

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Fabio Pereira de Medeiros

**Avaliação das Emissões de Poluentes Associadas ao
Transporte Marítimo na Exploração e Produção de Petróleo
da Bacia de Campos**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Marcos Sebastião de Paula Gomes

Rio de Janeiro, 23 de setembro de 2010



Fabio Pereira de Medeiros

**Avaliação das Emissões de Poluentes Associadas ao
Transporte Marítimo na Exploração e Produção de Petróleo
da Bacia de Campos**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Marcos Sebastião de Paula Gomes

Orientador

Departamento de Engenharia Mecânica – PUC-Rio

Prof. Carlos Valois Maciel Braga

Departamento de Engenharia Mecânica – PUC-Rio

Prof. Sérgio Leal Braga

Departamento de Engenharia Mecânica – PUC-Rio

Prof. Eloi Fernandez y Fernandez

Departamento de Engenharia Mecânica – PUC-Rio

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 23 de setembro de 2010

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Fabio Pereira de Medeiros

Graduou-se em Engenharia Mecânica e Engenharia de Produção Mecânica (Pontifícia Universidade Católica) em 2005. Trabalhou dois anos na área de petróleo. Iniciou o mestrado na área de Mecânica com ênfase em Petróleo e Energia da PUC-Rio em 2007. Suas áreas de interesse abrangem atuação em campo e concepção de projetos relacionados à indústria do petróleo.

Ficha Catalográfica

Medeiros, Fabio Pereira de

Avaliação das emissões de poluentes associadas ao transporte marítimo na exploração e produção de petróleo Bacia de Campos / Fabio Pereira de Medeiros ; orientador: Marcos Sebastião de Paula Gomes. – 2010. 89 f. : il. (color.) ; 29,7 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica, 2010.
Inclui bibliografia

1. Engenharia mecânica – Teses. 2. Inventário. 3. Emissões de navios. 4. Poluição do ar. 5. Gases de efeito estufa. 6. Transporte marítimo. 7. Petróleo 8. Bacia de Campos. I. Gomes, Marcos Sebastião de Paula. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Mecânica. III. Título.

CDD: 621

Esse trabalho é dedicado aos meus pais e meus amigos, pelo apoio incondicional durante toda essa jornada, e especialmente à minha mãe, pelo suporte durante todo esse tempo, e ao meu padrasto e meu pai, que colaboraram decisivamente para que esse trabalho se tornasse possível.

Agradecimentos

Ao meu orientador Prof. Marcos Sebastião de Paula Gomes, pela orientação e por todo o seu auxílio na realização desta obra.

À CAPES e a PUC-Rio pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Ao Prof. Márcio da Silveira Carvalho, pelo apoio e compreensão no início desta jornada.

Aos professores do Departamento de Engenharia Mecânica pelos conhecimentos transmitidos.

Aos profissionais da DPC, por toda a assistência e prestatividade ao longo da realização desse trabalho.

Aos meus pais, pela educação, atenção, suporte e carinho de todas as horas.

A todos os meus amigos que de certa forma me estimularam e apoiaram ao longo desse tempo.

