempenho do propulsor foi abordado, sendo assim o trabalho foi capaz de explicar de forma sucinta o VSP e sem dúvidas estimular mais estudos sobre o tema. Atualmente não é comum seu uso em águas brasileiras, mas sendo tão eficiente deve ganhar notoriedade nos próximos anos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MPRESA VOITH. **Offshore supply Vessels Summary of Development and Model Testing**. 1ª Ed. Alemanha, 2005.

COSTA, Pedro Gomes da. **Projeto e Construção de Propulsor Cicloidal**. São Paulo, 2011.

EMPRESA VOITH. **The Fascination of the Voith-Schneider Propeller History and Engineering**. 1ª Ed. Alemanha, 2002.

EMPRESA VOITH. **Voith Schneider Propeller Designer Manual**. 1ª Ed. Alemanha, 2009.

EMPRESA VOITH. **Voith the History**. 1ª Ed. Alemanha, 2004.

From Heidenheim to all over the world. Disponível em

<http://www.voith.com/en/group/history/milestones-13690.html>. Acesso em: 20 de Julho de 2014.

Propeller (marine). Disponível em [http://en.wikipedia.org/wiki/Propeller_\(marine\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Propeller_(marine)). Acesso em: 15 de Junho de 2014.

SACHSE, H. **Kirsten-Boeing Propeller**. Disponível em:

<http://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19930090732>. Acesso em: 01 de julho de 2014

<http://www.docstoc.com/docs/82244874/2006-VSP-in-OSV>. Acesso em: 12 de junho de 2014.