

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Helena Regina Fonseca Coelho

**A MATRIZ ENERGÉTICA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
E AS CONSEQUENTES EMISSÕES DE GASES DE EFEITO
ESTUFA NO ESTADO**

Dissertação de Mestrado

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

Orientador: Prof. Marcos Sebastião de Paula Gomes

Rio de Janeiro
Abril de 2011



Helena Regina Fonseca Coelho

**A Matriz Energética do Estado do Rio De Janeiro e as
Consequentes Emissões de Gases
de Efeito Estufa no Estado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau 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. Eloi Fernández y Fernández

Departamento de Engenharia Mecânica – PUC-Rio

José Cesário Cecchi

Agência Nacional do Petróleo - ANP

Profa. Maria Silvia Muylaert de Araújo

COPPE/UFRJ

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador Setorial do
Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 13 de abril de 2011

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

Helena Regina Fonseca Coelho

Graduada em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal Fluminense – UFF em 1999. Atua na área de gerência de projetos na Organização Nacional da Indústria do Petróleo - ONIP.

Ficha Catalográfica

Fonseca Coelho, Helena Regina

A Matriz Energética do Estado do Rio de Janeiro e as consequentes emissões de gases de efeito estufa no Estado / Helena Regina Fonseca Coelho; orientador: Marcos Sebastião de Paula Gomes. 2011.

103 f. ; 30 cm

Dissertação Mestrado em Engenharia Mecânica – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

Inclui referências bibliográficas.

Emissões de CO₂; Matriz Energética do Rio de Janeiro; Gases de efeito estufa; Consumo de energia. Efeito estufa.

CDD:621

Dedico este trabalho à memória do meu avô, Reginaldo, e do meu tio Nelson, pessoas em quem eu me inspirei para seguir a carreira de engenheira, e à minha família que sempre me apoiou em todos os meus projetos, principalmente minha mãe e meu pai, que nunca deixam de me incentivar e confiar em mim.

Agradecimentos

Ao meu marido Márcio pelo amor, paciência, compreensão e muito apoio, aos meus pais José Cezar e Regina Maria pela minha formação e apoio incondicional e às minhas irmãs, sobrinhos e sobrinhas, Vera, Carla, Lucas, Ana Carla, Daniella e Nicholas, pelo carinho e compreensão nas minhas ausências.

Ao meu mestre Eloi Fernández pela confiança, boas oportunidades e por me apresentar ao tema Planejamento Energético.

Ao Oswaldo Pedrosa que me motivou e me deu a oportunidade de fazer o mestrado.

Ao meu orientador Marcos Sebastião pelos conselhos e informações que muito me fizeram crescer, por sua confiança na minha capacidade, compreensão, dedicação e paciência que foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos meus mestres e amigos do Projeto da Matriz Energética do Rio de Janeiro, José Cesário, Alessandro Almeida, Jacqueline Mariano, José Lopes, Marcelo Caetano, Márcia Borges e Sávio Bueno, aos quais eu considero co-autores deste trabalho, pois sem eles nada disto teria sido possível.

Ao meu chefe e amigo, Alfredo Renault, pelo apoio e incentivo durante a elaboração desta Dissertação.

À ONIP por ter me cedido as horas necessárias para o desenvolvimento do curso de Mestrado.

À Rosely, do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio, por toda a sua paciência e fundamental ajuda.

Resumo

Coelho, Helena Regina Fonseca. Gomes, Marcos Sebastião de Paula. **A MATRIZ ENERGÉTICA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO E AS CONSEQUENTES EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO ESTADO.** Rio de Janeiro, 2011. 103p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Este trabalho apresenta a Matriz Energética do Estado do Rio de Janeiro e realiza um estudo sobre as contribuições dos setores da economia do Rio de Janeiro no processo de emissão de gases de efeito estufa (GEE), para o horizonte 2008/2020. Com base na Matriz Energética do Estado do Rio de Janeiro, desenvolvida pelo Governo do Estado em parceria com o Instituto de Energia da PUC-Rio – IEPUC, tendo como ano base 2008, são feitas simulações das taxas de emissões de GEE para diversos cenários de 2009 a 2020, levando-se em conta atividades industriais, de transporte e queima. O estudo permite apresentar métodos de planejamento energético, modelagem de matrizes e emissões de gases de efeito estufa, assim como sistemas de informação atuais utilizados para realização destas e outras atividades de planejamento energético, em especial o Sistema LEAP – *Long Range Energy Alternatives Planning System*. Este projeto pode ser utilizado como base para futuros estudos da Matriz Energética do Rio de Janeiro e como base para implementação de ações de mitigação das emissões de GEE no Estado do Rio de Janeiro.

