

INVENTÁRIO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO E ATUALIZAÇÃO DO PLANO DE AÇÃO MUNICIPAL PARA REDUÇÃO DAS EMISSÕES

Relatório Completo do Inventário de Emissões e Plano de Ação

Março de 2015



INVENTÁRIO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO E ATUALIZAÇÃO DO PLANO DE AÇÃO MUNICIPAL PARA REDUÇÃO DAS EMISSÕES

Relatório Completo do Inventário de Emissões e Plano de Ação

Prefeito da Cidade do Rio de Janeiro

Eduardo Paes

Secretário Municipal de Meio Ambiente

Carlos Alberto Muniz

Subsecretário Municipal de Meio Ambiente

Altamirando Fernandes de Moraes

Equipe da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro

Nelson Moreira Franco – Coordenação

Equipe técnica

Cláudia Fróes Ferreira

Rodrigo Rosa

Luiz Paulo Gerbassi

José Henrique Penido

Sergio Besserman

Luiz Roberto Arueira da Silva

Felipe Cerbella Mandarino

Marcio Moura Motta

Marcelo Hudson

Marcelo Abelheira

Elaine Martins Barbosa

Equipe Centro Clima/COPPE/UFRJ

Prof. Emilio Lèbre La Rovere, D.Sc – Coordenador Geral

Flavia B. Carloni, D.Sc. – Coordenadora Executiva

Equipe técnica

Gabriela Nadaud, M.Sc PPE – Pesquisadora

Gustavo Malaguti, M. Sc. – Pesquisador e doutorando PPE

Patrícia Turano de Carvalho, M.Sc PPE – Pesquisadora

Raymundo Aragão, M.Sc – Pesquisador e doutorando PPE

Renzo Solari, M.Sc PPE – Pesquisador

Saulo Loureiro, M.Sc – Pesquisador e doutorando PPE

Tomás Bredariol – Pesquisador e Mestrando IE/UFRJ

Estagiários

Gabriel Pitta – Graduando Poli/UFRJ

Kárys Prado – Graduanda Poli/UFRJ

Vitor de Oliveira Carvalho – Graduando Poli/UFRJ

Camila Neves – Graduanda Poli/UFRJ

Yasmini Dopico – Graduanda Poli/UFRJ

Priscilla Sarpa – Graduanda UFF

Felipe Treistman – Graduando Poli/UFRJ

Seiti Ogawa – Graduando Poli/UFRJ

Nathalia Bastos – Graduanda Poli/UFRJ

Apoio Administrativo

Carmen Brandão Reis – Secretária Executiva

Elza Ramos – Diagramação

Mensagem

O mundo vem acompanhando os acontecimentos e realizações que estão ocorrendo no Rio de Janeiro. A conjunção de fatores econômicos, sociais e históricos reuniu elementos para um período de grandes mudanças. Essa oportunidade deve ser aproveitada para a construção do futuro, que passa pela sustentabilidade, questão prioritária para o planeta e a civilização.

A história do Rio está intimamente ligada ao meio ambiente. Na cidade nasceu a consciência internacional sobre a preservação do ambiente, quando a Rio 1992 reuniu as principais lideranças políticas do mundo para discutir o desenvolvimento sustentável que foi retomada durante a Conferência da Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável, a Rio + 20, em 2012. Os recentes fenômenos climáticos por que passa o planeta reforçam a importância da preservação da natureza como condicionante de nossa evolução e nos convoca a repensar o modelo de desenvolvimento a ser adotado.

Nesses últimos quatro anos, a cidade do Rio de Janeiro, através de ações firmes da Prefeitura, tem se destacado no enfrentamento às mudanças climáticas, considerando além da dimensão ambiental, tecnológica e econômica, a dimensão cultural e política, que vai exigir a participação de todos os segmentos da sociedade carioca. O Rio de Janeiro foi uma das primeiras cidades do país a definir uma Política Municipal de Mudança Climática e Desenvolvimento Sustentável, iniciativa essa que consagrou o esforço conjunto do poder executivo com a Câmara de Vereadores do município. Criou também seu Fórum Carioca de Mudança Climática e Desenvolvimento Sustentável, composto por representantes segmentos do setor público, iniciativa privada e sociedade civil, cujo objetivo é contribuir na busca de soluções viáveis para adoção de políticas públicas nessa área.

Novamente, a cidade é pioneira em matéria ambiental. Ao elaborar seu terceiro Inventário de emissões de gases do Efeito Estufa, a cidade se torna uma das primeiras do mundo a testar o novo padrão mundial de inventário, instituído pelo WRI, Banco Mundial, C-40 e ICLEI, ou seja, com dados mais consistentes, confiáveis e comparáveis, reconhecidos internacionalmente. Nesta publicação o estudo é mais do que uma radiografia das emissões de dióxido de carbono no perímetro urbano e representa um material inestimável para orientar a política de desenvolvimento da cidade.

Além disso, o mapa do caminho ganha características mais claras. A Prefeitura e a COPPE/UFRJ traçaram um plano de ação que contempla as medidas que estão sendo realizadas pelo governo municipal visando atingir as metas de redução de gases do efeito estufa, previamente estabelecidas pela política climática da cidade, tais como a duplicação da malha cicloviária, a expansão do programa de reflorestamento, a instalação do Centro de Tratamento de Resíduos, a queima de Biogás, a racionalização dos transportes coletivos com a implementação dos corredores exclusivos de ônibus (Transcarioca, Transolímpica, Transoeste e Transbrasil), entre outras.

Há aspectos no horizonte que terão impacto ambiental significativo, como a operação do Complexo Siderúrgico da Zona Oeste cujas emissões foram incorporadas neste Inventário. Não devemos temer esses desafios, que irão gerar empregos e renda à região mais carente da cidade. Devemos administrá-los com lucidez e transparência em nome do interesse coletivo. O importante é internalizar e difundir a consciência da sustentabilidade, para que ela se torne premissa de nosso viver e engrandeça o legado das futuras gerações.

Carlos Alberto Muniz

Secretário de Meio Ambiente da Cidade do Rio de Janeiro

Instituições Colaboradoras

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO – ANP

AIR LIQUIDE

BIOMERIEUX BRASIL S /A

BRAINFARMA INDÚSTRIA QUÍMICA E FARMACÊUTICA S.A.

BRMALLS/ NORTE SHOPPING E WEST SHOPPING

CARIOCA SHOPPING

COMPANHIA DISTRIBUIDORA DE GÁS DO RIO DE JANEIRO – CEG

COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUA E ESGOTO – CEDAE

COMPANHIA MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA – COMLURB

DEPARTAMENTO DE TRÂNSITO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO – DETRAN-RJ

EDITORA O DIA

ENERGYWORKS DO BRASIL – GRUPO NEOENERGIA/CENTRAL DE
COGERAÇÃO AMBEV-RIO

FEDERAÇÃO DAS EMPRESAS DE TRANSPORTE DE PASSAGEIROS DO ESTADO
DO RIO DE JANEIRO – FETRANSPOR

FOZ ÁGUAS 5

FUNDAÇÃO PARQUES E JARDINS

FURNAS – DEPARTAMENTO DE PRODUÇÃO RIO

GAS LAB LIFECARE

GERDAU AÇOS LONGOS BRASIL /USINA COSIGUA

GPC QUÍMICA S/A

HYPERMARCAS S.A.

INFOGLOBO

INFRAERO/ AEROPORTO SANTOS DUMONT

INSTITUTO PEREIRA PASSOS

LIGHT

LINDE GÁS

METRÔ RIO

MINASCAL

REDE D'OR SÃO LUIZ / HOSPITAIS COPA D'OR E BARRA D'OR

REXAM SANTA CRUZ

SCHOTT BRASIL LTDA/DIVISÃO VITROFARMA



SECRETARIA ESTADUAL DE AGRICULTURA E PECUÁRIA DO RIO DE JANEIRO –
SEAPEC

SECRETARIA MUNICIPAL DE HABITAÇÃO – SMH

SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE – SMAC

SUBSECRETARIA DE DEFESA CIVIL

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM COMERCIAL – SENAC

THYSSENKRUPP COMPANHIA SIDERÚRGICA DO ATLÂNTICO – TKCSA

TISHMAN SPEYER/VENTURA CORPORATE TOWERS

USINA VERDE

VALE /CENTRO DE SERVIÇOS COMPARTILHADOS BRASIL /EDIFÍCIO BARÃO DE
MAUÁ II

VESUVIUS REFRAATÓRIOS LTDA

WHITE MARTINS LTDA / PRAXAIR INC.

Sumário

APRESENTAÇÃO	1
INTRODUÇÃO	4
1. A Questão Climática	5
2. Mudanças Climáticas e Cidades	6
3. Perfil do Município do Rio de Janeiro.....	10
INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO RIO DE JANEIRO – ANO DE 2012	17
1. Organização do Inventário de GEE do Município do Rio de Janeiro.....	18
2. Energia.....	21
2.1. <i>Caracterização do Setor no Município.....</i>	<i>21</i>
2.2. <i>Abordagem Metodológica</i>	<i>22</i>
2.2.1. Fontes de Dados	25
2.2.2. Cálculos das Emissões.....	28
2.2.2.1. Abordagem de Referência ou Top Down	28
2.2.2.2. Abordagem bottom up.....	34
2.3. <i>Resultados e Discussão.....</i>	<i>42</i>
2.3.1. Emissões e Remoções Antrópicas de GEE do Ano de 2012	42
2.3.1.1. Consumo das Indústrias de Energia	43
2.3.1.2. Indústria.....	44
2.3.1.1. Setor Residencial.....	47
2.3.1.2. Setor Comercial/Serviços.....	49
2.3.1.1. Setor Público.....	50
2.3.1.2. Setor Agropecuário	52
2.3.1.1. Transportes.....	52
2.3.1.1. Perdas da Distribuição de Eletricidade.....	55
2.3.1.2. Emissões Fugitivas	56
2.3.1.3. Bunkers.....	59

2.3.2.	Resultados Obtidos pelo Método de Referência – Top Down	59
2.3.2.1.	Diferenças nas Estimativas Top-down e Bottom-up	60
2.3.3.	Análise Agregada	61
2.3.4.	Análise Comparativa entre os Inventários de 2005 e 2012	64
3.	Processos Industriais e Uso de Produtos (Industrial Processes and Product Use – IPPU).....	67
3.1.	<i>Caracterização do Setor no Município.....</i>	<i>67</i>
3.2.	<i>Produção de Vidro</i>	<i>69</i>
3.2.1.	Abordagem Metodológica	69
3.2.1.1.	Fontes de Dados.....	69
3.2.1.2.	Cálculo das Emissões.....	69
3.2.2.	Resultados e Discussão	71
3.2.2.1.	Emissões e Remoções Antrópicas de GEE do Ano de 2012.....	71
3.2.2.2.	Análise Comparativa com os Inventários Anteriores	72
3.3.	<i>Produção de Metanol.....</i>	<i>72</i>
3.3.1.	Abordagem Metodológica	72
3.3.1.1.	Fontes de Dados.....	72
3.3.1.2.	Cálculo das Emissões.....	72
3.3.2.	Resultados e Discussão	73
3.3.2.1.	Emissões e Remoções Antrópicas de GEE do Ano de 2012.....	73
3.3.2.2.	Análise Comparativa com os Inventários Anteriores	74
3.4.	<i>Produção de Aço.....</i>	<i>75</i>
3.4.1.	Abordagem Metodológica	75
3.4.1.1.	Fontes de Dados.....	75
3.4.1.2.	Cálculo das Emissões.....	76
3.4.2.	Resultados e Discussão	77
3.4.2.1.	Emissões e Remoções Antrópicas de GEE do Ano de 2012.....	77
3.4.2.2.	Análise Comparativa com os Inventários Anteriores	78
3.5.	<i>Uso de Lubrificantes</i>	<i>79</i>
3.5.1.	Abordagem Metodológica	79
3.5.1.1.	Fontes de Dados.....	79
3.5.1.2.	Cálculo das Emissões.....	79

3.5.2.	Resultados e Discussão	80
3.5.2.1.	Emissões e Remoções Antrópicas de GEE do Ano de 2012.....	80
3.5.2.2.	Análise Comparativa com os Inventários Anteriores	81
3.6.	<i>Uso de parafinas</i>	82
3.6.1.	Abordagem metodológica	82
3.6.1.1.	Fontes de dados	82
3.6.1.2.	Cálculo das Emissões.....	82
3.6.2.	Resultados e Discussão	83
3.6.2.1.	Emissões e Remoções Antrópicas de GEE do Ano de 2012.....	83
3.6.2.2.	Análise Comparativa com os Inventários Anteriores	84
3.7.	<i>Uso de Óxido Nítrico</i>	84
3.7.1.	Abordagem Metodológica	84
3.7.1.1.	Fontes de Dados.....	84
3.7.1.2.	Cálculo das Emissões.....	84
3.7.2.	Resultados e Discussão	85
3.7.2.1.	Emissões e Remoções Antrópicas de GEE do Ano de 2012.....	85
3.7.2.2.	Análise Comparativa com os Inventários Anteriores	85
3.8.	<i>Resultados Consolidados</i>	85
4.	Agricultura, Floresta e outros Usos do Solo (Agriculture, Forestry and Other Land Use – AFOLU)	88
4.1.	<i>Caracterização do Setor no Município</i>	88
4.2.	<i>Metodologia</i>	92
4.2.1.	Fontes de Dados	92
4.2.2.	Abordagem Metodológica	97
4.2.3.	Cálculo das Emissões.....	103
4.3.	<i>Resultados e Discussão</i>	106
4.3.1.	Emissões e Remoções Antrópicas de GEE do Ano de 2012	106
4.3.2.	Análise Comparativa com os Inventários Anteriores	108
5.	Resíduos	111
5.1.	<i>Sub-setor Resíduos Sólidos</i>	111
5.1.1.	Caracterização do Setor no Município	112

5.1.2. Abordagem Metodológica	112
5.1.2.1. Fontes de Dados.....	113
5.1.2.2. Cálculo das emissões	121
5.2. <i>Sub-setor Efluentes Líquidos</i>	129
5.2.1. Caracterização do Setor no Município	130
5.2.2. Abordagem Metodológica	131
5.2.2.1. Fontes de Dados.....	131
5.2.2.2. Cálculo das Emissões.....	136
5.3. <i>Resultados e Discussão</i>	140
5.3.1. Emissões e Remoções Antrópicas de GEE do Ano de 2012	140
5.3.2. Comparação dos Resultados com Inventários Anteriores de 1996, 1998 e 2005.....	143
6. Análise Consolidada dos Resultados.....	147
6.1. <i>Resultados Consolidados das Emissões do Município do Rio de Janeiro em 2012</i>	147
6.2. <i>Emissões por Escopos</i>	151
6.3. <i>Comparação com o Ano-Base 2005</i>	154
6.4. <i>Análise de Indicadores</i>	156
7. Avaliação das Incertezas	157
ATUALIZAÇÃO DO PLANO DE AÇÃO MUNICIPAL PARA REDUÇÃO DAS EMISSÕES.....	161
1. Introdução	162
2. Energia.....	163
2.1. <i>Definição dos Cenários de Emissão de GEE e Principais Hipóteses Consideradas para Revisão das Medidas de Mitigação de GEE</i>	163
2.2. <i>Cenário A</i>	164
2.3. <i>Cenário B</i>	165
2.3.1. Fontes Fixas	166
2.3.2. Fontes Móveis	168
2.4. <i>Cenário C</i>	172
2.4.1. Fontes Fixas	173
2.4.2. Fontes Móveis	174

2.5. Planos Estratégicos	176
2.5.1. Fontes Fixas	176
2.5.2. Fontes Móveis	177
2.6. Considerações Finais.....	179
3. AFOLU.....	182
3.1. Plano de Ação para Redução das Emissões de GEE da Cidade do Rio de Janeiro.	182
3.1.1. Cenário A.....	182
3.1.2. Cenário B.....	183
3.1.3. Cenário C	184
3.2. Planos Estratégicos PCRJ (2009-2012/2013-2016)	185
3.3. Considerações Finais.....	186
4. Resíduos.....	188
4.1. Plano de Ação para Redução das Emissões de GEE da Cidade do Rio de Janeiro	188
4.1.1. Cenário A.....	188
4.1.2. Cenário B.....	192
4.1.3. Cenário C	195
4.2. Planos Estratégicos PCRJ (2009-2012 / 2013-2016)	197
4.3. Considerações Finais.....	198
5. Consolidação das Estimativas	200
Anexo I - Resumo das fontes e GEEs emitidos considerados no Inventário	201
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	203
DECLARAÇÃO DE VERIFICAÇÃO	209

Lista de Figuras

Figura 1 – O Efeito Estufa.....	7
Figura 2 – Divisões administrativas do Município do Rio de Janeiro.....	11
Figura 3 – Evolução da população no Brasil, no Estado do Rio de Janeiro e no Município do Rio de Janeiro, entre 1870 e 2010.....	12
Figura 4 – Taxa média geométrica de crescimento populacional anual no Brasil, Estado do Rio de Janeiro e Município do Rio de Janeiro, entre 1890 e 2010.	13
Figura 5 – Metas de redução de GEE do Rio de Janeiro, desviando-se de um cenário <i>business-as-usual</i> (BAU) para um cenário de desenvolvimento de baixa emissão de carbono.....	16
Figura 6 – Classificação das emissões de GEE por escopos.....	19
Figura 7 – Distribuição dos combustíveis usados para geração de eletricidade nas centrais elétricas de serviço público e autoprodutoras – Município do Rio de Janeiro – 2012.....	40
Figura 8 – Participação dos combustíveis nas emissões do setor industrial – todos os escopos (%).....	47
Figura 9 – Participação de cada combustível no consumo energético do setor residencial – todos os escopos (%).....	48
Figura 10 – Participação de cada combustível nas emissões totais do setor residencial – todos os escopos (%).....	48
Figura 11 – Participação de cada combustível no consumo energético do setor comercial/serviços – todos os escopos (%).....	49
Figura 12 – Participação de cada combustível no total das emissões do setor comercial/serviços – todos os escopos (%).....	50
Figura 13 – Participação de cada combustível no consumo energético do setor público – todos os escopos (%).....	51
Figura 14 – Participação de cada combustível nas emissões totais do setor público – todos os escopos (%).....	52
Figura 15– Participação de cada modal do setor de transportes nas emissões totais – todos os escopos (%).....	54
Figura 16 – Participação de cada combustível no total das emissões do setor de transportes – todos os escopos (%).....	55

Figura 17 – Percentual de Emissões de GEE devidas ao uso de energia por Setores (2012).....	63
Figura 18 – Participação dos energéticos nas emissões totais do Município em 2012 (%).	64
Figura 19 – Participação das tipologias industriais e de uso de produtos no total de emissões do setor de IPPU em 2012.....	86
Figura 20 – Mapa do Uso e Cobertura do Solo do Município de Rio de Janeiro, em 2010.	90
Figura 21 – Mapa do Uso e Cobertura do Solo do Município de Rio de Janeiro, em 2011.	91
Figura 22 – Áreas com perda e ganho de biomassa em 2012 no Município do Rio de Janeiro.....	101
Figura 23 – Participação das Fontes no Total das Emissões de AFOLU (%) no Município do Rio de Janeiro em 2012.....	107
Figura 24 – Emissões/Remoções de CO ₂ do Uso e Cobertura do Solo no Município do Rio de Janeiro em 2012.....	108
Figura 25 – Emissões totais de CO ₂ de AFOLU no Município do Rio de Janeiro em 2012, comparadas às de 2005.....	110
Figura 26 – Distribuição percentual das emissões de gases estufa no setor de tratamento de resíduos do município do Rio de Janeiro em 2012.....	143
Figura 27 – Evolução das emissões do setor resíduos por fonte geradora em gigagramas de dióxido de carbono equivalente.	145
Figura 28 – Participação dos grandes setores nas emissões de GEE totais do Município do Rio de Janeiro em 2012.....	149
Figura 29 – Participação dos subsetores nas emissões de GEE totais do Município do Rio de Janeiro em 2012.....	149
Figura 30 – Emissões de GEE do Município do Rio de Janeiro, em 2012, por escopos (Gg CO ₂ e).	153
Figura 31 – Distribuição das emissões entre os escopos em 2012.....	153
Figura 32 – Comparação entre as emissões recalculadas de 2005 e os resultados de 2012 (Gg CO ₂ e).....	155
Figura 33 – Consumo de Combustíveis no Cenário A (mil tEP)	169

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Produto interno bruto do Brasil, Estado do Rio de Janeiro e Município do Rio de Janeiro entre 2000 e 2010 (milhões de R\$).....	14
Tabela 2 – Participação do valor adicionado da agropecuária, da indústria e dos serviços no total do valor adicionado do Município do Rio de Janeiro entre 2005 e 2010 (%).	14
Tabela 3 – Opções Metodológicas e GEE para Inventários de Emissões de Uso de Energia – Fontes Fixas e Móveis.....	23
Tabela 4 – Estrutura Simplificada do Inventário do Uso de Energia e dados necessários para cálculo das emissões do Município do Rio de Janeiro.	25
Tabela 5 – Dados Utilizados para os Cálculos das Emissões do Setor de Energia.....	26
Tabela 6 – Fatores de Conversão para tep Médio em PCI de Cada Combustível.....	27
Tabela 7 – Fatores de Emissão de Carbono Utilizados nos Cálculos de Emissões.....	31
Tabela 8 – Frações de Carbono Oxidado.	33
Tabela 9 – Nível Metodológico em Cada Setor – Atividade.....	35
Tabela 10 – Fatores de emissão de CH ₄ (kg CH ₄ / TJ) de combustíveis por subsetores do Setor de Energia.	39
Tabela 11 – Fatores de emissão de N ₂ O (kg N ₂ O/ TJ) de combustíveis por subsetores do Setor de Energia.	40
Tabela 12 – Fatores de emissão de C para cada combustível utilizado nas centrais elétricas presentes no Município do Rio de Janeiro	41
Tabela 13 – Fração do carbono oxidado para cada combustível utilizado nas centrais elétricas presentes no município do Rio de Janeiro	41
Tabela 14 – Fatores de emissão para cada combustível utilizado nas centrais elétricas presentes no Município do Rio de Janeiro – CH ₄	42
Tabela 15 – Fatores de emissão para cada combustível utilizado nas centrais elétricas presentes no Município do Rio de Janeiro – N ₂ O	42
Tabela 16 – Consumo energético para fins de produção de energia elétrica (mil tep) – Município do Rio de Janeiro – 2012	43
Tabela 17 – Emissões de GEE do consumo energético das indústrias de energia da cidade do Rio de Janeiro (Gg).....	44

Tabela 18 – Consumo Energético do Setor Industrial (mil tep)*	45
Tabela 19 – Emissões do Setor Industrial (Gg).....	46
Tabela 20 – Consumo energético do setor residencial (mil tep).....	47
Tabela 21 – Emissões do Setor Residencial (Gg) – todos os escopos	49
Tabela 22 – Consumo Energético Comercial/Serviços (mil tep).....	49
Tabela 23 – Emissões do Setor Comercial/Serviços (Gg) – todos os escopos	50
Tabela 24 – Consumo Energético do Setor Público (mil tep)	51
Tabela 25 – Emissões do Setor Público (Gg) – todos os escopos	51
Tabela 26 – Emissões do Setor Agropecuário (Gg) – todos os escopos.....	52
Tabela 27 – Consumo Energético do Setor de Transportes (mil tep).....	53
Tabela 28 – Emissões do Setor de Transportes (Gg) – Município do Rio de Janeiro – 2012	54
Tabela 29 – Emissões com perdas na distribuição de energia elétrica por escopo (Gg) – Município do Rio de Janeiro – 2012	56
Tabela 30 – Emissões fugitivas de gás natural na rede de distribuição (Gg) – Município do Rio de Janeiro – 2012	56
Tabela 31 – Dados utilizados no cálculo dos fatores médios de emissão de CO ₂ , CH ₄ e N ₂ O para a atividade de Refino no Brasil.	57
Tabela 32 – Fatores médios de emissão de CO ₂ , CH ₄ e N ₂ O calculados para emissões fugitivas da atividade de Refino (Gg/mil m ³).	58
Tabela 33 – Emissões fugitivas de petróleo para cada tipo de GEE (Gg) – Município do Rio de Janeiro – 2012.	58
Tabela 34 – Emissões de Bunkers por tipo de GEE (em Gg) por combustível e consumo de combustível usado (em mil tep) – Município do Rio de Janeiro – 2012	59
Tabela 35 – Consumo Aparente por Fonte de Energia (mil tep) – método <i>top-down</i> (sem <i>bunker</i>) – Município do Rio de Janeiro - 2012	59
Tabela 36 – Emissões de CO ₂ por Fonte de Emissão (Gg CO ₂) – método <i>top-down</i> – (sem <i>bunker</i>) – Município do Rio de Janeiro - 2012	60
Tabela 37 – Consumo Final Energético do Diversos Setores no Rio de Janeiro em 2012, em mil tep*.	61
Tabela 38 – Emissões de GEE do Rio de Janeiro devidas ao uso de energia em 2012 – Gg CO ₂ e por Escopos.	62
Tabela 39 – Evolução das emissões por setor em GgCO ₂ e – 2005 e 2012 – todos os escopos	66

Tabela 40 – Resultados das Emissões de GEE do setor IPPU em 2012.	86
Tabela 41 – Resultados das Emissões de GEE do setor IPPU em 2012, comparado com 2005, em Gg CO ₂	87
Tabela 42 – Classes de uso e cobertura do solo no Município de Rio de Janeiro em 2010.....	88
Tabela 43 – Fontes de Emissão / Remoção de GEE de AFOLU	94
Tabela 44 – Fontes de Emissão/Remoção de GEE de AFOLU para o Município de Rio de Janeiro.	96
Tabela 45 – Mudança do Uso do Solo no Município do Rio de Janeiro em 2012.....	99
Tabela 46 – Reflorestamento de recuperação ambiental no Município do Rio de Janeiro.	99
Tabela 47 – Arborização urbana no Município do Rio de Janeiro no período 2007-2012.	100
Tabela 48 – Atividade agrícola no Município do Rio de Janeiro e quantitativos de fertilizante utilizados em 2012.	101
Tabela 49 – Atividade pecuária no Município do Rio de Janeiro em 2011.	102
Tabela 50 – Conteúdos de carbono (fatores de emissão) das categorias de uso e cobertura de solo.....	104
Tabela 51 – Fatores de Emissão para Fermentação Entérica e Manejo de Dejetos (kgCH ₄ /cabeça/ano)	105
Tabela 52 – Fatores de Emissão de N ₂ O para manejo de dejetos	105
Tabela 53 – Fatores de Emissão das atividades agrícolas	106
Tabela 54 – Emissões de GEE do setor AFOLU no Município do Rio de Janeiro em 2012.	106
Tabela 55 – Emissões de GEE do setor AFOLU em 2012, comparadas às de 2005	109
Tabela 56 – Evolução do aterramento de resíduos sólidos da cidade do Rio de Janeiro (toneladas).....	115
Tabela 57 – Consolidação do cenário socioeconômico do Município do Rio de Janeiro em valores de 2012	116
Tabela 58 – Estimativa de resíduos sólidos industriais classe II-A coletados e aterrados até 2012	116
Tabela 59 – Composição dos resíduos sólidos, em percentual de peso por volume (% kg/m ³)	116

Tabela 60 – Premissas de fatores de correção de metano para os aterros do Rio de Janeiro	118
Tabela 61 – Evolução das condições de aterramento dos resíduos da cidade do Rio de Janeiro para atribuição de Fator de Correção do Metano.....	118
Tabela 62 – Emissão de gases pela incineração de resíduos sólidos na Usinaverde.....	120
Tabela 63 – Gravimetria do resíduo incinerado na Usinaverde em 2012	120
Tabela 64 – evolução dos fatores de oxidação nos aterros do Rio de Janeiro.....	126
Tabela 65 – Emissões de CH ₄ e N ₂ O no tratamento dos efluentes líquidos.....	132
Tabela 66 – Estações de tratamento de esgotos (ETE) que atendem ao Município do Rio de Janeiro	134
Tabela 67 – Fatores de Correção do Metano (FCM) e respectivos Fatores de Emissão (FE)	139
Tabela 68 – Fatores de Correção do Metano (FCM) e respectivos Fatores de Emissão (FE) aplicados ao tratamento de esgotos e lodos na cidade do Rio de Janeiro.....	139
Tabela 69 – Emissões líquidas de GEE dos resíduos sólidos e efluentes líquidos da cidade do Rio de Janeiro em 2012	141
Tabela 70 – Emissões líquidas por fonte do setor resíduos no município do Rio de Janeiro em 2012.....	142
Tabela 71 – Comparativo das emissões do setor resíduos dos inventários anteriores em mil toneladas de dióxido de carbono equivalente (ou GgCO ₂ e)	144
Tabela 72 – Emissões totais do Município do Rio de Janeiro, em 2012, por GEE (Gg).	147
Tabela 73 – Emissões de GEE do Município do Rio de Janeiro em 2012, por escopo (Gg CO ₂ e).....	152
Tabela 74 – Emissões de GEE comparadas entre 2005 e 2012 (Gg CO ₂ e).....	154
Tabela 75 – Emissões de GEE, PIB e população no Município do Rio de Janeiro, 2005 e 2012.	156
Tabela 76 – Avaliação das incertezas das estimativas do inventário de emissões de GEE.	157
Tabela 77– Resultados de Emissões do Setor de Energia até 2025 (Cenário A).....	165
Tabela 78 – Resultados de Emissões do Setor de Energia até 2025 (Cenário B).....	166
Tabela 79 – Resultados de Emissões do Setor de Energia até 2025 (Cenário C).....	172

Tabela 80 – Reduções de Emissões de GEE Estimadas (Gg CO ₂ e) – Cenário B....	180
Tabela 81 – Resumo das Reduções de Emissões de GEE Estimadas (Gg CO ₂ e)...	180
Tabela 82 – Emissões de GEE 2005-2025, Cenário de Referência (Cenário A).....	182
Tabela 83 – Resumo das Ações e suas Emissões Evitadas para o Cenário B em relação ao cenário de referência (Gg CO ₂ eq).....	184
Tabela 84 – Resumo das Ações e suas Emissões Evitadas para o Cenário C em relação ao cenário de referência (Gg CO ₂ eq).	185
Tabela 85 – Ações do Plano Estratégico e suas remoções de C (Gg CO ₂ eq).....	186
Tabela 86 – Comparativo das remoções de carbono das ações de reflorestamento para Cidade do Rio de Janeiro (Gg CO ₂ eq).	186
Tabela 87 – Comparativo das emissões/remoções de C para a Cidade do Rio de Janeiro (Gg CO ₂ eq).	187
Tabela 88 – Evolução da Produção <i>Per Capita</i> de RSU do Rio de Janeiro.....	188
Tabela 89 – Evolução da Produção de RSI do Rio de Janeiro.....	189
Tabela 90 – Composição dos RSU, em Percentual de Peso por Volume (% kg/m ³).....	190
Tabela 91 – Contextualização do Setor de Resíduos Sólidos.....	191
Tabela 92 – Resumo das Ações e Suas Emissões Evitadas para o Cenário B (Gg CO ₂ eq).	192
Tabela 93 – Resumo das Ações e Suas Emissões Evitadas para o Cenário B (Gg CO ₂ eq).	195
Tabela 94 – Resumo das Ações e Suas Emissões Evitadas para o Cenário C (GgCO ₂ eq).	196
Tabela 95 – Resumo das ações e suas emissões evitadas para o Cenário C (Gg de CO ₂).	197
Tabela 96 – Resumo das Reduções de Emissões de GEE Estimadas (Gg CO ₂ eq.).....	198
Tabela 97 – Comparativo das remoções de carbono das ações de Resíduos para o Município do Rio de Janeiro (Gg CO ₂ eq).....	198
Tabela 98 – Redução verificada de emissões em 2012 e 2013.	199
Tabela 99 – Reduções de emissões estimadas para o período do Plano Estratégico do Município do Rio de Janeiro.....	200

Lista de Siglas

ABAL – Associação Brasileira do Alumínio

ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química

ABIVIDRO – Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro

AFOLU – Agriculture, Forestry and Other Land Uses

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

AR-4 – IPCC Fourth Assessment Report

BEN – Balanço Energético Nacional

BRS – Bus Rapid Service

BRT – Bus Rapid Transit

C-40 – Cities Climate Leadership Group

CEDAE-RJ – Companhia Estadual de Águas e Esgotos

CEG-Rio – Gás Natural Fenosa

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – SP

CH₄ – metano

CMA – Coordenadoria de Monitoramento Ambiental

CO – monóxido de carbono

CO₂ – dióxido de carbono

COD – carbono organicamente degradável

COMLURB – Companhia Municipal de Limpeza Urbana

COP – Conferência das Partes

COPPE – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia

CQNUMC – Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima

CRA – Coordenadoria de Recuperação Ambiental

CRJ – Cidade do Rio de Janeiro

CTR – Central de Tratamento de Resíduos

DBO – Demanda bioquímica de oxigênio

DQO – Demanda química de oxigênio

EMATER-Rio – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural – RJ

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

ETR – Estação de transferência de resíduos

FIRJAN – Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro

FOD – First Order Decay

FPJ – Fundação Parques e Jardins

GDL – biogás de lixo

GEE – Gases de efeito estufa

GNV – Gás natural veicular

GPC – Global Protocol for Community-scale Greenhouse Gas Emissions

GWP – Global Warming Potential

HFC – hidrofluorcarbonetos

ICLEI – International Council for Local Environmental Initiatives

IEA – International Energy Agency (Agência Internacional de Energia)

INFRAERO – Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

IPP – Instituto Pereira Passos

IPPU – Industrial Processes and Product Use (Processos Industriais e Uso de Produtos)

MCF – Fator de Correção do Metano

MCTI – Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação

MP – material particulado

N₂O – óxido de nitrogênio.

NOAA – National Oceanic & Atmospheric Administration

NO_x – óxido nitroso

PCI – poder calorífico inferior

PFC – perfluorcarbonetos

PIB – Produto Interno Bruto

PNAD – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

PNMC – Plano Nacional sobre Mudança do Clima

REDUC – Refinaria de Duque de Caxias

RSI – Resíduos Sólidos Industriais

RSS – resíduos de serviços de saúde

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SEAPEEC – Secretaria de Estado de Agricultura e Pecuária

SMAC – Secretaria Municipal de Meio Ambiente

SO₂ – dióxido de enxofre

TKCSA – ThyssenKrupp Companhia Siderúrgica do Atlântico

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

VLT – Veículo Leve sobre Trilhos

VOC – compostos orgânicos voláteis

WRI – World Resources Institute

Apresentação

As emissões totais de gases de efeito estufa (GEE) de uma cidade, região ou país são resultantes da queima de combustíveis fósseis (derivados de petróleo, gás natural e carvão mineral), do tratamento de resíduos, de processos industriais e da variação da cobertura vegetal, dentre outras fontes. Praticamente todos os setores de atividade da sociedade moderna (indústria, serviços, transportes, agropecuária, edificações) produzem emissões de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), os principais GEE, em maior ou menor escala. A estimativa das emissões de GEE possui uma incerteza intrínseca, devido à dificuldade de levantamento dos dados sobre todas essas atividades e os fatores de emissão. Isto se torna ainda mais significativo quando se trata de municípios, onde a delimitação das fronteiras das atividades é mais complexa. Entretanto, a Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro foi uma das cidades pioneiras na realização de um inventário de emissões de GEE em escala municipal. Em 2000, a Prefeitura apresentou o inventário das emissões dos três principais GEE da cidade do Rio de Janeiro para os anos de 1990, 1996 e 1998 e em 2010 o fez para o ano de 2005, além de um estudo de Cenários e de um Plano de Ação para mitigação de suas emissões de GEE. A Prefeitura apresenta agora seu terceiro inventário das emissões desses GEE da cidade do Rio de Janeiro, que chegaram a 23,6 milhões de toneladas equivalentes de CO_2 ($\text{Mt CO}_2\text{e}$) no ano de 2012, além da revisão das estimativas para 2005 (11,4 $\text{Mt CO}_2\text{e}$), sempre com o apoio técnico da COPPE/UFRJ.

A redução de emissões de GEE no Rio de Janeiro é um dos projetos estabelecidos como estratégicos pela Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. Metas de redução de emissões foram definidas e consolidadas pela Lei Municipal de Mudanças Climáticas e Desenvolvimento Sustentável, publicada em janeiro de 2011. As metas foram fixadas tendo como referência as emissões totais verificadas em 2005. Os objetivos de redução foram assim definidos: evitar 8% das emissões de 2005 em 2012 (0,91 $\text{Mt CO}_2\text{e}$), 16% em 2016 (1,82 $\text{Mt CO}_2\text{e}$) e 20% (2,28 $\text{Mt CO}_2\text{e}$) em 2020.

As metas foram estabelecidas quando muitos projetos da Prefeitura para redução de emissões estavam em fase de definição e detalhamento. Obras e intervenções de porte como a inauguração do Centro de Tratamento dos Resíduos (CTR) em Seropédica e a operação dos grandes corredores de ônibus expressos de alta capacidade (BRTs) propiciam redução significativa das emissões de GEE.

Por outro lado, é importante ressaltar porque as emissões de GEE evitadas pela ação da Prefeitura não foram suficientes para garantir uma redução do nível total de emissões de GEE da cidade, que quase dobraram de 2005 a 2012. O crescimento demográfico e o desenvolvimento econômico da cidade induzem um aumento de emissões de GEE. Se a população municipal vem aumentando muito lentamente nos últimos anos (crescimento de 3,6% entre 2005 e 2012), a dinâmica da economia se acelerou a partir de novembro de 2009, quando o Rio de Janeiro foi escolhido como cidade-sede dos Jogos Olímpicos e Paraolímpicos de 2016 (35,1% de aumento do PIB municipal entre 2005 e 2012). Também o início da operação dentro dos limites do município a partir do final de 2010 de uma usina siderúrgica de grande porte a coque de carvão mineral, a Companhia Siderúrgica do Atlântico – TKCSA, naturalmente contribuiu para uma elevação das emissões de GEE da cidade: as 8,8 Mt CO₂e de emissão bruta no sítio da usina (escopo 1), ainda que atenuadas por um esforço significativo da TKCSA, representaram emissões líquidas de GEE estimadas pela empresa em 6,3 Mt CO₂e em 2012. Enfim, alterações na política energética do país, através de decisões tomadas fora da alçada da administração municipal, como o aumento do uso de centrais térmicas na geração elétrica, o aumento do uso de gasolina devido aos subsídios ao preço da gasolina e ao crescimento das frotas de carros individuais, além da crise da produção de etanol, também influenciaram na elevação das emissões de GEE da cidade do Rio de Janeiro de 2005 a 2012.

A Prefeitura do Rio de Janeiro decidiu, então, direcionar as políticas públicas a um desenvolvimento urbano de baixo carbono. Os investimentos e intervenções devem ter a componente climática entre suas prioridades, sinalizando aos agentes econômicos e à sociedade civil de que se trata de uma prioridade. Ademais, a premissa do Plano Estratégico da Cidade tem como eixo central o desenvolvimento sustentável. A opção do Poder Executivo Municipal, em conjunto com a Câmara Municipal, foi adotar metas realistas e transparentes, de acordo com as políticas públicas de alcance da Prefeitura.

Esse posicionamento permitiu à cidade do Rio de Janeiro liderar em conjunto com a cidade de Nova York a reunião das cidades participantes do C40 Climate Leadership Group, entidade que reúne 58 megacidades do Planeta durante a Rio+20. Os prefeitos do C40 assumiram o compromisso de reduzir as emissões globais de gases do efeito estufa em 1,3 bilhão de toneladas até 2030, segundo as políticas em implementação em suas respectivas cidades. O compromisso representou um contraste com a dificuldade de consenso no âmbito multilateral e com a ausência do

debate sobre as mudanças climáticas durante a Conferência das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável, a Rio+20, promovida pelos governos nacionais. Em que pese a liderança e autonomia das cidades, as perspectivas e metas dos governos nacionais, regionais e locais, incluindo a cidade do Rio de Janeiro, também sofrem reflexo direto dessas negociações.

Neste contexto, a Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro apresenta no presente relatório o Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa da cidade no ano de 2012 e a atualização do Plano de Ação Municipal para Redução das Emissões. De forma pioneira, este inventário foi submetido a um processo de verificação por parte independente, devidamente credenciada neste campo. Ao longo de sete meses, de setembro de 2014 a março de 2015, a Prefeitura e a COPPE/UFRJ forneceram à DNV GL, entidade contratada para realizar a verificação independente do inventário, todos os dados, resultados e esclarecimentos metodológicos necessários para assegurar a máxima transparência e precisão do inventário. A Declaração de Verificação deste Inventário, emitida pela DNV GL, encontra-se anexada ao final deste documento.

Introdução

1. A Questão Climática

O Observatório de Mauna Loa, do NOAA (National Oceanic & Atmospheric Administration), no Havaí, que monitora mensalmente a concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, verificou a concentração de 393,09 ppm (partes por milhão) em janeiro de 2012, um aumento de cerca de 24% em relação ao início das medições em 1959¹. De acordo com o quarto relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (AR-4, IPCC), este aumento na concentração de CO₂ na atmosfera vem ocorrendo desde a Revolução Industrial e é quase certo que esteja associado ao efeito estufa causado pelo homem, devido às atividades econômicas (IPCC, 2007b). Esta questão vem atraindo cada vez mais a atenção das sociedades em todo o mundo, resultando em maiores exigências legislativas em uma base global e no desenvolvimento de uma variedade de soluções para controlar e reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) em escala global e nacional.

Sob a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC ou UNFCCC, em inglês), tanto países desenvolvidos quanto emergentes têm assumido a responsabilidade de desenvolver e atualizar os inventários nacionais de emissões e remoções antrópicas por sumidouros de gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal. Os inventários são o passo inicial de maior importância para se diagnosticar como os setores da sociedade contribuem para as emissões de GEE com suas atividades. Neste sentido, a Primeira Comunicação Nacional do Brasil preparada de acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC, em inglês) foi lançada em 2004, na 10^a Conferência das Partes da CQNUMC, em Buenos Aires. O documento continha o primeiro inventário de emissão de GEE do Brasil, que abrangeu o período de 1990-1994 (BRASIL, 2004). A Segunda Comunicação Nacional, lançada em 2010, atualizou os resultados de 1990-1994 e apresentou o inventário do período entre 2000-2005 (BRASIL, 2010).

Até recentemente, as cidades dos países em desenvolvimento, confrontadas com questões ambientais mais urgentes, como a má qualidade do ar, vinham

¹ <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>

considerando questões, tais como as alterações climáticas, como de interesse distante. No entanto, as cidades contribuem para as mudanças climáticas e são afetadas por seus impactos. Os impactos das mudanças climáticas, embora um problema global, têm como fontes muitas das mesmas atividades antrópicas que causam impactos ambientais locais. Neste sentido, muitas cidades têm incluído as mudanças climáticas em suas políticas. Sendo assim, estratégias locais, aplicadas em escala, podem significativamente contribuir para formar sociedades mais resilientes e de baixo carbono. A compreensão das vantagens de se incluir a questão das mudanças climáticas na preocupação com a resolução de problemas locais tem levado muitas cidades a reconhecer o valor de se elaborar inventários locais de emissões de GEE. A principal vantagem deste tipo de abordagem é o uso do inventário como um instrumento de política pública urbana, capaz de ajudar os tomadores de decisão na identificação das emissões produzidas por diferentes atividades municipais e no planejamento de ações. É possível para essas cidades criar uma estrutura capaz de traduzir políticas em ações de mitigação climática, que beneficiem a população e a economia locais. Além disso, é possível monitorar estas ações de forma a obter reconhecimento internacional e ainda pleitear créditos de carbono em mercados internacionais.

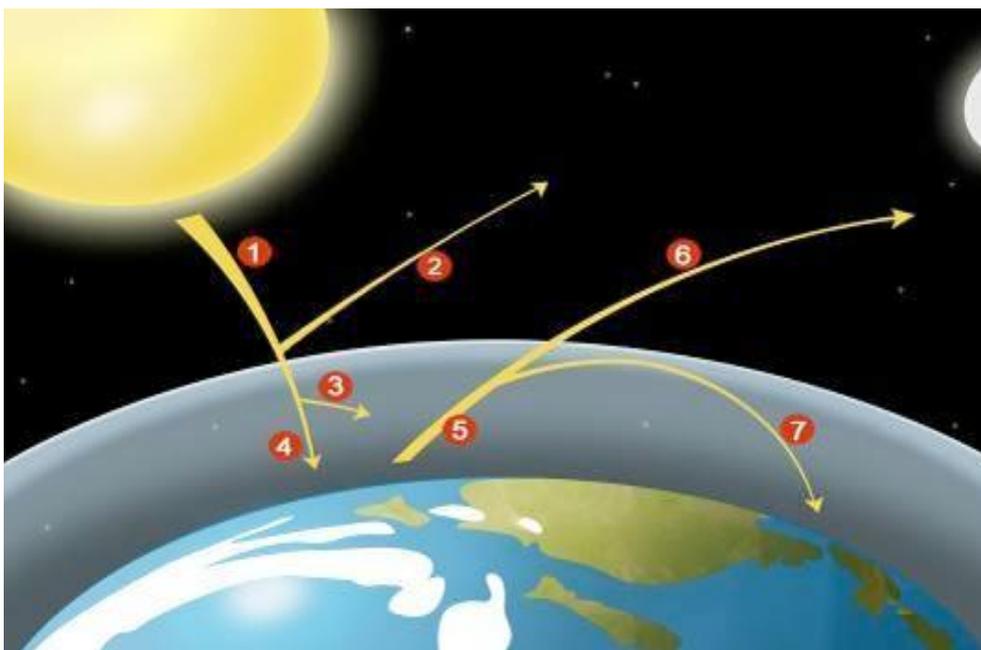
2. Mudanças Climáticas e Cidades

O efeito estufa é um fenômeno natural, independente da ação do homem, causado pela presença de determinados gases na atmosfera terrestre. Esses gases atuam como uma cobertura natural, mantendo a temperatura da Terra propícia ao desenvolvimento das diferentes formas de vida. Sem este fenômeno, a temperatura média da terra, em torno de 15° C, seria de cerca de 17° C negativos.

