

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

JONAS MURO GOMES E
MARIA CATHARINA GONÇALVES LOPES SILVA

PROPULSÃO EÓLICA NA MARINHA MERCANTE

RIO DE JANEIRO

2017

JONAS MURO GOMES E
MARIA CATHARINA GONÇALVES LOPES SILVA

PROPULSÃO EÓLICA NA MARINHA MERCANTE

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

Orientador: Prof. Hermann Regazzi Gerck

RIO DE JANEIRO

2017

JONAS MURO GOMES E
MARIA CATHARINA GONÇALVES LOPES SILVA

PROPULSÃO EÓLICA NA MARINHA MERCANTE

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: _____

RESUMO

Nem tudo que é antigo é defasado. No caso da energia eólica, sua eficiência durante séculos só confirma sua funcionalidade e baixo custo. Por este motivo, a indústria da Marinha Mercante tem visto a necessidade de escolhas tradicionais com tecnologia atual com foco em baratear o combustível e diminuir a agressão ao meio ambiente.

Palavras-chave: Energia limpa. Eólica. Combustível.

ABSTRACT

Not everything old is old-fashioned. When talking about wind energy, its efficiency for centuries has been its functionality and low cost. For this reason, the Merchant Marine industry is needed in regard to carrying out old choices with new technology focusing on making fuel cheaper and decreasing damage to the environment.

Keywords: Clean energy. Eolic. Fuel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Princípio de Bernoulli	13
Figura 2:	Princípio de Bernoulli	14
Figura 3:	Navio Egípcio	15
Figura 4:	Drakar	16
Figura 5:	Caravela	16
Figura 6:	Nau	16
Figura 7:	Junco Chinês ao lado da Nau Santa Maria de Colombo	17
Figura 8:	Tres Hombres	18
Figura 9:	Funcionamento do motor à Diesel	19
Figura 10:	Navio Rainbow Warrior	20
Figura 11:	O Shin Aitoku Maru	21
Figura 12:	O Shin Aitoku Maru	22
Figura 13:	O iate Maltese Falcon usando o Dyna Rig	24
Figura 14:	Projeção do graneleiro B9	25
Figura 15:	Diagrama de combustíveis usados pelo graneleiro B9	25
Figura 16:	Modelo em escala do graneleiro B9 em tanque de provas	25
Figura 17:	Wing sail de materiais compósitos usada na America's Cup	27
Figura 18:	Catamarã AC45 equipado com wing sail	27
Figura 19:	Cortes de vista superior de diferentes tipos de velas	28
Figura 20:	O Usuki Pioneer	29
Figura 21:	O Usuki Pioneer	30
Figura 22:	O MV Ashington	31
Figura 23:	O MV Ashington	31
Figura 24:	Efeito Magnus	32
Figura 25:	Flettner Rotor	33
Figura 26:	E-ship 1	34
Figura 27:	Kite surf	35
Figura 28:	Funcionamento do Sky Sail	36
Figura 29:	MS Beluga	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	PROPULSÃO À VELA TRADICIONAL	13
2.1	Funcionamento	13
2.2	Aplicação na Marinha Mercante	14
2.2.1	Histórica	14
2.2.2	Atual	17
3	PROPULSÃO À VELA TRADICIONAL MAIS PROPULSÃO PRINCIPAL OU AUXILIAR	18
3.1	Funcionamento	18
3.2	Exemplo escolhido por pesquisa de campo	19
3.3	Economia	19
3.4	Projetos do Shin Aitoku Maru	19
3.5	Projeto do Graneleiro B9 Clipper	21
4	WING SAIL	25
4.1	Funcionamento	25
4.2	Exemplos na Marinha Mercante	27
4.2.1	Usuki Pioneer	27
4.2.2	MV Ashington	28
5	ROTOR SHIP	30
5.1	Funcionamento	30
5.2	Exemplos na Marinha Mercante	31
5.3	Economia	32
6	SISTEMA DYNA RIG	33
6.1	Funcionamento	33
6.2	Exemplos na Marinha Mercante	34
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
	REFERÊNCIAS	

1 INTRODUÇÃO

Um dos assuntos mais populares dos últimos anos é a utilização de energia limpa para recuperação e continuidade da vida do planeta. Todavia, o uso de combustíveis fósseis ainda cresce em demasia por todo o mundo. Como destaque em poluição devido à utilização do bunker, a frota da Marinha Mercante precisa de soluções urgentes para diminuir sua agressão ao planeta e continuar como destaque econômico em vários países, fazendo jus à tendência mundial de Desenvolvimento Sustentável.

Nem toda a fonte de energia limpa para a área de transportes é novidade – a utilização de energia eólica como meio de propulsão, com ou sem o apoio de outros meios, já foi exaustivamente utilizada e aprimorada desde a antiguidade. Embarcações egípcias e fenícias realizavam, com sucesso, comércio de longa distância com o uso de velas e remos já no século III a.c, há mais de dois milênios atrás. Há fortes indícios de que os povos nórdicos da era Viking teriam realizado travessias de oceano a vela já no século X e, além das já muito discutidas Grandes Navegações europeias. Além disso, há vertentes que afirmam que a monumental frota mercante construída pelo Almirante chinês Zheng He já no século XIV, duzentos anos antes destas, teria sido a primeira a completar uma circum navegação do globo terrestre.

É interessante notar, para melhor entendimento do tema proposto, que em praticamente nenhuma instância histórica a propulsão eólica foi utilizada como forma exclusiva de propulsão. Desde as trirremes gregas, usando o poder de remadores em calmarias, até os mais recentes navios mistos a vapor e a vela do século XX, sempre ficou tacitamente entendido que o vento, afinal, tem seus caprichos e pode não ser uma força constante em todas as regiões do globo. Porém é uma ajuda de grande valia que, como será mostrado adiante, tem um enorme potencial na redução de gastos financeiros com combustíveis e na preparação para um futuro em que os usados atualmente podem se tornar escassos ou controlados.

Associada às novas fontes de propulsão a energia eólica pode se tornar de ultrapassada a inovadora, sendo que métodos de implantação já não faltam. Kite Sails, velas rígidas, mastreações rotativas, rotores Flettner, são algumas das propostas atuais para sua utilização em navios mercantes, todas elas já testadas em algum ponto. Há opções para navios novos que precisam ser previstas já no projeto,

porém promovem um ganho energético considerável; outras são pensadas para navios já em operação, por meio de retrofit ou até a simples instalação de equipamentos, cobrindo toda a gama de demandas dos armadores desejosos de reduzir seu custo de combustível e a “pegada de carbono” deixada por suas frotas.

Neste trabalho serão estudados os casos já testados e avaliados de uso de propulsão eólica auxiliar em navios mercantes modernos, bem como alguns projetos em desenvolvimento para o futuro deste modal de transporte. São ocorrências surpreendentemente mais comuns do que pode parecer, com vários casos de sucesso entre elas, e já vem sendo testadas há anos com soluções cada vez mais engenhosas e variadas. E como a tecnologia de modo geral tende a ser cíclica, pode ser a hora de a comunidade marítima analisar melhor o passado para buscar soluções para o que o futuro reserva.

