

JUAN CARLOS MONTOYA CISNEROS

**REDUÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS POR EMISSÕES DE
GASES NO TRANSPORTE MARÍTIMO**

Dissertação apresentada à
Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para
obtenção de título de Mestre em
Engenharia

São Paulo

2012

JUAN CARLOS MONTOYA CISNEROS

**REDUÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS POR EMISSÕES DE
GASES NO TRANSPORTE MARÍTIMO**

Dissertação apresentada à
Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para
obtenção de título de Mestre em
Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia Naval e Oceânica

Orientador:
Professor Dr.
Hernani Brinati

São Paulo
2012

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 07 de janeiro de 2012.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Montoya Cisneros, Juan Carlos

Redução dos impactos ambientais causados por emissões de gases no transporte marítimo / J.C. Montoya Cisneros. – ed.rev. -- São Paulo, 2012.

103 p.

Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica.

1.Transporte marítimo 2.Impactos ambientais 3.Gases (Emissão) I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica II.t.

DEDICATÓRIA

**A minha esposa, Paola
Sofía, sem ela nenhum
sonho seria possível ou
valeria a pena realizar.**

**A meus filhos Luciana e
Thiago, luzes da minha
vida.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente a Deus.

Agradeço em forma muito especial ao Prof. Dr. Hernani Luiz Brinati, pela orientação, por ter transmitido seu conhecimento, compartilhado seu tempo, ter confiado na minha aprendizagem e em especial pela amizade.

A minha esposa Paola pelo apoio incondicional; não esqueça, que suceda o que suceder eu vou amar você toda minha vida, já que você é minha outra metade. Eu amo você mais que ontem e menos que amanhã.

Ao Prof. Dr. Moyses Szajnbok, pela sua sabedoria emanada nas nossas conversas, sua bondade de servir, orientar e transmitir sua experiência.

Ao Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo em especial a Lânia Camilo pelo apoio e grata disposição.

A minha mãe Libia Isabel e meu pai Manuel Ricardo por fazer de mim um homem com princípios.

A Vanesa por acudir a nosso chamado quando precisamos dela.

RESUMO

O transporte marítimo depende essencialmente 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 se tem previsto, a sua participação na emissão destes tipos de poluentes deve aumentar e, certamente, haverá pressões da sociedade para introdução de medidas que contenham esse aumento.

Pode-se afirmar que os poluentes gerados pelo Transporte Marítimo são resultado de deficiência em projeto de navios e de seus sistemas, de uma má gestão operacional, e inclusive da ausência de medidas de regulamentação mais rigorosas. O estudo se concentra em estudar dois destes pontos.

O primeiro se refere ao desenvolvimento do projeto do navio e da instalação propulsora com a preocupação de reduzir o consumo de energia. Isso implica em alterações nos projetos e seus sistemas de propulsão, tirando melhor proveito da tecnologia disponível no mercado, bem como análise da viabilidade de uso de fontes alternativas de energia. O segundo ponto se refere ao processo de gestão operacional, com ênfase na redução da emissão de poluentes. Serão examinados exemplos práticos que sustentem as reduções e benefícios, por exemplo, a redução de velocidade do navio.

Por ultimo foram 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.

ABSTRACT

The shipping depends on the energy of oil products, which produce emissions of CO₂, SO_x, NO_x and particulate matter. Today, the water transport accounts for approximately 4.5% of carbon emissions, 4% of sulfur oxides emissions and 7% of nitrogen oxide emissions. If the expansion of this mode of transport is maintained in the coming years, as has been predicted, its participation in the emission of these types of pollutants must increase, and certainly there will be pressure from society for introducing measures to contain its increase. It can be argued that pollutants generated by the Maritime Transport are the result of deficiency in the design of ships and their systems, deficient operational management, and even the absence of more stringent regulatory measures. The study focuses on the study of these two points.

The first refers to the development of Ship design and propulsion plant with a view to reducing energy consumption. This implies changes in design and propulsion systems, making best use of available technology, as well as the evaluation of viability in the use of sources of alternative energy. The second point refers to the process of operational management, with emphasis on reducing of emissions. Practical examples are examined to support and benefit the reductions of emissions, for example, the reduction of ship speed.