Palavras-chave

Emissões de CO₂; Matriz Energética do Rio de Janeiro; Gases de efeito estufa; Consumo de energia; Efeito estufa.

Abstract

Coelho, Helena Regina Fonseca. Gomes, Marcos Sebastião de Paula (advisor). **THE ENERGY MATRIX OF THE STATE OF RIO DE JANEIRO AND THE CONSEQUENT EMISSIONS OF GREENHOUSE GASES IN THE STATE.** Rio de Janeiro, 2011. 103p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This work presents the Energy Matrix of Rio de Janeiro State and a study on the contribution of the economics sectors of Rio de Janeiro to the greenhouse gas (GG) emission process for the 2008/2020 horizon. Based on the Energy Matrix of Rio de Janeiro State, developed by Government of Rio de Janeiro State in partnership with the Energy Institute of PUC-Rio – IEPUC, with 2008 taken as the base year, greenhouse gas emission rate simulations are made for various scenarios from 2009 to 2020, considering industrial, transport and burning activities. The study allows to present energy planning methods, greenhouse gas emission and matrix modeling, as well as the current information systems used to carry out these and other energy planning activities, especially the LEAP System – *Long Range Energy Alternatives Planning System*. This project may be used as a basis for future studies on Rio de Janeiro's energy matrix as well as the groundwork for implementation of greenhouse gas emission mitigation actions in the state of Rio de Janeiro.

Keywords

CO₂ emissions; Energy Matrix of Rio de Janeiro; Greenhouse gases; Energy consumption; Greenhouse.

Sumário

1	Introdução	17
1.1.	Introdução ao Planejamento Energético	17
1.2.	Gases de Efeito Estufa	19
2	Matriz Energética do Estado do Rio de Janeiro 2008 – 2020	23
2.1.	Introdução	23
2.2.	Aspectos Metodológicos da Elaboração da Matriz	29
2.3.	Modelagem Setorial de Projeção da Demanda	31
2.4.	Cenários Macroeconômicos	34
3	Emissões de Gases de Efeito Estufa	39
3.1.	Metodologia	39
3.2.	Detalhamento do Setor de Energia	43
4	Resumo das Projeções de Demanda da Matriz Energética do Estado do Rio de Janeiro – 2008/2020	48
5	Projeções para as Emissões de CO ₂ e Análise dos Resultados	58
5.1.	Estimativa das Emissões de Dióxido de Carbono (CO ₂) provenientes do Setor de Energia por Subsetor	59
5.2.	Estimativa das Emissões de Dióxido de Carbono (CO ₂) provenientes do Setor de Energia por Energético	67
5.3.	Comparação dos Resultados com Documentos de Referência	73
6	Conclusão	76
7	Referências Bibliográficas	82
8	Anexos	85
8.1.	Tabelas de Projeção de Demanda	85
8.2.	Tabelas de Projeção das Emissões de CO ₂ no Estado do Rio de Janeiro	92

