

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. Definição do Problema

A contaminação marinha é um problema muito complexo, pois ela provém de diversas fontes, como rios, chuva, cidades costeiras, vias atmosféricas, pesca e transporte marítimo entre outros. Entre as fontes de contaminações existentes, será examinada neste trabalho a contaminação produzida pelo Transporte Marítimo, enfatizando um particular tipo de impacto, o causado pelas emissões de gases dos motores principais e auxiliares.

O comércio mundial aumenta a taxas crescentes nos últimos anos. O ritmo elevado de crescimento da economia de países emergentes é o principal responsável por este crescimento. Como consequência do aumento do comércio mundial, ocorre um acréscimo do transporte marítimo.

Os navios geram resíduos; entre eles os oleosos, água de lastro, águas residuais, águas cinzas, resíduos sólidos como o lixo e a pintura dos navios, e gases de descarga dos motores de propulsão e auxiliares.

O transporte marítimo depende atualmente da energia dos derivados do petróleo e, em consequência, produz emissões de CO₂, SO_x, NO_x e material particulado entre outros. Hoje o transporte aquaviário responde por aproximadamente 4,5% das emissões de carbono, 4% das emissões de óxidos de enxofre e 7% das emissões de óxido de nitrogênio. Se a expansão desse modal de transporte se mantiver nos próximos anos como é previsto, a sua participação na emissão destes tipos de poluentes deverá aumentar e, certamente, haverá pressões da sociedade para introdução de medidas que contenham o aumento.

Pode-se afirmar que muitos dos poluentes gerados pelo Transporte Marítimo é resultado de deficiência no projeto de navios e de seus sistemas, de

má gestão operacional, e na ausência de medidas de regulamentação mais rigorosas.

O ideal é que o crescimento do transporte ocorra com respeito ao meio ambiente, gerando assim um desenvolvimento sustentável. Para tal, é necessário conjugar medidas de regulamentação, operacionais e tecnológicas. Na atualidade uma empresa marítima, portuária, ou de qualquer natureza deve ter em seu ideário o desenvolvimento sustentável.

1.2. A Percepção do Problema

O transporte marítimo era considerado uma indústria eficiente, um meio de transporte ambientalmente aceitável em comparação com outros meios, pelo fato de produzir menos poluentes por tonelada transportada, e devido à grande capacidade de carga. Mas essa percepção foi mudando, pois nos últimos anos a participação deste setor na emissão total de gases cresceu muito em comparação com o transporte rodoviário e com as indústrias em terra. Enquanto as emissões de origens terrestres estão pouco a pouco diminuindo, as de transporte marítimo estão em crescimento.

Entre os numerosos estudos realizados sobre o assunto, destacam-se os de (CORBETT, J., KOEHLER, H., 2003; ICCT, 2007; MOLDANOVA, J., et al.,; UNCTAD, 2008; OMI, 2000; EYRING, V., 2005). Eles apresentam dados quantitativos sobre emissões no transporte marítimo e apontam conseqüências sobre a mudança do clima mundial, principalmente sobre a saúde humana. Os autores enfatizam a necessidade de controle eficaz das emissões de gases.

As emissões dos motores principais e auxiliares estão reguladas pelo Anexo VI da MARPOL 73/78 “Regras para a Prevenção da Poluição do Ar Causada por Navios”. Entretanto é importante ressaltar que a aprovação do Anexo VI do MARPOL em 2005 não surtiu o efeito de reduzir as emissões, porque a legislação é demasiado permissiva.

Deve-se assinalar que a comparação em termos de emissões de gases entre os diferentes tipos de transporte é complexa, porque cada um desempenha funções diferentes, com características de operação distintas.

Basicamente, o propósito do transporte marítimo são grandes quantidades de carga por longas distâncias; o transporte aéreo movimenta pessoas e cargas pequenas em curtos intervalos de tempo e longas distâncias. É fácil perceber que os dois modais apresentam funções completamente distintas. Analogamente o transporte marítimo não pode substituir integralmente os modais rodoviários e ferroviários, cujas funções são levar a mercadoria a pontos geográficos, muitas vezes de difícil ou impossível acesso; entretanto é desejável uma melhor integração entre os modais para obter um sistema de transporte eficiente e sustentável.

Uma comparação entre a poluição produzida pelos diferentes modais pode ser feita indiretamente a partir da relação energia requerida por quantidade de carga x distância transportada; o modal aquaviário é o que apresenta o menor valor para este parâmetro. Portanto, é o que produz a menor quantidade de poluentes por quantidade de carga x distância.

Um estudo das Nações Unidas (O Transporte Marítimo e o Desafio às Mudanças Climáticas-2008), mostra que o transporte marítimo é o menos poluente, em termos de tonelada transportada por quilômetro, com volume de emissões 3 a 4 vezes inferior ao transporte ferroviário, 5 a 150 vezes inferior ao rodoviário e 54 a 150 vezes inferior ao aéreo.

Porém, é preciso considerar a quantidade de carga transportada pelos diferentes modais. A comparação dos gases produzidos está ligada ao tipo, quantidade e qualidade do combustível, bem como ao tamanho e à tecnologia do motor. Por exemplo, comparando uma destas características, a quantidade consumida de combustível, verifica-se grandes diferenças entre o consumo anual de combustível: no transporte rodoviário tem-se um valor de 1.320 milhões de toneladas enquanto no transporte aéreo atinge 207 milhões de toneladas e do transporte marítimo é de 280 milhões (EYRING et al., 2005).

Quanto à qualidade do combustível usado nos outros modos de transporte, ela é muito superior a dos navios. O principal fator que explica as diferenças na redução de emissões entre o transporte marítimo e o rodoviário, pois os regulamentos são mais exigentes para o modal rodoviário.

Um exemplo, o limite de enxofre permitido nos combustíveis consumido nos navios é de 4,5%. Em contraste, para o transporte rodoviário a limitação é de 0,05 ou mesmo 0,01%. Essa diferença no teor de enxofre do combustível faz que um navio produza cerca de 150 a 300 vezes mais óxidos de enxofre por quilometro que um caminhão de carga, (EEB, T&E, SAR, e NGO; 2004). Neste mesmo estudo conclui-se que um navio gera ao entrar no porto, as mesmas quantidades de emissões de 1.200 caminhões de transporte pesado.

Na comparação entre as emissões produzidas pelo transporte marítimo e as das indústrias ou centrais termo - elétricas acontece fato semelhante, pois a legislação é muito mais severa para as últimas. Apesar das medidas tecnológicas adotadas para atender a legislação sejam muito parecidas às usadas no transporte marítimo, a diferença vantajosa é que as indústrias não têm restrição de espaço para instalar os equipamentos necessários, enquanto que o navio precisa maximizar seu espaço para a carga transportada.

Uma medida que impulsionou o emprego e o investimento em tecnologia mais limpa foi o “Credito de Carbono” estimulado pelo Protocolo de Quioto, que consiste em gerar recursos econômicos através da redução do dióxido de carbono (CO₂). Uma unidade de credito de carbono equivale a uma tonelada de CO₂ que deixou de ser produzida. Os detentores deste crédito podem vendê-lo às empresas que têm excedido o limite de CO₂. Esta medida visa privilegiar as indústrias que reduzem a emissão deste gás, pois seus ganhos aumentam com a venda dos créditos.

1.3 Objetivos do trabalho

O trabalho tem por objetivo proporcionar uma visão mais ampla das causas e conseqüências das emissões de gases produzidos pelos motores principais e auxiliares do transporte marítimo. Pretende-se abordar temas como: tipos de emissões, efeitos sobre a saúde humana e o clima e, ênfase

nas alternativas de natureza tecnológica e operacional para redução da emissão produzida pelo transporte marítimo.

O trabalho analisa as alternativas disponíveis no mercado e formula outras soluções para a redução dos impactos ambientais. São consideradas alterações de projeto dos navios e de seus sistemas de propulsão, nos esquemas operacionais e nas práticas de gestão dos resíduos produzidos. Selecionam-se as que possam melhor contribuir para esta finalidade, visando fazer com que o setor seja cada vez mais sustentável. Sabe-se que a redução dos impactos ambientais do transporte marítimo só será conseguida através de um conjunto de medidas que exigem a atuação do projetista do navio e dos fornecedores de motores, incluindo novos desenvolvimentos tecnológicos em fontes alternativas de energia, cingidas pela implantação de uma legislação mais severa para o setor, além da melhoria da qualidade do serviço.

1.4 Estrutura do trabalho

O trabalho apresenta um estudo dos impactos ambientais causados pelo transporte marítimo com enfoque nas emissões de gases dos motores principais e auxiliares.

O capítulo 2 estuda as emissões geradas pelo transporte marítimo, com uma visão ampla das emissões dos navios, e uma análise do transporte marítimo na atualidade. Neste capítulo se avaliam os tipos emissões geradas, os efeitos ocasionados na saúde humana e no clima mundial, comparando o modal em estudo com outros.

O capítulo 3 aborda o marco normativo internacional estabelecido na MARPOL 73/78, analisando o Anexo VI “Regras para a Prevenção da Poluição do Ar causada por Navios”.

O capítulo 4 apresenta medidas possíveis para a redução das emissões geradas pelos motores principais e auxiliares dos navios, considerando as medidas tecnológicas e operacionais, assim como os combustíveis alternativos para tornar o setor mais sustentável.

O capítulo 5 apresenta a análise de diversas propostas, além de serem avaliadas algumas alternativas, e indicadas as mais promissoras para atingir o objetivo pretendido.

Finalmente, o capítulo 6 apresenta uma síntese do trabalho, as conclusões, e as recomendações para continuação da pesquisa.

CAPÍTULO 2

O TRANSPORTE MARÍTIMO E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS

Este capítulo apresenta o problema de impactos ambientais causados pelo transporte marítimo. Inicialmente mostra-se a importância do problema na atualidade em face do nível de atividades do setor. É feita uma análise da evolução do transporte marítimo e da sua associação com o comércio internacional de mercadorias. Em seguida, trata-se dos diferentes resíduos produzidos pelo transporte marítimo e nas emissões de gases dos motores empregados em navios, identificando os componentes mais críticos e os atuais volumes produzidos. Por último, são descritos os efeitos nocivos dessas emissões para a saúde humana e para o clima.

2.1 Análise do Transporte Marítimo na Atualidade

Desde a antiguidade o ser humano usa as vias marítimas para o intercâmbio internacional de produtos ou matérias primas. O transporte marítimo evoluiu na proporção que cresce o comércio internacional, sendo responsável na atualidade por 90% do comércio mundial, segundo a União Europeia e a Organização Marítima Internacional (OMI; 2000).

Nos últimos 50 anos o crescimento do transporte marítimo aumentou exponencialmente. Embora o comércio internacional não seja um fenômeno novo, deve-se ressaltar que atualmente ele ganha dimensões colossais em um mundo globalizado, no qual os países adquirem e vendem produtos.

O transporte marítimo sempre foi o meio mais rentável para transportar matérias primas, produtos manufaturados, cargas a granel, e tudo mais que a humanidade necessita. Dada a importância econômica e estratégica do setor de transporte marítimo, se vai avaliar com muita atenção os possíveis impactos ambientais por ela produzidos.

No trabalho de Stopford (2007) - "*Will the next 50 years be as Chaotic in Shipping as the Last ?*", que foi exposto pelo 50º aniversário da Associação de Armadores em Hong Kong, é descrito como evoluiu a indústria naval nos últimos 50 anos (1957-2007). Mostra-se o grande crescimento verificado nesse período, e que provavelmente nos próximos 50 anos (2007-2057) será muito maior tal crescimento; a conclusão do artigo é que a demanda do transporte marítimo será duplicada.

Para analisar o transporte marítimo deve-se avaliar o crescimento no volume do comércio internacional. Segundo a Organização Mundial do Comércio (OMC) em 2007 o crescimento das exportações foi de 5,5% em relação ao ano anterior. Este número ficou abaixo do esperado já que em 2006 o aumento foi de 8,5%.

Em 2008, porém, teve início uma recessão mundial, que causou uma redução de 3 % das exportações a nível global. Em 2009 a queda foi ainda mais acentuada, com uma redução de 13,7 % no volume de mercadorias – a maior das últimas sete décadas (UNCTAD 2010).

No início de 2010 houve uma recuperação da economia mundial, liderada pelas economias de países em desenvolvimento. Segundo a Organização Mundial do Comércio esperava-se um aumento no volume de exportação para o ano 2010 de 9,5%, mas provavelmente isto não ocorreu. A tabela 2.1 apresenta as taxas do crescimento do comércio de mercadorias por regiões geográficas entre 2005 e 2009.

Estima-se que o transporte marítimo mundial atingiu 8 bilhões de toneladas de mercadoria em 2008, com aumento de 4,8% em relação ao ano anterior. Em 2009 o transporte marítimo mundial alcançou a cifra de 7843 milhões de toneladas transportadas, conforme mostrado na tabela 2.2. As principais regiões de movimento de cargas estão em países desenvolvidos (63,2%), seguidos por países em vias de desenvolvimento (33,3%) e economias em transição (3,5%).

**Tabela 2.1 Crescimento em volume do Comercio de Mercadorias por regiões
2005-2009 (Dados da Lloyd's Register-Fairplay)**

Região	Exportações (%)					Importações (%)				
	2005	2006	2007	2008	2009	2005	2006	2007	2008	2009
Mundo	6,5	8,5	5,5	3,0	-13,7	6,5	8,0	5,5	2,2	-13,1
America do Norte	6,0	8,5	5,5	5,5	-14,9	6,5	6,0	2,5	-3,7	-16,5
União Européia	4,5	7,5	3,0	2,5	-13,7	4,0	7,0	3,0	1,1	-13,7
África e Meio Oriente	4,5	1,5	0,5	-2,8	-10,0	14,5	6,5	12,5	11,6	-2,4
America do Sul	8,0	4,0	5,0	-0,6	-9,7	14,0	15,0	20,0	8,6	-17,1
Ásia	11,0	13,0	11,5	7,3	-10,2	8,0	8,5	8,5	0,6	-4,6

**Tabela 2.2 Evolução do Tráfico Marítimo Internacional (Mercadorias Carregadas)
Milhões de Toneladas (Dados da Lloyd's Register-Fairplay)**

Ano	Petroleiros	Graneleiros	Cargas Secas	Total
1970	1442	448	676	2566
1980	1871	796	1037	3704
1990	1755	968	1285	4008
2000	2163	1288	2533	5984
2006	2698	1849	3135	7682
2007	2747	1972	3265	7983
2008	2732	2079	3399	8210
2009	2649	2113	3081	7843

A frota mercante mundial aumentou em 7,2 % durante o ano 2007, alcançando 1,12 bilhões de toneladas deadweight em princípios de 2008. A tonelagem dos petroleiros teve um acréscimo de 6,5% e a dos graneleiros de 6,4%; note-se que os dois tipos de navios representam 71,5% da tonelagem mundial. A frota dos navios de carga geral aumentou 4,5% em 2007, enquanto que a de porta contêineres teve um acréscimo mais expressivo, 12,7 % e já representa 12,9 % do total da frota mundial.

Mesmo com a crise global, a frota mundial apresentou um crescimento de 7 % de 2009 para 2010. A frota dos petroleiros teve um aumento de 7,6 %, enquanto a tonelage dos graneleiros teve um acréscimo de 9,1 % e a dos navios porta contêineres aumentou em 4,5 %. Provavelmente, a partir de 2011 ocorrerá uma inversão desta tendência, pois a uma redução da demanda de transporte sucede uma redução na demanda de construção naval.

**Tabela 2.3 Frota Mundial em milhões de toneladas deadweight (porcentagem).
(Dados da Lloyd's Register-Fairplay)**

Tipos / Ano	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Petroleiro	336156	354219	382975	407881	418266	450053
	(37,5)	(36,9)	(36,7)	(36,5)	(35,1)	(35,3)
Graneleiro	320584	345924	367542	391127	418356	456623
	(35,8)	(36,0)	(35,3)	(35,0)	(35,1)	(35,8)
Carga Geral	92048	96218	100934	105492	108881	108232
	(10,3)	(10,0)	(9,7)	(9,4)	(9,1)	(8,5)
Porta Contêineres	98064	111095	128321	144655	161919	169158
	(10,9)	(11,6)	(12,3)	(12,9)	(13,6)	(13,3)
Outros Tipos de Navios	48991	52508	62554	68624	84895	92072
	(5,5)	(5,5)	(6,0)	(6,1)	(7,1)	(7,1)
Total Mundial	895843	959964	1042328	1117779	1192317	1276137
	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)

Além disso, a idade média da frota mundial de navios mercantes continua diminuindo e em 2007 chegou a 11,8 anos. A frota com maior renovação é a dos navios porta contêineres com uma idade media de 9 anos. A idade média dos petroleiros é de 10,1 anos, a dos graneleiros é de 12,7 anos enquanto a dos navios de carga geral é de 17,1 anos.

Em 2009, durante a crise econômica, a idade média dos navios aumentou. A idade média da frota mais jovem – navios porta contêineres - era de 10,6 anos, enquanto a dos graneleiros era de 16,6 anos, dos petroleiros com 17,0 anos e os de carga geral com 24,6 anos. Isto ocorreu porque houve uma redução da entrega de navios novos enquanto a retirada de navios velhos ficou abaixo do esperado.

Para atender a demanda das empresas de navegação a indústria de construção naval foi crescendo. Em 2007 atingiu o nível mais alto com um total de 81,9 milhões de toneladas deadweight, superando a de 2006 que registrou 71,1 milhões.

A crise financeira mundial iniciada em 2008 influenciou o mercado da construção naval. Segundo Lloyd's Register – Fairplay, em janeiro do 2008 efetuou-se a encomenda de 600 novos navios, e em setembro a cifra diminuiu para 127 navios contratados.

Embora do ponto de vista de crescimento o transporte marítimo tenha um bom desempenho, deve-se observar que o crescimento deveria estar em sintonia com o meio ambiente, e incluir soluções para evitar qualquer tipo de contaminação, garantindo um desenvolvimento sustentável.

2.2 Tipos de impactos gerados pelo transporte marítimo

Existem diversos poluentes gerados pelo transporte marítimo. As principais emissões geradas pelos navios e os impactos causados por elas ao meio ambiente são descritas a seguir.

As emissões consideradas são as seguintes:

- Águas de lastro.
- Hidrocarbonetos e águas oleosas.
- Águas residuais.
- Águas cinzas.
- Resíduos sólidos ou lixo.

- Pinturas.
- Emissões de gases.

2.2.1 Águas de Lastro

A água de lastro é usada para manter a estabilidade e segurança estrutural do navio, aumentando o calado, para compensar a diminuição de peso causada por transferência de carga, uso de combustível ou de outros itens de consumo.

Embora a água de lastro seja uma das formas mais simples e econômica para lastrar os navios, ela traz problemas para a comunidade internacional. Isto ocorre porque com a água se transportam sedimentos, organismos nocivos e prejudiciais ao meio ambiente (FLAGELLA et al., 2007) e à saúde humana, além de ocasionar problemas econômicos em escala mundial.

Em todo o mundo são transferidas anualmente cerca de 10 bilhões de toneladas de água de lastro (DA SILVA et al., 2004) e, segundo a Organização Marítima Internacional – OMI (IMO – International Maritime Organization), estima-se que pelo menos 7000 espécies são transportadas nestas águas.

2.2.2 Hidrocarbonetos e Águas Oleosas

A poluição por hidrocarbonetos é uma das mais perigosas para o meio ambiente marinho. O hidrocarboneto é a combinação de hidrogênio e carbono freqüentemente encontrada em gás e petróleo, SULLIVAN (1996) e foi o primeiro poluente marinho reconhecido pela OMI (GESAMP, 2007); sua regulamentação teve início em 1954 com a inclusão da norma denominada “Oil Pollution”.

A poluição por hidrocarbonetos da flora e fauna marinha causa efeitos letais, a morte dos organismos causada pela toxicidade ou por efeitos físicos

do produto, e efeitos não letais, quando os efeitos biológicos crônicos afetam o comportamento, crescimento, reprodução, colonização e distribuição das espécies, (GUIMARÃES, 2003).

2.2.3 Águas Residuais.

O termo águas residuais nos navios se aplica a todas as águas contaminadas de dejetos humanos ou animais, como as produzidas nos banheiros, exceto as produzidas nas duchas e nos lavatórios.

As águas residuais geradas pelos navios têm o mesmo impacto das geradas em terra. Estas águas, quando não tratadas adequadamente, criam um perigo para a saúde pública, fauna e flora marinha. Elas contêm um alto nível de nutrientes, nitrogênio e fósforo, o que causa a multiplicação excessiva das algas, impedindo que a luz solar chegue aos fundos do oceano, além de reduzir a quantidade de oxigênio disponível para os peixes e a vida marinha.

Nos navios o volume das águas residuais depende da quantidade de passageiros, de tripulantes, e da duração da viagem (navegando por alguns dias até diversas semanas). Há navios mercantes com 25 tripulantes e cruzeiros que podem transportar 5.000 passageiros. Em média cada tripulante ou passageiro gera 40 litros diários de águas residuais (NOWLAN, L. & I. KWAN; 2001), aproximadamente 1.000 litros de esgoto diário para um navio mercante de 25 tripulantes, e 200.000 litros de esgoto diários para um cruzeiro de 5.000 passageiros.

2.2.4 Águas Cinzas

As águas cinzas resultam das duchas, lavatórios, lavanderia, cozinha. Estima-se que em um navio se produza de 120 a 300 litros diários de águas cinzas por pessoa, (BUTT; 2007); tais águas podem conter óleo, graxas de cozinha, metais, detergente, sabão, nitrogênio, fósforo e coliformes fecais.

Como as águas cinzas são potáveis antes de seu uso, existe um potencial muito alto para reuso. A reutilização das águas cinza geradas pelos navios é uma nova forma de considerar a água. Em lugar de se ter uma água residual rejeitada lançada no oceano sem nenhum tratamento ou apenas um tratamento primário, pode-se ter água de reuso para diversas finalidades no navio ou nos terminais portuários.

2.2.5 Resíduos Sólidos ou Lixo Marinho.

Um dos problemas mais complicados e persistentes nos oceanos, segundo SHEAVLY (2005), é o dos resíduos sólidos, ou lixo marinho, gerados pelos navios. Eles prejudicam a flora e principalmente a fauna marinha; alguns afundam de imediato e outros permanecem flutuando durante longos períodos, de até vários meses (HINOJOSA; THIEL, 2009). Em geral, estes resíduos têm vida longa, pois a sua degradação é muito lenta, especialmente no caso de plástico, metal e vidro.

2.2.6 Pinturas de Navios.

Todas as estruturas submersas em águas do mar estão propensas a criar organismos não desejados, inicialmente bactérias, depois micro-algas, mexilhões, usualmente conhecidos como incrustações, que podem ter um importante impacto sobre o desempenho operacional e econômico do sistema (LEWIS J. & GILLHAM A., 2007).

Estas incrustações causam o aumento da resistência do casco e perda de velocidade. A eliminação destes organismos garante um melhor desempenho na navegação com menor consumo de combustível, resultando, portanto, menores emissões de gases dos motores.

Para cada metro quadrado de superfície de casco não protegida podem-se alojar até 150 kg de incrustações em apenas seis meses, o que equivaleria

para um navio petroleiro de 40.000 m² de casco cerca de 6.000 toneladas de incrustações. Uma pequena quantidade de incrustações pode fazer que o consumo de combustível aumente entre 40 a 50%, (OMI; 1999).

Examina-se a seguir a poluição por emissões de gases dos motores.

2.3 Avaliação dos impactos das emissões de gases dos motores

2.3.1 Considerações Preliminares

A emissão de gases gerada pelos navios é um dos problemas atuais que causa grande preocupação à comunidade internacional e é reconhecida como um problema crescente (CORBETT, 2003). Note-se ainda que o crescimento do transporte marítimo é acompanhado pelo aumento da emissão de poluentes, enquanto as procedentes de fontes terrestres estão diminuindo paulatinamente.

As emissões são compostas basicamente por óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre, dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), material particulado e vapor de água, entre outros. Estes produtos se misturam com a atmosfera podendo alterar a sua composição química (ENDRESEN et al., 2003).

Estes gases contribuem de maneira significativa para a degradação da qualidade do ar, com efeitos prejudiciais à saúde pública, afetando mais os moradores das zonas adjacentes aos portos e zonas costeiras, além de contribuir para a mudança climática e geração de gases de efeito estufa.

A Organização Marítima Internacional (OMI), por meio de seu Comitê de Proteção do Meio Marinho (MEPC pelas siglas em inglês), há algum tempo realiza pesquisas para controlar e diminuir as emissões. Em 1997 foi elaborado o Anexo VI da MARPOL 73/78 - Regras para a Prevenção da Poluição do Ar Causada por Navios - que entrou em vigor em maio de 2005.

As emissões estão ligadas à qualidade do combustível; os usados no transporte marítimo são de péssima qualidade, óleos pesados com alto conteúdo de enxofre. Em consequência, as emissões têm características muito prejudiciais.

2.3.2 Combustíveis Usados na Propulsão Naval

O combustível usado atualmente nas máquinas principais e auxiliares do transporte marítimo é o óleo “Bunker” (nome geral em inglês), mas nem sempre foi assim. O carvão era o combustível principal que alimentava as caldeiras para propulsão dos navios.

Segundo o estudo *ADVICE ON IMPACT OF REDUCTION IN SULPHUR CONTENT OF MARINE FUELS MARKETED IN THE EU*, em 1850 foi a primeira vez que se usou o petróleo como combustível para propulsão de navios. A introdução de derivados do petróleo traz consigo a diminuição da mão de obra (pessoas com a função de preencher os fornos de carvão). Além disso, gerou-se espaço adicional para as mercadorias. No início, o petróleo não era bem aceito e era mais usado em locomotivas; já nos anos 1900 seu uso chegou a 1% versus 79% do carvão e 20% de propulsão a vela. Estas porcentagens foram mudando com o transcorrer do tempo, como se pode ver na figura 2.2, chegando a usar o petróleo como combustível em 99% dos navios, enquanto que apenas 1% continua o usa da vela, (DRAFFIN 2008).