Finally is exposed the alternatives that the author considers the most promising to achieve the desired goal. The best options are selected to reducing greenhouse gas emissions between technological measures, operational and fleet sizing. Some of these alternatives can be applied to existing ships, while others may only be applied in the design of new ships.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Definição do problema.....	1
1.2 A percepção do problema.....	2
1.3 Objetivos do trabalho.....	4
1.4 Estrutura do Trabalho.....	5
CAPÍTULO 2: O TRANSPORTE MARÍTIMO E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS.....	7
2.1. Análise do transporte Marítimo na Atualidade.....	7
2.2. Tipos de impactos gerados pelo transporte marítimo.....	11
2.2.1. Águas de lastro.....	12
2.2.2. Hidrocarbonetos e Águas Oleosas.....	12
2.2.3. Águas Residuais.....	13
2.2.4. Águas Cinzas.....	13
2.2.5. Resíduos Sólidos ou Lixo Marinho.....	14
2.2.6. Pinturas Navios.....	14
2.3. Avaliação dos impactos das emissões de gases dos motores.....	15
2.3.1. Considerações Preliminares.....	15
2.3.2 Combustíveis Usados na Propulsão Naval.....	16

2.3.3. Tipos de Emissões de Gases Geradas pelos Navios.....	23
2.3.4. Efeitos causados pelas emissões na saúde humana e no clima mundial.....	29
CAPÍTULO 3: MARCO NORMATIVO INTERNACIONAL.....	31
3.1. Atuação da Organização Marítima Internacional.....	31
3.2. Convênio Internacional para a Prevenção da Contaminação pelos Navios (MARPOL73/78).....	32
3.3. Anexo VI da MARPOL 73/78 Regras para a Prevenção da Poluição do Ar Causada por Navios.....	34
3.3.1 Considerações Gerais sobre as Normas.....	34
3.3.2 Análise do Anexo VI do MARPOL “Regras para a Prevenção da Poluição do Ar Causada por Navios”.....	36
3.3.3 O Anexo VI e o CO ₂ (Principal gás de efeito estufa).....	39
3.3.4. Comparação com os limites de emissões dos caminhões da União Européia.....	39
CAPÍTULO 4: MEDIDAS PARA REDUÇÃO DE EMISSÕES.....	42
4.1. Medidas Tecnológicas.....	42
4.1.1 Primeira linha: Alternativas para a redução da potencia requerida.....	43
4.1.2 Segunda linha: Modificações no projeto do motor.....	44
4.1.3 Terceira linha: Uso de outras fontes de energia.....	57

4.2. Adoção de Medidas Operacionais.....	68
4.2.1 Programa de manutenção.....	68
4.2.2 Planejamento de viagens.....	71
4.3. Revisão dos conceitos de dimensionamento da frota.....	74
CAPÍTULO 5: AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS PARA REDUÇÃO DAS EMISSÕES	76
5.1. Considerações Preliminares.....	76
5.2. Avaliação das medidas tecnológicas.....	79
5.3. Avaliação das medidas operacionais.....	82
5.4, Dimensionamento da frota.....	83
5.4.1 Redução de velocidade: um exemplo ilustrativo.....	83
CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	94
6.1. Conclusões.....	94
6.2. Recomendações.....	96
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

UNCTAD	United Nations Conference on Trade and Development
OMI	Organização Marítima Internacional
MARPOL	Maritime Pollution
MEPC	Comitê de Proteção do Meio Marinho
UE	União Européia
OMC	Organização Mundial do Comercio
OMS	Organização Mundial da Saúde
OCIMF	Marítimo Internacional de Companhias Petroleiras
M.G.O.	Marine Gás Oil
M.D.O.	Marine Diesel Oil
L.M.F.O.	Light Marine Fuel oil
M.F.O.	Marine Fuel oil
LNG	Liquefied natural Gás ou Gás Natural Liquefeito
MCI	Motor de Combustão Interna
ISO	International Organization for Standardization
O	Oxigênio
N	Nitrogênio
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
SO _x	Óxidos de Enxofre
SO ₂	Dióxido de Enxofre
NO _x	Óxidos de Nitrogênio
MP	Material Particulado
HC	Hidrocarbonetos
PCI	Poder Calorífico Inferior