O efeito estufa causado por mecanismos naturais é vital, pois, sem ele, a vida como se conhece não poderia existir. No entanto, o aumento da concentração desses gases na atmosfera devido às atividades humanas² intensifica o efeito protetor, dificultando a saída de calor (radiação térmica) emitida pela superfície da terra e ocasionando o fenômeno que conhecemos por “Aquecimento Global”. Para se ter uma

² Utiliza-se também o termo atividades antropogênicas.

idéia, estima-se que em 1850, época de difusão da Revolução Industrial, a concentração de CO₂ na atmosfera era de aproximadamente 270 ppm. Atualmente, segundo o AR4, a concentração ultrapassa os 375 ppm, caracterizando um aumento de mais de 35%. A Figura 1 mostra a dinâmica do efeito estufa causada pela presença destes gases na atmosfera.



Fonte: Elaborado a partir de <http://www.nccnsw.org.au/member/cipse/context/>

Grande parte da energia da Terra vem do sol (1). Parte da energia do sol que alcança a atmosfera terrestre é refletida de volta ao espaço (2), enquanto a energia na faixa dos menores comprimentos de onda é absorvida pela camada de ozônio estratosférico (3). A energia do sol que alcança a superfície da Terra a aquece (4) e, por sua vez, a Terra irradia energia, mas em comprimentos de onda maiores (5). Se toda esta energia escapasse de volta para o espaço (6), a temperatura da superfície da Terra seria -17°C, em vez de 15°C, como é em média. Isto ocorre graças à presença de gases de efeito estufa na atmosfera que aprisionam parte desta energia de maior comprimento de ondas, contribuindo para manter a Terra aquecida (7).

Figura 1 – O Efeito Estufa.

Diante da perspectiva de surgimento de problemas sócio-econômicos e ambientais devidos ao aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, foi estabelecida a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, em 1992. O objetivo principal da CQNUMC é estabilizar a concentração de GEE na atmosfera em um nível seguro, que não comprometa a segurança alimentar e permita a adaptação natural dos ecossistemas, dentro de um modelo de desenvolvimento sustentável. O Protocolo de Quioto, por sua vez, constitui-se num tratado internacional que estabelece compromissos de redução de

emissão válidos para o período de 2008 a 2012, que visa contribuir com os objetivos da Convenção. A Convenção se baseia no princípio da responsabilidade comum, mas diferenciada, dos países signatários. Assim, desde 1990, ela separava o mundo entre países desenvolvidos, com obrigações de redução, e países em desenvolvimento, sem esta obrigação. Entretanto, com a disparada de crescimento econômico da China, seguida por Índia e Brasil, e principalmente com as emissões de GEE chinesas ultrapassando as norte-americanas em 2006, essa divisão começou a ser considerada inadequada. Esta discussão fez o Protocolo passar por algumas COPs³ sem que seu futuro fosse acordado, até que no final de 2011, na COP 17, a "Plataforma de Ação de Durban" foi adotada ao término de negociações que estiveram à beira do fracasso. O Pacote estende Quioto até 2015 e prevê um mapa do caminho para elaboração de um novo acordo vinculativo global até 2017, para entrada em vigor em 2020, acordo com o qual os maiores emissores de GEE do mundo, incluindo China, EUA, União Europeia e Índia, disseram se comprometer a aderir para reduzir as emissões em conjunto.

Devido à concentração da população nos grandes centros urbanos de países em desenvolvimento, as cidades consomem a maior parte da energia produzida para atender os sistemas de transporte e as demandas comerciais e industriais de aquecimento e refrigeração. Como consequência, a poluição do ar se tornou um problema crescente (CARNEVALE et al., 2006; D' AVIGNON et al., 2010; KIMMEL e KAASIK, 2003; PENG et al., 2002; VENEGAS e MAZZEO, 2006). De acordo com KOJIMA e LOVEI (2001), a maior parte das fontes desta poluição atmosférica local está intimamente relacionada com a produção e o consumo de energia, especialmente a queima de combustíveis fósseis, assim como as emissões de GEE. A Agência Internacional de Energia (International Energy Agency – IEA) estima que atualmente as áreas urbanas são responsáveis por 71% das emissões de GEE relacionadas a geração/consumo de energia e espera-se que este valor suba para 76% até 2030 (IEA, 2009). Sendo assim, alguns dos mesmos processos que emitem gases que afetam a saúde humana, os ecossistemas e a produtividade agrícola local, tais como dióxido de enxofre (SO₂), óxido nitroso (NO_x), material particulado (MP), compostos

³ Conferência das Partes: reunião anual dos países signatários da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

orgânicos voláteis (VOC) e monóxido de carbono (CO), também causam a emissão de gases que têm impacto sobre o clima global, como o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido de nitrogênio (N₂O). Isto leva a crer que medidas destinadas a reduzir o consumo de combustíveis a fim de diminuir os níveis de poluição atmosférica local podem, ao mesmo tempo, reduzir as emissões de GEE, ou vice-versa. Segundo DOLL *et al.* (2011), tentar abordar os dois assuntos juntos pode ser visto como uma forma mais coerente de tomar decisões políticas e também se revelar mais prudente financeiramente a longo prazo.

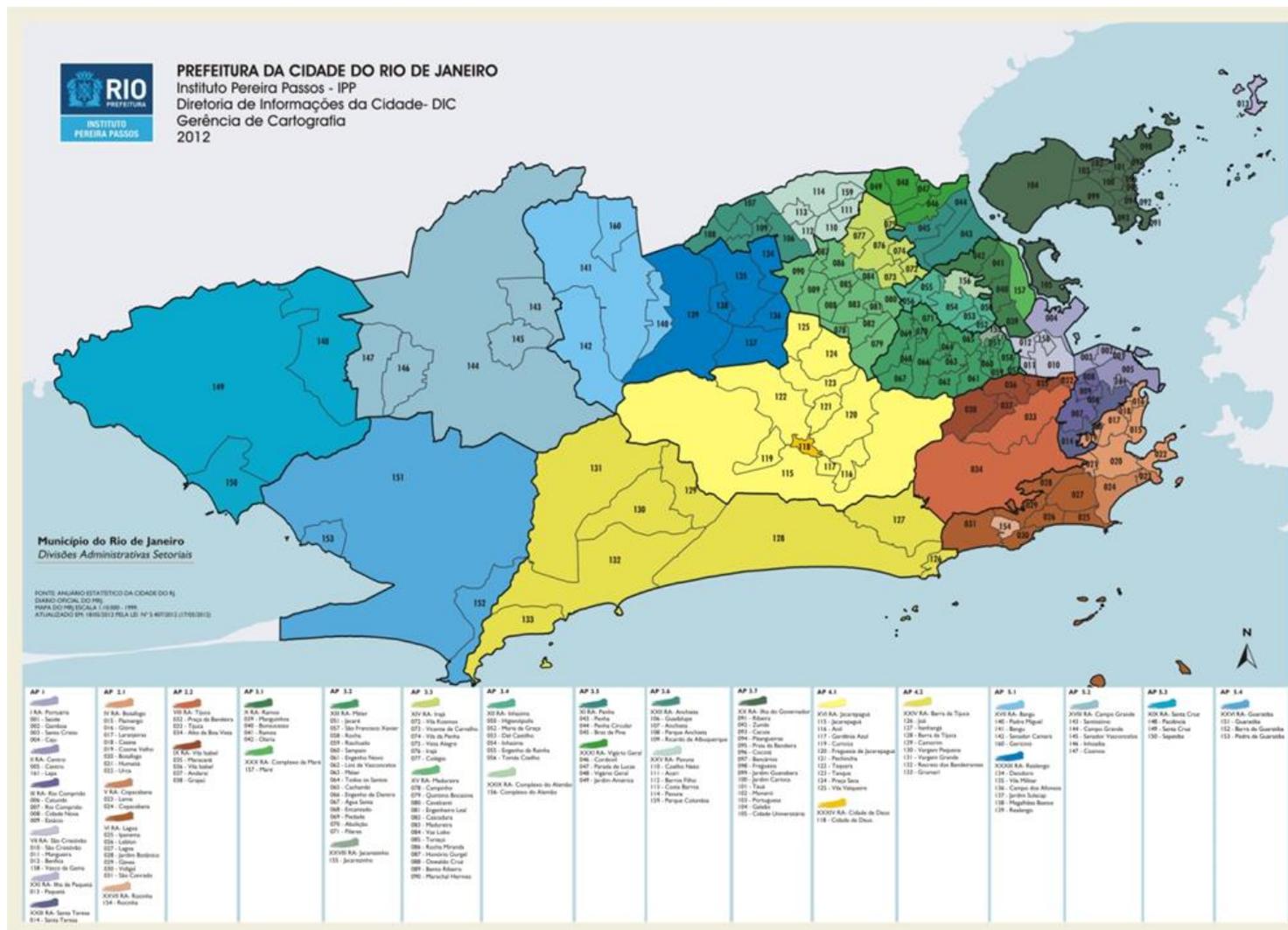
O problema climático é uma questão que perpassa os interesses da sociedade, do setor privado e do poder público, além de ter um forte apelo tecnológico, que envolve também aspectos de pesquisa e desenvolvimento. Sendo assim, estratégias de planejamento locais, que levem em consideração os aspectos climáticos em conjunto com a poluição do ar, podem ser instrumentos potenciais para uma política integradora e participativa, valorizando vocações locais e a proximidade com os stakeholders. A elaboração de um planejamento de ações de mitigação climática no âmbito local representa uma contribuição importante para que a discussão dessas questões cruciais chegue até a política pública urbana, propiciando um planejamento mais aplicado nas suas metas, objetivos e resultados. Esta abordagem propicia levantar informações sobre fontes locais de emissões de GEE e ações de mitigação que podem ter peso pequeno para as metas de redução de emissões nacionais, mas que são de grande importância estratégica para as economias locais. Embora existam diferenças na organização institucional e política das cidades no mundo, a maioria delas pode ser considerada como uma unidade de análise em relação ao clima. E se, por um lado, o dimensionamento do potencial de mitigação de GEE nas cidades torna-se urgente devido à possibilidade de redução de custos em setores como a saúde e a conservação dos equipamentos urbanos, por outro ainda pode possibilitar a obtenção de recursos no mercado de carbono, através de projetos de redução de emissões que podem ser submetidos a certificações para geração de créditos.

3. Perfil do Município do Rio de Janeiro

O Município do Rio de Janeiro é a capital do Estado do Rio de Janeiro. Situa-se na margem ocidental da baía de Guanabara, tendo o oceano Atlântico ao sul, circundado pelos Municípios de Itaguaí, Nova Iguaçu, Nilópolis, São João de Meriti e Duque de Caxias ao norte e a baía de Sepetiba a oeste. A superfície do Município é de 1.221,31 km², incluindo mais de cem ilhas, o que representa 3% da superfície do Estado do Rio de Janeiro e menos de 0,5% da superfície total do país.

Administrativamente, o território do Município do Rio de Janeiro está dividido atualmente em 5 áreas de Planejamento, 33 Regiões Administrativas e 161 Bairros⁴ (Figura 2).

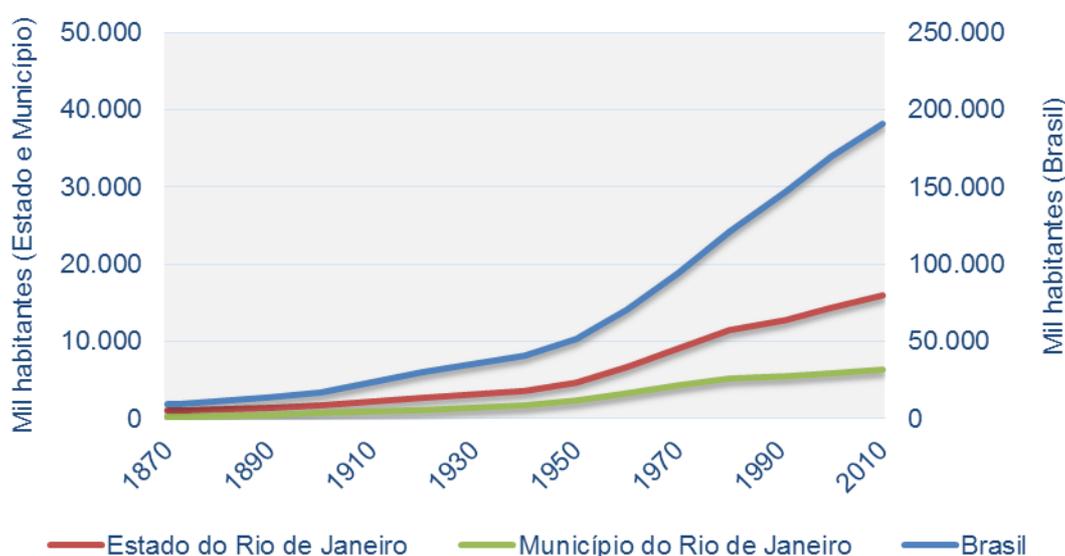
⁴ A Lei n.º 5.407/12 criou o 161º bairro, o bairro da Lapa.



Fonte: http://www.armazemdedados.rio.rj.gov.br/arquivos/3201_limite%20de%20ap_ra_bairro_2012.JPG

Figura 2 – Divisões administrativas do Município do Rio de Janeiro.

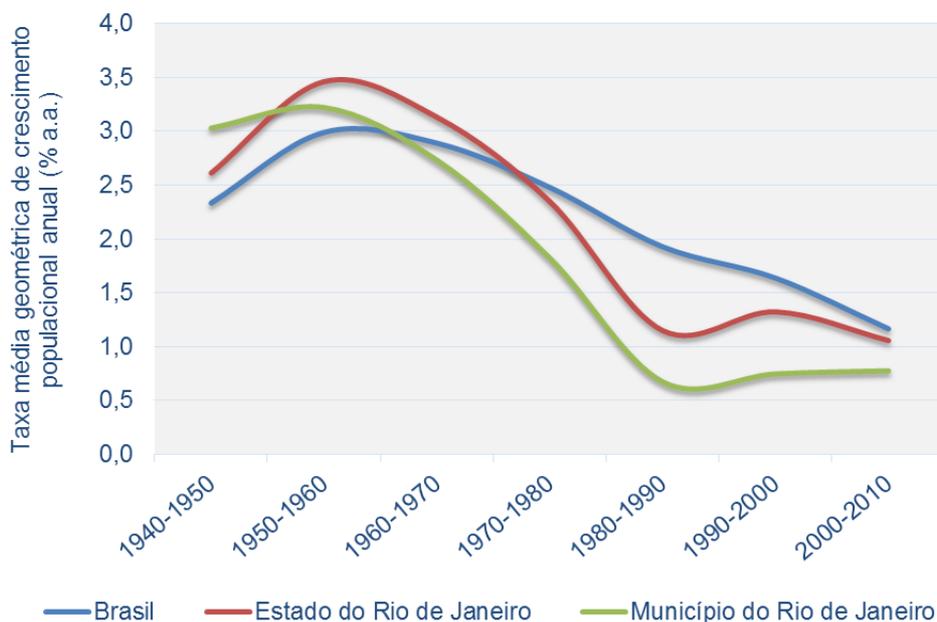
O Censo Demográfico de 2010 contabilizou uma população de 6.320.446 habitantes residindo no Município (IBGE, 2013a). A Fig 3 apresenta a evolução da população do Município em comparação com a do estado e a do país. A população estimada para 2011 foi de 6.356 mil habitantes, dentre os 12.043 mil habitantes da região metropolitana, o que torna a região a segunda maior aglomeração urbana do Brasil. Para 2012, estimou-se 6.390.290 habitantes vivendo no Município do Rio de Janeiro.



Fonte: Autores, a partir de IBGE, vários censos demográficos.

Figura 3 – Evolução da população no Brasil, no Estado do Rio de Janeiro e no Município do Rio de Janeiro, entre 1870 e 2010.

Até 1960, a população municipal cresceu a uma taxa mais alta que a média nacional, em consequência, principalmente, da intensa imigração. A partir daquele ano, no entanto, a taxa de crescimento populacional do Município começou a diminuir mais rapidamente do que a nacional e vem se mantendo menor que a do país e do estado até o último Censo (2010). A Figura 4 abaixo apresenta a curva de variação da taxa geométrica de crescimento anual da população do Município em comparação com as do estado e do país.



Fonte: Autores, a partir de IBGE, vários censos demográficos.

Figura 4 – Taxa média geométrica de crescimento populacional anual no Brasil, Estado do Rio de Janeiro e Município do Rio de Janeiro, entre 1890 e 2010.

De acordo com Indicadores Demográficos do Brasil, as taxas de incremento médio anual da população entre 2000 e 2010 foram de 0,80% no Município e 0,86% na região metropolitana. Estes dados indicam, de modo geral, uma aceleração na taxa de crescimento dos demais Municípios do Grande Rio, comparado a um pequeno aumento na taxa da capital em si. De acordo com as estimativas, entre 2010 e 2012 a população do Município do Rio aumentou a uma taxa anual média de 0,55%.

Em termos econômicos, no período de 2005 a 2010, a variação do PIB do Estado do Rio de Janeiro, em valores corrigidos para 2012, foi de 31%, enquanto o PIB do Município do Rio variou 28%, conforme verificado na Tabela 1. Essa diferença entre Município e estado foi reduzida em relação a diferença de variação no período anterior, de 2000 a 2005, quando o PIB do Estado do Rio de Janeiro em valores correntes variou 17%, e o do Município variou 2%. A participação da capital em relação ao PIB do estado passou de 48% em 2005 para 47% em 2010, representando uma queda menor que a do período anterior, quando a participação caiu de 55% em 2000 para 48% em 2005.

Tabela 1 – Produto interno bruto do Brasil, Estado do Rio de Janeiro e Município do Rio de Janeiro entre 2000 e 2010 (milhões de R\$).

Ano	PIB (em milhões de reais – valores corrigidos para 2012)			Participação do PIB municipal no PIB estadual
	Brasil	Estado do Rio de Janeiro	Município do Rio de Janeiro	
2000	2.526.906,92	299.408,86	164.387,02	55%
2001	2.632.517,94	307.497,16	166.994,69	54%
2002	2.774.868,50	321.780,80	170.987,11	53%
2003	2.836.531,42	313.721,56	159.770,82	51%
2004	2.963.935,49	340.353,03	172.011,70	51%
2005	3.046.491,10	350.467,14	167.093,88	48%
2006	3.180.822,32	369.602,28	171.863,67	46%
2007	3.463.853,51	386.256,02	182.339,26	47%
2008	3.778.041,76	427.595,44	197.807,22	46%
2009	3.811.339,50	416.357,37	200.623,03	48%
2010	4.252.435,33	459.210,69	214.589,79	47%

Fonte: Autores, a partir de IBGE, Séries Históricas e Estatísticas ⁵.

A participação de cada setor no total do valor adicionado do Município do Rio de Janeiro se manteve sem grandes variações entre os anos do período de 2005 a 2010 (Tabela 2).

Tabela 2 – Participação do valor adicionado da agropecuária, da indústria e dos serviços no total do valor adicionado do Município do Rio de Janeiro entre 2005 e 2010 (%).

Ano	Participação no valor adicionado total (%)		
	Agropecuária	Indústria	Serviços
2005	0,05	13,98	85,97
2006	0,05	14,44	85,51
2007	0,04	12,85	87,11
2008	0,04	13,88	86,07
2009	0,04	16,54	83,42
2010	0,04	15,21	84,75

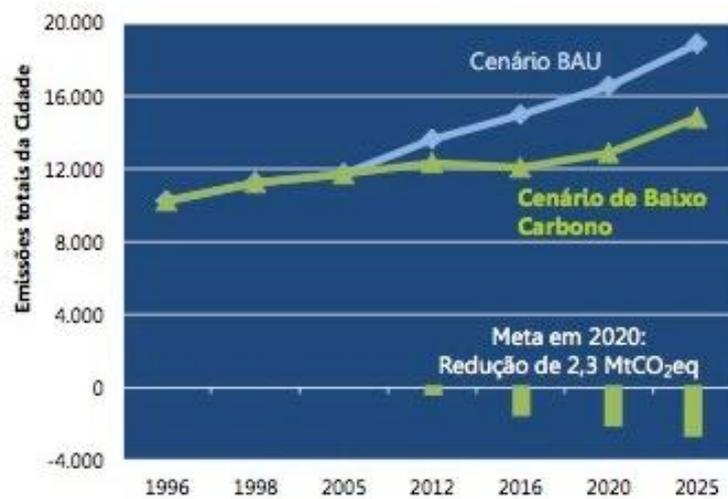
Fonte: Autores, a partir de IBGE, Séries Históricas e Estatísticas (2013)⁶.

⁵ <http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/> (Consultado em agosto de 2013)

Sendo lar de uma grande variedade de belezas naturais e riquezas culturais, situado entre montanhas cobertas pela exuberante Mata Atlântica, o Município do Rio é um lugar no qual os ambientes natural e urbano coexistem harmoniosamente. Nessa paisagem única, o Rio foi o lugar ideal para hospedar a comunidade internacional em ocasiões como o Earth Summit, em 1992, e o Rio+ 20, em 2012. O Rio exibiu com êxito a sua magnificência e seu potencial para o mundo, vencendo a disputa com outros países para sediar mega eventos futuros, como a Copa do Mundo de 2014 e as Olimpíadas de 2016. Nesse sentido, o Município está esperando um influxo sem precedentes de visitantes e investimentos nos próximos anos, provindos de fontes nacionais e estrangeiras. A administração do Município tem a tarefa de assegurar que esses investimentos melhorem a qualidade de vida dos moradores, aumente o acesso aos serviços e enfrente as mudanças climáticas e outras questões ambientais. Com o objetivo primordial de ser um Município de classe mundial, com uma elevada qualidade de vida para todos os residentes, o Rio de Janeiro está comprometido com o desenvolvimento urbano sustentável e de baixa emissão de carbono.

Como parte deste esforço, a Lei Municipal Sobre Mudanças Climáticas e Desenvolvimento Sustentável (Lei nº 5.248), de 27 de janeiro de 2011, definiu as quantidades de redução voluntária de emissões de GEE do Rio em 8%, 16% e 20% dos níveis de emissões de 2005 para os anos 2012, 2016 e 2020, respectivamente. Esses objetivos são de volumes absolutos de reduções de emissões (expressas em toneladas de CO₂ equivalente) e devem ser cumulativamente alcançados até o final do respectivo ano.

O último inventário de GEE do Rio, realizado pela COPPE, departamento de pesquisa em pós-graduação de engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, identificou que as emissões de 2005 totalizaram 11,4 Mt CO₂e (ROVERE *et al.*, 2010). Portanto, as metas correspondem a reduções de emissões cumulativas de 0,9 Mt CO₂e a serem reduzidas até final de 2012, 1,8 Mt CO₂e a serem reduzidas até 2016 e 2,3 Mt CO₂e a serem reduzidas até 2020 (Figura 5).



Fonte: Autores.

Figura 5 – Metas de redução de GEE do Rio de Janeiro, desviando-se de um cenário *business-as-usual* (BAU) para um cenário de desenvolvimento de baixa emissão de carbono.

O presente relatório visa calcular as emissões de GEE do Município para o ano de 2012, comparando com o inventário de 2005, ano-base da Política Municipal de Mudanças Climáticas e Desenvolvimento Sustentável, para verificar a evolução das emissões do Rio.

***Inventário de
Emissões de Gases de
Efeito Estufa do Rio de
Janeiro – ano de 2012***

1. Organização do Inventário de GEE do Município do Rio de Janeiro

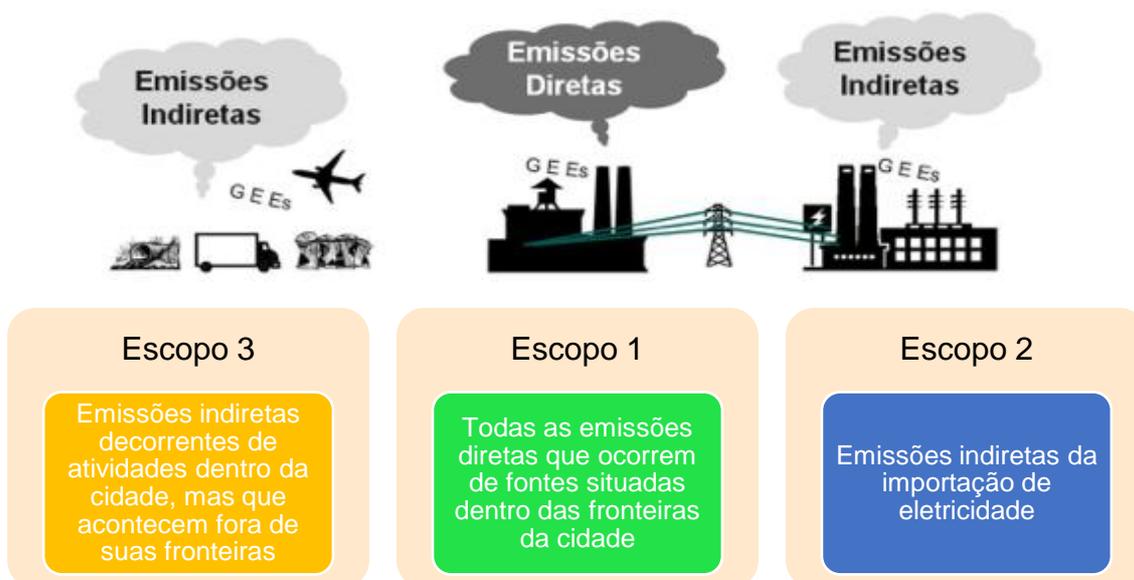
Várias cidades pelo mundo, incluindo o Rio de Janeiro, têm utilizado o Guia IPCC-2006 (IPCC, 2006) para realizar seus inventários de GEE. Porém, ao utilizar uma metodologia originalmente concebida para países em um contexto local, a adequação da transposição tem de ser cuidadosamente verificada, na medida em que são necessárias adaptações. Como os inventários nacionais são uma ferramenta para auxiliar os países em seu compromisso assumido no âmbito da CQNUMC, a metodologia visa padronizar a informação a fim de permitir a comparação entre os inventários de diferentes países. No caso de estados e cidades, o objetivo da realização de inventários é subsidiar o planejamento, mas a possibilidade de comparação entre estados ou cidades também é uma ferramenta interessante de análise e validação internacional dos resultados. Sendo assim, cuidados devem ser tomados para que as adaptações metodológicas necessárias sejam muito bem abordadas e fiquem bem esclarecidas.

No inventário de emissões de GEE do Município do Rio de Janeiro, apresentado a seguir, a metodologia utilizada foi desenvolvida pelo Centro Clima/COPPE/UFRJ, a partir das diretrizes do Guia IPCC-2006 e considerando as adaptações já realizadas pelas comunicações nacionais do Brasil (BRASIL, 2004; 2010). Além disso, de modo a se alinhar com as melhores práticas internacionais em relação à clara definição das fronteiras e responsabilidades sobre as emissões do Município, também foi utilizado o Global Protocol for Community-scale Greenhouse Gas Emissions (community protocol ou protocolo de comunidade – GPC). Esta nova iniciativa conjunta capitaneada pelo WRI/ICLEI/C40 visa desenvolver um protocolo global para contabilização e divulgação de emissões de GEE de cidades. O texto integral do protocolo foi disponibilizado no fim de março de 2012 para consulta pública e formalmente lançado no segundo semestre de 2012 para teste de sua aplicação. O Rio de Janeiro é uma das 30 cidades selecionadas para participar deste teste-piloto do protocolo.

Os setores objeto de inventários nacionais de acordo com o Guia IPCC-2006 e que são utilizados na estruturação do inventário do Município do Rio de Janeiro são os seguintes:

- Energia
- Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU, sigla em inglês)
- Agricultura, Florestas e Outros Usos da Terra (AFOLU, sigla em inglês)
- Resíduos

Estes setores foram subdivididos conforme a recomendação do GPC e detalhados em relação às fontes de emissões abordadas, métodos de definição das fronteiras/responsabilidades e cálculos e fatores de emissões utilizados. Também conforme recomenda o GPC, as emissões foram quantificadas considerando a classificação por Escopos (Figura 6): escopos 1 e 2 em sua totalidade e a maior parte possível das fontes de escopo 3, de acordo com os dados disponíveis.



Fonte: Adaptado de WRI (2011).

Figura 6 – Classificação das emissões de GEE por escopos.

Foram computados os valores estimados de emissões de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) emitidos pelo Município no ano de 2012. Devido a falta de informações suficientes, inclusive uma base de dados que possibilite a determinação de universo de fontes emissoras, não foi possível estimar as emissões do gás SF_6 , e gases HFCs e PFCs. O SF_6 é utilizado pelas concessionárias de energia elétrica e grandes consumidores como isolante em equipamentos de alta tensão. É também um gás emitido na produção de magnésio, atividade não existente na cidade do Rio de Janeiro. Já os gases HFCs e PFCs são utilizados em refrigeradores,

aparelhos de ar-condicionado, extintores e aerossóis, em alternativa aos gases destruidores da camada de ozônio. São emitidos tanto durante a produção desses equipamentos quanto durante sua manutenção e descarte inapropriado. Os gases PFCs também são emitidos na fabricação de alumínio, atividade não mais existente na cidade. Recomenda-se o estudo de metodologias novas que permitam estimar as emissões a partir de outros tipos de dados, especialmente as emissões do uso de SF₆ pelos sistemas elétricos e dos HFCs e PFCs nos equipamentos diversos.

No que se referem às *tiers*⁶ utilizadas, estas dependeram da disponibilidade de dados para cada fonte de emissão avaliada. O mesmo se aplica aos fatores de emissão que, sempre que possível, foram obtidos localmente. Na ausência de fatores de emissão locais, a prioridade de utilização desta informação foi feita da seguinte forma: utilizou-se os valores nacionais, fornecidos pelas comunicações nacionais do Brasil (BRASIL, 2004; 2010); na ausência destes, aplicou-se valores obtidos da literatura referente ao Brasil; e, em último caso, foram utilizados os fatores padrões do Guia IPCC-2006.

Quanto ao potencial de aquecimento global (Global Warming Potential – GWP⁷), foram utilizados os valores estabelecidos no quarto relatório do IPCC (AR-4) (IPCC, 2007a): 21 para CH₄ e 310 para N₂O.

A tabela presente no Anexo I resume todas as fontes de emissões consideradas neste inventário, bem como os GEE cujas emissões foram estimadas.

⁶ Uma tier representa um nível de complexidade metodológica. Geralmente são oferecidas três tiers. A tier 1 é o método básico, a tier 2 o método intermediário e a tier 3 aquele que demanda mais em termos de complexidade e necessidade de dados. As tiers 2 e 3 são os métodos considerados mais acurados.

⁷ O GWP é uma métrica útil para comparar o potencial de impacto climático das emissões de diferentes gases de efeito estufa. Potenciais de aquecimento global comparam a forçante radiativa integrada durante um determinado período (por exemplo, 100 anos) a partir de uma emissão de um pulso de unidade de massa e são uma maneira de comparar o potencial de mudança climática associado às emissões de diferentes gases de efeito estufa.

2. Energia

Para a maior parte das grandes economias, os sistemas energéticos são baseados na queima de combustíveis fósseis. Sendo assim, o setor energético normalmente é o mais importante nos inventários de emissões de gases de efeito estufa, contribuindo com mais de 90% das emissões de dióxido de carbono (CO₂) e 75% das emissões totais de GEEs em países desenvolvidos (IPCC, 2006). A queima estacionária é responsável por aproximadamente 70% das emissões de GEEs das atividades energéticas e aproximadamente metade destas emissões estão associadas à queima no setor energético – aqui entendido como as indústrias produtoras ou transformadoras de energia, principalmente, usinas geradoras e refinarias (*op. cit.*).

O setor energético compreende principalmente:

- Exploração de fontes de energia primária;
- Conversão de fontes de energia primária em formas úteis em refinarias e usinas;
- Transmissão e distribuição de combustíveis e eletricidade;
- Além das atividades inerentes à indústria energética, neste capítulo também são consideradas as emissões decorrentes da utilização da energia em aplicações estacionárias e móveis.

As emissões oriundas destas atividades podem se originar da queima de combustíveis e da liberação (fuga) decorrente do seu uso. Dessa forma, este capítulo contabiliza as emissões relativas à produção, à transformação e ao consumo de energia, incluindo as emissões devidas à queima de combustíveis, bem como as emissões fugitivas decorrentes da indústria do petróleo e gás e os *bunkers* para navegação e aviação. As estimativas foram feitas para emissões de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) do Município do Rio de Janeiro para o ano de 2012, conforme metodologia contida no Guia IPCC-2006 e com as necessárias adaptações para o nível municipal.

2.1. Caracterização do Setor no Município

Ao analisar uso de energia pelos setores econômicos do município do Rio de Janeiro em 2012, excluindo-se os setores de transformação de energia e as perdas elétricas

na distribuição, nota-se grande relevância na participação da eletricidade (27,0%), do querosene de aviação (19,4%), e do gás natural (17,3%), seguidos do óleo diesel⁸ (14,9%) e da gasolina A (12,0%). Na geração de energia elétrica, o gás de alto-forno (BFg) corresponde a 64,2% do total dos combustíveis usados, além do gás natural (34,8%) e óleo combustível, com cerca de 1% do total. Por ser uma cidade com uma grande demanda por eletricidade, com destaque para os setores residencial, representando 32,2% da demanda total⁹, e comercial/serviços, 35,2%, o município do Rio de Janeiro importa aproximadamente 84,8% da eletricidade que consome.

Em relação à *bunkers*¹⁰, a maior demanda por combustível é referente ao querosene de aviação, quase 92,6% e, em menor escala, pelo óleo diesel com cerca de 7,4%.

Importante mencionar também a importação do etanol e do coque para o emprego, respectivamente, nos setores de transporte e da indústria, assim como do biodiesel para misturar ao óleo diesel, já que não há, dentro do município do Rio de Janeiro, minas de carvão mineral, plantaçoão e usinas de cana-de-açúcar e de produção de biodiesel. Com isso, propôs-se calcular as emissões ocasionadas pela demanda por esses combustíveis pelo município do Rio de Janeiro no escopo 3, tanto o balanço das emissões com o ciclo da cana-de-açúcar e cadeia de produção do biodiesel como as emissões fugitivas das minas de carvão importado.

2.2. Abordagem Metodológica

A abordagem metodológica para emissões do setor de consumo de energia é a *bottom-up*, conforme diretrizes do Guia IPCC-2006. Através desta metodologia, calcula-se as emissões através do somatório das emissões atribuídas a cada uma das atividades do setor. Neste caso, são desenvolvidos fatores de emissão específicos para fontes móveis e fontes fixas, que são aplicados a fórmulas simples para o cálculo das emissões de responsabilidade de determinado setor energético, dependendo da tecnologia, condições de uso, etc. O IPCC também define a metodologia *top down*, na qual as emissões podem ser calculadas de maneira agregada, isto é, calcula-se as

⁸ Óleo diesel B5, com 5% de biodiesel.

⁹ Excluindo-se as perdas na distribuição, técnicas e não técnicas.

¹⁰ Combustíveis queimados nas viagens de avião e navio, chamados "bunker fuels".

emissões a partir da oferta de energia. Nesse caso, não se distingue o uso do combustível por categoria (setor), sendo somente estimado o total de emissão do uso do combustível.

Uma síntese dos procedimentos metodológicos para a contabilização das principais emissões do uso da energia (fontes fixas e móveis) oferecidos pelas diretrizes do Guia IPCC-2006, sejam *top-down* ou *bottom-up*, encontra-se na Tabela 3 a seguir¹¹.

Tabela 3 – Opções Metodológicas e GEE para Inventários de Emissões de Uso de Energia – Fontes Fixas e Móveis

Método Simples (fontes móveis e fixas)	Gases	Fórmulas
Abordagem de Referência (<i>top-down</i>)	CO ₂	<p>Emissões CO₂ = $\sum ((CA * FC * CC) * 10^{-3} - CEx) * FCO * RPM$</p> <p>Onde,</p> <p>CA = consumo aparente = produção + importação – exportação – <i>bunker</i> – estoque (em unidades originais) FC = Fator de Conversão para unidades de energia (TJ) em poder calorífico inferior. CC = Conteúdo de Carbono (tC/TJ) CEx = Carbono Excluído = carbono fixado em produtos não energéticos FCO = Fator de Oxidação de Carbono (usualmente 1) RPM = Razão entre Pesos Moleculares de carbono para dióxido de carbono</p>
		<p>Abordagem Setorial (<i>bottom-up</i>)</p>
Tier 1 (fontes fixas e móveis)	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	<p>Emissões = $\sum (CC_a * FE) * FO * RPM$</p> <p>Onde,</p> <p>CC = consumo de combustível (combust. vendido), em unidades de energia (TJ) FE = fator de emissão (default Guia IPCC-2006) = kg gas/TJ FO = fração oxidada = 1 (somente para CO₂) RPM = Razão entre Pesos Moleculares (somente para o CO₂) a = tipo de combustível</p>

¹¹ Os procedimentos de cálculo para contabilização das emissões de frota aquáticas, ferroviárias e aeroviárias e de emissões fugitivas (de produção e transporte de energia) têm pequena variação em relação àqueles para fontes fixas e transporte rodoviário e podem ser obtidas no volume 2 do Guia IPCC 2006.

Método Simples (fontes móveis e fixas)	Gases	Fórmulas
Tier 2 (fontes fixas)	CO ₂ CH ₄ N ₂ O	<p>Emissões = $\sum (CC_{ab} * FE) * RPM$</p> <p>Onde,</p> <p>CC = consumo de combustível, em unidades de energia (TJ) FE = fator de emissão (específico do setor) = kg gas/TJ RPM = Razão entre Pesos Moleculares (somente para o CO₂) a = tipo de combustível b = setor-atividade</p>
Tier 2 (fontes móveis)	CO ₂ CH ₄ N ₂ O	<p>Emissões = $\sum (CC_{abc} * FE)$</p> <p>Onde,</p> <p>CC = consumo de combustível (combust. vendido), em unidades de energia (TJ) FE = fator de emissão (específico do setor) = kg gas/TJ a = tipo de combustível b = tipo de veículo</p>
Tier 3 (fontes fixas)	CO ₂ CH ₄ , N ₂ O	<p>Emissões = $\sum (FE_{abc} * Atividade_{abc}) * RPM$</p> <p>Onde,</p> <p>FE = fator de emissão (kg gas/TJ) Atividade = Consumo de energia (TJ) a = tipo de combustível b = setor-atividade c = tipo de tecnologia RPM = Razão entre Pesos Moleculares (somente para o CO₂)</p>
Tier 3 (fontes móveis)	CO ₂ CH ₄ , N ₂ O	<p>Emissões = $\sum ((Distância_{a,b,c,d} * FE_{a,b,c,d}) + \sum c_{a,b,c,d}) * RPM$</p> <p>Onde,</p> <p>Distância _{a,b,c,d} = Distância Percorrida (VKT) por tipo de veículo na fase de operação estabilizada FE _{a,b,c,d} = Fator de Emissão (kg/km) C _{a,b,c,d} = emissões durante a fase de aquecimento (kg) a = tipo de combustível b = tipo de veículo c = tecnologia de controle de emissão d = condições de operação (ex. urbano x rural, clima, outros fatores ambientais) RPM = Razão entre Pesos Moleculares (somente para o CO₂)</p>

Fonte: IPCC (2006)

Adotou-se a metodologia *bottom-up* para o cálculo do setor de energia do Município do Rio de Janeiro, porém aplicou-se a metodologia *top down* também, como referência para checagem dos resultados.

2.2.1. Fontes de Dados

As emissões de GEE do Município do Rio de Janeiro foram calculadas levando-se em consideração a estrutura proposta pelo guia IPCC-2006, conforme mostra a Tabela 4, abaixo.

Tabela 4 – Estrutura Simplificada do Inventário do Uso de Energia e dados necessários para cálculo das emissões do Município do Rio de Janeiro.

1) Uso da Energia	Dados utilizados
1.A) Uso de combustível	
1.A.1) Indústria de Energia	
1.A.1.a) Produção de eletricidade e perdas na distribuição de energia elétrica	Consumo e perdas de eletricidade e combustíveis
1.A.1.b) Refino do petróleo	Consumo de eletricidade e combustíveis
1.A.1.c) Fabricação de combustíveis sólidos e outras indústrias de energia	Consumo de carvão mineral
1.A.2) Indústria (valores agregados para todo o setor)	Consumo de eletricidade e combustíveis
1.A.3) Transportes	
1.A.3.a) Aviação civil	Consumo de combustíveis
1.A.3.b) Transporte rodoviário	Consumo de combustíveis
1.A.3.c) Ferroviário	Consumo de eletricidade e combustíveis
1.A.3.d) Navegação	Consumo de combustíveis
1.A.4) Outros setores	
1.A.4.a) Comercial/serviços	Consumo de eletricidade e combustíveis
1.A.4.b) Público	Consumo de eletricidade e combustíveis
1.A.4.c) Residencial	Consumo de eletricidade e combustíveis
1.A.4.d) Agropecuário	Consumo de eletricidade e combustíveis
1.A.5) Emissões Fugitivas	Perdas técnicas de gás natural (em m ³), quantidade refinada de petróleo (em mil m ³ /ano) e quantidade de carvão importado (em toneladas)

n.a. – não se aplica

Fonte: Autores, com base em IPCC (2006)

Os dados necessários foram formalmente solicitados às instituições responsáveis, por meio de ofícios da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. As instituições contatadas foram: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e

Biocombustíveis (ANP); Gás Natural Fenosa (CEG-Rio); Light; Usina Termelétrica de Santa Cruz; Metrô Rio; e autoprodutores do Município¹²; conforme Tabela 5, abaixo.

Tabela 5 – Dados Utilizados para os Cálculos das Emissões do Setor de Energia.

Instituição	Dados solicitado
Light	Vendas de Eletricidade (MWh) por setor econômico
CEG-Rio	Vendas de Gás Natural e Gás Natural Veicular (m ³)
ANP	Venda de combustíveis: Etanol Hidratado (L); Gasolina de Aviação (L); Gasolina C (L); GLP (kg); Óleo Combustível (kg); Óleo Diesel (L); Querosene Aviação (L); Querosene Iluminante (L)
Metrô Rio	Consumo de Eletricidade (MWh)
Brahma S.A.	Eletricidade gerada (MWh) e consumo de combustíveis para geração de eletricidade
TKCSA	Eletricidade gerada (MWh), consumo de combustíveis para geração de eletricidade
Termoelétrica de Santa Cruz	Eletricidade gerada (MWh), consumo de combustíveis para geração de eletricidade

Fonte: Autores

De modo conservador, foi admitido que o volume de vendas dos combustíveis correspondia a seu consumo total, desprezando-se possíveis variações em estoque por ser extremamente difícil obter este tipo de informação.

A maior parte dos dados já foi obtida em um nível de desagregação adequado à metodologia. Nos casos em que isto não se configurava, procurou-se adequar os valores pelos seus usos conhecidos, muitas vezes, dialogando com os fornecedores dos dados. Isto só se mostrou problemático em relação a alguns consumidores de gás natural, que tinham usos múltiplos para este combustível. Neste caso, aproximou-se o consumo de cada setor, a partir das informações disponíveis, para níveis superiores de agregação. Quando se sabia que parte do total consumido era utilizado para cogeração, adotou-se o critério de que 50% seria para produção de eletricidade e os outros 50% para usos térmicos na organização.

¹² Apesar de vários autoprodutores contribuírem com dados de consumo de combustíveis e a geração de energia elétrica, optou-se por usar somente os dados de dois: Brahma e TKCSA. Isso se deve essencialmente a duas razões: (i) inconsistência em alguns dados repassados por alguns autoprodutores; (ii) os dois autoprodutores citadas representam 93,4% da capacidade instalada de geração da cidade (ANEEL, 2013).

Sendo cada combustível expresso em diferentes unidades de medida, foi preciso converter tudo para uma unidade única. Para tal, multiplicou-se as quantidades consumidas de combustível (em unidades originais), pelo fator de conversão em tep¹³ (tep/unidade), fatores estes que foram obtidos do Balanço Energético Nacional – BEN (EPE, 2013), apresentados na Tabela 6. Nas edições mais recentes do BEN, o conteúdo energético dos combustíveis tem como base seu poder calorífico inferior (PCI), o que é compatível com a metodologia do IPCC para a conversão para uma unidade comum de energia.

Tabela 6 – Fatores de Conversão para tep Médio em PCI de Cada Combustível

Combustível	Unidade de medida	Fator de Conversão para tep médio (ano 2012)
Fontes primárias		
Petróleo	m ³	0,89
Gás Natural Úmido	1000 m ³	0,993
Carvão Metalúrgico	t	0,642
Fontes secundárias		
Gás Natural Seco	1000 m ³	0,88
Gasolina automotiva	m ³	0,77
Gasolina de aviação	m ³	0,763
Etanol anidro	m ³	0,534
Etanol hidratado	m ³	0,51
Querosene de aviação	m ³	0,822
Óleo diesel	m ³	0,848
Óleo combustível	m ³	0,957
GLP	m ³	0,611
Nafta	m ³	0,765
Coque de carvão mineral	t	0,69
Outras secundárias de petróleo	m ³	0,87

Fonte: Balanço Energético Nacional (EPE, 2013)

Após a conversão, cada valor obtido foi multiplicado por $41,868 \times 10^{-3}$, para se obter os valores dos combustíveis em terajoules (TJ)¹⁴, conforme a relação abaixo:

¹³ Tep: tonelada equivalente de petróleo. O conteúdo energético de 1 tep é função do tipo de petróleo utilizado como padrão

¹⁴ TJ (terajoule) = 10^{12} J

$$1 \text{ tep padrão brasileiro} = 41,868 \times 10^{-3} \text{ TJ}$$

A partir da conversão dos combustíveis para a unidade padrão adequada à metodologia, utilizou-se as fórmulas de cálculo recomendadas pelo IPCC (2006), conforme a disponibilidade de dados e o consequente nível de detalhamento possível de ser alcançado em função destes dados.

2.2.2. Cálculos das Emissões

2.2.2.1. Abordagem de Referência ou Top Down

A abordagem *top-down* ou de referência é aquela onde são contabilizadas as emissões de dióxido de carbono (CO₂) a partir dos dados da quantidade de combustíveis consumidos por uma economia, ou seja, a partir de um alto nível de agregação de dados, não dependendo de informações detalhadas de como o combustível é utilizado pelo usuário final ou sobre as transformações. A hipótese adotada é que o conteúdo de carbono é conservado, de tal forma que, por exemplo, o carbono contido no petróleo é igual ao conteúdo de carbono de seus derivados. Portanto, a metodologia supõe que, uma vez introduzido na economia do município do Rio de Janeiro, em um determinado ano, o carbono contido em um combustível ou é liberado para a atmosfera ou é retido de alguma forma, como por exemplo, através da incorporação a produtos não energéticos ou ainda corresponde a fração não oxidada do combustível, permanecendo inerte como resíduo da queima.