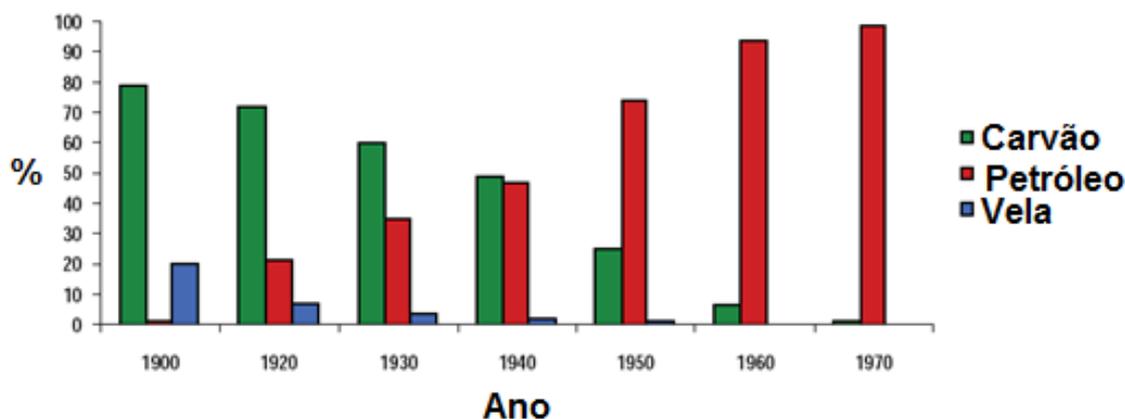


Figura 2.1 Taxa de variação de uso entre vela, carvão e petróleo (Adaptada de DRAFFIN, 2008)

Segundo a mesma pesquisa, os preços do combustível tiveram um aumento extraordinário durante a década de 1970, resultando em uma crise petroleira mundial. Foi nesse momento que a indústria de motores marítimos deu início a uma série de desenvolvimentos que resultaram em grande aumento da eficiência térmica de seus motores.

Inacreditavelmente, no ano 2000 ainda existia uma dúzia de navios mercantes movidos a carvão; eles faziam a rotas de portos de produção de carvão da costa de Austrália até a os Grandes Lagos, nos Estados Unidos, (DRAFFIN, 2008).

O combustível marítimo é uma mistura homogênea que provém do processo de destilação do petróleo; ele se classifica de acordo com suas características e propriedades físicas; no presente trabalho considera-se o combustível em dois grupos; destilados e residuais, os nomes mais comuns dos combustíveis são apresentados na tabela 2.4.

Tabela 2.4 Nomes mais comuns dos Combustíveis marinhos

Grupo	Nome Internacional	Sigla	Outros Nomes
Destilados	Marine Gás Oil	M.G.O.	Light Diesel Oil Light Marine Diesel Fuel Marine Diesel Light
	Marine Diesel Oil	M.D.O.	Heavy Diesel Oil Marine Diesel Fuel Oil Marine Diesel Heavy
Residuais	Light Marine Fuel oil	L.M.F.O.	Intermediate Fuel Oil Light Fuel Oil Intermediate Bunker
	Marine Fuel oil	M.F.O.	Bunker C Residual Fuel Fuel Oil Nro 6

Os combustíveis destilados também são divididos em duas categorias: o Gas Oil (GO), que é um combustível com um conteúdo de enxofre muito baixo, conhecido como destilado puro, e o Marine Diesel Oil, que é um combustível procedente dos resíduos dos destilados (gasolina, gásóleo, nafta, aceite, lubrificantes etc.), que tem uma maior densidade e viscosidade e apresenta alto conteúdo de enxofre. Por tanto o combustível destilado é mais limpo, mas seu custo é quase o dobro do combustível residual.

Os combustíveis residuais são de dois tipos: o MFO (Marine Fuel Oil) e o Light Marine Fuel Oil (LMFO), pelas siglas em inglês; são denominados óleos pesados, compostos por óleo residual.

As propriedades físicas dos combustíveis residuais e destilados são muito importantes, sendo a principal a viscosidade; o combustível mais viscoso tem uma maior resistência para escoar e requer tratamento especial para seu bombeamento. Além da viscosidade, há outras características físicas que devem ser levadas em conta, como poder calorífico, densidade, ponto de inflamação, conteúdo de resíduos de carbono, enxofre, alumínio, silício etc. A tabela 2.5 apresenta uma síntese destas propriedades.

O consumo diário dos navios é influenciado pela potência do motor, duração da travessia e velocidade. Os navios transoceânicos têm um consumo que varia numa faixa de 5 a 350 toneladas diárias enquanto os navios pequenos, de cabotagem, consomem de 2 a 10 toneladas de combustível por dia (DRAFFIN 2008).

Além do consumo para as máquinas principais, há um consumo muito menor nas máquinas auxiliares, cujo consumo oscila entre 0,5 e 6 toneladas diárias, (DRAFFIN 2008).

O mercado mundial de combustíveis para o transporte marítimo está na ordem de 200 milhões de toneladas de combustíveis residuais e 35 milhões de toneladas de combustíveis destilados, (DRAFFIN 2008). A OMI estima que o consumo total de combustível nos navios foi de 369 milhões de toneladas em 2007 e projetou para o 2020 um aumento de 30% no consumo, chegando a 486 milhões de toneladas. Com isto, os níveis de dióxido de carbono

aumentarão de 1120 milhões de toneladas em 2007 para 1475 milhões de toneladas em 2020, (OMI 2008), a não ser que ocorram importantes avanços no projeto dos navios e de instalações propulsoras.

Tabela 2.5 Propriedade física dos Combustíveis (Study European Commission-2002)

Propriedades Físicas dos Combustíveis Residuais e Destilados			
Propriedade	Unidade	Definição	Importância
Viscosidade	CST	Resistência ao fluxo	Deve ser conhecido para a quantidade de aquecimento a ter.
Temperatura ponto de Inflamação	°C	Temperatura de produção dos vapores	Medidas de segurança Quanto menor seja o valor maior a facilidade do combustível acender.
Densidade	Kg/m ³	Relação massa e volume	Nos processos de purificação nas centrifugas dos navios
Conteúdo de Água	% vol.	Conteúdo de água	Quanto mais água, menor é o poder calorífico do combustível. Pode causar problemas aos injetores.
Resíduos de carvão	%	Quantidade de carvão depois da combustão	Maior quantidade pode causar danos a partes internas do motor.
Cera	%	Quantidade de cera no combustível	Combustível com alta quantidade de cera não pode ser aquecido com facilidade. Com bom poder calorífico, pode causar danos ao armazenamento e bombeio.
Enxofre	%	Quantidade de enxofre no combustível	Gera ácidos corrosivos no motor, além das emissões de descarga. Conteúdos mais altos de enxofre tendem a ter menor energia.

A International Organization for Standardization (ISO) desenvolveu especificações e requisitos para os combustíveis fornecidos para os navios. São as especificações ISO 8217, apresentadas na tabela 2.6 para os destilados e nas tabelas 2.7 e 2.8 para os combustíveis residuais.

Tabela 2.6 ISO 8217: Especificações técnicas para combustíveis destilados tipo DMX, DMA, DMZ e DMB (Adaptada de Norma ISO 8217)

Parâmetros	Unidade	Limite	DMX	DMA	DMZ	DMB
Viscosidade a 40°C	mm ² /s	Max	5,500	6,000	6,000	11,00
Viscosidade a 40°C	mm ² /s	Min	1,400	2,000	3,000	2,000
Micro resíduo de carbono	% m/m	Max	0,30	0,30	0,30	-
Densidade a 15°C	kg/m ³	Max	-	890,0	890,0	900,0
Micro resíduo de Carbono	% m/m	Max	-	-	-	0,30
Enxofre (a)	% m/m	Max	1,00	1,50	1,50	2,00
Água	% V/V	Max	-	-	-	0,30 (b)
Partículas	% m/m	Max	0,010	0,010	0,010	0,010
Ponto de inflamação	0°C	Min	43,0	60,0	60,0	60,0
Ponto de fluidez (Verão)	0°C	Max	-	0	0	6
Ponto de fluidez (inverno)	°C	Max	-	-6	-6	0
Índice de Cetano		Min	45	40	40	35
Numero de acido	mg KOH/g	Max	0,5	0,5	0,5	0,5
Estabilidade à oxidação	g/m ³	Max	25	25	25	25 (c)
Lubricidade (wsd 1.4 at 60°C) (d)	Um	Max	520	520	520	520 (c)
Sulfureto de hidrogénio (e)	mg/kg	Max	2,00	2,00	2,00	2,00
Aparência	Claro e brilhante (f)					(b, c)

(a) Um limite de enxofre de 1,00% m / m aplica-se às Áreas de Controle de Emissões designados pela Organização Marítima Internacional. Como pode haver variações locais, o comprador deve definir o teor máximo de enxofre, de acordo com os requisitos legais aplicáveis, não obstante os limites apresentados nesta tabela.

(b) Se a amostra do combustível não é clara e brilhante, é requerida uma prova de laboratório.

(c) Estabilidade à oxidação e testes de lubrificidade não são aplicáveis se a amostra não é clara e brilhante.

(d) Aplicável se o teor de enxofre for inferior a 0,050% m / m.

(e) Efetiva somente a partir de 1 Julho de 2012.

(f) Se a amostra for tingida e não transparente, deve ser aplicado o teste. O conteúdo de água não deve ultrapassar 200 mg / kg (0,02% m / m).

Tabela 2.7 ISO 8217: Especificações técnicas para combustíveis residuais de tipo RMA, RMB, RMD e RME (Adaptada de Norma ISO 8217)

Parâmetro	Unidade	Limite	RMA (a)	RMB	RMD	RME
			10	30	80	180
Viscosidade a 50°C	mm ² /s	Max	10,00	30,00	80,00	180,0
Densidade a 15°C	kg/m ³	Max	920,0	960,0	975,0	991,0
Micro resíduo de Carbono	% m/m	Max	2,50	10,00	14,00	15,00
Alumino + Silicone	mg/kg	Max	25	40		50
Sódio	mg/kg	Max	50	100		50
Partículas	% m/m	Max	0,040	0,070		
Vanádio	mg/kg	Max	50	150		
CCAI	-	Max	850	860		
Água	% V/V	Max	0,30	0,50		
Ponto de fluidez (superior) (b) Verão	°C	Max	6		30	
Ponto de fluidez (superior) (b) Inverno	°C	Max	0		30	
Flash point	°C	Min	60,0			
Enxofre (c)	% m/m	Max	Requisitos estatutários			
Sedimentos totais	% m/m	Max	0,10			
Numero de acido (e)	mgKOH/g	Max	2,5			
Óleos lubrificantes usados (ULO): Cálcio e zinco, ou Cálcio e Fósforo	mg/kg	-	O combustível deve ser livre de ULO, e deve ser considerado como contendo ULO quando ocorrer qualquer uma das seguintes condições: Cálcio > 30 e zinco > 15, ou Cálcio > 30 e fósforo > 15.			
Sulfureto de hidrogênio	mg/kg	Max	2,00			

Tabela 2.8 ISO 8217: Especificações técnicas para combustíveis residuais de tipo RMG e RMK (Adaptada de Norma ISO 8217)

Parâmetro	Unidade	Limite	RMG				RMK		
			180	380	500	700	380	500	700
Viscosidade a 50°C	mm ² /s	Max	10	30	80	180	380	500	700
Densidade a 15°C	kg/m ³	Max	991				1010		
Micro resíduo de Carbono	% m/m	Max	18				20		
Alumino + Silicone	mg/kg	Max	60						
Sódio	mg/kg	Max	100						
Partículas	% m/m	Max	0,100				0,150		
Vanádio	mg/kg	Max	350				450		
CCAI	-	Max	870						
Água	% V/V	Max	0,50						
Ponto de fluidez (superior) (b) Verão	°C	Max	30						
Ponto de fluidez (superior) (b) Inverno	°C	Max	30						
Flash point	°C	Min	60						
Enxofre (c)	% m/m	Max	Requisitos estatutários						
Sedimentos totais	% m/m	Max	0,10						
Numero de ácido (e)	mgKOH/g	Max	2,5						
Óleos lubrificantes usados (ULO): Cálcio e zinco, ou Cálcio e Fósforo	mg/kg	-	O combustível deve ser livre de ULO, e deve ser considerado como contendo ULO quando ocorrer qualquer uma das seguintes condições: Cálcio > 30 e zinco > 15, ou Cálcio > 30 e fósforo > 15.						
Sulfureto de hidrogênio	mg/kg	Max	2						

- (a) Este tipo de combustível residual marinha é ex-distilado sob ISO 8217:2005 DMC.
- (b) Compradores devem assegurar que este ponto de fluidez é adequado para os equipamentos a bordo, especialmente em climas frios.
- (c) O comprador deve definir o teor máximo de enxofre de acordo com as respectivas disposições legais vigentes.

(d) Efetiva somente a partir de 1 Julho de 2012.

(e) Ácidos fortes não são aceitáveis, mesmo em níveis não detectáveis pelos métodos de ensaio padrão para SAN. Como números abaixo dos valores de ácido indicados na tabela não garantem que os combustíveis estão livres de problemas associados à presença de compostos ácidos, é da responsabilidade do fornecedor e do comprador de acordar um número de acidez aceitável.

2.3.3 Tipos de Emissões de Gases Geradas pelos Navios.

Conforme já mencionado, o Transporte Marítimo produz diferentes tipos de gases e partículas em suspensão, que causam diferentes tipos de impactos, tanto ao meio ambiente como à saúde humana.

As emissões são geradas no processo de combustão no motor, isto é na reação química entre um combustível e um oxidante, comburente, que é o ar. Com a reação transforma-se a energia química em energia térmica contida nos produtos de combustão, que é convertida em trabalho no eixo de manivelas do motor. Esta reação química vai reorganizar os átomos dos reagentes - oxidante e combustível, criando os produtos de combustão.

Para analisar o processo de combustão apresenta-se a figura 2.2, que mostra um esquema simplificado de entradas e saídas do motor de combustão interna.

Os gases de descarga dependem basicamente do projeto do motor, das condições de funcionamento e da qualidade do combustível; por exemplo, a redução do conteúdo de enxofre no combustível gera uma redução das emissões de SO_x .

Produtos como SO_2 , NO, NO_2 , CO, HC e outros aparecem em pequenas quantidades em comparação com outros gases. Porém, que eles afetam significativamente o meio ambiente e a saúde humana.

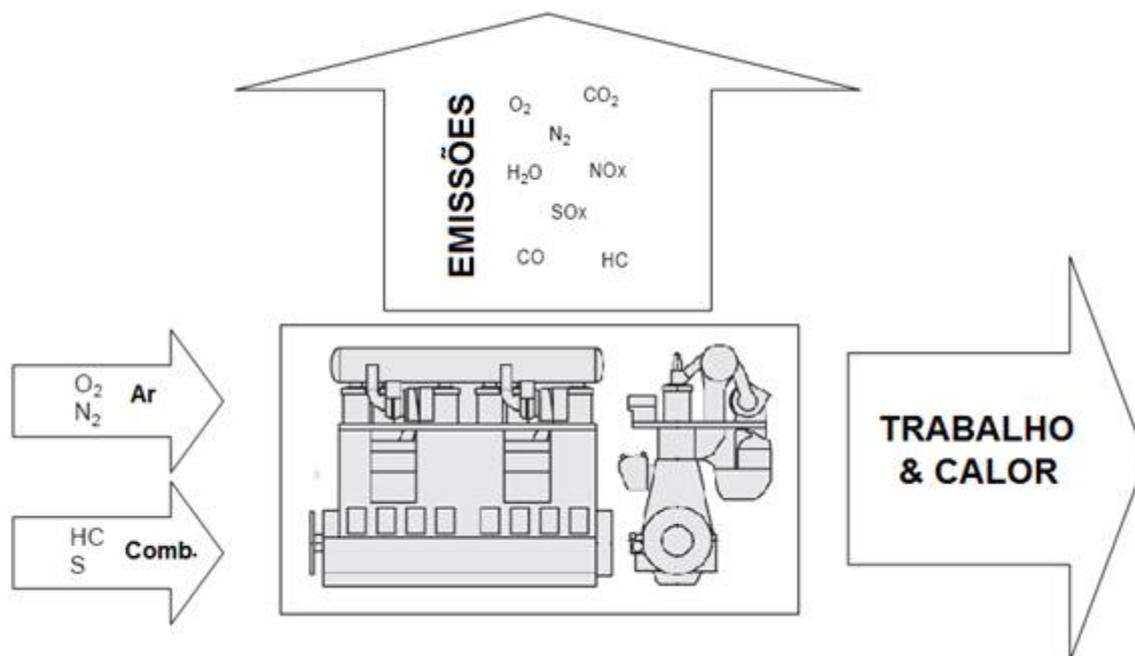
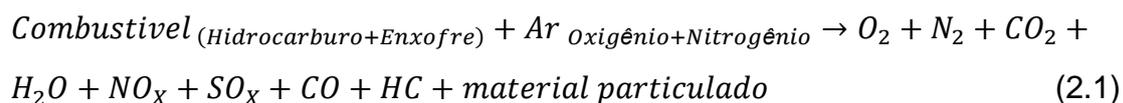


Figura 2.2 Entradas e saídas de um motor de combustão interna

O processo de combustão, indicado na figura 2.2, é representado pela seguinte equação:



Equação química (Teórica) da combustão completa:

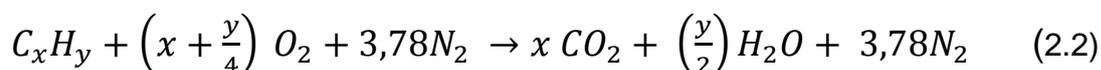
O processo de combustão requer dois elementos básicos, o combustível e o comburente, que é o ar. O ar é uma mistura de gases composto por 20,93 % de oxigênio (O_2), 78,10 % de nitrogênio (N_2) e 0,97% de outros gases.

Para o presente estudo adota-se 20,9% para oxigênio e 79,1% para nitrogênio, em uma relação de $\frac{79,1}{20,9} = 3,78$. Isso quer dizer que 3,78 moles de N_2 se associam a um mol de O_2 .

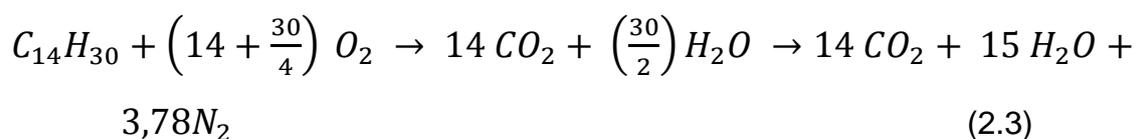
O combustível é constituído basicamente, por Carbono (C) e Hidrogênio (H). Para o caso de combustíveis líquidos empregados em motores de propulsão marítima as composições básicas são as seguintes:

- Óleo diesel leve $C_{12} H_{26}$
- Óleo diesel médio $C_{13} H_{28}$
- Óleo diesel pesado $C_{14} H_{30}$

Para uma combustão completa tem-se a seguinte equação de reação para um combustível genérico:



Como exemplo, apresenta-se a seguir a equação de combustão completa para o óleo pesado:



O exemplo anterior representa o processo da combustão completa quando se emprega a quantidade necessária e suficiente de ar. É a relação estequiométrica; mas conseguir esta relação é difícil; mas os motores de combustão interna trabalham tanto com excesso quanto com deficiência de ar.

Combustão incompleta:

Diz-se que a combustão é incompleta quando o combustível não é totalmente oxidado no processo, existindo entre os produtos de combustão substâncias que seriam passíveis de oxidação.

A reação, em altas temperaturas, entre oxigênio e nitrogênio do ar, produz óxidos de nitrogênio (NO_x) e com outros componentes do combustível, como o enxofre (S), pode gerar óxidos de enxofre (SO_x).

Para determinar a composição dos produtos de uma combustão é necessária a aplicação das equações de conservação de massa, de conservação de energia e das leis de equilíbrio químico. Não se pretende neste

trabalho discutir a questão do equilíbrio químico, mas apenas destacar que em uma combustão completa os produtos estão totalmente oxidados.

Para o processo de combustão em um motor Diesel de baixa rotação deve-se considerar que o óleo lubrificante do cilindro também participa.

Assim, aparecem os seguintes reagentes: 8,5 kg/kWh de ar (21% de O_2 e 79% de N_2), 175 kg/kWh de combustível (97% de HC e 3% de S) e 1 kg/kWh lubrificante (97% de HC 2,5% de Ca e 0,5% de S). Como resultado do ciclo realizado nos cilindros do motor produz-se calor e trabalho, gerando gases de descarga, que são os produtos da reação de combustão, e combustível não queimado se houver excesso de combustível na mistura.

Os produtos de reação têm a seguinte composição: 13% de O_2 , 75,8% de N_2 , 5,6% de CO_2 , 5,35% de H_2O , bem como 0,25% de outros gases, onde figuram 1500 ppm de NO_x , 600 ppm de SO_x , 60ppm de CO, 180 ppm de HC. A Figura 2.3 apresenta um esquema do ciclo realizado nos cilindros.

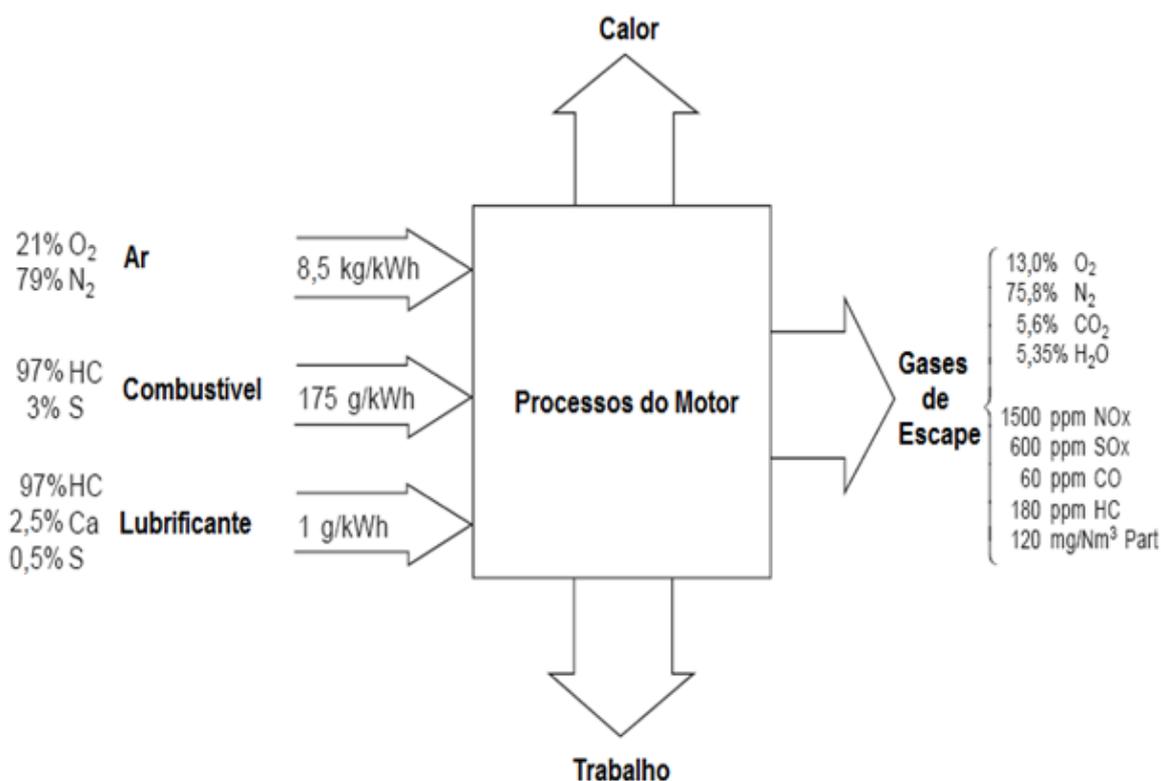


Figura 2.3 Entradas e saídas de um motor diesel de baixa rotação (fonte POUNDER'S 8th edition)

A composição dos gases de descarga de um motor de média rotação é geralmente próxima da que ocorre em um motor de baixa rotação. A composição é aproximadamente a seguinte: 6% de CO_2 , 8,1% de H_2O , 11,3% de O_2 e 74,3% de N_2 . Há também 0,3% de outros gases onde figuram 0,6 g/kWh de CO, 1 g/kWh de HC, 10 g/kWh de SO_x , 0,25 g/kWh de material particulado e 17 g/kWh de NO_x . A Figura 2.4 apresenta a distribuição dos gases de descarga do motor.

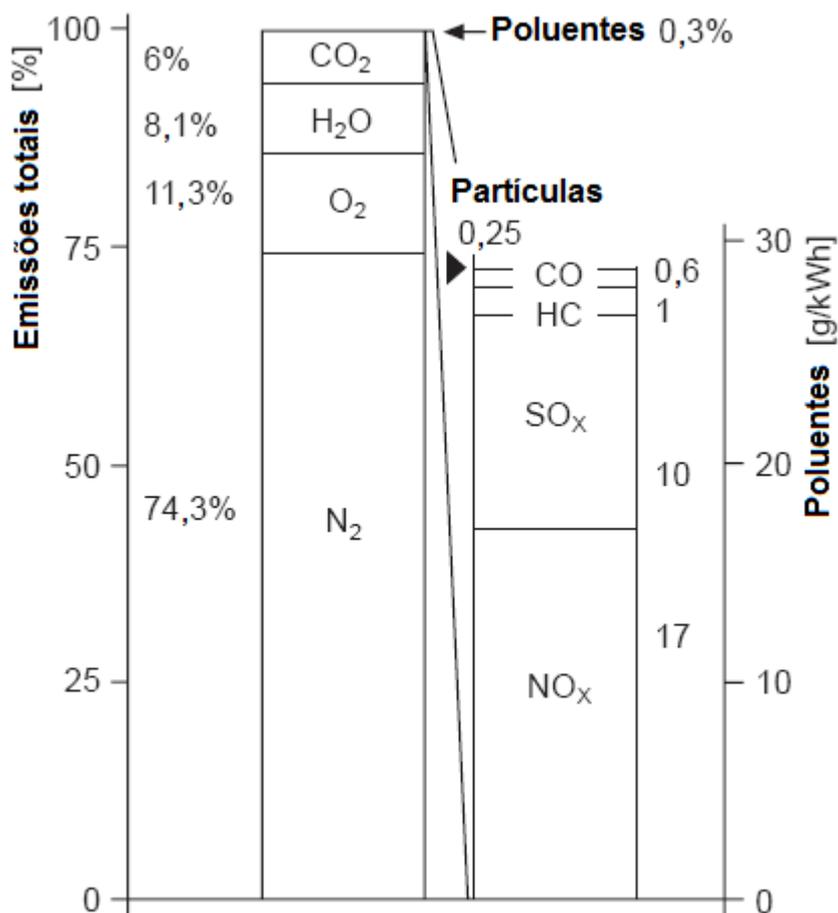


Figura 2.4 Emissões de gases de descarga típicas de um motor diesel de media rotação (fonte POUNDER'S 8th edition)

Uma análise de cada um dos gases poluentes gerados no processo de combustão é apresentada a seguir.

