1 INTRODUÇÃO

Entende-se por propulsão todo e qualquer meio que coloque uma embarcação em movimento. Dentre os diversos tipos de propulsão podemos citar a propulsão a vela, a vapor, mecânica e elétrica.

Propulsão naval atual é qualquer meio de produção de energia mecânica que permita o deslocamento de embarcações. Os sistemas de propulsão para navios e barcos variam de simples remos a motores a diesel, passando até mesmo por grandes reatores de propulsão nuclear. Esses sistemas se dividem em três categorias: de propulsão humana (o remo), vela, e de propulsão mecânica.

A propulsão de um navio mercante sempre desemprenhou papel fundamental no desenvolvimento do transporte marítimo. Das velas aos modernos motores elétricos, os sistemas de propulsão sempre determinaram a velocidade, quantidade de carga transportada e autonomia de um navio, além de interferir na questão econômica, pois os gastos com combustíveis representam uma grande parcela das despesas totais para o armador. Assim sendo, o sistema propulsivo de uma embarcação é de suma importância, pois além de ser o elemento funcional responsável por promover o deslocamento da embarcação, influencia na viabilidade econômica da mesma, uma vez que esta intimamente ligada ao custo operacional dela.

Os modernos sistemas de propulsão marítima serão apresentados suscintamente. Os principais sistemas que hoje impulsionam os navios da indústria de transporte marítimo são: as turbinas a gás, usada também na navegação de apoio a plataforma (off Shore), os grandes motores de ciclo diesel, os quais grandes detentores da maioria da propulsão de navios mercantes, de cargueiros a rebocadores, as turbinas a vapor, hoje pouco utilizada isoladamente, ainda possuem uma pequena fatia da frota de navegação, principalmente navios petroleiros, também serão apresentados sistemas modernos de características hibridas, ou seja, a união de dois ou mais dos sistemas usuais, como a utilização de motores elétricos, que caracteriza a maior tendência para o futuro da navegação.

2 HISTÓRIA DA PROPULSÃO MARITIMA

No inicio da humanidade, o homem já observara que um tronco de madeira não afundava e que seguia as correntezas ou marés. Quando aquele homem, num certo dia, montou num desses troncos e conseguiu dominá-lo com os movimentos de suas mãos, braços e pernas, ele estava criando o primeiro sistema de transporte sobre as águas. Com o passar do tempo, o homem aprendeu que vários troncos amarrados uns aos outros eram mais estáveis e suportavam mais peso. Utilizando lascas de madeira, os ancestrais dos remos, o homem já fazia sua embarcação deslizar até mesmo contra a correnteza ou maré. Há séculos o mar representa uma importante fonte econômica, seja para a pesca, o transporte ou o comércio.

No início da conquista dos mares, os barcos eram movidos pela força humana por meio dos remos. Muitos anos se passaram e então o ser humano descobriu a possibilidade de utilizar panos abertos amarrados pelas extremidades à embarcação, usando assim a força abundante dos ventos. A energia humana podia então ser utilizada para outros fins, como pescar com redes, por exemplo.

Há cerca de 4.000 anos antes de Cristo, os micênicos e os egípcios já cruzavam o mar Mediterrâneo e o Egeu com suas embarcações. Os fenícios e depois os gregos se salientaram como grandes navegadores. Os fenícios, com o cedro abundante no Monte Líbano, construíram a primeira grande frota, com a qual comercializaram com os outros povos e fundaram colônias tão distantes quanto Cartago, na costa da África.

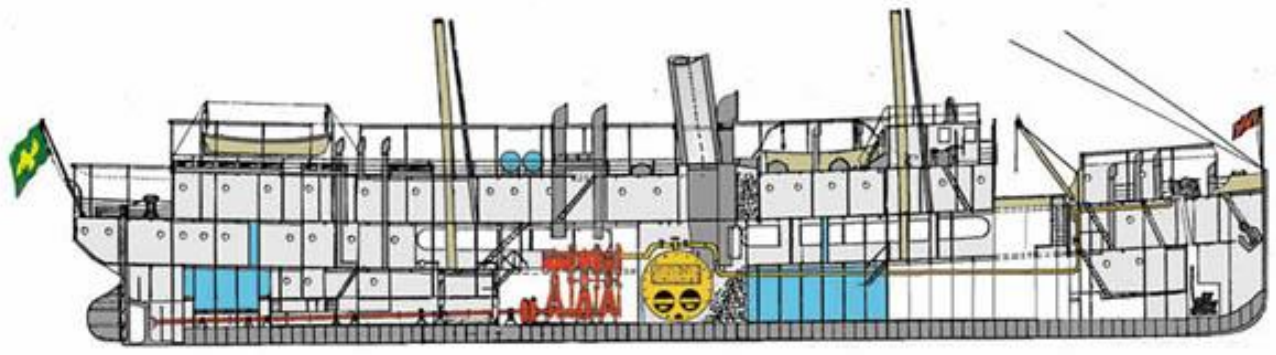
Os grandes navios a vela para viagens transatlânticas só vieram aparecer no século XV na Europa. Foram esses navios, chamados caravelas pelos portugueses, que propiciaram aos povos da península ibérica as grandes descobertas de terras no século XVI, juntamente com os ensinamentos difundidos pela Escola de Sagres em Portugal.

A grande revolução da engenharia naval ocorreu com a introdução do vapor e do ferro, mas isso só foi no século XIX. O americano Robert Fulton apresentou em 1803 o primeiro barco a vapor na França e na Inglaterra, mas num primeiro momento não foi bem aceito. Em 1807 apresentou o barco a vapor Clermont nos Estados Unidos da América. A maioria das empresas de

navegação achava que a máquina alternativa a vapor e o seu combustível (lenha ou carvão) tomavam muito espaço no navio, diminuindo sua capacidade de carga. Em 1821, em Londres, foi lançado o Aaron Manby, o primeiro navio construído em ferro e movido a vapor. Em 1862, em Liverpool, foi lançado o Banshee, o vapor que demonstrou a superioridade do casco em aço durante a Guerra Civil norte-americana.