Lista de Figuras

Figura 1 – Esquema do Efeito Estufa na Terra	20
Figura 2 – Composição (%) dos Modais no Consumo Energético do Setor Transporte – 2008 e 2020	48
Figura 3 – Participação (%) dos Energéticos no Transporte Total – 2008 e 2020	50
Figura 4 – Participação (%) dos Energéticos no Transporte Rodoviário – 2008 e 2020	51
Figura 5 – Participação (%) dos Energéticos no Transporte Ferroviário – 2008 e 2020	52
Figura 6 – Composição (%) dos Subsetores no Consumo Energético do Setor Industrial – 2008 e 2020	53
Figura 7 – Participação (%) dos Energéticos no Setor Industrial Total – 2008 e 2020	54
Figura 8 – Participação (%) de Energéticos no Setor Energético – 2008 e 2020	55
Figura 9 – Participação (%) dos Energéticos no Setor Residencial – 2008 e 2020	55
Figura 10 – Participação (%) de Energéticos no Setor Comercial e Serviços – 2008 e 2020	56
Figura 11 – Participação (%) dos Energéticos no Setor Estatal – 2008 e 2020	57
Figura 12 – Participação (%) de Energéticos no Setor Agropecuário – 2008 e 2020	57
Figura 13 – Participação (%) nas Emissões de CO ₂ por Setor da Economia e Cenários	60
Figura 14 – Projeção das Emissões de CO ₂ por Setor da Economia – Cenário de Referência I e II (Gg CO ₂)	60
Figura 15 – Projeção das Emissões de CO ₂ por Setor da Economia – Cenário Otimista I e II (Gg CO ₂)	61
Figura 16 – Projeção das Emissões de CO ₂ por Setor da Economia – Cenário Alternativo I e II (Gg CO ₂)	61
Figura 17 – Participação (%) nas Emissões de CO ₂ do Setor Transporte por Modal	64

Figura 18 – Participação (%) nas Emissões de CO ₂ do Setor Industrial por Subsetor	65
Figura 19 – Projeção das Emissões de CO ₂ na Indústria por Subsetor – Cenário de Referência e Otimista (Gg CO ₂)	66
Figura 20a – Projeção das Emissões de CO ₂ por Energético (Gg CO ₂) – Cenário de Referência	68
Figura 20b – Projeção das Emissões de CO ₂ por Energético (Gg CO ₂) – Cenário Otimista e Alternativo	69
Figura 21 – Emissões de CO ₂ por Setor e Energético (Gg CO ₂) – 2008	70
Figura 22 – Emissões de CO ₂ por Setor e Energético (Gg CO ₂) – 2020	71
Figura 23 – Participação (%) dos Energéticos não-renováveis nas Emissões Totais de CO ₂	72

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Cenários de Referência e Otimista	37
Tabela 2 – Fatores de emissão indicados pelo IPCC – Guidelines 2006	44
Tabela 3 – Estimativas de Emissões de CO ₂ per capita no Mundo	74
Tabela 4 – Evolução das Emissões de CO ₂ no Estado do Rio de Janeiro–Gg CO ₂	80
Tabela 5 – Previsão de Demanda do Setor Transporte Total – Período 2008–2020 (10 ³ tep) Cenário de Referência I e II	85
Tabela 6 – Previsão de Demanda do Setor Transporte Total – Período 2008–2020 (10 ³ tep) Cenário Otimista	86
Tabela 7 – Previsão de Demanda do Setor Transporte Total – Período 2008–2020 (10 ³ tep) Cenário Alternativo I e II	86
Tabela 8 – Previsão de Demanda do Setor Residencial – Período 2008 – 2020 (10 ³ tep) Cenário de Referência	86
Tabela 9 – Previsão de Demanda do Setor Residencial – Período 2008 – 2020 (10 ³ tep) Cenário Otimista	87
Tabela 10 – Previsão de Demanda do Setor Comercial e de Serviços - Período 2008 – 2020 (10 ³ tep) Cenário de Referência	87
Tabela 11 – Previsão de Demanda do Setor Comercial e de Serviços - Período 2008 – 2020 (10 ³ tep) Cenário Otimista	87
Tabela 12 – Previsão de Demanda do Setor Estatal – Período 2008 – 2020 (10 ³ tep) Cenário de Referência	87
Tabela 13 – Previsão de Demanda do Setor Estatal – Período 2008 – 2020 (10 ³ tep) Cenário Otimista	88
Tabela 14 – Previsão de Demanda do Setor Industrial Total – Período 2008–2020 (10 ³ tep) Cenário de Referência	88
Tabela 15 – Previsão de Demanda do Setor Industrial Total – Período 2008–2020 (10 ³ tep) Cenário Otimista	88