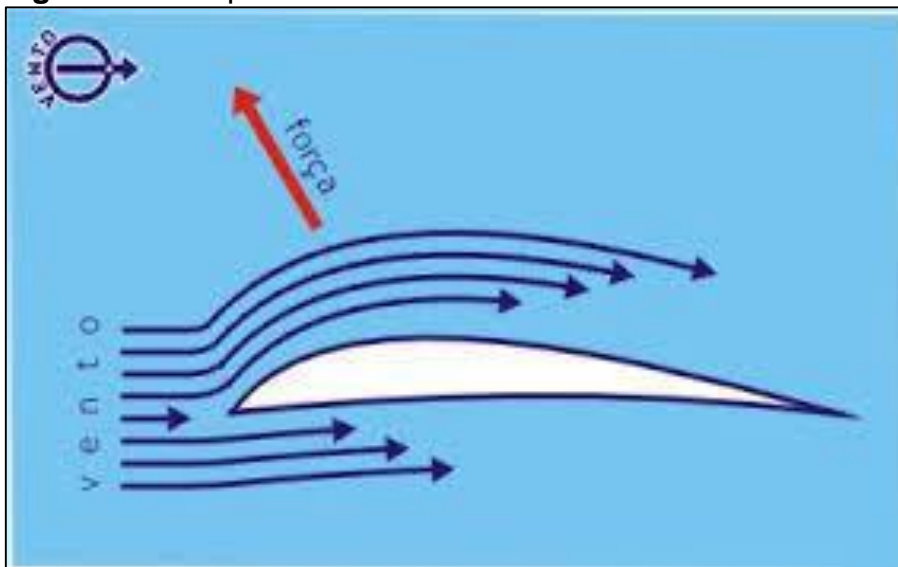
2 PROPULSÃO À VELA TRADICIONAL

2.1 Funcionamento

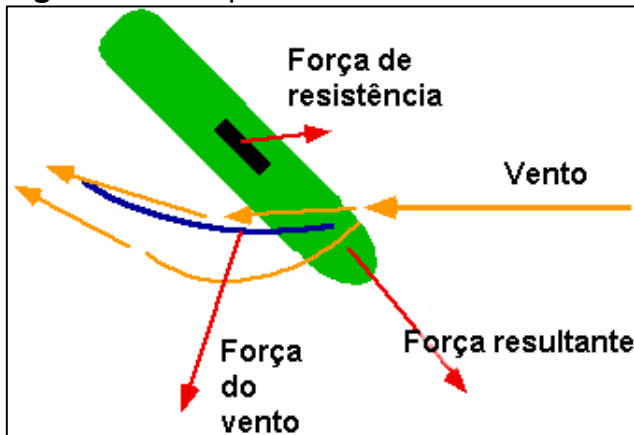
A velas geram força de propulsão de dois modos diferentes: o primeiro simplesmente capturando o vento que passa e seguindo na mesma direção dele, funcionando mais como um pára-quedas; no outro modo a propulsão ocorre com a vela percorrendo uma trajetória transversal à direção do vento e, devido a seu perfil aerodinâmico, o ar percorre uma trajetória maior em um dos lados da vela, no mesmo intervalo de tempo, gerando uma diferença de pressão entre os lados (maior no lado côncavo) que força a vela em uma direção, de um modo parecido a uma asa (Princípio de Bernoulli). É esta pressão para cima que permite os aviões voarem.

Os barcos de competição e recreio, atualmente os maiores utilizadores de velas como sistema de propulsão, costumam levar dois tipos diferentes de vela, a balão (spinnaker), parecida com um pára-quedas, para velejar na mesma direção do vento, e velas latinas (genoa), triangulares, o mais altas e estreitas possíveis para com sua forma aerodinâmica gerar propulsão, e seguir nas direções transversais ao vento. As Figuras 1 e 2 exemplificam o funcionamento.

Figura 1: Princípio de Bernoulli



Fonte: Google Imagens

Figura 2: Princípio de Bernoulli II

Fonte: Google Imagens

2.2 Aplicação na Marinha Mercante

2.2.1 histórica

A vela na Marinha Mercante é datada desde que as primeiras embarcações para fim de comércio foram usadas. Há divergências sobre qual realmente foi a primeira civilização da ter acesso ao oceano via barco à vela, mas todas as opções constam que na Antiguidade tais embarcações já eram conhecidas.

Barco Egípcio: Os primeiros barcos egípcios de vela datam de 3000a.C., ou ainda antes. Estes eram usados no rio Nilo que era o ideal para as iniciais embarcações à vela. O vento no Nilo é, normalmente, de norte, portanto se eles queriam ir para sul eles simplesmente içavam as velas. Se eles queriam navegar para norte diminuía a ação das velas e utilizavam a corrente do rio.

Este barco era construído com tábuas que eram unidas com cordas.

Drakar: Os vikings eram exímios navegadores e desenvolveram barcos sólidos nos quais se aventuravam para o alto mar.

Os Vikings navegavam nos aperfeiçoados drakkars - os compridos e estreitos barcos a vela e a remo esculpidos na madeira. Foram os primeiros na Europa do Norte a construí-los com velas.

Com isto ganhavam enorme vantagem sobre as embarcações de outras nações, movidas a remos. Além de permitir que os vikings navegassem longas distâncias o drakar trazia vantagens táticas em batalhas. Eles podiam realizar eficientes manobras de ataque e fuga, nas quais atacavam rápida e inesperadamente, desaparecendo antes que uma contra-ofensiva pudesse ser lançada.

Os drakar podiam também navegar em águas rasas, permitindo que os vikings entrassem em terra através de rios.

Estes barcos foram principalmente utilizados principalmente entre os séculos VIII e XIII e eram utilizados na Europa do Norte.

Caravela: A caravela foi uma embarcação usada pelos portugueses e espanhóis durante a era dos Descobrimentos.

A caravela era um navio rápido, de fácil manobra, apto para a bolina (possibilidade de recorrer a uma maior amplitude de ventos), de proporções modestas e que, em caso de necessidade, podia ser movido a remos. Eram navios de pequeno porte, de dois mastros, um único convés; deslocavam 50 toneladas.

As velas latinas (triangulares) eram duas vezes maiores que as das naus, o que lhes permitia zigzaguar contra o vento e, conseqüentemente, explorar zonas cujo regime dos ventos era desconhecido. Apetrechada com artilharia, a caravela transformou-se mais tarde em navio mercante para o transporte de homens e mercadorias.

A tripulação de uma caravela poderia rondar os 20 ou 25 homens em média. A partir de finais do século XV e inícios do XVI sofreu ajustamentos que deram à caravela um maior porte - passa a poder transportar 50 homens.

Gil Eanes utilizou um barco de vela redonda, mas seria numa caravela que Bartolomeu Dias dobraria o Cabo da Boa Esperança, em 1488.

Nau: Com a passagem das navegações costeiras às oceânicas, houve necessidade de adaptar as embarcações aos novos conhecimentos náuticos e geográficos.

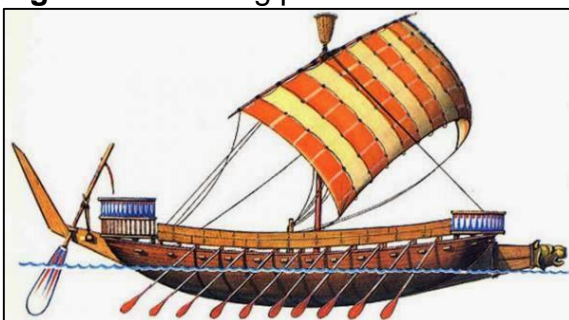
À medida que se foi desenvolvendo o comércio marítimo e se tornou necessário aumentar a capacidade do transporte de mercadorias, armamento, marinheiros e soldados, foram sendo modificadas as características dos navios utilizados. Surgiam então as naus.

A nau apresentava três mastros. A nau que fazia a "Carreira da Índia" permitia o transporte de maior tonelagem de mercadorias e tornara-se mais viável porque, com o conhecimento das rotas adequadas, otimizava o aproveitamento dos ventos existentes de um modo mais favorável à progressão do seu movimento.

A nau era também como a caravela um barco mercantil. (DAY, 2011).

Junco: No início do século XV, enquanto o rei D. João I de Portugal inaugurava o período das expedições marítimas pelo Périplo africano, na China, durante quase três décadas, a Dinastia Ming (1368-1644) patrocinou uma enorme frota de juncos, com o objetivo de expandir sua influência por todo o Oceano Índico. A armada, conhecida como Frota do Tesouro, era comandada pelo grande almirante Zheng He, que liderou sete épicas viagens a partir do porto de Nanquim, rumo à Índia e Arábia, chegando até a costa oriental da África. (EQUIPE MUSEU MARÍTIMO, 2016).