As primeiras máquinas a vapor foram do tipo alternativo. O famoso navio transatlântico Titanic**,** por exemplo, era propulsionado por esse tipo de máquina. Entretanto, com o advento da turbina a vapor no início do século XX, que apresentou melhor rendimento, a máquina alternativa perdeu boa parte de seu espaço.

Figura 1 – Vista dos principais sistemas de um navio a vapor do século XIX, caldeira (amarelo), máquina a vapor (vermelho) e reservatório de carvão (azul).



Fonte: http://www.naufragiosdobrasil.com.br/Naviosvapor.htm

Em 1893, o franco-germânico Rudolf Diesel apresentou o primeiro motor diesel ao mundo. Esse tipo de motor, depois dos diversos melhoramentos nele implantados, foi utilizado na propulsão de embarcações já nos primeiros anos do século XX. E a partir daí, a máquina alternativa a vapor foi sendo completamente deixada de lado, já que o motor diesel se constituiu numa máquina de rendimento muito superior, de custo inicial menor e ocupando um espaço no navio também menor, além de mais segura para a

grande maioria das unidades mercantes de pequeno porte costuma apresentar o seu sistema de propulsão constituído por um motor diesel irreversível, uma caixa de redução e reversão de marcha, um eixo de transmissão e um hélice de passo fixo.

A partir de 1918, quando a General Electric começou a fabricação em escala, a turbina a gás também começou a compor alguns sistemas de propulsão de navios. A turbina a gás, que extrai energia do fluxo de gás quente produzida pela queima de combustível em seu interior, apesar de seu rendimento inferior ao motor diesel, ainda é utilizada em alguns navios, especialmente navios de guerra e aqueles que transportam gás natural.

Outro tipo de propulsão para navios é a propulsão elétrica, com todas as suas variantes, que, na atualidade, vem sendo muito difundida, principalmente nos navios Off-Shore (apoio a plataforma). A propulsão nuclear e os diversos tipos de propulsão hibrida são geralmente utilizados para produção de energia elétrica para movimentar motores elétricos e constituem parte da mais moderna frota do transporte marítimo, tanto para guerra quanto para comercio.

3 MOTORES DIESEL

3.1 APLICAÇÕES

Nos navios da Marinha Mercante, na qual a busca pela diminuição dos custos é constante, já que o preço do frete é fator preponderante para a sobrevivência de uma empresa de navegação, o motor diesel é utilizado em larga escala. Isso porque o motor diesel é uma máquina térmica de relativamente alto rendimento, ou seja, é econômico em consumo de combustível.

O motor diesel é uma máquina de combustão interna, isto é, o combustível é queimado em seu interior, e o fluido de trabalho é o próprio gás resultante dessa queima. Os motores de combustão interna são erroneamente chamados de motores a explosão, o que ocorre na verdade é uma combustão, que é a queima controlada do combustível. Para a queima desse combustível é necessário oxigênio e também a temperatura de ignição do combustível. O oxigênio esta presente no ar atmosférico e a temperatura de ignição do combustível é atingida por meio da compressão do ar. O calor produzido pela queima do combustível no interior do motor é então transformado em energia mecânica, ou seja, essa maquina na verdade converte a energia química contida no combustível em energia mecânica. É essa energia mecânica que produz o trabalho utilizado, seja num gerador elétrico, seja no eixo propulsor ou qualquer outro utilizador.

3.2 MOTORES DIESEL DE QUATRO TEMPOS

O motor diesel de quatro tempos, devido sua grande capacidade de geração de velocidade, mesmo tendo menor rendimento térmico por possuir um maior consumo, se comparado aos motores de dois tempos, ainda é muito utilizado para geração de energia elétrica a bordo, empregado nos motores de combustão auxiliar, os quais movimentam um eixo para um gerador elétrico e também é utilizado por embarcações de pequeno porte. O motor de quatro tempos cumpre as fases de seu ciclo termodinâmico (chamadas de aspiração, compressão, expansão e descarga) em duas rotações do eixo de manivelas,

ou 720º desse mecanismo, que é responsável por transformar o movimento alternativo dos pistões em movimento rotativo que, será transferido a um gerador na maioria dos casos. Em embarcações esse motor é chamado de MCA (motor de combustão auxiliar).

A velocidade desse tipo particular de motor de combustão interna tem a necessidade de se manter constante em quaisquer regimes trabalho, devido à velocidade de rotação influenciar diretamente na frequência de oscilação da corrente alternada gerada pelos geradores de bordo, essa frequência, se passar de sua faixa preestabelecida, influencia negativamente todos os equipamentos elétricos usados em navios. Para se evitar esse tipo nocivo de variação de rotação e consequentemente frequência se usa os instrumentos chamados de reguladores de velocidade, os quais tem a função de dosar a quantidade de combustível injetado nos cilindros conforme a quantidade de carga aplicada no eixo do motor, quanto mais carga mais combustível é liberado no interior do cilindro, e também quanto menor a carga menor a quantidade de combustível inserida. A energia elétrica é gerada e então transferida para um barramento principal, ou de emergência, para alimentar todos os equipamentos elétrico do navio.

Figura 2 – Motor de combustão auxiliar

Fonte: http://www.oceanica.ufrj.br/deno/prod_academic/relatorios/2013/Fernando+ASamel/relat2/Relat2_Samel_Fernando.htm

3.3 MOTORES DIESEL DE DOIS TEMPOS

Os motores de dois tempos cumprem suas tarefas, ou fases, em apenas uma volta do eixo de manivelas. Isso significa que esse motor realiza essas tarefas em um tempo menor que o de quatro tempos, necessitando assim de um compressor para forçar o ar para dentro do cilindro, na fase de aspiração. Esse tipo de motor diesel tem maior rendimento térmico, ou seja, maior capacidade de transformar a energia calorífera do combustível em trabalho mecânico, porém não pode gerar grandes velocidades, sendo assim mais comumente empregado na movimentação do eixo propulsor. Como a embarcação exige muito torque desse motor, devido ao elevado tamanho dos navios atualmente, o motor também acompanha esse elevado tamanho, atingido muitas vezes 8 a 9 metros de altura, possuindo até três andares e portas de visita grandes o bastante para a inspeção direta do cilindro.