Óxidos de Enxofre (SO_x): todo o enxofre do combustível é convertido em dióxido de enxofre (SO_2) e trióxido de enxofre (SO_3); as quantidades de

SO₂ são muito maiores que as de SO₃ mantendo uma relação aproximada de 40:1.

Os óxidos de enxofre são nocivos para os pulmões, dificultando a respiração. Eles também contribuem para a formação de chuva ácida, misturando-se com as gotas de água no ar para formar ácido sulfúrico.

Como exemplo, se um combustível contém 3% de enxofre, o volume de SO_x gerado é de 64 kg por tonelada de combustível queimado; se for 1% de enxofre, serão gerados 21 kg de SO_x por tonelada de combustível queimado, ou seja, aproximadamente 66% menos. (POUNDER'S 8th edition).

Oxido de Nitrogênio (NO_x): são produzidos devido às altas temperaturas do nitrogênio (N) e oxigênio (O) no cilindro do motor; cerca de 90% do NO_x antropocóricos vêm dos processos de combustão, os compostos têm a capacidade de interagir com outros compostos no ar para formar material particulado.

Os óxidos de nitrogênio causam danos à saúde humana e aos ecossistemas aquáticos e terrestres, sobretudo nas zonas urbanas, já que podem causar irritação pulmonar, asma e bronquites crônicas e, quando em altas concentrações, podem provocar edema pulmonar.

Monóxido do carbono (CO): é resultante da combustão incompleta devido à insuficiência de ar ou a deficiência do processo no motor; é um gás venenoso, que reage com os receptores de hemoglobina, entra na corrente sanguínea e reduz a capacidade do sangue para transportar oxigênio às células. Ocorrem numerosos efeitos nos seres humanos e animais, tais como tontura, dores de cabeça e alterações na percepção e no raciocínio.

O CO pode causar coma, dano cerebral irreversível e mesmo a morte, em casos extremos, de alto nível de concentração e com má ventilação.

Material Particulado (MP): é uma mistura de compostos orgânicos e inorgânicos formados devido à combustão incompleta. Constitui uma série de pequenas partículas e gotas, que se mantêm suspensas na atmosfera e criam pó, fumaça e neblina. Os motores diesel são os principais emissores de material particulado, que pode causar diversos efeitos sobre a saúde, como dano pulmonar, bronquite e asma. As partículas tóxicas como o chumbo, e as dioxinas podem causar câncer e danos aos sistemas reprodutivos.

Dióxido de Carbono (CO₂): este gás constitui cerca de 5,6 % a 6% do total das emissões. Apesar de não ser tóxico, contribui de maneira significativa com o aquecimento global.

O CO₂ é um gás inevitável no processo de combustão, e sua produção é diretamente proporcional ao consumo de combustível. Assim, a maior eficiência no uso de combustível ajudará a reduzir as emissões de CO₂. O consumo de 1 tonelada de combustível produz aproximadamente 3 toneladas de CO₂ (POUNDER'S 8th edition).

Hidrocarbonetos (HC): dependem do tipo de combustível, e a causa principal de sua geração é a combustão incompleta.

2.3.4 Efeitos causados pelas emissões na saúde humana e no clima mundial.

A contaminação atmosférica gerada pelos navios é prejudicial para a saúde humana, colabora significativamente com as mudanças climáticas e o aquecimento global. Como já mencionado, os gases emitidos pelos motores marítimos são um dos mais perigosos devido ao tipo de combustível que usam. Entre as doenças mais comuns estão os problemas respiratórios, irritação pulmonar, bronquite crônica, edema pulmonar, dor da cabeça, alteração da percepção e raciocínio, tontura, asma, ataque cardíaco, câncer pulmonar (OMS; 2006).

Segundo vários estudos os gases também produzem a morte de mais de 60.000 pessoas por ano, pois 70% a 80% destas emissões são produzidas

dentro de uma faixa de 400 km próxima ao litoral (OMI 2000; CORBETT et al., 2007).

Em um estudo realizado em conjunto pelas organizações European Environmental NGOs, Swedish NGO Secretariat on Acid Rain, North Sea Foundation, European Environmental Bureau (EEB), Seas At Risk (SAR), European Federation for Transport and Environment (T&E), Bellona Foundation, constatou-se que a maioria dos navios faz rotas de cabotagem próximas ao litoral, pois aí se concentram as principais rotas comerciais.

Estas cifras poderiam se elevar em 40% para 2012 chegando a 84.000 mortes prematuras ao ano (CORBETT et al., 2007). Nem todas as pessoas são afetadas da mesma forma; as pessoas mais propensas a estas doenças são as crianças e os idosos, devido a sua maior sensibilidade.

Cerca de 85 % das emissões são produzidas no hemisfério norte (EYRING et al., 2005). Uma pesquisa realizada pela National Center for Ecological Analysis and Synthesis também conclui que a maior densidade encontra-se neste hemisfério, conforme mostrado na figura 2.5, onde as marcas vermelhas indicam uma alta densidade do tráfego marítimo.

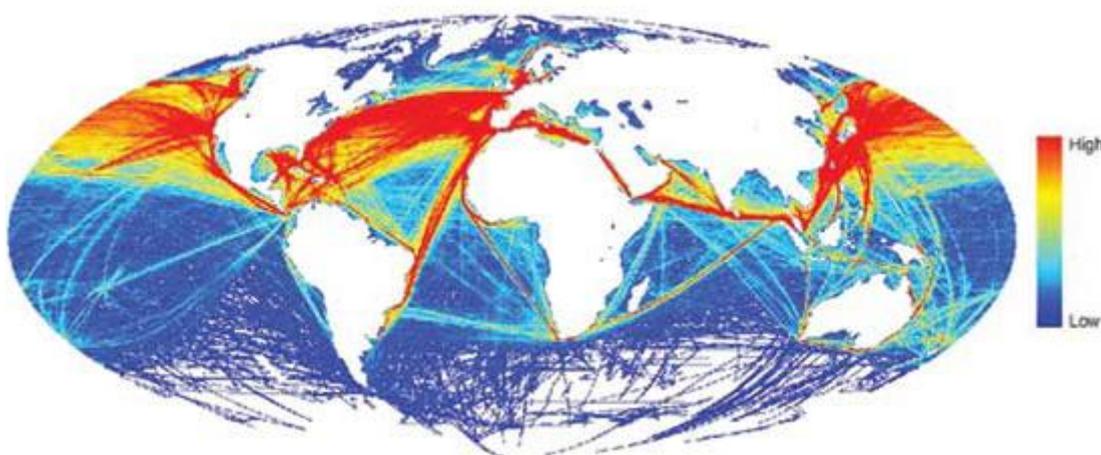


Figura 2.5 Densidade do Tráfego do Transporte Marítimo Mundial, (fonte; National Center for Ecological Analysis and Synthesis)

CAPÍTULO 3

MARCO NORMATIVO INTERNACIONAL

Apresenta-se neste capítulo a estrutura da normatização internacional para as emissões de gases dos motores principais e auxiliares, estabelecida pela Organização Marítima Internacional (OMI), bem como uma Análise do Anexo VI do MARPOL “Regras para a Prevenção da Poluição do Ar Causada por Navios”.

3.1 Atuação da Organização Marítima Internacional

A Organização Marítima Internacional é um organismo especializado da Organização das Nações Unidas. Ela foi criada com o objetivo de regulamentar e fiscalizar o transporte marítimo e internacional, que por operar em muitos países está submetido a diferentes jurisdições. Por este motivo são convenientes normas internacionais que sirvam como regulamento único nos países que as aceitam, e não somente as normas nacionais de cada Estado. Assim, as diversas políticas adotadas nacionalmente poderão ser mais uniformes.

Na conferência das Nações Unidas realizada em 1948, se oficializou a instituição da Organização Marítima Consultiva Inter Governamental (OMCI). Em 1982 o nome foi mudado para Organização Marítima Internacional (OMI), que passaria a se dedicar à elaboração de medidas relativas a segurança marítima.

A OMI tem como objetivo principal criar um sistema de cooperação entre os governos em temas de navegação internacional, segurança marítima, eficiência na navegação e prevenção da contaminação, além de promover as normas adotadas para tais assuntos.

Na atualidade a OMI tem 163 estados membros, 2 membros associados, 6 Organizações intergovernamentais e 35 organizações não governamentais.

O principal órgão da OMI é a Assembléia, que se reúne duas vezes ao ano. Há um Conselho, integrado por 40 membros que são eleitos pela Assembléia.

A OMI como organização técnica tem a sua disposição vários Comitês e Subcomitês. Os dois mais importantes são o Comitê de Segurança Marítima (CSM) e o Comitê de Proteção do Meio Marinho (CPMM). Na atualidade a OMI tem cerca de quarenta convênios e protocolos e mais de oitocentas publicações entre códigos e recomendações sobre segurança marítima, prevenção da contaminação e outras referente às praticas no mar.

Entre os convênios mais importantes figuram:

- Convenção Internacional para a Segurança da Vida Humana no Mar (SOLAS, 1974).
- Convênio Internacional para a Prevenção da Contaminação pelos Navios de 1973, (modificado pelo Protocolo de 1978 MARPOL, 73/78).

A seguir vamos abordar o MARPOL 73/78.

3.2. Convênio Internacional para a Prevenção da Contaminação pelos Navios (MARPOL, 73/78)

O MARPOL é um dos convênios mais importantes e significativos que foram emitidos pela OMI no que se refere a prevenção da contaminação pelos navios. Este Convênio é a combinação de dois tratados estabelecidos em 1973 e a modificação em 1978. O primeiro, de 2 de novembro de 1973, foi aprovado em uma conferência da Organização Marítima Internacional realizada em Londres, e constituiu um marco importante na conscientização para a proteção do meio marinho. O convênio compreendia a contaminação por hidrocarbonetos, produtos químicos, substâncias prejudiciais transportadas em embalagens, águas sujas e lixo. O segundo é uma modificação pelo Protocolo de 1978, foi aprovado em Conferência Internacional sobre Segurança de Navios Tanque e Prevenção da Contaminação convocada pela OMI o dia 17 de fevereiro de 1978.

O MARPOL é constituído por seis anexos:

- Anexo I: “Regras para a Prevenção da Poluição por Hidrocarbonetos”
- Anexo II: “Regras para o Controle da Poluição por Substâncias Líquidas Nocivas Transportadas a Granel”
- Anexo III: “Regras para a Prevenção da Poluição por Substâncias Prejudiciais, Transportadas por Via Marítima em Embalagens, Contêineres Tanques Portáteis, Caminhões tanque e Vagões Cisterna
- Anexo IV: “Regras para a Prevenção da Poluição por Águas Sujas dos Navios”
- Anexo V: “Regras para a Prevenção da Poluição por Lixo dos Navios”
- Anexo VI: “Regras para a Prevenção da Poluição do Ar Causado por Navios”

De acordo com o Fórum Marítimo Internacional de Companhias Petroleiras (OCIMF) de 1974, “O convênio de 1973 representa um passo decisivo e histórico na luta contra a poluição gerada pelos navios. Amplia as restrições sobre a poluição operacional por hidrocarbonetos e prescreve características de projeto e equipes nos navios tanque e outros tipos de navios, além de inserir controle em relação a outras formas de poluição procedente de navios.”

O convênio de 1973 exigia uma ratificação de pelo menos 15 estados cujas frotas mercantes combinadas tivessem mais de 50% da tonelagem bruta da frota mundial. Porém, até 1976, a OMI só tinha a ratificação de três países de pequena relevância do ponto de vista do transporte marítimo: Jordânia, Quênia e Tunísia, que juntos não atingiam 1% da frota mundial. A estratégia da OMI não foi bem sucedida; apesar da importância do convênio ele não entrou

em vigor, embora os Estados pudessem optar por ratificar apenas os Anexos I e II, Hidrocarbonetos e Produtos Químicos respectivamente, já que os Anexos III, IV e V, Mercadorias Prejudiciais em embalagens, Águas sujas e Lixo respectivamente, eram facultativos.

Em 1978 a OMI organizou a Conferência Internacional sobre Segurança dos Navios Tanque e a Prevenção da Contaminação, quando se adotou o Protocolo de 1978 da MARPOL. Isto foi muito importante já que permitiu aos estados ratificar o Anexo I de Hidrocarbonetos e dar prazo para que o Anexo II entrasse em vigor depois de três anos da ratificação do Protocolo.

O Protocolo de 1978 passou a ser parte do documento original com a denominação que até agora se conserva, “Convênio Internacional para Prevenção da Contaminação causada por Navios de 1973, Modificado pelo Correspondente Protocolo de 1978 (MARPOL 73/78)”. O convênio entrou em vigor em de outubro de 1983, aprovado por mais de 15 países que representavam mais de 50% da tonelagem bruta da frota mundial na ocasião.

3.3. Anexo VI da MARPOL 73/78 - Regras para a Prevenção da Poluição do Ar Causada por Navios

3.3.1 Considerações Gerais sobre as Normas

As regulamentações do transporte marítimo internacional constituem um tema muito complexo, da mesma natureza do transporte aéreo internacional, e não comparável com as disposições que poderiam ser aplicadas a fontes estacionárias que estão submetidas as regulamentações próprias de cada país. As emissões procedentes do transporte marítimo internacional não podem ser atribuídas a uma economia em particular e têm que ser tratadas como uma ação mundial e multilateral.

Na atualidade, as emissões dos motores principais e auxiliares estão reguladas pelo Anexo VI da MARPOL 73/78 “Regras para a Prevenção da Poluição do Ar Causada por Navios”, as quais entraram em vigência em 19 de maio de 2005, embora formuladas em 1997.

A OMI focalizou principalmente os poluentes que representam um risco direto ao meio ambiente marinho (NO_x , SO_x e Material Particulado). Os pontos principais tratados no anexo são a imposição de limites para as emissões de SO_x e NO_x , limite no conteúdo de enxofre no combustível marítimo, e a proibição de emissões deliberadas de substâncias que esgotam a capa de ozônio.

Entre as principais regras está a inclusão de um limite máximo de 4,5% no conteúdo de enxofre nos combustíveis marítimos. Além disso, em áreas especiais considera-se que o conteúdo de enxofre não deva exceder 1,5%. Entre as áreas especiais estão o Mar Báltico e o Mar do Norte.

Mas, com o tempo, as porcentagens devem diminuir, passando a 3,5% em 1 de janeiro de 2012. Em abril de 2008 os estados membros, em uma reunião do Comitê de Proteção do Meio Marinho, decidiram que o conteúdo vai se limitar a 0,5% em todo o mundo a partir de 2020; e no caso das áreas especiais as reduções serão mais drásticas com 1% em 1 de julho de 2010 e 0,1% em 1 de julho de 2015.

Para o caso de emissões de NO_x , a norma está dividida em três etapas:

A primeira etapa é para navios construídos entre 1 de janeiro de 2000 e 1 de janeiro de 2011 (TIER I). As emissões não deverão exceder 17,0 g/kWh, para motores com rotação (N) inferior a 130 rpm; para motores com rotação entre 130 e 2.000 rpm o limite é: $45,0 N^{0,2}$ g/kWh, e para motores com rotação acima de 2.000 rpm o limite é de 9,8 g/kWh.

A segunda etapa é para navios construídos a partir de 1 de janeiro de 2011 (TIER II). As emissões de NO_x não deverão exceder 14,4 g/kW h, para motores com rotação inferior a 130 RPM e proporcionalmente para os motores de rotação mais alta.

A terceira etapa é para navios construídos a partir de 1 de janeiro de 2016 (TIER III). A regulamentação é mais drástica com um limite de 3,4 g/kW h, para motores com rotação inferior a 130 rpm.

Para uma melhor visualização da evolução das restrições apresenta-se a Figura 3.1.

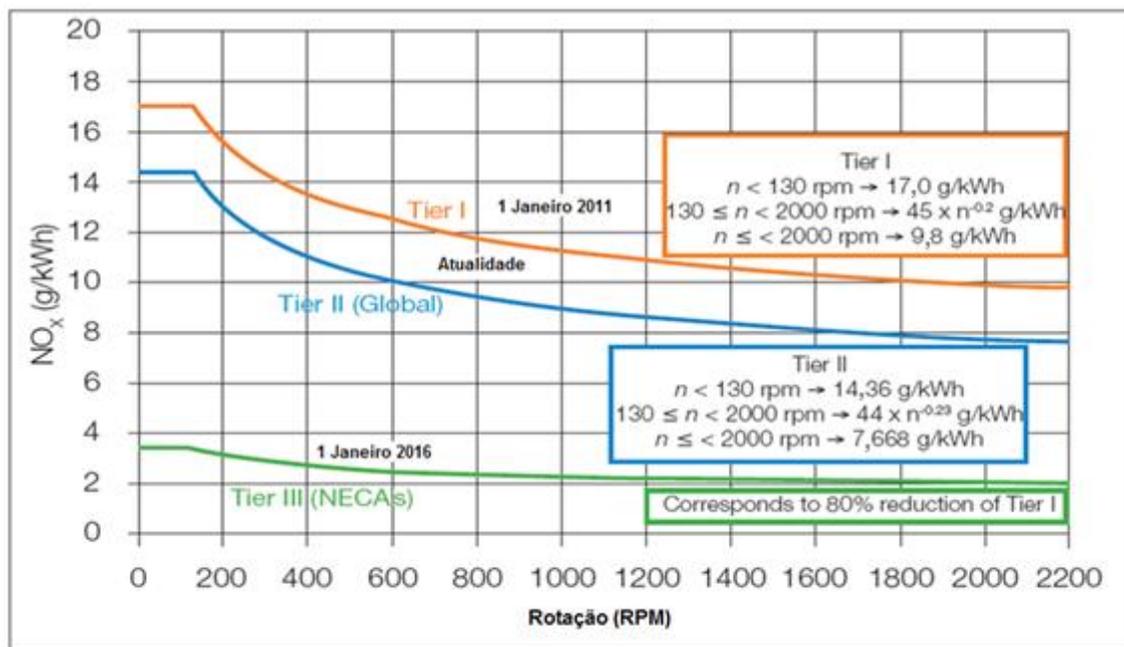


Figura 3.1 Evolução das restrições à emissão de NO_x (Adaptada de Anexo VI MARPOL)

3.3.2 Análise do Anexo VI do MARPOL “Regras para a Prevenção da Poluição do Ar Causada por Navios”

O objetivo desta subseção é analisar as disposições contidas no texto da Norma da OMI e verificar de que forma elas contribuem para redução da poluição provocada pelo transporte marítimo.

Em primeiro lugar, é importante observar que para poderem operar, os navios devem adotar um Estado de bandeira (inscrição) cumprindo as regulamentações deste. As regulamentações exigidas pelos diferentes Estados não são iguais, embora todos eles devessem fazer um controle de segurança da navegação e de prevenção da contaminação. Percebe-se, porém, que nem todos têm cooperado no atendimento das exigências estabelecidas pelas normas da OMI e, em consequência, contribuem por omissão para a poluição dos oceanos, estados costeiros e portos (ICCT, 2008).

Convém ainda observar que na atualidade cada estado tem autoridade para aplicar as regulamentações da OMI a navios de bandeira estrangeira que naveguem em seus limites. O MARPOL 73/78, em seu anexo VI, permite que os países estabeleçam as normas que vão ser aplicadas aos motores dos navios que operam exclusivamente em sua jurisdição (navegação em território nacional ou águas internas).

Para analisar o anexo VI deve-se ter em conta que o MARPOL é um instrumento jurídico internacional composto por anexos e protocolos e que o conjunto é considerado como um único documento.

O anexo VI é o último dos anexos do MARPOL, e como os demais está conformado por regulamentos dispostos em capítulos. O anexo VI traz consigo o “CÓDIGO TÉCNICO DE CONTROLE DAS EMISSÕES DE ÓXIDO DE NITROGÊNIO DOS MOTORES MARÍTIMOS” em que se apresentam os limites de emissões deste poluente, bem como indicações de testes, inspeção e certificação.

O referido anexo trata principalmente da redução de emissões de NO_x e SO_x , que afetam diretamente o ambiente marinho. Em relação ao controle das emissões de NO_x , verifica-se que a norma da OMI impõe uma redução pequena para 2011 (cerca de 15 % para os motores de baixa rotação, que são os que têm o maior limite para as emissões de NO_x). Mas, para 2016 a redução é mais acentuada, levando a níveis 80 % inferiores aos atuais. De qualquer forma, constata-se que se concede um período relativamente longo para que os navios reduzam a emissão de poluentes.

Não está incluída neste anexo nenhuma limitação sobre emissões de CO_2 , porque a OMI não tem uma regulamentação obrigatória e clara sobre o tema, como já mencionado.

É difícil entender porque a Organização Marítima Internacional (OMI) ainda não incluiu este gás em seu anexo VI, principalmente considerando que o Protocolo de Kyoto, em seu artigo 2.2, estabelece que a OMI deva tomar as ações necessárias para implementar políticas de mitigação ou as regulamentações para reduzir as emissões de CO_2 .

Outra medida importante é estabelecer um limite ao teor de enxofre do combustível usado pelos motores marítimos. Hoje, o limite é de em 4,5% para embarcações que fazem navegações oceânicas e de 1,5% para as que operam em áreas especiais. No entanto, convém destacar que o teor médio de enxofre nos combustíveis marítimos atuais é da ordem de 2,7%, ou seja, o limite imposto pela OMI é quase irrelevante em face da prática atual. Mesmo a partir de 1 de janeiro de 2012, quando o limite do teor de enxofre ficará reduzido para 3,5%, não representará nenhum ganho substancial, uma vez que o novo limite ainda será superior ao valor médio atual.

Alem do teor de enxofre, que afeta todos os óleos combustíveis, o anexo VI enfatiza a qualidade do combustível em geral. Para tratar desta questão, a OMI publicou “Diretrizes para coletar amostra dos combustíveis”, que é direcionada às autoridades portuárias, as quais devem verificar a procedência do combustível e sua qualidade.

Esta parte do anexo deve ter um efeito relevante, pois obriga que armadores e fornecedores de combustíveis entreguem às autoridades portuárias informações sobre o combustível, que inclui documentos da amostra analisada. Com a adoção desta prática, o armador vai ter certeza da qualidade do combustível que está sendo usado em seu navio. O importante é que a amostra deve ser guardada por um período de no mínimo 12 meses, ou até que o combustível adquirido com essa amostra seja consumido. Adicionalmente, a documentação do combustível será arquivada pelo menos por três anos.

Embora a regulamentação vigente não seja muito exigente, ela tem contribuído para direcionar os esforços de armadores e fornecedores de motores marítimos, pela aplicação de medidas tecnológicas e operacionais, com o objetivo de reduzir o consumo de combustível e de tratar os gases de descarga dos motores.

3.3.3 O Anexo VI e o CO₂

Para o caso dos gases de efeito estufa, dos quais o CO₂ é um dos principais, a OMI não tem uma regulamentação explícita e clara sobre o tema. O Protocolo de Kyoto estabelece no seu artigo 2.2, como já mencionado, que o transporte marítimo Internacional e a aviação civil internacional através da Organização Marítima Internacional (OMI) e a Organização de Aviação Civil Internacional (OACI), respectivamente, deverão limitar ou reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Porém, até agora estas organizações não adotaram políticas de mitigação ou regulamentações para reduzir as emissões de CO₂ e gases de efeito estufa, (FABER J. et al. 2007).

No ano 2000 a OMI realizou uma pesquisa sobre as emissões de gases de efeito estufa procedentes de navios e elaborou a resolução A.963 (23) em dezembro de 2003 - "Políticas e práticas da OMI em matéria de redução de gases de efeito estufa procedente de navios". Na resolução constam recomendações importantes, que tratam da eficiência energética, gestão de navios, planejamento de viagem, gestão de velocidade, otimização de potência, manutenção do casco. Todas têm a finalidade de um transporte marítimo sustentável, sem restringir o comércio e o crescimento econômico.

O objetivo da OMI é aprovar um documento marco de referência que seja vinculante, coerente e exaustivo sobre as emissões de efeito estufa (UNCTAD; 2008). O Comitê de Proteção do Meio Marinho esclareceu que o documento deveria ser: eficaz e vinculante para todos os países que tenham bandeira de navegação, rentável, transparente, isento de fraude e de fácil administração.

3.3.4 Comparação com os limites de emissões de caminhões da União Européia

É interessante estabelecer uma comparação entre os limites para emissões de gases dos motores utilizados no transporte marítimo com os

empregados em outras aplicações. Considerou-se para esta finalidade a regulamentação europeia para motores de caminhão.

A tabela 3.1 apresenta uma comparação entre as regulamentações para emissões de NO_x e limite de conteúdo de enxofre no combustível para motores diesel instalados em caminhões e navios.

Tabela 3.1 Comparação de Limites de emissões para NO_x e limite de conteúdo de enxofre de Caminhões (EURO) e Navios (OMI) g/Kwh para NO_x e ppm para S

Transporte	Regulamento	Data	NO_x	Data	Cont. S
Caminhões com motor diesel de alta rotação	Euro I	1992	8,0	-	-
	Euro II	1996	7,0	1996	500 ppm
		1998	7,0	1998	500 ppm
	Euro III	2000	5,0	2000	150 ppm
	Euro IV	2005	3,5	2005	50 ppm
	Euro V	2008	2,0	2009	10 ppm
Navios com motores de Baixa Rotação (inferior 130 rpm)	Tier I	2008	17	Atual	4500 ppm
	Tier II	Atual	14,4	2012	3500 ppm
	Tier III	2016	3,4	2020	500 ppm

Pode-se verificar que em aplicações marítimas os limites de emissões apresentam uma redução progressiva a partir dos valores atuais (17g/kWh), que vigora desde a aprovação do Anexo VI, até chegar ao valor 3,4g/kW em 2016. Porém, há uma grande diferença em comparação aos limites para aplicações rodoviárias. Certamente, os limites mais baixos para aplicações em transportes rodoviários se explicam pelos efeitos prejudiciais mais sérios deste modal sobre a população.