As emissões são calculadas a partir de um balanço envolvendo a produção de combustíveis primários, as importações líquidas de combustíveis primários e secundários e a variação interna dos estoques desses combustíveis, conforme a fórmula abaixo.

$$\text{Emissões CO}_2 = \sum (CA \times FC \times CC) \times 10^{-3} - CEx) \times FCO \times RPM$$

Equação 1

Onde,

- CA = consumo aparente do combustível
- FC = Fator de Conversão para unidades de energia (TJ) em poder calorífico inferior.
- CC = Conteúdo de Carbono (tC/TJ)
- CEx = Carbono Excluído = carbono fixado em produtos não energéticos

- FCO = Fator de Oxidação de Carbono (usualmente 1)
- RPM = Razão entre Pesos Moleculares de carbono para dióxido de carbono

A sequência de passos para se chegar ao valor das emissões de CO₂ na fórmula acima são detalhados a seguir:

Primeiro passo – determinação do consumo aparente dos combustíveis

O Consumo Aparente representa a quantidade de combustível disponível no país (no caso, no município), e é calculado da seguinte forma:

$$CA = \alpha - \beta - \chi - \delta - E$$

Equação 2

Onde,

- α = Produção anual doméstica de energia primária, medida em unidade original;
- β = Importação anual de energia primária e secundária, medida em unidade original;
- χ = Exportação anual de energia primária e secundária, medida em unidade original;
- δ = Energia anualmente embarcada nos *bunkers* internacionais¹⁵ medida em unidade original;
- E = Variação anual dos estoques de energia, medida em unidade original.

Segundo passo – conversão para uma unidade comum de energia

¹⁵ Entende-se por *bunker internacional* o consumo de querosene e de gasolina de aviação e óleo combustível utilizados pela aviação e navegação internacional, respectivamente. A emissão de GEE devido ao consumo de *bunker* de acordo com a metodologia do IPCC (2006) deve ser contabilizada como parte dos inventários, mas excluída dos valores totais nacionais e serem reportados à CQNUMC separadamente, pois não serão considerados nas restrições impostas aos países Anexo 1 da Convenção e Anexo B do Protocolo de Quioto.

Como já mencionado, deve-se realizar a conversão das quantidades consumidas de cada combustível da sua unidade original para uma unidade comum de energia, sendo a unidade adotada o terajoule (TJ). A Equação 2 abaixo mostra como isso foi aplicado:

$$CA = CA \times 41,868 \times 10^{-3} \times F_{conv}$$

Equação 3

Onde,

- CA = Consumo Aparente de energia (TJ)
- CA = Consumo Aparente do combustível (unidade física: m³, t)
- 41,868 x 10⁻³ TJ = 1 tep brasileiro
- Fconv = Fator de Conversão (tep/unidade física) da unidade física para tep médio, conforme Tabela 6.

Terceiro passo – cálculo da quantidade de carbono de cada combustível a partir do consumo aparente em TJ

Para se obter a quantidade de carbono total (QCt) foi preciso multiplicar o consumo aparente em TJ (obtido a partir da equação anterior) pelo conteúdo de carbono, expresso em tC/TJ, de cada combustível. A expressão utilizada para o cálculo da quantidade de carbono está expressa na Equação 3.

$$QCt = CA \times CC$$

Equação 4

Onde,

- QCt = Quantidade de carbono total do combustível (Gg C)
- CA = Consumo Aparente de energia (TJ)
- CC = Conteúdo de Carbono (tC/TJ), conforme Tabela 7, a seguir

Os valores do conteúdo de carbono dos combustíveis utilizados na fórmula acima, para cálculo da quantidade de carbono, são os mesmos utilizados pela Comunicação Nacional, sendo alguns valores específicos para o Brasil e outros fornecidos pelo IPCC (Tabela 7).

Tabela 7 – Fatores de Emissão de Carbono Utilizados nos Cálculos de Emissões.

Combustível	Conteúdo de carbono (t C/TJ)
Fontes primárias	
Petróleo	20
Gás Natural	15,3
Líquidos de Gas Natural	17,2
Carvão Metalúrgico	25,8
Fontes secundárias	
Gasolina automotiva	18,9
Gasolina de aviação	19,5
Querosene de aviação	19,5
Óleo diesel	20,2
Óleo combustível	21,1
GLP	17,2
Nafta	20
Coque de carvão mineral	29,5
Outras secundárias de petróleo	20

Fonte: IPCC (2006) e BRASIL (2004; 2010)

Quarto passo – determinação do carbono excluído

O aporte de produtos combustíveis a uma economia não se destina exclusivamente ao setor energético. Sendo assim, o próximo passo é excluir a quantidade de carbono de combustíveis que não são utilizados para fins energéticos, uma vez que o objetivo do inventário do setor de energia é estimar as emissões a partir da queima de combustíveis fósseis. Os principais fluxos de carbono relacionados ao cálculo do carbono excluído são aqueles usados como matéria-prima na indústria, como redutor ou fixado nos produtos não-energéticos.

Sendo assim, o Carbono Excluído ou é emitido em outro setor do inventário (por exemplo, como emissão oriunda de um processo industrial), ou é estocado na fabricação de produtos não-energéticos, tais como asfalto e plásticos.

No presente caso, para obtenção da quantidade de carbono que deverá ser excluída (QCE) foi necessário determinar as quantidades de combustíveis destinadas ao setor não-energético. Uma vez determinado o consumo de combustíveis no setor não-energético (em tep), segue-se o segundo e terceiro passo anteriores para conversão da unidade de energia e cálculo do conteúdo de carbono que deverá ser excluído totalmente (Equação 5).

$$QCE = QC_{\text{não-energético}} \times 1$$

Equação 5

Onde,

- QCE = Quantidade de Carbono Excluído (Gg C)
- $QC_{\text{não-energéticos}}$ = Quantidade de carbono contido nos combustíveis utilizados no setor não-energético (Gg C)

Quinto passo – determinação das emissões líquidas de carbono

As emissões líquidas de carbono (ELC) foram dadas diferença entre a quantidade de carbono total e a quantidade de carbono excluída, conforme a seguir:

$$ELC = QC_t - QCE$$

Equação 6

Onde,

- ELC = Emissões Líquidas de Carbono (Gg C)
- QC_t = Quantidade de carbono no combustível (Gg C), conforme a Equação 3
- QCE = Quantidade de Carbono Excluído (Gg C), conforme Equação 5

Sexto passo – correção dos valores para considerar combustão incompleta

Nem toda a emissão líquida de carbono (ELC) será oxidada, uma vez que, na prática, a combustão nunca ocorre de forma completa, deixando inoxidada uma pequena quantidade de carbono, que se incorpora as cinzas ou a outros subprodutos. Esse fato é levado em conta multiplicando-se a quantidade de carbono disponível pela fração de carbono que é efetivamente oxidada na combustão, como ilustrado pela Equação 7.

$$ERC = ELC \times FCO$$

Equação 7

Onde,

- ERC = Emissões Reais de Carbono em Gg C;

- ELC = Emissões Líquidas de Carbono em Gg C;
- FCO = Fração de Carbono Oxidada (adimensional).

Na Tabela 8, são apresentadas as frações oxidadas (FCO) referentes a cada combustível, com base nos valores utilizados no Inventário Nacional para o cálculo das emissões reais de carbono (ERC).

Tabela 8 – Frações de Carbono Oxidado.

Combustível	Fração de carbono oxidada (adimensional)
Fontes primárias	
Petróleo	0,99
Gás Natural	0,995
Líquidos de Gas Natural	0,995
Carvão Metalúrgico	0,98
Fontes secundárias	
Gasolina	0,99
Querosene de aviação	0,99
Óleo diesel	0,99
Óleo combustível	0,99
GLP	0,99
Nafta	0,99
Coque de carvão mineral	0,98
Produtos não energéticos	0,99
Outras secundárias de petróleo	0,99

Fonte: BRASIL (2010)

Sétimo passo – determinação das emissões reais de CO₂

A conversão da quantidade de carbono liberada na queima do combustível para emissões de CO₂ é obtida multiplicando-se as emissões em termos de carbono pela razão entre os pesos moleculares do CO₂ e do carbono, isto é, 44/12¹⁶. Sendo assim, a partir das emissões reais de carbono (ERC) pode-se calcular as emissões reais de CO₂ (ERCO₂), conforme apresentado abaixo:

$$ERCO_2 = ERC \times (44/12)$$

Equação 8

¹⁶ Em 44 toneladas de CO₂ há 12 toneladas de carbono, ou seja, 1t CO₂ = 0,2727 t C.

Onde,

- $ERCO_2$ = Emissões Reais de CO_2 em Gg CO_2 ;
- ERC = Emissões Reais de Carbono em Gg C.
- $(44/12)$ = Razão entre Pesos Moleculares de carbono para dióxido de carbono.

2.2.2.2. Abordagem bottom up

A abordagem *bottom-up* possibilita a quantificação e identificação dos gases CO_2 e não- CO_2 de forma desagregada, ou seja, pelos diversos setores socioeconômicos do Município. O uso desta metodologia é desejável em situações onde se queira desenhar uma política que necessite de informações detalhadas sobre a fonte de emissão. São utilizados fatores de emissão para gases e setores específicos, para fontes móveis e fontes fixas. A metodologia também pode ser utilizada em distintos níveis de detalhamento, de acordo com os dados disponíveis, conforme explicitado abaixo:

- **Tier 1:** Utiliza dados do consumo de combustíveis fósseis a partir de dados estatísticos nacionais (no caso, municipal) e fatores de emissão *default* (de acordo com o IPCC). Pode ser utilizado para **fontes fixas e móveis** e serve para calcular outros gases que não apenas CO_2 , como CH_4 e N_2O , embora no caso destes gases, o nível de acurácia da metodologia não seja o ideal, já que seus fatores de emissão (para CH_4 e N_2O) dependem da tecnologia, tipo de combustível e características de operação dos equipamentos. O IPCC recomenda fortemente o uso de *tiers* mais altos (2 ou 3) para calcular as emissões desses outros gases, caso haja disponibilidade de dados.
- **Tier 2:** Utiliza dados de consumo de combustíveis fósseis a partir de dados estatísticos nacionais (no caso, municipal) juntamente com fatores de emissão específicos locais, obtidos a partir das características dos combustíveis nacionais. O método de cálculo para **fontes fixas**, portanto, é semelhante ao *tier 1*, exigindo somente dados específicos sobre conteúdo de carbono dos combustíveis nacionais, fração de carbono oxidado e qualidade do combustível para calcular CO_2 e fatores de emissão específicos para gases não- CO_2 . Para fontes móveis (Transporte – categoria 1.A.3 do IPCC), a *tier 2* é ligeiramente diferente.

As emissões de CO₂ podem ser estimadas da mesma forma que a *tier 2* para fontes fixas, ou seja, depende de dados de fatores de emissão próprios do país para cada tipo de combustível consumido no setor de transporte, entretanto, para as emissões de CH₄ e N₂O, que dependem mais fortemente das características de operação dos motores, a *tier 2* exige o conhecimento de dados como o tipo de veículo e a tecnologia de controle de emissão (que pode ser obtida a partir da idade da frota). Para o Município do Rio de Janeiro não foi utilizada a *tier 2* para CH₄ e N₂O para fontes móveis, apesar de haver fatores de emissão específicos no país, porque não foi possível obter todos os dados de frota necessários para esse cálculo.

- **Tier 3:** Utiliza estatísticas de combustíveis e dados da tecnologia de queima, aplicados juntamente com fatores de emissão específicos da tecnologia. Esse método de cálculo é mais acurado no que diz respeito às emissões de CH₄ e N₂O e para isso exige conhecimento dos seguintes dados: tipo de combustível, tecnologia de queima, condições de operação, tecnologia de controle das emissões, qualidade da manutenção e idade do equipamento e a distância percorrida. Estimar as emissões de CO₂ por esse método é normalmente desnecessário já que as emissões desse gás não dependem da tecnologia de queima. No inventário da cidade do Rio de Janeiro, este nível de detalhamento metodológico não foi utilizado pela ausência de dados detalhados.

Para facilitar o entendimento dos métodos de cálculos utilizados no inventário do Rio de Janeiro para a abordagem *bottom-up*, a Tabela 9 abaixo apresenta as metodologias utilizadas em cada setor:

Tabela 9 – Nível Metodológico em Cada Setor – Atividade

Abordagem <i>Bottom-up</i>	Nível Adotado
1.A.1) Indústria de energia	<i>Tier 2</i> para CO ₂ e <i>tier 1</i> para CH ₄ e N ₂ O
1.A.2) Indústria de manufatura e construção	<i>Tier 2</i> para CO ₂ e <i>tier 1</i> para CH ₄ e N ₂ O
1.A.3) Transportes	<i>Tier 2</i> para CO ₂ e <i>tier 1</i> para CH ₄ e N ₂ O
1.A.4) Outros setores	<i>Tier 2</i> para CO ₂ e <i>tier 1</i> para CH ₄ e N ₂ O

Fonte: Autores

Estes níveis de detalhamento foram utilizados considerando disponibilidade de informações. De forma geral, para se poder aperfeiçoar o cálculo, seria necessário saber detalhes das tecnologias de combustão utilizadas – o que dependeria de pesquisa mais aprofundada junto aos consumidores de energia.

Níveis de Detalhamento Possíveis (tiers)

Tier 1 – Fontes Fixas e Móveis:

$$Emissões = \sum (CC_{a,b} \times FE)$$

Equação 9

Onde,

- CC = consumo de combustível, em unidades de energia (TJ)
- FE = fator de emissão (*default* IPCC) = t gas/TJ
- a = tipo de combustível
- b= setor – atividade

Tier 2 – Fontes fixas:

$$Emissões = \sum (CC_{a,b} \times FE_a)$$

Equação 10

Onde,

- CC = consumo de combustível, em unidades de energia (TJ)
- FE = fator de emissão (específico do País/setor) = t gas/TJ
- a = tipo de combustível
- b= setor-atividade

Tier 2 – Fontes móveis:

$$Emissões = \sum (CC_{a,b,c} \times FE_{a,b,c})$$

Equação 11

Onde,

- CC = consumo de combustível (ou combust. vendido), em unidades de energia (TJ)
- FE = fator de emissão (específico do setor) = t gas/TJ
- a = tipo de combustível
- b = tipo de veículo
- c = tecnologia de controle de emissão

Fatores de emissão

Uma das principais questões metodológicas que se enfrenta ao realizar inventários municipais é a delimitação da abrangência das atividades socioeconômicas que reflitam de forma adequada a responsabilidade do município do Rio de Janeiro no que diz respeito às emissões de gases de efeito estufa. O primeiro critério a ser utilizado são os limites socioeconômicos do município, ou seja, contabilizar as emissões realizadas no interior das fronteiras geográficas do município. Esta opção por si só, no entanto, não é suficiente, pois deixa de considerar importantes fontes de emissão induzidas pelo município como as emissões fugitivas com carvão mineral ou a demanda por etanol. Sendo assim, de forma a avaliar e contabilizar as emissões sob responsabilidade do município do Rio de Janeiro os seguintes passos foram considerados:

- De acordo com o IPCC (2006), devem ser contabilizadas somente as emissões de GEE pelo uso de combustíveis fósseis para a geração de energia elétrica (categoria 1.A.1). No entanto o município do Rio de Janeiro não é autossuficiente em eletricidade e importa cerca de 85% do total consumido. Portanto, além das emissões de GEE pela queima de combustíveis fósseis para a geração de eletricidade dentro do município, estão consideradas também as emissões relativas à eletricidade importada, as quais foram calculadas utilizando o fator médio de emissão do Sistema Interligado Nacional do Brasil, cujo valor em 2012 foi 0,0653 tCO₂/MWh (MCTI, 2013). As emissões da eletricidade importada estão contabilizadas em “escopo 2”.
- No que diz respeito ao consumo de etanol, por ser renovável, suas emissões de CO₂ anulam-se com o sequestro do carbono durante o

crescimento da cana e por isso não são incluídas no total, sendo reportadas separadamente. O mesmo não ocorre com CH₄ e N₂O cuja emissão impacta no clima e é contabilizada como as demais provenientes de fontes fósseis no escopo 1. O município do Rio de Janeiro não tem produção de etanol e nem plantação de cana-de-açúcar, portanto não há emissões nem sequestro referentes as essas atividades ocorrendo dentro das fronteiras do município. Assim, no escopo 3, são calculadas as emissões da cadeia de produção do etanol, utilizando-se o fator de emissão médio obtido em Macedo *et al.* (2008)¹⁷. O fator de emissão de Macedo *et al.* (*op. cit.*) considera: (1) as emissões devidas ao uso de energia fóssil (os combustíveis consumidos ou energia elétrica adquirida, ou seja, os insumos energéticos diretos); e (2) as emissões de outras fontes não reabsorvidas pela fotossíntese no crescimento da cana (gases não CO₂ na queima da palha, decomposição de fertilizantes etc).

- No ano de 2012, 5% do óleo diesel consumido pelos diversos setores continha biodiesel, que por conta de sua origem renovável, as emissões de CO₂ da sua queima não devem ser contabilizadas, contabilizando-se apenas as emissões de CH₄ e N₂O, como descrito acima para o etanol. Elas estão reportadas separadamente, junto com as emissões de CO₂ da queima do etanol. Não existia planta autorizada para comercialização de biodiesel no município do Rio de Janeiro em 2012, tampouco plantio de soja e outras oleaginosas para esse fim. Assumiu-se assim que todo o biodiesel misturado ao óleo diesel é proveniente de outros municípios e estados. No escopo 3, são contabilizadas as emissões da cadeia de produção do biodiesel, pois estas são de responsabilidade do biodiesel consumido no município. São calculadas utilizando-se os fatores de emissão da cadeia do biodiesel de soja, palma, e de gordura animal

¹⁷ 436 kgCO₂e/ m³ para etanol anidro e 417 kgCO₂e/ m³, resultando em um fator médio, ponderado pelo consumo dos dois combustíveis no município, igual a 0,817 Gg CO₂e/ mil tep.

propostos por Nogueira (2011)¹⁸, resultando em um fator médio de 1,11 Gg CO₂e/ mil tep.

Os fatores de emissão utilizados para o cálculo das emissões de CO₂ de escopo 1 na abordagem Bottom-up foram os mesmo apresentados na abordagem Top Down, enquanto que os fatores de emissão de CH₄ e N₂O estão apresentados nas Tabela 10 e Tabela 11.

Tabela 10 – Fatores de emissão de CH₄ (kg CH₄/ TJ) de combustíveis por subsetores do Setor de Energia.

	Óleo Diesel	Óleo Comb.	Gasolina A	Gasolina de Aviação	GLP	Querosene de Aviação	GN seco	Etanol	BFg
	(kg CH ₄ / TJ)								
Transporte rodoviário	3,90	-	25,00	-	-	-	92,00	18,00	-
Transporte ferroviário	4,15	-	-	-	-	-	-	-	-
Transporte hidroviário	7,00	7,00	-	-	-	-	-	-	-
Aviação civil	-	-	-	0,50	-	2,00	-	-	-
Outros setores	3,00	3,00	-	-	1,00	-	1,00	-	1,00

Fonte: IEA (2005) para o BFg e IPCC (2006) para os outros gases

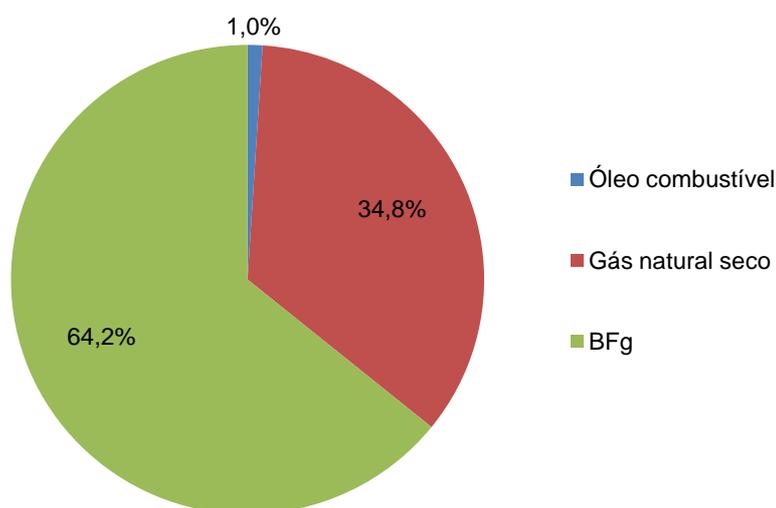
¹⁸ Foi calculado um fator de emissão através da média ponderada dos três fatores propostos por Nogueira (2011) com os diferentes tipos de biodiesel comercializados em 2012: 1.111,3 g CO₂e/kg de biodiesel de soja, 512 g CO₂e/kg de biodiesel de sebo animal e 868 g CO₂e/kg de biodiesel de palma. Para a quantidade de biodiesel fabricada com outras oleaginosas não citadas, aplicou-se o mesmo fator da soja. Para o biodiesel de óleo residual, aplicou-se o mesmo fator do biodiesel de gordura animal.

Tabela 11 – Fatores de emissão de N₂O (kg N₂O/ Tj) de combustíveis por subsetores do Setor de Energia.

	Óleo Diesel	Óleo Comb.	Gasolina A	Gasolina de Aviação	GLP	Querosene de Aviação	GN seco	Etanol	BFg
	(kg N ₂ O/ Tj)								
Transporte rodoviário	3,90	-	8,00	-	-	-	3,00	0,00	-
Transporte ferroviário	28,60	-	-	-	-	-	-	-	-
Transporte hidroviário	2,00	2,00	-	-	-	-	-	-	-
Aviação civil	-	-	-	0,50	-	2,00	-	-	-
Outros setores	0,60	0,60	-	-	0,10	-	0,10	-	1,50

Fonte: IEA (2005) para o BFG e IPCC (2006) para os outros gases

O fator de emissão da eletricidade gerada dentro do Município do Rio de Janeiro é calculado a partir da matriz energética existente dentro do Município. Nesse caso, foram utilizados dados da única central elétrica de serviço público, a Termelétrica de Santa Cruz, e de duas centrais elétricas autoprodutoras escolhidas conforme explicação da nota de rodapé 12. Estas centrais juntas geram cerca de 2.696 GWh (231,8 mil tep) de eletricidade (19,8% correspondente ao serviço público e 80,2% correspondente às autoprodutoras mencionadas na nota de rodapé nº 12). Essa geração é feita a partir de três combustíveis, sendo os de maior destaque o BFG (64,2%) e gás natural seco (34,8%), como mostra a Figura 7.



Fonte: Autores, a partir dos dados obtidos da Usina Termelétrica de Santa Cruz e das autoprodutoras TKCSA e Brahma.

Figura 7 – Distribuição dos combustíveis usados para geração de eletricidade nas centrais elétricas de serviço público e autoprodutoras – Município do Rio de Janeiro – 2012.

Para a conversão desses combustíveis para GgCO₂, foram feitos os seguintes passos:

- Conversão de mil tep para TJ, multiplicando por 41,87;
- Conversão de TJ para GgC, multiplicando cada combustível pelo seu fator de emissão, em tC/TJ, conforme a Tabela 12 abaixo, e dividindo por 1.000.

Tabela 12 – Fatores de emissão de C para cada combustível utilizado nas centrais elétricas presentes no Município do Rio de Janeiro

Tipo de combustível	Fator de emissão (kg/TJ)
Óleo combustível	21,1
Gás natural	15,3
BFG	70,8

Fonte: Autores, a partir de dados d(a): IPCC (2006) para óleo combustível e gás natural, e IEA (2005) para BFG.

Contabilizou-se a fração do carbono oxidado, multiplicando o resultado obtido pelos fatores descritos na Tabela 13 para cada combustível.

Tabela 13 – Fração do carbono oxidado para cada combustível utilizado nas centrais elétricas presentes no município do Rio de Janeiro

Tipo de combustível	Fator de emissão (kg/TJ)
Óleo combustível	0,99
Gás natural	0,995
BFG	0,99

Fonte: Autores, a partir de dados d(a): IPCC (2006) para óleo combustível e gás natural, e IEA (2005) para BFG.

Em seguida, os valores obtidos foram convertidos de GgC para GgCO₂, multiplicando por 44/12.

Este mesmo procedimento foi feito no cálculo das emissões de CH₄ e N₂O com a geração de energia elétrica dentro do município. Os dados em mil tep são convertidos em TJ, multiplicando por 41,87. Em seguida, assim como para o CO₂, multiplica-se para cada combustível o fator de emissão, em kg/TJ, conforme a Tabela 14 e a Tabela 15 abaixo. Para determinar as emissões em Gg de CH₄ e N₂O, multiplica-se o valor em TJ de eletricidade consumida em cada setor pelo valor médio do fator de emissão calculado para cada gás, obtendo-se, assim, as emissões.

Tabela 14 – Fatores de emissão para cada combustível utilizado nas centrais elétricas presentes no Município do Rio de Janeiro – CH₄

Tipo de combustível	Fator de emissão (kg/TJ)
Óleo combustível	3
Gás natural	1
BFG	1

Fonte: Autores, a partir de dados d(a): IPCC (2006) para óleo combustível e gás natural, e IEA (2005) para BFG

Tabela 15 – Fatores de emissão para cada combustível utilizado nas centrais elétricas presentes no Município do Rio de Janeiro – N₂O

Tipo de combustível	Fator de emissão (kg/TJ)
Óleo combustível	0,6
Gás natural	0,1
BFG	1,5

Fonte: Autores, a partir de dados d(a): IPCC (2006) para óleo combustível e gás natural, e IEA (2005) para BFG

Com isso, deduzimos para cada gás estudado um fator de emissão associado à geração de eletricidade. No caso do município do Rio de Janeiro, em 2012, os fatores de emissão da geração de eletricidade foram 14,0 GgCO₂/mil tep, 77,16 kg CH₄/mil tep e 75,89 kg N₂O/mil tep.

Cálculo do fator de emissão da eletricidade importada pelo município do Rio de Janeiro – escopo 2 do bottom-up

No município do Rio de Janeiro, a demanda por eletricidade em 2012 foi de 1.525,35 mil tep, sendo que 84,8% desse total foi importada, ou seja, correspondeu à eletricidade advinda do grid nacional. Para o cálculo das emissões da energia importada pelo município, deve ser utilizado o fator médio anual do grid do sistema elétrico brasileiro, obtido do MCTI (2013) para aplicação em inventários. Em 2012, o valor dado foi de 0,0653 tCO₂/MWh. Esse valor foi convertido para GgCO₂/mil tep (considerando que 1 tep = 11,63 MWh), resultando num valor de 0,76 GgCO₂/mil tep.

2.3. Resultados e Discussão

2.3.1. Emissões e Remoções Antrópicas de GEE do Ano de 2012

A seguir são apresentados os resultados encontrados de emissão de GEE consequentes do consumo de energia. Destaca-se cinco sub-setores, a saber: Indústria da Energia, Indústria, Transportes, Outros Setores (Residencial, Comercial/Serviços, Público e Agropecuário) e Emissões Fugitivas.

Também é apresentada uma seção especial sobre as perdas técnicas e não técnicas associadas à distribuição de eletricidade, apenas a título de informação.

2.3.1.1. Consumo das Indústrias de Energia

Este setor corresponde aos produtores de energia, entendidos como aqueles que transformam produtos energéticos em outros (distinguindo-se, portanto, do conceito utilizado na composição de balanços energéticos). No Município do Rio de Janeiro, vale ressaltar a existência da Usina Termelétrica de Santa Cruz e da Companhia Siderúrgica do Atlântico (TKCSA) como importantes indústrias deste setor – apesar desta segunda não ter a produção de energia como atividade fim, desempenha papel significativo neste sentido. Também há diversos autoprodutores de eletricidade, para produção autônoma ou complementar à rede. O município também conta com uma refinaria de petróleo, que em 2012 produziu derivados como óleo combustível, gasolina A, nafta e solvente (ANP, 2013).

A ANEEL disponibiliza uma lista com os autoprodutores de eletricidade registrados no município. Pode-se citar diversos hospitais e shoppings que, frequentemente, possuem sistemas de emergência para o caso de queda do fornecimento de energia elétrica ou que, por motivos econômicos, produzem eletricidade no horário de ponta. Como a maior parte destes autoprodutores utiliza fontes fósseis, como óleo diesel ou gás natural, a combustão destes elementos acarreta a emissão de gases de efeito estufa. A Tabela 16 abaixo apresenta o consumo energético dos principais produtores de eletricidade do município considerados neste estudo (ver nota de rodapé 12).

Tabela 16 – Consumo energético para fins de produção de energia elétrica (mil tep) – Município do Rio de Janeiro – 2012

	Óleo Combustível	Gás Natural Seco	BFg
Centrais elétricas Serviço Público	4,2	129,9	-
Centrais elétricas Autoprodutoras	-	15,9	268,7

Fonte: Autoprodutores consultados e Usina Termoelétrica de Santa Cruz

Em relação à atividade de refino de petróleo, de acordo com dados da ANP (2013), a Refinaria de Manguinhos processou 10.439 barris de petróleo por dia e produziu 583.069 m³ de gasolina, 1.318 m³ de óleo combustível, 12.107 m³ de nafta e

2.843 m³ de solvente. O consumo energético da atividade de refino foi estimado através da subtração do total de derivados do total de petróleo, em unidade comum (tep), pois a Refinaria não respondeu às solicitações de dados. Atribuiu-se a diferença como consumo de óleo combustível pela atividade de refino.

Também são apresentadas neste item as emissões relacionadas à produção de coque. As emissões originadas da produção de coque referem-se às ocorridas na conversão térmica, em atmosfera controlada, de carvão metalúrgico em coque. Embora sejam, de fato, emissões de um processo industrial, os guias metodológicos do IPCC indicam sua alocação dentro das emissões de energia, tendo em vista que a finalidade da operação é produzir um insumo energético.

As emissões totais resultantes do uso das fontes energéticas especificadas são apresentadas na Tabela 17.

Tabela 17 – Emissões de GEE do consumo energético das indústrias de energia da cidade do Rio de Janeiro (Gg)

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e
Centrais elétricas Serviço Público	317,17	0,01	0,00	317,49
Centrais elétricas Autoprodutoras	2.928,64	0,01	0,02	2.934,15
Produção de Coque	1.085,20	0,00	0,00	1.085,20
Refino de Petróleo	248,57	0,91	0,00	268,35
Outros	47,11	0,00	0,00	47,16
Total	4.626,68	0,93	0,02	4.652,34

Fonte: Autores

Mais da metade das emissões totais do setor (2.934,15 Gg CO₂e) é proveniente dos autoprodutores, mais especificamente da queima do BFG. Entretanto, o uso deste gás faz parte do processo de reciclagem dos gases oriundos da fabricação do aço e, embora intensifique as emissões de GEE do setor considerado, para a indústria siderúrgica promove estabilidade operacional e outros ganhos ambientais pelo uso eficiente dos recursos energéticos.

2.3.1.2. Indústria

Apesar de muitas indústrias de grande porte terem migrado para regiões menos densamente habitadas, ainda há indústrias em atividade no Município do Rio. Principalmente as de menor porte e que se relacionam diretamente com o consumo deste grande centro urbano, embora haja também um número menor de indústrias grandes importantes.

Neste setor, adotou-se uma classificação semelhante à utilizada no Balanço Energético Estadual (BEE-RJ, 2012) para agregação das informações obtidas: extração e tratamento de minerais; minerais não metálicos (cimento; cerâmica; vidro e outros); metalurgia (ferro-gusa/aço; não ferrosos/outros metalúrgicos); papel e celulose; químicas; têxtil; produtos alimentícios; bebidas; outras indústrias. Cada setor industrial tem usos específicos para os energéticos, mas também usos comuns, como iluminação e aquecimento. A Tabela 18 resume os resultados calculados através da agregação e conversão dos dados obtidos. Não foram obtidos dados de venda de eletricidade desagregados por subsetor industrial, mas a quantidade de energia elétrica total consumida pela indústria totalizou 216,74 mil tep, dos quais 183,80 foram importados (escopo 2).

Tabela 18 – Consumo Energético do Setor Industrial (mil tep)*.

	Óleo Diesel	Óleo Comb.	GLP	Gás Natural	Eletric.	BFg**	Total
Extração e tratamento de minerais	0,70	-	0,00	-			0,70
Minerais não metálicos	0,34	0,53	-	7,83			8,71
Cimento	0,33	-	-	-			0,33
Cerâmica	-	-	-	-			-
Vidro	0,00	0,53	-	7,83			8,37
Outros	0,02	-	-	-			0,02
Metalúrgico	0,31	-	0,03	129,12		107,30	236,76
Ferro-gusa/Aço	0,29	-	-	129,12		107,30	236,71
Não ferrosos/Outros metalúrgicos	0,02	-	0,03	0,00			0,05
Papel e celulose***	-	-	0,01	0,00			0,01
Química	0,14	-	0,47	51,90			52,51
Têxtil	0,12	0,12	0,00	0,01			0,26
Produtos alimentícios***	0,56	-	1,02	0,00			1,59
Bebidas	0,18	-	0,24	28,33			28,74
Outras indústrias***	5,44	0,77	1,44	0,00			7,64
Sem especificação/ Não identificados	-	-	-	156,31	216,74		373,05
Total	7,79	1,42	3,21	373,50	216,744	107,30	709,97

*Não está representado o consumo do gás BOFg pela indústria siderúrgica, tendo apenas a informação das emissões decorrentes do seu uso.

** A quantidade de gás BFg usada pela indústria siderúrgica foi estimada a partir da diferença das emissões totais informadas do consumo total desse gás e do seu consumo na geração de energia elétrica.

***Setores cujos consumos de gás natural podem estar incluídos na linha "Sem especificação/ Não identificados"

Fonte: ANP, Light e CEG.

Dentre os energéticos consumidos, o uso de gás natural é o mais significativo, seguido da eletricidade. Dentre as categorias de indústrias analisadas, destacam-se pelo seu consumo energético a atividade siderúrgica, as indústrias químicas e de bebidas. As emissões decorrentes são apresentadas na Tabela 19.

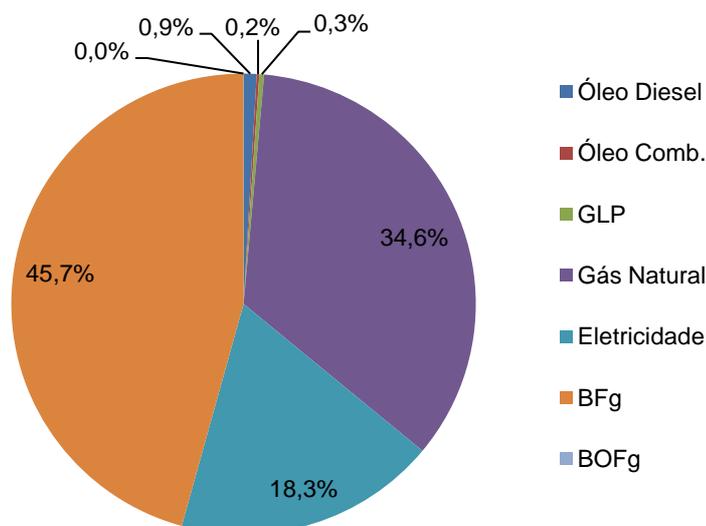
Tabela 19 – Emissões do Setor Industrial (Gg)

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e
Extração e tratamento de minerais	2,08	0,00	0,00	2,08
Minerais não metálicos	21,04	0,00	0,00	21,07
Cimento	0,97	0,00	0,00	0,97
Cerâmica	0,00	0,00	0,00	0,00
Vidro	20,02	0,00	0,00	20,04
Outros	0,05	0,00	0,00	0,05
Metalúrgico	1.457,46	0,01	0,00	1.457,75
Ferro-gusa/Aço	1.457,33	0,01	0,00	1.457,62
Não ferrosos/Outros metalúrgicos	0,13	0,00	0,00	0,13
Papel e celulose	0,02	0,00	0,00	0,02
Química	122,95	0,00	0,00	123,06
Têxtil	0,78	0,00	0,00	0,78
Produtos alimentícios	4,35	0,00	0,00	4,36
Bebidas	67,36	0,00	0,00	67,42
Outras indústrias	22,42	0,00	0,00	22,48
Sem especificação/ Não identificadas	966,12	0,01	0,00	967,29
Total	2.664,58	0,02	0,00	2.666,32

Fonte: Autores

As emissões totais do setor industrial totalizaram, em 2012, 2.666,32 Gg CO₂e. Do total das emissões decorrentes de eletricidade, 139,6 Gg CO₂e são oriundas da eletricidade importada (escopo 2).

Como mostra a Figura 8, o principal combustível responsável pela maior parte das emissões no setor industrial é o BFG, presente no setor metalúrgico – ferro/gusa, com uma participação de aproximadamente 46% do total das emissões (1.154,36 GgCO₂e).



Fonte: Autores

Figura 8 – Participação dos combustíveis nas emissões do setor industrial – todos os escopos (%)

2.3.1.1. Setor Residencial

O setor residencial é o segundo setor mais relevante no consumo energético do município do Rio de Janeiro, com uma participação de cerca de 13,6%¹⁹, e, conseqüentemente, um dos principais emissores de gases de efeito estufa. A Tabela 20 abaixo apresenta o consumo energético do setor.

Tabela 20 – Consumo energético do setor residencial (mil tep).

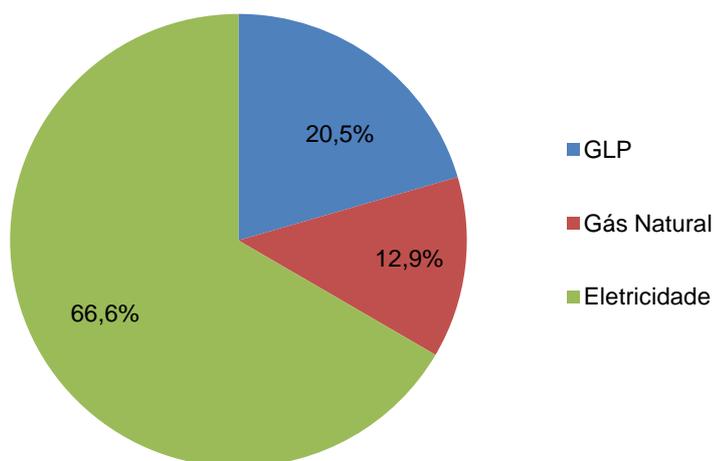
	Óleo Diesel	Óleo combustível	GLP	Gás Natural	Eletricidade
Residencial	0,00	0,00	151,29	95,60	491,63

Fonte: Adaptado de ANP, Light e CEG

Estes energéticos são utilizados, principalmente, para produção de calor (aquecimento e cozimento) e para funcionamento de eletroeletrônicos e/ou eletrodomésticos. Como esperado, o maior valor de consumo se refere à eletricidade, por sua versatilidade de uso como em iluminação, refrigeração e aparelhos

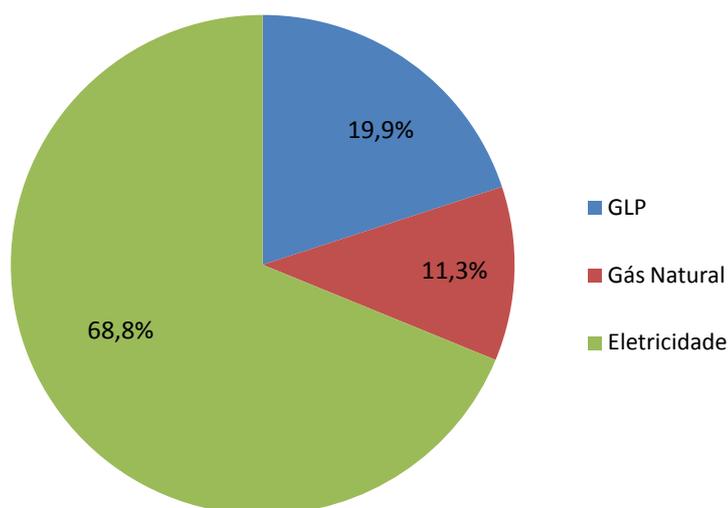
¹⁹ Desconsiderando-se o consumo para as atividades de transformação e as perdas de eletricidade com a distribuição..

eletrônicos, com o uso de 491,63 mil tep ou 66,6% do total do consumo energético dentro do setor. Conseqüentemente, esse energético também é o principal responsável pelas emissões do setor, com uma participação de 68,8% (Figura 9 e Figura 10), considerando um total de emissões de 1.984,12 Gg CO₂e (Tabela 21). Deste total de emissões, 316,62 Gg CO₂e correspondem ao escopo 2, por serem emissões oriundas da eletricidade importada.



Fonte: Autores

Figura 9 – Participação de cada combustível no consumo energético do setor residencial – todos os escopos (%)



Fonte: Autores

Figura 10 – Participação de cada combustível nas emissões totais do setor residencial – todos os escopos (%)

Tabela 21 – Emissões do Setor Residencial (Gg) – todos os escopos

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e
Residencial	1.981,71	0,02	0,01	1.984,12

Fonte: Autores

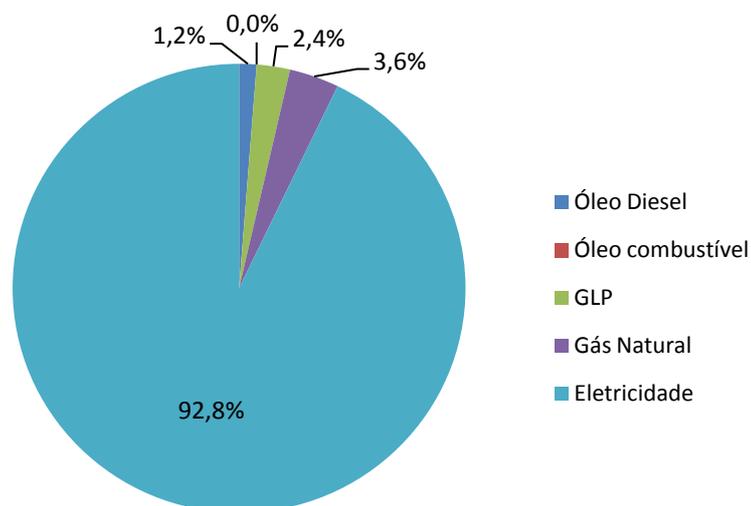
2.3.1.2. Setor Comercial/Serviços

O Censo de 2010 (IBGE, 2013a) informa que dos aproximados três milhões de habitantes economicamente ativos da cidade, mais de 600 mil trabalham diretamente com serviços ou comércio. Em 2012, conforme mostra a Tabela 22, o setor comercial/serviços do município do Rio de Janeiro demandou cerca de 578,18 mil tep em termos de consumo energético de combustíveis. Desse total, a eletricidade é o principal energético consumido, responsável por quase 93% do consumo do setor, conforme a Figura 11, abaixo.

Tabela 22 – Consumo Energético Comercial/Serviços (mil tep)

	Óleo Diesel	Óleo combustível	GLP	Gás Natural	Eletricidade
Comercial/Serviços	7,17	0,00	13,76	20,54	536,71

Fonte: Adaptado de ANP, Light e CEG



Fonte: Autores

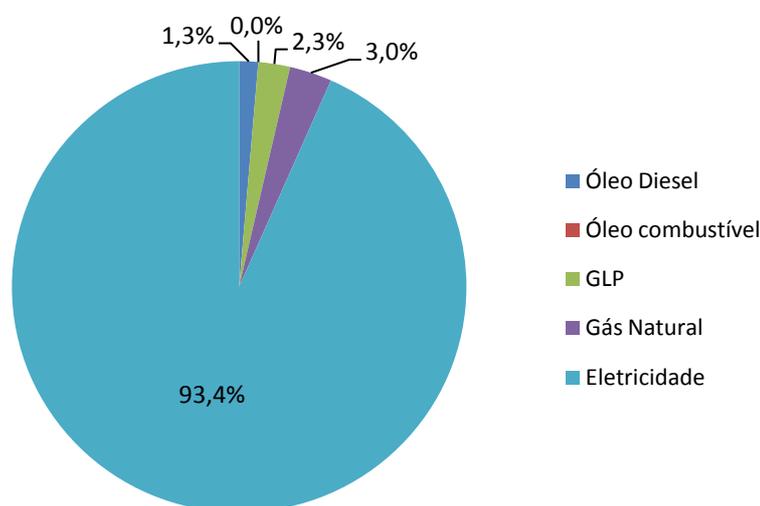
Figura 11 – Participação de cada combustível no consumo energético do setor comercial/serviços – todos os escopos (%)

Em relação às emissões, o setor comercial/serviços é responsável por 1.595,26 GgCO₂e (Tabela 23), sendo que, no escopo 1, o setor emite 1.249,23 GgCO₂e e, no escopo 2, 345,65 GgCO₂e. A eletricidade é responsável por 93,4% das emissões totais (Figura 12), corroborando com a enorme participação desse energético no consumo.

Tabela 23 – Emissões do Setor Comercial/Serviços (Gg) – todos os escopos

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e
Comercial/serviços	1.593,05	0,01	0,01	1.595,26

Fonte: Autores



Fonte: Autores

Figura 12 – Participação de cada combustível no total das emissões do setor comercial/serviços – todos os escopos (%)

2.3.1.1. Setor Público

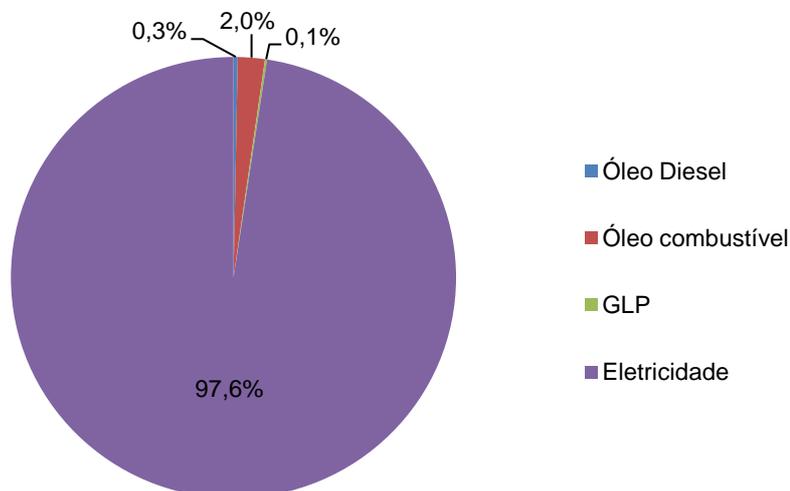
O setor público inclui as atividades geridas pelos governos, incluindo estabelecimentos de educação e saúde da rede pública, bem como instalações administrativas. Assim, inclui desde o prédio da prefeitura e de outras agências governamentais, distribuição e tratamento de água e esgoto e até a realização de obras públicas na cidade. Também é considerado o consumo relativo à iluminação pública e aos semáforos.