Figura 3 – Motor de combustão principal.

Fonte: http://www.antoniolima.web.br.com/arquivos/motores.htm

3.4 PRINCIPAIS VANTAGENS E DESVANTAGENS

As principais vantagens dos motores do ciclo diesel marítimos são referentes ao baixo preço do combustível utilizado, no caso dos MCPs é o óleo bunker, ou óleo pesado, esse combustível é a segunda fração mais pesada derivada do petróleo[1], sendo apenas menos viscoso do que o asfalto, este último sendo incapaz de entrar em combustão. Por ser um combustível não volátil, ou seja, não desprende vapores inflamáveis em temperatura ambiente, diferentemente da gasolina, possui maior índice de segurança em sua utilização e armazenagem, assim evitando acidentes.

A grande desvantagem reside no fato desse combustível, quando queimado, gerar grande quantidade de gases poluentes e fuligem, os quais seriamente prejudiciais ao meio ambiente, sendo essa uma das maiores preocupações da atualidade. A geração de gases do efeito estufa pode ser

Injeção eletrônica em motores diesel, porém ainda não é possível erradicar completamente as emissões de gases como CO2, NOX e outros gases danosos à atmosfera e ao planeta. Outra desvantagem do óleo pesado, ou HFO (*heavy fuel oil*), é a sua elevada viscosidade, pois demanda grande quantidade de aquecimento, principalmente vapor e óleo térmico, para não solidificar completamente nos tanques, impossibilitando sua extração.

---

[1] [1]SÉBILLE-LOPEZ, Phillipe **Geopolíticas do petróleo.** São Paulo. Instituto: Piaget, 2007.

4 TURBINAS A GÁS

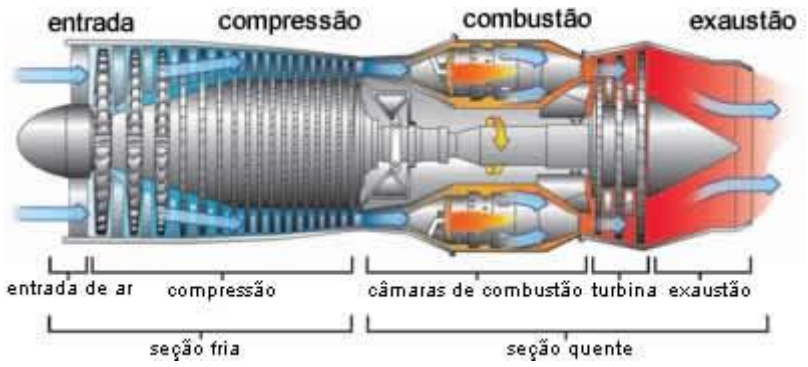
4.1 APLICAÇÕES

Nas turbinas a gás o trabalho é realizado pelos gases que se expandem após sua combustão, girando um eixo e gerando propulsão, ou energia, erroneamente a falta de informações técnicas faz com que a maioria das pessoas pense que o combustível utilizado seja necessariamente um gás. Uma turbina a gás conta, basicamente, com compressor, combustor (ou câmara de combustão) e turbina.

Além da aplicação militar naval as turbinas a gás também possuem uma elevada gama de aplicações, como na propulsão aérea, propulsão ferroviária, geração de energia e propulsão a bordo de navios mercantes, sua grande empregabilidade faz com que tenha elevada utilização também no campo industrial, principalmente para geração de energia. Essa versatilidade justifica uma maior quantidade de estudos, tanto no exterior quanto no Brasil, gerando uma corrente oferta de desenvolvimento para as aplicações da indústria marítima. O baixo peso e o tamanho reduzido são resultados diretos desses estudos, os quais também visam à produção de materiais mais leves e duráveis, como por exemplo, algumas ligas de titânio.

Ao contrário dos imensos motores de combustão principal e auxiliar, denominados genericamente de motores diesel, que possuem ampla faixa de potência e configuração dos cilindros, as turbinas estão disponíveis somente em tamanhos e faixas de potência específicos, fato ditado pelas análises econômicas e técnicas que dependem do emprego da embarcação.

Figura 4 – Seções de uma turbina a gás.



Fonte: http://joseadolfo.com.br/2013/09/3o-siminove-realizado-expocigra-2013-uberaba-mg.html

4.2 PRINCIPAIS VANTAGENS E DESVANTAGENS

O tipo de turbina disposto acima tem sido utilizado em maior quantidade em embarcações militares no Brasil e no mundo, porém seu grande potencial ainda permanece pouco utilizado no transporte marítimo comercial. Dentre as muitas vantagens apresentadas em detrimentos dos amplamente utilizados motores do ciclo diesel, as que mais se destacam são sua segurança na instalação, manutenção mais simples, peso e espaço ocupado bem menores, custo inicial mais barato, diminuto nível de ruído e vibração, menor quantidade de equipamentos auxiliares, confiabilidade em longo prazo, ótima disponibilidade para grandes raios de ação e relação peso *versus* potência 4 vezes menor.

Os maiores problemas encontrados em turbinas a gás são os fenômenos do *stall* e do *surge* os quais são, basicamente e respectivamente, a parada completa e a reversão do fluxo de ar no compressor, podendo causar sérios incêndios visto que o material de constituição da turbina é usualmente o titânio, sendo assim classificado pelo corpo bombeiros como classe D[2] (incêndio em metais) e de difícil combate.

Figura 5 – *Stall* ocorrendo em uma aeronave.

Fonte: HTTPS://en. wikipedia.org/kiwi/Compressor_stall

[2] SEITO, Alexandre Itiu **A segurança contra incêndios no Brasil.** São Paulo. Editora Projeto, 2008.