Resumo

Medeiros, Fabio Pereira de; Gomes, Marco Sebastião de Paula. **Avaliação das Emissões de Poluentes Associadas ao Transporte Marítimo na Exploração e Produção de Petróleo da Bacia de Campos**. Rio de Janeiro 2010. 89p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O avanço da exploração de petróleo no Brasil nos conduziu progressivamente para o alto mar, onde se descobriu a maior parte dos campos de petróleo nacionais. O crescimento da atividade offshore e a crescente utilização de plataformas FPSO resultaram num aumento das atividades de embarcações relacionadas com o processo de exploração e produção de petróleo, principalmente na região da Bacia de Campos, principal pólo produtor. Entretanto, a expansão da atividade marítima também implica em uma maior emissão de poluentes, por serem embarcações que utilizam óleo diesel ou bunker como combustível, trazendo conseqüências ao meio ambiente e aos seres humanos. A presente dissertação quantifica as emissões de poluentes e gases de efeito estufa dos navios envolvidos na atividade de exploração e produção de petróleo na Bacia de Campos. A metodologia empregada considerou uma abordagem bottom-up para estimar o consumo energético das embarcações, baseado em dados sobre a quantidade, as características e as atividades dos navios envolvidos. Posteriormente, usou-se fatores de emissão para determinar as quantidades de poluentes emitidos. Os resultados foram confrontados com dados de emissões em escala regional, nacional e internacional, onde se pôde concluir que os valores de emissões obtidos são significativos. Discussões finais apresentam métodos e oportunidades de se reduzir as emissões provenientes de navios, indicam sugestões para pesquisas complementares e relacionam os resultados obtidos com a importância do pagamento de royalties para os estados e municípios produtores de petróleo.

Palavras-chave

Inventário; Emissões de Navios; Poluição do ar; Gases de Efeito Estufa; Transporte Marítimo; Petróleo; Bacia de Campos.

Abstract

Medeiros, Fabio Pereira de; Gomes, Marco Sebastião de Paula (Advisor). **Pollutants and GHG emission associated to maritime transport in the petroleum exploration and production in Campos Basin.** Rio de Janeiro 2010. 89p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The progress of the petroleum exploration in Brazil led us more and more to the high-seas, where most of the national petroleum fields were discovered. The increase of the offshore production and the growing usage of FPSO platforms resulted in a higher activity level of the ships related to the petroleum exploration and production process, mainly at the Campos Basin region, the main producer zone in Brazil. However, the expansion of the maritime activity also implicates in higher pollutants emission, since the vessels use marine diesel or bunker as fuel, bringing consequences to the environment and to human beings. The present dissertation quantifies the pollutants and greenhouse gases emissions from ships involved with the petroleum exploration and production at Campos Basin. The applied methodology considered a bottom-up approach to estimate the energy consumption of the ships, based on quantity, characteristics and activity data regarding the related ships. Thereafter, emission factors were used to determine the amount of each emitted pollutants. The results were compared with international, national and regional emission data, what led us to conclude that the achieved emission values are significant. Final discussions introduce methods and opportunities to reduce emissions from ships, indicate suggestions for complementary researches and connect the obtained results with the importance of paying royalties to the petroleum producer states and cities.

Keywords

Inventory; Ship Emissions; Air Pollution; Greenhouse Gases; Maritime Transport; Petroleum; Campos Basin.

Sumário

1. Introdução	12
2. Objetivos	20
3. Justificativa	21
4. Fundamentação Teórica	28
4.1. Fatores de emissão	28
4.2. Cálculo das emissões de poluentes	29
4.3. Tipos de motores e combustíveis	30
4.4. Outros equipamentos fonte de emissão	32
4.5. Principais poluentes emitidos	33
4.6. Gases de efeito estufa emitidos	35
4.7. Efeitos nocivos dos poluentes	35
4.7.1. Efeitos ao ser humano	35
4.7.2. Efeitos ao meio ambiente	36
5. Metodologia	40
6. Apresentação dos Resultados	44
6.1. Inventário de Emissões de Poluentes	44
6.2. Consumo de Combustível	54
6.3. Análise de sensibilidade das emissões de CO ₂	55
7. Conclusões e Considerações Finais	60
8. Referências Bibliográficas	73
9. Anexos	80