Tabela 16 – Previsão de Demanda do Setor Industrial – Minerais Não Metálicos- Período 2008 – 2020 (10^3 tep) Cenário de Referência	89
Tabela 17 – Previsão de Demanda do Setor Industrial – Minerais Não Metálicos - Período 2008 – 2020 (10^3 tep) Cenário Otimista	89
Tabela 18 – Previsão de Demanda do Setor Industrial – Metalúrgica – Período 2008 – 2020 (10^3 tep) Cenário de Referência	89
Tabela 19 – Previsão de Demanda do Setor Industrial – Metalúrgica – Período 2008 – 2020 (10^3 tep) Cenário Otimista	90
Tabela 20 – Previsão de Demanda do Setor Industrial – Química – Período 2008 – 2020 (10^3 tep) Cenário de Referência	90
Tabela 21 – Previsão de Demanda do Setor Industrial – Química – Período 2008 – 2020 (10^3 tep) Cenário Otimista	90
Tabela 22 – Previsão de Demanda do Setor Agropecuário – Período 2008 – 2020 (10^3 tep) Cenário de Referência	90
Tabela 23 – Previsão de Demanda do Setor Agropecuário – Período 2008 – 2020 (10^3 tep) Cenário Otimista	90
Tabela 24 – Previsão de Demanda do Setor Energético – Período 2008 – 2020 (10^3 tep) Cenário de Referência	91
Tabela 25 – Previsão de Demanda do Setor Energético – Período 2008 – 2020 (10^3 tep) Cenário Otimista	91
Tabela 26 – Projeção de Emissões de CO ₂ nos Setores da Economia – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário de Referência I e II	92
Tabela 27 – Projeção de Emissões de CO ₂ nos Setores da Economia – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário Otimista I e II	92
Tabela 28 – Projeção de Emissões de CO ₂ nos Setores da Economia – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário Alternativo I e II	93
Tabela 29 – Projeção de Emissões de CO ₂ por Subsetores Industrial e de Transporte – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário de Referência I e II	93
Tabela 30 – Projeção de Emissões de CO ₂ nos Subsetores Industrial e de Transporte – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário Otimista I e II	94

Tabela 31 – Projeção de Emissões de CO ₂ no Subsetor de Transporte – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário Alternativo I e II	94
Tabela 32 – Projeção de Emissões de CO ₂ Total por Energético – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário de Referência I e II	94
Tabela 33 – Projeção de Emissões de CO ₂ Total por Energético – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário Otimista I e II	95
Tabela 34 – Projeção de Emissões de CO ₂ Total por Energético – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário Alternativo I e II	95
Tabela 35 – Projeção de Emissões de CO ₂ no Setor Residencial – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário de Referência	96
Tabela 36 – Projeção de Emissões de CO ₂ no Setor Residencial – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário Otimista	96
Tabela 37 – Projeção de Emissões de CO ₂ no Setor Transporte – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário de Referência	96
Tabela 38 – Projeção de Emissões de CO ₂ no Setor Transporte – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário Otimista	96
Tabela 39 – Projeção de Emissões de CO ₂ no Setor Comercial e de Serviços – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário de Referência	97
Tabela 40 – Projeção de Emissões de CO ₂ no Setor Comercial e de Serviços – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário Otimista	97
Tabela 41 – Projeção de Emissões de CO ₂ no Setor Estatal – Período 2008–2020 (Gg CO ₂) Cenário de Referência	97
Tabela 42 – Projeção de Emissões de CO ₂ no Setor Estatal – Período 2008–2020 (Gg CO ₂) Cenário Otimista	97
Tabela 43 – Projeção de Emissões de CO ₂ no Setor Industrial Total – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário de Referência	98
Tabela 44 – Projeção de Emissões de CO ₂ no Setor Industrial Total – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário Otimista	98
Tabela 45 – Projeção de Emissões de CO ₂ no Setor Industrial – Extração e Tratamento de Minerais – Período 2008–2020 (Gg CO ₂) Cenário de Referência	98