5 TURBINAS A VAPOR

5.1 INTRODUÇÃO ÀS TURBINAS A VAPOR

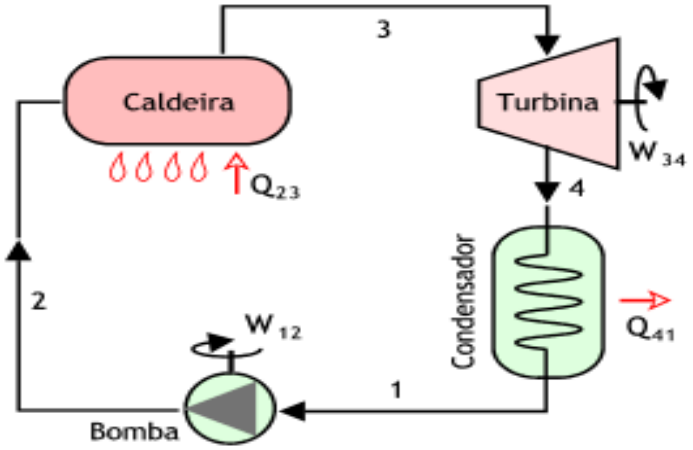
As turbinas a vapor são máquinas térmicas de combustão externa, ou seja, os gases resultantes da combustão não entram em contato com o fluido de trabalho, que utilizam a energia contida no vapor sob a forma de energia cinética. A turbina é um motor rotativo que converte a energia calorífica do vapor em mecânica. Seu elemento básico é o rotor, que conta com paletas colocadas ao redor de sua circunferência, de forma que o fluido em movimento produza uma força tangencial que impulsiona a roda, fazendo-a girar. Essa energia mecânica é transferida através de um eixo para movimentar uma bomba, um gerador ou uma hélice.

A turbina a vapor opera em conjunto com uma caldeira, que é composta por três partes, a parte de vapor, de água e sua fornalha, a qual aquece água até a temperatura de ebulição, sendo esse um ambiente hermeticamente fechado. Por ser uma máquina de combustão externa possui uma maior flexibilidade quanto à utilização do combustível na fornalha, podendo o mesmo ser óleo pesado, diesel, borra, urânio, gás de petróleo, etc.

Na operação também é utilizado um condensador, o qual é responsável por mudar o estado físico do vapor para água, atua resfriando o vapor utilizado nos processos, assim, mandando a agora agua de novo para um tanque e posteriormente de volta para a caldeira, completando o ciclo termodinâmico.

No Brasil, a necessidade do uso da turbina a vapor como meio eficaz e seguro de propulsão marítima acompanhou a tendência mundial após a 2ª Guerra Mundial, grande parte da frota nacional utilizava este tipo de propulsão. Hoje em dia seu uso esta mais restrito aos grandes petroleiros, que utilizam o vapor também para movimentar as turbo bombas de carga, os navios gaseiros também costumam utilizar turbinas a vapor como meio de propulsão e o vapor para acionar as bombas de carga.

Figura 6 – Simplificação do ciclo termodinâmico de uma turbina a vapor.



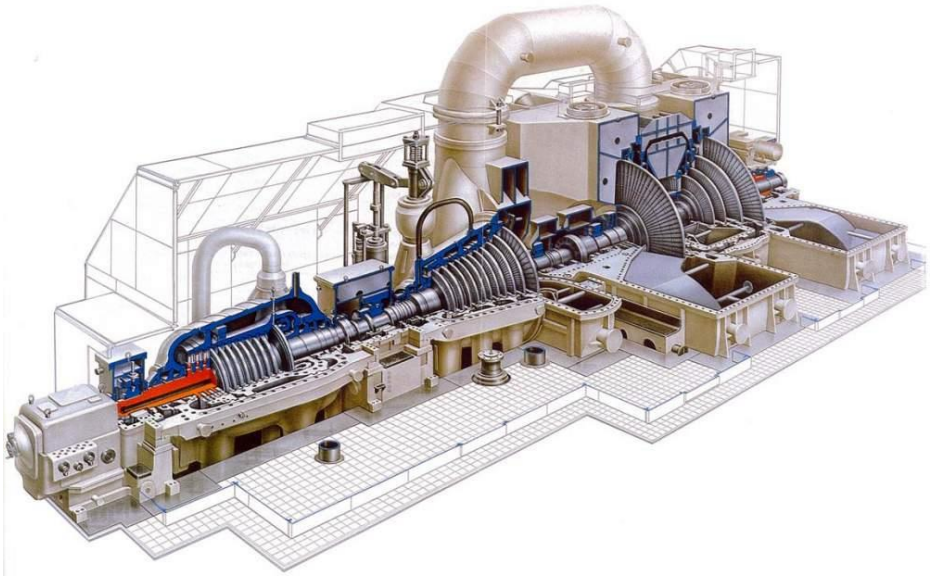
Fonte: http://www.mspc.eng.br/termo/termod0540.shtml

5.2 PRINCIPAIS VANTAGENS E DESVANTAGENS

Se comparada aos motores diesel às turbinas possuem algumas vantagem como: é uma máquina rotativa, ou seja, sem movimentos alternativos, portanto sem grandes impactos, permite variações de velocidade de forma suave, por possuir pouca área interna para lubrificação, proporciona economia de óleo lubrificante, de fácil controle e operação, não produz fagulhas, suporta longas jornadas em operação por não precisar de grandes manutenções, as quais são simples e econômicas, e também possui uma vida útil bem longa.

A utilização de turbinas a vapor, sem utilização concomitante com turbinas a gás (denominado ciclo combinado), se faz presente atualmente em uma pequena parte da frota nacional, também devido ao elevado risco que é a operação com caldeiras. Podendo ser encontradas atualmente, em sua maioria, em navios petroleiros, pois o vapor é necessário para o aquecimento do petróleo nos tanques de carga, para as turbo bombas de lastro e carga, e também para aquecer o próprio óleo pesado, consumido pelo navio.

Figura 7 – Turbina a vapor.