Entretanto já existe tecnologia para reduzir substancialmente o nível de emissões de NO_x ; o que é necessário é impor uma normalização mais rígida. Parece claro que a Organização Marítima Internacional é muito permissiva ao implantar limites a favor do meio ambiente e da saúde humana.

No que diz respeito ao teor de enxofre, observa-se uma diferença ainda maior entre os limites estabelecidos para os dois modais. Neste caso, a explicação para a diferença é consequência do tipo de combustível empregado nos motores. Os motores de caminhões operam com óleo diesel, mas os motores de baixa rotação empregados no transporte marítimo queimam óleo pesado.

CAPÍTULO 4

MEDIDAS PARA REDUÇÃO DE EMISSÕES

No presente capítulo inicia-se o estudo de propostas para redução da poluição ambiental causada pela emissão de gases no transporte aquaviário, com a exposição de diferentes propostas pesquisadas na literatura.

Na indústria do transporte marítimo existem três opções claras para a redução da emissão de poluentes. A primeira é relacionada com o emprego de medidas tecnológicas que alteram o projeto do navio e de seu sistema propulsor. A segunda implica a adoção de medidas operacionais, e a terceira se refere à revisão dos conceitos do dimensionamento da frota.

4.1 Medidas Tecnológicas

Entre as medidas tecnológicas deve-se considerar três linhas.

A primeira linha objetiva reduzir a potência requerida; ela consiste em otimizar as formas dos navios, de modo a reduzir a resistência ao avanço, e aumentar a eficiência do hélice para obter uma redução da potência requerida e, conseqüentemente, uma redução no consumo de combustível.

A segunda linha refere-se a modificações dos motores diesel, aperfeiçoando as atuais configurações de instalação propulsora, aumentando a eficiência térmica de motores, e a adequação do seu processo de combustão, incluindo a recuperação da energia, com efeitos diretos sobre o consumo de combustível e a emissão de poluentes.

A terceira linha consiste no emprego de combustíveis alternativos e o uso de outras fontes de energia, como solar, eólica e células de combustível. São alterações mais radicais para aumentar a sustentabilidade do setor de transporte marítimo; de implementação em prazo mais longo, que implicam alterações significativas dos navios.

A seguir são apresentadas as diferentes propostas.

4.1.1 Primeira linha: Alternativas para a redução da potencia requerida

A primeira linha tecnológica resulta em que se reduza a potência requerida da máquina principal, pois se o motor fornece menor potência, ele consome menor quantidade de combustível, e como consequência produz menor quantidade de poluentes.

a) Desenho do casco

De acordo com a OMI 2000, a otimização das formas do casco, da popa e da proa teve um grande avanço na década de 1990. Assim, que há pequenas possibilidades de aperfeiçoamentos. Porém, a Organização Marítima Internacional (OMI 2000) afirma que um bom projeto do casco poderia resultar em uma redução de 20% na potência, com redução significativa do consumo de combustível.

O estudo Low carbon commercial shipping da AEA Energy & Environment (2007) avalia que são significativas as margens de redução de combustível quando se desenvolve um projeto correto do casco do navio, e de sua proa e popa. A tabela 4.1 dá uma indicação dos ganhos obtidos, que podem chegar até 20%.

Tabela 4.1 Redução do consumo de combustível mediante otimização do casco (fonte OMI – MARINEK; 2000)

Otimização	Redução de consumo de combustível
Refinamento das linhas de casco	7 – 20 %
Seleção adequada do bulbo	3 – 20 %
Desenho da popa	1 – 4 %

b) Projeto do hélice

A escolha do maior diâmetro possível para o hélice é básico para diminuir a potência requerida. Com isto obtém-se maior eficiência do propulsor e a conseqüente redução da potência demandada. Atualmente, os fabricantes de motores de baixa rotação oferecem diversos modelos, em uma larga faixa de potência e rotação, o que permite ao projetista do navio, em muitos casos, selecionar o hélice de maior diâmetro e, portanto, de maior eficiência.

Outras características que devem ser consideradas para garantir a máxima eficiência ao propulsor são o número de pás, a razão de área expandida e a relação passo-diâmetro.

Segundo a OMI 2000 a correta seleção do propulsor pode reduzir o consumo de combustível entre 5 e 10 %. Por outro lado, uma nova configuração das pás do hélice “winglets” pode melhorar a eficiência até em 4% (WÄRTSILÄ; 2008).

4.1.2 Segunda linha: Modificações no projeto do motor

O objetivo fundamental ao se alterar o projeto do motor é reduzir o nível da emissão de poluentes. Os principais fornecedores de motores estão investigando novas tecnologias para redução das emissões, com foco nos óxidos de nitrogênio. As propostas podem ser divididas em duas categorias, uma que envolve o emprego de água para modificar as temperaturas de combustão como são: Motor de Ar Úmido (HAM), Recirculação de Gases de Escape (ERG), Injeção Direta de Água (DWI) e a emulsificação da água, e a outra que envolve o tratamento dos gases de descarga do motor como a Redução Catalítica Seletiva (SRC).

Também estão incluídas nesta subseção as opções que se baseiam no aproveitamento da energia dos gases de descarga dos motores. As alternativas mais significativas estão listadas a seguir.

a) Motor de Ar Úmido - HAM (Humid Air Motor)

- **Funcionalidade e objetivo:** Trata-se de uma técnica que tem por objetivo aumentar a capacidade térmica do motor, produzindo uma redução na concentração do oxigênio. Consiste, essencialmente, na injeção de ar com 100% de umidade relativa, reduzindo assim a concentração de oxigênio no cilindro. Obtém-se um melhor processo de combustão, sem variações significativas de temperatura, porque a capacidade térmica do vapor d'água é duas vezes superior à do ar seco (OMI, 2000). Com a adição do vapor de água no ar da combustão, as temperaturas de combustão ficam mais baixas, com redução da geração de NO_x .
- **Componentes:** o Motor de Ar Úmido tem entre seus componentes principais, um turbocompressor, tanque captador de água, um trocador de calor e depósito de umidificação (HAM).
- **Funcionamento:** O funcionamento é simples, já que o ar comprimido e aquecido proveniente do turbocompressor passa através de uma célula, onde com a evaporação da água, o ar é umidificado e resfriado; este ar é direcionado aos cilindros do motor. É importante que entre o umidificador e os cilindros haja uma curta distância, para se manter as características do ar umidificado. O processo HAM torna a combustão mais uniforme e suave, evitando os picos de temperatura, que possibilitam a geração de NO_x ; com este sistema não há aumento do consumo de combustível.
- **Resultado esperado:** O método HAM pode reduzir a formação de NO_x entre 70 e 80 %. Além disso, não há efeito sobre o rendimento do motor, (EEB, T&E, SAR, 2004). Este sistema já é usado pelos dois principais fornecedores de motores marítimos, a MAN e a Wärtsilä. Para os motores da Wärtsilä, o sistema é conhecido como saturação do ar de combustão, injeta-se no ar de admissão água sob pressão, que se evapora antes de ser introduzida no cilindro do motor, (ICCT, 2007).
- **Comentários finais sobre o sistema:** O método HAM é um sistema original ecológico e eficiente para reduzir os óxidos de nitrogênio até um 80%.

A figura 4.1 apresenta uma ilustração de sistema HAM (MAN B&W, 2007).

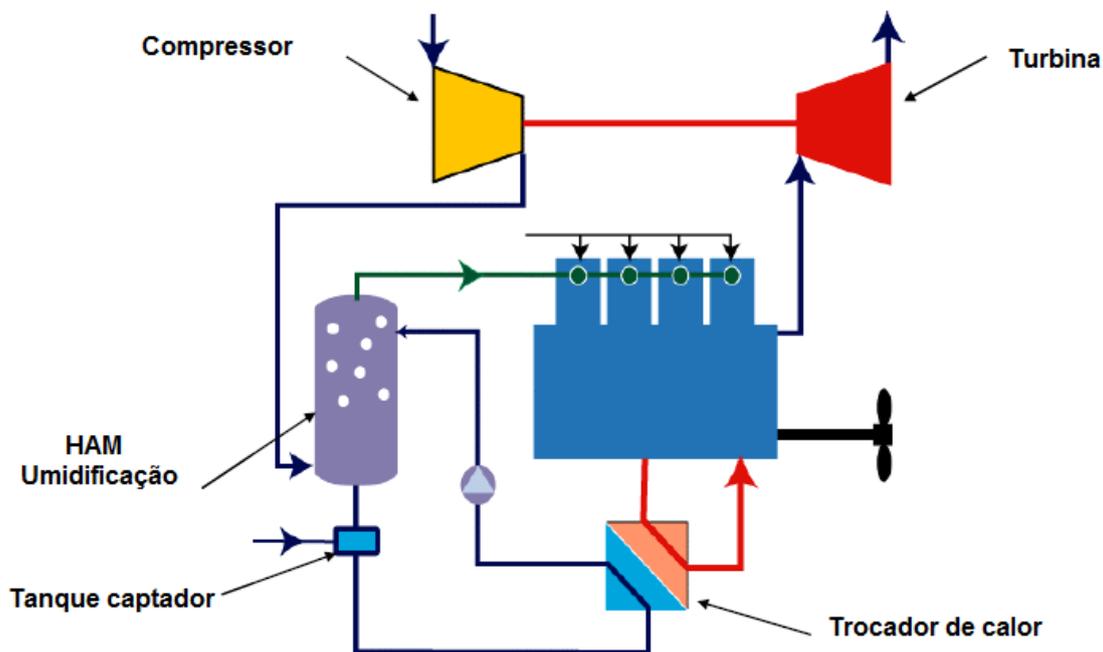


Figura 4.1 Sistema de Motor de Ar Úmido (HAM) MAN B&W

b) Recirculação de Gases de Escape - Exhaust Gas Recirculation (EGR)

- **Funcionalidade e objetivo:** É um método de modificação do ar de admissão para reduzir as emissões de NO_x e as de material particulado, amplamente usado em aplicações automotivas Pounder (2004). É também usada em aplicações estacionárias (ICCT 2007); consiste em redirecionar parte dos gases de escape para sua reutilização.
- **Componentes:** O ERG tem entre seus componentes principais, um lavador de gases, um turbocompressor e uma bomba de água.
- **Funcionamento:** A figura 4.2 mostra um sistema EGR desenvolvido pela MAN B&W. Ele consiste em uma linha de gases de descarga passando por um lavador de gases onde ocorrem duas etapas de injeção de água, salgada e doce, sendo a seguir conectada com a linha de admissão de ar limpo. O lavador de gases tem a capacidade de

reduzir as emissões de Material Particulado de 20 a 30%. O NO_2 , que é uma porcentagem do NO_x , é diluído na água, o que produz uma purificação parcial do gás; o gás entra na linha de admissão para formar novamente parte da combustão.

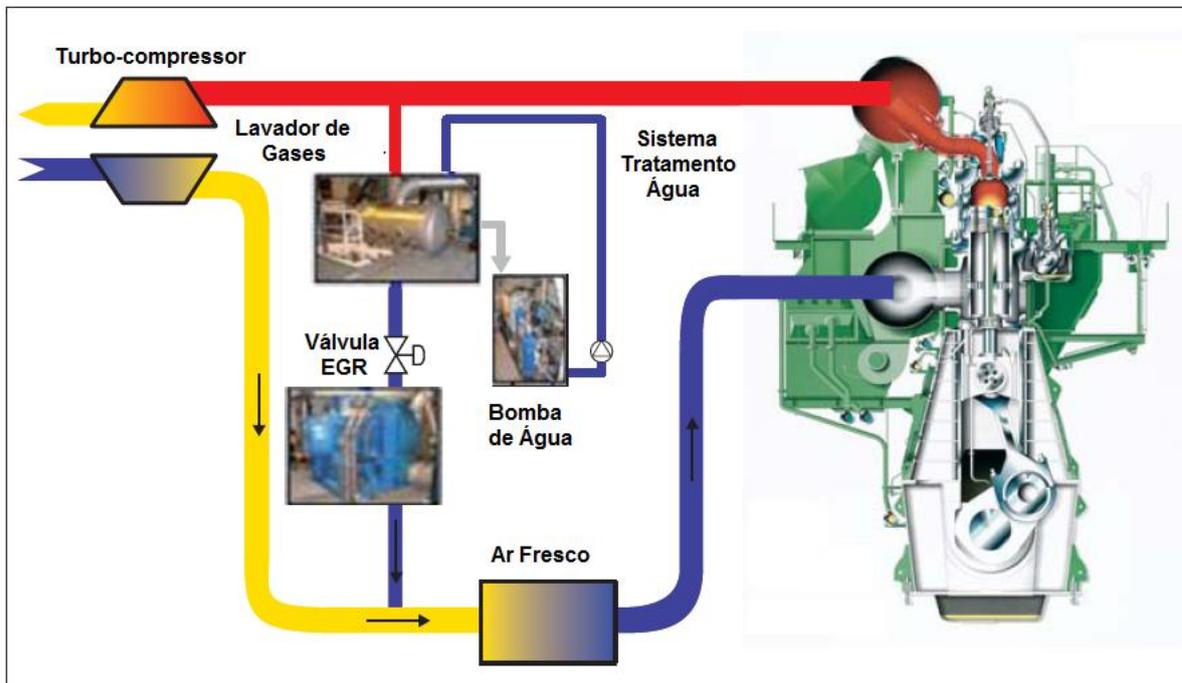


Figura 4.2 Sistema EGR da MAN B&W

Parte dos gases de descarga é resfriada e limpa antes de ser levada ao coletor de admissão do motor. O seu efeito na redução de NO_x é devido, em parte, à concentração de oxigênio na zona de combustão e também à presença de vapor de água e dióxido de carbono nos gases de descarga. Com a maior capacidade térmica destes componentes ocorre uma redução nas temperaturas de combustão, o que resulta em redução na formação de NO_x .

É importante neste método que os gases de escape sejam filtrados, pois a fuligem e o material particulado podem se depositar nas paredes dos cilindros, contaminando também o óleo de lubrificação.

- **Resultado esperado:** O método EGR tem a capacidade de reduzir 50% de NO_x e até 30% de material particulado.

- **Comentários finais sobre o sistema:** O ERG é um método interessante, mas não é eficiente quando é comparado com outros métodos baseados no emprego da água

c) Injeção Direta de Água - Direct Water Injection (DWI)

- **Funcionalidade e objetivo:** Esta tecnologia é uma técnica pela qual se injeta água doce atomizada na câmara de combustão através de uma válvula, esfriando a câmara; consegue-se, assim, reduzir a quantidade de NO_x. Recomenda-se, porém, o uso de combustível com teor de enxofre inferior a 1,5%, (ICCT 2007).
- **Componentes:** O DWI tem entre seus componentes principais uma agulha de injeção dupla (combustível e água), válvula solenóide, um tanque para água doce e uma unidade de controle para o fusível de fluxo da água.
- **Funcionamento:** A Wärtsilä usa a técnica DWI com um sistema de injeção de agulha dupla, uma para combustível e outra para água, como mostrado na figura 4.3. A água pode ser injetada antes do combustível, em paralelo com o combustível ou durante a compressão, (H. SCHMID; G. WEISSER, 2005). A água injetada refrigera a câmara de combustão antes que se inicie o novo ciclo, gerando uma redução de NO_x de 50 a 60%, (UE 2005) e de outros tipos de emissões como hidrocarbonetos e monóxido de carbono, (H. SCHMID; G. WEISSER, 2005). A água é filtrada para eliminar qualquer resíduo de partículas sólidas, de modo a evitar entupimento da agulha; ela é pressurizada de 210 a 400 bar com emprego de bomba de alta pressão. A injeção da água é controlada eletronicamente pela unidade de controle (POUNDER'S 8th Edition, 2004).
- **Resultados esperados:** O sistema DWI é independente do sistema de combustível e não ocasiona perda da potência de saída. Deve-se considerar que, além da água doce usada na rotina diária da navegação, é necessário ter uma provisão de água suficiente para o correto funcionamento do sistema.

O sistema não tem restrição em relação à quantidade de água injetada, que poderia ser até na proporção de 1:1 com o combustível. Com uma injeção de água de 70% do combustível tem-se uma redução de 50% de NO_x , o que significaria 8 g/kWh, (BROWN D. e HOLTBECKER, R., 2007).

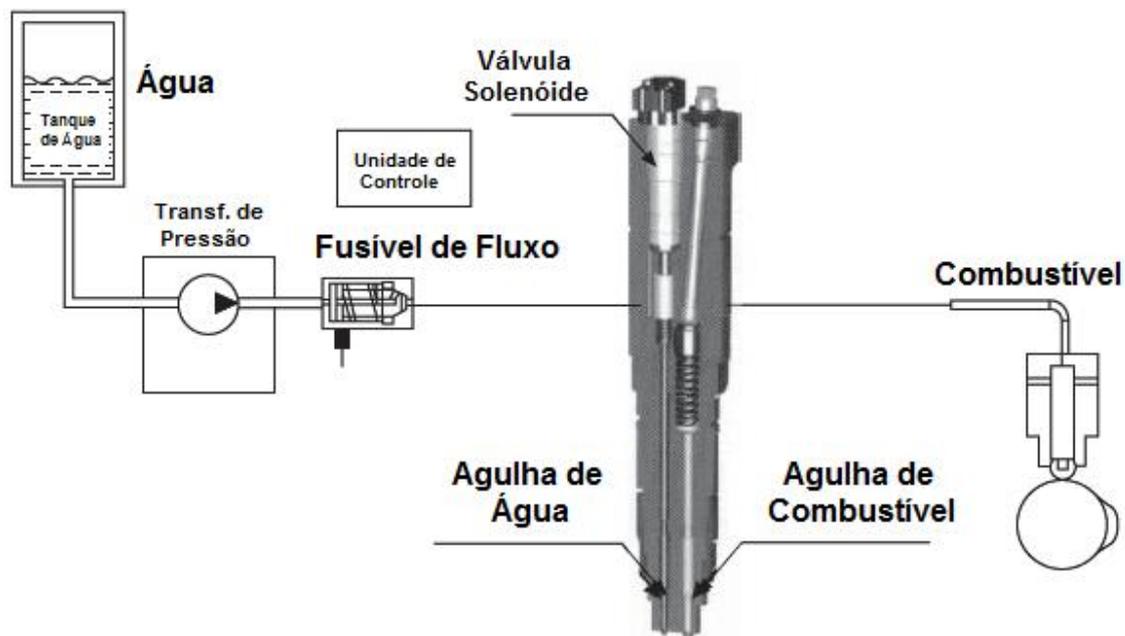


Figura 4.3 Sistema de Injeção de Água DWI (Wärtsilä)

- **Comentários finais sobre o sistema** É importante considerar este resultado lembrando a norma vigente para navios construídos entre 1 de janeiro 2000 e 1 de janeiro 2011 (TIER I). A Norma estabelece que as emissões não devam exceder 17,0 g/kWh para motores com rotação (n) inferior a 130 RPM, $(45,0 \times n - 0,2 \text{ g/kW})$, quando n estiver na faixa de 130 a 2000 RPM, e 9,8 g/kWh, quando n estiver acima de 2000 RPM).

Com os resultados obtidos pela Wärtsilä o sistema DWI cumpriria a norma até o ano 2011. A partir desse ano a norma é mais rigorosa, impondo que para navios construídos a partir de 1 de janeiro 2011 (TIER II), as emissões de NO_x não devem exceder 14,4 g/kWh, para motores

com rotação inferior a 130 RPM ($44,0 \times n - 0,2$ g/kW, quando n estiver de 130 a 2000 RPM e $7,7$ g/kWh, quando n estiver acima de 2000 RPM).

Para cumprir a norma válida entre 2011 e 2016 poderia ser aplicada uma combinação da tecnologia de Recirculação de Gases de Escape (EGR) e Injeção Direta de Água (DWI), que segundo a Wärtsilä pode gerar uma redução de até 70% de NO_x , o que equivale a aproximadamente 5 g/kWh.

A figura 4.4 apresenta uma simulação CFD (computed fluid dynamics) do processo de combustão com injeção direta de água (esquerda) (DWI) e sem ela (direita). Nas imagens se verifica que a água pulverizada diretamente reduz a temperatura na câmara e com isso reduz a geração de NO_x , (H. SCHMID; G. WEISSER, 2005).

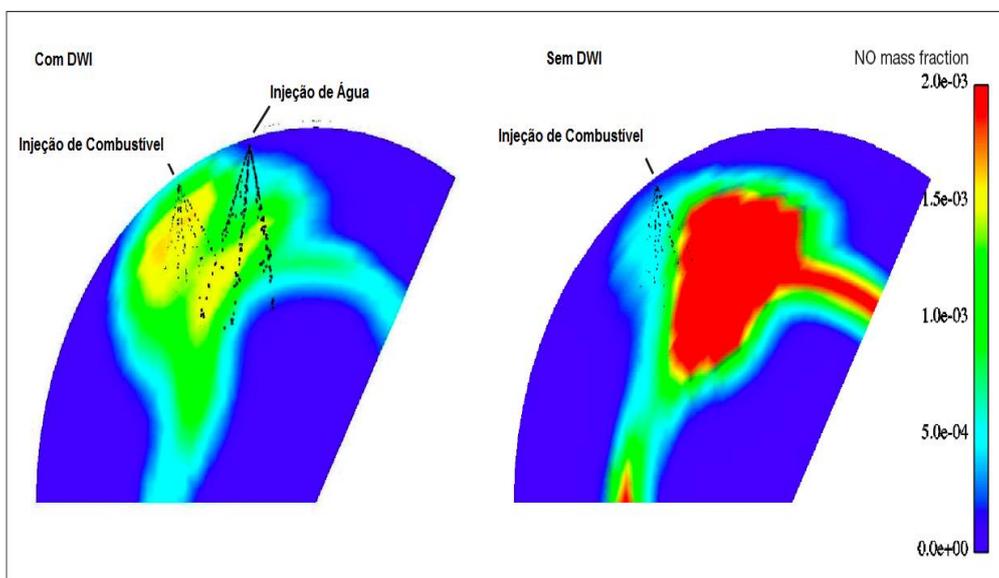


Figura 4.4 Simulação em CFD com e sem Injeção Direta de Água (DWI) (Adaptada de H. SCHMID; G. WEISSER, 2005)

d) A emulsificação da água

- **Funcionalidade e objetivo:** É um mecanismo de redução de NO_x , de material particulado, e de fuligem, mediante a introdução de água na câmara de combustão. Reduz-se a temperatura no processo, garantindo

melhor contato entre o combustível e o oxigênio (A. ŠTIMAC, B. IVANČEVIĆ, K. JAMBROŠIĆ 2001).

- **Resultados esperados:** Nos motores da MAN consegue-se uma redução de 10% para cada 10% de água pulverizada, sem alteração do rendimento do motor. Nos motores da WÄRTSILÄ a emulsificação da água poderia reduzir teoricamente as emissões de NO_x em até 50%.

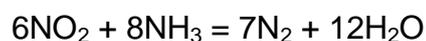
Deve-se usar a emulsificação sem minerais e sais, pois estas substâncias podem ocasionar o entupimento dos injetores, (MAN B&W 2009).

A segunda categoria é aquela baseada na atuação sobre os gases de descarga e é descrita a continuação.

e) Redução Catalítica Seletiva - Selective Catalytic Reduction (SCR)

- **Funcionalidade e objetivo:** é um sistema para o tratamento posterior de gases de escape, a tecnologia é usada há muitos anos em aplicações estacionárias que permite uma considerável redução nas emissões dos motores (ICCT, 2007). Tem por objetivo principal a redução das emissões de NO_x , HC e CO.
- **Componentes:** O sistema tem como componentes principais:
 - O Catalisador: com estrutura de favo, maximiza a superfície exposta aos gases; o material do catalisador fica sobre um suporte cerâmico;
 - O Reator: sua função principal é abrigar o catalisador; é feito de ferro;
 - O Soprador de fuligem: impede que o catalisador seja obstruído pela fuligem dos gases de escape;
 - A unidade de bombeamento: bombeia a uréia da cisterna para os outros componentes;
 - A unidade de dosagem: regulada por uma válvula de dosagem, proporciona a velocidade e a dose correta de uréia;
 - A unidade de controle: recebe sinais do motor sobre a carga do NO_x e calcula a quantidade de uréia a injetar.

- **Funcionamento:** O funcionamento consiste na mistura dos gases de escape com uréia ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) ou amoníaco (NH_3), antes de passar pelo catalisador, reduzindo o NO_x a H_2O e N_2 , (MAN B&W 2009); o processo ocorre segundo as reações químicas:



Na indústria marítima é preferível usar a uréia, pois o amoníaco é altamente tóxico; a uréia se apresenta em cristais brancos, mas para a reação se usa uma solução de 40% de uréia e 60% de água. A solução é injetada nos gases de escape; a água se evapora devido à alta temperatura e a uréia se decompõe em amoníaco e dióxido de carbono, (TREMULI P., 2008). A figura 4.5 mostra o processo químico da Redução Catalítica Seletiva da MAN B&W.