Tabela 46 – Projeção de Emissões de CO ₂ no Setor Industrial – Extração e Tratamento de Minerais–Período 2008–2020 (Gg CO ₂) Cenário Otimista	98
Tabela 47 – Projeção de Emissões de CO ₂ no Setor Industrial – Minerais Não Metálicos–Período 2008–2020 (Gg CO ₂) Cenário de Referência	99
Tabela 48 – Projeção de Emissões de CO ₂ no Setor Industrial – Minerais Não Metálicos–Período 2008–2020 (Gg CO ₂) Cenário Otimista	99
Tabela 49 – Projeção de Emissões de CO ₂ no Setor Industrial – Metalúrgica – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário de Referência	99
Tabela 50 – Projeção de Emissões de CO ₂ no Setor Industrial – Metalúrgica – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário Otimista	99
Tabela 51 – Projeção de Emissões de CO ₂ no Setor Industrial – Papel e Celulose – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário de Referência	100
Tabela 52 – Projeção de Emissões de CO ₂ no Setor Industrial – Papel e Celulose – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário Otimista	100
Tabela 53 – Projeção de Emissões de CO ₂ no Setor Industrial–Química – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário de Referência	100
Tabela 54 – Projeção de Emissões de CO ₂ no Setor Industrial–Química – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário Otimista	100
Tabela 55 – Projeção de Emissões de CO ₂ no Setor Industrial – Têxtil – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário de Referência	100
Tabela 56 – Projeção de Emissões de CO ₂ no Setor Industrial – Têxtil – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário Otimista	101
Tabela 57 – Projeção de Emissões de CO ₂ no Setor Industrial – Produtos Alimentícios – Período 2008–2020 (Gg CO ₂) Cenário de Referência	101
Tabela 58 – Previsão de Emissões de CO ₂ no Setor Industrial – Produtos Alimentícios – Período 2008–2020 (Gg CO ₂) Cenário Otimista	101
Tabela 59 – Projeção de Emissões de CO ₂ no Setor Industrial – Bebidas – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário de Referência	101
Tabela 60 – Projeção de Emissões de CO ₂ no Setor Industrial – Bebidas – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário Otimista	101

Tabela 61 – Projeção de Emissões de CO ₂ no Setor Industrial – Outras Indústrias – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário de Referência	102
Tabela 62 – Projeção de Emissões de CO ₂ no Setor Industrial – Outras Indústrias – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário Otimista	102
Tabela 63 – Projeção de Emissões de CO ₂ no Setor Agropecuário – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário de Referência e Otimista	102
Tabela 64 – Projeção de Emissões de CO ₂ no Setor Energético – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário de Referência	102
Tabela 65 – Projeção de Emissões de CO ₂ no Setor Energético – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário Otimista	102
Tabela 66 – Projeção de Emissões de CO ₂ nas Centrais Elétricas – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário de Referência	103
Tabela 67 – Projeção de Emissões de CO ₂ nas Centrais Elétricas – Período 2008 – 2020 (Gg CO ₂) Cenário Otimista	103

Lista de Siglas e Abreviaturas

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
BEERJ	Balanco Energético do Estado do Rio de Janeiro
BEN	Balanco Energético Nacional
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
DE	Demanda de Energia
GEE	Gases de efeito estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IE	Intensidade Energética
IEA	Agencia Internacional de Energia
IEPUC	Instituto de Energia da PUC – Rio
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LEAP	<i>Long Range Energy Alternatives Planning System</i>
N ₂ O	Óxido nitroso
NA	Nível de Atividade de cada setor
NMVOC	Compostos orgânicos voláteis não metânicos
NO _x	Óxidos de nitrogênio
PCHs	Pequenas Centrais Hidrelétricas
PIB	Produto Interno Bruto
PUC-Rio	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
SEDEIS	Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico, Energia, Indústria e Serviços
SIN	Sistema Interligado Nacional