Fonte: http://forum.outerspace.terra.com.br/index.php?threads/falta-de-espa%C3%A7o-para-lixo-at%C3%B4mico-pode-desligar-as-usinas-nucleares-de-angra-1-e-2-fotos.384520/

6 PROPULSÃO HÍBRIDA

Por propulsão híbrida entende-se que é a existência de dois ou mais meios diferentes capazes de prover movimento ao navio. Um dos mais antigos sistemas propulsão híbrida foi o de navios movidos à vela e a remos, seguidos dos navios movidos a vapor e a vela. Hoje em dia os navios já misturam a propulsão elétrica com a mecânica e conseguem excelentes resultados. Basicamente a propulsão hibrida ocorre devido à junção de dois ou mais tipos de sistemas de propulsão.

Os avanços tecnológicos existentes hoje em dia fizeram com que surgissem diferentes tipos de sistemas propulsivos. Isso proporciona uma redução no consumo de combustível, redução nos impactos ambientais, simplificação tanto do projeto quanto da construção, torna a utilização dos espaços a bordo melhor aproveitados, além de melhorar o ambiente de trabalho da tripulação (vibração e ruído).

6.1 PROPULSÃO NUCLEAR

A propulsão nuclear é enquadrada como híbrida devido à geração de propulsão, e/ou energia elétrica ser produzida por meio de vapor e utilizada para movimentar turbinas a vapor, este fluido que é aquecido pelo processo de fissão de material radioativo gera grande quantidade de calor. Reatores nucleares oferecem vantagens (grande autonomia com pequenas quantidades de combustível, por exemplo) que não encontramos em outros sistemas de propulsão, como nos motores de combustão interna. Um reator tem por função iniciar e manter controlada uma reação nuclear em cadeia, assim não gera gases poluentes ao meio ambiente, não requer oxigênio para fissão do material radioativo, e é uma fonte confiável de calor para diversos fins, quando funcionando corretamente e de forma controlada, além de funcionar por diversos anos até precisar ser realimentado. A geração se da por meio da fissão do material, normalmente urânio ou plutônio enriquecidos, em um processo no qual um núcleo atômico se divide em dois ou mais núcleos menores, nesse processo uma pequena quantidade de massa é convertida em energia, que pode ser utilizada na forma de calor para alimentar tubogeradores para obtenção de energia elétrica ou utilizada para

movimentar o eixo propulsor do navio, por meio de turbinas e caixas de redução.

Embora seja uma fonte de energia confiável, não são muitos os navios mercantes que fazem uso de um reator nuclear a bordo.

Por causa de seu alto rendimento e potência, reatores nucleares foram e são mais utilizados em navios e submarinos de guerra, por precisarem de uma alta velocidade e capacidade de manterem-se funcionando a todo vapor o tempo inteiro, e porta-aviões, havendo casos em que um porta-aviões consegue catapultar dezenas de aviões de uma vez e utilizar toda sua capacidade de velocidade e energia, devido a reatores nucleares o alimentando. No entanto, um navio mercante não tem as mesmas funções que um navio de guerra, porém foram encontradas outras utilidades para um reator além de em navios de guerra.

Figura 8 – *USS* Nimitz, porta aviões movido à energia nuclear.

Fonte: http://easternshorebrent.com/tag/u-s-s-nimitz/

Uma das utilidades encontradas para um navio com a 'potência' de um reator nuclear a bordo, foi quebrar gelo para abrir caminhos para outros navios nos polos. O *NS Yamal* começou a ser construído na Rússia da Era Soviética, sendo lançado em 1992, quando o comunismo já havia sido extinto

na Rússia. Foi criado para que se pudesse manter as rotas de navios abertas, principalmente durante o inverno, devido ao gelo. Possui dois reatores e utiliza urânio enriquecido U-235 de 171 MW alimentando duas turbinas e 6 geradores com uma potência total de 75,000 HP (55,3 MW). O navio não foi utilizado para os fins para os quais foi criado sendo mais utilizado para passeios turísticos, tendo feito uma viagem na virada do ano 2000 ao polo norte para fins de comemoração. Devido a seu reator, o navio só pode viajar pelos mares árticos, pelo fato de precisar de constante água gelada para efetuar sua refrigeração, portanto uma viagem para, por exemplo, a Antártida é totalmente descartada pelo fato do navio ter de passar pela linha do equador, onde a água do mar não está em temperatura baixa o suficiente para efetuar a refrigeração do reator.

Figura 9 – Navio quebra-gelo Yamal.

Fonte: http://basurama.org/pt-br/?attachment_id=16142

Levando se em consideração que na marinha mercante o espaço nos navios é algo muito limitado, e é o que possui maior capacidade de geração de lucro para o armador, quanto menos combustível for necessário transportar melhor, pois aumenta a quantidade de espaço utilizável para

arrecadação do frete (principal forma de lucro das empresas de navegação). A propulsão nuclear não necessita de grandes quantidades de combustível, apesar do seu custo de implantação inicial ser elevado e sua operação só ser realizada por profissionais bem capacitados, a longo prazo esses fatores compensam, pois um reator tem vida útil de décadas e sendo realimentado poucas ou até nenhuma vez. O maior problema na utilização de reatores nucleares encontra-se em seus rejeitos, os quais altamente nocivos devido à radiação emitida é de difícil e caro destino. O "lixo atômico" é formado por resíduos com elementos químicos radioativos que não têm um propósito prático, frequente subproduto do processo nuclear, como a fissão nuclear. Esses rejeitos são perigosos para a maioria das formas de vida e ao ambiente, e é regulado por organizações governamentais de maneira que possa ser protegida a saúde humana e o ambiente.

Figura 10 - Aviso suplementar sobre radiação ionizante

Fonte: http://museunuclear.com/?p=902

6.2 PROPULSÃO DIESEL ELÉTRICA

A propulsão diesel elétrica é constituída basicamente por um motor do ciclo diesel, que é responsável por movimentar um eixo o qual está acoplado a um gerador, o conjunto é denominado motor-gerador. A energia elétrica

gerada é utilizada para os sistemas internos da embarcação e o sistema de propulsão.