Índice de Figuras

Figura 1 – Recordes (até 2003) de profundidade de lâmina d'água (PETROBRAS, 2010a).	13
Figura 2 – Exemplos de plataforma semi-submersível (VISÃO CARIOCA, 2010) e plataforma jaqueta (UNIPEG, 2010), respectivamente.	14
Figura 3 – Representação de uma plataforma tipo FPSO realizando operação de offloading para um Navio Aliviador (TWI, 2010).	15
Figura 4 – Exemplo de um Supply Boat para operações offshore (JORNAL PELICANO, 2010).	16
Figura 5 – Histórico e previsões do total das emissões de HC, CO, NO _x e SO ₂ da frota mundial de navios (ICCT, 2007).	17
Figura 6 – Histórico e previsões da fração das emissões da frota mundial de navios dentro do total de emissões de HC, CO, NO _x e SO ₂ no mundo (ICCT, 2007).	18
Figura 7 – Histórico e previsão do total de emissão de CO ₂ da frota mundial e sua respectiva fração dentro do total no mundo (ICCT, 2007).	18
Figura 8 – Evolução das emissões de SO ₂ por diferentes meios de transporte em Hong Kong (ICCT, 2007).	22
Figura 9 – Evolução das emissões de NO _x por diferentes meios de transporte em Hong Kong (ICCT, 2007).	22
Figura 10 – Inventário de emissões de SO _x na Europa de fontes emissoras terrestres e de navios (ICCT, 2007).	23
Figura 11 – Inventário de emissões de NO _x na Europa de fontes emissoras terrestres e de navios (ICCT, 2007).	23
Figura 12 – Comparação do custo-benefício de investimento em controle de emissão de SO ₂ dentre diferentes fontes emissoras (ICCT, 2007).	25

Figura 13 – Comparação do custo-benefício de investimento em controle de emissão de NO _x dentre diferentes fontes emissoras (ICCT, 2007).	25
Figura 14 – Exemplos de danos causados por chuva ácida em estátuas e vegetações (WIKIPEDIA, 2010).	37
Figura 15 – Mapa representativo da Bacia de Campos e suas plataformas (PETROBRAS, 2010b).	45
Figura 16 – Porcentagem de cada poluente dentre o total de emissões.	60
Figura 17 – Participação dos Supply Boats nas emissões de cada poluente.	62
Figura 18 – Participação dos Shuttle Tankers nas emissões de cada poluente.	62
Figura 19 – Porcentagem de NO _x emitido por cada tipo de embarcação	63
Figura 20 – Porcentagem de CO ₂ emitido por cada tipo de embarcação.	63
Figura 21 – Porcentagem de HC emitido por cada tipo de embarcação.	64
Figura 22 – Porcentagem de Particulado emitido por cada tipo de embarcação.	64
Figura 23 – Porcentagem de SO ₂ emitido por cada tipo de embarcação.	64
Figura 25 – Participação dos MCP nas emissões de cada poluente.	66
Figura 26 – Participação dos MCA nas emissões de cada poluente.	66
Figura 27 – Padrões de emissão de NO _x nos EUA, UE e Suécia (ICCT, 2007).	68

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Especificação técnicas dos combustíveis considerados para os fatores de emissão.	32
Tabela 2 – Dados técnicos e operacionais das embarcações utilizados nos cálculos.	51
Tabela 3 - Fatores de Emissão utilizados nos cálculos.	52
Tabela 4 – Emissão total de poluentes associada ao transporte marítimo na exploração e produção de petróleo na Bacia de Campos em 2009.	53
Tabela 5 - Total de emissões de poluentes, em toneladas por mês, por cada categoria de navio.	53
Tabela 6 - Total de emissões de poluentes, em toneladas por mês, por aplicação do motor.	54
Tabela 7 - Consumo específico por categoria de navio e por regime de operação do motor.	54
Tabela 8 - Consumo de combustível anual total e por categoria de navios.	55
Tabela 9 - Valores máximos considerados para cada parâmetro na análise de sensibilidade.	56
Tabela 10 - Valores mínimos considerados para cada parâmetro na análise de sensibilidade.	57
Tabela 11 - Variação máxima e mínima da emissão de CO ₂ em função de cada parâmetro variável no processo.	58
Tabela 12 - Variação máxima e mínima da emissão de CO ₂ para cada categoria de navio.	58
Tabela 13 - Variação máxima e mínima total de CO ₂ .	59