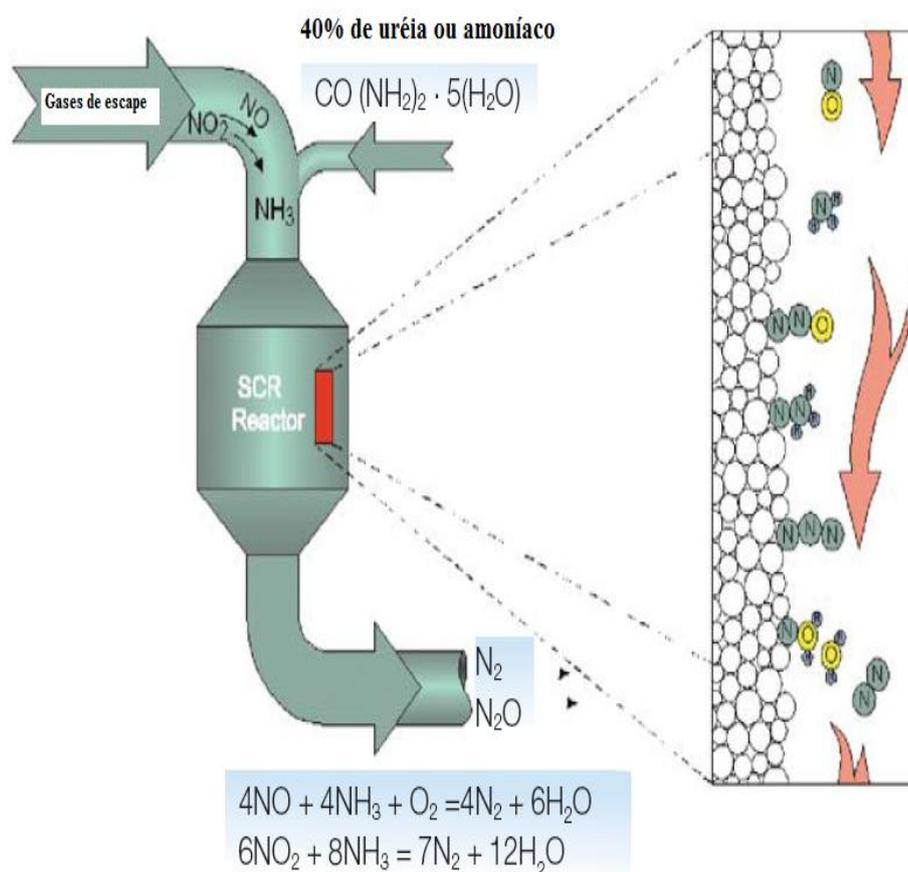


Figura 4.5 Processo da Redução Catalítica Seletiva (SCR). MAN B&W

O processo deve ocorrer entre 300 e 400 °C; caso a temperatura seja muito elevada, segundo a MAN B&W 2009, ocorreria a queima do NH₃ que não reagiria com o NO e NO₂. Se a temperatura for demasiado baixa a reação será muito lenta e a condensação do sulfato de amônio irá destruir o catalisador.

O catalisador deve estar situado entre o receptor de gases e o turbo compressor para que se possa manter a temperatura nos limites desejados. Consegue-se desta forma um ótimo processo no catalisador, como ilustrado na figura 4.6, com o esquema de SCR integrado a um sistema alimentador turbo.

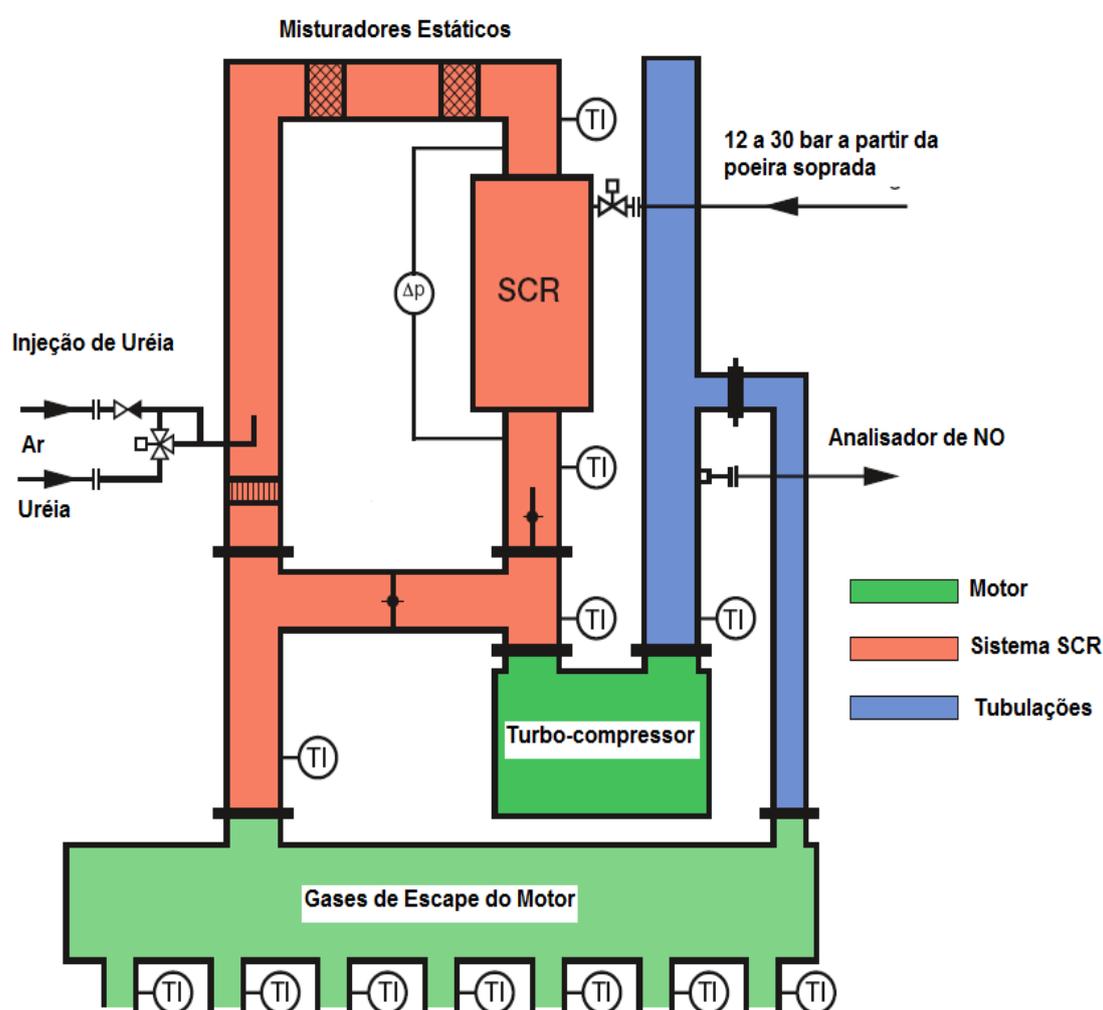


Figura 4.6 Esquema SCR, planta integrada com sistema de Turbo- alimentação da Wärtsilä

- **Resultado esperado:** O sistema para o tratamento posterior dos gases de escape, permite reduzir as emissões de NO_x em 90%, (EEB, T&E, SAR, 2004), além de reduzir as emissões de HC (hidrocarbonetos) e CO (monóxido de carbono) em 80 a 90% (EYRING et al. 2005b, ICCT 2007). Esta técnica requer que o combustível tenha baixo conteúdo de enxofre, porque a presença deste elemento afeta a durabilidade do sistema, (ICCT 2007).
- **Comentários finais sobre o sistema:** A Wärtsilä e a MAN empregam este sistema, oferecendo esta tecnologia tanto para navios novos como em uso. Otimiza-se a instalação propulsora, com o fim de conseguir benefícios financeiros e operativos, priorizando o cumprimento das normas internacionais, (Wärtsilä 2009, MAN B&W 2009).

f) Técnicas de recuperação de energia

Uma forma de redução do consumo de combustível e da emissão de poluentes se baseia em considerar todas as demandas de energia a bordo do navio, o que permite a utilização da energia disponível em um dos efluentes do motor principal no atendimento da demanda de outro uso final.

A Recuperação do calor Residual é uma medida lucrativa, e se mostra como uma das formas mais eficientes de redução das emissões, já que permite reduzir tanto o NO_x como o CO_2 . Esta medida já se encontra instalada nos motores da Wärtsilä, WASTE HEAT RECOVERY (WHR) e da MAN B&W, THERMO EFFICIENCY SYSTEMS (TES), possibilitando obter cerca de 12% da energia dos serviços a bordo.

O balanço térmico dos motores 12K98ME/MC da MAN B&W e 12RTA96C da Wärtsilä evidencia que dos 100% da energia do combustível, 49,3% são convertidos em potência do eixo; 25,5% saem com os gases de escape, outros 14,1% com a água de resfriamento do ar de lavagem, 6,3 % com a água de resfriamento das camisas do cilindro, 4,3 % com o óleo lubrificante e 0,6% na radiação. Esta energia recuperada é uma importante

fonte de recuperação de calor, especialmente quando se sabe que o consumo diário de combustível é de 300 toneladas para gerar 68640 Kw de potência

Apresenta-se, a seguir, uma descrição, dos sistemas WHR e TES.

I) THERMO EFFICIENCY SYSTEMS (TES)

O conceito, desenvolvido pela MAN B&W, apresenta como elementos fundamentais uma turbina a vapor (chamado de turbo gerador), uma turbina de potência e um gerador elétrico. O sistema pode ser usado para gerar eletricidade através da recuperação do calor residual sem afetar a potência de saída no eixo.

A turbina de potência é impulsionada pela parte do fluxo dos gases de escape dos cilindros que não passa pelos turbo compressores. Os gases que saem desta turbina, bem como aqueles que passam pelos turbo compressores, aquecem a caldeira para produzir vapor, o qual impulsiona a turbina acionadora do gerador elétrico, em conjunto com a turbina de potência. O sistema TES, esquematizado na figura 4.7, permite uma redução do consumo de combustível do navio e, com isto, uma redução das emissões.

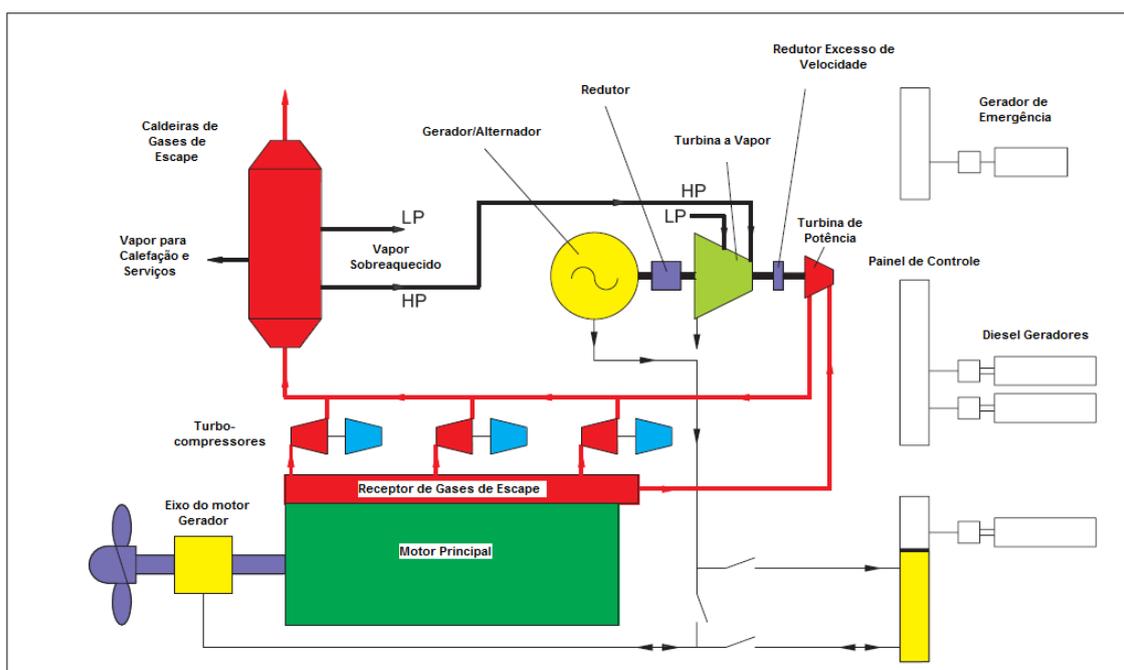


Figura 4.7 Conceito de THERMO EFFICIENCY SYSTEMS (TES) desenvolvido pela
MAN B&W

A MAN B&W oferece dois sistemas alternativos TES (1 e 2); a diferença é que um trabalha com um único estágio de pressão na turbina, propiciando uma redução de 8 a 10% no consumo de combustível, e o outro com dois estágios de pressão, com redução no consumo 9 a 11%, respectivamente.

II) WASTE HEAT RECOVERY (WHR)

O conceito desenvolvido pela Wärtsilä é semelhante ao TES e permite aumentar em até 12% a potência gerada pelo combustível. Esta potência pode ser adicionada ao eixo propulsor ou utilizada na geração de energia elétrica no navio. A energia assim gerada contribui para a redução nos custos de combustível, além de diminuir as emissões dos pelos motores.

A planta de recuperação de calor da Wärtsilä tem como componentes principais uma turbina a vapor, uma turbina de potência, um gerador, um economizador de gases. A planta também produz energia para serviços do navio ou aquecimento. O conceito de funcionamento é similar ao TES da MAN B&W, como pode ser visto na figura 4.8.

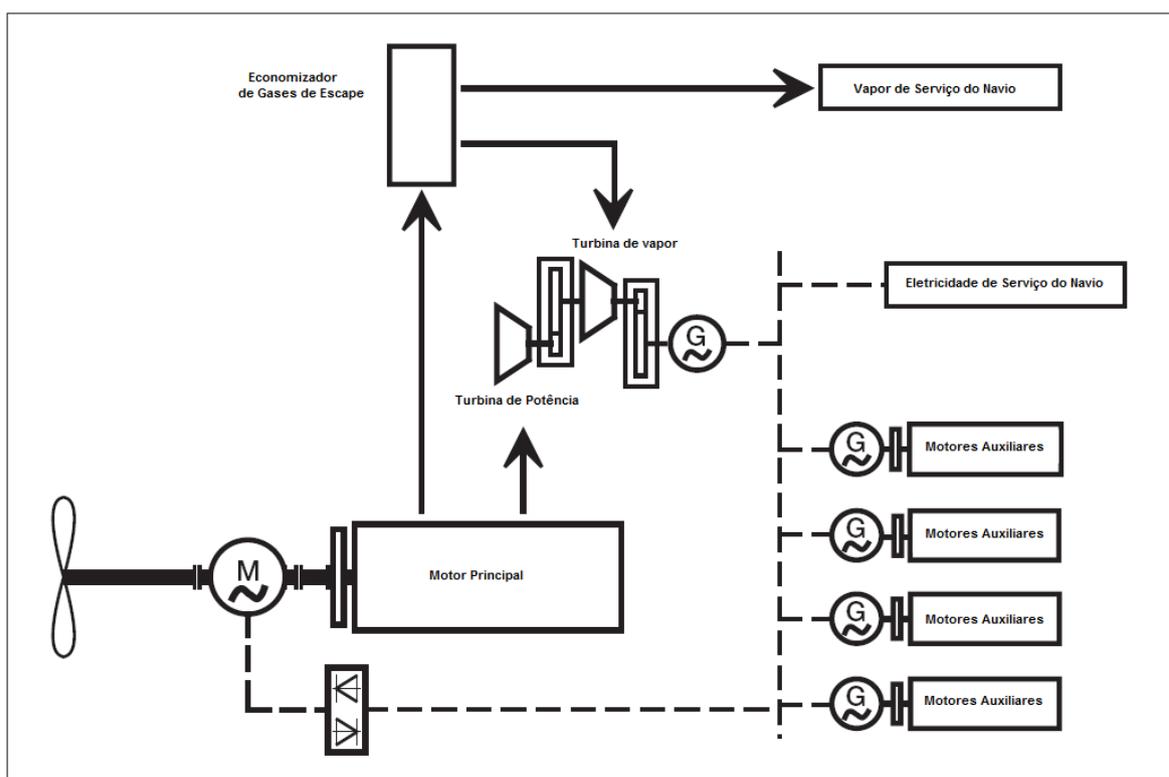


Figura 4.8 Conceito da WASTE HEAT RECOVERY (WHR) desenvolvido pela Wärtsilä

4.1.3 Terceira linha Uso de outras fontes de energia

A terceira linha das medidas tecnológicas se baseia em uma mudança radical, com a adoção de outras fontes de energia para substituição parcial ou total das instalações propulsoras convencionais.

a) O uso do LNG para a Redução das Emissões no Transporte Marítimo

A primeira alternativa não é muito radical, pois consiste no emprego dos atuais motores principais com outro combustível, o Gás Natural Liquefeito (LNG - Liquefied natural gás).

Este combustível é uma mistura de hidrocarbonetos, principalmente o metano, que se encontra no estado gasoso; para o seu emprego, o gás natural passa por um processo de liquefação. O LNG é de fácil transporte e armazenamento, em uma temperatura de -162°C , e na pressão atmosférica; este combustível tem uma redução de 600 vezes em seu volume, quando no estado líquido (HETLAND, ELINAR BRENDENG AND JENS, 2004).

A composição química do LNG varia segundo sua origem, de forma semelhante à que ocorre com o óleo diesel. A Tabela 4.2 ilustra a variação da composição do LNG em porcentagens de mol, segundo a sua origem geográfica.

Tabela 4.2 Composição do LNG de acordo com sua origem (Fonte:Liquid Metane Fuel Characterization and safety Assessment Report - 1991)

Origem	Metano	Etano	Propano	Butano	Nitrogênio
Alaska	99,72	0,06	0,0005	0,0005	0,20
Algeria	86,98	9,35	2,33	0,63	0,71
Baltimore Gás & Electric	93,32	4,65	0,84	0,18	1,01
New York City	98,00	1,40	0,40	0,10	0,10
San Diego Gás & Electric	92,00	6,00	1,00	-	1,00

O gás natural é excelente combustível para motores de combustão interna. O aspecto de interesse no caso é a sua contribuição para a redução das emissões, podendo-se apontar as seguintes características principais:

- Elevada porcentagem de metano (CH₄), hidrocarboneto com estrutura mais simples que as do óleo Diesel e do óleo pesado, e com maior proporção de átomos de hidrogênio em relação aos de carbono;
- Facilidade de se misturar com o ar, o que propicia uma mistura homogênea;
- Ausência de enxofre; portanto, não provoca emissões de seus óxidos.

Uma análise das conseqüências destas características é apresentada a seguir.

Geração de CO₂ - A quantidade de CO₂ liberado vai depender da composição estrutural dos hidrocarbonetos presentes nos combustíveis; quanto menor for a proporção entre átomos de carbono em relação aos de hidrogênio, menor será a participação de CO₂ nos gases de descarga do motor.

Apresenta-se uma comparação entre os produtos da combustão do metano com o da combustão do óleo diesel. Para fazer a comparação admite-se que a composição do diesel é C₁₂ H₂₆ e a do gás natural liquefeito é CH₄. Calcula-se o conteúdo de carbono dividindo o peso do carbono pelo peso total do combustível. Os resultados são:

$$\text{Diesel} \rightarrow \frac{12 \times 12}{(12 \times 12) + (26 \times 1)} = 0,85$$

$$\text{LNG} \rightarrow \frac{1 \times 12}{(12 \times 1) + (4 \times 1)} = 0,75$$

A primeira conclusão é que o conteúdo de carbono no diesel é de 85% enquanto no LNG é de 75%.

A análise deve ser estendida, considerando a diferença entre os valores de poder calorífico inferior (PCI) dos dois combustíveis:

- PCI do Diesel $42,7 \frac{MJ}{Kg}$.
- PCI do LNG $49,46 \frac{MJ}{Kg}$.

Resulta que para fornecer a mesma energia de 1 kg de LNG é necessário 1,16 Kg de óleo diesel.

Comparando as quantidades de CO₂ que serão produzidas com o fornecimento da mesma energia pelos dois combustíveis, tem-se:

- Óleo Diesel $\rightarrow 1,16 \times 0,85 \times \frac{44}{12} = 3,62$
- LNG $\rightarrow 1 \times 0,75 \times \frac{44}{12} = 2,75$

Assim, pode-se afirmar que o uso do LNG pode trazer uma redução de 25% da emissão de CO₂.

NO_x: Os óxidos de nitrogênio, como já visto no capítulo 2, são produzidos devido às altas temperaturas do nitrogênio (N) e oxigênio (O) no cilindro do motor. Motores a LNG geram menos emissões que os motores a diesel porque o ar e o LNG vêm pré-misturados e a combustão é muito mais rápida, e o NO_x tem muito menos tempo para se formar.

Segundo o Det Norske Veritas (The age of LNG is here) do ano 2010, a redução prevista na emissão de NO_x é da ordem de 85 a 90%.

SO_x: Como já se mencionou, a emissão de óxidos de enxofre é consequência do conteúdo de enxofre no combustível. No LNG a presença do enxofre é nula, não ocorrendo formação de óxidos de enxofre.

Material Particulado: O material particulado é consequência de uma combustão incompleta, além da presença de naftaleno, benzeno e alifáticos. O LNG não contém estas substâncias em sua composição; por isso, as emissões de material particulado são quase nulas (Creatieve Energie Transitie; 2009).

O questionamento do emprego do LNG como combustível nas instalações propulsoras de navios é relacionado à sua viabilidade econômica. Uma comparação entre os custos da construção de navios movidos a óleo pesado e a LNG indica que os custos da construção de navios a LNG são 30% mais elevados (Hetland, Einar Brendeng and Jens, 2004).

Esta questão é de suma importância e explica porque ainda não existe uma maior aplicação de LNG na propulsão de navios. O LNG poderá ser o combustível do futuro no transporte marítimo, mas para viabilizar seu uso massivo é necessário o desenvolvimento de diversos projetos, como por exemplo:

- Formas do fornecimento do LNG aos navios
- Infra-estrutura necessária para o fornecimento do LNG nos diferentes portos
- Normas de segurança nos portos.

b) Energia Eólica

A energia eólica (*Wind Power*), que é uma energia renovável, foi usada no transporte marítimo séculos atrás. Qualquer forma de aplicação do vento como assistente de propulsão é considerada um aproveitamento da energia eólica.

Com o surgimento da propulsão a carvão, petróleo e outras fontes de energia no transporte marítimo, a energia do vento foi sendo abandonada. Mas, a partir das crises do petróleo dos anos 70 e dos conflitos no Oriente Médio, as companhias de transporte marítimo passaram a valorizar a ajuda do vento para a propulsão marítima (CLAYTON, 1987).

Na atualidade existem muitas pesquisas sobre o tema, e já se encontram disponíveis no mercado diversas tecnologias para o aproveitamento do vento como fonte de propulsão; entre elas estão o uso de velas e de parapentes. A Figura 4.9 mostra diversas formas de aproveitamento do vento.

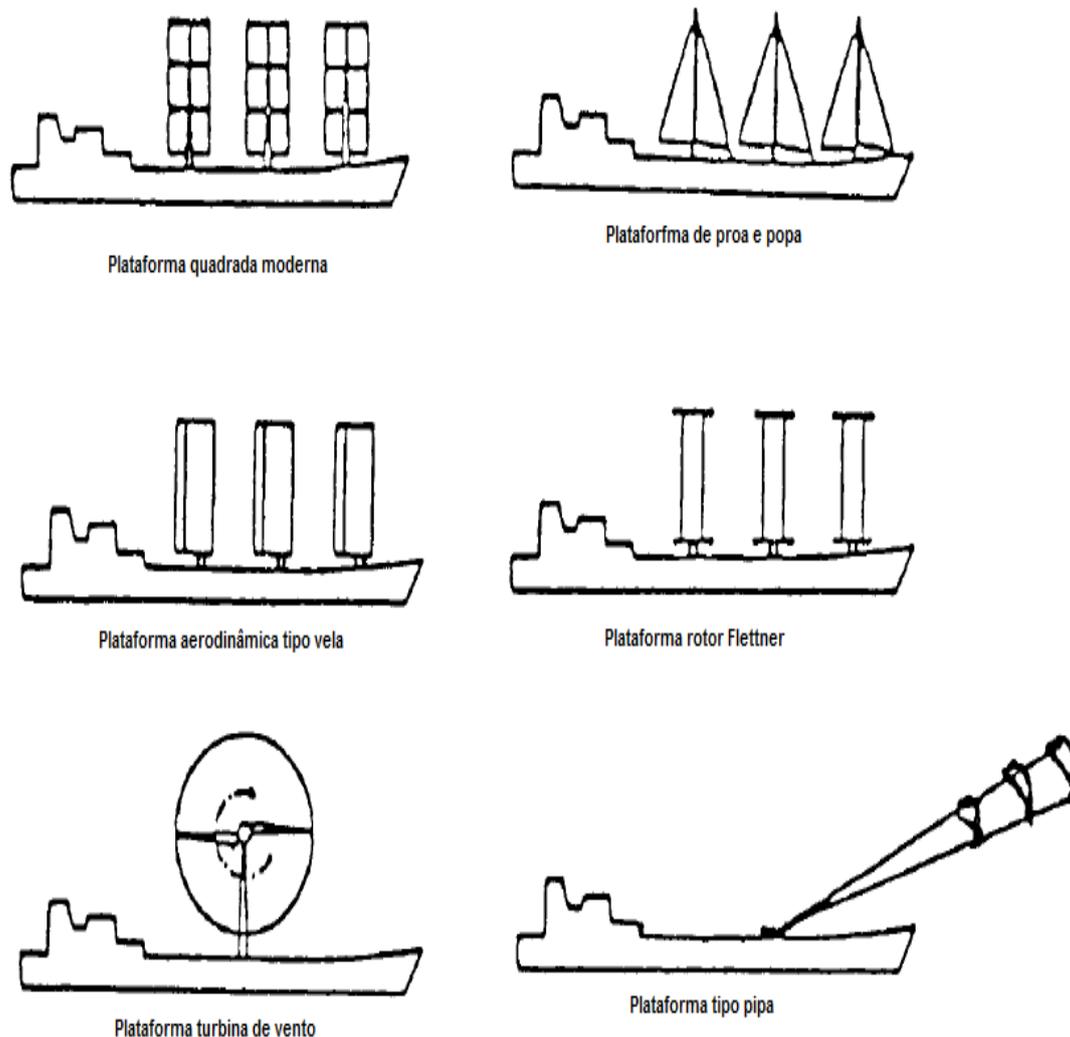


Figura 4.9 Formas de plataformas para aproveitamento da energia eólica

Entre as tecnologias de velas e pipas vistas na figura 4.9, a empresa SkySails conseguiu desenvolver a tecnologia com um parapente (pipa), criando um sistema de propulsão aerodinâmico fixado em uma estrutura sólida, que pode ser facilmente recuperado (Figura 4.10). As vantagens mais importantes são a redução dos gastos de combustíveis em até em 50% ou aumento da velocidade em 10%.