A propulsão Diesel Elétrica é normalmente utilizada em embarcações em que aspectos como alto grau de manobrabilidade e a necessidade do sistema de DP (*Dynamic Positioning,* posicionamento dinâmico) fazem com que a escolha de um sistema não convencional seja o melhor, caso típico de PSV's[3] (*Plataform supply vessel,* navios de apoio à plataforma). O sistema é composto basicamente por gerador diesel elétrico, painéis de distribuição, cabos de transmissão além de propulsores do tipo azimutais. Tal sistema apresenta as seguintes vantagens: flexibilidade na organização da praça de máquinas; eliminação das linhas de eixo; retirada da maquinaria do leme, menos manutenção para os motores diesel; menor consumo de combustível; alta confiabilidade; maior disponibilidade; menor nível de vibração e ruído; redução de emissão de gases poluentes (CO2, NOx).

6.3 CICLO COMBINADO GAS E VAPOR.

O ciclo combinado, também chamado de cogeração é a união dos dois tipos de turbinas, as movidas a gás (ciclo *Brayton)* e as a vapor(ciclo *Rankine*). Esse processo é utilizado para geração de energia elétrica, a cogeração emprega a união de dois ciclos termodinâmicos ficando denominado então por Brayton-Rankine, seu principal objetivo é aumentar a eficiência da geração de energia.

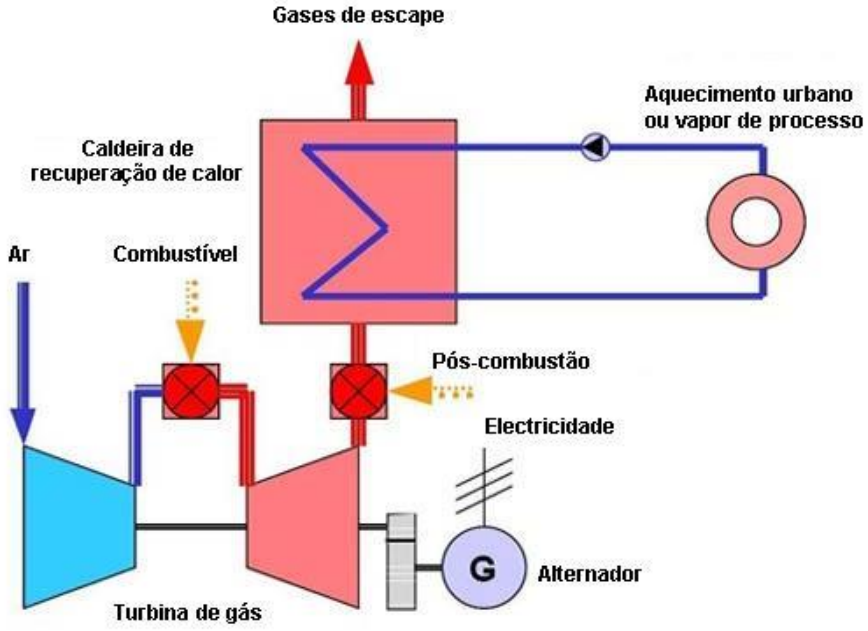
A Configuração dessa planta é basicamente uma turbina a gás que gera eletricidade e expele gases em altíssima temperatura, tais gases seriam descarregados na atmosfera, porem com o ciclo combinado a temperatura desses gases é utilizada para aquecer a água em uma caldeira de recuperação de calor, vaporizando essa água, e assim esse vapor é transferido para uma turbina a vapor, gerando então mais energia do que os

[3] SOUZA, Felipe Arcoverde de **Avaliação do sistema diesel elétrico, mecânico e hibrido para embarcações de apoio a plataforma.** Rio de janeiro. UFRJ, 2013.

ciclos isolados, e podendo também esse vapor ser utilizado em processos, como lavagem de tanques, cozinhas, no apito e etc.

Suas principais vantagens são quanto ao aumento expressivo da eficiência na utilização do combustível utilizado, eficiência tal que pode chegar a 70%, e também quanto aos aspectos ambientais, pois o gás natural, principal combustível dessa planta operativa é barato e isento de enxofre e não gera cinzas, também é reduzida sua emissão de NOx (óxido de Nitrogênio).

Figura 11 – Ciclo termodinâmico combinado.



Fonte: http://www.cogenportugal.com/general_content/showInformation.aspx?mt=1&ml=34&type=2

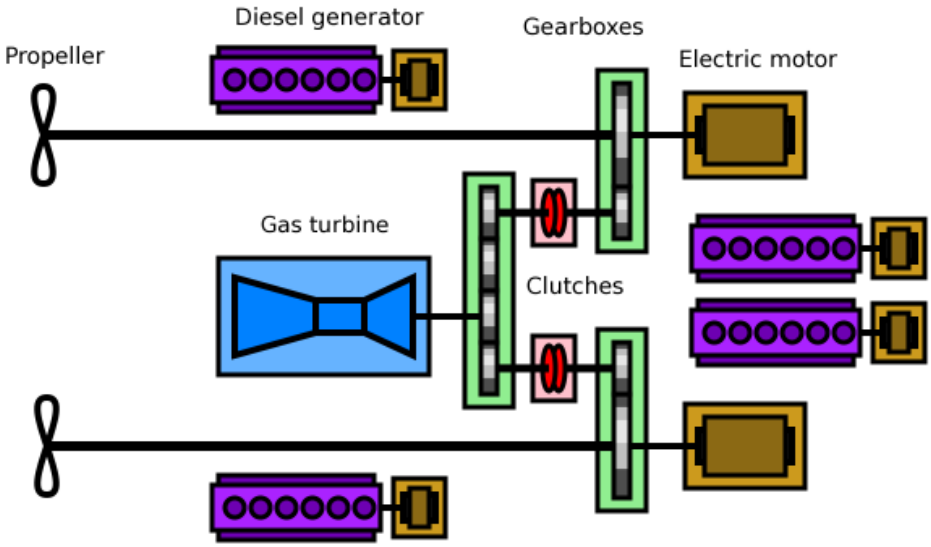
6.4 SISTEMA DIESEL E GAS

CODLAG é a sigla para *combined diesel-eletric and gas*, que é um sistema de propulsão diesel-elétrico combinado a um sistema de propulsão a gás. O sistema CODLAG emprega motores elétricos (geralmente dois)

acoplados ao eixo do propulsor para movimenta-lo em velocidades mais baixas e de cruzeiro, a eletricidade é produzida normalmente por quatro motores geradores. Para velocidades mais elevadas uma turbina a gás é conectada ao eixo do propulsor via caixas de engrenagens redutoras de velocidade.