Figura 3: Navio egípcio



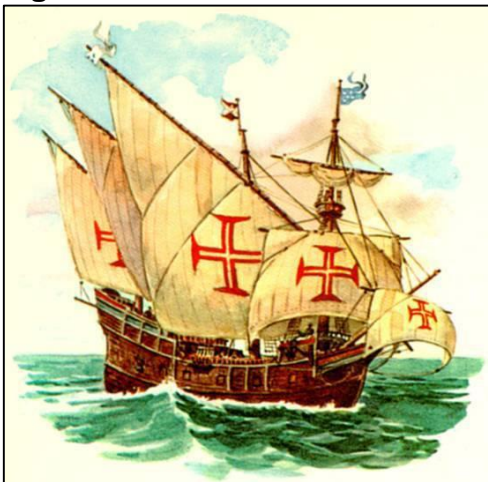
Fonte: Google Imagens

Figura 4: Drakar



Fonte: Google Imagens

Figura 5: Caravela



Fonte: Google Imagens

Figura 6: Nau



Fonte: Google Imagens

Figura 7: Junco chinês ao lado da Nau Santa Maria de Colombo



Fonte: Google Imagens

2.2.2 atual

Atualmente, praticamente todos os navios da Marinha Mercante possuem alguma propulsão diferente dos tradicionais veleiros, exceto o navio Tres Hombres.

O design do navio remete a um modelo antigo de embarcação mercante, característico por suas linhas rústicas e por não possuir motor. Tres Hombres não se parece em nada com os navios que dominam o transporte marítimo atualmente, com o modesto comprimento de 32 metros se comparado à embarcações que superam a faixa dos 400 metros. O veleiro possui capacidade para transportar 35 toneladas de carga e conta com acomodações para 15 pessoas, sendo elas tripulantes e estagiários ou passageiros.

A empresa responsável pela embarcação, a Fairtransport Shipping, está aumentando sua frota de navios sustentáveis e já tirou do papel um cargueiro de cinco toneladas para transportes futuros. Todas as embarcações por ela criadas utilizam alta tecnologia para eliminar o uso de combustíveis fósseis. A intenção é captar projetos do tipo para dar visibilidade a questões ambientais.

A importância do Tres Hombres não está relacionada à sua capacidade de carga, em muito ultrapassada pelas embarcações atuais. O navio é, na verdade, a concretização de uma maneira de pensar. Os temas relacionados ao meio ambiente há muito deixaram de ser questões minoritárias diante do simples objetivo de lucrar. Tres Hombres é a prova de que é possível obter ganhos com atividades fundamentais sem utilizar os

meios dos quais a humanidade se tornou dependente, como o petróleo. (CAZARIM, 2014).

O navio com 12 velas é de 2009 e de bandeira holandesa. Esse faz navegação tramp e comércio de especialidades à granel do país em cada porto que atraca com tradicionais remos. Tal navio é destaque em assuntos de eficiência energética, pois já cruzou oceanos à moda antiga.

As desvantagens incluem inadequação a certos tipos de carga, como o contêiner que necessitaria de mais espaço no convés, além de não permitir balanços frequentes. Outro fator importante é o calado aéreo de veleiros, já que a passagem por pontes se faz necessária em alguns trechos.

Figura 8: Tres Hombres



Fonte: Google Imagens

3 PROPULSÃO À VELA TRADICIONAL MAIS PROPULSÃO PRINCIPAL OU AUXILIAR

3.1 Funcionamento

Os navios que mesclam propulsão à vela com propulsão à diesel auxiliar ou principal, funcionam como a maioria dos veleiros de esporte e recreio. Quando não há vento suficiente e há necessidade de deslocamento da embarcação, então usa-se o motor à diesel.

Motores à diesel são menos poluentes que à bunker e não necessitam de caldeiras para aquecê-los, visto que o diesel é suficientemente viscoso. Desta forma, a utilização do diesel em conjunto com a vela é considerada bastante eficiente.

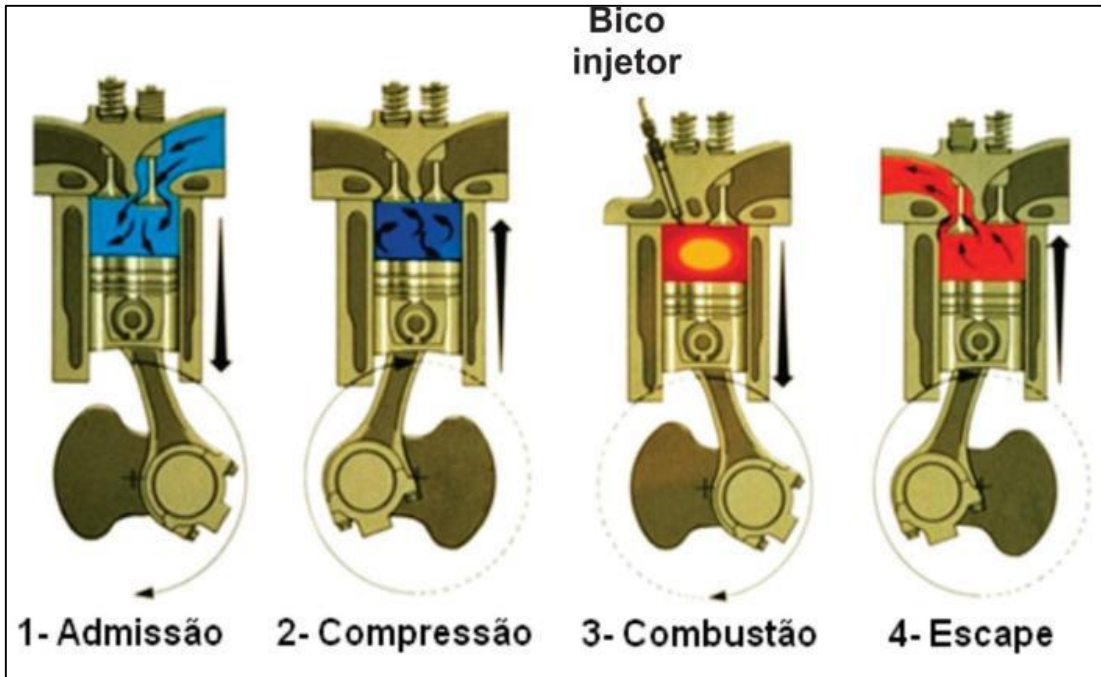
Funcionamento do motor:

Este motor pertence à categoria de motor de combustão interna alternativo, a qual inclui o motor de explosão, vulgarmente chamado motor a gasolina, usado em automóveis ligeiros. O motor Diesel rápido usa o gasóleo como combustível e é comum em veículos rodoviários como automóveis ligeiros e veículos de todo o terreno, sendo universal em veículos comerciais, camiões e máquinas industriais.

No motor Diesel, o gasóleo é introduzido finamente pulverizado no interior da câmara de combustão, onde encontra ar quente previamente comprimido pelo êmbolo, o qual se desloca no interior de um cilindro.