O consumo de energia destes setores é resumido na Tabela 24, abaixo, que mostra a predominância do uso da eletricidade no setor público com uma participação de 97,6% no consumo energético do setor e 97,3% nas emissões totais do consumo energético do setor público, conforme a Figura 13.

Tabela 24 – Consumo Energético do Setor Público (mil tep)

	Óleo Diesel	Óleo combustível	GLP	Gás Natural	Eletricidade
Público	0,60	3,88	0,29	0,00	192,71

Fonte: Adaptado de ANP, Light e CEG



Fonte: Autores

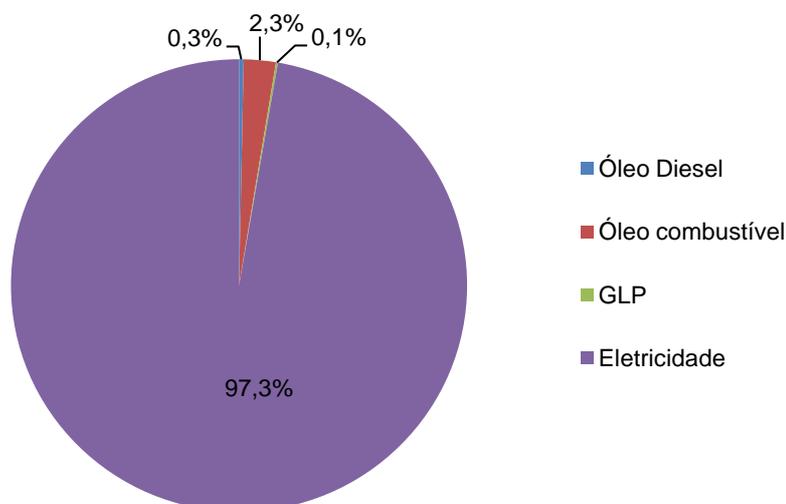
Figura 13 – Participação de cada combustível no consumo energético do setor público – todos os escopos (%)

As emissões totais do setor público no município do Rio de Janeiro e, 2012 foram de 549,96 GgCO₂e, contabilizando todos os escopos (Tabela 25 e Figura 14). Deste total, 124,11 GgCO₂e correspondem ao escopo 2.

Tabela 25 – Emissões do Setor Público (Gg) – todos os escopos

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e
Público	549,17	0,00	0,00	549,96

Fonte: Autores



Fonte: Autores

Figura 14 – Participação de cada combustível nas emissões totais do setor público – todos os escopos (%)

2.3.1.2. Setor Agropecuário

O setor agropecuário é de pouca importância no Município do Rio de Janeiro, representando apenas algumas atividades do ramo que permanecem em áreas com menor densidade populacional, distantes do centro urbano. Há produção pouco representativa de alguns gêneros agrícolas (IBGE, 2011b).

Com isso, o consumo energético desse setor é muito baixo, de 0,24 mil tep: 0,02 mil tep de uso de óleo diesel e o restante corresponde à eletricidade (0,22 mil tep). Assim, as emissões com o setor também foram baixas: 0,66 GgCO₂e (0,52 GgCO₂e no escopo 1 e 0,14 GgCO₂e no escopo 2, devido à eletricidade importada). A eletricidade é responsável por 90,5% das emissões totais do setor (Tabela 26).

Tabela 26 – Emissões do Setor Agropecuário (Gg) – todos os escopos

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e
Agropecuário	0,66	0,00	0,00	0,66

Fonte: Autores

2.3.1.1. Transportes

Este setor é de grande importância no município do Rio de Janeiro, pois representa um grande consumo de combustíveis fósseis e, portanto, de emissões de GEE. Como em todo grande centro urbano, o Município possui um expressivo volume

de tráfego diário, principalmente pela movimentação dos habitantes que fazem o trajeto moradia-trabalho. Isto é agravado pela polarização do uso de áreas, concentrando o Centro grande parte dos locais para onde fluem residentes de outras regiões. Agrava esta situação a predominância do modal rodoviário.

Assim, veículos de passeio e ônibus são os principais veículos utilizados, apesar da sua baixa capacidade e eficiência energética. Iniciativas vêm sendo feitas para melhorar este quadro, como a expansão da rede metroviária e projetos que privilegiam o deslocamento dos ônibus em detrimento dos veículos de passeio, como os corredores de BRT e BRS.

Este setor inclui o consumo de energia necessário à movimentação de trens; carros, ônibus, veículos aquáticos e outras formas motorizadas de transporte. Os motores, sejam de combustão interna ou elétricos, implicam em emissões diretas ou indiretas de GEE.

O consumo energético deste setor é resumido pela Tabela 27.

Tabela 27 – Consumo Energético do Setor de Transportes (mil tep).

	Óleo Diesel	Óleo Comb.	Gasolina A	Gasolina de Aviação	GLP	Querosene de Aviação	Gás Natural	Elétric.	Etanol	Total
Rodoviário	753,16	0,00	657,53	0,00	0,00	0,00	454,47	0,00	220,53	2.085,69
Ferroviário	1,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,38	0,00	32,50
Aéreo	0,00	0,00	0,00	0,77	0,00	556,11	0,00	0,00	0,00	556,88
Hidroviário	2,62	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,30
Total	756,90	0,67	657,53	0,77	0,00	556,1087278	454,47	31,38	220,53	2.678,36

Fonte: Adaptado de ANP, Metrô Rio, Light e CEG

Observa-se que as maiores quantias se referem ao consumo de gasolina e óleo diesel pelo setor rodoviário – sendo o primeiro combustível utilizado, predominantemente, por carros – e o segundo por caminhões e ônibus. Os valores confirmam a predominância do modal rodoviário, que representa quase de 75,9% do total das emissões referentes ao setor de transportes, contabilizando todos os escopos (Figura 15 e Figura 16).

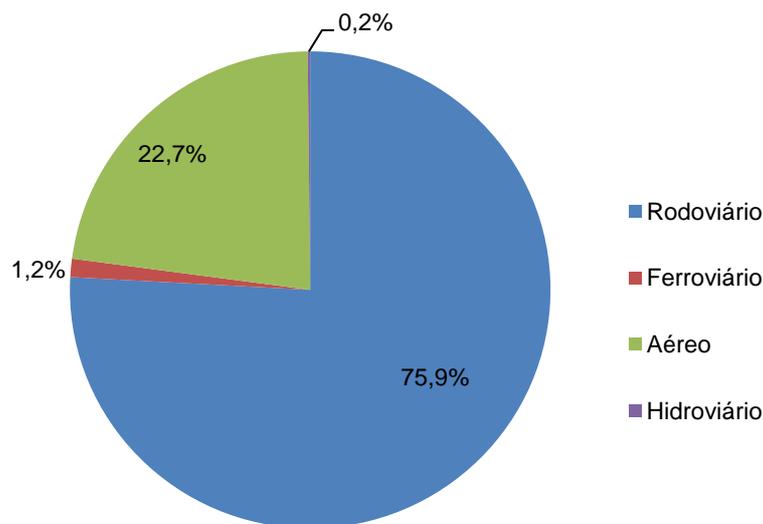
As emissões decorrentes são apresentadas na Tabela 28.

Tabela 28 – Emissões do Setor de Transportes (Gg) – Município do Rio de Janeiro – 2012

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e
Rodoviário	5.374,37	2,73	0,40	5.555,76
Ferrovário	90,31	0,00	0,00	90,85
Aéreo	1.650,38	0,05	0,05	1.665,80
Hidroviário	12,07	0,00	0,00	12,18
Total	7.127,14	2,78	0,45	7.324,59

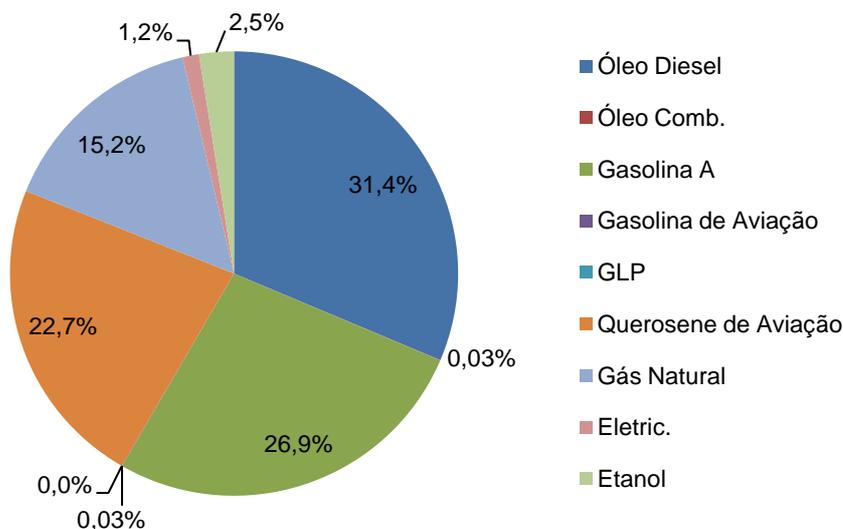
Fonte: Autores

Vale ressaltar ainda que o modal ferroviário é o único que apresenta emissões de escopo 2, já que utiliza eletricidade como fonte energética. Sendo assim, das emissões deste modal, 20,21 Gg CO₂ (84,8% do total da energia consumida) são referentes à energia elétrica importada (escopo 2) e o restante foi consequência de consumo de eletricidade gerada dentro do Município (escopo 1).



Fonte: Autores

Figura 15– Participação de cada modal do setor de transportes nas emissões totais – todos os escopos (%)



Fonte: Autores

Figura 16 – Participação de cada combustível no total das emissões do setor de transportes – todos os escopos (%)

2.3.1.1. Perdas da Distribuição de Eletricidade

Conforme informações da Light²⁰, houve 8.536 GWh de perdas com a distribuição de eletricidade no ano de 2012 para toda a região do Estado atendida pela empresa: 2.529 GWh de perdas técnicas e 6.007 GWh de perdas não técnicas.

Visto que 73,4% do consumo faturado naquele ano foi consumido pelo município do Rio de Janeiro, este mesmo percentual foi aplicado aos valores de perdas mencionados acima, resultando em 1.855,95 GWh de perdas técnicas e 4.408,33 GWh de perdas não técnicas. Para calcular as emissões oriundas destas perdas, foi feita uma proporcionalidade de acordo com a origem da eletricidade, que, conforme já mencionado, pode ter sido gerada dentro do município ou importada do grid nacional. Assim, o total das perdas técnicas e não-técnicas da distribuição de eletricidade dentro do município do Rio de Janeiro, contabilizando todos os escopos, emitiram 1.495,37 GgCO₂e (Tabela 29).

²⁰ Em ri.light.com.br/ptb/3372/Call4T12.pptx.

Tabela 29 – Emissões com perdas na distribuição de energia elétrica por escopo (Gg) – Município do Rio de Janeiro – 2012

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e
Escopo 1	1.146,36	0,01	0,01	1.148,42
Técnicas	339,64	0,00	0,00	340,25
Não-técnicas	806,72	0,00	0,00	808,17
Escopo 2	346,95	0,00	0,00	346,95
Técnicas	102,79	0	0	102,79
Não-técnicas	244,16	0,00	0,00	244,16
TOTAL	1.493,31	0,01	0,01	1.495,37

Fonte: Autores

2.3.1.2. Emissões Fugitivas

Segundo IPCC (2006), existem três formas de emissões fugitivas relativas ao petróleo e ao gás natural: exploração de petróleo e produção de gás natural liquefeito (GNL); transporte de petróleo e de gás natural; e refino do petróleo para obtenção dos mais diversos derivados. No caso do município do Rio de Janeiro, não há nem produção de petróleo e nem de GNL dentro de suas fronteiras geográficas, logo, não há emissões fugitivas relacionadas à exploração e produção desses combustíveis. Em relação ao transporte, o que se aplica ao contexto do Município do Rio é a rede de distribuição de gás natural existente. Também há as emissões de CO₂, CH₄ e N₂O oriundas da única refinaria que opera dentro de seus limites.

As emissões fugitivas de gás natural foram obtidas a partir dos valores de perdas técnicas (Tabela 30). Foi considerado que o gás perdido seria formado por 100% de metano, assumindo assim uma posição conservadora pois o gás natural tem outros gases em sua composição, inclusive CO₂, com potencial de aquecimento global mais baixo do que o do metano.

Tabela 30 – Emissões fugitivas de gás natural na rede de distribuição (Gg) – Município do Rio de Janeiro – 2012

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e
Emissões fugitivas GN	0,00	3,82	0,00	80,12

Fonte: Autores

As informações sobre a quantidade processada de petróleo pela refinaria e o fator de emissão no refino foram obtidos, respectivamente, do Anuário Estatístico do Petróleo e de Gás Natural de 2012 (ANP, 2013) e do Segundo Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa (BRASIL, 2010).

Para o cálculo das emissões fugitivas da atividade de refino foi considerado um volume de petróleo processado de 10.439,0 barris de petróleo por dia, ou seja, aproximadamente 605,83 mil m³/ano (ANP, 2013). Os fatores de emissão utilizados foram calculados através de dados de quantidade de petróleo refinado e suas respectivas emissões fugitivas de cada gás para cada ano no Brasil, no período de 1990 a 2008²¹. Esses dados podem ser encontrados no Relatório de Referência sobre Emissões Fugitivas da Indústria de Petróleo e Gás do II Inventário Brasileiro (PETROBRAS, 2010). A Tabela 31 resume os dados utilizados para o cálculo, e a Tabela 32 apresenta os fatores médios calculados.

Tabela 31 – Dados utilizados no cálculo dos fatores médios de emissão de CO₂, CH₄ e N₂O para a atividade de Refino no Brasil.

Ano	Petróleo Refinado (mil m3)	Emissões (GgCO ₂)	Emissões (GgCH ₄)	Emissões (GgN ₂ O)
1990	68.136	4.492,75	5,35	0,01
1991	66.071	4.356,60	5,27	0,01
1992	68.803	4.536,72	5,49	0,01
1993	69.504	4.582,93	5,55	0,01
1994	73.452	4.843,26	5,86	0,02
1995	71.696	4.727,49	5,72	0,01
1996	76.809	5.064,65	6,13	0,02
1997	82.557	5.443,65	6,59	0,02
1998	87.858	5.793,19	7,01	0,02
1999	93.313	6.152,87	7,45	0,02
2000	94.358	6.221,75	7,53	0,02
2001	99.232	6.543,17	7,92	0,02
2002	97.491	6.428,37	7,78	0,02
2003	104.687	6.458,97	7,78	0,01
2004	104.745	6.520,70	7,85	0,02
2005	106.138	6.897,50	8,85	0,02
2006	112.579	7.557,52	9,75	0,03
2007	112.927	7.799,06	8,87	0,02
2008	112.405	7.924,25	9,12	0,03

Fonte: PETROBRAS (2010)

²¹ Primeiramente calculou-se um fator anual dividindo o total de emissões pelo total de petróleo refinado no ano, para cada um dos gases analisados. Depois foi feita uma média aritmética entre os fatores. Os fatores obtidos considerando o período todo ou apenas o período entre os anos de 2005 e 2008 praticamente não apresentaram diferença, sendo usada a primeira opção.

Tabela 32 – Fatores médios de emissão de CO₂, CH₄ e N₂O calculados para emissões fugitivas da atividade de Refino (Gg/mil m³).

Categoria	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Refino	0,0659	7,975*10 ⁻⁵	1,998*10 ⁻⁷

Fonte: Autores, com base em PETROBRAS (2010)

O resultados para as emissões fugitivas do refino, conforme a Tabela 33, foram de 41,00 GgCO₂e no ano de 2012. Esse valor foi contabilizado no escopo 1 já que é de responsabilidade direta do município.

Tabela 33 – Emissões fugitivas de petróleo para cada tipo de GEE (Gg) – Município do Rio de Janeiro – 2012.

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e
Refino	39,95	0,05	0,00	41,00

Fonte: Autores

Segundo o Global Protocol for Community Scale, todas as emissões fugitivas devem ser categorizadas como escopo 1, já que se considera as emissões ocorrendo dentro das fronteiras do Município. Entretanto, o Rio de Janeiro importa carvão mineral metalúrgico para uso em sua indústria siderúrgica, carvão este que é explorado fora das suas fronteiras. A exploração de carvão também acarreta emissões fugitivas, principalmente metano segundo o IPCC, sendo assim, considerando o princípio da responsabilidade sobre as emissões, decidiu-se calcular e alocar no escopo 3 as emissões fugitivas correspondentes à exploração da quantidade de carvão importada pelo Município.

De acordo com informações das Indústrias Siderúrgicas do município, estimou-se um consumo de 1,7 milhões de toneladas de carvão metalúrgico para produção de coque e um consumo indireto de pouco mais de um milhão de toneladas, considerando o coque utilizado no processo que foi produzido fora das fronteiras do município. Visto que a fonte de todo esse carvão não foi informada, foram adotados fatores de emissão de CH₄ *default* do IPCC, de 18 m³ de CH₄/ t de carvão para atividade de mineração e 2,5 m³ de CH₄/ t de carvão para atividade de pós-mineração, considerando um fator de conversão do CH₄ igual a 0,67 x 10⁻⁶ Gg/m³.

As emissões fugitivas consequentes do carvão importado pelo Município do Rio de Janeiro em 2012, categorizadas como escopo 3, foram estimadas em 805,6 GgCO₂e.

2.3.1.3. Bunkers

É importante observar que, o IPCC recomenda que se contabilize o consumo de combustíveis de *bunker* internacional (transportes aéreos e marítimos internacionais), em separado, apenas para fins informativos, pois esse valor não faz parte das emissões nacionais. Foram reportados pela ANP consumos de querosene e gasolina de aviação para o transporte aéreo e óleo diesel e óleo combustível para o transporte marítimo, caracterizados como *bunker*. O valor total das emissões de *bunkers* foi de 1.632,10 GgCO₂e como observado na Tabela 34, com destaque para participação da aviação, cujas emissões representaram quase 92% do total do setor no município do Rio de Janeiro.

Tabela 34 – Emissões de Bunkers por tipo de GEE (em Gg) por combustível e consumo de combustível usado (em mil tep) – Município do Rio de Janeiro – 2012

Tipo de combustível	mil tep	Gg CO ₂	Gg CH ₄	Gg N ₂ O	GgCO ₂ e
Querosene de Aviação	503,81	1.493,18	0,01	0,04	1.506,48
Óleo Diesel Marítimo	40,44	118,33	0,01	0,00	119,63
Total	544,25	1.611,50	0,02	0,05	1.626,10

Fonte: Autores

2.3.2. Resultados Obtidos pelo Método de Referência – Top Down

As Tabela 35 e Tabela 36 apresentam, respectivamente, os valores do Consumo Aparente e das Emissões de CO₂ para o município do Rio de Janeiro, obtidos de acordo com a aplicação da metodologia *top-down*.

Tabela 35 – Consumo Aparente por Fonte de Energia (mil tep) – método *top-down* (sem *bunker*) – Município do Rio de Janeiro - 2012

Tipo de Combustível	Total
Petróleo	539,19
Óleo diesel	736,36
Óleo combustível	87,72
Gasolina	658,29
GLP	179,66
Querosene	556,11
Produtos não energéticos	112,96
Carvão metalúrgico	1.296,64
Coque do carvão mineral	567,77
Gás natural seco	1.024,02
Total	5.758,72

Fonte: Autores a partir de dados da: ANP, CEG, TKCSA, COSIGUA

Tabela 36 – Emissões de CO₂ por Fonte de Emissão (Gg CO₂) – método *top-down* – (sem *bunker*) – Município do Rio de Janeiro - 2012

Tipo de Combustível	Total
Petróleo	1.639,00
Óleo diesel	2.260,75
Óleo combustível	281,32
Gasolina	1.891,00
GLP	469,68
Querosene	1.648,18
Produtos não energéticos	0,00
Carvão metalúrgico	2.781,42
Coque do carvão mineral	2.499,93
Gás natural seco	2.232,36
Total	15.703,63

Fonte: Autores

2.3.2.1. Diferenças nas Estimativas *Top-down* e *Bottom-up*

O IPCC (2006) recomenda que um bom exercício seja comparar as emissões de CO₂ obtidas pelo método *top-down* com o método *bottom-up*. Normalmente um valor aceitável para uma diferença entre os resultados dos dois métodos é que fique abaixo de 5%. Nos caso em que as perdas são proporcionais ao balanço de massa na produção e na transformação, as mudanças de estoque no consumo final não são significativas e as diferenças estatísticas entre os dados das duas abordagens também não são significativas. Logo, o valor das emissões obtido pelas duas abordagens deve ser bem próximo.

Considerando que o método *top-down* contabiliza apenas as emissões de CO₂ e apenas aquelas oriundas de combustíveis não-renováveis, alguns descontos devem ser feitos no total calculado pelo método *bottom-up* para que sejam comparáveis. Sendo assim, as emissões de CO₂ do setor de energia pelo método *bottom-up*, contabilizando somente as emissões de escopo 1, totalizaram 16.231,91 Gg CO₂, enquanto o total obtido pelo método *top-down* foi de 15.703,63 Gg CO₂. Sendo assim, a diferença diferença entre as abordagens foi de 3,3%, estando dentro dos 5% esperados, o que valida os resultados.

2.3.3. Análise Agregada

As Tabela 37 e Tabela 38 sintetizam os valores de consumo energético e emissões resultantes encontradas. Ressalta-se que o Município do Rio de Janeiro tem como principal setor consumidor de energia o transporte. Os motivos para tal decorrem do sistema predominante, que se baseia no modal rodoviário e apresenta grau de saturação elevado das suas vias. Além dos transportes, o setor energético e, em especial, as centrais elétricas autoprodutoras têm importante participação nas emissões totais do setor, no entanto acabam diluídas em todos os setores por estarem inbutidas no fator de emissão do uso de eletricidade.

Tabela 37 – Consumo Final Energético do Diversos Setores no Rio de Janeiro em 2012, em mil tep*.

	Óleo Diesel [#]	Óleo Comb.	Gasó A	Gasó. Avi.	GLP	Queros. Aviação	Gás Natural	Eletric.	Etanol	BFG [^]
Energético (Transform. e Distrib.)	0,08	81,75	0,00	0,00	11,11	0,00	145,76	594,69	0,00	268,71
Centrais elétricas Serviço Público	0,00	4,24	0,00	0,00	0,00	0,00	129,89	0,00	0,00	0,00
Centrais elétricas Autoprodutoras	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,87	49,53	0,00	268,71
Refino	0,00	77,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Outros consumos Setor Energético	0,08	0,00	0,00	0,00	11,11	0,00	0,00	6,43	0,00	0,00
Perdas distribuição eletric.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	538,73	0,00	0,00
<i>Técnicas</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	159,61	0,00	0,00
<i>Não-técnicas</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	379,12	0,00	0,00
Residencial	0,00	0,00	0,00	0,00	151,29	0,00	95,60	491,63	0,00	0,00
Comercial/serviços	7,17	0,00	0,00	0,00	13,76	0,00	20,54	536,71	0,00	0,00
Público	0,60	3,88	0,00	0,00	0,29	0,00	0,00	192,71	0,00	0,00
Agropecuário	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00
Transporte – total	797,34	0,67	657,53	0,77	0,00	1.059,92	454,47	31,38	220,53	0,00
Rodoviário	753,16	0,00	657,53	0,00	0,00	0,00	454,47	0,00	220,53	0,00
Ferroviário	1,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,38	0,00	0,00
Aéreo	0,00	0,00	0,00	0,77	0,00	1.059,92	0,00	0,00	0,00	0,00
Hidroviário	43,06	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Indústria – Total	7,79	1,42	0,00	0,00	3,21	0,00	373,50	216,74	0,00	107,30
Extração e tratamento de minerais	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Minerais não metálicos	0,34	0,53	0,00	0,00	0,00	0,00	7,83	0,00	0,00	0,00
Metalúrgico	0,31	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	129,12	0,00	0,00	107,30
Papel e celulose	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Química	0,14	0,00	0,00	0,00	0,47	0,00	51,90	0,00	0,00	0,00
Têxtil	0,12	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Produtos alimentícios	0,56	0,00	0,00	0,00	1,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

	Óleo Diesel [#]	Óleo Comb.	Gasol A	Gasol. Avi.	GLP	Queros. Aviação	Gás Natural	Eletric.	Etanol	BFg [^]
Bebidas	0,18	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00	28,33	0,00	0,00	0,00
Outras indústrias	5,44	0,77	0,00	0,00	1,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sem especificação/ não identificadas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	156,31	216,74	0,00	0,00
Total	813,00	87,72	657,53	0,77	179,66	1.059,92	1.089,87	2.064,08	220,53	376,01

*Não está representado o consumo do gás BOFG pela indústria siderúrgica, tendo apenas a informação das emissões decorrentes do seu uso.

**Óleo diesel com 5% de biodiesel

***A quantidade de gás BFG usada pela indústria siderúrgica foi estimada a partir da diferença das emissões totais informadas do consumo total desse gás e do seu consumo na geração de energia elétrica.

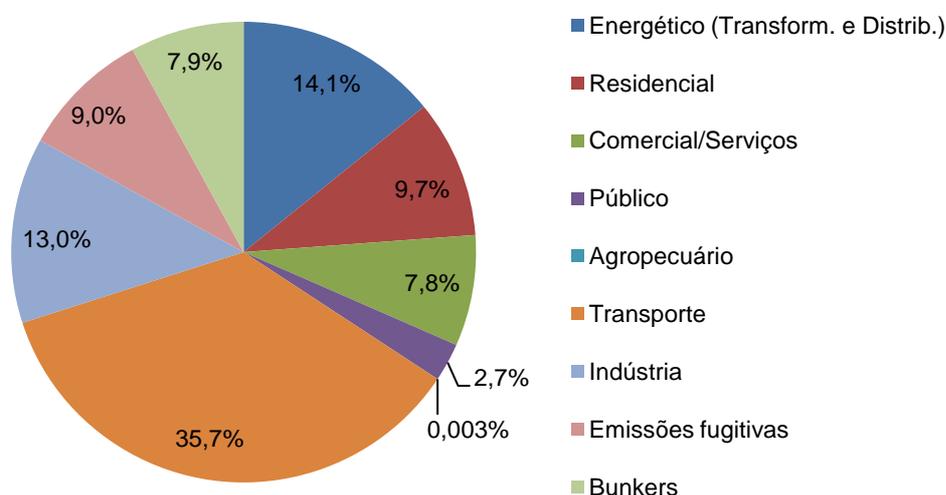
Fonte: ANP, Metrô Rio, Light e CEG.

Tabela 38 – Emissões de GEE do Rio de Janeiro devidas ao uso de energia em 2012 – Gg CO₂e por Escopos.

	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3	Total
Energético (Transform. e Distrib.)	2.544,98	351,10	0,00	2.896,08
Produção de Coque	1.085,20	0,00	0,00	1.085,20
Refino	268,35	0,00	0,00	268,35
Outros consumos Setor Energético	43,01	4,14	0,00	47,16
Perdas de distribuição eletricidade	1.148,42	346,95	0,00	1.495,37
Técnicas	340,25	102,79	0,00	443,04
Não-técnicas	808,17	244,16	0,00	1.052,33
Residencial	1.667,50	316,62	0,00	1.984,12
Comercial/Serviços	1.249,23	345,65	0,37	1.595,26
Público	425,81	124,11	0,03	549,96
Agropecuário	0,52	0,14	0,00	0,66
Transporte	7.082,66	20,21	221,73	7.324,59
Rodoviário	5.336,33	0,00	219,43	5.555,76
Ferroviário	70,59	20,21	0,06	90,85
Aéreo	1.665,80	0,00	0,00	1.665,80
Hidroviário	9,94	0,00	2,24	12,18
Indústria	2.526,33	139,59	0,41	2.666,32
Extração e tratamento de minerais	2,05	0,00	0,04	2,08
Minerais não metálicos	21,05	0,00	0,02	21,07
Metalúrgico	1.457,73	0,00	0,02	1.457,75
Papel e celulose	0,02	0,00	0,00	0,02
Química	123,06	0,00	0,01	123,06
Têxtil	0,78	0,00	0,01	0,78
Produtos alimentícios	4,33	0,00	0,03	4,36
Bebidas	67,41	0,00	0,01	67,42
Outras indústrias	22,20	0,00	0,28	22,48
Sem especificação/não identificadas	827,70	139,59	0,00	967,29
Emissões fugitivas	1.042,54	0,00	805,62	1.848,16
Emissões fugitivas Refino	41,00	0,00	0,00	41,00
Emissões fugitivas Siderurgia	921,41	0,00	805,62	1.727,03
Emissões fugitivas Distribuição de gás natural	80,12	0,00	0,00	80,12
Total	16.539,57	1.297,42	1.028,16	18.865,15
Bunkers	1.626,10	0,00	0,00	1.626,10
Total com Bunkers	18.165,67	1.297,42	1.028,16	20.491,25
CO₂ biogênico		602,25		

Fonte: Autores

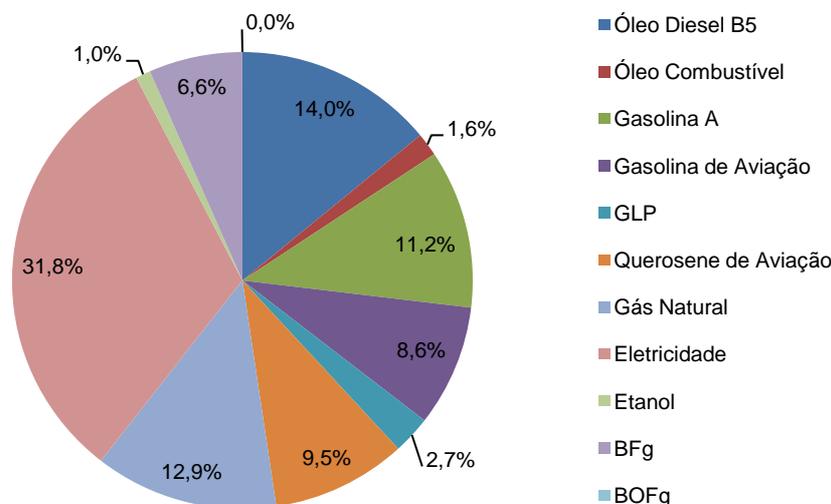
A Figura 17 ilustra a responsabilidade dos setores no montante final de emissões de GEE devidas ao uso de energia. Excluindo as emissões da geração de eletricidade no setor Energético, totalizando todos os escopos e incluindo as emissões de *bunkers* na comparação, o setor mais emissor é o de transporte, correspondendo a 35,7% das emissões totais, seguido do consumo do setor energético com 14,1% das emissões totais. Em contrapartida, os setores com menor participação nas emissões são agropecuário com menos de 0,1% e o público, 2,7%. As emissões fugitivas, com 9,0%, somam as emissões fugitivas do refino, da utilização e da mineração do carvão mineral e da distribuição do gás natural.



Fonte: Autores.

Figura 17 – Percentual de Emissões de GEE devidas ao uso de energia por Setores (2012)

No que se refere às emissões pela ótica dos energéticos, o uso de eletricidade tem a maior participação, com 31,8%, seguida do uso do óleo diesel, com 14,0% e do gás natural, com 12,9% (Figura 18).



Fonte: Autores

Figura 18 – Participação dos energéticos nas emissões totais do Município em 2012 (%).

2.3.4. Análise Comparativa entre os Inventários de 2005 e 2012

Em relação ao ano de 2005, as emissões pela abordagem *bottom-up* aumentaram em 120,8% no ano de 2012, passando de aproximadamente 8.544,67 GgCO₂e para 18.865,15 GgCO₂e.

Vale mencionar a entrada de uma nova atividade econômica no setor de energia do Município, que é a produção de coque de carvão mineral, embora esta contribua apenas com 5,8% para as emissões totais do setor²². Essa nova atividade também gera emissões fugitivas da exploração do carvão, que, apesar de não ocorrerem no município do Rio de Janeiro, foram contabilizadas como escopo 3 por acarretarem em função de uma demanda do Município. Além disso, essa nova atividade contribui com mudanças no fator de emissão da eletricidade e impactando no aumento de todas as emissões relacionadas ao uso da energia elétrica. O fator de emissão relacionado ao consumo de eletricidade gerada dentro do município foi o principal fator responsável pelo aumento nas emissões em 2012 em relação a 2005 – além do crescimento natural do Município e de suas atividades econômicas. Este

²² Não considerando *Bunkers*.

aumento se deu de 0,51 GgCO₂e/mil tep, em 2005, para quase 14,01 GgCO₂e/mil tep, em 2012, parte em função da produção de coque, já mencionada, e parte em função de novos tipos de energéticos sendo utilizados por autoprodutores que não existiam no Município em 2012. Neste sentido é possível observar que todos os setores que consomem eletricidade tiveram incrementos de mais de 100% nas emissões, com destaque para os setores comercial (399,8%), público e agropecuário (161,1%) e residencial (149,4%). Apenas o setor industrial fugiu à regra: apesar de um aumento significativo nas emissões oriundas do uso de eletricidade, as emissões consequentes do uso dos outros combustíveis reduziram, resultando num incremento de pouco mais de 88,2% nas emissões totais do setor. No setor de transportes, apenas o transporte ferroviário, que consome eletricidade, teve um aumento mais significativo nas emissões que os demais modais, sendo que o aumento total deste setor ficou em torno de 34%.

As emissões fugitivas também tiveram um aumento expressivo (1.329,2%), sobretudo com as emissões geradas com o uso do carvão mineral. Foi possível verificar também um aumento das emissões de *bunkers* (206,2%), passando de 531,10 GgCO₂e para 1.626,10 GgCO₂e, explicado pelo aumento dos voos nos dois aeroportos presentes no município do Rio de Janeiro, de pouco mais de 91%, entre 2005 e 2012, segundo dados da INFRAERO²³.

A Tabela 39 mostra a comparação entre os resultados de 2005 e 2012 no Município do Rio de Janeiro, para cada setor, e a variação nas emissões entre estes anos, detalhando o aumento das emissões no período. Alguns resultados de 2005 foram revistos e recalculados em função de mudanças metodológicas ou obtenção de dados de maior qualidade. No caso das perdas, que não foram calculadas em 2005, obteve-se os dados daquele ano para estimar as emissões. Para o caso das emissões fugitivas sobre o gás natural foi obtida uma série histórica que continha dados atualizados de 2005, por isso a estimativa de emissões foi revisada. No caso do refino, em 2005, inicialmente foi usado o fator médio de emissão das refinarias da PETROBRAS, do ano de 2003. No presente inventário, por falta de dados específicos da refinaria, optou-se por utilizar o fator médio nacional a partir dos valores do último inventário nacional (fator médio de 1990-2008). Além de mais atualizado, este fator

²³ <http://www.infraero.gov.br/index.php/br/estatistica-dos-aeroportos.html> (acessado em setembro de 2013).

considera as novas refinarias existentes e as novas rotas tecnológicas empregadas nos últimos anos. Por ser menor que o fator de emissão utilizado no inventário anterior, este fator foi utilizado para revisar 2005 e comparar com 2012, usando a mesma metodologia.

Tabela 39 – Evolução das emissões por setor em GgCO₂e – 2005 e 2012 – todos os escopos

Setor	2005 original	2005 revisado	2012	Varição 2005/2012 (%)
Produção de coque*			1.085,20	
Refino			268,35	
Outros consumos			47,16	
Perdas na distribuição		195,05	1.495,37	666,7%
Residencial	795,60	795,60	1.984,12	149,4%
Comercial/serviços	319,20	319,20	1.595,26	399,8%
Público e outros (agropecuário)	210,90	210,90	550,62	161,1%
Transporte	5.478,20	5.478,20	7.324,59	33,7%
Indústria	1.416,40	1.416,40	2.666,32	88,2%
Emissões fugitivas – total	128,60	129,32	1.848,16	1329,2%
Emissões fugitivas Siderurgia*		-	1.727,03	
Emissões fugitivas Distribuição de GN	53,60	103,82	80,12	-22,8%
Emissões fugitivas Refino	75,00	25,50	41,00	60,8%
Total	8.348,90	8.544,67	18.865,15	120,8%
<i>Bunkers</i>	531,10	531,10	1.626,10	206,2%

*Não existia atividade siderurgica integrada no município do Rio de Janeiro em 2005.

Fonte: Autores

3. Processos Industriais e Uso de Produtos (Industrial Processes and Product Use – IPPU)

Gases de efeito estufa podem ser produzidos a partir de uma ampla variedade de atividades industriais. As principais fontes de emissão são decorrentes de processos industriais que, química ou fisicamente, transformam materiais. Por exemplo, o alto-forno na indústria de ferro e aço, plantas de produção de amônia e outros produtos químicos fabricados a partir de combustíveis fósseis utilizados como matéria-prima química, e a indústria de cimento são exemplos notáveis de processos industriais que liberam uma quantidade significativa de CO₂. Durante estes processos, muitos gases diferentes, incluindo o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), os hidrofluorcarbonetos (HFC) e perfluorcarbonetos (PFC), podem ser produzidos.

Nesta seção, são apresentadas estimativas relativas às emissões de gases de efeito estufa originadas de processos industriais e uso de produtos, conforme consideradas pelo IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, volume 3 (IPCC, 2006). A sequência de representação dos subsetores obedeceu a apresentação do Guia indicado, por questão meramente metodológica.

3.1. Caracterização do Setor no Município

Dentre as tipologias industriais mencionadas no guia IPCC-2006, para o Município do Rio de Janeiro foram identificadas as seguintes:

- Indústria de vidro: conforme dados da FIRJAN e ABIVIDRO, estão instaladas no Município duas indústrias produtoras de vidro.
- Produção de metanol: conforme dados da FIRJAN e ABIQUIM, há uma indústria produtora no Município.
- Indústria siderúrgica: conforme dados da FIRJAN e INSTITUTO AÇO BRASIL, há duas indústrias siderúrgicas em operação no Município em 2012, sendo uma delas com processo integrado – ou seja, a unidade produz ferro gusa e aço, além de coque metalúrgico. Esta usina integrada iniciou sua produção em 2010, com carga reduzida, tendo em

2011 atingido valores operacionais efetivos (ainda abaixo da máxima capacidade).

- Lubrificantes – graxas e óleos – são utilizados em praticamente todos os setores da economia carioca, desde veículos particulares de passeio a maquinário industrial. As emissões de seu uso são decorrentes de sua oxidação, ao longo da vida operacional.
- Parafinas, especialmente na a forma de ceras, são utilizadas em diferentes produtos, especialmente como combustíveis em velas.
- O óxido nitroso (N_2O) é um gás de efeito estufa direto. De acordo com o IPCC, seu uso inclui: finalidades médicas (anestésico, analgésico e veterinário); propelente em aerossóis, na indústria de alimentos; agente oxidante e cáustico, na fabricação de semicondutores; agente oxidante utilizado com acetileno em espectrometria atômica por absorção; produção de azida sódica (NaN_3); oxidante de combustíveis em corridas de automóveis e maçaricos de uso específico. No caso do Município do Rio, as aplicações médicas e como propelente em aerossóis são as maiores fontes emissoras.

Alguns processos industriais que resultam em emissões de gases de efeito estufa, incluídos em inventários anteriores, não o foram no presente estudo. É o caso da produção de de cal, como será descrito mais adiante.

O Município conta com uma planta para produção de alumínio primário, cujas emissões em 2005 foram inventariadas em 150,4 GgCO₂. Segundo informações disponíveis no sítio da ABAL – Associação Brasileira do Alumínio, a unidade interrompeu suas operações em 2009, não sendo então consideradas emissões para 2012.

As emissões associadas à produção de cal ocorrem na etapa de calcinação do calcário, quando ocorre a liberação de CO₂. O Município conta com uma unidade industrial, responsável pela produção de cal hidratada. Durante o levantamento de dados para elaboração deste Inventário, a indústria foi arguida sobre o processo de calcinação, sendo respondido que o mesmo ocorre em outra unidade do grupo industrial, localizada em outra cidade. Por este motivo, o presente Inventário não considera emissões associadas à produção de cal.

Em seguida passamos à análise das emissões de GEE decorrentes das atividades consideradas para o Município do Rio de Janeiro no ano de 2012, de acordo com cada tipologia mencionada.

3.2. Produção de Vidro

3.2.1. Abordagem Metodológica

3.2.1.1. Fontes de Dados

Há diferentes processos de fabricação de vidro. Normalmente, há liberação de CO₂ na etapa de fundição, decorrente da transformação de carbonatos (com calcário, dolomita ou barrilha).

A contabilização das emissões de processos de fabricação de vidro leva em conta a fração de produtos reciclados (recuperados internamente ou obtidos junto ao mercado) incorporados à produção, pela redução da necessidade de utilização de carbonatos nesta etapa de fundição.

Foram encaminhados ofícios às indústrias identificadas no Município, com solicitação de dados detalhados para elaboração do Inventário. Apenas uma das indústrias respondeu à solicitação da Prefeitura.

Serão utilizados dados estimados de produção, conforme apresentado em item subsequente.

3.2.1.2. Cálculo das Emissões

O IPCC apresenta três critérios para estimativa das emissões de CO₂ (único GEE considerado para esta categoria) na fabricação de vidro:

- *Tier 3*: considera tipo e quantidade de carbonatos consumidos na produção de vidro, com aplicação e fatores de emissão correspondentes.
- *Tier 2*: considera a produção de vidro, por tipo, inclusive aproveitamento (reciclagem).
- *Tier 1*: considera a produção total de vidro, com fração de aproveitamento (reciclagem).

Como apenas uma indústria respondeu à solicitação encaminhada pela SMAC, as emissões serão estimadas com aplicação dos critérios indicados para o *tier 1* para

a fábrica não respondente e *tier 3* para a fábrica que encaminhou resposta, sendo alguns dos parâmetros considerados na análise no *tier 1*.

A fórmula utilizada para estimativa das emissões da fábrica não respondente é a seguinte:

$$ECO_2 = MV \times FE \times (1 - RE)$$

Equação 12

Onde:

- ECO_2 : emissões de CO_2 da produção de vidro
- MV: produção de vidro, em toneladas
- FE: fator de emissão para produção de vidro
- RE: parcela de aproveitamento (reciclagem)

O fator de emissão padronizado pelo IPCC é de 0,2 t CO_2 por tonelada de vidro produzida, não se considerando o aproveitamento (reciclagem).

Para o *tier 3*, a fórmula utilizada para estimativa de emissões é a seguinte:

$$ECO_2 = \sum (MC \times FE \times F)$$

Equação 13

Onde:

- ECO_2 : emissões de CO_2 da produção de vidro
- FE: fator de emissão para cada carbonato utilizado
- F: fração de calcinação, para cada carbonato

O cálculo considera o somatório de todos os tipos de carbonatos utilizados no processo industrial. Quanto ao fator de calcinação, caso desconhecido, o IPCC indica considerá-lo igual a 1,0.

3.2.2. Resultados e Discussão

3.2.2.1. Emissões e Remoções Antrópicas de GEE do Ano de 2012

A produção total de vidro para o Município, em 2012, foi estimada com base na produção informada por uma das indústrias, que será admitida como metade da produção municipal. O fator de reciclagem considerado será o informado pela indústria respondente, igual a 0,246.

O valor estimado da produção municipal total, então, é de 51,6 mil toneladas. Aplicando-se a fórmula para o *tier* 1, estimam-se as emissões para a indústria não respondente:

$$ECO_2 = MV \times FE \times (1 - RE)$$
$$ECO_2 = 25,8 \text{ mil t} \times 0,2 \times (1 - 0,246) = 3,89 \text{ GgCO}_2$$

Aplicando-se a fórmula para o *tier* 3, com dados fornecidos pela indústria respondente:

$$ECO_2 (\text{calcita}) = 237 \text{ t} \times 0,43971 \text{ tCO}_2/\text{t} \times 1,0 = 104,2 \text{ tCO}_2$$
$$ECO_2 (\text{barrilha}) = 636 \text{ t} \times 0,41492 \text{ tCO}_2/\text{t} \times 1,0 = 263,9 \text{ tCO}_2$$
$$ECO_2 (\text{carbonato de bário}) = 171 \text{ t} \times 0,52197 \text{ tCO}_2/\text{t} \times 1,0 = 89,3 \text{ tCO}_2$$
$$ECO_2 = 457,4 \text{ tCO}_2$$

Não foi localizado fator de emissão específico para o carbonato de bário. Na conta anterior, foi considerado o fator correspondente ao carbonato de magnésio, elemento da mesma família do bário.

A emissão total associada à produção de vidro é a soma das emissões estimadas para cada indústria, igual a **4,35 GgCO₂**.

A alocação das emissões, conforme critérios do GPC 2012 BASIC +, é a seguinte:

- Escopo: 1
- GHG Emissions Sources: Direct Emissions from Industrial Processes
- Accounting Approach: In-boundary Production
- Notation Keys: não assinalado
- Gases: 4,35 Gg CO₂ / 4,35 Gg CO₂e
- Data Quality: L

A qualidade dos dados é considerada baixa, pois o cálculo utilizou fatores de emissão padronizados e dados de atividade estimados.

O aprimoramento da estimativa das emissões depende de resposta completa da segunda indústria produtora, localizada no Município.

3.2.2.2. Análise Comparativa com os Inventários Anteriores

As emissões da produção de vidro foram estimadas, em 2005, como iguais a 13,87 GgCO₂. Pode ser visto que a estimativa para 2012 é bastante inferior, ou aproximadamente 30% do valor estimado para 2005. A divergência destes valores pode ser explicada por diferença metodológica: em 2012, foi possível calcular as emissões de uma das duas indústrias com dados detalhados (*tier 3*), resultando em emissões equivalentes a 11,7% do valor estimado para outra indústria com igual produção, mas com emissões estimadas (*tier 1*). Não foi possível o recálculo das emissões de 2005, pois não foram obtidos os dados de atividade para aquele ano.

3.3. Produção de Metanol

3.3.1. Abordagem Metodológica

3.3.1.1. Fontes de Dados

A produção de metanol é realizada, normalmente, a partir da reforma de gás natural, com produção de “gás de síntese” – dióxido de carbono (considerado neste inventário), monóxido de carbono e hidrogênio.

O processo também é emissor de metano, decorrente de vazamentos em equipamentos e tubulações, além da liberação (“ventagem”) resultante de combustão incompleta.

Foi encaminhado ofício à indústria identificada no Município, com solicitação de dados para elaboração do inventário. A indústria respondeu integralmente à solicitação, cabendo destacar que não foi considerada nesta solicitação dados de monitoramento de fugas de metano na planta, como a seguir descrito.