Esse tipo de arranjo do sistema propulsivo, combinando os MCAs para geração de energia elétrica para o navio e para os motores elétricos que movimentam o eixo em conjunto com uma turbina a gás, quando há a necessidade de velocidades mais elevadas, reduz o custo devido aos motores elétricos serem mais baratos e de manutenção consideravelmente mais simples do que os motores diesel, e ainda esses motores elétricos podem trabalhar eficientemente em uma larga faixa de rotação.

Figura 12 – Esquema básico de propulsão CODLAG.



Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CODLAG-diagram_(fr).svg

Um exemplo de navio que utiliza esse sistema é o *RMS Queen Mary* 2, um dos maiores transatlânticos da atualidade, utilizando além da configuração usual (quatro geradores, dois motores e uma turbina) mais uma turbina a gás, usadas quando potência extra é necessária, essa configuração de propulsão

elétrica integrada é usada a fim de produzir energia para mover seus quatro *pods* elétricos de propulsão além de dar energia para os serviços de hotelaria da embarcação.

Figura 13 – *RMS* Queen Mary 2

Fonte: http://www.telegraph.co.uk/news/uknews/9769031/Queen-Mary-2-cruise-ship-hit-by-norovirus-outbreak.html

6.5 PROPULSÃO CICLOIDAL

Em 1926 surgiu o conceito de sistema de propulsão cicloidal. O aparelho Voith Schneider, o único com esse princípio em todo o mundo, foi desenvolvido pela Voith partindo da ideia do engenheiro austríaco Ernst Schneider**.**

Considerado um exemplo de propulsão não convencional, o sistema foi evolvendo ao introduzir diferentes quantidades de pás propulsoras e promover a mudança na posição destas. Presentemente o modelo utilizado é composto de seis pás.

A unidade de propulsão Voith Schneider combina em uma única unidade governo e propulsão permitindo gerar um impulso da intensidade que necessitar em qualquer direção rapidamente, precisamente e de forma continuamente variável.

O sistema consiste de um invólucro de rotor em forma de disco que termina nivelado paralelamente com a parte inferior do navio e é equipado com um número de lâminas móveis paralelas que giram em torno de um eixo vertical.

São dois discos que se localizam na mesma linha transversal a vante do rebocador. Cada unidade contém uma estrutura que, além de proteger o propulsor, também direciona o fluxo de água aumentando a eficiência.

Os discos giram em velocidade constante e, para gerar impulso, cada uma das pás do hélice executa um movimento oscilatório sobre seu próprio eixo. Através da variação do ângulo de cada lâmina é definido a intensidade e o sentido da força.

Este controle é feito pelo oficial através de um volante e duas alavancas sendo o movimento transmitido mecanicamente para as pás. O volante determina o movimento e a intensidade da força no sentido transversal e as duas alavancas (uma para cada propulsor) são operadas simultaneamente, determinando também o movimento e a intensidade, porém no sentido longitudinal. O mesmo impulso pode ser gerado para qualquer direção.

O que difere o sistema cicloidal do sistema de propulsão com hélice de passo controlável é apenas o posicionamento das pás em relação à força exercida, visto que no sistema cicloidal as pás estão posicionadas transversalmente ao impulso.

O disco é ligado às lâminas por um conjunto de engrenagens que garante a angulação exata da pá em cada momento da rotação do tambor fazendo com que em parte da rotação ela gere impulso e em outra parte ela apenas corte a água, tornando possível um correto direcionamento da embarcação.

Esse sistema é aplicado às embarcações, geralmente rebocadores, os quais possuem geração de energia elétrica, pois o movimento se da devido a motores elétricos acoplados a esse tipo de propulsor.

Figura 14 – Propulsor cicloidal.

Fonte: http://www.fondear.org/infonautic/barco/Motores_Helices/Cicloidal/Cicloidal.htm

6.6 PROPULSÃO AZIPOD®

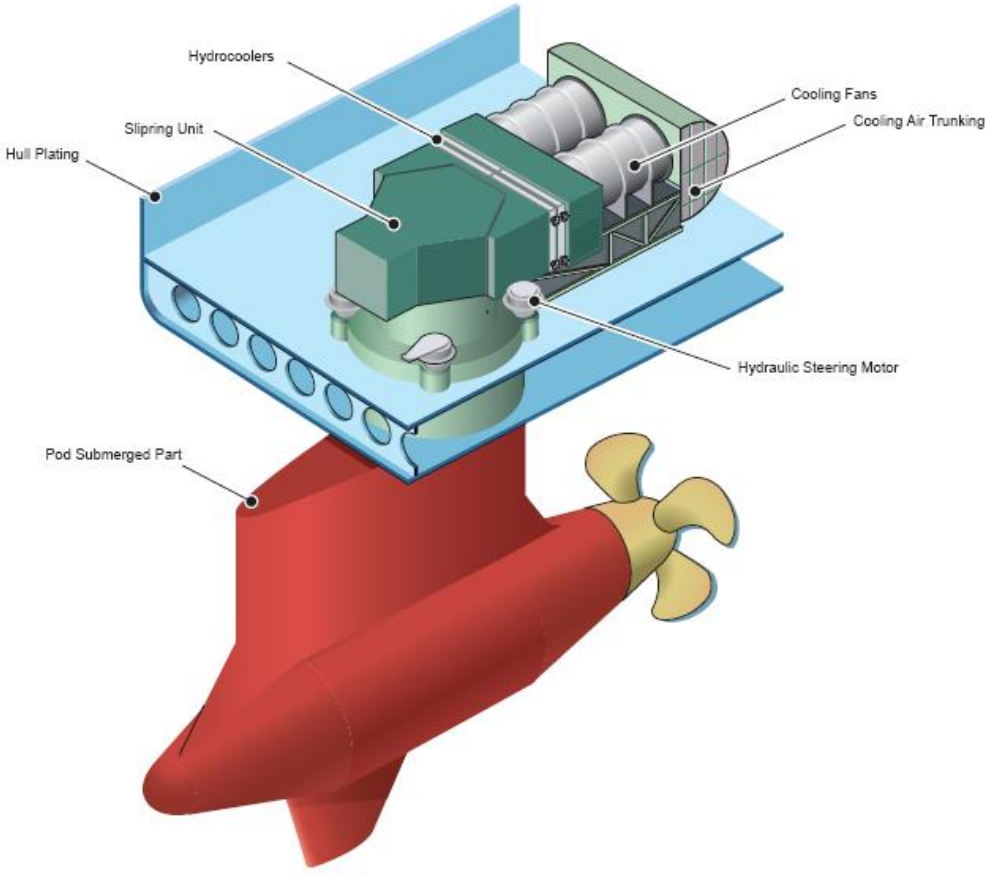
A propulsão AZIPOD® (*Azimuthing Podded Drive*) foi criada em 1990 e, nesta década, teve destaque em embarcações turísticas, que foram os primeiros navios construídos com esta tecnologia. O sistema emprega uma unidade azimutal com capacidade de rotação de até 360º e pode atingir uma potência de até 30 MW (mega watts).