A combustão do gasóleo, produzindo calor, e a subsequente expansão dos gases da combustão, cria pressão que promove a deslocação do êmbolo. O movimento linear do êmbolo é transformado em movimento de rotação de um veio (cambota), através de uma biela que liga aqueles órgãos. O acima descrito, que se passa durante o trajecto descendente do êmbolo, constitui o tempo de expansão. Neste tempo ocorre a combustão e consequente expansão dos gases e é o único dos 4 tempos do funcionamento do motor em que é produzida potência. Para assegurar o tempo de expansão, o motor tem de cumprir dois tempos prévios e um outro posterior, sendo a totalidade dos 4 tempos[...] (PEÇA, 2012)

Figura 9: Funcionamento do motor a Diesel



Fonte: Google Imagens

3.2 Exemplo escolhido por pesquisa de campo

O navio escolhido para pesquisa de campo foi o navio Rainbow Warrior do Green Peace. Este é um navio protesto que atenta para as emissões de gases em excesso pela Marinha Mercante. Ele possui mastro em V para diminuição do calado aéreo, que é um dos problemas recorrentes de veleiros. Cabe ressaltar que possui 5 velas como propulsão principal e motor à diesel auxiliar, além de ballast tanks de água tratada pelo próprio navio, thrusters e bandeira holandesa.

Diferente do exemplo anterior, o Rainbow Warrior não tem fim mercante, mas sua engenharia poderia ser base para construção de navios com capacidade de carga.

Figura 10: Navio Rainbow Warrior



Fonte: Google Imagens

3.3 Economia

Em entrevista ao Imediato do navio Rainbow Warrior, dados sobre economia de combustível foram analisados.

Cerca de 75% do tempo de viagem é à vela, 20% do tempo de viagem é à vela e à motor e 5% apenas à motor (média dos meses de novembro e dezembro de 2016 na travessia da Europa para o México).

3.4 Projetos Passados; o Shin Aitoku Maru

Um dos primeiros projetos de navios com propulsão auxiliar a vela a sair do papel, o navio tanque de 1475 dwt Shin Aitoku Maru foi lançado em 1980 pelo estaleiro japonês Imamura. Equipado com duas velas de formato retangular enroláveis de um sistema denominado JAMDA, cada uma com 200m² de área vélica, sua construção e operação serviram para o desenvolvimento de diversos projetos posteriores.

A idéia de aproveitar a energia eólica foi concebida e testada com sucesso por Nippon Kokan Co., um dos principais construtores de navios japoneses, depois do embargo de petróleo árabe de 1973 ter levado o pânico ao Japão curto de energia.

O Shin Aitoku Maru é a consequência de alguns testes realizados pela empresa com um navio menor.

Não é nada novo usar velas para navios", disse um porta-voz da Japan Marine Machinery Development Association, uma das patrocinadoras do projeto. O que nos surpreendeu particularmente foi que achamos que as velas ajudaram a reduzir o lançamento e o rolamento, o que aumentou a

estabilidade do navio em mar agitado e resultou em mais economia de energia do que esperávamos". Ele disse que a maior estabilidade resultou em uma economia de combustível adicional de 2 a 3%.

As velas e o motor estão ligados por um dispositivo de microcomputador que ajusta automaticamente a saída do motor para a dependência das velas.

Quando a velocidade do vento atinge 33,5 milhas por hora a partir de um título de 90 graus, o motor pára e o navio se move em velas sozinho a velocidades de até 15 nós, de acordo com funcionários da Nippon Kokan. (KURAMITSU, 1980).

Figura 11: O Shin Aitoku Maru



Fonte: Google Imagens

Figura 12: O Shin Aitoku Maru



Fonte:

Google

Imagens

3.5 Projetos Futuros; o Graneleiro B9 Clipper

A companhia Irlandesa B9 Shipping, parte do conglomerado energético B9, está desenvolvendo um navio com 60% de sua propulsão provida por velas e o

restante por motores movidos a bio-gás. O projeto de um navio graneleiro de LOA de 100 metros e 3000 dwt foi planejado para causar o mínimo de impacto ambiental desde sua construção até a operação e pode ser um dos primeiros navios modernos 100% livre de combustíveis fósseis.

A construção envolverá métodos sustentáveis sempre que possível. As placas de aço utilizadas no navio serão criadas a partir de aço reciclado derretido pelo calor da madeira torrefada, um processo que não libera carbono fóssil na atmosfera. O desempenho do navio será melhorado usando materiais de construção leves para reduzir seu peso. Os navios também usarão velas macias e um motor movido a biogás.

O produtor europeu de aço Corus fornecerá as placas de aço para os cascos da frota da B9 Shipping. O biogás necessário para os navios será fornecido pela B9 Organic, uma empresa irmã da B9 Shipping.

O motor movido a biogás fornecerá 40% de seu poder de propulsão. O restante será fornecido pelo sistema de vela macia. Os motores também podem ser operados com GNL na ausência de biogás. (SHIP-TECHNOLOGY, 2011)

O sistema de velas a ser empregado no graneleiro da B9 chama-se Dyna Rig e já é empregado no iate particular de 88 metros, Maltese Falcon. O sistema consiste em mastros rotativos controlados por computador, auto portantes e munidos de velas quadradas que podem ser enroladas em condições de vento mais severas.

O DynaRig é uma conceptualização de uma forma de velas quadradas, projetada na década de 1960 pelo engenheiro alemão Wilhelm Prölls. Apesar de ter a aparência de um clipper do século XIX, o DynaRig tem importantes diferenças em termos de hardware e aerodinâmica. Na verdade, não foi implementado em um veleiro até várias décadas após o seu projeto devido à falta de materiais de construção adequados. Foi implementado pela primeira vez em um dos maiores iates do mundo, o Maltese Falcon. (Wikipedia, 2010)

A engenharia de design e o conceito provaram-se desde a viagem inaugural do iate em 2006, consistentemente entregando velocidade sob vela em 16 a 20 nós. Com o sucesso de Falcon maltês e a pesquisa feita pela Dykstra Naval Architects, parece que tal plataforma poderia ter um futuro bem-sucedido para grandes iates. Mas em uma nota para nós, Gerard Dykstra mencionou que a resposta foi lenta em chegar. Até o momento, a empresa agora refinou a plataforma para um iate em construção na Oceanco, está trabalhando em um navio de carga de 8,000 DWT para ser chamado de Ecoliner e pesquisou o conceito de iates de dois machos com Perini Navi e Ken Freivokh, que fez o estilo e o design de interiores do falcão maltês. (Tim Thomas, Boat International, 2015)

Em 2012 foram realizados estudos de viabilidade do projeto, utilizando túnel de vento um tanque de testes, pelo escritório de arquitetura e engenharia naval Humphreys Yacht Design.

A primavera de 2012 viu a conclusão de uma emocionante parcela de trabalho realizada pela Humphreys Yacht Design e a Wolfson Unit - este foi o estudo de viabilidade da primeira etapa para a B9 Shipping no

desenvolvimento de um design de navio de carga de vela moderno, ambientalmente amigável e economicamente vantajoso.

O processo de design iniciou-se com uma investigação sobre uma ampla gama de parâmetros do casco usando nosso software interno CFD e VPP. Embora o conceito geral seja aplicável a uma ampla gama de tipos de navios, para o estudo de viabilidade nos concentramos no setor de embarcações de carga 3000-4000 DWT, e nós comparamos continuamente contra um navio convencional genérico dentro desse setor.

A capacidade de carregar velas coloca uma ênfase direta na estabilidade transversal e na capacidade de gerar força lateral. Estas são características comuns a todos os veleiros, embora tenham sido removidas do design de navios comerciais nos últimos tempos. Além desses requisitos de estabilidade e força lateral, o navio também deve ser mais manobrável do que um navio comercial convencional e capaz, por exemplo, de responder a uma mudança de brisa. O processo de projeto inicial foi focado em questões bastante amplas, nomeadamente a melhor forma de gerar o grande volume necessário para fornecer a capacidade de carga e a melhor forma de distribuir este volume para proporcionar estabilidade e manobra suficientes, além de eficiência em uma ampla margem de manobra e pequenos ângulos de adernamento. Para nós, talvez seja surpreendentemente análogo a alguns de nossos trabalhos de design normais - onde tentamos "esconder" o deslocamento p dentro de um formato de casco com características de velocidade.