3.3.1.2. Cálculo das Emissões

O IPCC apresenta três critérios distintos para estimativa das emissões de CO₂ na fabricação de metanol:

- *Tier 3*: considera fatores de emissões individualizados por planta.
- *Tier 2*: considera o balanço de carbono, comparando conteúdo de matérias primas e produtos.
- *Tier 1*: adota fatores de emissão padronizados por cada produto e produção total.

Para o CH₄, são propostos dois níveis de estimativa pelo IPCC:

- *Tier 3*: considera dados obtidos por sistema de medição contínuo ou periódico.
- *Tier 1*: considera valores padronizados, em função da produção.

Tendo a empresa respondido integralmente à solicitação, as emissões de CO₂ puderam ser calculadas pelo *tier 3*. Para emissões de CH₄, no entanto, as emissões foram estimadas pelo *tier 1*.

A estimativa das emissões de CO₂ foi realizada com base no balanço de carbono contido na matéria-prima (gás natural) e produção. Para emissões de metano, a fórmula é apresentada abaixo:

$$ECH_4 = PM \times FE$$

Equação 14

Onde:

- ECH₄: emissões de CH₄ da produção de metanol
- PM: produção de metanol
- FE fator de emissão

O fator de emissão padrão do IPCC para a indústria é igual a 2,3 kgCH₄/t.

3.3.2. Resultados e Discussão

3.3.2.1. Emissões e Remoções Antrópicas de GEE do Ano de 2012

Para estimativa das emissões de CO₂, foram considerados o volume de matéria prima e de produção informados pela indústria. Será considerado, neste cálculo, que o gás natural é composto integralmente por CH₄.

- Matéria prima: 72.764.688 Nm³
- Densidade: 0,623
- Matéria prima: 45,33 GgCH₄
- Conteúdo C: 45,33 x 12/16 = 34,0 GgC
- Produto: 77,15 mil t
- Conteúdo C: 77,15 x 12/32 = 28,9 GgC

A diferença foi admitida como liberada sob a forma de CO₂, como resultado da etapa de reforma.

$$\text{Emissões C: } 34,0 - 28,9 = 5,1 \text{ GgC}$$

$$\text{Emissões CO}_2: 5,1 \times 44/12 = 18,6 \text{ GgCO}_2$$

As emissões de CH₄ podem ser estimadas com emprego da fórmula já apresentada:

$$ECH_4 = PM \times FE$$

$$ECH_4 = 77,15 \text{ mil t} \times 2,3 \text{ kgCH}_4/\text{t} = 177,5 \text{ kgCH}_4$$

A alocação das emissões, conforme critérios do GPC 2012 BASIC+, é a seguinte:

- Escopo: 1
- GHG Emissions Sources: Direct Emissions from Industrial Processes
- Accounting Approach: In-boundary Production
- Notation Keys: não assinalado
- Gases: 18,58 Gg CO₂ / 0,18 Gg CH₄ / 22,31 Gg CO₂e
- Data Quality: H

A qualidade dos dados é considerada alta, pois o cálculo teve por base um balanço de massa (carbono). A estimativa das emissões de metano, embora menos precisa, tem baixo impacto nos resultados finais.

3.3.2.2. Análise Comparativa com os Inventários Anteriores

As emissões estimadas em 2005 foram de 98,15 Gg CO₂e. Não foi possível assegurar os fatores que levaram a tão grande redução, mas supõe-se que esta tenha

ocorrido pela possibilidade das emissões de CO₂ de 2012 terem sido determinadas com maior precisão. Os critérios de estimativa do IPCC para *tier 1* são extremamente conservadoras.

3.4. Produção de Aço

3.4.1. Abordagem Metodológica

3.4.1.1. Fontes de Dados

O processo siderúrgico é emissor em diferentes etapas do processo produtivo, desde a conversão primária do minério até a fase final de refino, em que o aço – propriamente – adquire propriedades finais.

Por questões metodológicas, o IPCC aborda as emissões de gases de efeito estufa nas seguintes etapas:

- Produção de coque metalúrgico
- Produção de sinter
- Produção de ferro gusa
- Produção de aço

As emissões relativas à produção de coque, mesmo em siderúrgicas integradas, devem ser contabilizadas no setor energético. O mesmo procedimento deve ser realizado para geração de eletricidade, quando realizada em unidade siderúrgica.

Foram encaminhados ofícios às duas indústrias identificadas no Município, com solicitação de dados detalhados para elaboração do inventário. Uma das empresas respondeu integralmente às perguntas, enquanto a segunda empresa optou por encaminhar relatório do inventário de emissões relativo à unidade, com devida validação por entidade independente.

Por estes motivos, serão utilizados neste inventário critérios diferenciados: para estimativa das emissões associadas à produção de aço, sendo possível apresentar memória dos cálculos para apenas uma das empresas, enquanto valores finais consolidados são apresentados para a segunda.

Neste inventário, todas as emissões serão consideradas como relacionadas à fase de produção de aço, exceto a geração de eletricidade e produção de coque, como já mencionado.

3.4.1.2. Cálculo das Emissões

Para a produção de coque metalúrgico, o IPCC apresenta os seguintes critérios para estimativa das emissões:

- *Tier 3*: considera dados específicos das plantas, incluindo medições de CO₂ e CH₄.
- *Tier 2*: considera estatísticas das entradas e saídas (balanço) de plantas.
- *Tier 1*: considera a produção de coque.

As emissões relacionadas à produção de coque foram apresentadas pela única empresa que realiza esta atividade no Município e foram elaboradas segundo o *tier 3*. Cabe destacar que o processo é do tipo *heat-recovery*, operando a unidade em pressão negativa e capturando (não emitindo) ar externo quando da abertura de portas de fornos para carga ou descarga.

A metodologia do IPCC para cálculo das emissões originadas da produção de sínter utiliza critérios e fórmulas semelhantes (substituindo-se a produção de coque pela de sínter). Da mesma forma, a empresa apresentou inventário validado, desenvolvido utilizando o *tier 3*.

Para produção de aço, os critérios são semelhantes, sendo considerada no *tier 1* a produção de aço segundo o processo. Incluída a produção de gusa, a fórmula apresentada pelo IPCC para este *tier* é a seguinte:

$$ECO_2 = BOF \times FE_{BOF} + EAF \times FE_{EAF}$$

Equação 15

Onde:

- ECO₂: emissões de CO₂ da produção de ferro gusa e aço
- BOF: quantidade de aço produzida pelo processo BOF (Basic Oxygen Furnace)
- FE_{BOF}: fator de emissão de CO₂ para o processo BOF
- EAF: quantidade de aço produzida pelo processo EAF (Electric Arc Furnace)
- FE_{EAF}: fator de emissão de CO₂ para o processo EAF

Os fatores de emissão padronizados pelo IPCC são os seguintes:

- $FE_{BOF} = 1,46 \text{ tCO}_2/\text{t}$
- $FE_{EAF} = 0,08 \text{ tCO}_2/\text{t}$

3.4.2. Resultados e Discussão

3.4.2.1. Emissões e Remoções Antrópicas de GEE do Ano de 2012

Para cálculo das emissões foram consideradas separadamente as fases do processo produtivo e os cálculos para cada usina, tendo em vista a forma como foram atendidas as solicitações de fornecimento de dados, anteriormente indicadas.

As emissões para produção de coque ocorrem em apenas uma das fábricas, e devem ser computadas no setor energético – pois se referem à produção de um insumo energético e não ao processo produtivo final, propriamente. Serão considerados os valores informados pela indústria, validados por entidade independente:

$$ECO_2 (\textit{produção de coque}) = 1.073,28 \text{ Gg CO}_2$$

As emissões associadas à produção de sínter ocorrem apenas na usina integrada, e são igualmente indicadas em seus valores finais, validados por entidade independente:

$$ECO_2 (\textit{produção de sínter}) = 1.071,31 \text{ Gg CO}_2$$

Analogamente, as emissões associadas à produção de ferro-gusa, ocorrida em altos-fornos, são abaixo indicadas em seus valores finais:

$$ECO_2 (\textit{produção de gusa}) = 879,91 \text{ Gg CO}_2$$

As emissões associadas à produção de aço serão calculadas separadamente, para cada indústria. Para a usina não integrada, foram informados os consumos dos insumos utilizados na produção. As emissões associadas a processos industriais, relatadas nesta seção, consideraram:

- Consumo de cal, dolomita e coque;
- Consumo de eletrodos e sucatas.

Além disso, as emissões associadas ao uso de gás natural e eletricidade informados pela indústria serão computados como de atividade energética e não como processos industriais.

Foram utilizados valores padronizados pelo IPCC para os fatores de emissão de cada componente considerado, resultando em **25,9 GgCO₂**.

Para a usina integrada, repetindo critérios apresentados nas outras etapas de produção, é considerado o valor reportado pela própria indústria e validado por entidade independente. Este valor foi igual a **300,5 GgCO₂**.

As emissões totais para o setor siderúrgico no Município do Rio de Janeiro, relativas a 2012, são, então, sumarizadas abaixo.

Produção de síter: 1.071,31 GgCO₂

Produção de gusa: 879,91 GgCO₂

Produção de aço: 326,37 GgCO₂

Total: 2.277,60 GgCO₂

A alocação das emissões, conforme critérios do GPC 2012 BASIC+, é a seguinte:

- Escopo: 1
- GHG Emissions Sources: Direct Emissions from Industrial Processes
- Accounting Approach: In-boundary Production
- Notation Keys: não assinalado
- Gases: 2.277,60 GgCO₂ / 2.277,60 GgCO₂e
- Data Quality: H

A qualidade dos dados é considerada alta, pois teve por base dados detalhados do uso de insumos e resultados validados por entidade independente.

3.4.2.2. Análise Comparativa com os Inventários Anteriores

O inventário elaborado para o ano base de 2005 apresenta emissões para o setor, originadas de processos industriais, que totalizam 130,6 GgCO₂. A descrição metodológica contida no relatório indica utilização de *tier* 1 para sua estimativa e, àquela data, apenas a usina não integrada encontrava-se em operação.

Considerada apenas esta fábrica, o valor estimado para 2012 – realizado com dados precisos de uso de insumos na aciaria – é bastante inferior (25,9 GgCO₂), confirmando a premissa de que a utilização de dados mais detalhados pode resultar em valores substancialmente diferentes, no caso para menor.

As emissões totais, considerando todo o parque siderúrgico, tiveram uma elevação superior a 17 vezes, por conta do início da operação de usina integrada. A análise dos resultados setoriais deve considerar esta radical modificação no setor, não cabendo comparações diretas entre resultados de 2005 e 2012.

3.5. Uso de Lubrificantes

3.5.1. Abordagem Metodológica

3.5.1.1. Fontes de Dados

Os dados utilizados para composição do inventário foram fornecidos pela ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, e são relativos às vendas no Município. Os dados são desagregados em apenas duas categorias: óleos lubrificantes e graxas.

No presente inventário, será considerado que o volume vendido no Município corresponde ao de fato utilizado.

3.5.1.2. Cálculo das Emissões

Para estimativa de emissões originadas do uso de lubrificantes, o IPCC apresenta dois possíveis níveis de detalhamento:

- *Tier 2*: Considera o uso de lubrificantes, por tipo, e fatores de oxidação para cada tipo.
- *Tier 1*: Considera fator de oxidação único e consumo total de lubrificantes.

Será utilizado o *tier 1*, tendo em vista a disponibilidade de dados agregados em uma única categoria de lubrificantes. Valores mais precisos seriam obtidos se fossem disponíveis dados mais detalhados dos lubrificantes – por exemplo, a distinção entre graxas e óleos.

A fórmula para cálculo das emissões de CO₂, único GEE mensurado, é a seguinte:

$$ECO_2 = \sum (CL \times CC \times FO) \times 44/12$$

Equação 16

Onde:

- ECO_2 : emissões de CO_2 do uso de lubrificantes
- CL: consumo de tipo de lubrificante (em base energética)
- CC: conteúdo de carbono por tipo de lubrificante
- FO: fator de oxidação por tipo de lubrificante
- 44/12: relação mássica CO_2 / C

Para a conversão de base mássica/volumétrica para energética utilizou-se valores indicados no Balanço Energético do Estado, para a categoria “outros produtos não energéticos do petróleo”:

- Densidade: 873 kg/m^3
- Conversão para tep médio: $0,890 \text{ tep/m}^3$ ($37,3 \text{ GJ/m}^3$)

O conteúdo médio de carbono, segundo o IPCC, é de 20 kg por GJ de produto lubrificante.

Valores padronizados para os fatores de oxidação a serem utilizados também são apresentados pelo IPCC, conforme a categoria do lubrificante:

- Óleos: 0,2
- Graxas: 0,05

3.5.2. Resultados e Discussão

3.5.2.1. Emissões e Remoções Antrópicas de GEE do Ano de 2012

Para estimativa das emissões, são aplicadas fórmulas e fatores apresentados anteriormente.

$$ECO_2 = CL \times CC \times FO \times 44/12$$

Equação 17

Considerando os valores de vendas da ANP para óleos lubrificantes:

$$ECO_2 = 52.752,423 \text{ m}^3 \times 37,3 \text{ GJ/m}^3 \times 20 \text{ kg C/GJ} \times 0,2 \times 44/12 = 28,83 \text{ GgCO}_2$$

Considerando os valores de vendas da ANP para graxas:

$$ECO_2 = 1.541.295 \text{ kg} / 873 \text{ kg/m}^3 \times 37,3 \text{ GJ/m}^3 \times 20 \text{ kg C/GJ} \times 0,05 \times 44/12 = 0,24 \text{ GgCO}_2$$

As emissões totais do uso de lubrificantes e graxas, portanto, totalizam **29,07 GgCO₂** em 2012.

A alocação das emissões, conforme critérios do GPC 2012 BASIC +, é a seguinte:

- Escopo: 1
- GHG Emissions Sources: Direct Emissions from Product Use
- Accounting Approach: In-boundary Production
- Notation Keys: não assinalado
- Gases: 29,07 Gg CO₂ / 29,07 Gg CO₂e
- Data Quality: L

A qualidade dos dados é considerada baixa, pois foram utilizados fatores de emissão internacionais e dados gerais de atividade.

3.5.2.2. Análise Comparativa com os Inventários Anteriores

O inventário anterior indica, para 2005, emissões da ordem de 16,7 GgCO₂ para o uso de lubrificantes e graxas. É verificado, portanto, um crescimento de 63% nas emissões associadas ao uso destes produtos. O crescimento é justificado por crescimento proporcional no consumo de lubrificantes, indicado pela ANP.

3.6. Uso de parafinas

3.6.1. Abordagem metodológica

3.6.1.1. Fontes de dados

Os dados utilizados para estimar as emissões do uso de parafina foram fornecidos pela ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, sendo considerada uma única categoria de produtos.

Será considerado que o valor vendido no Município corresponde ao consumido no mesmo período.

3.6.1.2. Cálculo das Emissões

Para estimativa de emissões originadas do uso de ceras parafínicas, o IPCC apresenta dois possíveis níveis de detalhamento:

- *Tier 2*: Considera os diferentes usos de ceras, por tipo, com fator de oxidação individualizado.
- *Tier 1*: Considera fator padronizado de oxidação e consumo total de ceras parafínicas.

Sendo disponível apenas o total, sem discriminação dos tipos de parafinas, será adotado o *tier 1* para estimativa das emissões associadas a seu uso.

A fórmula utilizada para estimativa das emissões do uso de parafinas é a seguinte:

$$ECO_2 = CP \times CC \times FO \times 44/12$$

Equação 18

Onde:

- ECO_2 : emissões de CO_2 do uso de parafinas
- CP: consumo de parafinas (em base energética)
- CC: conteúdo de carbono
- FO: fator de oxidação
- 44/12: relação mássica CO_2/C

Assim como realizado para cálculos de emissões do uso de lubrificantes, serão considerados valores apresentados no Balanço Energético do Estado para conversão de base mássica para energética, tendo como referência a categoria “outros produtos não energéticos do petróleo”:

- Densidade: 873 kg/m³
- Conversão para tep médio: 0,890 tep/m³ (37,3 GJ/m³)

O conteúdo médio de carbono, segundo o IPCC, é de 20 kg por GJ de produto, cabendo considerar 20% do consumo total como uso combustível, o que corresponderá ao fator de oxidação.

3.6.2. Resultados e Discussão

3.6.2.1. Emissões e Remoções Antrópicas de GEE do Ano de 2012

Para estimativa das emissões são aplicadas fórmulas e fatores apresentados anteriormente. Considerando valores da ANP:

$$ECO_2 = CP \times CC \times FO \times 44/12$$

$$ECO_2 = 228.986 \text{ kg} / 873 \text{ kg/m}^3 \times 37,3 \text{ GJ/m}^3 \times 20 \text{ kg C/GJ} \times 0,2 \times 44/12 = \mathbf{0,14 \text{ GgCO}_2}$$

A alocação das emissões, conforme critérios do GPC 2012 BASIC +, é a seguinte:

- Escopo: 1
- GHG Emissions Sources: Direct Emissions from Product Use
- Accounting Approach: In-boundary Production
- Notation Keys: não assinalado
- Gases: 0,14 Gg CO₂/ 0,14 Gg CO₂e
- Data Quality: L

A qualidade dos dados é considerada baixa, pois foram utilizados fatores de emissão internacionais e dados gerais de atividade.

3.6.2.2. Análise Comparativa com os Inventários Anteriores

Em 2005, foram estimadas emissões do uso de parafinas iguais a 0,07 GgCO₂. O valor apurado em 2012, portanto, foi o dobro do apurado naquele ano. As emissões calculadas refletiram, diretamente, a evolução nas vendas de parafina indicadas pela ANP para os anos considerados.

3.7. Uso de Óxido Nitroso

3.7.1. Abordagem Metodológica

3.7.1.1. Fontes de Dados

Os dados utilizados para elaboração do inventário foram obtidos junto a fornecedores de N₂O no Município. Inicialmente, buscou-se também obter dados junto aos principais consumidores, especialmente na área de saúde, mas este critério não se mostrou satisfatório pela dificuldade de determinação de um universo para coleta.

Foram encaminhados ofícios para os fornecedores identificados, e somente um dos cinco fornecedores não respondeu. Para o presente documento, será considerado que os respondentes representam o universo de fornecedores de óxido nitroso utilizado no Município.

3.7.1.2. Cálculo das Emissões

Para estimativa de emissões originadas do uso de óxido nitroso, o IPCC apresenta uma única fórmula:

$$EN_2O = \sum [0,5 \times Ai_{(t)} + 0,5 \times Ai_{(t-1)}] \times FEi$$

Equação 19

Onde:

- EN₂O: emissões de N₂O
- Ai_(t): quantidade total de N₂O fornecida no ano t, para aplicação i
- Ai_(t-1): quantidade total de N₂O fornecida no ano t-1, para aplicação i
- FEi: fator de emissão para aplicação i

Como nos usos médico e para produção de aerossóis – que serão considerados como únicas aplicações no Município – não há absorção do óxido (ou

seja, praticamente toda quantidade empregada é liberada para atmosfera), os fatores de emissão são iguais a 1.

3.7.2. Resultados e Discussão

3.7.2.1. Emissões e Remoções Antrópicas de GEE do Ano de 2012

As emissões de N₂O são consideradas iguais ao volume comercializado, tendo em vista consideração anterior sobre fator de emissão. Embora a fórmula apresentada pelo IPCC considere a média do ano inventariado e do ano anterior, pela limitação de dados será considerado o valor correspondente à comercialização informada em 2012. Assim, as emissões para 2012 são iguais a 209,2 t N₂O.

A alocação das emissões, conforme critérios do GPC 2012 BASIC +, é a seguinte:

- Escopo: 1
- GHG Emissions Sources: Direct Emissions from Product Use
- Accounting Approach: In-boundary Production
- Notation Keys: não assinalado
- Gases: 0,21 Gg N₂O / 64,86 Gg CO₂e
- Data Quality: M

A qualidade dos dados é considerada alta, pois foram utilizados dados precisos de atividade e o fator de emissão é invariável.

3.7.2.2. Análise Comparativa com os Inventários Anteriores

As emissões de N₂O não foram consideradas no inventário de 2005, impedindo comparação com aquele ano.

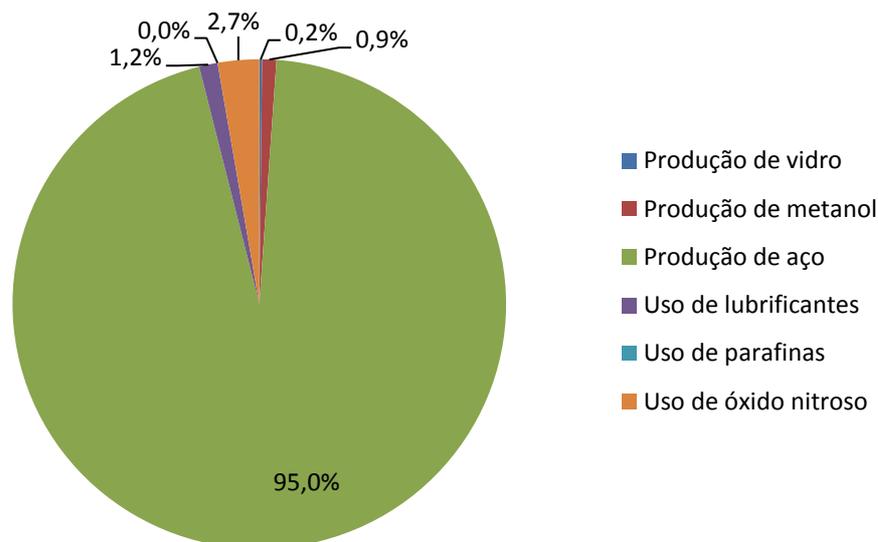
3.8. Resultados Consolidados

As emissões de GEE no setor de IPPU, para 2012, encontram-se resumidas na Tabela 40 e na Figura 19.

Tabela 40 – Resultados das Emissões de GEE do setor IPPU em 2012.

	Emissões			
	Gg CO ₂	Gg CH ₄	Gg N ₂ O	Gg CO ₂ e
Processos industriais	2.300,53	0,18	0,00	2.304,25
Produção de vidro	4,35	-	-	4,35
Produção de metanol	18,58	0,18	-	22,31
Produção de aço	2.277,60	-	-	2.277,60
Uso de produtos	29,21	-	0,21	94,08
Uso de lubrificantes	29,07	-	-	29,07
Uso de parafinas	0,14	-	-	0,14
Uso de óxido nitroso	-	-	0,21	64,86
Total	2.329,74	0,18	0,21	2.398,33

Fonte: Autores.



Fonte: Autores.

Figura 19 – Participação das tipologias industriais e de uso de produtos no total de emissões do setor de IPPU em 2012.

A consolidação dos resultados do setor de IPPU para o ano de 2012, comparado com os inventários anteriores encontra-se na Tabela 41 abaixo.

Tabela 41 – Resultados das Emissões de GEE do setor IPPU em 2012, comparado com 2005, em Gg CO₂.

	2005	2012
Processos industriais	393,02	2.300,55
Produção de vidro	13,87	4,35
Produção de metanol	98,15	22,31
Produção de aço	130,60	2.277,60
Produção de alumínio	150,40	-
Uso de produto	16,77	94,08
Uso de lubrificantes	16,70	29,07
Uso de parafina	0,07	0,14
Uso de óxido nitroso	-	64,86
Total	409,79	2.394,63

Fonte: Autores.

4. Agricultura, Floresta e outros Usos do Solo

(Agriculture, Forestry and Other Land Use – AFOLU)

4.1. Caracterização do Setor no Município

Segundo a Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMAC) o Município do Rio de Janeiro possui um dos maiores valores de cobertura vegetal nativa do país, representado por florestas presentes em encostas, baixadas e enseadas. Em relação ao tipo de vegetação, o território do Rio de Janeiro está integralmente situado no domínio da Mata Atlântica. A sua paisagem é marcada pela presença de elevações montanhosas cobertas de vegetação florestal, em diversos estados de conservação, muito próximos ou em contato direto com o arco de praias, e pelas baixadas, com suas lagunas, brejos alagadiços, mangues e restingas.

Em relação ao uso e cobertura do solo no Município do Rio, a SMAC desenvolveu um mapeamento com imagens de 2010, o qual divide o Município em três grandes classes de uso e ocupação do solo: Áreas de Vegetação de Mata Atlântica; Áreas Urbanas e Antropizadas; e Outras Classes (Figura 20). Na Tabela 42 são apresentados os resultados do mapeamento.

Tabela 42 – Classes de uso e cobertura do solo no Município de Rio de Janeiro em 2010.

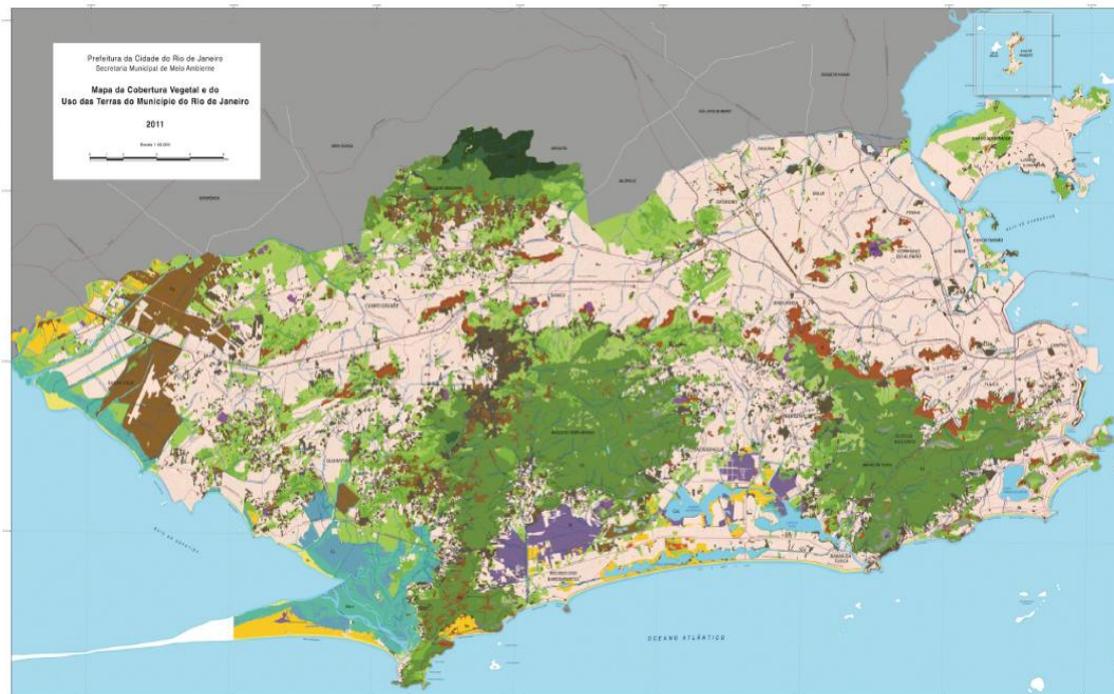
Superfície (ha)	
Áreas de Vegetação de Mata Atlântica	
Floresta Ombrófila Densa Montana	882
Floresta Ombrófila Densa Submontana	347
Vegetação Secundária – Estágio Inicial	3.096
Vegetação Secundária – Estágio Médio	6.117
Vegetação Secundária – Estágio Avançado	16.500
Restinga	1.959
Mangue	3.399
Apicum	1.323
Brejo	1.666

Superfície (ha)	
Áreas Urbanas e Antropizadas	
Área Urbana	53.117
Agricultura	5.249
Vegetação Arbóreo-arbustiva	8.662
Vegetação Gramíneo-lenhosa	13.593
Áreas de Extração Mineral	347
Solo Exposto	68
Outras classes	
Afloramento Rochoso	759
Corpo d'água continental	2.131
Praia	653
Reflorestamento	2.158

Fonte: adaptado de SMAC, 2011. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/web/smac/exibeconteudo?article-id=2367969>

Segundo os resultados, quase 30% da cobertura do Município ainda apresenta vegetação natural, sendo a classe Vegetação Secundária – Estágio Avançado a com maior área, 13,5% do município. As maiores concentrações de fragmentos de vegetação nativa encontram-se presentes na Zona Oeste. As dez principais áreas de Mata Atlântica do Município são: Florestas do Gericinó-Mendanha, Florestas da Tijuca, Florestas da Pedra Branca, Campos de Sernambetiba, Restinga da Marambaia, Parque Natural Municipal de Grumari, Parque Natural Municipal da Prainha, Reserva Biológica e Arqueológica de Guaratiba, Área de Proteção Ambiental das Brisas e Área de Proteção Ambiental das Tabebuias (SMAC, 2011).

As Áreas Urbanizadas e Antropizadas apresentam-se em 66% da superfície do Município, sendo a classe de Área Urbana a maior, com 44% do município, aproximadamente. Também tem destacada a cobertura da vegetação gramíneo-lenhosa, a qual engloba principalmente pasto, que cobre 11% da superfície do Município.



LEGENDA DAS CLASSES DE Mapeamento E VALORES DE ÁREA

VEGETAÇÃO DE MATA ATLÂNTICA			ÁREAS URBANAS E ANTROPORIZADAS		
Dm	Floresta Ombrófila Densa Montana	882 ha 0,7%	Au	Área Urbanizada	53.117 ha 43,5%
Ds	Floresta Ombrófila Densa Submontana	347 ha 0,3%	Aj	Agricultura	5.249 ha 4,3%
V1	Vegetação Secundária - Estágio Inicial	3.096 ha 2,5%	Va	Vegetação Arbóreo-arbustiva	8.662 ha 7,1%
V2	Vegetação Secundária - Estágio Médio	6.117 ha 5,0%	Vg	Vegetação Gramíneo-lenhosa	13.593 ha 11,1%
V3	Vegetação Secundária - Estágio Avançado	16.500 ha 13,5%	Aem	Áreas de Extração Mineral	347 ha 0,3%
Rc	Restinga	266 ha 0,2%	Se	Solo Exposto	68 ha 0,1%
Ma	Mangue	3.399 ha 2,8%	Total Parcial	81.037 ha 66,4%	
Cs	Campo Salino	1.323 ha 1,1%			
Br	Brejo	1.666 ha 1,4%			
Total Parcial	35.290 ha 28,9%				
			OUTRAS CLASSES		
			Ar	Afloramento Rochoso	759 ha 0,6%
			Cac	Corpo d'água continental	2.131 ha 1,7%
			Pr	Praia	653 ha 0,5%
			R	Reforestamento	2.158 ha 1,9%
			Total Parcial	5.805 ha 4,8%	
			Área total do Mapeamento	122.131 ha 100%	

Fonte: SMAC, 2011.

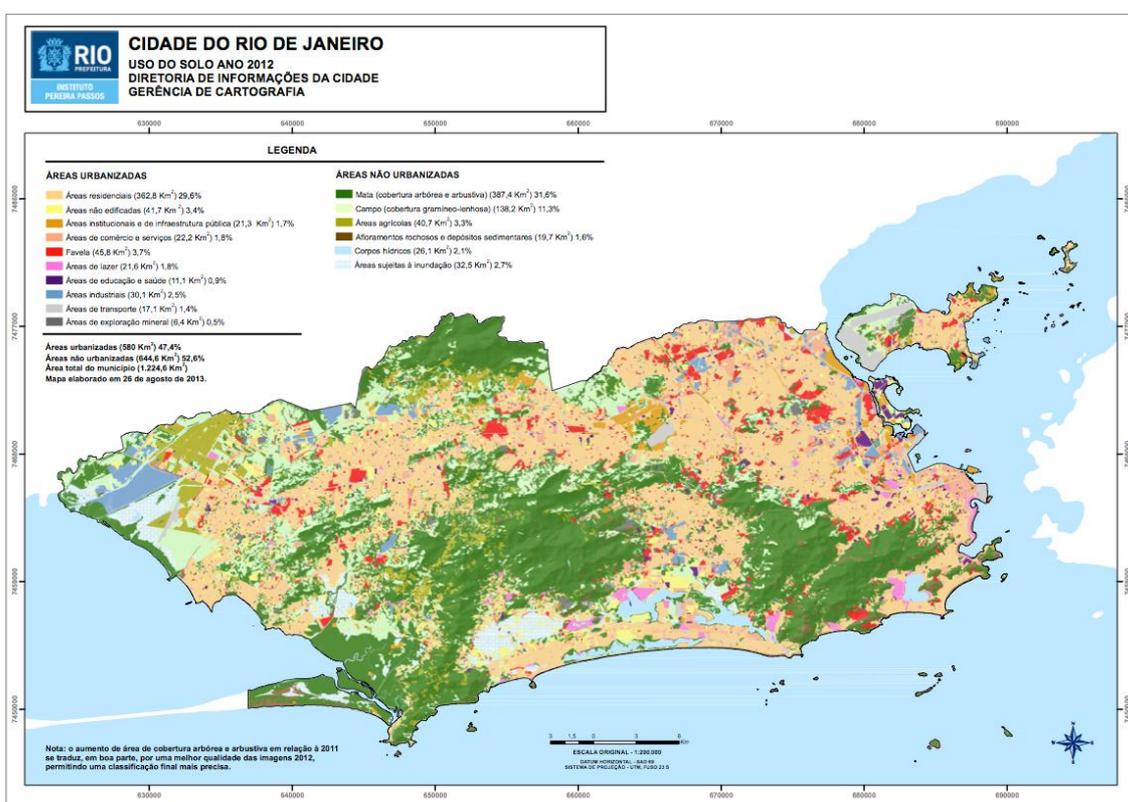
Figura 20 – Mapa do Uso e Cobertura do Solo do Município de Rio de Janeiro, em 2010.

Por sua parte, o Instituto Pereira Passos (IPP) também realiza mapeamentos, paralelamente à SMAC, mas classificando o uso e cobertura do solo do Município do Rio de Janeiro em outras categorias, diferentes do mapeamento da SMAC. Utilizando o mapeamento realizado com imagens de 2011 e novas imagens de 2012 (Figura 21), a equipe do IPP fez uma análise que dividiu o Município em duas grandes categorias: Áreas Urbanizadas e Áreas Não Urbanizadas.

As Áreas Urbanizadas estão subdivididas em 10 classificações, as quais somam 576,6 km², representando 47% da superfície municipal. Dentro desta

categoria, a classe “Áreas Residenciais” é a maior, possuindo 361,5 km² (30% da área municipal). Nesta categoria não há classes de uso que apresentam cobertura vegetal, seja natural, antropizada ou exótica.

As Áreas Não Urbanizadas apresentam uma superfície estimada de 648 km², representando 53% da área total do Município do Rio. Esta categoria se divide em 6 classes de uso e cobertura do solo. A mais representativa é a classe “Mata” (cobertura arbórea e arbustiva) com 385,5 km² e 32% da superfície do Município do Rio de Janeiro.



Fonte: IPP, 2012. Disponível em: <http://www.armazemdedados.rio.rj.gov.br/>

Figura 21 – Mapa do Uso e Cobertura do Solo do Município de Rio de Janeiro, em 2011.

Em relação às atividades agropecuárias do Rio de Janeiro, pode-se dizer que são pouco expressivas, encontrando-se concentradas, principalmente, na zona oeste do Município. Segundo dados da Secretaria Estadual de Agricultura, as áreas

agrícolas do Município do Rio de Janeiro somam, aproximadamente, 2.570 hectares²⁴, sendo na sua maioria culturas anuais. Em relação aos rebanhos, em 2011, o efetivo chegaria a 74,5 mil animais, sendo 57 mil aves (galinhas, frangos, codornas, etc.), 6,8 mil cabeças de gado e um rebanho suíno de 2,6 mil animais (IBGE, 2011b).

4.2. Metodologia

4.2.1. Fontes de Dados

Os principais gases de efeito estufa relacionados ao setor AFOLU são o dióxido de carbono (CO₂), o óxido nitroso (N₂O) e o metano (CH₄). Os fluxos de carbono entre a atmosfera e os ecossistemas são, primordialmente, controlados por absorção através da fotossíntese das plantas e emitidos pela respiração e deposição e combustão da matéria orgânica. O N₂O é, emitido principalmente pelos ecossistemas como um subproduto da nitrificação e da denitrificação, enquanto que o CH₄ é emitido pela metanogênese sob condições anaeróbicas em solos, pelo acondicionamento de estrume, pela fermentação entérica e durante a combustão incompleta quando há queima de matéria orgânica.

Neste setor, as emissões e remoções de GEE são definidas como aquelas que ocorrem em terras manejadas, ou seja, terras onde há intervenção humana com práticas que tenham função social, ecológica e de produção.

O inventário do setor AFOLU foi realizado com base na metodologia de elaboração de inventários de emissões de GEE do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2006), tendo sido, entretanto adaptada à realidade do Município do Rio de Janeiro e aos dados disponibilizados.

Os fluxos de gases de efeito estufa no setor de AFOLU são estimados de duas formas de acordo com IPCC (2006):

- Mudanças líquidas nos estoques de carbono (C) em determinado período (para a maior parte dos fluxos de CO₂); e

²⁴ Este valor difere do apresentado na Tabela 42 (dados de 2010), sendo similar ao valor obtido através do SIDRA do IBGE. Dessa forma, entende-se que os valores da tabela 42 são uma caracterização por geoprocessamento das áreas com atributos agrícolas, não necessariamente apresentando um cultivo no ano de 2012.

- Diretamente, como taxas de fluxos de gás para e da atmosfera (para estimar emissões de gases não-CO₂ e algumas emissões e remoções de CO₂).

Em termos gerais, as emissões e remoções de CO₂ para o setor de AFOLU se baseiam nas mudanças de estoques de C, que são estimadas para cada categoria de uso da terra. Estas categorias são as seguintes:

- **Floresta** (naturais e plantadas) – todas as áreas com vegetação lenhosa consistentes com a definição de áreas de floresta, estabelecida pelos inventários nacionais de GEE. Essas áreas são subdivididas em manejadas e não-manejadas e classificadas de acordo com as tipologias de ecossistema estabelecidas pelo guia IPCC-2006. Áreas que se encontrem abaixo do limite de vegetação de floresta no período analisado, mas que possuam expectativa de exceder este limite, podem ser classificadas como floresta.
- **Agricultura** – são terras aráveis e cultiváveis e sistemas agro-florestais, cuja vegetação esteja abaixo dos limites definidos para áreas de floresta.
- **Campos / Pastagens** (naturais e plantadas) – inclui áreas de campo e pastagens que não sejam consideradas áreas de agricultura. Nesta categoria estão também incluídas as áreas de vegetação abaixo do limite de floresta que não tenham expectativas de excedê-lo (sem intervenção humana).
- **Áreas alagadas** – esta categoria inclui áreas inundadas durante parte ou ao longo do ano, que não se classificam nas outras categorias relatadas acima. Essas áreas são subdivididas em manejadas e não-manejadas, de acordo com as definições nacionais.
- **Assentamentos** – esta categoria abarca áreas desenvolvidas, incluindo infraestrutura de transporte e assentamentos humanos de qualquer tamanho, a não ser que a área já tenha sido classificada em qualquer uma das categorias acima.
- **Outros** – incluem as áreas não classificadas acima e consistentes com as definições nacionais.

Cada uma destas categorias de uso do solo é subdividida em sub-categorias de:

- Área “permanente”, ou seja, cujo uso da terra não se alterou.
- Área “convertida”, onde houve a conversão de uma condição de uso para outra nova condição.

Sendo assim, pode-se ter como exemplo de subcategoria: “Floresta permanecendo floresta” ou, então, “Uso de Terras convertidas em Floresta”.

No caso da transferência para a atmosfera, são considerados também os gases não-CO₂, como o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O), os quais circulam entre atmosfera e ecossistemas como produto de processos microbiológicos e de combustão de matéria orgânica.

Em resumo, as fontes de emissão/remoção de GEE sugeridas pelo IPCC-2006 estão listadas na Tabela 43. Este quadro apresenta, também, os GEE que devem ser avaliados por categoria e sub-categoria de análise.

Tabela 43 – Fontes de Emissão / Remoção de GEE de AFOLU

Fontes de emissão/remoção de GEE	Categorias	Sub-categorias	Gases Avaliados
	Floresta	Floresta permanecendo floresta	CO ₂
		Uso da terra convertido em floresta	CO ₂
	Agricultura	Cultura permanecendo cultura	CO ₂
		Uso da Terra convertido em Cultura	CO ₂
Uso da Terra	Campos / Pastagem	Campo permanecendo campo	CO ₂
		Uso da Terra convertido em Campo	CO ₂
	Alagados	Área alagada permanecendo Alagada	CO ₂
		Uso da Terra convertido em área Alagada	CO ₂
	Assentamentos	Assentamento permanecendo Assentamento	CO ₂
		Uso da Terra convertido em Assentamento	CO ₂

Fontes de emissão/remoção de GEE	Categorias	Sub-categorias	Gases Avaliados
Pecuária	Fermentação entérica	-	CH ₄
	Manejo de dejetos	-	CH ₄ / N ₂ O
Fontes agregadas e fontes de gases não-CO₂	Queima de biomassa	-	CH ₄ / N ₂ O
	Uso de calcário	-	CO ₂
	Aplicação de uréia	-	CO ₂
	Emissões de N ₂ O por manejo de solos	-	N ₂ O
	Emissões de N ₂ O por uso de fertilizantes	-	N ₂ O
	Cultivo de arroz	-	CH ₄
Outros	Produtos madeireiros	-	CO ₂

Fonte: IPCC (2006)

Conforme mencionado, a metodologia adotada no presente inventário requereu algumas adaptações, tendo em vista a disponibilidade de dados que nem sempre é adequada ou suficiente à plena adoção da metodologia proposta pelo IPCC-2006 (Tabela 44).

Para a Mudança do Uso do Solo e Floresta, no caso do Município do Rio de Janeiro, foram utilizadas as categorias e classes de uso do solo presentes no mapeamento da SMAC. Isto por serem as mais adequadas, já que apresentam um nível mais detalhado da tipologia de vegetação que o especificado no guia IPCC-2006 e no mapeamento do IPP.

Especificamente para as categorias Reflorestamento e Assentamentos foram utilizadas as informações de áreas de recuperação florestal e número de árvores plantadas no Município (logradouros, praças, parques, etc.), denominada como arborização urbana, fornecidas pela Coordenadoria de Recuperação Ambiental (CRA) da SMAC e pela Fundação Parques e Jardins, respectivamente.

No caso das atividades agropecuárias, a origem das emissões de GEE são as mesmas que o IPCC determina. Somente o cultivo de arroz, a queima de biomassa e as emissões dos produtos madeireiros não foram quantificadas no presente trabalho de inventário, por não ocorrerem dentro dos limites do Município do Rio.

Tabela 44 – Fontes de Emissão/Remoção de GEE de AFOLU para o Município de Rio de Janeiro.

Fontes de emissão/ remoção de GEE	Categorias	Gases Avaliados
Uso da Terra	Vegetação Secundária em Estágio Avançado	CO ₂
	Vegetação Secundária em Estágio Médio	
	Vegetação Secundária em Estágio Inicial	
	Vegetação arbóreo-arbustiva (Campo)	
	Vegetação gramíneo-lenhosa (Pastagem)	
	Restinga (arbórea e arbustiva)	
	Manguezal	
	Agricultura	
	Brejos	
	Assentamentos	
Reflorestamento		
Pecuária	Fermentação entérica	CH ₄
	Manejo de dejetos	CH ₄ / N ₂ O
Fontes agregadas e fontes de gases não-CO ₂	Uso de calcário	CO ₂
	Aplicação de uréia	CO ₂
	Emissões de N ₂ O por manejo de solos	N ₂ O
	Emissões de N ₂ O por uso de fertilizantes	N ₂ O

Fonte: Autores.

Os dados utilizados para a parte de Mudança do Uso do Solo foram fornecidos pela SMAC através da Coordenadoria de Recuperação Ambiental (CRA), Coordenadoria de Monitoramento Ambiental (CMA) e Fundação Parques e Jardins

(FPJ), além dos dados obtidos pelas fontes do Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos – IPP, no seu armazém de dados, disponível em (<http://www.armazemdedados.rio.rj.gov.br/>) e sua equipe técnica. Estes órgãos provêm informações básicas necessárias ao conhecimento e monitoramento da realidade física, territorial, ambiental, econômica, demográfica e social do Município do Rio de Janeiro.

Sobre as atividades agropecuárias, as informações e dados foram obtidos da Secretaria Estadual de Agricultura (cultivos agrícolas em 2012) e da Pesquisa Pecuária Municipal, ano 2011, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2011b).

Em relação aos escopos, o GPC determina que as emissões de AFOLU são inteiramente diretas, isto é, sua totalidade é enquadrada como Escopo 1.

4.2.2. Abordagem Metodológica

Para a análise das mudanças de uso do solo, a abordagem foi definida de acordo com as informações disponíveis para o projeto. Foi utilizado o software ArcGis 10.1 para o processamento dos dados, recorrendo a informações oriundas das bases da SMAC (Mapeamento de Cobertura Vegetal e Uso das Terras – SMAC, 2011) e do Instituto Pereira Passos (Mapa de Uso do Solo – IPP, 2012).

A base da Secretaria, apesar de não ser de um ano envolvido diretamente nos cálculos deste inventário (2010), é mais rica na classificação das tipologias vegetais e, portanto, foi utilizada para identificação da cobertura vegetal de origem para cada caso de mudança de uso onde tal informação era relevante.

O método envolve uma sequência de operações automáticas. Inicialmente, a partir da sobreposição dos mapas de uso do solo de 2011 e de 2012 do IPP, optou-se por aplicar a função *intersect* para se detectar, por análise espacial, as mudanças de categoria de uso do solo, segundo a classificação do IPP. Como produto disso foi obtido uma nova base de polígonos correspondentes a tais variações, contendo em sua tabela de atributos informações sobre a área modificada, o uso de origem (2011) e o final (2012).

Em primeiro lugar, todas as áreas que apareciam como urbanizadas em 2011 e 2012 foram eliminadas da análise, já que não sofreram nenhuma perda ou ganho de biomassa. Em sequência, todas as áreas que em 2012 foram classificadas como urbanizadas e em 2011 apresentavam qualquer tipo de vegetação foram selecionadas e, sobrepondo-as ao mapa da SMAC, utilizou-se novamente a função *intersect*. Assim

foi possível verificar, de acordo a classificação da SMAC, as áreas que sofreram perda de 100% de sua biomassa. Depois disto, tais dados foram agregados em uma planilha, segundo sua tipologia inicial, e foi quantificada a área total perdida por cada classe.

Os polígonos restantes, cujas categorias de uso do solo em 2012 não foram ligadas a áreas urbanizadas, foram tratados separadamente. Neles foram considerados tanto os locais em que houve mudança de área urbanizada para vegetação, caracterizando ganho, como os que modificaram de um tipo de cobertura vegetal para outro, podendo indicar ganho ou perda parcial. Com a seleção de tais áreas e fazendo sua sobreposição com o mapa da SMAC, foi utilizada a mesma função aplicada anteriormente. Assim, de modo análogo, foram obtidas as variações no uso com sua origem, conforme a classificação da SMAC.