Figura 4.10 Plataforma tipo pipa aproveitada pela companhia SkySails

Estudos feitos sobre a matéria têm comprovado que a vela, de forma semelhante ao parapente, pode reduzir consideravelmente o consumo de combustível; a tecnologia pode ser aplicada a navios existentes, gerando uma redução de 8,3% no consumo de combustível, (SHUKLA P.; GHOSH K., 2009).

c) Propulsão elétrica (Electric Propulsion)

É uma medida tecnológica já usada em navios de porte médio, que consiste no emprego de motores diesel ou turbinas para acionar geradores elétricos, os quais fornecem energia aos motores que acionam os propulsores.

Uma variante desta tecnologia é conhecida como ALL ELECTRIC SHIP (AES). O termo se refere apenas a forma de como o navio é propelido e não sobre quais são os geradores de potência a bordo. Os navios usam diversos motores Diesel ou turbinas a gás acionando geradores elétricos, que fornecem potência para propulsão e cargas auxiliares. Esta tecnologia é adequada para navios com perfis diversificados de operação, com mudanças de velocidades de operação, como os de cruzeiros, ferries, e quebra-gelos. (HOBSON M. et al., 2007).

A propulsão elétrica tem como principal objetivo a redução do consumo de combustível, e sua principal característica é controlar a velocidade do navio por meio de motores elétricos (PEREIRA; BRINATI, 2006), otimizando o rendimento geral do propulsor e diminuindo a poluição.

Segundo a AEA Energy & Environment as vantagens principais deste sistema são:

- Redução de consumo de combustível.
- Aumento de confiabilidade por ter a bordo uma maior quantidade de motores pequenos;
- Rotação constante dos grupos geradores, o que propicia um melhor rendimento dos motores.

O emprego da tecnologia AES pode reduzir o consumo de combustível de 8% no mínimo para navios que operam em velocidade variável, (HOBSON M. et al. 2007).

A Wärtsilä reconheceu a viabilidade de propulsão elétrica para os navios transportadores de gás natural. A solução consiste em uma planta de propulsão dual, alimentada por gás natural e combustível líquido (petróleo), constituída por quatro conjuntos diesel - geradores elétricos. Um esquema desta instalação pode ser visto na figura 4.11. O número de geradores empregados depende do navio e da velocidade que se quer atingir.

As emissões produzidas pelo sistema da Wärtsilä são muito menores que as geradas anteriormente para o mesmo tipo de navio. Tomando como referência a propulsão elétrica dual, as turbinas a vapor produzem aproximadamente 99% a mais de SO_x e os motores de dois tempos produzem aproximadamente 135%. Para o caso de CO_2 o motor de dois tempos produz aproximadamente 25% a mais que a propulsão elétrica dual e as turbinas a vapor produzem aproximadamente 40% a mais que a propulsão elétrica dual. Para o caso de NO_x o motor de dois tempos produz aproximadamente 90% a mais que a propulsão elétrica dual, e as turbinas a vapor produzem aproximadamente a mesma quantidade deste poluente. Estes dados estão ilustrados na figura 4.12 e na tabela 4.3.

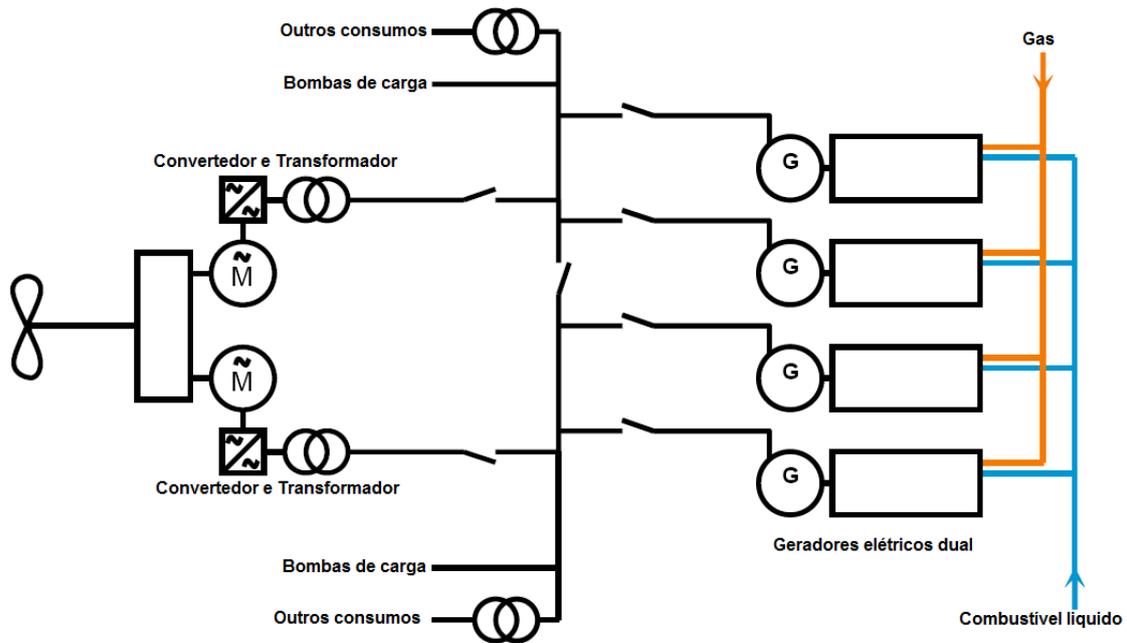


Figura 4.11 Instalação propulsora elétrica dual da Wärtsilä

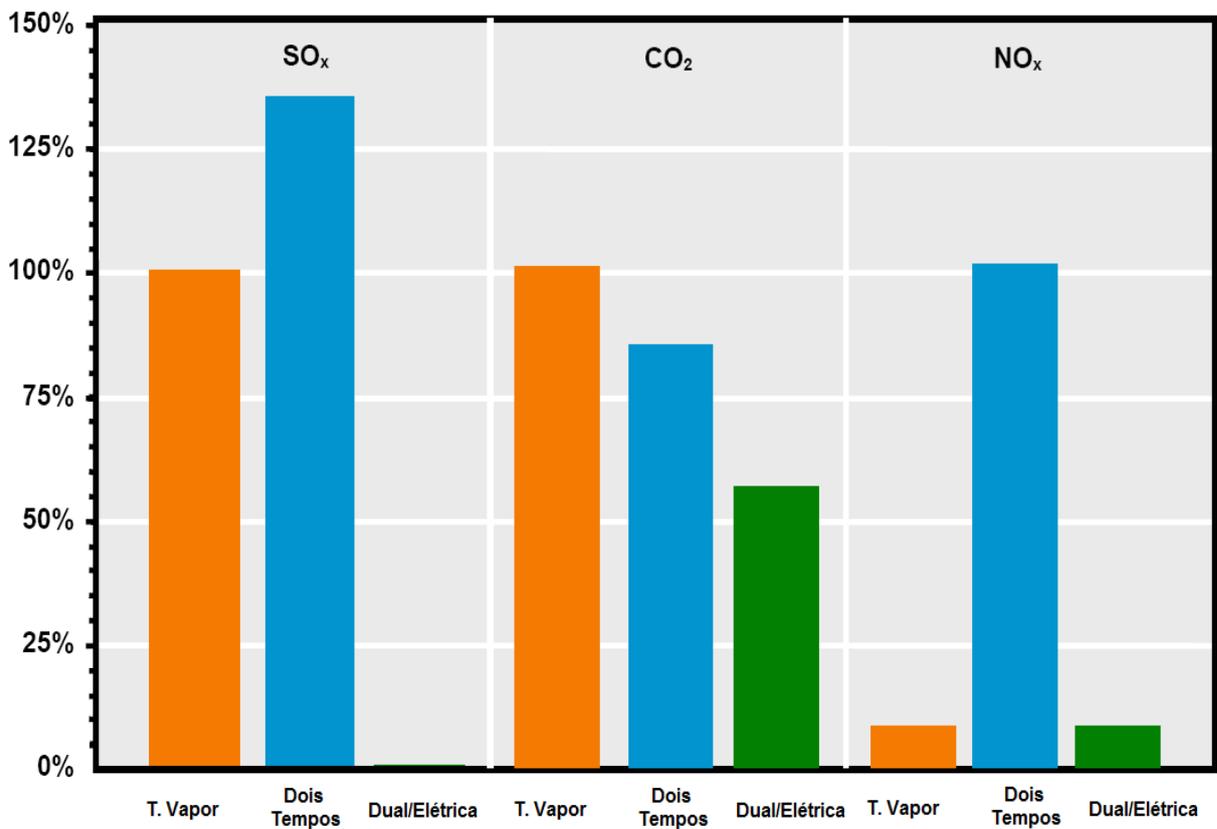


Figura 4.12 Comparação da emissão de poluentes (SO_x, CO₂, NO_x) com diferentes tipos de instalação

Tabela 4.3 Comparação de SO_x, CO₂, NO_x dos diferentes tipos de instalação

	SO _x	CO ₂	NO _x
Turbina a vapor	100%	100%	10%
Dois tempos	135%	85%	100%
Dual elétrica	1%	60%	10%

d) As Células de combustível (Fuel Cell)

É um dispositivo eletroquímico que converte diretamente a energia química em eletricidade e calor. Os componentes principais são dois eletrodos, anodo e catodo, separados por um eletrólito. Este dispositivo combina o combustível (Hidrogênio) com o oxidante (Oxigênio) para produzir corrente elétrica contínua. O combustível oxidado no anodo libera elétrons que fluem pelo circuito até o catodo, (KIRUBAKARAN, SHAIENDRA JAIN, R.K. NEMA, 2009).

As células de combustível são similares às baterias; a diferença é que o combustível e o oxidante são armazenados fora da célula.

A grande maioria das células de combustível é a base de hidrogênio, por ser o reagente mais adequado. Porém, este gás tem custo elevado, e não está disponível em quantidades significativas, além do seu difícil armazenamento devido à sua densidade (FONTELL E, 2003), e exigir tanques grandes. Este é um dos principais problemas de sua aplicação no transporte marítimo, onde a disponibilidade de espaço é prioritária.

Para superar o problema mencionado, estão sendo conduzidas pesquisas com combustíveis alternativos para funcionar com esta tecnologia. São combustíveis ricos em hidrogênio (metanol, gás natural, gasolina e gásóleo), que são combustíveis com maior densidade e de fácil armazenagem.

A figura 4.13 mostra um esquema da célula de combustível, em que a reação do hidrogênio gera a formação de água por via eletroquímica.

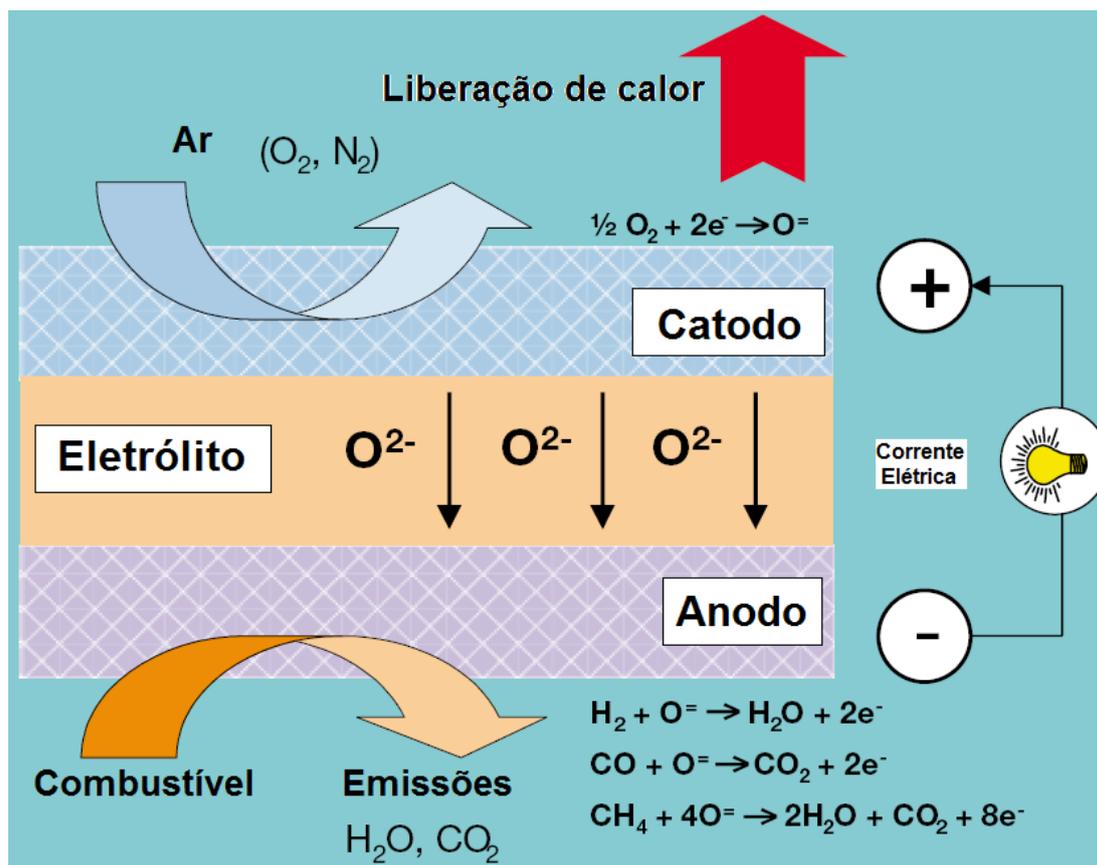


Figura 4.13 Reação da célula de combustível para formar eletricidade

Como a indústria marítima está cada vez mais pressionada para reduzir as emissões, os níveis baixos das emissões oferecidas pelas células de combustível constituem uma potencial opção para seu emprego em navios. Além disso, ainda há vantagens no aumento da eficiência e na redução de vibrações, (FONTELL E, 2003). Os benefícios ambientais consistem na redução das emissões de SO₂, NO_x, material particulado, assim como os impactos por acidificação e eutrofização, (M. ALTMANN, M. WEINBERGER, W. WEINDORF, 2004). A questão que se coloca é sobre a viabilidade da célula de combustível em sustentar a navegação de um navio para viagens internacionais.

Segundo estudo de SATTLER G (2000), é difícil mudar radicalmente a concepção de emprego dos motores de combustão interna, mas as células

oferecem um grande potencial para o uso em navios, em aplicações específicas como:

- Fonte de alimentação elétrica de emergência
- Geração de energia elétrica em portos, canais e zonas especiais
- Geração de potência para propulsão, combinado com os MCI
- Iluminação

Esta tecnologia pode ser muito eficaz no setor marítimo e contribuir com os objetivos de longo prazo da OMI de redução das emissões geradas pelos motores de combustão interna. Na atualidade, as células de combustível são uma tecnologia chave para aumentar a eficiência energética e mudar a concepção dos navios (ANDUJAR, SEGURA; 2009).

e) Energia Solar

Esta tecnologia aproveita a energia proveniente do sol, captada por painéis formados por células fotovoltaicas, que transformam a energia incidente em energia elétrica ou mecânica. No Transporte Marítimo é pouco utilizada por seus custos elevados de instalação. Um exemplo do uso desta tecnologia é encontrado no navio cargueiro “Auriga Leader”. Neste navio, ilustrado na Figura 4.14 obtém-se 10% da energia total com o uso de 328 placas solares instaladas no convés principal.



Figura 4.14 Painéis Solares no cargueiro NYK Auriga Leader eleito o “Navio do Ano” pela Premiação Global 2009 da Lloyd’s List

Cada painel é capaz de gerar a potência de 40 kW. Com a geração de 400 kW de fonte solar o navio consegue reduzir o consumo do combustível em 10% e conseqüentemente as emissões de gases dos motores.

Esta é uma boa forma de reduzir o consumo de combustível, mas há restrições de aplicação. Os painéis solares só poderiam ser instalados em navios com convés principal livre, e o custo de instalação é muito alto.

4.2 Adoção de Medidas Operacionais

As medidas operacionais se relacionam tanto com o programa de manutenção como com a programação de viagens. Elas afetam diretamente o consumo de combustíveis.

4.2.1 Programa de manutenção

o aspecto relevante é a consideração da rugosidade do casco e do hélice. Os efeitos da rugosidade do casco e hélice têm importância tanto econômica como ambiental, pois o aumento da rugosidade destes componentes resulta em aumento da potência requerida da máquina principal. Com o acréscimo de potência requerida há maior consumo de combustível para manter a velocidade do navio, e o conseqüente aumento dos gases emitidos.

A rugosidade das chapas do casco depende de componentes de duas naturezas: física e biológica.

- Física: atribuída às qualidades de produção do aço e do processo de soldagem, processo de pintura, danos mecânicos ocorridos durante a operação, corrosão, sujeira, etc.; ela depende muito da qualidade dos métodos utilizados pelo estaleiro;
- Biológica: resultam da ação de microorganismos e de incrustações; também depende do tipo de tratamento anti-incrustante aplicado ao casco no estaleiro.

As considerações acima também valem para a rugosidade das pás do hélice.

Townsin. et al. (1981) mostram em seu estudo que a rugosidade das chapas do casco e das pás do hélice aumenta com o transcurso dos anos, com efeitos sobre a velocidade do navio.

A Figura 4.15 mostra que sem alterar a potência do motor, há uma redução da velocidade de serviço, medida que a rugosidade aumenta (WILLSHER J. 2004).

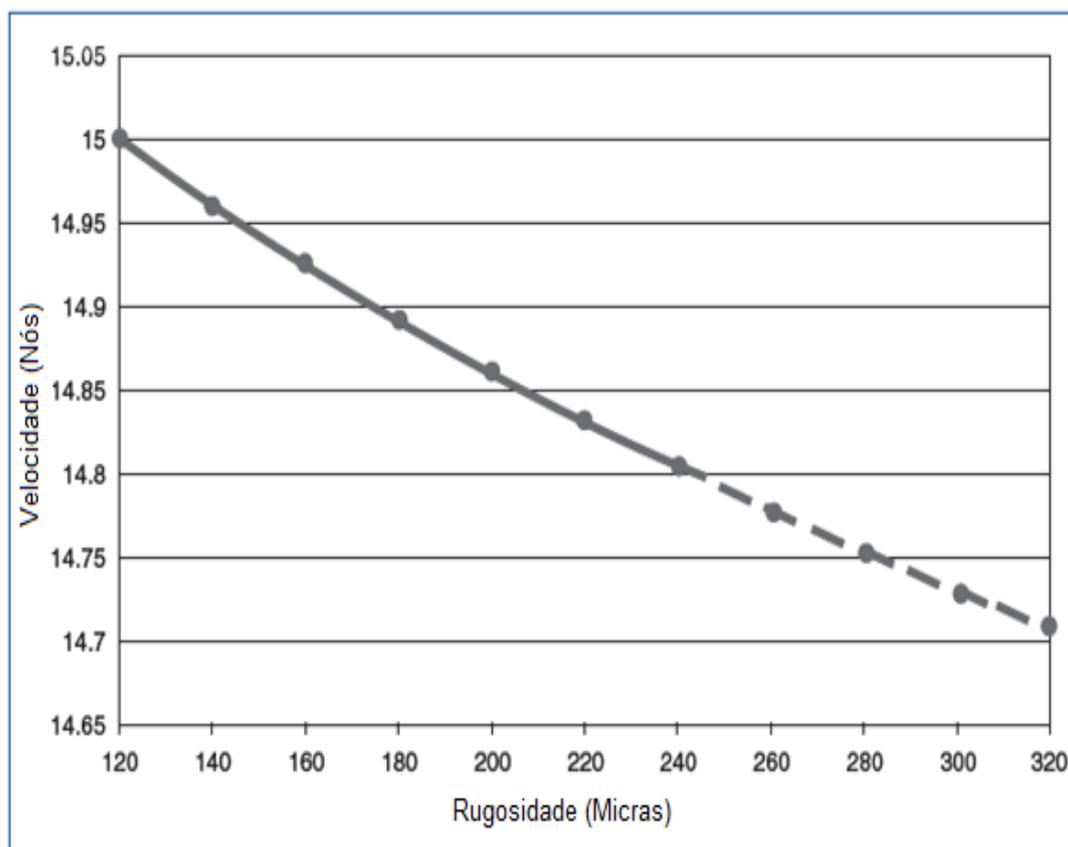


Figura 4.15 Velocidade do navio em função da Rugosidade do Casco, a potência constante

Na Figura 4.16 verifica-se que a potência do motor e o consumo de combustível do navio aumentam com o aumento da rugosidade.

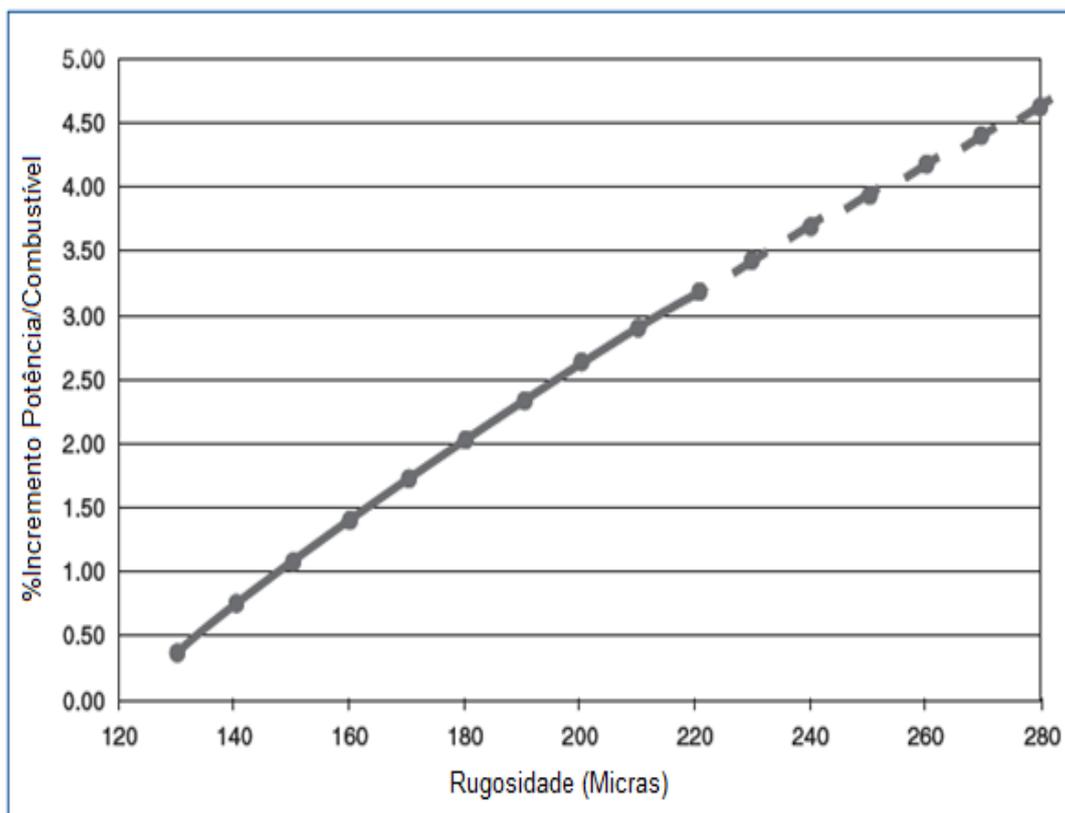


Figura 4.16 Incremento de Potência/Combustível em função da Rugosidade do Casco

Para atenuar os efeitos da rugosidade é preciso aplicar um plano de limpeza do casco e de polimento do hélice; consegue-se assim reduzir significativamente a resistência de atrito do casco e recuperar a eficiência do hélice. Este plano não depende das docagens do navio, podendo ser empregado durante as operações de descarga e carga nos portos.

A OMI recomenda outras medidas interessantes que poderiam levar os navios a uma redução do consumo do combustível. Uma correta manutenção conduz a uma menor resistência para cascos em serviço.

Um navio ingressa em média em um dique seco a cada cinco anos; a rugosidade do casco aumenta cerca de 20% após cada docagem; portanto um navio de dez anos que passou por duas docagens tem uma rugosidade 40% superior a do navio novo, com um conseqüente aumento do consumo de combustível de 3 a 4 %, (OMI, 2000).

A empresa “INTERNATIONAL MARINE COATING” vem pesquisando recobrimentos de casco de navios que imitem a pele dos animais marinhos,

como os tubarões. Com esta tecnologia, poderia gerar menor resistência ao avanço, com redução do consumo de combustível de 4 a 8 %, (AEA, 2007), já que esta resistência, chamada também friccional, depende da área molhada do casco, e é influenciada principalmente pela rugosidade.

A correta manutenção do hélice, com polimento periódico das pás, pode reduzir o consumo de 1 a 3% (OMI, 2000).

4.2.2 Planejamento de viagens

Seleção adequada de rota,

A velocidade do navio é afetada pelas variações nas condições meteorológicas, correntes marítimas e fator climático externo que afete a resistência ao avanço do navio. Assim, nem sempre a rota mais curta é a melhor, pois o navio vai depender das condições meteorológicas e de uma correta análise da rota mais conveniente para que se tenha menor consumo de combustível. Na atualidade é possível uma redução de 2 a 4% no consumo, com o emprego de tecnologia disponível no mercado, constituída por equipamentos com sistemas de vigilância da navegação, clima, ondas, estimando clima e condições do mar em tempo real.

Trim do navio ótimo

O ajuste do trim para um dado calado do navio pode proporcionar aumento de velocidade com potência constante do motor. Para isso é preciso um balanço do lastro, carga e combustível. A redução possível no consumo de combustível situa-se entre 0,1 e 1% do consumo total no trajeto.

Mínimo lastro

O uso de lastro para garantir condições de estabilidade da embarcação influencia muito o plano de distribuição de cargas do navio. O uso de um excedente de lastro implica aumento de calado, maior superfície molhada e, em conseqüência, uma maior resistência. A manutenção de lastro mínimo pode reduzir o consumo do combustível de 0,1 a 1%.

Hélice de passo controlável

Para navios que possuem hélice de passo controlável, o cálculo do passo ótimo para uma dada condição de navegação pode reduzir o consumo do combustível de 0,1 a 2% do consumo total no trajeto.

Ajuste ótimo do leme

O correto ajuste do ângulo do leme, com variações pequenas do ângulo, pode reduzir o consumo do combustível de 0,1 a 0,3% do consumo total no trajeto.

Planejamento adequado da frota

O melhor aproveitamento da frota, com planejamento adequado das viagens, resulta em redução do consumo de combustível e de emissões de poluentes. As empresas de navegação procuram otimizar a operação de sua frota, evitando que navios voltem ao porto de origem sem carga, apenas com água de lastro.