Os dados do tanque de reboque e do túnel de vento forneceram ao projeto um excelente ponto de partida. Em conjunto com a Unidade Wolfson, agora temos um programa de previsão de velocidade totalmente desenvolvido para o navio e muito trabalho está sendo implementado para a modelagem econômica de várias rotas de frete, esta seção do trabalho realizado por uma equipe especializada do UCL trabalhando com o Met Office e o desenvolvedor de software marítimo Graeme Winn. Uma rede colaborativa de parceiros de projetos está sendo montada, permitindo que o projeto se beneficie de uma riqueza de conhecimento em uma ampla gama de campos especializados. (HUMPFREYS YACHT DESIGN, 2012)

Vantagem dos motores de gás: operando em 26 embarcações até à data e desenvolvido para usar o LNG, um combustível fóssil transitório significativo para a indústria de navegação. O LNG é mais limpo, não emite enxofre e reduz o óxido nitroso em 90% e o CO₂ em 23%. As áreas de controle de emissões na Escandinávia, na UE, nos EUA e nas economias emergentes estimulam o surgimento da infra-estrutura de abastecimento de combustível na UE e além.

Fornecer força propulsora para navios B9 para manobra no porto em caso de vento insuficiente.

Para facilitar a navegação a motor - que ainda pode ser o modo operacional mais eficiente (mais testes necessários), pois o design do casco B9 Ship é tão eficiente, uma pequena quantidade de "empurrar" permite que a vela funcione e otimize o vento livre.

Alimentado por resíduos: no caso dos navios B9, o motor é alimentado por resíduos alimentares.

Vantagens da 2ª geração de bio combustível: O desenvolvimento de instalações para a produção econômica de bio-metano líquido (LBM ou gás verde) está bem encaminhado pela empresa irmã B9 Organic Energy e outros, incluindo os grandes 6 geradores de energia. LBM tem exatamente a mesma composição química e física do LNG e é intercambiável uma vez limpo.

LBM é injetado diretamente na grade de LNG através de uma cadeia de abastecimento virtual de biometano. Um processo de certificação

assegurar que o LBM é bio-combustível de 2ª geração, portanto evita controvérsias sobre alimentos e combustíveis. Os biocombustíveis de segunda geração atraem certificados de obrigação renovável x2 e Certificados de combustível de transporte renovável. (B9 SHIPPING, 2010)

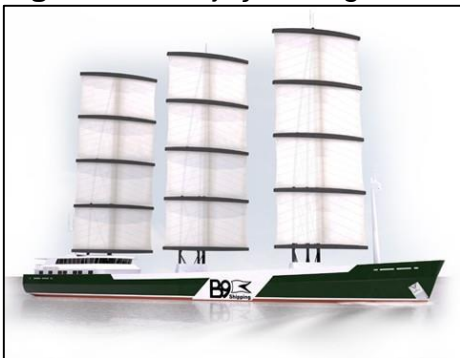
Os motores de bio combustível para o navio estão sendo desenvolvidos pela Rolls Royce e complementarão a propulsão a vela em condições de manobra e ausência de vento. Por enquanto não há previsão de lançamento para o navio B9.

Figura 13: O iate Maltese Falcon usando o Dyna Rig



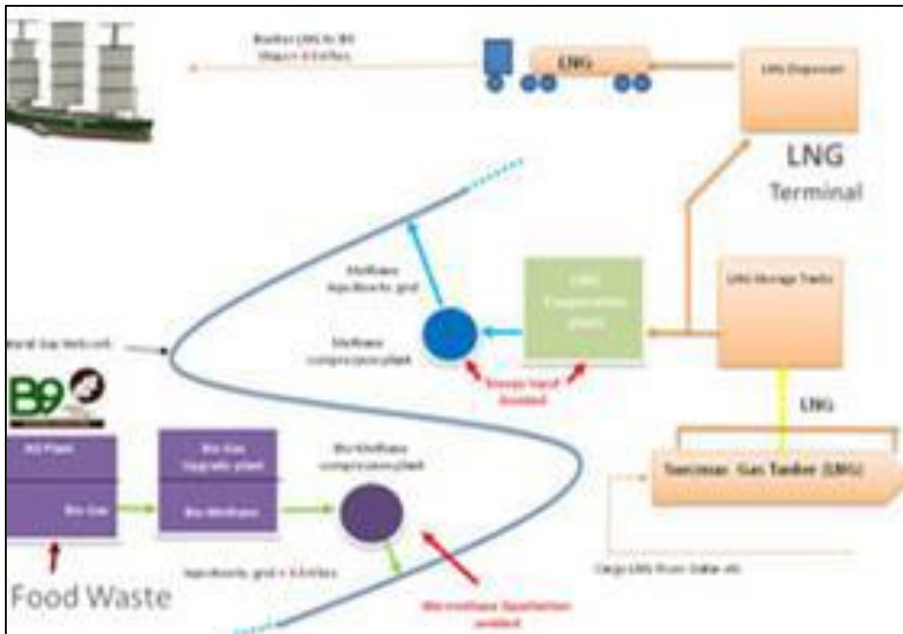
Fonte: Google Imagens

Figura 14: Projeção do graneleiro B9



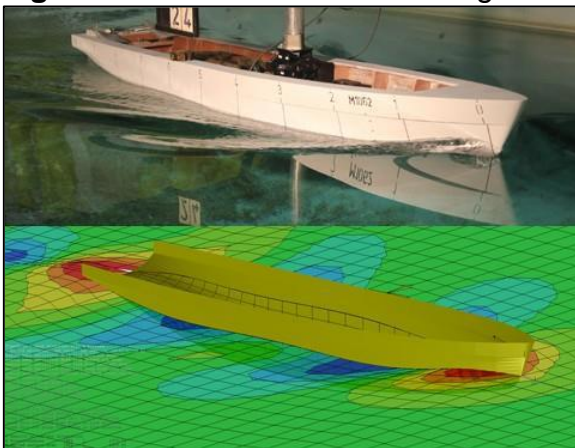
Fonte: Google Imagens

Figura 15: Diagrama de combustíveis usados pelo graneleiro B9



Fonte: Google Imagens

Figura 16: Modelo em escala do granelheiro B9 em tanque de provas



Fonte:

Google

Imagens

4 WING SAIL

4.1 Funcionamento

Wing sails ou velas asa são um tipo de vela feita de materiais rígidos, ao invés do tradicional tecido, que por conta de suas características tendem a ser mais eficientes na geração de lift do que velas tradicionais.

Comparadas às tradicionais velas “moles”, as velas asa são muito mais complexas fornecendo lift com camber variável controlado por uma junta flexível ou dobradiça. As velas asa oferecem maior eficiência aerodinâmica que as velas convencionais e melhor performance, como visto com velocidades máximas de até 47 nós alcançadas em regatas. (THE MARITIME EXECUTIVE, 2016)

Como visto acima, veleiros de competição utilizando wing sails chegam a velocidades maiores do que muitos tipos de barcos a motor - inclusive alguns voltados a performance - com gasto de combustível zero.

A tecnologia Wing-sail, atraente para os armadores para aumentar o lucro e a competitividade, também pode ser eficaz na redução da poluição. Um navio de médio porte de tamanho médio pode facilmente economizar tantos combustíveis fósseis como poderia ser conseguido, tirando várias centenas de caminhões diesel da estrada e, uma vez que os combustíveis pesados normalmente contêm 500 vezes mais enxofre do que o diesel rodoviário, reduzem a poluição até mesmo mais. E isso ajudaria com o efeito de estufa, com a chuva ácida e com a acidificação dos oceanos, tudo isso em ascensão a taxas assustadoras. (WALKER, 2005)

A grande diferença entre os dois tipos de velas dá-se no perfil de cada uma; como visto na figura 13, o perfil da vela asa produz uma maior diferença entre os caminhos percorridos pelas partículas de ar de cada lado da vela, gerando uma diferença de pressão conseqüentemente maior e aumentando o lift.