Para manter a objetividade do trabalho, foram utilizadas as funções do software para verificar a classe da SMAC que correspondia à maior parte do polígono de variação entre os mapas do de 2011 e 2012 do IPP, de modo a relacionar o polígono percentualmente à classe, aplicando tal procedimento a todas as áreas consideradas. Em seguida, agregou-se as informações segundo o tipo de mudança de uso do solo e obteve-se suas respectivas áreas totais. Dessa forma, ao final do processo global desta fase preliminar de análise, foram obtidas as planilhas com os dados da mudança de cobertura.

Por fim, optou-se por fazer uma análise visual de cada tipo de mudança de uso do solo, para verificar se o procedimento automático se mostrou coerente com a imagem real e, caso contrário, providenciar as devidas correções.

Os resultados das interações entre os mapas do IPP e SMAC, reflorestamento e plantio de arborização urbana, são apresentados na Tabela 45, Tabela 46 e Tabela 47 e na Figura 22.

Tabela 45 – Mudança do Uso do Solo no Município do Rio de Janeiro em 2012.

Classes de Uso e Cobertura de Solo com perda de biomassa entre 2011 e 2012	Variação de superfície (ha)
Agricultura	19,82
Mangues	4,76
Brejos	19,11
Restingas – Arbórea e Arbustiva	3,63
Vegetação arbóreo-arbustiva (Campo)	68,38
Vegetação gramíneo-lenhosa (Pasto)	173,05
Vegetação Secundária – Estágio Avançado	4,18
Vegetação Secundária – Estágio Inicial	4,13
Vegetação Secundária – Estágio Médio	20,21
Total	317,3

Fonte: Autores.

Tabela 46 – Reflorestamento de recuperação ambiental no Município do Rio de Janeiro.

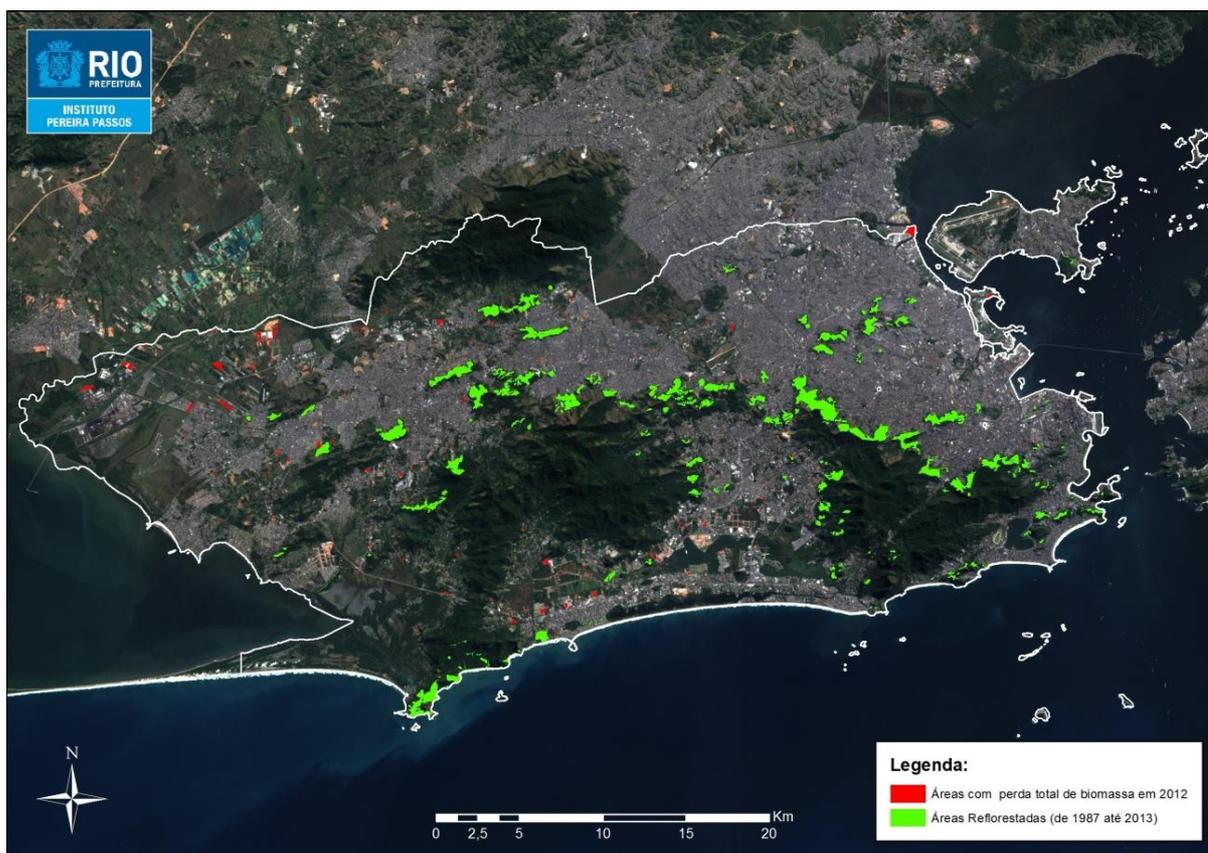
Ano	Mutirão	Superfícies (hectares)		
		Contratos terceirizados	Total	Acumulado
1993	50	-	50	50
1994	16	-	16	67
1995	69	-	69	135
1996	161	-	161	297
1997	157	-	157	453
1998	189	-	189	643
1999	110	-	110	753
2000	149	-	149	902
2001	119	-	119	1.021
2002	169	-	169	1.190
2003	57	-	57	1.247
2004	18	-	18	1.265
2005	61	-	61	1.326
2006	17	-	17	1.343
2007	83	-	83	1.426
2008	73	-	73	1.499
2009	22	-	22	1.521
2010	105	-	105	1.626
2011	111	394	505	2.131
2012	112	196	308	2.439
Total	1.849	590	2.439	

Fonte: CRA/SMAC

Tabela 47 – Arborização urbana no Município do Rio de Janeiro no período 2007-2012.

		Quantidade de árvores plantadas (unidades)						
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	Total
AP1	Plantio nos logradouros	180	282	219	494	258	396	1.829
	Plantio interno	13	222	327	66	22	261	911
	Pl. em Praças e Parques	26	37	19	96	34	216	428
	TOTAL	219	541	565	656	314	873	3.168
AP2	Plantio nos logradouros	1.537	595	540	427	354	768	4.221
	Plantio interno	135	152	340	13	266	109	1.015
	Pl. em Praças e Parques	63	34	66	52	54	1.465	1.734
	TOTAL	1.735	781	946	492	674	2.342	6.970
AP3	Plantio nos logradouros	7.229	3.836	4.283	2.861	5.929	8.522	32.660
	Plantio interno	221	1.557	440	859	245	1.178	4.500
	Pl. em Praças e Parques	283	977	207	105	199	1.066	2.837
	TOTAL	7.733	6.370	4.930	3.825	6.373	10.766	39.997
AP4	Plantio nos logradouros	6.006	7.223	2.524	3.636	4.791	4.752	28.932
	Plantio interno	1.935	1.949	3.922	1.406	3.277	3.073	15.562
	Pl. em Praças e Parques	428	222	4.149	1.473	2.292	5.826	14.390
	TOTAL	8.369	9.394	10.595	6.515	10.360	13.651	58.884
AP5	Plantio nos logradouros	3.966	2.912	2.853	7.693	6.875	8.284	32.583
	Plantio interno	1.258	607	1.116	2.958	5.184	3.172	14.295
	Pl. em Praças e Parques	301	55	94	240	123	1.872	2.685
	TOTAL	5.525	3.574	4.063	10.891	12.182	13.328	49.563
Total Geral		23.581	20.660	21.099	22.379	29.903	40.960	158.582

Fonte: Fundação Parques e Jardins.



Fonte: IPP, 2014.

Figura 22 – Áreas com perda e ganho de biomassa em 2012 no Município do Rio de Janeiro.

No caso das atividades agropecuárias no Município, como antes mencionado, foram utilizadas informações da EMATER-Rio (2012), fornecidas pela Secretaria de Estado de Agricultura e Pecuária (SEAPEC), para atividades agrícolas, e as bases de dados do IBGE para as atividades de pecuária. Estes dados encontram-se apresentados na Tabela 48 e na Tabela 49.

Tabela 48 – Atividade agrícola no Município do Rio de Janeiro e quantitativos de fertilizante utilizados em 2012.

Culturas	Área (ha)	URÉIA (t/ha/ano)	NPK (t/ha/ano)	N (t/ano)*	Calcário (t/ha/ano) *	Calcário (t/ano)	Ad. Orgânico (t/ha/ano)	Orgânico (t/ano)	N (Kg/ano)
Abacate	14,5			5,8	1,5	21,7	20,0	289,2	1.735,2
Abobrinha	56,6		0,4	5,4	1,0	56,6	6,0	339,6	2.037,6
Agrião	15,9		0,3	1,1	0,6	9,5	4,8	76,3	457,9

Culturas	Área (ha)	URÉIA (t/ha/ano)	NPK (t/ha/ano)	N (t/ano)*	Calcário (t/ha/ano)*	Calcário (t/ano)	Ad. Orgânico (t/ha/ano)	Orgânico (t/ano)	N (Kg/ano)
Aipim	984,7			0,0	1,5	1.477,0		0,0	0,0
Alface	127,7		0,4	12,3	1,8	229,9	14,4	1.838,9	11.033,3
Banana	492,7			78,8	2,0	985,4	10,0	4.927,0	29.562,0
Batata Doce	6,6	0,1	0,3	0,8	2,0	13,2			0,0
Berinjela	41,1	0,2		3,7	1,0	41,1	0,0	0,0	0,0
Caqui	40,2	0,4	1,0	16,0	2,0	80,4	0,0	0,0	0,0
Cebolinha	23,7		0,2	1,1	0,5	11,9	4,5	106,7	639,9
Chicória	15,9		0,4	1,5	1,8	28,6	14,4	229,0	1.373,8
Chuchu	186,9		0,8	35,9	2,0	373,8	15,0	2.803,5	16.821,0
Coco Verde	286,3			171,8	1,5	429,5	20,0	5.726,0	34.356,0
Couve	50,2		0,3	3,6	1,0	50,2	12,0	602,2	3.613,0
Jiló	37,7	0,2	0,0	3,4	1,0	37,7	0,0	0,0	0,0
Manga	18,3			7,3	1,5	27,5	3,0	54,9	329,4
Maracujá	26,8			3,2	2,0	53,6	15,0	402,0	2.412,0
Quiabo	98,0		0,2	4,7	1,0	98,0	0,0	0,0	0,0
Salsa	21,8		0,2	1,0	0,5	10,9	4,5	97,9	587,3
Vagem	23,3		0,4	2,2	1,0	23,3	5,0	116,5	699,0
Total	2.568,8	0,9	4,9	359,8	27,2	4.059,6	148,6	17.609,5	105.657,3

Fonte: EMATER-Rio, através da SEAPEC.

* Valores de N e calcário foram obtidos por estimativas, feitas pelo próprio órgão.

Tabela 49 – Atividade pecuária no Município do Rio de Janeiro em 2011.

Tipo de rebanho	Efetivo dos rebanhos (Cabeças)
Bovino de corte	5.350
Bovino leiteiro	1.450
Equino	1.850
Bubalino	900
Asinino	1
Muar	110
Suíno	2.460
Caprino	1.000
Ovino	4.300
Galos, frangas, frangos e pintos	14.500
Galinhas	17.500

Fonte: IBGE, Pesquisa Pecuária Municipal.

No caso das atividades de pecuária do Município do Rio, foram obtidas, somente informações do ano 2011. Para cumprir com os objetivos do estudo, foi assumido que as quantidades do efetivo dos rebanhos se manteve constante para o ano 2012.

4.2.3. Cálculo das Emissões

De acordo com o guia IPCC-2006, diferentes métodos podem ser empregados para a estimativa de emissões das categorias previstas no setor de AFOLU. Três métodos básicos são listados no guia, devendo ser adaptados conforme a disponibilidade de informações e importância relativa de cada categoria específica.

Para a realização dos cálculos das emissões do Município do Rio de Janeiro, utilizou-se, principalmente, a abordagem do método (*tier*) 2. No caso da pecuária utilizou-se principalmente o *tier* 1, no que refere-se aos fatores de emissão do gado.

- **Método 2 (*tier* 2)** – pode utilizar as mesmas abordagens metodológicas do *tier* 1, aplicando, entretanto, fatores de emissão e de mudança no estoque de carbono específicos locais. Estes fatores são recomendáveis para os mais importantes tipos de uso da terra e categorias de rebanho. Este método permite maior acurácia, na medida em que fatores de emissão definidos para o país ou região abarcam condições climáticas específicas, características inerentes àqueles sistemas de uso da terra e pecuária. Neste método, é recomendável a utilização de mapas de maior resolução e dados mais desagregados.

A utilização do *tier* 2 foi possível pelo tipo de informação disponível para o cálculo das emissões, tanto pelo mapeamento do uso e cobertura do solo como pelos conteúdos de carbono e fatores de emissão específicos para a realidade das características cariocas.

Não foi possível utilizar o *tier* 3 porque as informações e dados disponíveis carecem das características necessárias para esse objetivo. Para poder optar à utilização deste *tier* mais apurado, seria necessário empregar dados de alta-resolução e bastante desagregados. Para tal, sugere-se a utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), com dados de solo, gestão do uso da terra, clima, etc. Para o caso específico do setor de pecuária, seria necessário o detalhamento de informações sobre tipo de animal, idade, peso, etc.

Os fatores de emissões utilizados no presente estudo seguiram as diretrizes do IPCC-2006 e dos *tiers* utilizados. Esses fatores respondem a diferentes fontes, respeitando principalmente os valores utilizados nos estudos pretéritos do Município e do país. Alguns fatores utilizados foram também adaptados, respaldado pela literatura científica disponível para as fisionomias e características da vegetação nativa da Mata Atlântica do Estado e Município do Rio de Janeiro. Para a “Vegetação Secundária – Estágio Médio” o valor adotado foi a média entre os conteúdos do Estágio Avançado e Inicial. Para a “Vegetação arbóreo-arbustiva (Campo)”, o valor adotado foi o mesmo da “Vegetação Secundária – Estágio Inicial” por serem tipologias com similitudes na sua estrutura vegetacional.

Na Tabela 50, Tabela 51, Tabela 52 e Tabela 53 são apresentados os fatores e valores utilizados no estudo para estimativas das emissões de GEE da mudança do uso do solo e as atividades agropecuárias no Município do Rio.

Tabela 50 – Conteúdos de carbono (fatores de emissão) das categorias de uso e cobertura de solo.

Classes de Uso e Cobertura de Solo	Conteúdo de Carbono (tC/ha)
Agricultura [%]	21
Mangues ^{**}	38,5
Brejos [#]	5,9
Restingas – Arbórea e Arbustiva ^{**}	27
Vegetação arbóreo-arbustiva (Campo)	48,1
Vegetação gramíneo-lenhosa (Pasto) [#]	3,1
Vegetação Secundária – Estágio Avançado ^{**}	100
Vegetação Secundária – Estágio Inicial ^{***}	48,1
Vegetação Secundária – Estágio Médio	74,1
	Incremento médio anual (tC/ha/ano)
Reflorestamento [#]	3,75 ²⁵
	Incremento médio anual (tC/árvore/ano)
Assentamentos [#]	0,007 ²⁶

Fonte: % Segunda Comunicação Nacional (BRASIL, 2010); # 2º Inventário de Emissões GEE CRJ 2010 (*apud* Siqueira & Mesquita, 2007); ** TANIZAKI, 2003; *** Média entre os valores observados por TANIZAKI (2003) e a Segunda Comunicação Nacional (BRASIL, 2010)

²⁵ ²³ Valores considerando um período de 20 anos de crescimento das árvores.

Tabela 51 – Fatores de Emissão para Fermentação Entérica e Manejo de Dejetos (kgCH₄/cabeça/ano)

Animais	Fator de emissão para fermentação entérica	Fator de emissão para manejo de dejetos
	(kg CH ₄ /cabeça/ano)	(kg CH ₄ /cabeça/ano)
Bovinos de corte*	50,99	1,11
Bovinos de leite*	66	1,6
Bubalinos	55	1
Ovinos*	5	0,16
Caprinos	5	0,17
Equinos	18	1,64
Asininos	10	0,90
Muare	10	0,90
Suínos*	1	5,9
Aves*	-	0,117

Fonte: * BRASIL (2010), demais: IPCC (2006).

Tabela 52 – Fatores de Emissão de N₂O para manejo de dejetos

Animais	Premissa adotada	Emissões diretas (kg N/kg N excretado)	Emissões indiretas	
			Volatilização (kg N ₂ O-N)/(kg NH ₃ -N + NO _x -N volatilizado)	Runoff (kg N ₂ O-N)/(kg N percolado/runoff)
Bovinos	100% pastagem	0,02	0,01	0,0075
Bubalinos	100% pastagem	0,02		
Ovinos	100% pastagem	0,01		
Caprinos	100% pastagem	0,01		
Equinos	100% pastagem	0,01		
Asininos e muare	100% pastagem	0,01		
Suínos*	100% confinado	0,02		-
Aves**	100% confinado	0,002		-

Fonte: IPCC (2006).

* Tratamento assumido: "Drylot" da classificação do IPCC 2006.

** Tratamento assumido: "Pit storagebelow animal confinements" da classificação do IPCC 2006.

Tabela 53 – Fatores de Emissão das atividades agrícolas

Emissões diretas de N₂O de solos agrícolas devido ao uso de fertilizantes sintéticos:	Fator de Emissão para Culturas Agrícolas – Exceto Arroz (kg N ₂ O-N/kg N)	0,01
Emissões indiretas de N₂O de solos agrícolas devido ao uso de fertilizantes sintéticos:	Fator de Emissão para N Volatizado (kg N ₂ O-N)/(kg NH ₃ -N + NOx-N volat.)	0,01
	Fator de Emissão para N Percolado (kg N ₂ O-N / kg N perc/runoff)	0,0075
Emissões diretas de N₂O de solos agrícolas devido ao uso de fertilizantes orgânicos:	Fator de Emissão para Culturas Agrícolas – adubo orgânico (kg N ₂ O-N/kg N)	0,01
Emissões indiretas de N₂O de solos agrícolas devido ao uso de fertilizantes orgânicos:	Fator de Emissão para N Volatizado (kg N ₂ O-N)/(kg NH ₃ -N + NOx-N volat.)	0,01
	Fator de Emissão para N Percolado (kg N ₂ O-N / kg N perc/runoff)	0,0075
Emissões de uso de calcário na agricultura:	% de C no calcário	12%
Emissões por aplicação de ureia em solos agrícolas:	Fator de emissão (t C/t ureia)	0,2

Fonte: IPCC, 2006

4.3. Resultados e Discussão

4.3.1. Emissões e Remoções Antrópicas de GEE do Ano de 2012

Para o presente trabalho de inventário, as emissões associadas ao setor AFOLU não conseguiram ser desagregadas pelas Áreas de Planejamento (AP) do Município, isto devido à forma em que os dados foram fornecidos. Portanto, as emissões estão expressas para o Município inteiro.

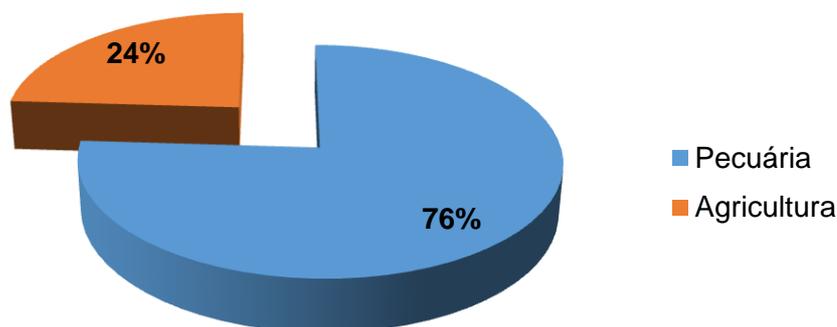
O setor de AFOLU foi responsável pela emissão de 8,6 Gg CO₂e no Município do Rio de Janeiro, em 2012. O principal gás emitido foi o CO₂, seguido do CH₄ e N₂O. Uma síntese das fontes de emissão e os respectivos valores podem ser observados na Tabela 54, a seguir.

Tabela 54 – Emissões de GEE do setor AFOLU no Município do Rio de Janeiro em 2012.

Atividade	Tipo de gás emitido	Emissões (Gg CO ₂ e)
Cobertura e Uso do Solo	(emissões de CO ₂)	-11,64
Fermentação Entérica	(emissões de CH ₄)	10,11
Manejo Dejetos	(emissões de CH ₄)	0,66
	(emissões dir. e ind. N ₂ O)	4,59
Uso Fert. Nitrog.	(emissões dir. e ind. N ₂ O)	3,06
Uso de Calcário	(emissões de CO ₂)	1,79
Uso de Ureia	(emissões de CO ₂)	0,02
Total		8,59

Fonte: Autores.

Segundo as estimativas consolidadas, observa-se que as emissões da fermentação entérica e manejo de dejetos (criação de animais) apresentam os maiores valores no setor de AFOLU. O uso de corretivos agrícolas aparece como a segunda fonte mais relevante para as emissões de GEE dentro do Município (Figura 23).

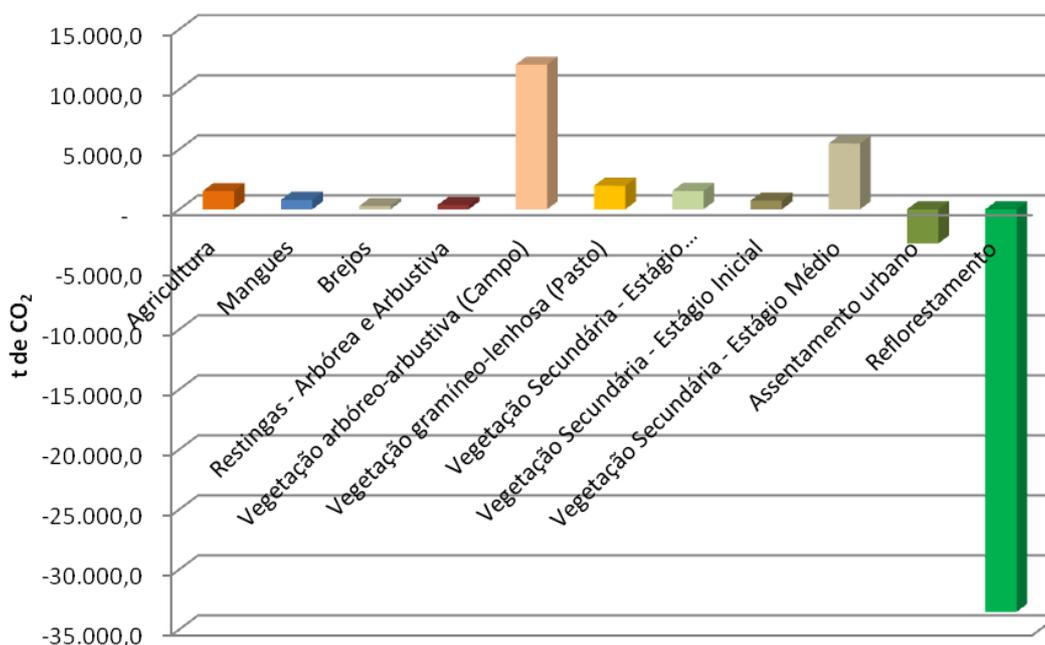


Fonte: Autores.

Figura 23 – Participação das Fontes no Total das Emissões de AFOLU (%) no Município do Rio de Janeiro em 2012.

Em relação à mudança do uso e cobertura do solo, cabe salientar que a quantidade de remoções de carbono por parte do reflorestamento e arborização urbana conseguiu abater ou compensar mais de 100% do total das emissões pelo desmatamento no Município do Rio em 2012. Chegando, assim, a provocar uma emissão negativa, ou seja, uma remoção líquida de carbono pelo crescimento das árvores. Isto se explica pela diminuição nas taxas de desmatamento, principalmente, da cobertura florestal, associado ao aumento das áreas reflorestadas para recuperação ambiental e pela arborização urbana (plantios de árvores em ruas e praças).

A Figura 24 apresenta as diferenças entre as emissões e remoções para as diferentes categorias de uso e cobertura do solo no Município do Rio de Janeiro para o ano base de 2012.



Fonte: Autores.

Figura 24 – Emissões/Remoções de CO₂ do Uso e Cobertura do Solo no Município do Rio de Janeiro em 2012.

Neste caso, a qualidade dos dados foram catalogados como Alto (H) e Médio (M), seguindo os seguintes critérios:

- Alto (H): fatores de emissão locais, dados de atividade detalhados;
- Médio (M): fatores de emissão nacionais e/ou dados de atividade genéricos;
- Baixo (L): fatores de emissão nacionais/internacionais e dados de atividade genéricos.

4.3.2. Análise Comparativa com os Inventários Anteriores

Para visualizar a tendência das emissões deste setor, foi realizada uma comparação com as emissões de AFOLU do inventario de emissões de GEE do Município do Rio de Janeiro dos anos 1996 e 1998, apresentadas pelo SMAC em 2000, as emissões de 2005, apresentados em 2010. As comparações das emissões de carbono de cada ano encontram-se na Tabela 55, a seguir.

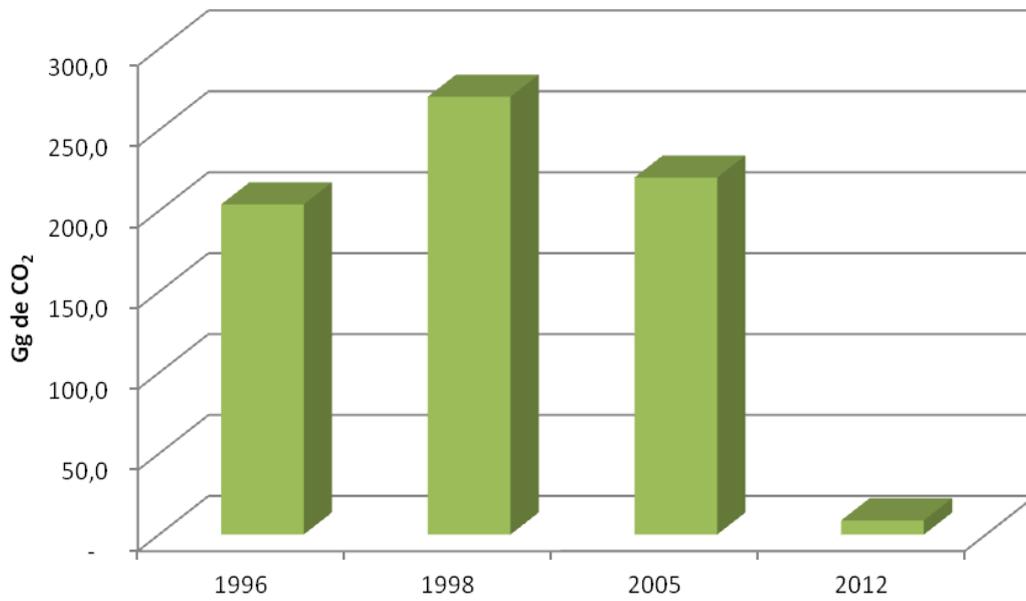
Tabela 55 – Emissões de GEE do setor AFOLU em 2012, comparadas às de 2005

		Emissões	
		Gg CO ₂	
		2005	2012
Mudança do Uso do Solo	Desmatamento	254,90	24,74
	Reflorestamento	-51,50	-36,38
	Subtotal	203,40	-11,64
Pecuária	Fermentação Entérica	10,80	10,11
	Manejo de Dejetos	3,90	5,25
Agricultura	Correção de solos agrícolas	2,50	4,86
	Subtotal	17,20	20,23
Total AFOLU		220,60	8,59

Fonte: Autores.

Como observado, as emissões de 2012 apresentam uma diferença significativa em relação às emissões dos outros anos. Esta queda, que foi de 96% comparado com o inventário anterior, de 2005, se dá, quase exclusivamente, pela diminuição no desmatamento da cobertura florestal detectado no Município. Isto pode ser explicado, principalmente: pelo aumento na fiscalização dos órgãos competentes; modernização nos métodos de geoprocessamento de imagens de satélite, que ajudam na medição mais apurada das taxas de desmatamento; e pelos esforços na conservação das florestas e recuperação ambiental das áreas degradadas. Como já mencionado, cabe destacar as atividades de reflorestamento como um vetor de absorção de carbono, que atenua ainda mais as emissões totais do setor no Município do Rio. No caso das demais fontes, as emissões se mantêm com uma variação leve entre anos estudados.

De forma esquemática, na Figura 25 é apresentada a tendência das emissões totais de GEE para o setor AFOLU nos anos base dos três inventários de emissões no Município do Rio de Janeiro.



Fonte: Autores.

Figura 25 – Emissões totais de CO₂ de AFOLU no Município do Rio de Janeiro em 2012, comparadas às de 2005

5. Resíduos

5.1. Sub-setor Resíduos Sólidos

Os tipos de resíduos envolvidos nas emissões de gases de efeito estufa são os resíduos sólidos urbanos (RSU), resíduos de serviços de saúde (RSS) e resíduos sólidos industriais (RSI). De acordo com as definições do IPCC, os RSU são formados por uma mistura de resíduos domiciliares, comerciais, de varredura de ruas, parques e jardins, além de lodos produzidos em estações de tratamento de esgotos e efluentes. Os resíduos sólidos podem ser dispostos em aterros sanitários, reciclados, incinerados ou ainda usados como matéria prima na geração de energia. Os RSI envolvidos com as emissões de GEE são os considerados não perigosos, todos de Classe II-A, classe na qual estão contidos os restos orgânicos e outros materiais, conforme classificação estabelecida pela ABNT NBR 10004:2004. Os perigosos vão para tratamentos especiais, em ambiente completamente controlado, enquanto os não-perigosos são dispostos nos mesmos aterros sanitários e controlados para onde vão os resíduos urbanos. Os RSS de interesse para contabilização das emissões são compostos por restos hospitalares patogênicos, que demandam incineração. No caso dos resíduos de saúde encaminhados para aterros, são considerados apenas os não patogênicos e não infectantes, também semelhantes aos classe II-A urbanos.

O setor de resíduos sólidos pode emitir CH_4 , CO_2 e N_2O . As quantidades emitidas variam em função da qualidade e volume do lixo produzido, do conteúdo de matéria orgânica em sua composição e das condições de anaerobiose de sua disposição e tratamento. Portanto, um aterro sanitário pode ser semelhante a um grande biorreator, onde ocorre biodegradação da matéria orgânica existente no lixo, em ambiente predominantemente anaeróbio. Dessa biodegradação resulta a geração do biogás de lixo (GDL), composto basicamente de CO_2 e CH_4 . O CO_2 é também produzido na queima de resíduos de origem não fóssil, mas no caso de serem de origem biogênica não produzem impacto no clima, já que se considera que este é novamente sequestrado pela próxima produção agrícola, completando o ciclo do carbono. O N_2O é produzido em todas as circunstâncias em que há envolvimento de resíduos e sua importância depende também do tipo de tratamento e das suas condições. Por exemplo, a compostagem, processo de tratamento biológico do lixo, pode gerar emissões de CH_4 e de N_2O .

Além da disposição em aterros, a compostagem também é um sistema de tratamento de resíduos com potencial de emissão. A compostagem é um processo

aeróbico onde uma fração do carbono organicamente degradável (COD ou DOC, em inglês) do lixo é convertida em dióxido de carbono (CO₂). CH₄ também é formado nas partes anaeróbicas do composto.

Tanto a incineração controlada (quando há uma usina para tal fim específico) quanto à queima a céu aberto de resíduos também emitem CO₂, CH₄ e N₂O, sendo que as emissões de CO₂ são as mais relevantes neste processo. O Município do Rio possui uma usina de queima de resíduos em seu território. Ressalte-se, entretanto, que, no caso das emissões de CO₂, somente as oriundas da queima de produtos não biogênicos devem ser contabilizadas. Este é o caso das emissões de plásticos e borrachas convencionais, solventes e restos de petróleo e derivados. No caso de papéis, restos alimentares e resíduos de madeira, estas emissões não resultam em aumento de CO₂ na atmosfera, pois completam o ciclo do carbono. As emissões de metano, por sua vez, são relevantes apenas em incinerações a céu aberto, onde ocorre queima incompleta pela ausência de sistemas de controle. As emissões de N₂O são consideráveis apenas em casos onde a temperatura de queima é baixa (entre 500°C e 950°C).

5.1.1. Caracterização do Setor no Município

No Município do Rio de Janeiro, a limpeza urbana é de responsabilidade da Comlurb (Companhia Municipal de Limpeza Urbana), subordinada à Secretaria de Meio Ambiente, que além da limpeza das ruas, gerencia e executa a coleta, o transporte, o tratamento e a disposição final dos resíduos sólidos. Os resíduos industriais classe II-A são coletados por empresas terceirizadas e encaminhados às estações de transferência de resíduos (ETRs) gerenciadas pela Comlurb, para então serem encaminhados para tratamento, em geral, aterramento. Como parte dos resíduos industriais passam pelas ETRs, a Comlurb possui dados estatísticos de sua produção no Município do Rio de Janeiro. Sobre o biogás produzido nos processos de tratamento, alguns aterros o capturam, mas este é apenas queimado em flares, não tendo, até o momento, aproveitamento do mesmo para fins energéticos.

5.1.2. Abordagem Metodológica

A metodologia adotada para os cálculos foi baseada no guia 2006 de inventários nacionais do IPCC. Segundo este guia, as meias-vidas de diferentes tipos de resíduos variam de poucos anos a muitas décadas. O método de decaimento de

primeira ordem, FOD (First Order Decay), requer que dados de depósitos de lixo sejam coletados ou estimados historicamente por um período de tempo superior a 3 – 5 meias-vidas, a fim de se obter resultados precisos e aceitáveis. Isto quer dizer que é necessário que os dados de emissão de GEE de um determinado ano seja o somatório das influências das curvas de emissões de metano para um período de 50 anos anteriores. Se um padrão de tempo menor é escolhido, estes dados devem demonstrar que não há nenhuma subestimativa. Como não existe uma série de dados tão extensa e consistente de geração de resíduos e seus locais de disposição para o Município do Rio de Janeiro, foi adotado o período de 30 anos, que diminui de forma aceitável os riscos de subestimar as emissões. No último inventário, com ano-base de 2005, foram obtidos dados de disposição de resíduos do período de 1975 a 2004. Para o presente inventário, manteve-se o período do inventário passado e acrescentou-se dados do período de 2005 a 2011 para aterramento (tanto para RSU quanto para RSI) e de 2012 para os tratamentos térmico e biológico.

Para os fatores de emissão e outros parâmetros utilizados na metodologia, foram adotados valores padrões para o Brasil, obtidos nas comunicações nacionais à Convenção do Clima. Na ausência destas informações, utilizou-se valores padrões do guia do IPCC.

5.1.2.1. Fontes de Dados

Os dados utilizados para os cálculos das emissões de RSU corresponderam aos resíduos com conteúdo de frações orgânicas com potencial para emitir GEE e coletados no Município do Rio de Janeiro nas seguintes categorias: domiciliares, grandes geradores, hospitalares, industriais, poda e galhada.

A fração do lixo domiciliar informada possuía resíduos de origem domiciliar, de estabelecimentos comerciais, de pequenos geradores e de todos os demais caracterizados conforme art.7 incisos I e IX, considerando a definição de lixo domiciliar da Lei de Limpeza Urbana n.º 3.273, 06/09/2011:

“Os resíduos sólidos urbanos, identificados pela sigla RSU abrangem:

Inciso I – Lixo domiciliar ou doméstico produzido em habitação unifamiliar ou multifamiliar com características não perigosas, especialmente aquele proveniente das

atividades de preparação de alimentos ou da limpeza regular desses locais;

Inciso IX – O lixo que possa ser tipificado como domiciliar produzido em estabelecimentos comerciais, de serviços ou unidades industriais ou instituições/entidades públicas ou privadas ou unidades de trato de saúde humana ou animal ou mesmo em imóveis não residenciais, cuja natureza ou composição sejam similares àquelas do lixo domiciliar e cuja produção esteja limitada ao volume diário, por contribuinte, de cento e vinte litros ou sessenta quilogramas.”

Segundo informado, os resíduos provenientes da coleta de grandes geradores foi computado separadamente do lixo oriundo de indústrias e, portanto, não há resíduos industriais dentre os de grandes geradores citados ao longo do estudo.

Até 2012, os resíduos sólidos do Município do Rio de Janeiro destinados ao aterramento foram despejados nos aterros controlados de Gericinó, no bairro de Bangu, de Gramacho, no Município de Duque de Caxias, e no aterro sanitário de Seropédica, no Município de mesmo nome. Além disso, houve compostagem e incineração dentro do território do Município no ano de 2012. Desta forma, de acordo com o GPC, as emissões provenientes da disposição e tratamento dos resíduos do Município do Rio foram classificadas como diretas e indiretas, isto é, os resíduos depositados e tratados dentro das fronteiras do Município foram contabilizados como Escopo 1 e os depositados fora foram contabilizados como Escopo 3. Ainda que os resíduos sejam dispostos em Municípios vizinhos, a responsabilidade das emissões deve ser dada pela origem da geração do resíduo.

Segundo informado pela Comlurb, o total anual em toneladas de resíduos aterrados em Gramacho, Bangu e Seropédica, de 2005 a 2011, correspondendo aos resíduos domiciliares, de grandes geradores, hospitalares não infectantes, industriais não perigosos e de poda e galhada, é apresentado na Tabela 56.

Tabela 56 – Evolução do aterramento de resíduos sólidos da cidade do Rio de Janeiro (toneladas)

Aterro	Ano	Domiciliar	G.Geradores	Hospitalar	Industrial	Poda/Galhada
Gramacho	2005	972.138	262.657	15.030	40.197	0
	2006	1.020.767	267.686	14.758	51.337	0
	2007	1.111.932	247.485	14.323	71.862	0
	2008	1.153.290	245.837	13.107	71.778	3.200
	2009	1.180.929	146.468	7.409	0	4.969
	2010	1.196.373	102.052	6.655	0	11.864
	2011	930.014	80.729	4.407	0	8.234
Bangu	2005	493.855	7.678	0	0	0
	2006	495.025	6.943	0	0	0
	2007	407.406	5.561	0	0	0
	2008	413.270	8.175	0	0	1.158
	2009	400.022	0	0	0	1.624
	2010	454.746	0	0	0	3.330
	2011	474.727	0	0	10	3.005
Seropédica	2011	330.786	44.575	0	0	2.479
Outros*	2009	0	145.346	0	0	0
	2010	0	226.375	0	0	0
	2011	0	226.375	0	0	0

* Aterros não gerenciados pela Comlurb e fora dos limites do município do Rio de Janeiro, em particular a CTR Nova Iguaçu.

Fonte: COMLURB (2013)

Pode-se observar que só há dados sobre coleta de resíduos industriais classe II-A, ou seja, não perigoso e não inerte, até o ano de 2008 (salvo 10 toneladas computadas em 2011). Portanto, para se estimar as quantidades de resíduos destinadas até 2012, correlacionou-se estas informações com o PIB industrial municipal do mesmo período (Tabela 57), considerando a premissa de que não há produção de resíduo industrial sem produção industrial. Para os cálculos foi considerado que todo resíduo industrial foi historicamente lançado em Gramacho até seu encerramento em 2011. Com o encerramento de Gramacho, os resíduos passaram a ser depositados em Seropédica, entretanto, tendo esta deposição começado apenas em 2012, não contribuiu com as emissões do ano, pois se considera que a produção de biogás só se inicia a partir do ano seguinte. A Tabela 58 apresenta a estimativa de destinação dos resíduos industriais de 2009 a 2012.

Tabela 57 – Consolidação do cenário socioeconômico do Município do Rio de Janeiro em valores de 2012

Ano	PIB (R\$ milhões)	PIB industrial (R\$ milhões)	População	PIB per capita
2005	167.093,9	17.954,5	6.094.183	27.418,59
2006	171.863,7	19.012,7	6.136.652	28.006,10
2007	182.339,3	18.013,0	6.093.472	29.923,71
2008	197.807,2	21.070,0	6.161.047	32.106,11
2009	200.623,0	26.277,4	6.186.710	32.428,06
2010	214.589,8	25.335,6	6.320.446	33.951,68
2011	219.607,0 *	25.739,2 *	6.355.949	34.551,42
2012	225.671,4 *	26.296,3 *	6.390.290	35.314,73

* Tendência calculada pelos autores

Fonte: Instituto Pereira Passos (2013).

Tabela 58 – Estimativa de resíduos sólidos industriais classe II-A coletados e aterrados até 2012

Ano	RSI classe II-A (t)
2009	89.518
2010	86.309
2011	87.684
2012	89.582

Fonte: COMLURB (2013).

Além dos dados mencionados acima, há também necessidade de conhecer a composição dos resíduos sólidos, em percentual de peso por volume (% kg/m³), um dado fundamental para o cálculo do carbono orgânico degradável (COD), a ser aplicado às fórmulas do IPCC. Para o período entre os anos de 1975 a 2004, foram utilizados os valores já obtidos para o inventário de 2005 e para o período posterior, até 2011, foram obtidos os dados mostrados na Tabela 59.

Tabela 59 – Composição dos resíduos sólidos, em percentual de peso por volume (% kg/m³)

Ano	Material Orgânico (%)	Jardins (%)	Papel/Papelão (%)	Madeira (%)	Têxteis (%)
1975*	37,57	3,94	34,39	0,26	2,27
1976*	37,79	3,85	33,82	0,27	2,26
1977*	38,03	3,76	33,26	0,28	2,25
1978*	38,27	3,68	32,71	0,28	2,24

Ano	Material Orgânico (%)	Jardins (%)	Papel/Papelão (%)	Madeira (%)	Têxteis (%)
1979*	38,52	3,60	32,16	0,29	2,23
1980*	38,78	3,52	31,63	0,30	2,22
1981	35,10	3,64	41,72	1,09	3,35
1982*	39,55	3,30	30,20	0,31	2,19
1983*	39,96	3,20	29,51	0,32	2,17
1984*	40,40	3,11	28,84	0,33	2,16
1985*	40,86	3,01	28,18	0,34	2,14
1986	32,79	5,82	38,54	1,33	4,09
1987*	41,86	2,83	26,90	0,37	2,12
1988*	42,40	2,74	26,29	0,38	2,10
1989	41,58	2,51	31,54	0,91	2,66
1990*	43,57	2,58	25,10	0,40	2,07
1991	48,83	1,54	27,11	0,41	3,13
1992*	44,88	2,42	23,98	0,43	2,05
1993	41,02	5,49	23,95	1,17	5,11
1994*	46,32	2,28	22,91	0,45	2,02
1995	45,70	4,81	24,05	0,96	2,69
1996	49,13	2,46	22,26	0,53	2,66
1997	49,22	3,04	21,08	0,76	1,98
1998	48,58	1,97	22,21	0,68	2,13
1999	50,08	0,72	21,85	0,18	0,89
2000	51,36	1,91	19,77	0,44	1,79
2001	51,71	1,50	18,71	0,44	1,38
2002	56,03	0,60	18,78	0,38	1,36
2003	53,05	2,34	16,06	0,66	2,10
2004	59,73	2,12	12,48	1,92	1,78
2005	60,78	1,06	13,51	1,51	1,80
2006	61,37	1,30	14,83	0,73	1,68
2007	58,23	1,75	14,56	0,91	1,90
2008	56,21	1,09	15,96	0,79	1,83
2009	53,64	1,26	16,08	0,74	1,93
2010	55,08	1,06	16,46	0,76	1,71
2011	52,70	1,12	16,84	0,97	2,30
2012	53,29	1,35	15,99	1,16	1,97

* Tendência calculada pelos autores

Fonte: Comlurb (2013)

No caso de fraldas, percentual considerado na metodologia IPCC, mas não obtido para o Município do Rio de Janeiro, foi adotado o valor padrão sugerido pelo IPCC de 0%. No caso de madeira e têxteis foram acrescidos os percentuais de coco e couro, respectivamente. Já aos resíduos orgânicos, os restos alimentares (matéria orgânica putrescível) e ossos.

Para estimativa dos fatores de correção de metano, utilizados nos cálculos, foram consideradas as mesmas premissas do inventário de 2005, apresentadas nas Tabela 60 e Tabela 61.

Tabela 60 – Premissas de fatores de correção de metano para os aterros do Rio de Janeiro

Período	FCM	Premissas
1975 a 1995	0,4	Em 1975 adotou-se o valor padrão do IPCC de que 54% era encaminhado para lixões.
	0,6	O restante (46%) foi considerado depositado em locais não categorizados. De 1976 a 1995 foi feita uma extrapolação linear, baseado em dados existentes no Inventário Municipal de 1996, 1998 e 2005, reduzindo gradativamente a participação do não categorizado.
1996 a 2001	0,4 a 1,0	A partir de 1996, Gramacho foi considerado como aterro controlado.
2002 em diante	0,4 a 1,0	A partir de 2002, Gericinó foi considerado como aterro controlado.
		A partir de 2005, considerando o informado pela Comlurb, a participação de não categorizado era praticamente nula.
2011	1,0	Aterro de Seropédica considerado como sanitário, com condições de anaerobiose nas células.

Fonte: Autores.

Tabela 61 – Evolução das condições de aterramento dos resíduos da cidade do Rio de Janeiro para atribuição de Fator de Correção do Metano.