A carga mista tem como propósito conseguir maior utilização dos espaços de carga, maximizando a capacidade do navio, e obtendo maior tonelagem transportada por distancia navegada e combustível consumido.

Tempo reduzido em porto

A permanência no porto pelo menor tempo possível, com aumento do tempo de navegação a uma menor velocidade, depende da eficiência na manipulação da carga. Um planejamento otimizado com o mínimo de movimentações pode reduzir o consumo de combustível de 1 a 5%.

Além do planejamento do navio, o porto deve proporcionar facilidades e comodidades aos navios; por exemplo: tecnologia para a manipulação de carga com guindastes de ultima geração.

É necessário reduzir os tempos de espera dos navios para operações de descarga e carga. Há portos em que o tempo de fila é de um dia, mas há outros em que a fila é de mais de cinco dias, permanecendo o navio fundeado, consumindo combustível para os grupos geradores e produzindo emissões.

Outras medidas não mencionadas pela OMI, também poderiam proporcionar uma redução do combustível, como o planejamento ou gestão da energia usada a bordo, desligar lâmpadas desnecessárias, uso de iluminação eficiente, sem afetar a segurança do navio; empregar outras fontes de energia, como as células de combustível para a iluminação a bordo.

Interação Porto Navio

Os navios, quando terminam a manobra de atracação, desligam os motores principais e mantêm em operação os grupos diesel - geradores para fornecer energia elétrica a bordo. Tais conjuntos diesel-geradores operam com combustível de conteúdo de enxofre muito alto, gerando quantidade muito elevada de SO_x na área portuária e zonas adjacentes, inclusive em áreas urbanas.

Uma medida que vem sendo tomada há alguns anos é a alimentação elétrica do navio com a eletricidade em porto. Esta medida é tomada quando o navio realiza suas operações de carga e descarga, mas nem todos os portos oferecem essa facilidade. A opção permite que se reduzam as emissões nas proximidades da costa.

Para que esta medida torne-se efetiva, os portos devem ter capacidade suficiente para fornecer energia elétrica a todos os navios atracados. Com esta medida poderá se reduzir as emissões de SO_x, NO_x, CO₂ e material particulado em até 90% nos portos (EEB, T&E, SAR, e NGO; 2008).

Na União Européia, em 2006, foi recomendado o uso para navios atracados da eletricidade do porto, prática adotada nos Estados Unidos, com o programa "Portos limpos nos EEUU".

Na Califórnia, nos EEUU, foi adotada uma norma de combustíveis para motores principais e auxiliares, em que a partir do ano 2007 os usados nestes equipamentos deverão ter um conteúdo de enxofre não maior que 0,5%, e só deverão começar a funcionar quando estiverem a 24 milhas de costa. Além disso, as autoridades estimavam a redução do teor enxofre para 0,1% em 2010, (ICCT, 2007).

4.3 Revisão dos conceitos de dimensionamento da frota

Um dos fatores que contribuem para o aumento do consumo de combustível é o emprego de navios com altas velocidades. Especificamente, para os navios porta contêineres houve um grande aumento na velocidade de projeto.

A capacidade de transporte de uma frota depende do número de navios, da capacidade de carga de cada navio e das correspondentes velocidades. Se uma empresa de navegação precisa atender uma dada demanda anual de transporte, ela pode atingir sua meta com navios de determinada capacidade, combinando diferentes alternativas de número de navios e velocidades de serviço. A decisão da escolha da alternativa depende de como se prioriza os critérios a serem seguidos. Certamente, se forem priorizados os critérios de redução do consumo de combustível e de emissão de poluentes, deverá ser revista a atual escolha por navios com velocidades muito altas.

O aproveitamento das medidas operacionais como eleição correta da rota, redução da velocidade, planificação da frota, etc. poderá reduzir as emissões em até 40%. Uma diminuição da velocidade de 10% pode proporcionar redução do consumo do combustível de 25%, (UNCTAD, 2008).

Redução da velocidade

Nos últimos tempos, o aumento abrupto no preço do combustível, afetou o orçamento das companhias marítimas. Para poder lidar com o aumento do custo operacional, as empresas tomaram algumas medidas, como o planejamento das rotas e diminuição da velocidade de serviço dos navios. Esta segunda medida produziu uma considerável redução do consumo de combustível, assim como de emissões, porque a redução da velocidade do navio reduz substancialmente a potência requerida. Por exemplo, uma redução de 4 nós na velocidade de um porta contêiner pode representar uma redução de até 50 % na potência requerida, (NUÑEZ J., BRINATI H., 2008). Segundo outra referência, uma diminuição da velocidade de 10% pode proporcionar a redução do consumo do combustível até em 25%, (UNCTAD, 2008).

Aumento do tamanho dos navios

O aumento do tamanho dos navios é uma opção interessante para reduzir custos de operação, já que com navios maiores há uma redução no número de viagens. O aumento do tamanho do navio tem como resultado uma redução do consumo do combustível, que não aumenta proporcionalmente ao aumento do deslocamento dos navios. A figura 4.17 mostra uma comparação dos custos operacionais de um navio Panamax e um Post-Panamax; pode-se verificar que, apesar do navio Post-Panamax ter uma capacidade de carga de 2,5 vezes da do navio Panamax, o consumo de combustível só aumenta em 50%.

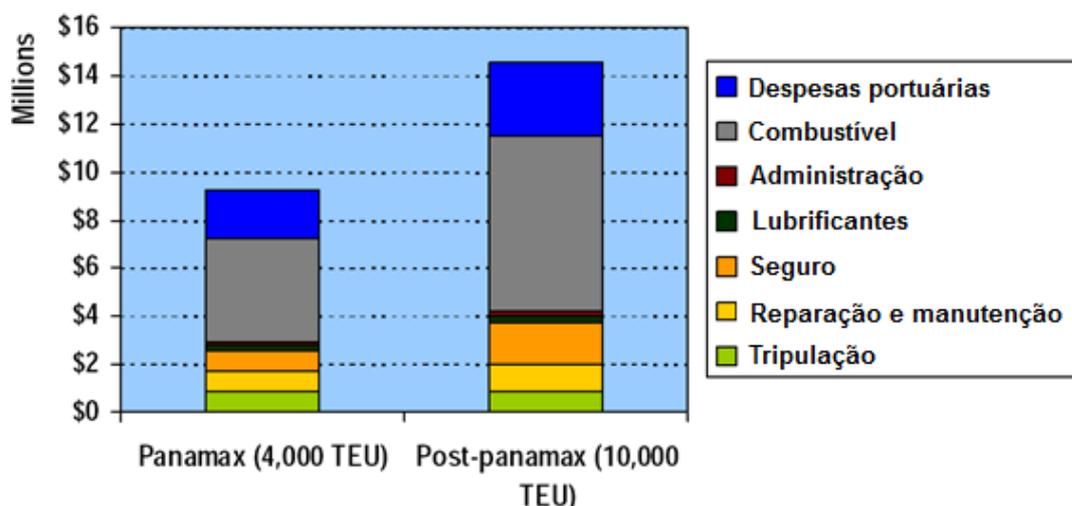


Figura 4.17 Comparação dos custos operacionais de um navio Panamax e um Post-Panamax

Esta medida foi adotada com o objetivo de reduzir o consumo de combustível por tonelada transportada vezes cada milha percorrida, reduzindo custos operacionais dos navios e colaborando com a redução das emissões geradas pelos motores. Evidentemente esta medida tem limitações diversas, como, por exemplo, as rotas possíveis limitadoras do calado, e estruturais como o insucesso dos super petroleiros das décadas 70 e 80 do século passado, etc.

CAPÍTULO 5

AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS PARA REDUÇÃO DAS EMISSÕES

No capítulo anterior foram apresentadas diversas alternativas para redução da emissão de poluentes. Neste capítulo são expostas as alternativas que o autor considera as mais promissoras para atingir o objetivo pretendido. São selecionadas as melhores opções que contribuem para a redução das emissões de gases, entre as medidas tecnológicas, operacionais e de dimensionamento de frota. Algumas destas alternativas podem ser aplicadas aos navios existentes, enquanto que outras só podem ser aplicadas no projeto de navios novos. Como referência para análise do problema, é discutida uma nova concepção de projeto para o transporte marítimo.

5.1 Considerações Preliminares

Antes de selecionar as alternativas mais promissoras para a redução das emissões de gases geradas pelo transporte marítimo, é importante ressaltar que o problema é bem mais amplo. É necessário de fato efetuar uma revisão completa do projeto conceitual dos navios, de modo que o transporte marítimo não seja um fator relevante de impactos ambientais.

Como foi visto no capítulo 2, os gases de descarga dos motores de propulsão e auxiliares não são o único poluente gerado pelas embarcações marítimas. Há outros resíduos com efeitos igualmente prejudiciais: resíduos oleosos, água de lastro, águas residuais, águas cinzas, resíduos sólidos – lixo - e pintura dos navios.

Todos os profissionais que trabalham na indústria de construção naval e de transporte marítimo deveriam se mobilizar para o objetivo de se obter um “navio ecológico”, isto é, uma embarcação que não gere resíduos e assim garantir um “Transporte Marítimo Sustentável”. Então, a pergunta que se coloca é: como chegar a ter um navio ecológico sustentável para o meio ambiente?

O conceito de navio ecológico começa na fase do projeto, passa pela construção, e se completa com as fases de operação e reciclagem, isto é, durante todo o ciclo de vida do navio, conforme mostrado na Figura 5.1. Assim, o navio deve ser projetado, construído, operado e reciclado, de tal maneira que não gere impactos prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana durante seu ciclo de vida.

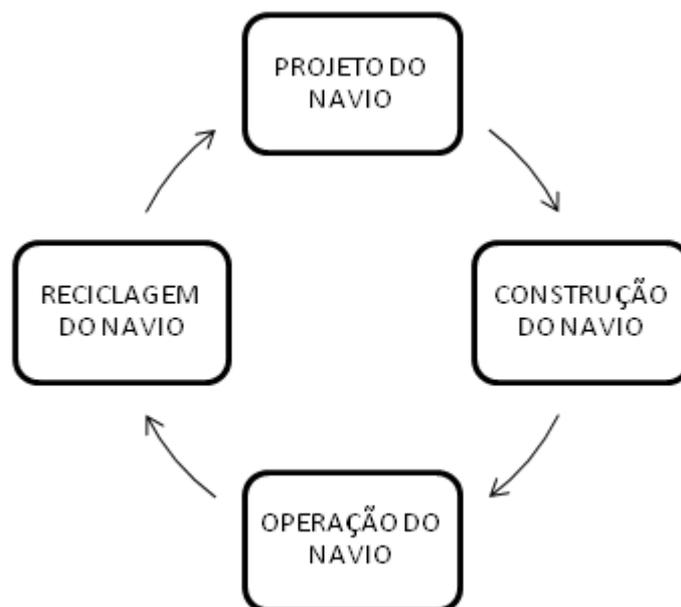


Figura 5.1 Ciclo de vida do Navio

A indústria naval tem crescido em ritmo acelerado nos últimos anos, e o foco do projeto do navio foi se alterando ao longo do tempo. Inicialmente, o projeto se baseava em um conjunto de fórmulas empíricas que permitiam determinar as diversas características do navio, como resistências, estabilidade, esforços estruturais, potência da instalação propulsora, etc., e tinha como foco principal a segurança e a economia da embarcação.

Depois, a arquitetura naval foi mudando, se adaptando à era do computador. Os programas computacionais permitiram empregar métodos científicos mais precisos, mas o foco do projeto continuou sendo a segurança e economia do navio. Assim, o produto final eram navios seguros, econômicos, confiáveis e eficientes.

Na atualidade a construção naval é uma associação da teoria com dados empíricos de projetos anteriores e novos programas de computação. É

importante ressaltar que o foco do projeto mudou, de maneira que se considera na construção naval, além das características do projeto como segurança, confiabilidade, eficiência e economia, também os **“aspectos ambientais de prevenção da contaminação”**. Esta mudança no enfoque do projeto é mostrada na Figura 5.2

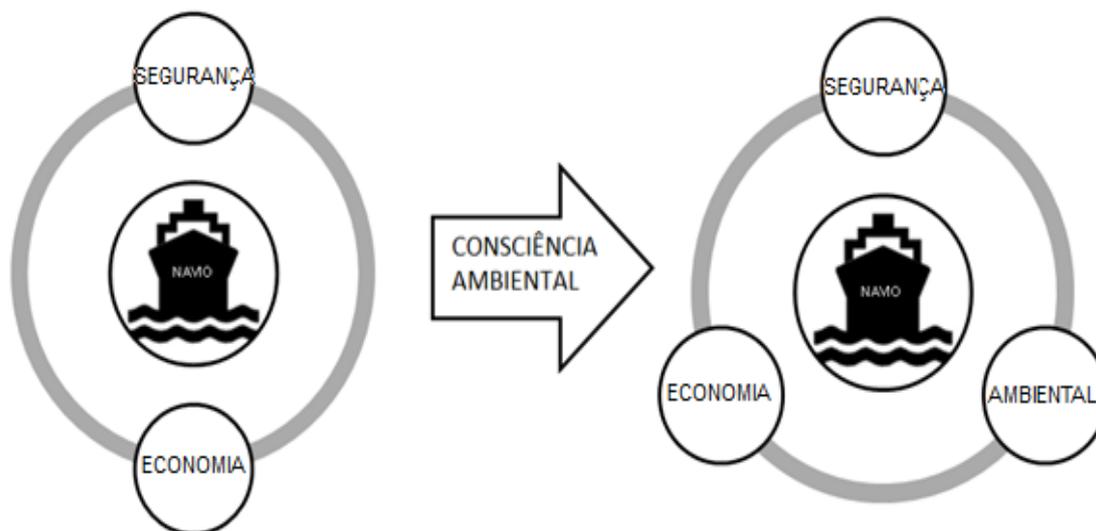


Figura 5.2 Focos do Projeto do Navio

A fase de projeto é uma das mais importantes, pois nesse momento o engenheiro poderá levar em consideração todos os critérios acima mencionados. A introdução do critério ambiental no projeto do navio deverá levar a uma solução integral para cada um dos problemas ambientais que o navio poderia gerar durante sua vida útil. Entre as alternativas existentes no mercado para lidar com cada tipo de contaminação, o engenheiro deverá selecionar e apresentar ao armador as soluções mais adequadas para produzir um navio “amigável com a natureza”, que realize a função de transporte especificada sem aumentar o tempo destinado para sua tarefa.

5.2 Avaliação das medidas tecnológicas

A tabela 5.1 apresenta a primeira linha das medidas tecnológicas, os benefícios da otimização das formas do navio e do projeto do hélice.

Tabela 5.1 Benefícios da otimização do projeto do navio

Medida Tecnológica	Redução de consumo de combustível e de emissões
Otimização do Casco	5 %
Otimização do Hélice	5 %

Os ganhos representados nesta tabela representam uma avaliação crítica das alternativas expostas na subseção 4.1.1. Como para projetos mais recentes de casco já existe uma grande preocupação na geração das linhas para minimizar a resistência, não se deve esperar redução da potência tão grande como sugerida por algumas referências, tais como OMI 2000 com uma redução de 4 a 8%.

O ganho de eficiência, com projetos de hélices adaptados á esteira, objeto de pesquisas recentes, pode representar uma redução significativa na potência requerida.

A segunda linha se concentra diretamente na redução das emissões de NO_x , e no aumento da eficiência do motor e de recuperação de energia para aumentar a eficiência global do navio.

Em relação à redução das emissões de NO_x , analisa-se as alternativas considerando os critérios de custo de implantação, eficiência do processo, nível de emissões, e facilidade/ viabilidade de implantação.

Todas as tecnologias apresentadas para a redução do NO_x podem ser empregadas tanto em motores novos, como em motores em uso. Na atualidade, os fornecedores de motores oferecem a possibilidade de escolher a

configuração de instalação propulsora com a tecnologia que o armador deseje, e assim atingir os limites impostos pela OMI. Porém, uma análise mais cuidadosa do problema indica que para motores novos a melhor tecnologia é o Motor de Ar Úmido (HAM). Esta alternativa corresponde a um sistema econômico, não prejudicial à operação no motor e, principalmente, é capaz de reduzir em até 80% as emissões de NO_x .

Para motores existentes a melhor tecnologia para a diminuição das emissões de NO_x é a Redução Catalítica Seletiva. Trata-se de sistema para o tratamento posterior dos gases de escape, que não requer alterações na configuração da instalação propulsora. O tratamento é muito efetivo já que reduz as emissões de NO_x em até 90%. Adicionalmente, reduz as emissões de HC (hidrocarbonetos) e CO (monóxido de carbono) entre 80 e 90%. As qualidades acima apontadas fazem que esta tecnologia seja a mais adequada para os navios em uso que não tem tratamento de gases, mais isso não significa que ela não possa ser utilizada também em navios novos.

Quanto à redução de SO_x , a melhor política é usar um combustível com menor conteúdo de enxofre. O uso de combustíveis com 1% de enxofre reduziria as emissões de SO_x em 60% e com 0,5% geraria uma redução de 80%.

A adoção de normas mais severas de controle ambiental permite reduzir de uma forma substancial as emissões de gases. Com uma atuação conjunta, envolvendo projetistas de navios, fornecedores de motores, armadores e, principalmente a indústria dos destilados de petróleo, será possível empregar combustíveis de melhor qualidade para uso marítimo e reduzir as emissões de gases prejudiciais.

Em relação à recuperação de calor, há um potencial que deve ser aproveitado. Considerando que 25% da energia do combustível estão presentes nos gases de descarga, o uso de parte desta energia para produção de energia elétrica ou mecânica, ou ainda para condicionamento dos ambientes do navio, reduziria o consumo de combustível, com conseqüente redução da emissão não só de NO_x , mas também de CO_2 , material particulado e SO_x .

Considerando como dominante o critério ambiental, o processo de recuperação de energia deverá ter uma aplicação extensiva nas embarcações marítimas.

A recuperação de calor residual pode ser aplicada tanto em navios novos como em navios existentes, exigindo algumas modificações no arranjo da sala de máquinas. É preciso ter espaço disponível para instalar os diferentes equipamentos de um sistema de recuperação de energia dos gases de descarga. Porém, os custos de instalação são amplamente superados pela redução do custo operacional resultante da redução de consumo de combustível entre 8 e 11%.

A terceira linha das medidas tecnológicas está relacionada com o uso de outras fontes de energia. É uma medida radical, com horizonte mais distante para sua aplicação.

A alternativa mais atraente em curto prazo é o uso de motores operando com LNG. O uso deste combustível oferece alto potencial de redução na emissão de gases, da ordem de 25% para CO₂, de 85 a 90% para NO_x, e 100% para SO_x.

É interessante a combinação das atuais configurações de instalações propulsoras com fontes de energia renovável, como a eólica e a solar. No caso da energia solar, a sua utilização depende do espaço disponível no navio para instalação de painéis, pois a quantidade de energia absorvida depende da quantidade de placas instaladas. Uma desvantagem é que a energia solar não está disponível o dia todo, exigindo o emprego de um sistema de acumuladores de energia. Mesmo assim, esta energia deve ser aproveitada em alguma aplicação a bordo.

No caso da energia eólica existem diversas plataformas que podem ser usadas para o aproveitamento desta energia. É difícil avaliar a porcentagem de redução do consumo de combustível proporcionada pelo emprego combinado de energia eólica, pois ela depende principalmente da intensidade e direção do vento, e cada zona geográfica marinha tem suas características.

A plataforma tipo pipa está entre as alternativas para aproveitamento de energia eólica e poderá ser usada em curto prazo, já que foi testada com resultados ótimos de aumento de velocidade e redução do consumo de combustível.

Em médio prazo é muito atrativo o uso das células de combustível, que oferecem alto rendimento elétrico, baixos níveis de emissões de gases, funcionamento silencioso e sem vibrações. Mas a tecnologia não está completamente resolvida para o transporte marítimo, devido a o alto investimento requerido. Entretanto, poderia se começar a usá-la em aplicações auxiliares ou instalações propulsoras de baixa potência.

5.3 Avaliação das medidas operacionais

Em relação às medidas operacionais, umas são relacionadas com o programa de manutenção e outras com o planejamento de viagens. Em relação à manutenção, deve ser dada atenção a programas para o casco e hélice, já que os efeitos da rugosidade geram maior consumo de combustível e em consequência aumento das emissões de gases. A adoção de um plano de manutenção do casco e hélice pode gerar uma redução do consumo de combustível de 3 a 4 % e igual redução das emissões.

Também é importante cumprir o programa de manutenção dos motores principais de acordo com as especificações do fabricante (horas de trabalho) para manter a eficiência.

Em relação ao planejamento de viagens, alguns cuidados podem ser tomados para reduzir o consumo de combustível e as emissões de gases. Medida importante é a interação porto-navio, especificamente o fornecimento de energia elétrica do terminal portuário para as embarcações. Com esta medida, não seria necessário acionar os conjuntos diesel-geradores a bordo, e se consegue redução de 99% das emissões no porto. É preciso que esta medida seja adotada, já que as áreas portuárias e zonas adjacentes situam-se em regiões urbanizadas, com a população exposta aos contaminantes dos gases de escape dos navios.

5.4 Dimensionamento da frota

Alguns segmentos do transporte marítimo operam hoje com navios de grande porte e velocidades muito elevadas, como os navios porta contêineres; com grande deslocamento e altas velocidades, requerem elevada potência de máquina, com o consumo alto de combustível e produção de grandes quantidades de gases poluentes.

5.4.1 Redução de velocidade: um exemplo ilustrativo.

Vamos analisar a seguir como o dimensionamento da frota, com alteração de deslocamento e velocidade dos navios, mantendo sua capacidade total de transporte, pode contribuir para redução da geração de poluentes.

Será considerado o mercado específico de porta contêineres em um caso hipotético de transporte de carga desde o porto “B” até o porto “A”. Será feita a comparação entre duas frotas operando entre estes portos, sendo que a segunda frota opera com uma velocidade de serviço 20% menor. Para esta análise admite-se que a capacidade de carga, bem como o deslocamento seja igual para os dois tipos de navios.

São adotados os seguintes valores:

- Navio PANAMAX
- Distância entre portos: 4500 milhas náuticas;
- Capacidade de carga dos navios: 80.000 toneladas;
- Carga transportada por ano: 18.780.000 toneladas;
- Frota 1: 15 navios;
- Frota 2: número “X” a ser determinado;
- Velocidade do navio 1: 25 nós;
- Velocidade do navio 2: 20 nós;
- Deslocamento: 110.000 toneladas;

- Tempo para carregamento dos navios no porto A: 1 dia;
- Tempo para descarga dos navios no porto B: 1 dia;
- Tempo de fila no porto A e no porto B: 3 dias;

O consumo de combustível está relacionado à potência do navio, a qual pode ser estimada a partir de dois parâmetros: deslocamento Δ e velocidade V , pela relação:

$$\text{Potência} = k \times \Delta^{2/3} \times V^3 \quad (5.1)$$

Esta equação permite verificar que o aumento de “V” implica em grande aumento da potência, proporcional ao cubo da velocidade. No exemplo considerado, calcula-se a variação de potência quando se altera a velocidade dos navios, admitindo-se que não haja variação do deslocamento:

$$\frac{(Pot)_{N2}}{(Pot)_{N1}} = \left(\frac{\Delta_{N2}}{\Delta_{N1}}\right)^{2/3} \times \left(\frac{V_{N2}}{V_{N1}}\right)^3 \quad (5.2)$$

em que N1 é o navio com velocidade atual, de 25 nós, e N2 o navio com velocidade reduzida em 20 %, para 20 nós.

De acordo com MAN B&W (2008), a potência para um navio com as características do navio N1 é de 70.000 kW. A aplicação da equação (2) conduz aos seguintes resultados:

$$\frac{(Pot)_{N2}}{(Pot)_{N1}} = \left(\frac{110000}{110000}\right)^{2/3} \times \left(\frac{20}{25}\right)^3$$

$$(Pot)_{N2} = 0,512 (Pot)_{N1}$$

$$(Pot)_{N1} = 70.000 \text{ Kw}$$

$$(Pot)_{N2} = 35.840 \text{ Kw}$$

A primeira conclusão é que uma redução da velocidade do navio em 20 % resulta na redução da potência para a propulsão em cerca de 50%.

Tempo de navegação (Porto A → Porto B → Porto A)

De acordo com os dados adotados para este estudo, o tempo total de navegação para um navio em viagem redonda (TTN) é determinado por:

$$TTN = 2 \times DIST / VELOC \quad (5.3)$$

Na qual DIST é a distância entre os portos A e B e VELOC é a velocidade do navio.

Aplicando-se a equação (5.3) para os dois casos, obtém-se 15 dias para o primeiro e 18,75 dias para o segundo caso.

Tempo de ciclo total

O tempo do ciclo total de um navio (TCN) é a soma das variáveis tempo de navegação (TTN), tempo operacional nos portos A e B (TP), e tempo em fila nos dois portos (TF). Assim,

$$TCT = TTN + TP + TF \quad (5.4)$$

Admitindo-se que o tempo operacional nos portos, bem como o tempo de fila sejam iguais nos 2 casos, obtém-se um tempo total de ciclo de 23 dias para o primeiro caso e de 26,75 dias para o segundo caso.

Viagens por ano

Para encontrar esta variável, é necessário dividir o ano operacional dos navios (normalmente 360 dias) pelo tempo de ciclo total do navio:

$$NV = DAO / TCT \quad (5.5)$$

em que NV é o número de viagens efetuadas pelo navio em um ano operacional, DAO é o número de dias do ano operacional e TCT é o tempo total do ciclo, uma viagem redonda.

Aplicando-se a equação (5.5), obtém-se 15,65 viagens para o navio da frota original e 13,46 para os navios da nova frota.

Dimensionamento da frota

A frota é dimensionada de acordo com a quantidade de carga transportada ao ano, o número de viagens que cada navio realiza por ano e a quantidade de carga por navio. O objetivo é continuar transportando as 18.780.000 toneladas de carga ao ano, com uma frota com velocidade reduzida, em 20%. O dimensionamento para a frota N1 é de 15 navios.

Para efetuar o dimensionamento da nova frota aplica-se:

$$CTA = CTN \times QTN \times NV \quad (5.6)$$

em que CTA é quantidade de carga transportada anualmente pela frota, CTN é a quantidade de carga transportada em cada navio, QTN é quantidade de navios da frota e NV é o número de viagens que cada um dos navios realiza.