A tabela abaixo lista tipos de velame usados na navegação comercial (rig) com seus respectivos coeficientes de lift (CL_{max}) e razões entre Lift e Arrasto (L/A_{max}) para uma melhor comparação.

Tabela 1: Tipos de velas e comparações de valor

Rig	CL_{max}	L/A_{max}
Vela Convencional	1.9	5
Walker wingsail	2.6	10
Boatek wingsail	>3	10--11
rigid, plain flap	2.3	>10
rigid, split flap	2.5	>10

Fonte: Cooke Associates, 2016

Figura 17: Wing sail de materiais compósitos usada na America's Cup



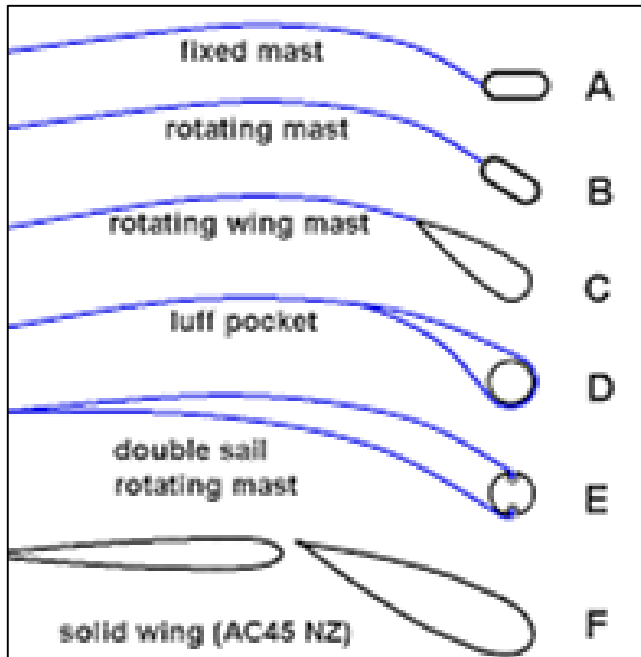
Fonte: America's Cup.com

Figura 18: Catamarã AC45 equipado com wing sail



Fonte: America's Cup.com

Figura 19: Cortes de vista superior de diferentes tipos de velas



Fonte: America'sCup.com

4.2 Exemplos na Marinha Mercante

4.2.1 - Usuki Pioneer

O Usuki Pioneer foi um dos primeiros exemplos da era moderna a usar wing sails para auxiliar a propulsão mecânica convencional do navio. Lançado em 1985 pelo estaleiro Usuki Tekkosho, o graneleiro de 26000 dwt e LOA de 162,50 metros era equipado com duas wing sails com área vélica de 320m² cada, compostas por tecido esticado sobre uma estrutura de aço, e tinha um sistema para recolher a superfície de tecido quando esta não estava em uso. A relação entre motores, propulsão proveniente das wing sails e rotação do propulsor era controlada por computador para otimizar o consumo.

Durante sua primeira viagem, entre o Japão e a cidade de Seattle, o Usuki Pioneer fez uma média de 12 nós de velocidade e teve um consumo médio de combustível de 14,93 t/dia, contra 20-23 t/dia (entre 25 e 35% de economia) e de navios de mesmo tipo e capacidade sem o sistema de wing sails. O estudo da performance do navio também revela que os motores trabalharam em média com carga de 63,4% e que o ângulo de balanço com as velas em funcionamento foi reduzido em até 30°.

O sistema de velas do navio, porém, era limitado pelos materiais usados na época e tinha suas desvantagens.

Em 1980 o Japão não tinha uma indústria de iatismo exposta a tecidos modernos e suas velas tradicionais eram de junco, compostas por material fraco extensivamente suportado por talas de bambu. O sistema automatizado era similar, usando poliéster suportado por uma extensiva armação de aço dobrável de vigas e travessas.

Foi reportado que, no Usuki Pioneer, o sistema de velas pesava 320 toneladas, o que reduzia a capacidade de tal modo que havia uma perda de \$60.000 por viagem em dólares atuais. Essa perda desbalanceava muito da economia de combustível alcançada pelas velas. (TRUE SUSTAINABILITY TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT AND RESOURCE MANAGEMENT, 2007)

O Usuki Pioneer teve seu sistema de velas desmontado seguindo a queda no preço do barril de petróleo, o que fez com que já não fosse tão vantajoso para a época.

Figura 20: O Usuki Pioneer



Fonte: www.wikipedia.org

Figura 21: O Usuki Pioneer



Fonte: www.shipspotting.com

4.2.2 MV Ashington

O navio de granel seco Ashington utilizou um sistema inglês - a Walker Wing Sail - no período de 1986 a 1988. O navio de 6500 dwt foi equipado com uma vela asa de área vélica de 101m² de operação praticamente independente da tripulação, com auto regulação e controle computadorizado.

Este é um breve relatório de uma apresentação conjunta em que o desenvolvimento do Walker Wingsail ao longo dos últimos 20 anos foi descrito e informações foram fornecidas sobre as experiências adquiridas com a operação de 5 meses do dispositivo no mar no graneleiro de 6500 dwt Ashington. O sistema de velas instalado tem uma área de vélica de 101 metros quadrados e é construído a partir de aço, ligas leves e materiais plásticos compostos. A vela asa funciona regulando a si mesma para o ângulo correto com o vento e pela configuração computadorizada dos aerofólios para alcançar o impulso ideal. Para evitar qualquer carga de trabalho adicional na tripulação, um sistema de microprocessador duplo dedicado é empregado; o computador principal verifica a velocidade e a direção do vento relativo e determina as configurações de vela necessárias, respondendo rapidamente a qualquer alteração na velocidade relativa e na direção e regulando constantemente o sailset para manter o impulso ideal, enquanto o segundo computador monitora o primeiro e aciona um alarme no evento de uma falha.

Estima-se que a redução do consumo de combustível alcançável em um navio equipado com o projeto atual de Wing Sails em um navio moderno convencional poderia ser de até 30%. (NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE, 1986)

Assim como no caso do Usuki Pioneer, a queda do preço do barril de petróleo e, diferente deste, a pouca incidência de vento utilizável na rota do Ashington acabaram por inviabilizar o projeto.

In the Ashington's trading area, "usable wind" was restricted during the trial to approximately 30% of the total passage time. Average wind speeds were relatively low. There was also significant downtime due to necessary wingsail maintenance, and the vessel's fuel consumption results

were not consistent. In summary, the wingsail produced thrust equivalent to 8% of normal engine load.

The Board of the shipping company (Stephenson Clarke Shipping Ltd) took the view that due to the low cost of fuel and limited availability of "usable wind" on the trading routes, the wingsail did not satisfy the company's payback criteria. (COOKE ASSOCIATES, 2016)

Figura 22: O MV Ashington



Fonte: Google Imagens

Figura 23: O MV Ashington



Fonte: Google Imagens

5 ROTOR SHIP

5.1 Funcionamento

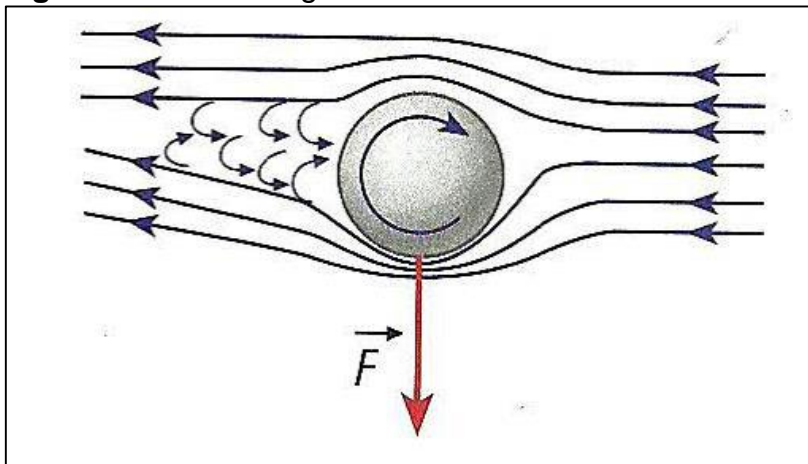
O princípio básico do rotor é o efeito Magnus:

Um navio de rotor é um tipo de navio projetado para usar o efeito Magnus para propulsão. O navio é propelido, pelo menos em parte, por grandes rotores verticais, às vezes conhecidos como velas do rotor. O engenheiro alemão Anton Flettner foi o primeiro a construir um navio que tentou pressionar esta força para a propulsão, e os navios são conhecidos como um navio Flettner.