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Taxa de variação de uso entre vela, carvão e petróleo.....	16
Figura 2.2 Entradas e saídas de um motor de combustão interna.....	24
Figura 2.3 Entradas e saídas de um motor diesel de baixa rotação.....	26
Figura 2.4 Emissões de gases de descarga típicas de um motor diesel de media rotação.....	27
Figura 2.5 Densidade do Trefego do Transporte Marítimo Mundial.....	30
Figura 3.1 Evolução das restrições à emissão de NOx.....	36
Figura 4.1 Sistema de Motor de Ar Úmido (HAM) MAN B&W.....	46
Figura 4.2 Sistema EGR da MAN B&W.....	47
Figura 4.3 Sistema de Injeção de Água DWI (Wärtsilä).....	49
Figura 4.4 Simulação em CFD com Injeção Direta de Água (DWI) e sem ela.....	50
Figura 4.5 Processo da Redução Catalítica Seletiva (SCR). MAN B&W.....	52
Figura 4.6 Esquema SCR, planta integrada com sistema de Turbo- alimentação da Wärtsilä.....	53
Figura 4.7 Conceição da THERMO EFFICIENCY SYSTEMS (TES) desenvolvida pela MAN B&W.....	55
Figura 4.8 Conceição da WASTE HEAT RECOVERY (WHR) desenvolvida pela Wärtsilä.....	56
Figura 4.9 Diversas plataformas para aproveitar a energia eólica.....	61
Figura 4.10 Plataforma tipo pipa aproveitada pela companhia SkySails.....	62

Figura 4.11 Planta a propulsão elétrica dual da Wärtsilä.....	64
Figura 4.12 Comparação dos poluentes (SO _x , CO ₂ , NO _x) com diferentes tipos de instalação.....	64
Figura 4.13 Reação da pilha de combustível para formar eletricidade.....	66
Figura 4.14 Painéis Solares no cargueiro NYK Auriga Leader, eleito o “Navio do Ano” pela Premiação Global 2009 da Lloyd’s List.....	67
Figura 4.15 Velocidade do navio em função da Rugosidade do Casco.....	69
Figura 4.16 Incremento de Potência/Combustível em função da Rugosidade do Casco.....	70
Figura 4.17 Comparação dos custos operativos de um navio Panamax e um post-Panamax.....	75
Figura 5.1 Ciclo do Navio.....	77
Figura 5.2 Focos do Projeto do Navio.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Crescimento em volume do Comercio de Mercadorias por regiões 2005-2007.....	9
Tabela 2.2 Evolução do Tráfico Marítimo Internacional (Mercadorias Carregadas) Milhões de Toneladas.....	9
Tabela 2.3 Frota Mundial em milhões de toneladas deadweight (porcentagem)...	10
Tabela 2.4 Nomes mais comuns dos Combustíveis marinhos.....	17
Tabela 2.5 Propriedade física dos Combustíveis (Study European Commission-2002).....	19
Tabela 2.6 ISO 8217: Especificações técnicas para combustíveis destilados tipo DMX, DMA, DMZ e DMB.....	20
Tabela 2.7 ISO 8217: Especificações técnicas para combustíveis residuais de tipo RMA, RMB, RMD e RME.....	21
Tabela 2.8 ISO 8217: Especificações técnicas para combustíveis residuais de tipo RMG e RMK.....	22
Tabela 3.1 Comparação de Limites de emissões para NO _x e limite de conteúdo de enxofre de Caminhões (EURO) e Navios (OMI) gr/Kw.hr para NO _x e ppm para S.....	40
Tabela 4.1 Redução do consumo de combustível mediante otimização do caso..	43
Tabela 4.2 Composição do LNG de acordo com sua origem.....	57
Tabela 4.3 Comparação de SO _x , CO ₂ , NO _x dos diferentes tipos de instalação....	65
Tabela 5.1 Benefícios da otimização do projeto do navio.....	79

Tabela 5.2 Quadro comparativo dos resultados obtidos.....	89
Tabela 5.3 Quantidade de Emissões de um Motor de Baixa Rotação (g/Kwh)..	90
Tabela 5.4 Emissão de poluentes geradas pelo navios N1.....	90
Tabela 5.5 Emissão de poluentes geradas pelo navios N2.....	91
Tabela 5.6 Emissão de poluentes geradas em fila e portos para os navios.....	91
Tabela 5.7 Comparação das Emissões para os Navios N1 e N2.....	92
Tabela 5.8 Comparação das Emissões entre as Frota 1 e 2.....	93