Determina-se, assim, o número de navios, com menor velocidade, requeridos para transportar a mesma quantidade de carga, resultando em 18 navios (17,44 é o número obtido dos cálculos). Portanto, para transportar a mesma quantidade de carga anual do Porto A ao Porto B, reduzindo a velocidade inicial de 25 nós para 20 nós, é necessário utilizar três navios a mais que na frota original.

Consumo de combustível por ciclo por navio

O consumo de total combustível para os navios N1 e N2 por viagem redonda considera-se que:

$$CTC = CN + CP + CF \quad (5.7)$$

em que CTC é o consumo total de combustível, CN é o consumo de combustível em navegação e CP e CF são, respectivamente, o consumo em porto e em fila.

a) Consumo em navegação: O tempo de navegação de ida e volta entre os portos A e B pode ser calculado para os dois casos pela equação (3); obtém-se 360 horas para o navio da frota original e 450 para o navio com menor velocidade.

Admite-se, de acordo com Pounder's (2004), que o consumo específico de combustível de um motor de baixa rotação seja igual a 175 g/kWh. Pode-se calcular o consumo para cada navio, sabendo que a potência a ser utilizada para N1 é 70.000 kW e para N2 é de 35.840 kW. Considera-se para os cálculos que o óleo pesado tenha uma densidade de 1 g/cm³. Tem-se, assim:

$$C_N = (Pot)_N \times (CEC)_N \times \quad (5.8)$$

C_N é o consumo total para uma viagem redonda, $(Pot)_N$ é a potência consumida pelo navio em operação de navegação, $(CEC)_N$ é o consumo específico de combustível para esta condição e TNH é o tempo total de navegação por viagem redonda.

Para o navio A, com um consumo horário de 12,25 toneladas por hora, obtém-se um consumo de 4.410 toneladas por viagem, enquanto para o navio novo B, com um consumo horário de 6,27 toneladas, resulta um consumo por viagem de 2.821,5 toneladas.

b) Consumo Porto: Para obter o consumo de combustível em porto, admite-se uma demanda de potência de cerca de 5.000 kW, que pode ser suprida por gerador acionado por um motor WÄRTSILÄ modelo 16V26, 60 Hz, 325 kW./cilindro, a 900 rpm, totalizando 5200 kW.

Embora sabendo que motores de média rotação têm uma eficiência térmica ligeiramente inferior a dos motores de baixa rotação, admite-se que o consumo específico de combustível seja o mesmo (175 g/kWh). Admite-se que a estadia em porto para carga ou descarga é de 24 horas. Resulta para cada navio um consumo diário de combustível em porto de 20,9 toneladas, e considerando as operações nos portos A e B, um total de 41,8 toneladas.

c) Consumo em Fila: Para obter o consumo de combustível em fila, admite-se que a demanda de potência é igual àquela requerida em porto. Assim, o consumo diário é de 20,9 toneladas. Considerando que os navios permanecem seis dias em fila por viagem, obtêm-se para os dois navios um consumo em fila de 125,3 toneladas.

Pode-se, então, calcular o consumo por viagem redonda para cada tipo de navio, efetuando a soma das três parcelas, como indicado na equação (5.7).

Resultam os valores:

Navio original A: 4577,1 toneladas

Navio novo B: 2998,6 toneladas.

Para completar a comparação é necessário obter o consumo total das duas frotas ao longo de um ano operacional, calculando a expressão:

$$CTF = NNF \times NV \times CTN \quad (5.9)$$

CTF é o consumo total da frota ao longo de um ano, NNF é o número de navios da frota, NV é o número de viagens redondas efetuadas pelo navio e CTN é o consumo de combustível de cada navio por viagem redonda.

Sabendo que a frota 1 é de 15 navios, que fazem 15,65 viagens redondas por ano, consumindo por viagem 4577,1 toneladas de combustível,

obtém-se o consumo total anual de 1.074.474,2 toneladas. Para a frota 2, com 18 navios, que efetuam 13,46 viagens por ano, consumindo 2998,6 toneladas de combustível por viagem, chega-se ao consumo total anual de 726.500,808 toneladas.

Pela comparação entre o consumo de combustível já é possível afirmar que a modificação da frota trará um significativo resultado em termos de redução de emissão de poluentes. A Tabela 5.2 apresenta as comparações em termos de emissões produzidas pelos motores principais e auxiliares.

Tabela 5.2 Quadro comparativo dos resultados obtidos

Navio		N1	N2
Potência		70.000 Kw	35.840 Kw
Tempo de navegação (Porto A → Porto B → Porto A)		15 dias	18,75 dias
Tempo de ciclo total		23 dias	26,75 dias
Viagens por ano		15,65 viagens	13,46 viagens
Dimensionamento de Frota		15 navios	18 navios
Consumo de combustível	Navegação	4410 toneladas	2821,5 toneladas
	Porto	41,8 toneladas	
	Fila	125,3 toneladas	
	Total	4577,1 toneladas	2998,6 toneladas

Emissões geradas dos motores

Segundo a revista “Marine Engineering Review” (2000), as emissões de um motor Diesel de baixa rotação têm valores médios indicados na tabela 5.3. Esses dados correspondem à geração específica de poluentes. Para calcular o total de poluentes devem-se multiplicar estes valores pelo produto da potência pelo número de horas de funcionamento dos motores.

Tabela 5.3 Quantidade de Emissões de um Motor de Baixa Rotação

Emissão	Quantidade (g/kWh)
NO_x	17
CO	1,6
CO₂	660
HC	0,5
SO_x	4,2 (% S) g

Utilizam-se os valores de potência e horas de operação nos modos navegação, porto, e fila.

A tabela 5.4 mostra a quantidade de emissões produzidas numa viagem redonda de um navio da frota original 1, enquanto a Tabela 5.5 mostra os correspondentes resultados para o navio da nova frota 2.

Tabela 5.4 Emissão de poluentes geradas pelo navio N1

Tipo de Emissão	Emissão de Motor baixa rotação (g/Kwh)	Potência x Tempo de viagem (kWh)	Total de emissões (Toneladas)
NO_x	17	25.200.000	428,4
CO	1,6	25.200.000	40,32
CO₂	660	25.200.000	16632
HC	0,5	25.200.000	12,6
SO_x	4,2 (S ~2,7%)	25.200.000	105,84

Tabela 5.5 Emissão de poluentes geradas pelo navio N2

Tipo de Emissão	Emissão de Motor baixa rotação (g/kWh)	Potência x Tempo de viagem (kWh)	Total de emissões (Toneladas)
NO_x	17	16.128.000	274,18
CO	1,6	16.128.000	25,81
CO₂	660	16.128.000	10644,48
HC	0,5	16.128.000	8,06
SO_x	4,2 (S ~2,7%)	16.128.000	67,74

A tabela 5.6 mostra a quantidade de emissões produzidas em fila e em porto, que é a mesma para os navios N1 e N2.

Tabela 5.6 Emissão de poluentes geradas em fila e portos para os navios

Tipo de Emissão	Emissão Motor baixa rotação (g/kWh)	Potência x Tempo de duração (kWh)	Total de emissões (Toneladas)
NO_x	17	862.080	14,66
CO	1,6	862.080	1,38
CO₂	660	862.080	568,97
HC	0,5	862.080	0,43
SO_x	4,2 (S ~2,7%)	862.080	3,62

Comparação das emissões dos navios N1 e N2

Como conclusão, pode-se observar na tabela 5.7 que as emissões dos navios N1 e N2 estão relacionadas à potência utilizada ao longo da viagem, sendo as emissões dos navios N2 muito menores do que as de N1.

Tabela 5.7 Comparação das Emissões para os Navios N1 e N2

Tipo de Emissão	Total de emissões N1 (Toneladas)	Total de emissões N2 (Toneladas)	Diferença (Toneladas)
NO_x	428,4	274,18	154,22
CO	40,32	25,81	14,51
CO₂	16.632,00	10.644,48	5987,52
HC	12,6	8,06	4,54
SO_x	105,84	67,14	38,7

Depois de comparar as duas frotas, verifica-se que a diminuição da velocidade da frota gera uma redução significativa da potência dos navios, como consequência de um menor consumo de combustível, e também a redução das emissões de gases dos motores principais e auxiliares.

Verifica-se que face à diminuição da velocidade nos navios da frota 2, precisa-se aumentar o efetivo dos navios em três unidades. Porém, mesmo com esse aumento de navios, o consumo de combustível e as emissões de gases dos motores principais e auxiliares para a frota 2 ficam menores que os da frota original.

As emissões totais para as duas frotas em um ano operacional estão apresentados na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 Comparação das Emissões entre as Frota 1 e 2.

Itens		Frota 1	Frota 2
Navios		15	18
Velocidade (nos)		25	20
Consumo da frota / ano (tonelada)		1.074.474,2	726.500,808
Total de emissões da frota / ano	NO _x	104.008,34	69.980,16
	CO	9.789,08	6.587,59
	CO ₂	4.037.927,72	2.716.789,82
	HC	3.058,79	2.056,96
	SOX	25.695,74	17.289,10

Normalmente as empresas de navegação fazem a rota em tempo mínimo, e o navio é projetado para operar à maior velocidade possível, que é limitada unicamente por fatores técnicos e de segurança. Uma redução da velocidade implicaria um menor consumo do combustível, mas para reduzir a velocidade da frota sem alterar o funcionamento normal da empresa incrementando o numero de navios da frota para poder cobrir a demanda do transporte.

É importante reduzir os tempos de descarga e carga do navio, assim como também os tempos de fila, para melhorar a efetividade do ciclo.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O objetivo deste capítulo é apresentar as conclusões mais importantes obtidas ao longo da pesquisa, e as recomendações para sua continuação.

6.1 Conclusões

O transporte marítimo é fundamental no suporte ao comércio internacional. Os navios que realizam esta atividade são sistemas muito complexos, que geram em suas operações uma grande quantidade de poluentes. Em particular, os navios são uma fonte importante de emissões de gases prejudiciais para a saúde humana e o clima.

Concluiu-se que os prejuízos causados pelo transporte marítimo são em parte resultantes de uma legislação permissiva para o setor, especificada no anexo VI do MARPOL, tanto em relação a emissões de SO_x como a de NO_x . Também não existem normas impositivas de limites para as emissões de CO_2 , principal gás de efeito estufa.

Há uma ampla variedade de medidas tecnológicas aplicáveis para reduzir as emissões de gases gerados por navios, a grande maioria delas direcionadas à redução de NO_x , entre as quais se destaca o Motor de Ar Úmido (HAM), com um potencial de redução de 80 a 90% deste gás.

A melhor forma de reduzir as emissões de SO_x é melhorando a qualidade do combustível usado. O limite de teor de enxofre no óleo pesado, que na atualidade é de 4500 ppm, será reduzido para 500 ppm até 2020. Porém, este limite está muito acima do que é praticado no transporte terrestre (500 a 15 ppm).

Considerando a atual concepção do projeto das instalações de máquinas dos navios, a melhor alternativa para redução de todos os tipos de

emissões de gases, que se aplica tanto a navios novos como em serviço, é a recuperação do calor residual, que pode reduzir o consumo de combustível de 8 a 12%.

Embora já existam navios com motores principais empregando combustíveis alternativos, bem como usando fontes de energia renovável, como a energia solar, nuclear, eólica, célula de combustível etc., será difícil em curto prazo deixar de depender dos derivados do petróleo. Alterações mais substanciais exigiriam alterações significativas nas formas dos navios. O mais esperado no momento é aproveitar estas fontes renováveis combinadas com as atuais instalações propulsoras e auxiliares, conseguindo assim uma redução do consumo de combustível e da conseqüente emissão de gases.

Outro fator importante para manter a eficiência e reduzir o consumo do combustível é a manutenção do casco e da hélice. Como o aumento da rugosidade destes elementos ao longo do tempo exige tanto uma maior potência do motor principal como a redução da velocidade, é conveniente proceder à limpeza e polimento periódicos para evitar o aumento das emissões de gases.

A redução de velocidade dos navios é uma medida que tem efeito relevante para a diminuição de consumo de combustível e de emissão de gases. Uma comparação entre duas frotas, com a mesma capacidade de transporte, mas com diferentes números de navios e de velocidades de serviço, permite concluir que uma redução da velocidade em 20% conduz a uma redução das emissões de 32% e o aumento da frota em 20%. Esta alternativa, que constitui uma revisão dos critérios de dimensionamento de frota, também pode ser adotada como medida operacional para a reorganização das atuais frotas.

Finalmente, destaca-se que a solução dos distintos impactos ambientais causados pelo transporte marítimo exige uma revisão do projeto dos navios. Considerando o ciclo de vida da embarcação, deve ser dada a necessária importância ao critério ambiental, como é dada aos critérios técnicos e econômicos.

6.2 Recomendações

A análise realizada representa apenas um primeiro esforço para tratamento do problema. Entretanto, foram observados alguns fatos interessantes, que podem servir de base para continuidade da pesquisa.

Como seqüência do trabalho pode-se utilizar o exemplo de redução de velocidade, para analisar frotas reais. Convém que as empresas de navegação avaliem a redução de consumo de combustível, bem como de emissão de poluentes emanados pelos motores principais e auxiliares, resultante de um redimensionamento de velocidade e número de navios da frota, em conforto com o investimento requerido.

Outra abordagem é a análise dos impactos ambientais causados pelo transporte marítimo, subdividindo os navios por tipo. Pode-se assim determinar quais são as classes de navios que requerem maiores cuidados para reduzir os impactos ambientais.

Por outro lado deve-se estudar os mecanismos legais necessários e submetê-los às autoridades, seja a OMI, sejam as organizações nacionais, para se aprimorar o controle dos poluentes e estabelecer limites mais baixos aceitáveis para as emissões.

Finalmente, como os portos são parte importante para mitigar a contaminação de gases próxima á costa, deve-se estudar alternativas para mitigar a poluição resultante da emissão de motores dos navios. Deve ser examinada a implantação de projetos de suprimento de energia de terra, com a avaliação de custos, benefícios, segurança, etc.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. ŠTIMAC, B. IVANČEVIĆ, K. JAMBROŠIĆ Characterization of Ultrasonic Homogenizers for Shipbuilding Industry. 2001.

ALTMANN, M., WEINBERGER, M., WEINDORF, W., Life Cycle Analysis results of fuel cell ships Recommendations for improving cost effectiveness and reducing environmental impacts Study carried out in the framework of the project FCSHIP – Fuel Cell Technology in Ships. 2004.

ANAVE Asociación de Navieros Españoles Marina Mercante y Transporte Marítimo 2007-2008.

ANDÚJAR, J., SEGURA F., Fuel cells: History and updating. A walk along two centuries. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13, 2309–2322. 2009.

BARNES D.K.A. and MILNER P. (2005). Drifting plastic and its consequences for sessile organism dispersal in the Atlantic Ocean. Marine Biology 146: 815-825.

BLUEWATER. Air Pollution From Passenger Ferries In New York Harbor, 2003.

BROWN, D., HOLTBECKER, R., Next steps in exhaust emissions control for Wärtsilä low-speed engines, Wärtsilä technical journal, 2007.

BUTT, N., The impact of cruise ship generated waste on home ports and ports of call: A study of Southampton Marine Policy 31, 591–598. 2007.

CHUN-HSIUNG LIAO, PO-HSING TSENG, CHIN-SHAN LU, Comparing carbon dioxide emissions of trucking and intermodal container transport in Taiwan. Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 14, Pages 493-49. 2009.

CLARK, R.B. Marine Pollution. Third Edition. Clarendon Press, Oxford. Page 121. 1992.

CLAYTON B. R., WIND-ASSISTED SHIP PROPULSION Phys. Techno. 18, 1987.

CORBETT, J. J., Vessel Operator Engine Emissions Measurement Guide. 2003.

CORBETT, J., KOEHLER, H., Updated emissions from ocean shipping, Journal of Geophysical Research, vol. 108, NO. D20, 4650. 2003.

CREATIEVE ENERGIE TRANSITIE. LNG als scheepsbrandstof: ervaringen en perspectieven uit Noorwegen, Bevindingen van studiereis 15-17 junio 2009.

DA SILVA, J., DA COSTA, F., SAMPAIO, K., CORRÊA, R.C. Água de Lastro Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira CIÊNCIA HOJE • vol. 32 • nº 188. 2002.

DERRAIK, J., The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. Marine Pollution Bulletin 44, 842–852. 2002.

DO SUL, J., SPENGLER, A., COSTA, M., Here, there and everywhere. Small plastic fragments and pellets on beaches of Fernando de Noronha (Equatorial Western Atlantic), Baseline / Marine Pollution Bulletin 58, 1229–1244. 2009.

DRAFFIN, N., AN INTRODUCTION TO BUNKERING, GUÍA DE ABASTECIMIENTO DEL COMBUSTIBLE MARINO Publicado por Petrosport Limited Reino Unido. 2008.

ENDRESEN, Ø., SRG° ARD, E., SUNDET, J. K., DALSRÉN, S. B., ISAKSEN, I. S. A., BERGLEN, T. F., AND GRAVIR, G.: Emission from international sea transportation and environmental impact, J. Geophys. 2003.

EYRING, V., CORBETT, J. J., LEE, D., WINEBRAKE, J., Brief summary of the impact of ship emissions on atmospheric composition, climate, and human health. Document submitted to the Health and Environment sub-group of the International Maritime Organization. 2007.

EYRING, V., KOHLER, H., LAUER, A., lempfer, b., Emissions from international shipping: 2. Impact of future technologies on scenarios until 2050. 2005(b).

EYRING, V., KOHLER, H., VAN AARDENNE, J., LAUER, A., Emissions from international shipping: 1. The last 50 years. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 110. 2005(a).

FABER, J., BOON, B., BERK, M., DEN ELZEN, M., OLIVIER, J., LEE, D., Aviation and maritime transport in a post 2012 climate policy regime. 2007.

FLAGELLA, M., VERLAQUE, M., SORIA, A., BUIA M.C., Macroalgal survival in ballast water tanks Marine Pollution Bulletin 54 1395–1401. 2007.

FONTELL E., Fuel cells – the future of power generation Corporate Technology Wärtsilä Corporation. Marine News – 41. 2003.

FUGLESTVEDT, J., BERNTSEN, T., MYHRE, G., RYPDAL, K., AND BIELTVEDT, R., *Climate forcing from the transport sectors*, 2008.

GESAMP (Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection) Estimates of oil entering the marine environment from sea-based activities. 2007.

GOLLASCH, S., MATEJ, D., VOIGT, M., DRAGSUND, E., HEWITT CH., FUKUYO, Y., Critical review of the IMO international convention on the management of ships' ballast water and sediments Harmful Algae 6, 585–600. 2007.

GUIMARÃES, A., Metodologia de avaliação de custos ambientais provocados por vazamento de óleo o estudo de caso do complexo reduc-dtse. Dissertação (Doutorado) PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. 2003.

HARROULD-KOLIEB, E., Shipping Impacts on Climate: A Source With Solutions. 2008.

HETLAND, EINAR BRENDENG AND JENS. On the relevance of integrating lng with the energy supply systems of transit countries, lng chains and storage facilities 2004.

HETLAND, ELINAR BRENDENG AND JENS. State of the art in liquefaction technologies for natural gas, ways of providing lng for transit countries. 2004.

HINOJOSA IA, THIEL M Floating Marine Debris in Fjords, Gulfs and Channels of Southern Chile. *Marine Pollution Bulletin* 58, 341–350. 2009.

HOBSON, M., PELL, E., SURGAND, M., KOLLAMTHODI, S., MOLONEY, S., MESBAHI, E., WRIGHT, P., CABEZA, O., PAZOUKI, K., Low Carbon Commercial Shipping. 2007.

ICCT, The International Council on Clean Transportation. Air Pollution and Greenhouse Gas Emissions from Ocean-going Ships: Impacts, Mitigation Options and Opportunities for Managing Growth, 2007.

JERRETT, M., BURNETT, R., ARDEN POPE, C., KAZUHIKO, D., THURSTON, G., KREWSKI, D., SHI, Y., CALLE, E., AND THUN, M., Long-Term Ozone Exposure and Mortality. *THE NEW ENGLAND JOURNAL OF MEDICINE* Volume 360:1085-1095. 2009.

KIRUBAKARAN, A. SHAIENDRA, J., NEMA, R. K. A review on fuel cell technologies and power electronic interface, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, 2430–2440. 2009.

LEE, D., FAHEY, D., FORSTER, P., NEWTON, P., WIT, R., LIM, L., OWEN, B., SAUSEN, R., Aviation and global climate change in the 21st century. *Atmospheric Environment* 43 3520–3537. 2009.

LEWIS, J., & GILLHAM, A., Antifouling Paint Patch Trial Project, Final Report, Platforms Division Defence Science and Technology Organisation. 2007.

MACINTOSH, A., WALLACE, L., International aviation emissions to 2025: Can emissions be stabilized without restricting demand? *Energy Policy* 37 264–273. 2009.

MAN B&W, Improved Efficiency and Reduced CO₂. 2009.

MAN B&W, Exhaust Gas Emission Control Today and Tomorrow Application on MAN B&W Two-stroke Marine Diesel Engines. 2009.

MAN B&W, Marine Engine IMO Tier I Programme 2009.

MAN B&W, Thermo Efficiency System (TES) for Reduction of Fuel Consumption and CO₂ Emission. 2009.

MAN B&W; Propulsion Trends in Container Vessels MAN B&W Two-stroke Engines. Copenhagen, 2008.

MICHELLE MICHOT FOSS, Introduction to LNG: Na overview on liquefied natural gas (LNG), its properties, organization of the LNG industry and safety considerations. 2007.

MOLDANOVA, J., FRIDELL, E., POPOVICHEVA, O., DEMIRDJIAN, B., TISHKOVA, V., FACCINETTO, A., FOCSA, C., Characterisation of particulate matter and gaseous emissions from a large ship diesel engine *Atmospheric Environment* 43 2632–2641. 2009.

NOWLAN, L AND KWAN I., 2001, Cruise Control – Regulating Cruise Ship Pollution on the Pacific Coast of Canada. 2001.

NUÑEZ, J., BRINATI H., Análise da operação de navios porta-contêineres em velocidade reduzida. 2008.

OCEANA La flota de la UE y la contaminación crónica de los océanos por hidrocarburos. 2004.

OCEANA Protect Our Oceans: Stop Cruise Ship Pollution Cruise Ship Pollution: A Big Problem. 2004.

OCEANA, SHIPPING IMPACTS ON CLIMATE: A SOURCE WITH SOLUTIONS. 2008.

OMI Sistemas antiincrustantes: hacia una solución no tóxica. 1999.

OMI - MARINEK in partnership with Det Norske Veritas, Econ Centre for Economic Analysis, and Carnegie Mellon University. Study of Greenhouse Gas Emissions from Ships. 2000.

OMI Anti-fouling systems. 2002.

PEREIRA, N., BRINATI, H.L., Considerações Sobre Uso de Propulsão Elétrica em Embarcações Fluviais Destinadas ao Transporte de Álcool para Exportação pela Hidrovia Tietê Paraná. Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás – IBP. 2006

POLE MER BRETAGNE, Tema 2: ingeniería, mantenimiento y servicios navales “paintclean”: pintura anti-incrustante inofensiva para el medio ambiente. 2007.

R. L. TOWNSIN, D. BYRNE, T. E. SVENSEN, AND A. MILNE, Estimating the Technical and Economic Penalties of Hull and Propeller Roughness, SNAME Transactions, Vol. 89, 1981, pp. 295:318.

SANTOS I., FRIEDRICH A., PRADO F., Overseas garbage pollution on beaches of northeast Brazil. Baseline / Marine Pollution Bulletin 50 778–786. 2005.

SATTLER, G., Fuel cells going on-board, Journal of Power Sources 86 61–67. 2000.

SCHMID, H., and WEISSER, G., Wärtsilä Switzerland Ltd, Winterthur, Marine Technologies for Reduced Emissions, 2005.

SCOTT, J., & SINNAMON, H., Floating Smokestacks A call for action to clean up marine shipping pollution. Environmental Defense Fund, 2008.

Seas At Risk, Bellona Foundation, North Sea Foundation, European Environmental Bureau, Swedish NGO Secretariat on Acid Rain, European Federation for Transport and Environment Air pollution from ships. PAGE 3: GEORG SESSLER/JOHNÉR. PAGE 4–5: VIKING LINE (LEFT) AND SODRA (RIGHT). PAGE 7: EUROPEAN COMMUNITY. 2008.

SHEAVLY S.B. Sixth Meeting of the UN Open-ended Informal Consultative Processes on Oceans & the Law of the Sea. Marine debris – an overview of a critical issue for our oceans. 2005.

SHUKLA, P., AND GHOSH, K., Revival of the Modern Wing Sails for the Propulsion of Commercial Ships. International Journal of Environmental Science and Engineering. 2009.

STOPFORD, Martin "Will the next 50 years be as Chaotic in Shipping as the Last?" Hong Kong Shipowners Association, Janeiro de 2007.

SULLIVAN, E. The Marine Encyclopaedic Dictionary. Fifth ed. LLP Ltd., Legal and Business Publ. Div., London, United Kingdom and New York, NY. 452 p. 1996.

The European Environmental Bureau (EEB), The European Federation for Transport and Environment (T&E), Seas At Risk (SAR), The Swedish NGO Secretariat on Acid Rain, Air pollution from ships. Updated November 2004.

THIJSSSEN, B.,-WÄRTSILÄ, Dual-fuel-electric lng Carrier Propulsion. The Royal Institution of Naval Architects from their Design and Operation of Gas Carriers Conference. 2004.

THIJSSSEN, B.,-WÄRTSILÄ, Efficient and environmentally friendly machinery systems for LNG carriers. 2009.

THONSTAD, E., Environmental Impacts of Intermodal Freight Transport. 2005.

TREMULI P., The Nitrogen Oxides Reducer WÄRTSILÄ TECHNICAL JOURNAL, 2008.

UNCTAD, United Nations Conference on Trade and Development Maritime transport and the climate change challenge. 2008.

Wärtsilä, SHIP POWER SYSTEMS. 2009.

WILLSHER J. Hull Roughness The Effect of Biocide Free Foul Release Systems on Vessel Performance, 2004.