O efeito Magnus é uma força que atua sobre um corpo giratório em uma corrente de ar em movimento, o que produz uma força perpendicular à direção da corrente de ar. Isso é usado em backspin para aumentar a gama em esportes de bola, e também as bombas de salto desenvolvidas por Barnes Wallis. [1] Os navios de rotor aproveitam esse mesmo efeito girando um grande cilindro vertical, tipicamente usando um motor elétrico e usando a força resultante para a propulsão. Devido ao arranjo de forças, os navios de rotor podem navegar mais perto do vento, o que tem uma série de vantagens.

O navio do rotor não deve ser confundido com o turbosail de aparência similar. O turbosail também usa uma "vela" vertical sólida, mas usa fluxo de ar dentro do interior oco para gerar uma força convencional, em vez de usar o efeito Magnus na parte externa da vela. (WIKIPEDIA, 2015-2016)

Figura 24: Efeito Magnus



Fonte: www.wikipedia.org

O princípio básico do rotor é o efeito Magnus:

Quando a bola não gira ou gira muito pouco, temos o chamado efeito knuckling. Quando gira, temos o efeito Magnus, que faz com que a bola tenha o efeito de uma curva", explica Rabi Mehta, da Nasa.

Raúl Bertero explicou à BBC Mundo que esse efeito "é conseguido ao se fazer girar a bola sobre seu eixo. Ao fazer isso e ao avançar na corrente

de ar, cada lado da bola passa por uma velocidade do ar distinta.

Como a diferença de velocidade implica em uma diferença de pressão, a bola recebe uma força lateral – e isso se chama efeito Magnus. (BBC, 2017)

5.2 Exemplo na Marinha Mercante

Excluindo a vela, o Rotor Ship é a tecnologia de utilização da energia eólica em navios mais antiga. O primeiro surgiu em 1925.

Após a conclusão de seus julgamentos, o Buckau partiu em sua primeira viagem, de Danzig para a Escócia pelo Mar do Norte, em fevereiro de 1925. O navio do rotor poderia aderir (navegar no vento) a 20-30 graus, enquanto um navio com uma plataforma de vela típica, não pode aproximar mais de 45 graus para o vento; Daí, os rotores não causaram preocupação em clima tormentoso.

Em 31 de março de 1926, o Buckau, agora renomeado Baden Baden após a cidade termal alemã, navegou para Nova York através da América do Sul, chegando ao Porto de Nova York em 9 de maio.

Apesar de ter concluído os cruzamentos sem problemas do Mar do Norte e do Atlântico, o poder consumido pela rotação de tambores de 15 metros de altura foi amplamente desproporcional ao efeito propulsor quando comparado com os parafusos convencionais (hélices). Como o sistema Flettner não podia competir economicamente, a Flettner voltou sua atenção para outros projetos. (WIKIPEDIA, 2015-2016)

Figura 25: Flettner Rotor

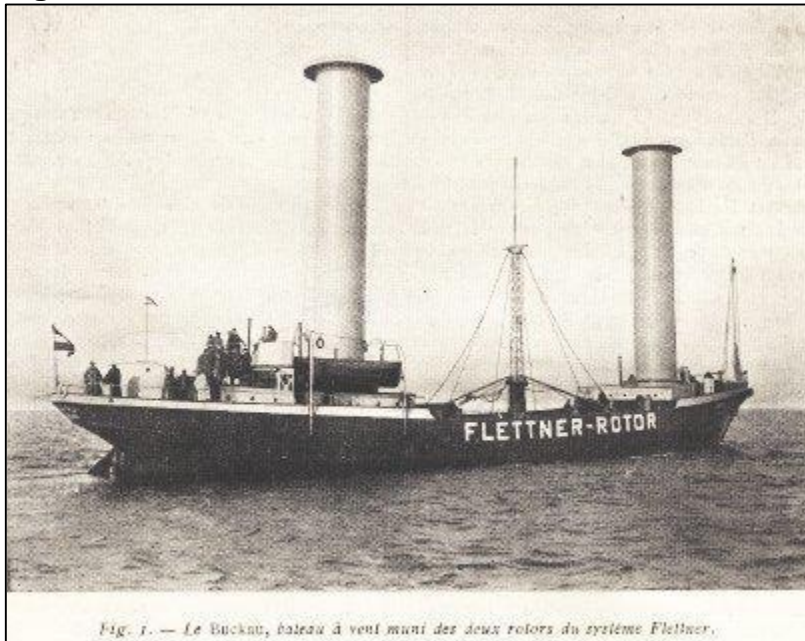


Fig. 1. — Le Buckau, bateau à vent muni des deux rotors du système Flettner.

Fonte: Google Imagens

Outros navios posteriores com a tecnologia Flettner Rotor tiveram aceitação maior, principalmente devido as questões ambientais do novo milênio. Como exemplo, o E-ship 1:

O E-Ship 1 é um navio de carga RoLo que realizou sua primeira viagem com carga em agosto de 2010. O navio é de propriedade do terceiro maior fabricante de turbinas eólicas da Alemanha, Enercon GmbH. É usado para transportar componentes de turbinas eólicas. O E-Ship 1 é um navio Flettner: quatro grandes rotorsails que se levantam do seu convés são girados através de uma ligação mecânica às hélices do navio. As velas, ou os rotores Flettner, ajudam a propulsão do navio por meio do efeito Magnus - a força perpendicular que é exercida sobre um corpo giratório movendo-se através de um fluxo de fluido. (WIKIPEDIA, 2015-2016)

Figura 26: E-ship 1



Fonte: Google Imagens

5.3 Economia

Outros navios mais novos, da classe E-ship 1 permitirão uma economia de 30% a 40% a 16 nós.

6 SKY SAIL

6.1 Funcionamento

O funcionamento da vela Sky Sail é equivalente ao de uma vela comum, já que também é consequência do efeito asa.

[...] vôo do kite nada difere do funcionamento das asas de um avião, uma vela de veleiro ou uma asa delta. (MAZZOCATO, 2000-2013)

Figura 27: Kite surf

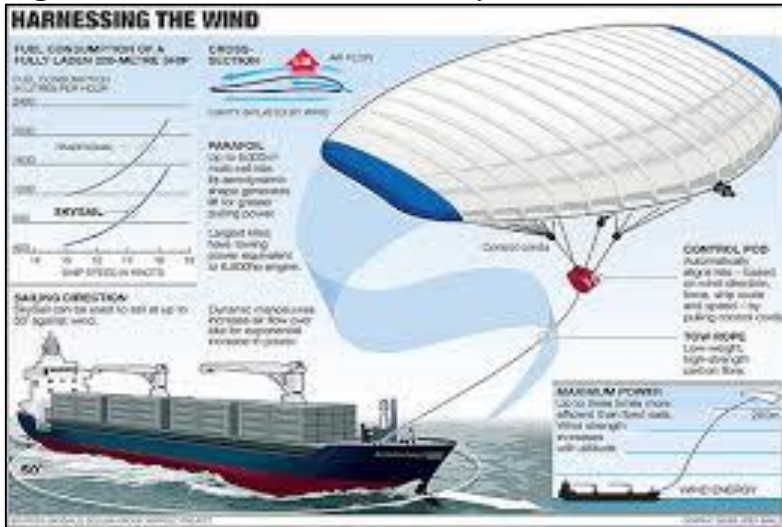


Fonte: Google Imagens

A tecnologia Sky Sail consiste em aderir ao navio com propulsão comum uma espécie de vela de Kite Surf com o mesmo princípio do esporte. Já que não há necessidade de mastros, o içamento da vela é muito mais fácil, ocupa menos espaço e o navio não perde em calado aéreo. Em compensação, não há possibilidade de usar o Kite com menos de 15 nós de vento.