Ano	Não gerenciado (%)	Adequado (%)	Não categorizado (%)
1975	54,0	0	46,0
1976	56,0	0	44,0
1977	57,9	0	42,1
1978	59,9	0	40,1
1979	61,8	0	38,2
1980	63,8	0	36,2
1981	65,7	0	34,3
1982	67,7	0	32,3
1983	69,6	0	30,4
1984	71,6	0	28,4
1985	73,5	0	26,5
1986	75,5	0	24,5
1987	77,4	0	22,6
1988	79,4	0	20,6
1989	81,3	0	18,7

Ano	Não gerenciado (%)	Adequado (%)	Não categorizado (%)
1990	83,3	0	16,7
1991	85,2	0	14,8
1992	87,2	0	12,8
1993	89,1	0	10,9
1994	91,1	0	8,9
1995	93,0	0	7,0
1996	28,5	66,5	5,0
1997	28,5	66,5	5,0
1998	28,5	66,5	5,0
1999	24,4	71,3	4,3
2000	20,4	76,1	3,6
2001	16,3	80,9	2,9
2002	12,2	85,6	2,1
2003	8,1	90,4	1,4
2004	4,1	95,2	0,7
2005	0	100	0
2006	0	100	0
2007	0	100	0
2008	0	100	0
2009	0	100	0
2010	0	100	0
2011	0	100	0
2012	0	100	0

Segundo a Comlurb, apenas os aterros de Gramacho e Seropédica coletaram e queimaram biogás. De acordo com os dados fornecidos, o volume de biogás coletado e queimado por aterro em 2012 foi o seguinte:

- Seropédica – considerando o início da coleta e queima em 15/11/2012, até às 18h de 30/12/2012, foram coletados e queimados 935.100 Nm³, com teor de metano de 58%, portanto 542.358 Nm³ de CH₄, com eficiência de flares de 99,9%;
- Gramacho – considerando o ano completo, foram coletados e queimados 30.904.450,11 Nm³ de biogás, com teor de metano médio de 50,8%, portanto 15.637.933,96 Nm³ de CH₄, com eficiência de flares de 99,9%.

No aterro de Bangu (Gericinó) não houve captação ou queima de biogás em 2012.

Segundo a Comlurb, em 2012 foram compostadas 4.132 toneladas de material orgânico e 8.911 toneladas de resíduos foram destinadas à coleta seletiva.

Segundo dados fornecidos pela Usinaverde, única instalação no Município onde ocorre tratamento térmico de resíduos, foram incineradas 415,8 toneladas de resíduos sólidos em 2012, gerando gases conforme mostra a Tabela 62.

Tabela 62 – Emissão de gases pela incineração de resíduos sólidos na Usinaverde.

Gás	Volume (m ³)	Massa específica (kg/m ³)	Massa (t)
Oxigênio	2.169.014,4	1,354	2.936,9
Dióxido de Carbono	631.689,6	1,977	1.248,9
Monóxido de Carbono	385,3	1,250	0,5
Óxidos de Nitrogênio	1.765,2	1,947	3,5

Fonte: Usinaverde (2013)

Segundo a gravimetria informada pela Usinaverde (Tabela 63), o resíduo incinerado era composto em 50% de material orgânico, 10% de papéis e 4,5% de madeiras. Para o cálculo das emissões de CO₂, como estes tipos de materiais não contribuem para as emissões de GEE por conta de sua origem biogênica, conforme já explicado, foi considerado apenas 35,5% da massa de resíduo incinerado, que corresponde a 147,6 toneladas. Para as emissões de N₂O, o cálculo considerou toda a massa, inclusive orgânicos. As emissões de CH₄ não foram consideradas pelo fato da incineração ser feita numa instalação controlada.

Tabela 63 – Gravimetria do resíduo incinerado na Usinaverde em 2012

Tipo de Material	Composição (%)
Plástico	19
Papel	10
Matéria Orgânica	50
Madeira	4,5
Têxteis e Couro	3
Outros	13,5

5.1.2.2. Cálculo das emissões

Aterros

Para estimar as emissões de CH₄ da disposição de resíduos em aterros e lixões ou ainda de resíduos industriais, usa-se o Método do Decaimento de Primeira Ordem. A equação básica para o modelo de decaimento de primeira ordem é a seguinte:

$$DDOCm = DDOCm(0) \times e^{-kt}$$

Equação 20

onde:

- DDOC = carbono orgânico degradável que se decompõe (sob condições anaeróbicas);
- DDOCm é a massa de DDOC a qualquer tempo;
- DDOCm(0) é a massa de DDOC no início da reação, quando t = 0 e, portanto, e^{-kt} = 1;

- k é a constante de reação = $\frac{\ln 2}{t_{1/2} (y^{-1})}$
- t_{1/2} = meia vida (y)
- y = years (em português, anos)
- t é o tempo em anos;

Da equação seguinte é fácil perceber que ao final do ano 1 (indo do ponto 0 ao ponto 1 no eixo do tempo) a massa de DDOC deixada não decomposta (acumulada) nos aterros é:

$$DDOCm(1) = DDOCm(0) \times e^{-k}$$

Equação 21

e a massa de DDOC decomposta entre CH₄ e CO₂ será:

$$DDOCm_{decomp}(1) = DDOCm(0) - (1 - e^{-k})$$

Equação 22

Onde:

- $DDOC_{m_{decomp}}(1)$ = massa total de DDOC decomposta no ano 1
- k = razão da constante de reação

Em uma reação de primeira ordem, o total do produto (aqui o DDOC_m decomposto) é sempre proporcional a quantidade de reagente (aqui o DDOC_m). Isto significa que não importa quando o DDOC_m foi depositado. Isto ainda significa que, quando se sabe o total de DDOC_m acumulado no aterro, mais o depósito do último ano, a produção de CH₄ pode ser calculada como se cada ano fosse o ano um na série de tempo.

A hipótese padrão é que a geração de CH₄ de todo o lixo depositado cada ano começa em 1º de janeiro do ano após a deposição. Isto é o mesmo que uma média de seis meses de defasagem até que a geração substancial de CH₄ comece (o tempo que isso leva a condição anaeróbica a se tornar bem estabelecida). As equações utilizadas nesta metodologia são apresentadas na seqüência.

Para calcular a massa de DOC degradável (DDOC_m) de uma quantidade de lixo (W):

$$DDOC_{m_d}(T) = W(T) \times DOC \times DOC_f \times MCF$$

Equação 23

Onde:

- T = o ano do inventário
- $DDOC_{m_d}(T)$ = massa de DDOC depositada no ano T
- $W(T)$ = total depositado no ano T
- DOC = carbono orgânico degradável (sob condições anaeróbicas)
- DOC_f = fração de DOC que se decompõe sob condições anaeróbicas
- MCF = fator de correção de metano.

O DOC (ou COD – Carbono Organicamente Degradável) refere-se ao teor de carbono de cada componente do lixo que degrada, como papéis e papelões, folhas, madeiras e matéria orgânica total. De acordo com o IPCC (2006), aplica-se o fator correspondente à participação percentual do peso úmido de cada componente do lixo, conforme a fórmula a seguir:

$$DOC = (0,40 \times \% \text{Papel/Papelão}) + (0,24 \times \% \text{Têxteis}) + (0,15 \times \% \text{Restos Alimentares}) + (0,43 \times \% \text{Madeira}) + (0,20 \times \% \text{Folhas}) + (0,24 \times \% \text{Fraldas}) + (0,39 \times \% \text{Borracha/Couro})$$

Equação 24

O DOC_f (fração do DOC que realmente degrada) depende de muitos fatores, como temperatura, umidade, pH, composição gravimétrica, etc. Devido ao processo de degradação anaeróbia ser incompleto, significa a parte do carbono potencialmente degradável. O valor sugerido pela metodologia do IPCC é de 50%, ou seja, considera-se que metade do carbono não seja emitido ou parte do carbono organicamente degradável demore muito para se degradar.

O MCF (Fator de Correção do Metano) varia em função das condições de anaerobiose de cada tipo de local de disposição. No caso de simples vazadouros usa-se 0,4 para aqueles com células de até cinco metros e 0,8 para aqueles com células maiores que cinco metros. No caso de aterros sanitários, situação em que há uma disposição planejada de resíduos, este fator é 1,0, ou seja, considera-se que 100% dos resíduos estão dispostos em condições de anaerobiose. Segundo a metodologia do IPCC, em condições não categorizadas, este fator é de 0,6. O MCF é utilizado na equação 25.

O total de DDOC_m depositado, remanescente, não decomposto, ao final da deposição no ano T:

$$DDOCm_{rem}(T) = DDOCm_d(T) \times e^{\frac{-k(13-M)}{12}}$$

Equação 25

Onde:

- T = ano do inventário
- DDOC_{m_{rem}}(T) = massa de DDOC depositada no ano T do inventário, permanecendo não decomposta ao final do ano T
- DDOC_{m_d}(T) = massa de DDOC depositada no ano T
- k = razão da constante de reação
- M = mês do início da reação (= tempo de atraso/defasagem + 7)

O total de DDOC depositado, decomposto durante a deposição no ano T é:

$$DDOCm_{dec}(T) = DDOCm_d(T) \times (1 - e^{\frac{-k(13-M)}{12}})$$

Equação 26

Onde:

- T = o ano do inventário
- $DDOCm_{dec}(T)$ = massa de DDOC depositada no ano T do inventário, decomposta durante o ano.
- $DDOCm_d(T)$ = massa de DDOC depositada no ano T
- k = razão da constante de reação
- M = mês do início da reação (= tempo de atraso/defasagem + 7)

A quantidade de DDOCm acumulado no aterro ao final do ano T será:

$$DDOCm_a(T) = DDOCm_{rem}(T) + DDOCm_a(T - 1) \times e^{-k}$$

Equação 27

Onde:

- T = o ano do inventário
- $DDOCm_a(T)$ = massa total de DDOC deixada e não decomposta ao final do ano T
- $DDOCm_{rem}(T)$ = massa de DDOC depositada no ano T do inventário, permanecendo não decomposta ao final do ano T
- $DDOCm_a(T-1)$ = massa total de DDOC deixada e não decomposta ao final do ano $T-1$
- k = razão da constante de reação

O total de DDOCm decomposta no ano T é:

$$DDOCm_{decomp}(T) = DDOCm_{dec}(T) + DDOCm_a(T - 1) \times e^{-k}$$

Equação 28

Onde:

- T = o ano do inventário
- $DDOCm_{decomp}(T)$ = massa total de DDOC decomposta no ano T
- $DDOCm_{dec}(T)$ = massa de DDOC depositada no ano T do inventário, decomposta durante o ano

- $DDOCm_a(T-1)$ = massa total de DDOC deixada e não decomposta ao final do ano $T - 1$
- k = razão da constante de reação

Ressalta-se que somente a geração de CH_4 é calculada a partir destas equações, tendo em vista que o CO_2 gerado tem origem biogênica e não é impactante no clima. O total de CH_4 gerado do DOC decomposto é o seguinte:

$$CH_4 \text{ gerado}(T) = DDOCm_{decomp}(T) \times F \times 16/12$$

Equação 29

Onde:

- T = o ano do inventário
- $CH_4 \text{ gerado}(T)$ = CH_4 gerado no ano T
- $DDOCm_{decomp}(T)$ = massa total de DDOC decomposta no ano T
- F = fração de CH_4 por volume no gás gerado no aterro
- $16/12$ = razão de peso molecular CH_4/C

A Fração de Carbono Emitida como Metano (F) sugerida pela metodologia do IPCC é de 50%, significando que os outros 50% da composição do biogás gerado no sítio de disposição do lixo não é metano.

O total de CH_4 emitido é, então:

$$CH_4 \text{ emitido}(T) = \left[\sum_x CH_4 \text{ gerado}(x, T) - R(T) \right] \times [1 - OX(T)]$$

Equação 30

Onde:

- T = o ano do inventário
- $CH_4 \text{ emitido}(T)$ = CH_4 emitido no ano T
- x = fração de material/categoria de lixo
- $CH_4 \text{ gerado}(x, T)$ = CH_4 gerado pela fração de lixo x no ano T
- $R(T)$ = CH_4 recuperado no ano T
- $OX(T)$ = fator de oxidação no ano T (fração)

O metano recuperado (R) refere-se à parcela recuperada e queimada ou utilizada para geração de energia em cada local de disposição, reduzindo as emissões líquidas. Ao ser queimado, o CH₄ se transforma em CO₂, que, quando de origem renovável como é o caso do lixo, não aumenta a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, pois deverá ser sequestrado quando do crescimento da nova safra agrícola e da vegetação.

O fator de oxidação (OX) relaciona-se à fração do RSU e do gás do aterro que sofre queima espontânea nos locais de disposição, não gerando metano. Baseou-se na recomendação do IPCC para este fator, ou seja, de 0 a 10%, para determinar o fator conforme a evolução dos aterros (Tabela 64).

Tabela 64 – evolução dos fatores de oxidação nos aterros do Rio de Janeiro

Aterro	OX	Período
Gramacho	0,10	1975-1995
	0,05	1996-2004
	0	2005-2011
Gericinó	0,10	1975-2001
	0,05	2002-2004
	0	2005-2011
Seropédica	0	2011

Fonte: LOUREIRO (2005), LOUREIRO (2013), COMLURB (2013).

Tratamento biológico – compostagem

Para estimar as emissões de CH₄ e de N₂O de tratamento biológico serão utilizados dois procedimentos que, em termos genéricos, se expressam conforme a seguir:

$$Emissões\ de\ CH_4 = \sum (M_i \times EF_i) \times 10^{-3} - R$$

Equação 31

Onde:

- Emissões de CH₄ = emissões totais de CH₄ no ano do inventário (Gg CH₄)
- M_i = massa de resíduos orgânicos tratados por tratamento biológico do tipo i (Gg)
- EF_i = fator de emissão para tratamento i (= 4 gCH₄/kg de resíduo tratado)

- i = compostagem ou digestão anaeróbica
- R = total de CH_4 recuperado no ano do inventário (Gg CH_4)

$$\text{Emissões de } \text{N}_2\text{O} = \sum M_i \times EF_i) \times 10^{-3}$$

Equação 32

Onde:

- Emissões de N_2O = emissões totais de N_2O no ano do inventário (Gg N_2O)
- M_i = massa de resíduos orgânicos tratados por tratamento biológico do tipo i (Gg)
- EF_i = fator de emissão para tratamento i , (= 0,3 g N_2O /kg de resíduo tratado)
- i = compostagem

Tratamento térmico – incineração

Para estimar as emissões de CO_2 , CH_4 e N_2O de incineração serão utilizados três procedimentos, que, em termos genéricos, se expressam conforme a seguir:

$$\text{Emissões de } \text{CO}_2 = \sum (SW_i \times dm_i \times CF_i \times FCF_i \times OF_i) \times 44/12$$

Equação 33

Onde:

- Emissões de CO_2 = emissões de CO_2 no ano do inventário (Gg/ano)
- SW_i = total de resíduos do tipo i (peso seco) incinerado (Gg/ano)
- dm_i = conteúdo de matéria seca no resíduo (peso seco) incinerado (fração)
- CF_i = fração de carbono na matéria seca (conteúdo total de carbono) (fração)
- FCF_i = fração de carbono fóssil no total de carbono (fração)
- OF_i = fator de oxidação (fração)

- 44/12 = fator de conversão de C para CO₂
- i = tipo de resíduo incinerado

$$Emissões\ de\ CH_4 = \sum (IW_i \times EF_i) \times 10^{-6}$$

Equação 34

Onde:

- Emissões de CH₄ = emissões no ano do inventário (Gg/ano)
- IW_i = quantidade de resíduo sólido incinerado do tipo i (Gg/ano)
- EF_i = fator de emissão de CH₄ (kg CH₄/Gg de resíduo)
- 10⁻⁶ = fator de conversão de kg para Gg
- i = categoria ou tipo de resíduo

$$Emissões\ de\ N_2O = \sum (IW_i \times EF_i) \times 10^{-6}$$

Equação 35

Onde:

- Emissões de N₂O = emissões no ano do inventário (Gg/ano)
- IW_i = quantidade de resíduo incinerado do tipo i (Gg/ano)
- EF_i = fator de emissão de N₂O (kg N₂O/Gg de resíduo) para resíduo do tipo i
- 10⁻⁶ = conversão de kg para Gg
- i = categoria ou tipo de resíduo incinerado

O presente estudo abordou o método FOD pelo *tier 2*, ou seja, foram utilizados dados históricos de ao menos 10 anos sobre a disposição dos resíduos nos aterros do Município e valores padrões do IPCC para outros parâmetros necessários aos cálculos. Para se adotar o *tier 3* seria necessário possuir um fator correspondente à participação percentual do peso úmido de cada componente dos resíduos e a razão da constante de geração de metano. Entretanto, estes elementos não existem na metodologia nacional para elaboração de inventários, nem na literatura do país. Para aprimoramento dos próximos inventários, seria necessário o levantamento desses parâmetros a partir de dados coletados em campo, em aterros no Brasil, e a

aprovação de uma metodologia brasileira para inventários de emissões antrópicas de GEE de resíduos.

Para compostagem foram adotados fatores de emissão para o tier 1.

5.2. Sub-setor Efluentes Líquidos

Os esgotos ou efluentes líquidos, ou ainda águas residuais, podem ter origem doméstica, comercial e industrial e podem ser tratados ou lançados sem tratamento no local de origem, coletados e levados a uma estação de tratamento (ETE) ou mesmo serem lançados em corpos hídricos por emissários. Os tratamentos *in situ* mais comuns são as fossas sépticas, no caso de efluentes domésticos e comerciais, e unidades de tratamento de efluentes próprias, como, por exemplo, é o caso de algumas indústrias e condomínios residenciais. Os sistemas de tratamento podem ser classificados como preliminar, primário, secundário e terciário. O tratamento preliminar tem objetivo de remover os sólidos grosseiros, enquanto o primário remove também sólidos sedimentáveis. Em ambos predominam mecanismos físicos de tratamento – grades e deposição – sendo que no primário há a remoção de parte da matéria orgânica em suspensão e materiais flutuantes (óleos e graxas). No tratamento secundário, os mecanismos são biológicos, pois o objetivo principal desse nível de tratamento é a remoção da matéria orgânica através da biodegradação por microorganismos. Os sistemas de tratamento utilizados podem incluir lagoas de estabilização anaeróbias e aeróbias, reatores anaeróbios, filtros biológicos, lodos ativados, entre outros. O tratamento terciário é utilizado para tratar o efluente em relação aos agentes patogênicos e outros contaminantes, além de prover também a retirada de nutrientes, através de um ou mais processos combinados de lagoas de maturação, filtração, bioadsorção, troca de íons e desinfecção (ROVERE *et. al.*, 2007; VON SPERLING *et. al.*, 2005).

Os efluentes industriais podem ser tratados na própria planta ou descartados no sistema de esgotamento sanitário local. Neste último caso, as emissões dos efluentes industriais devem ser calculadas juntamente com os esgotos domésticos e comerciais.

Lodo pode ser produzido tanto no tratamento primário quanto no secundário e terciário, sendo que no primário consiste dos sólidos removidos do esgoto e nos demais é resultado do crescimento biológico na biomassa e agregação de pequenas partículas. O lodo também deve ser tratado e o processo de tratamento inclui a

digestão anaeróbia e aeróbia, adensamento, desaguamento, compostagem e disposição final em aterros.

5.2.1. Caracterização do Setor no Município

A Companhia Estadual de Águas e Esgotos – CEDAE-RJ é a empresa responsável pela coleta e tratamento do esgoto doméstico e comercial do Município do Rio de Janeiro e atende, aproximadamente 80% da população. A empresa presta serviços de abastecimento de água (captação, adução, tratamento e distribuição) e esgotamento sanitário (coleta, transporte, tratamento e disposição final). De todo esgoto coletado e tratado em ETE, apenas 2,3% é da competência da Foz Águas 5. O restante é coletado e tratado pela CEDAE.

Segundo informações da CEDAE, Foz Águas 5 – responsável pelo saneamento de parte da zona oeste do Município – e da Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios (IBGE, 2011a), a população atendida por algum tipo de esgotamento sanitário no Município do Rio de Janeiro foi de 5.089.239 habitantes, da população total de 6.390.290 habitantes. Não foram encontradas informações sobre a quantidade de habitantes ou domicílios utilizando tratamento por fossas. Segundo a CEDAE, a parcela do esgoto coletado que recebe tratamento atualmente não é tratada por sistemas anaeróbios. Somente o lodo resultante passa por este sistema de tratamento, antes de ser enviado aos aterros.

Segundo a última Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD 2011, do IBGE, a região metropolitana do Rio de Janeiro trata em ETEs 70,6% dos esgotos. Dos 19,4% do esgoto restante, 6,5% não possuem nenhuma forma de tratamento, ou seja, são despejados em corpos d'água *in natura*, enquanto o restante é tratado em fossas. Considerando os dados da Região Metropolitana e devido à não existência de dados atualizados específicos para o Município do Rio de Janeiro, para o ano de 2012, considerou-se de modo conservador que a quantidade de esgotos não tratados no município – despejados *in natura* em corpos d'água – se manteve a mesma de 2005, isto é, 5%. Desta forma, o volume restante – que não passa por tratamento em ETEs e nem pertence aos 5% que não recebe nenhum tipo de tratamento – foi considerado tratado por fossas sépticas.

Quanto ao lodo produzido nos tratamentos no Município do Rio de Janeiro, parte é destinada a aterros.

5.2.2. Abordagem Metodológica

5.2.2.1. Fontes de Dados

Os esgotos ou efluentes líquidos são fonte de emissão de CH_4 quando tratados ou dispostos anaerobicamente. Podem também ser fontes de emissão de N_2O , quando este gás é produzido pela decomposição de compostos nitrogenados presentes nos efluentes encaminhados aos corpos d'água. As emissões de CO_2 , embora existam, não são calculadas por serem de origem biogênica, seguindo o mesmo raciocínio explicado para as emissões de resíduos sólidos.

Tanto o tratamento dos esgotos quanto do lodo produzido, sob condições anaeróbias, resulta na produção de metano, sendo que a quantidade de gás produzida dependerá das características do esgoto/efluente, da temperatura e do tipo de tratamento empregado. O principal fator determinante da geração de metano é a quantidade de matéria orgânica degradável encontrada, quantidade medida através da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e da demanda química de oxigênio (DQO). Quanto maior a DBO ou DQO, maior a produção de metano. Em relação à temperatura, a produção do metano aumenta proporcionalmente ao aumento desta, principalmente em climas quentes e em sistemas sem o controle adequado deste parâmetro.

O óxido nitroso está associado à degradação dos componentes nitrogenados presentes no esgoto/efluente (ureia, nitrato e proteínas) e aos processos que envolvem o tratamento, principalmente nos sistemas terciários, que são capazes de remover estes compostos nitrogenados. Emissões diretas de N_2O são geradas tanto nos processos de nitrificação (processo aeróbio que converte amônia e outros compostos nitrogenados em nitrato – NO_3) e denitrificação (processo anaeróbio em que o nitrato é convertido em nitrogênio gasoso – N_2), pois são um produto intermediário de ambos os processos. As emissões de N_2O podem ocorrer tanto nas plantas de tratamento quanto no corpo d'água receptor deste esgoto/efluente.

O Tabela 65 apresenta uma síntese das fontes de emissão e respectivos GEEs provenientes dos efluentes líquidos.

Tabela 65 – Emissões de CH₄ e N₂O no tratamento dos efluentes líquidos

Tipos de Tratamento e Disposição			Potencial de Emissões de CH ₄ e N ₂ O	
Coletado	Sem Tratamento	Lançamento em rios	Rios e lagos estagnados podem apresentar condições de anaerobiose e produzir metano. Rios, lagos e estuários são fontes prováveis de N ₂ O.	
		Coletores (fechados e subterrâneos)	Não são fontes de CH ₄ e N ₂ O	
		Céu aberto	Coletores de esgotos, valas e canais parados e saturados são fontes significativas prováveis de CH ₄ .	
	Com Tratamento	Tratamento Aeróbico	ETEs aeróbicas	Podem produzir quantidades limitadas de CH ₄ em bolsões anaeróbicos e quando mal projetadas ou mal dimensionadas. ETEs com sistemas avançados de remoção de nutrientes (nitrificação e desnitrificação) são fontes de N ₂ O.
			Tratamento anaeróbico de lodo em ETEs aeróbicas	O lodo pode ser uma fonte significativa de CH ₄ se o CH ₄ não for recuperado e queimado.
			Lagoas aeróbicas rasas	Fonte improvável de CH ₄ e N ₂ O. Sistemas mal projetados ou mal operados produzem CH ₄ .
		Tratamento Anaeróbico	Lagoas anaeróbicas	Fonte provável de CH ₄ . Não é fonte de N ₂ O
			Reatores anaeróbicos	Podem ser fonte significativa de CH ₄ se o CH ₄ não for recuperado e queimado.
			Fossas sépticas	Remoção freqüente de sólidos reduz as emissões de CH ₄ .
Sem Coleta	Latrinas abertas	Provável fonte de CH ₄ quando a temperatura e tempo de retenção são favoráveis.		
	Lançamentos em rios	Ver acima.		

Fonte: IPCC (2006)) adaptado pelos autores.

Os dados sobre quantidades de efluentes tratados em estações de tratamento foram obtidos da CEDAE. Informações sobre efluentes não enviados às ETEs e destinados de outras formas foram obtidas através dos dados contidos na PNAD. Foi considerado que a soma da população não atendida por nenhum tipo de esgotamento sanitário, atendida por outra destinação que não especificada pelo IBGE, e a que possui rede coletora, mas não é atendida por sistemas de tratamento (isto é, subtraindo a população atendida pelas ETEs) despeja seu esgoto *in natura* em corpos hídricos.

Não havia dados específicos sobre a carga orgânica dos efluentes tratados em algumas ETEs, que possibilita a obtenção de uma DBO_5 específica, sendo assim, para estas ETEs utilizou-se o valor padrão do último inventário nacional (BRASIL, 2010), conforme recomenda a NBR 12.209:1992 para demanda bioquímica de oxigênio per capita para os efluentes domésticos no Brasil, que é de 0,054 kg/pessoa/dia. Para as ETEs da área de planejamento 5 (AP5), dados de DBO_5 foram fornecidos pela Foz Águas 5. O valor padrão do inventário nacional também foi adotado para as demais formas de disposição (fossas e despejo in natura). Para as formas de separação e tratamento do lodo nas ETEs, onde houve situações de tratamento apenas químico ou aeróbio (com baixa ou nenhuma emissão de metano), utilizou-se o valor zero para a fração de matéria orgânica removida como lodo.

A produção de metano associada ao tratamento de efluentes industriais deve ser contabilizada somente levando em conta os efluentes com alto teor de carga orgânica, tratados sob condições anaeróbias (IPCC, 2006). As indústrias com maior potencial de geração de metano no tratamento anaeróbio de seus efluentes são as de fabricação de papel e celulose, abatedouros e estabelecimentos de processamento de carnes, indústrias de bebidas e alimentos, refinarias de açúcar, álcool e petróleo, indústrias que trabalham com compostos químicos orgânicos, lavanderias/tinturarias, fábricas de sabão e detergentes e fábricas de tintas e resinas.

Para possíveis emissões da indústria, devido à falta de informações detalhadas, foi adotada uma forma mais conservadora, de modo que estas emissões não fossem excluídas do inventário. Para o cálculo das emissões de efluentes domésticos e comerciais, o fator I da equação (Equação 36) equivale a um fator de correção para descarte de DBO industrial na rede coletora, correspondendo a 1,25 para efluente industrial coletado e 1 para não coletado, segundo os valores padrões do IPCC (v. 5, c. 6, 2006). Sendo assim, considerando de maneira arbitrária que todo o efluente industrial do Município do Rio de Janeiro fosse para as redes coletoras e destas para estações de tratamento, estimou-se as emissões dos efluentes industriais do Município, sendo apenas o somatório do que vai para as redes coletoras, como a diferença entre as emissões oriundas dos efluentes que vão para as redes com DBO industrial adicional ($I = 1,25$) e sem ($I = 1$).

As emissões diretas de óxido nitroso (N_2O), que são as oriundas das plantas de tratamento, podem ser consideradas como uma fonte insignificante para o Município do Rio. Estas emissões só devem ser consideradas importantes em regiões que possuem predominantemente sistemas de tratamento de nível terciário, que

englobam processos de nitrificação e desnitrificação. Sendo assim, serão tratadas aqui apenas as emissões indiretas de N₂O, oriundas dos efluentes descartados em ambientes aquáticos e do tratamento em fossas. Para o cálculo dessas emissões, é necessário saber o consumo de proteína da população. Como não há valores específicos sobre este consumo na Cidade do Rio de Janeiro, utilizou-se o valor adotado no II Inventário Nacional, de 84,5 gramas/dia/habitante (BRASIL, 2010).

Na Tabela 66, encontram-se as estações de tratamento gerenciadas pela CEDAE e pela Foz Águas 5, que atendem ao Município do Rio de Janeiro, e que estavam em operação no ano de 2012, assim como os volumes de efluentes tratados e formas de tratamento neste mesmo ano.

Tabela 66 – Estações de tratamento de esgotos (ETE) que atendem ao Município do Rio de Janeiro

	ETE	Volume tratado em 2012 (m ³)	Tecnologia empregada	Lodo gerado (t)	Tratamento do lodo	População atendida	Pop (%)
CEDAE	Paquetá	755.837	lodos ativados			11.489	0,2
	Barra da Tijuca	30.921.018	decantador primário e emissário		estabilização química e secagem térmica	470.013	7,4
	Vargem Grande	200.738	lodos ativados		lodo ativado	3.051	0,05
	Vargem Pequena	359.687	lodos ativados		lodo ativado	5.467	0,1
	Novo Horizonte I	196.412	lodos ativados		lodo ativado	2.986	0,05
	Novo Horizonte II	168.295	lodos ativados		lodo ativado	2.558	0,04
	Pavuna	4.133.221	lodos ativados	82	estabilização química e secagem térmica	62.827	1,0
	Pavuna (Valo Oxidação)	42.101	lodos ativados variante aeração		lodos ativados variante aeração	640	0,01
	Ilha do Governador	11.473.740	lodos ativados	59	estabilização biológica em biodigestores, centrifugação e secagem térmica ou leito	174.406	2,7
	Alegria	44.348.897	lodos ativados	2.562	estabilização biológica em biodigestores e centrifugação	674.123	10,5
	Penha	19.881.807	lodos ativados	1.550	estabilização biológica em biodigestores e centrifugação	302.212	4,7
	Uruçanga	37.676	lodos ativados variante aeração		lodos ativados variante aeração	573	0,01

	ETE	Volume tratado em 2012 (m ³)	Tecnologia empregada	Lodo gerado (t)	Tratamento do lodo	População atendida	Pop (%)
Foz Águas 5	ESEI Ipanema	213.022.571	preliminar			3.238.036	63,9
	Sepetiba	1.901.650	lodos ativados			34.733	0,5
	Pedra de Guaratiba	1.261.440	UASB		Reator anaeróbico	23.040	0,4
	Vila do Céu	835.595	lodos ativados			15.262	0,2
	Nova Cidade	1.017.912	lodos ativados			18.592	0,3
	Vilar Carioca	408.800	lodos ativados			7.467	0,1
	Catiri	93.663	lodos ativados			1.711	0,03
	Deodoro	2.192.920	lodos ativados			40.053	0,6
	TOTAIS	333.253.979		4.253		5.089.239	79,6
POPULAÇÃO TOTAL DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO						6.390.290	100

Fonte: CEDAE (2013); Foz Águas 5 (2013).

O tratamento de esgotos nestas ETEs é secundário, exceto na ETE Barra da Tijuca (tratamento primário) e no Emissário de Ipanema (tratamento preliminar). Não há tratamento terciário nas ETEs que atendem ao Município do Rio de Janeiro. Segundo a CEDAE, o esgoto coletado atualmente que recebe tratamento é processado por sistemas aeróbios.

Quanto ao lodo produzido²⁷, a CEDAE informou que 4.253 toneladas de lodo das ETEs foram destinadas a aterros. Somente na ETE Alegria, o lodo resultante passou por sistemas químicos ou anaeróbios de tratamento. Neste caso ocorre liberação de metano nesta etapa do processo, que é queimado em flares, a uma vazão de 300 m³/h, com teor de metano no biogás de 70%. A eficiência do flare não foi medida, mas segundo documentos de projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo de países em desenvolvimento, como o Brasil, o valor tipicamente utilizado é de 20% em flare aberto.

²⁷ A falta de dados sobre geração de lodo para as demais estações de tratamento de esgotos é um indicador de possa estar havendo alguma subestimação nas emissões. No entanto, considerando que Alegria e Penha são as maiores ETEs, cujas emissões em virtude do lodo produzido são irrelevantes, é possível afirmar que o impacto causado pelas pelo acréscimo do lodo das demais ETEs no total das emissões do setor resíduos também será irrelevante.

Segundo a CEDAE, o aproveitamento de biogás na ETE Alegria conta com um gerador de 150 kW, a biogás limpo (sem água e H₂S) e outro de 65 kW bicomustível, que utiliza até 70% de biometano (melhoria do biogás limpo, depois de retirado o CO₂) consorciado a biodiesel de gordura. O maior gerador, que está ligado à subestação, poderia funcionar 24 h, com paradas programadas durante o ano para manutenção, o que permitiria o consumo de 75 m³ biogás/h (à razão de 500 m³ biogás/MWh). O menor poderia consumir 22,75 m³ biogás/h mas, por estar ligado somente à iluminação dos digestores e, assim, só funcionar à noite, sua demanda não supera 11 m³/h, totalizando o uso de 86 m³ biogás/h. O restante, ou seja, 214 m³/h é encaminhado para o flare, onde a eficiência de queima é de 20%, como já mencionado.

5.2.2.2. Cálculo das Emissões

Os passos para preparação do inventário das emissões de metano dos esgotos domésticos podem ser resumidos em:

- Estimar a carga orgânica total do efluente (Equação 36);
- Obter o fator de emissão para cada sistema ou caminho de tratamento/descarte do efluente;
- Utilizar a Equação 37 para estimar as emissões, ajustando se há remoção do lodo ou recuperação do metano e somando os resultados para cada sistema/caminho.

A quantidade total de material orgânico degradável contido no esgoto/efluente (COT) é função da população e da DBO gerada por pessoa e é expresso em kg de DBO/ano.

$$COT = P \times DBO \times 0,001 \times I$$

Equação 36

Onde:

- COT = carga orgânica total do efluente no ano do inventário, kg DBO/ano
- P = população no ano do inventário
- DBO = demanda bioquímica de oxigênio per capita no ano do inventário, g/pessoa/ano

- 0,001 = conversão de g DBO para kg DBO
- I = fator de correção para descarte adicional de DBO industrial na rede coletora

A equação geral para estimar as emissões de CH₄ de efluentes líquidos é a seguinte:

$$EmissõesCH_4 = (FE_j \times (COT - S)) - R$$

Equação 37

Onde:

- Emissões CH₄ = emissões no ano do inventário, em kg CH₄/ano
- FE_j = fator de emissão, em kg CH₄/kg DBO
- j = sistema ou caminho do tratamento/disposição
- COT = carga orgânica total no esgoto no ano do inventário, em kg DBO/ano
- S = componente orgânico removido como lodo no ano do inventário, em kg DBO/ano
- R = quantidade de metano recuperada no ano do inventário, em kg CH₄/ano

Os dados necessários para estimar as emissões de N₂O são o conteúdo de nitrogênio no efluente, a população e a geração per capita média anual de proteína (kg/pessoa/ano). Esta geração de proteína per capita consiste no consumo humano, multiplicado por fatores que contabilizam a proteína não consumida e a proteína descartada por indústrias nos sistemas de esgotos. Para estes fatores foram utilizados os valores padrões do IPCC (2006) para os países em desenvolvimento da América do Sul. O padrão para proteína não consumida descartada nos esgotos é 1,1 e para fontes industriais e comerciais é 1,25. A partir destes dados, estima-se o nitrogênio total contido nos efluentes pela Equação 4.

$$N_{efluente} = (P \times Pr\ oteína \times F_{NPR} \times F_{n\tilde{a}o-con} \times F_{ind-com}) - N_{lodo}$$

Equação 38

Onde:

- N_{efluente} = total anual de nitrogênio no efluente, em kg N/ano
- P = população
- Proteína = consumo de proteína per capita anual
- F_{NPR} = fração de nitrogênio na proteína (padrão = 0,16 kg N/kg proteína)
- $F_{\text{não-con}}$ = fator para proteína não consumida adicionada ao efluente
- $F_{\text{ind-com}}$ = fator para proteína descartada pela indústria e comércio no seu efluente
- N_{lodo} = nitrogênio removido com o lodo (padrão = 0 kg N/ano)

A equação geral simplificada para calcular as emissões de N_2O é a seguinte:

$$EmissõesN_2O = N_{\text{efluente}} \times FE_{\text{efluente}} \times \frac{44}{28}$$

Equação 39

Onde:

- Emissões N_2O = emissões no ano do inventário, em kg N_2O /ano
- N_{efluente} = nitrogênio presente no efluente descartado no ambiente aquático, em kg N/ano
- FE_{efluente} = fator de emissão, em kg N_2O -N/kg N
- 44/28 é o fator equivalente à conversão de kg N_2O -N em kg de N_2O

O fator de emissão para um sistema ou caminho de tratamento e disposição de esgotos é função do potencial máximo de produção de metano (B_0) e do fator de correção do metano (FCM) para aquele sistema. O B_0 é a quantidade máxima de metano que pode ser produzido por uma dada quantidade de carga orgânica contida no efluente (kg CH_4 /kgDBO) e o FCM indica a capacidade de produção de metano em cada tipo de sistema ou caminho de tratamento e disposição.

$$FE = B_0 \times FCM$$

Equação 40

Não havendo valores específicos do Município do Rio de Janeiro para o potencial máximo de produção de metano (B_0), foi adotado o valor padrão de 0,6 kg CH_4 /kgDBO dado pelo IPCC (2006). A partir dos valores fornecidos pelo IPCC

(2006) para o FCM, de acordo com os tipos de destinações identificados no Município, foram utilizados como fatores de emissão (FE) os valores calculados, apresentados na Tabela 67.

Tabela 67 – Fatores de Correção do Metano (FCM) e respectivos Fatores de Emissão (FE)

Tipo de tratamento ou descarte	FCM	FE
Descarte em rios, mar ou lagoas/lagos	0,10	0,06
Valões estagnados	0,50	0,30
Valões com fluxo ou rede de coleta	0,00	0,00
Planta de tratamento aeróbica, centralizada (bem operada)	0,00	0,00
Planta de tratamento aeróbica, centralizada (mal operada ou saturada)	0,20	0,12
Digestor anaeróbico para lodo	0,80	0,48
Reator anaeróbico	0,80	0,48
Lagoa rasa anaeróbica	0,00	0,00
Lagoa profunda anaeróbica	0,80	0,48
Fossas sépticas	0,50	0,30
Latrina (clima seco, lençol freático profunda, famílias pequenas)	0,05	0,03
Latrina (clima seco, lençol freático profundo, uso comum por várias pessoas)	0,40	0,24
Latrina (clima úmido, lençol freático raso)	0,70	0,42
Latrina (remoção periódica do sedimento para uso como fertilizante)	0,10	0,06

Fonte: IPCC (2006) e autores.

A adaptação dos valores padronizados do IPCC (2006) para as formas de tratamento de esgotos na cidade do Rio de Janeiro são apresentadas na Tabela 68.

Tabela 68 – Fatores de Correção do Metano (FCM) e respectivos Fatores de Emissão (FE) aplicados ao tratamento de esgotos e lodos na cidade do Rio de Janeiro

Destinação Final	Tratamento	FCM	FE
Descarte em rios, mar ou lagoas/lagos		0,10	0,06
	Fossas sépticas	0,5	0,3
ETE Paquetá	lodo ativado	0	0
ETE Barra da Tijuca	primário	0,10	0,06
ETE Vargem Grande	lodo ativado	0	0
ETE Vargem Pequena	lodo ativado	0	0
ETE Novo Horizonte I	lodo ativado	0	0
ETE Novo Horizonte II	lodo ativado	0	0
ETE Pavuna	lodo ativado	0	0

Destinação Final	Tratamento	FCM	FE
ETE Pavuna (Valo Oxidação)	lodo ativado	0	0
ETE Ilha do Governador	biodigestor anaeróbico	0,80	0,48
ETE Alegria	biodigestor anaeróbico	0,80	0,48
ETE Penha	biodigestor anaeróbico	0,80	0,48
ETE Uruçanga	lodo ativado	0	0
ESEI Ipanema	preliminar	0,10	0,06
ETE Sepetiba	lodo ativado	0	0
ETE Pedra de Guaratiba	Reator anaeróbico UASB	0,80	0,48
ETE Vila do Céu	lodo ativado	0	0
ETE Nova Cidade	lodo ativado	0	0
ETE Vilar Carioca	lodo ativado	0	0
ETE Catiri	lodo ativado	0	0
ETE Deodoro	lodo ativado	0	0

Fonte: Autores, baseado em IPCC (2006).

5.3. Resultados e Discussão

5.3.1. Emissões e Remoções Antrópicas de GEE do Ano de 2012

O inventário de emissões de GEE do ano de 2012 para o setor de resíduos do Município do Rio de Janeiro considerou as emissões calculadas no inventário de 2005 (ano de 2004 para trás) e as emissões recentes, de 2005 a 2012. Os cálculos foram feitos para cada local de tratamento e disposição final, portanto, para todos os aterros localizados dentro do Município e aterros localizados fora, que recebem resíduos do Município, para a usina de compostagem, para a usina térmica e para cada estação de tratamento de esgotos e emissários submarinos. O aterro de Nova Iguaçu (outros aterros) localizado fora do Município, possui sistema de captura de biogás, no entanto, as informações sobre o metano recuperado neste aterro não foram fornecidas, além disso, como este aterro recebe resíduos de toda a região metropolitana, seria difícil separar o biogás devido apenas aos resíduos da cidade do Rio.

Aplicando-se a metodologia para as diversas formas de tratamento de resíduos, conforme detalhado nos itens anteriores, obteve-se as emissões líquidas de metano e óxido nitroso de cada destino, em t CO₂, t CH₄, t N₂O e GgCO₂e. Os resultados são apresentados na Tabela 69.

Tabela 69 – Emissões líquidas de GEE dos resíduos sólidos e efluentes líquidos da cidade do Rio de Janeiro em 2012

Destino Final	Emissões de Dióxido de Carbono (tCO ₂)	Emissões totais de metano (tCH ₄)	Emissões líquidas de metano (tCH ₄)	Emissões de óxido nitroso (tN ₂ O)	Emissões líquidas (GgCO ₂ e)
Resíduos Sólidos	443,40	92.439,14	81.226,11	1,26	1.706,58
Resíduos Sólidos Urbanos		89.656,57	78.443,54	1,24	1.647,70
Aterro Controlado		81.337,93	70.513,22		1.480,78
Aterro Sanitário		8.302,11	7.913,79		166,19
Compostagem		16,53	16,53	1,24	0,73
Resíduos de Saúde		301,62	301,62		6,33
Incineração	443,40			0,02	0,45
Resíduos Industriais		2.480,95	2.480,95		52,10
Esgotos e Efluentes		25.498,80	24.933,30	324,70	624,26
Esgotos Res + Com		21.635,40	21.069,90	272,60	526,97
ETE		15.453,70	14.888,20	217,10	379,95
Fossa Séptica		5.803,80	5.803,80	41,90	134,87
Lançado <i>in natura</i>		377,90	377,90	13,60	12,15
Efluentes Industriais		3.863,40	3.863,40	52,10	97,28
TOTAL RESÍDUOS	443,40	117.937,94	106.159,41	325,96	2.330,84

Fonte: Autores.

A tabela acima apresenta as emissões líquidas, pois considera a captura de metano. Considerando o peso específico do metano, de 0,716 kg/m³, a massa de metano recuperado e queimado foi de 388.328,3 kg em Seropédica e de 11.196.760,7 kg em Gramacho, num total de 11,6 mil toneladas de metano em 2012. Na ETE Alegria, obteve-se a recuperação de 565,5 toneladas de CH₄ (12,0 Gg CO₂e).

Consolidando todos os resultados, o setor de resíduos foi responsável pela emissão de mais de 2,3 milhões de toneladas de CO₂ equivalentes em 2012. O

principal gás emitido foi o CH₄, seguido pelo N₂O e, por último, o CO₂. A síntese das emissões por fonte e escopo é apresentada na Tabela 70.

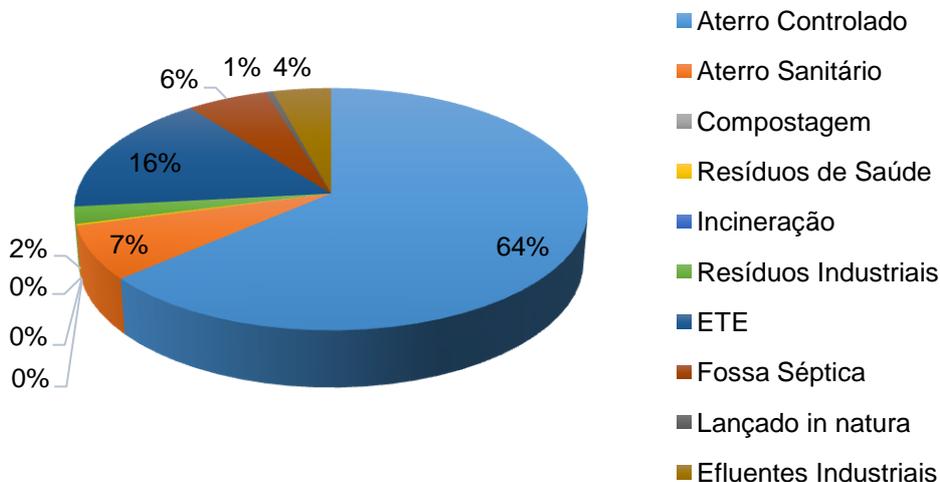
Tabela 70 – Emissões líquidas por fonte do setor resíduos no município do Rio de Janeiro em 2012

Tipo de Resíduo	Fonte de Emissão	Emissões (GgCO ₂ e)		
		Escopo 1	Escopo 3	Soma (1 + 3)
Resíduos Sólidos	Aterro Sanitário	-	166,19	166,19
	Urbano			
	Aterro Controlado	463,00	1.017,80	1.480,80
	Compostagem	0,73	-	0,73
	Incineração	0,45	-	0,45
	Industriais	-	52,10	52,10
	Serviços de Saúde	-	6,33	6,33
	SubTotal	464,17	1.242,42	1.706,58
Esgotos e Efluentes	Res+Com	526,97	-	526,97
	Industriais	97,28	-	97,28
	Sub Total	624,26	0,00	624,26
TOTAL		1.088,43	1.242,42	2.330,84

Fonte: Autores

No caso do subsetor de resíduos sólidos não ocorrem emissões do escopo 2. As emissões dos tratamentos térmico e biológico são ambas no escopo 1. Já para aterramento, há emissões no escopo 3, pois os aterros de Gramacho, Seropédica e Nova Iguaçu situam-se fora dos limites do município do Rio de Janeiro.

A Figura 26 a seguir apresenta o percentual de emissões em carbono equivalente de todas as fontes emissoras, aterro sanitário, aterro controlado, compostagem, incineração, ETE, fossa, lançamento in natura e o tratamento de resíduos sólidos e efluentes industriais e resíduos de serviços de saúde.



Fonte: Autores.

Figura 26 – Distribuição percentual das emissões de gases estufa no setor de tratamento de resíduos do município do Rio de Janeiro em 2012.