O hélice propulsor é acionado diretamente por um motor elétrico instalado no próprio azimutal, ou seja, dentro da água. Esse modelo pode ser considerado revolucionário, se comparado aos sistemas de propulsão convencionais.

Este tipo de propulsão é modular e simples, trazendo benefícios durante a construção da embarcação e também em sua manutenção durante sua operação. Este sistema é constituído de dois módulos principais: o módulo de condução e o módulo de propulsão. Esta construção modular reduz os custos e é uma opção de propulsão para uma ampla faixa de embarcações mercantes e de “offshore”. Os tipos de embarcações que se adéquam a este tipo de propulsão são as que necessitam de uma excelente capacidade de manobra, um ótimo torque para diversas direções e de um sistema que permita uma imediata mudança na direção do empuxo do hélice propulsor.

Presentemente, o sistema AZIPOD® é empregado em várias espécies de embarcações em arranjos simples, duplos e triplos. Estes arranjos são compostos de um, dois ou três propulsores, fazendo uma combinação de forma a melhorar a manobrabilidade e a potência da embarcação, dependendo do tipo e da necessidade desta.

Figura 15 – Esquema de um AZIPOD®



Fonte: http://www.marineinsight.com/tech/marine-electrical/what-is-azipod-propulsion-system-on-ship/

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O enfoque do trabalho é a comparação entre eficiência dos tipos de propulsão apresentados. Nas presentes condições da indústria naval, faz-se necessário a opção de propulsão visando não somente a eficiência do propulsor, mas também em perspectivas ambientais além do consumo de combustível e porte líquido do navio

O motor a Diesel, propulsão totalmente tradicional e presente em quase toda frota mercante mundial, possui ótimas características funcionais e apresenta manutenção e custo inicial de instalação baixo se comparado com o sistema AZIPOD®, além de oferecer uma ótima relação custo x benefício é também dotada de ótima potência e rendimento adequado para as necessidades operacionais de cada navio.

O sistema de propulsão baseado em turbina a gás, desde que não combinado a outros meios como vapor ou diesel-elétrico, é mais bem utilizado para geração de velocidade, portanto mais adequado a navios de combate.

Os modernos sistemas híbridos constituem grande avanço funcional, pois unem mais características positivas do que poderia ter o navio se utilizasse os sistemas isolados.

A escolha da propulsão a ser instalada depende de vários fatores, o principal deles é para que fim a embarcação será destinada. Levando em consideração tais pontos como: questão ambiental, consumo de combustível, gastos com instalação e manutenção, manobrabilidade do navio entre outros é sugestivo que não existe o melhor propulsor se comparados isoladamente mais sim o mais apropriado para cada embarcação.

EFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENATMANE, M. **The Electric Ship Technology Demonstrator**. International Conference on Electric Ship - Proceedings, Ankara, Turkey. 1998.

BOLTON, M. T. W. e Hinton, **M. J. Electric Weapons – Adding Power to the Punch**, All Electric Ship Conference.França. 2005.

BOULANGER, P. e ADAM, B. **Motores Diesel**. Editora Hemus São Paulo. SP. 2003

BOSH, ROBERT**. Automotive Handbook**. Alemanha. 1993.

JEBSEN, G. M. **Electric Warship Technology Overview**, Office of Naval Research, Estados Unidos da América. 2001

JONES, C. Morgan**. Diesel operator's guide**. New York: Mc Graw-Hill Book Company,Inc. 1956

MOONEY, David A. et al.: **Mechanical Engineering Thermodynamics**, Prentice-Hall, Grã-Bretanha, 1957, 2 ed.

OBERT, Edward F.: **Internal Combustion Engines: Analysis and Pratice**, Scranton,
Pensilvania, International Textbook Company, 1962, 2 ed.

RICARDO, Happy R. et al: **The High Speed Internal-Combustion Engine**. Blackie & Son Limited, 4e. Ed, Glasgow, 1962.

SÉBILLE-LOPEZ, Phillipe **Geopolíticas do petróleo.** São Paulo. Instituto: Piaget, 2007

SEITO, Alexandre Itiu **A segurança contra incêndios no Brasil.** São Paulo. Editora Projeto, 2008.

SOUZA, Zulcy de**, Elementos de Máquinas Térmicas**, Rio de Janeiro: Ed. Campus, 1980.

SOUZA, Felipe Arcoverde de **Avaliação do sistema diesel elétrico, mecânico e hibrido para embarcações de apoio a plataforma.** Rio de janeiro. UFRJ, 2013.