SkySails, navios de carga modernos podem usar o vento como fonte de energia - não só para reduzir os custos de combustível, mas também reduzir significativamente os níveis de emissão. O sistema de propulsão SkySails patenteado em todo o mundo consiste em três componentes principais: uma pipa de reboque com corda, um sistema de lançamento e recuperação e um sistema de controle para operação automática. O SkySails pode ser instalado sem esforço como um sistema de propulsão auxiliar em novas construções e navios existentes. O sistema de propulsão SkySails é eficiente, seguro e fácil de usar - e o fato de que o vento é mais barato do que o petróleo faz do SkySails uma das tecnologias mais atraentes do mundo para reduzir simultaneamente os custos operacionais e as emissões. (SKYSAILS, 2017)

Figura 28: Funcionamento do Sky Sail



Fonte: Google Imagens

6.2 Exemplo na Marinha Mercante

O navio alemão MS Beluga é um contêiner de 132 metros de comprimento com um kite 320 metros quadrados de área que economiza até 30% de combustível em ventos favoráveis.

Esta pipa é conectada ao navio por uma corda, e controlada por um pod automático para maximizar os benefícios do vento. A pipa funciona a uma altitude entre 100 metros (500 pés) e 500 metros (1.600 pés).

Ao usar este sistema, é possível melhorar a velocidade do navio e reduzir o consumo de combustível. A SkySails calcula que o uso de sua tecnologia em todo o mundo poderia reduzir as emissões de dióxido de carbono em mais de 146 milhões de toneladas (cerca de 0,6% de todas as emissões globais de CO₂ relacionadas à energia). A SkySails estima o potencial mercado de atualização para o seu sistema em mais de 40 mil navios. Até 2013, a empresa está visando menos de 1% desse mercado - cerca de 400 navios. (WIKIPEDIA, 2017).

Figura 29: MS Beluga



Fonte: Google Imagens

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Já há algumas décadas que se nota a presença de soluções de propulsão auxiliar eólica na indústria mercante, mas até hoje não houve a explosão de interesse prevista no século passado. Os picos de desenvolvimento do setor estiveram invariavelmente relacionados ao preço do barril de petróleo, surgindo como alternativa de redução de consumo durante crises energéticas – como nos casos analisados provenientes das ilhas do Japão, altamente dependente da importação de combustível.

Atualmente, essas tecnologias tem tudo para entrar em alta novamente, uma vez que quanto mais tempo se passa mais escasso o petróleo se torna em escala global. Além disso, a preocupação ambiental está em outro patamar quando comparada à da época dos primeiros desenvolvimentos da propulsão auxiliar eólica e ter a imagem de uma empresa vinculada a práticas de preservação do meio ambiente é agora uma forma efetiva de angariar investimentos e boa vontade do mercado.

Novos materiais e conceitos também tem aumentado em muito a eficiência dos sistemas de propulsão eólica, sua facilidade de implementação e praticidade de operação. Há soluções para equipar navios já em operação com alterações mínimas, para grandes reformas e conceitos para novas construções especialmente pensadas neste sentido. Há projetos de grandes empresas voltados para o desenvolvimento de navios independentes de combustíveis fósseis que podem revolucionar o modo como a navegação é vista.

Para a implementação da propulsão auxiliar eólica é importante considerar o tipo de navio a ser equipado, a distribuição de ventos nas rotas utilizadas e o tipo de equipamento que trabalharia com mais eficiência nessas condições. Não é prudente considerar esta como sendo uma solução geral a ser aplicada em todas as rotas e navios, mas sim um auxílio que, se bem analisado caso a caso e aplicado nas condições certas, pode trazer economia e performance muito consideráveis à embarcação equipada.

REFERÊNCIAS

B9 Energy Group. **B9 Shipping**. Disponível em: <<http://www.b9energy.co.uk/B9Shipping/tabid/4036/language/en-US/Default.aspx>>. Acesso em: abril 2015.

BBC Brasil. "**Colombo**" chinês teria chegado primeiro à América. Disponível em: <http://www.bbc.com/portuguese/ciencia/021023_cholomboamt.shtml>. Acesso em: jan. 2017.

CINTRA, Rodrigo. **E Ship 1 - O Navio movido a energia eólica**. Disponível em: <<https://pedesenvolvimento.com/2010/09/28/e-ship-1-o-navio-movido-a-energia-eolica/>>, 2010. Acesso em: jun. 2017.

Humphrey's Yacht Design. **B9 Shipping - Feasibility Study Successfully Completed**. Disponível em: <http://www.humphreysdesign.com/1724/b9-shipping-feasibility-study-successfully-completed/>. Acesso em: maio 2017.

Integrando Conhecimento. **A física na navegação à vela**. Disponível em: <<http://www.integrandoconhecimento.com/single-post/2016/08/05/A-f%C3%ADsica-da-navega%C3%A7%C3%A3o-%C3%A0-vela>>. Acesso em: ago. 2016.

KURAMITSU, Masashi. **Japan's modern tanker uses sails to carry oil products to China**. Disponível em: <<http://www.upi.com/Archives/1980/12/24/Japans-modern-tanker-uses-sails-to-carry-oil-products-to-ChinaNEWLNSaves-even-more-energy-than-expected/6016346482000/>>. Acesso em: abril 2017.

Marine Insight. **Top 7 Green Ship Concepts Using Wind Energy**. Disponível em: <<http://www.marineinsight.com/green-shipping/top-7-green-ship-concepts-using-wind-energy/>>. Acesso: jul. 2017.

Maritime Journal. **'Wingsail' ready for small comercial vessels**. Disponível em: <http://www.maritimejournal.com/news101/power-and-propulsion/wingsail_ready_for_small_commercial_vessels>. Acesso em: abril 2008

Museu Marítimo. **Zheng He e a Frota do Tesouro**. Disponível em: <<https://www.museumaritimo.com.br/single-post/2016/02/25/Zheng-He-e-a-Frota-do-Tesouro>>. Acesso em: fev. 2017.

National Academy of Sciences. **Substantial fuel savings for sail-equipped "Usuki Pioneer"**. Disponível em: <<https://trid.trb.org/view.aspx?id=420788>>. Acesso em: fev. 2017.

Ship-Technology. **B9 Shipping Carbon Neutral Coastal Vessel**. Disponível em: <<http://www.ship-technology.com/projects/b9-carbon-neutral/>>. Acesso em: mar. 2017.

Superyachts.com Ltd. **Maltese Falcon Specification**. Disponível em: <<http://www.superyachts.com/sail-yacht-3180/maltese-falcon-specification.htm>>. Acesso em: mar. 2011.

WALKER, John. **Close to the wing-sail**. Disponível em: <<https://www.newscientist.com/letter/mg18524923-000-close-to-the-wing-sail/>>. Acesso em: abril 2017.

Zona de Risco. **Navio utilizando o vento como propulsor auxiliar**. Disponível em: <<https://zonaderisco.blogspot.com.br/2008/01/navio-utilizando-o-vento-como-propulsor.html?m=1>>. Acesso em: abril 2017.