É evidente que o aterramento, seja controlado ou sanitário, é a maior fonte de emissões de gás de efeito estufa de todo o setor de resíduos, respondendo por cerca de 70% das emissões, seguido dos tratamentos dos esgotos domésticos e comerciais (ETEs e fossas). Considerando que os resíduos sólidos industriais considerados correspondem à fração classe II-A que vai para aterro, as demais formas de tratamento de resíduos – incineração, compostagem e térmico – somadas, não correspondem nem a 1% do total das emissões, o que mostra o quanto o setor precisa evoluir em termos de tecnologia empregada ao tratamento de resíduos, não somente pelo incremento da recuperação do biogás para queima ou aproveitamento do metano, mas também pela ampliação das usinas para geração de energia e aproveitamento do metano para fins veiculares.

5.3.2. Comparação dos Resultados com Inventários Anteriores de 1996, 1998 e 2005

Para visualizar a tendência das emissões do setor de resíduos, foi realizada uma comparação com as emissões dos inventários de emissões de GEE do município do Rio de Janeiro dos anos 1996, 1998 e 2005, apresentadas pela SMAC em 2010. As comparações das emissões de carbono de cada ano encontram-se na Tabela 71. Os inventários de 1996 e 1998 já haviam sido recalculados em 2010 para se

adequarem à metodologia aplicada ao ano de 2005 e, assim, os resultados serem comparáveis. Para o ano de 2005, ano base da legislação municipal sobre mudanças climáticas, também foram aplicadas revisões em função de mudanças metodológicas e do aprimoramento nos dados utilizados em 2012. Foi considerada a revisão da comunicação nacional sobre o fator de emissão das fossas, que passou de 0,125 para 0,3, conforme também aplicado para 2012. Também foi revisado o consumo de proteína empregado nos cálculos de 2005, já que para este ano foi possível utilizar o valor recomendado pela última comunicação nacional.

Tabela 71 – Comparativo das emissões do setor resíduos dos inventários anteriores em mil toneladas de dióxido de carbono equivalente (ou GgCO₂e)

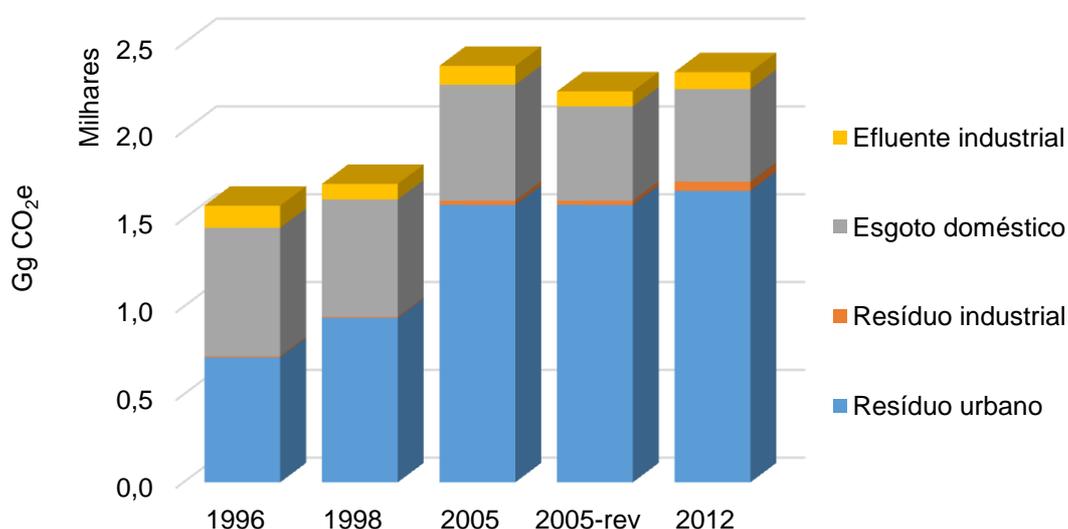
Destino Final	1996	1998	2005	2005-rev	2012
Resíduo urbano	712,50	937,20	1.580,30	1.580,30	1.647,70
Resíduo industrial	6,40	6,20	24,30	24,30	52,10
Esgoto doméstico	730,80	667,50	659,10	536,60	526,97
Efluente industrial	126,30	88,60	108,80	85,92	97,28
Total Setor Resíduos	1.576,00	1.699,50	2.372,50	2.227,12	2.330,84

Fonte: Autores.

Com todos os resultados consolidados o que se pode concluir para o setor resíduos é que há uma tendência de aumento entre os resultados do primeiro ao último inventário. No entanto, é necessário frisar que nos primeiros anos não se calculou as emissões do tratamento de resíduos sólidos industriais e efluentes industriais, mas somente em 1998 se calculou para efluentes industriais. Importante também ressaltar que mesmo nos inventários recentes, 2005 e 2012, tanto para resíduos quanto para efluentes, o cálculo das emissões para o setor industrial é feito baseado em estimativas e não em dados reais, o que aumenta as incertezas. As emissões de 2005 revisadas são menores que as obtidas originalmente devido à redução do valor de consumo de proteína. Em 2010, quando da elaboração do inventário de 2005, baseou-se em dados do IBGE de consumo de carne, laticíneos e derivados para se estimar este valor no Município do Rio de Janeiro, o que foi superestimado, já que assumiu-se a totalidade do alimento consumido e não o conteúdo exato de proteína, por não se dispor desta informação. Para 2012, foi possível utilizar o valor recomendado pela última comunicação nacional, que apesar de ser uma média nacional, se mostrou um valor mais próximo da realidade.

Com relação aos aterros que recebem os resíduos do Município do Rio de Janeiro, não seria adequado calcular as emissões considerando que os de Bangu e

Gramacho possuíam condições 100% anaeróbias e, portanto, adotando fatores de emissão altos. Entretanto, também não seria prudente usar um fator muito baixo, já que estes aterros não são mais lixões a céu aberto, como eram no início. Mesmo considerá-los totalmente controlados na década de 1990 não seria dequado, pois havia muito lixo disposto a céu aberto, com catadores, oxidação com queima espontânea e outras características intrínsecas aos lixões. Os demais aterros, Seropédica e Nova Iguaçu, foram considerados sanitários. A Figura 27 apresenta mais claramente essas tendências.



Fonte: Autores.

Figura 27 – Evolução das emissões do setor resíduos por fonte geradora em gigagramas de dióxido de carbono equivalente.

Analisando a tendência das emissões a partir da figura 28, percebe-se que o ano de 2012 apresenta um ligeiro aumento nas emissões em relação às emissões revisadas de 2005, enquanto entre 2005 e 1998 houve um aumento relevante, apesar do intervalo de tempo entre os inventários de 1998 – 2005 e 2005 – 2012 ser o mesmo. Uma série de aspectos pode justificar esta diferença, desde variações no crescimento da economia e população ou mesmo (e mais provável) pelo fato de uma maior e melhor disponibilidade de informações para os cálculos de 2005 e 2012. Os inventários anteriores, por exemplo, se basearam numa taxa de produção de lixo diária per capita bem acima das atuais, por terem sido construídas em função dos

resíduos que chegam aos aterros e unidades de tratamento, uma vez que a estimativa de produção era praticamente impossível.

Por fim, em relação aos esgotos domésticos, há de se ressaltar que no inventário de 2005 pode ter havido superestimativa em função de se adotar uma aproximação mais conservadora pela falta de dados, considerando que todo esgoto coletado era tratado por digestão anaeróbia. No presente inventário foi possível investigar melhor, verificando que na maioria das ETEs o tratamento é feito por aeração com lodos ativados, que não geram gases estufa pois os sistemas são aeróbios. Para algumas ETEs que recebem esgotos de outros municípios, também foi possível neste ano obter dados desagregados e isolar apenas os do Município do Rio de Janeiro.

Ainda que tenham ocorrido recuperações de metano nos aterros de Gramacho, Seropédica, Nova Iguaçu e na ETE Alegria, essas recuperações não foram suficientes para que as emissões em 2012 fossem menores que em 2005. Uma vez que a tendência é de ampliação do sistema de saneamento da cidade, é de se esperar que as emissões continuem aumentando, caso não sejam empregados mais esforços para aumentar a recuperação do biogás gerado ou adotadas tecnologias menos geradoras de gases estufa, como usinas de compostagem de orgânicos, usinas térmicas para geração de eletricidade ou mesmo uso veicular do metano recuperado e incremento da reciclagem.

6. Análise Consolidada dos Resultados

6.1. Resultados Consolidados das Emissões do Município do Rio de Janeiro em 2012

Na Tabela 72, a seguir, encontram-se os valores totais obtidos no Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Município do Rio de Janeiro. Os valores estão contabilizados por fontes de emissão e por cada gás, sendo que o somatório encontra-se em dióxido de carbono equivalente.

Tabela 72 – Emissões totais do Município do Rio de Janeiro, em 2012, por GEE (Gg).

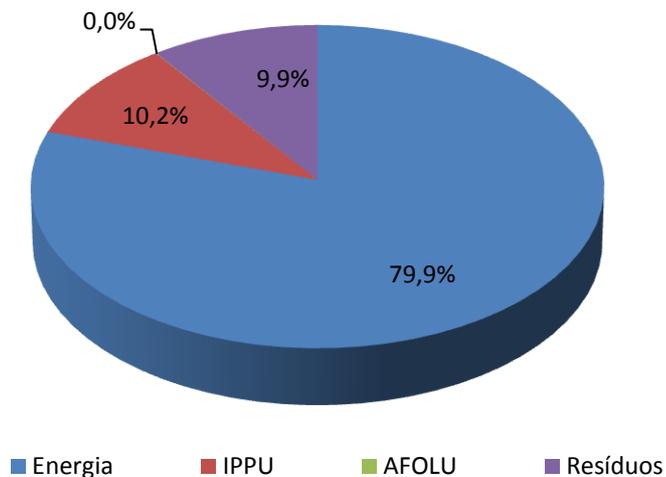
Gg	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e
ENERGIA	17.751,87	45,97	0,48	18.865,15
Energético (Transform. e Distrib.)	2.874,19	0,92	0,01	2.896,08
Produção de Coque	1.085,20	0,00	0,00	1.085,20
Refino	248,57	0,91	0,00	268,35
Outros consumos Setor Energético	47,11	0,00	0,00	47,16
Perdas de distribuição eletricidade	1.493,31	0,01	0,01	1.495,37
Residencial	1.981,71	0,02	0,01	1.984,12
Comercial/Serviços	1.593,05	0,01	0,01	1.595,26
Público	549,17	0,00	0,00	549,96
Agropecuário	0,66	0,00	0,00	0,66
Transporte	7.127,14	2,78	0,45	7.324,59
Rodoviário	5.374,37	2,73	0,40	5.555,76
Ferroviano	90,31	0,00	0,00	90,85
Aéreo	1.650,38	0,05	0,05	1.665,80
Hidroviário	12,07	0,00	0,00	12,18
Indústria	2.664,58	0,02	0,00	2.666,32
Extração e tratamento de minerais	2,08	0,00	0,00	2,08
Minerais não metálicos	21,04	0,00	0,00	21,07
Metalúrgico	1.457,46	0,01	0,00	1.457,75
Papel e celulose	0,02	0,00	0,00	0,02
Química	122,95	0,00	0,00	123,06
Têxtil	0,78	0,00	0,00	0,78
Produtos alimentícios	4,35	0,00	0,00	4,36
Bebidas	67,36	0,00	0,00	67,42
Outras indústrias	22,42	0,00	0,00	22,48
Sem especificação/não identificadas	966,12	0,01	0,00	967,29
Emissões fugitivas	961,36	42,23	0,00	1.848,16
Emissões fugitivas Refino	39,95	0,05	0,00	41,00
Emissões fugitivas Siderurgia	921,41	38,36	0,00	1.727,03
Emissões fugitivas Distribuição de gás natural	0,00	3,82	0,00	80,12
IPPU	2.329,74	0,18	0,21	2.398,33

Gg	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e
Processos industriais	2.300,52	0,18		2.304,25
Produção de vidro	4,35			4,35
Produção de metanol	18,58	0,18		22,30
Produção de aço	2.277,60			2.277,60
Uso de produtos	29,21		0,21	94,08
Uso de lubrificantes	29,07			29,07
Uso de parafinas	0,14			0,14
Uso de óxido nitroso			0,21	64,86
AFOLU	-9,83	0,51	0,02	8,59
Mudança do Uso do Solo	-11,64			-11,64
Agricultura	1,81		0,01	4,86
Correção de solos agrícolas	1,81		0,01	4,86
Pecuária	0,00	0,51	0,01	15,36
Fermentação Entérica		0,48		10,11
Manejo de Dejetos		0,03	0,01	5,25
RESÍDUOS	0,44	106,16	0,33	2.330,84
Resíduos Sólidos	0,44	81,23	0,00	1.706,58
Resíduos Sólidos Urbanos		78,44	0,00	1.647,70
Resíduos de Saúde		0,30		6,33
Incineração	0,44		0,00	0,45
Resíduos Industriais		2,48		52,10
Esgotos e Efluentes	0,00	24,93	0,32	624,26
Esgotos Res + Com		21,07	0,27	526,97
Efluentes Industriais		3,86	0,05	97,28
TOTAL	20.072,22	152,82	1,04	23.602,90
Bunkers	1.611,50	0,02	0,05	1.626,10
Total com Bunkers	21.683,72	114,48	1,08	25.229,00
CO₂ Biogênico (Etanol e Biodiesel)	602,25			

Nota: zeros significam valores marginais, em branco significa que não houve emissão. Inexatidão deve-se a arredondamentos.

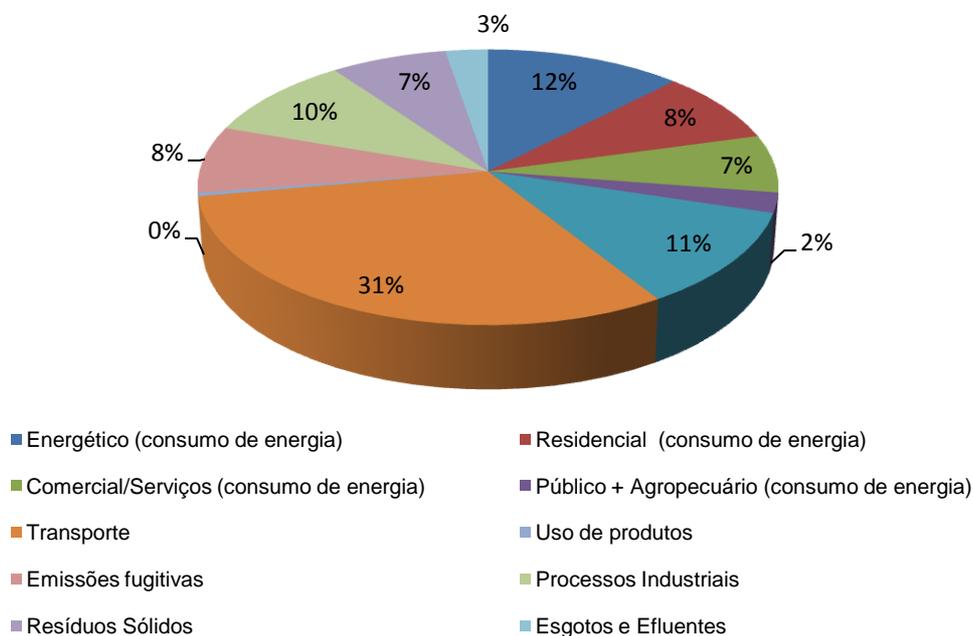
Fonte: autores

As Figura 28 e Figura 29 mostram a participação dos grandes setores nas emissões totais do Município do Rio de Janeiro em 2012. Percebe-se que o setor de Energia continua sendo o setor mais importante, responsável por quase 80% das emissões. Considerando os setores de maneira mais detalhada, transportes é o setor mais emissor, respondendo por 31% das emissões, seguido pelo consumo do setor energético (12%) e consumo de energia na indústria (11%).



Fonte: Autores.

Figura 28 – Participação dos grandes setores nas emissões de GEE totais do Município do Rio de Janeiro em 2012.



Os demais setores – uso de energia na agropecuária, uso de produtos industriais, mudança de uso do solo e atividades agropecuárias – somados, não chegam a 1% das emissões.

Fonte: Autores.

Figura 29 – Participação dos subsetores nas emissões de GEE totais do Município do Rio de Janeiro em 2012.

As Emissões de GEE da TKCSA

Siderúrgicas, principalmente da rota integrada, são indústrias intensivas em energia e no uso de materiais carbonosos como agentes redutores. A transformação por oxirredução do minério de ferro em ferro metálico é feita através de processos físico-químicos que, necessariamente, liberam CO₂. Dada a natureza do empreendimento e a baixa industrialização do Município, um aumento nas emissões de GEE da cidade devido à instalação da TKCSA – ThyssenKrupp Companhia Siderúrgica do Atlântico já era, portanto, esperado.

Uma parte significativa das emissões de carbono da TKCSA está associada à geração de eletricidade em sua unidade termelétrica (UTE), realizada a partir do reaproveitamento do conteúdo energético do gás residual gerado nos altos fornos. O reaproveitamento do conjunto dos gases residuais do processo, juntamente com a recuperação e aproveitamento do vapor da coqueria, permitem que a TKCSA seja totalmente autossuficiente em energia elétrica e ainda exportadora do excedente para outras indústrias localizadas em sua planta e para o Sistema Interligado Nacional (SIN). A energia disponibilizada ao SIN é suficiente para abastecer cerca de dois milhões de residências. No inventário de 2012 da TKCSA, as emissões relacionadas à venda de eletricidade para terceiros representaram cerca de 2,2 milhões de toneladas de CO₂e.

Além de coprodutos reaproveitados internamente, a TKCSA também destina resíduos carbonosos e não carbonosos para terceiros, que os utilizam como matéria-prima. Isso evita indiretamente emissões desses terceiros – o que, em inventários corporativos, pode ser considerado como abatimento de emissões. Destaca-se o caso da destinação da escória de alto-forno da TKCSA a uma indústria de cimento localizada dentro do complexo siderúrgico, para ser usada em substituição ao clínquer, que em 2012 evitou a emissão de 516 mil toneladas de CO₂e (conforme estimativa da TKCSA através de metodologia da WSA – World Steel Association).

Pelas suas características, a TKCSA apresenta a tecnologia mais atual de recuperação e reuso de energia, o que a projeta como a siderúrgica integrada de menor geração de GEE por tonelada de aço produzida. Em paralelo, a empresa possui ainda projeto de reflorestamento em área de 264 hectares do Parque Estadual da Pedra Branca, com objetivo de compensação parcial das emissões de GEE. Esse reflorestamento corresponde a mais do dobro do realizado na Floresta da Tijuca no século XIX.

No inventário das emissões de GEE da Cidade do Rio de Janeiro, as emissões de GEE da TKCSA foram contabilizadas da seguinte forma:

- As emissões da fabricação do coque (a partir do carvão metalúrgico) e as da geração de energia elétrica foram alocadas no Setor Energético (centros de transformação da energia), conforme as diretrizes do IPCC;
- As emissões da fabricação de sinter, do ferro gusa e do aço, na sinterização, nos altos-fornos e na aciaria, foram alocadas no setor de Processos Industriais e no de consumo energético (queima de combustíveis fósseis) da indústria metalúrgica.

O sequestro de carbono referente ao reflorestamento promovido pela TKCSA está computado no cálculo das emissões de AFOLU, conforme as diretrizes do IPCC: as emissões negativas do reflorestamento são descontadas das emissões positivas decorrentes do desmatamento e outras mudanças no uso do solo.

As emissões de GEE evitadas pelas demais medidas anteriormente mencionadas não aparecem diretamente no inventário da Cidade, devido à diferença de metodologia da apropriação das emissões de uma cidade e de um inventário corporativo. Porém, elas contribuíram para reduzir as emissões de GEE contabilizadas para fabricação de cimento e aço, pois processos mais emissores seriam utilizados no atendimento à demanda do mercado .

As emissões brutas de GEE da TKCSA em 2012 foram de 8,8 Mt CO₂e no sítio da usina (escopo 1), enquanto as emissões líquidas, obtidas pela diferença entre as emissões brutas e as evitadas, foram estimadas em 6,3 milhões de toneladas de CO₂e, para um nível de produção de 3,5 milhões de toneladas de aço bruto (aço líquido total produzido), no inventário corporativo entregue pela TKCSA ao INEA.

6.2. Emissões por Escopos

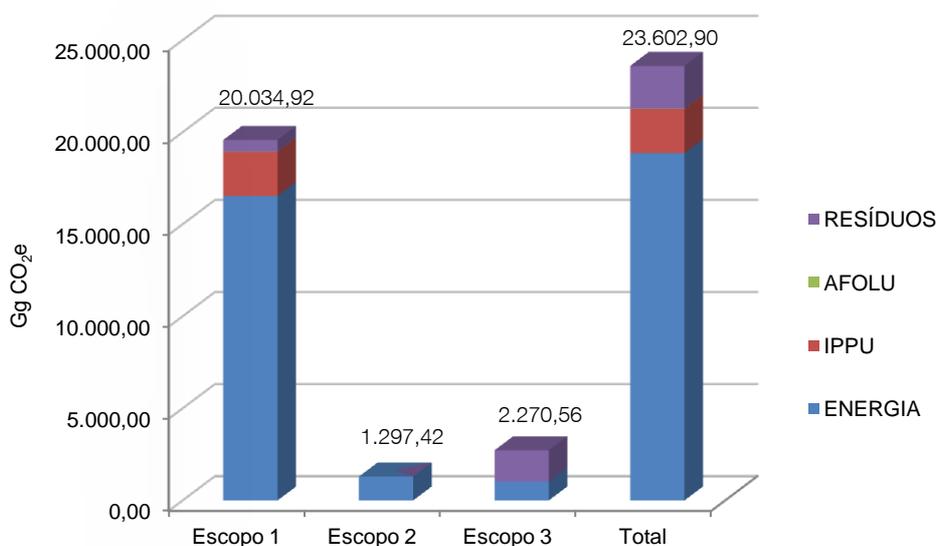
Em relação aos escopos, as emissões do Município do Rio de Janeiro podem ser categorizadas conforme a Tabela 73, abaixo. As emissões de escopo 2 correspondem à eletricidade importada através da rede elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN). As emissões de escopo 3 correspondem ao balanço nas emissões da cadeia de produção de etanol; às emissões fugitivas do carvão consumido pelo Município, mas que é explorado fora de suas fronteiras; e dos resíduos gerados pelo Município, mas levados para disposição em aterros fora de suas fronteiras.

Tabela 73 – Emissões de GEE do Município do Rio de Janeiro em 2012, por escopo (Gg CO₂e).

Gg CO ₂ e	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3	Total
ENERGIA	16.539,57	1.297,42	1.028,16	18.865,15
Energético (Transform. e Distrib.)	2.544,98	351,10	0,00	2.896,08
Produção de Coque	1.085,20	0,00	0,00	1.085,20
Refino	268,35	0,00	0,00	268,35
Outros consumos Setor Energético	43,01	4,14	0,00	47,16
Perdas de distribuição eletricidade	1.148,42	346,95	0,00	1.495,37
Residencial	1.667,50	316,62	0,00	1.984,12
Comercial/Serviços	1.249,23	345,65	0,37	1.595,26
Público	425,81	124,11	0,03	549,96
Agropecuário	0,52	0,14	0,00	0,66
Transporte	7.082,66	20,21	221,73	7.324,59
Rodoviário	5.336,33	0,00	219,43	5.555,76
Ferroviário	70,59	20,21	0,06	90,85
Aéreo	1.665,80	0,00	0,00	1.665,80
Hidroviário	9,94	0,00	2,24	12,18
Indústria	2.526,33	139,59	0,41	2.666,32
Emissões fugitivas	1.042,54	0,00	805,62	1.848,16
IPPU	2.398,33	0,00	0,00	2.398,33
Processos industriais	2.304,25	-	-	2.304,25
Produção de vidro	4,35	-	-	4,35
Produção de metanol	22,30	-	-	22,30
Produção de aço	2.277,60	-	-	2.277,60
Uso de produtos	94,08	-	-	94,08
Uso de lubrificantes	29,07	-	-	29,07
Uso de parafinas	0,14	-	-	0,14
Uso de óxido nitroso	64,86	-	-	64,86
AFOLU	8,59	0,00	0,00	8,59
Mudança do Uso do Solo	-11,64	-	-	-11,64
Agricultura	4,86	-	-	4,86
Correção de solos agrícolas	4,86	-	-	4,86
Pecuária	15,36	-	-	15,36
Fermentação Entérica	10,11	-	-	10,11
Manejo de Dejetos	5,25	-	-	5,25
RESÍDUOS	1.088,44	0,00	1.242,40	2.330,84
Resíduos Sólidos	464,18	-	1.242,40	1.706,58
Resíduos Urbanos (incluindo de saúde e incineração)	464,18	-	1.190,30	1.654,48
Resíduos Industriais	-	-	52,10	52,10
Esgotos e Efluentes	624,26	-	-	624,26
Esgotos Res + Com	526,97	-	-	526,97
Efluentes Industriais	97,28	-	-	97,28
TOTAL	20.034,92	1.297,42	2.270,56	23.602,90
Bunkers	1.626,10	0,00	0,00	1.626,10
Total com Bunkers	21.661,02	1.297,42	2.270,56	25.229,00
CO₂ Biogênico		602,25		

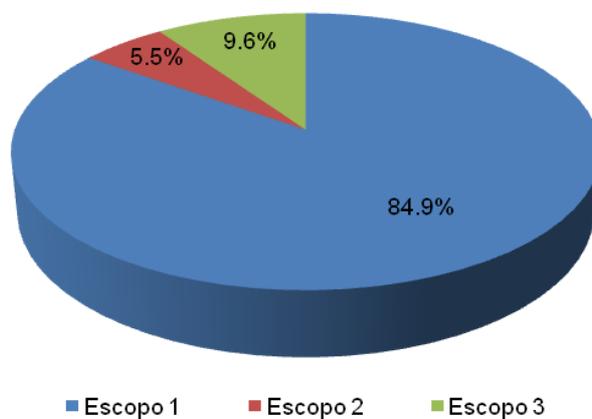
Fonte: Autores.

Percebe-se pela Figura 30 e Figura 31, que a maior parte das emissões do Município do Rio de Janeiro são emissões diretas, isto é, de escopo 1. No escopo 2 predomina o setor de energia por este representar as emissões indiretas da importação de eletricidade do *grid*. No escopo 3 destaca-se o setor de resíduos, já que o Município envia a maior parte de seus resíduos sólidos para ser tratado em aterros localizados em outros municípios.



Fonte: Autores.

Figura 30 – Emissões de GEE do Município do Rio de Janeiro, em 2012, por escopos (Gg CO₂e).



Fonte: Autores.

Figura 31 – Distribuição das emissões entre os escopos em 2012.

6.3. Comparação com o Ano-Base 2005

Conforme já mencionado nas discussões de cada setor, para alguns foi possível revisar e atualizar os valores de 2005 de acordo com novos dados mais confiáveis conseguidos ou por mudanças metodológicas (Tabela 74).

Tabela 74 – Emissões de GEE comparadas entre 2005 e 2012 (Gg CO₂e).

	2005	2005-rev	2012	Variação 2012/2005 (%)
ENERGIA	8.348,90	8.544,67	18.865,15	121%
Consumo do setor energético	0,00	195,05	2.896,08	1385%
Produção de coque*			1.085,20	
Refino			268,35	
Outros consumos			47,16	
Perdas na distribuição de eletricidade		195,05	1.495,37	667%
Residencial	795,60	795,60	1.984,12	149%
Comercial/serviços	319,20	319,20	1.595,26	400%
Público e outros (agropecuário)	210,90	210,90	550,62	161%
Transporte	5.478,20	5.478,20	7.324,59	34%
Indústria	1.416,40	1.416,40	2.666,32	88%
Emissões fugitivas – total	128,60	129,32	1.848,16	1329%
Emissões fugitivas Siderurgia*		-	1.727,03	
Emissões fugitivas Distribuição de GN	53,60	103,82	80,12	-23%
Emissões fugitivas Refino	75,00	25,50	41,00	61%
IPPU	409,79	409,79	2.398,33	485%
Processos industriais	393,02	393,02	2.304,25	486%
Produção de vidro	13,87	13,87	4,35	-69%
Produção de metanol	98,15	98,15	22,30	-77%
Produção de aço	130,60	130,60	2.277,60	1644%
Produção de alumínio**	150,40	150,40	-	
Uso de produtos	16,77	16,77	94,08	461%
Uso de lubrificantes	16,70	16,70	29,07	74%
Uso de parafina	0,07	0,07	0,14	105%
Uso de óxido nitroso			64,86	
AFOLU	220,60	220,60	8,59	-96%
Mudança do Uso do Solo	203,40	203,40	-11,64	-106%
Desmatamento	254,90	254,90	24,74	-90%
Reflorestamento	-51,50	-51,50	-36,38	-29%
Pecuária	14,70	14,70	15,36	5%
Fermentação Entérica	10,80	10,80	10,11	-6%
Manejo de Dejetos	3,90	3,90	5,25	35%
Agricultura	2,50	2,50	4,86	95%
Correção de solos agrícolas	2,50	2,50	4,86	95%
RESÍDUOS	2.372,50	2.227,12	2.330,84	5%
Resíduos sólidos	1.604,60	1.604,60	1.706,58	6%

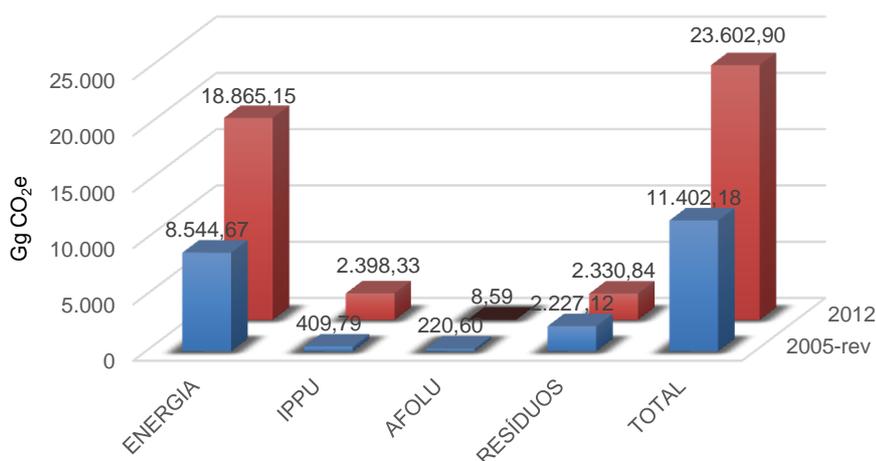
	2005	2005-rev	2012	Varição 2012/2005 (%)
Resíduos urbanos (inclui de saúde e incineração)	1.580,30	1.580,30	1.654,48	5%
Resíduo industrial	24,30	24,30	52,10	114%
Esgotos e Efluentes	767,90	622,52	624,26	0%
Esgoto doméstico e comercial	659,10	536,60	526,97	-2%
Efluente industrial	108,80	85,92	97,28	13%
TOTAL	11.351,79	11.402,18	23.602,90	107%
Bunker	531,10	531,10	1.626,10	206%
TOTAL com bunker	11.882,89	11.933,28	25.229,00	111%

* A atividade não existia no Município em 2005.

** A atividade não existe mais no Município atualmente.

Fonte: Autores.

Através da Figura 32 é possível visualizar o quanto as emissões dos grandes setores variaram entre os anos estudados. Percebe-se que o principal responsável pelo aumento nas emissões é o setor de energia, em função de novas atividades econômicas que estão ocorrendo no Município. O setor de processos industriais também teve um aumento relevante nas emissões, devido também a uma melhora importante na qualidade dos dados obtidos. Importante ressaltar que o setor de AFOLU teve uma redução importante nas emissões, graças aos esforços de redução de desmatamento e ao programa de reflorestamento da Prefeitura.



Fonte: Autores.

Figura 32 – Comparação entre as emissões recalculadas de 2005 e os resultados de 2012 (Gg CO₂e).

6.4. Análise de Indicadores

No que se refere ao conteúdo de carbono do PIB do Município do Rio de Janeiro, observa-se um aumento neste indicador, assim como na emissão per capita, conforme Tabela 75. Mas como a população do Município não cresceu significativamente, a emissão per capita quase duplicou. Entretanto, economicamente, o Município está crescendo e as emissões por PIB mostram um aumento que parecem refletir este crescimento.

Tabela 75 – Emissões de GEE, PIB e população no Município do Rio de Janeiro, 2005 e 2012.

	2005	2012	Variação 2005/2012 (%)
Emissões totais (milhões de toneladas de CO ₂ e)	11,40	23,60	107,0%
PIB (bilhões de reais a preços de 2012)*	167,00	225,67	35,1%
População (milhões de habitantes)	6,10	6,32	3,6%
Emissões totais/PIB (tCO ₂ e/ milhões de reais de 2012)	68,28	104,59	53,2%
Emissões totais per capita (tCO ₂ e/ habitante)	1,87	3,73	99,8%

*Valor estimado com base nos valores até 2010.

Fonte: Autores, com dados de PIB e População do IPP (2013).

7. Avaliação das Incertezas

Todo inventário possui um grau de incerteza tendo em vista tratar-se de estimativas e não de medições. Portanto, os valores encontrados para as emissões do Município do Rio de Janeiro estão sujeitas a incertezas seja pela imprecisão dos dados básicos, seja no que se refere aos fatores de emissão.

A própria análise da imprecisão das estimativas é pouco objetiva tendo em vista que para torná-la precisa, para cada item analisado seria necessário fazer uma avaliação tão pormenorizada que acabaria por reduzir todas as incertezas. Isto não é viável a curto prazo, nem relevante em toda a extensão dos itens analisados na medida em que o inventário é um instrumento de planejamento que visa identificar as atividades econômicas que merecem um estudo mais detalhado.

Para este propósito, as incertezas associadas a cada valor encontrado são meramente uma indicação de onde pode haver uma oportunidade de se investir em base de dados e aumento do conhecimento dos processos que originam as emissões de GEE e remoções de dióxido de carbono.

Tabela 76 – Avaliação das incertezas das estimativas do inventário de emissões de GEE.

Setores	GgCO ₂	GgCH ₄	GgN ₂ O
ENERGIA			
Setor energético	Média	Média	Média
Residencial	Média	Média	Média
Comercial	Média	Média	Média
Público	Média	Média	Média
Agropecuário	Média	Média	Média
Transporte	Média	Média	Média
Indústria	Média	Média	Média
Emissões fugitivas			
<i>Refino</i>	Média	Média	Média
<i>Siderurgia</i>	Baixa	Alta	-
<i>Distribuição de gás natural</i>	-	Média	-
IPPU			
<i>Produção de vidro</i>	Alta	-	-
<i>Produção de metanol</i>	Baixa	Média	-
<i>Produção de aço</i>	Baixa	-	-
<i>Uso de lubrificantes</i>	Alta	-	-
<i>Uso de parafinas</i>	Alta	-	-
<i>Uso de óxido nitroso</i>	-	-	Média

Setores	GgCO ₂	GgCH ₄	GgN ₂ O
AFOLU			
<i>Uso do solo</i>	Baixa	-	-
<i>Agropecuária</i>	Média	Média	Média
RESÍDUOS			
<i>Resíduos sólidos urbanos</i>	-	Média	-
<i>Compostagem</i>	-	Baixa	Baixa
<i>Incineração</i>	Baixa	-	Baixa
<i>Efluentes</i>	-	Alta	Alta
Bunkers (não contabilizado no total)	Média	Alta	Alta

Fonte: Autores.

De forma geral, esta avaliação foi guiada pelos parâmetros de classificação qualitativa presentes na versão piloto do Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emissions (FONG *et al*, 2012), em que são apresentados critérios para classificação dos dados utilizados em inventários:

- Dados de alta qualidade: fatores de emissão locais e dados de atividades detalhados;
- Dados de qualidade média: fatores de emissão nacionais e dados de atividades genéricos;
- Dados de baixa qualidade: fatores de emissão *default* e dados de atividades genéricos.

Como avaliou-se o nível de incertezas, atribuiu-se alta incerteza aos dados de baixa qualidade e fatores *default*, e baixa incerteza aos dados de alta qualidade e fatores mais específicos. No entanto, esses princípios foram seguidos apenas com um guia, e premissas mais específicas foram adotados em cada setor, descritas a seguir.

No setor de energia, os dados de atividade utilizados para estimar as emissões dos subsetores residencial, comercial, público, agropecuário, industrial e transportes possuem médio nível de incertezas, pois usam dados de quantidade vendida de energéticos fornecidos pela ANP, CEG e Light, que possuem controle sobre essas vendas²⁸, porém não possuem estudo de margem de erro, especialmente a ANP que não gera propriamente as informações, recebendo de terceiros. Além

²⁸ O processo de obtenção dos dados mostrou fragilidade em relação a algumas informações passadas, quando foi possível identificar erros e contestar as informações.

disso, para estimar as emissões de CH₄ e N₂O, o ideal é que se utilize um FE específico para o tipo de tecnologia em determinado uso. No entanto, como foi utilizado o fator *default* do IPCC apenas especificando o setor de uso, as incertezas foram classificadas como médias. Já o subsetor energético, que inclui atividades de transformação de energia e distribuição de eletricidade, teve sua incerteza classificada como média para as emissões de CO₂, pois para o Refino e para as Perdas de Eletricidade os dados de atividades possuem incerteza média, já que foram calculados pela equipe e não informados pelas empresas/instituições. As incertezas para outros gases foram classificadas como médias pelos mesmos motivos apresentados para os outros subsetores.

As emissões fugitivas de CO₂ do setor de siderurgia possuem nível baixo de incerteza pois já foram informadas pela própria empresa siderúrgica, cujo inventário corporativo já estava aprovado por entidade verificadora. As emissões de CH₄ de siderurgia, que são de escopo 3 – provenientes da mineração do carvão utilizado – possuem alto nível de incerteza pois o dado de atividade (total de carvão utilizado) foi estimado pela equipe ao invés de claramente informado, e o Fator de Emissão deveria levar em conta os tipos de minas das quais é obtido o carvão, informação não disponibilizada para a equipe.

As emissões fugitivas de CH₄ da distribuição do gás natural foram consideradas de média incerteza pois foi calculada de forma muito conservadora, considerando que todo o gás natural escapado sairia na forma de metano. Já as emissões fugitivas de todos os gases no processo de Refino foram avaliadas como de média incerteza, pois apesar do dado de atividade ser de alta confiabilidade (ANP), os fatores utilizados foram calculados pela equipe a partir de dados de emissões fugitivas do refino brasileiro e não específico da Refinaria de Manguinhos.

Em Processos Industriais, não foi recebida parte dos dados de atividade necessários para as estimativas da produção de vidro e por este motivo o nível de incerteza foi considerado alto. Na atividade siderúrgica, os dados obtidos foram avaliados como de alta qualidade e por isso a incerteza foi avaliada como baixa. Na produção de metanol, as emissões de CO₂, que foram estimadas através de balanço de massa, foram avaliadas como de baixa incerteza, ao passo que as emissões de CH₄ foram avaliadas como de média incerteza por usarem fatores *default* do IPCC apesar da alta qualidade do dado.

Em Uso de Produtos, o uso de lubrificantes e parafinas foi considerado de alta incerteza por conta da não separação dos lubrificantes por tipo de uso desses

produtos e aplicação de fator de emissão *default* em todos os casos. Já para o uso de óxido nítrico, a incerteza foi classificada como média por assumir que todo o uso seria na área médica ou de fabricação de aerossóis, pois existem outros usos possíveis na indústria que não possuem o mesmo fator de emissão. O presente inventário adotou uma abordagem conservadora ao assumir o fator de emissão máximo. Além disso, uma das empresas identificadas como atuante no mercado não apresentou os dados de vendas solicitados.

Em uso do solo, os dados são de alta qualidade e os fatores específicos, e portanto a incerteza foi avaliada como baixa. Na atividade pecuária, os dados de atividade são de qualidade média e foram utilizados tanto fatores *default* do IPCC como fatores nacionais. Já para atividade agrícola, informações como consumo de fertilizantes e corretivos foram avaliadas como de média qualidade e foram utilizados fatores de emissão *default* do IPCC. Portanto, avaliou-se a incerteza da atividade agropecuária como média.

Para resíduos sólidos urbanos, os dados fornecidos são consistentes, no entanto, a incerteza foi considerada média em função da falta de dados dos geradores de lixo extraordinário que é coletado por empresas terceirizadas e destinados em outros aterros não gerenciados pela Comlurb, o que torna o resultado do inventário subestimado. Por outro lado, as emissões de aterramento foram calculadas pelo tier 2, o que garante uma maior precisão nos resultados.

Os dados de compostagem e incineração são bem definidos e não há dúvidas quanto às condições de fronteira, portanto as incertezas são baixas quanto aos resultados.

Já em relação aos efluentes, as incertezas são altas principalmente devido à falta de dados sobre efluentes industriais, o que levou a estimativas e extrapolações para calcular as emissões deste subsetor.

***Atualização do Plano
de Ação Municipal para
Redução das Emissões***

1. Introdução

Com o início da atual gestão municipal, a Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro (CRJ) estabeleceu como uma das prioridades a elaboração de um Plano Municipal de Mudanças Climáticas, de forma a introduzir a questão do aquecimento global no âmbito do planejamento e apresentar e coordenar as diversas ações e medidas, já em projeto, que tinham potencial de reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

Neste contexto, em 2010, a Secretaria Municipal de Meio Ambiente – SMAC, através de sua Gerencia de Mudanças Climáticas promoveu a atualização do Inventário de Emissões da Cidade do Rio de Janeiro para o ano de 2005 de forma a conhecer o nível de emissões da Cidade e suas principais fontes. Junto com este estudo, foi elaborado um estudo de Cenário de Emissões de Gases de Efeito Estufa, de forma a identificar e quantificar o potencial de redução das ações planejadas pela Prefeitura, além de outras possíveis de serem implementadas e também um Plano de Ação que contemplou as medidas necessárias a serem realizadas pelo governo municipal para o atingimento das metas de redução de emissões de gases de efeito estufa.

O presente estudo tem por objetivo estimar se o Município do Rio de Janeiro alcançou as reduções de emissões estimadas à época para 2012 e atualizar as estimativas para o ano de 2016, 2020 e 2025.

2. Energia

No contexto urbano da Cidade do Rio de Janeiro, o setor de energia é o principal responsável pelas emissões de GEE – como demonstra inventário do ano de 2012. Dentre os subsetores que constituem as emissões referentes ao uso de energia, destaca-se o de transportes. Também são dignos de nota o uso residencial e comercial, sobretudo, devido ao consumo de energia elétrica gerada a partir de fontes fósseis.

A seguir, são apresentadas as principais informações necessárias à compreensão das medidas propostas para a redução das emissões de GEE neste município: a base ferramental para construção de cenários utilizados como base; a atualização das medidas previstas e/ou indicadas para cada cenário; e conclusões decorrentes da experiência destes últimos anos.

2.1. Definição dos Cenários de Emissão de GEE e Principais Hipóteses Consideradas para Revisão das Medidas de Mitigação de GEE

Para elaboração deste trabalho, foram considerados três cenários previamente estabelecidos que são resumidos a seguir:

- Cenário A: Este é o cenário de linha de base. Esse cenário segue a hipótese de que o consumo de energia e a emissão de GEE continuarão a seguir a tendência apresentada pelos inventários de 1996, 1998 e 2005.
- Cenário B: Este cenário incorpora importantes medidas de redução de uso de energia e de emissões de GEE previstas pela prefeitura da cidade do Rio de Janeiro. De forma geral, prevê-se que a maioria destas seja colocada em prática até 2016 – conforme o Plano Estratégico da Prefeitura do Rio de Janeiro 2013-2016.
- Cenário C: Este cenário é o mais otimista no que diz respeito à redução de emissões de GEE. Ele considera que todas as medidas do cenário B foram implementadas com sucesso e que a prefeitura da cidade realizará mais investimentos entre os anos de 2016 e 2025.

A projeção realizada foi feita com base em estimativas de crescimento populacional e do PIB deste município. Assim, foram feitos cálculos de aumento de

emissões de GEE para o setor de energia com base no incremento do PIB *per capita* estimado. Com isto, chegou-se a valores para o cenário A. Os demais cenários foram calculados com base na soma das reduções de emissões que cada medida contemplada proporcionaria. Os cenários do Setor de Energia se dividem em dois grupos: Fontes Móveis (setor de transportes) e Fontes Fixas (demais setores). Isto é feito pelas características das intervenções possíveis para cada um destes grupos.

O setor de transportes é responsável por uma grande parcela das emissões dos gases de efeito estufa (GEE) da Cidade do Rio de Janeiro. Também apresenta diversas possibilidades de redução do uso da energia (e consequente redução das emissões de GEE), como: os sistemas de BRTs (*Bus Rapid Transit*); a ampliação da rede de metrô e trens – favorecendo assim a troca de modal do transporte rodoviário para o ferroviário; e substituição de combustíveis utilizados. Esse setor pode ser dividido em quatro diferentes modais: rodoviário, aeroviário, ferroviário e hidrovário, sendo os dois últimos os mais eficientes, tanto em termos de consumo de combustíveis como em relação à emissão dos gases de efeito estufa (SEA, 2011).

Para fontes fixas, o inventário com ano base 2012 demonstrou que as emissões de GEE também são significativas para os setores residencial, comercial e público. Isso se dá uma vez que a maior parte do consumo energético destes é proveniente da eletricidade que possui um fator de emissão expressivo em função das características dos produtores de eletricidade dentro do município. Este ponto será melhor explorado posteriormente. No que se refere ao setor industrial, apesar das suas emissões não serem negligenciáveis, a prefeitura do Rio não pode intervir diretamente, uma vez que as políticas públicas para a redução e mitigação de emissões na indústria faz parte do escopo de outras esferas governamentais.

2.2. Cenário A

As projeções das emissões de GEE do Município do Rio de Janeiro foram elaboradas a partir da hipótese de continuidade da tendência atual – é o cenário de linha de base, ou “business as usual”, e reflete as emissões de GEE que ocorreriam na ausência de políticas e projetos dentro das fronteiras do município do Rio de Janeiro (ROVERE *et. al.*, 2011).

As emissões de GEE municipais atingem 18.260,6 Gg CO₂ em 2025, um crescimento de 60% em relação ao ano de 2005 (ROVERE *et. al.*, *op. cit.*). O transporte rodoviário continua como o principal emissor. A indústria desponta com o

segundo lugar – devido às projeções relacionadas ao consumo de gás natural. A Tabela 77 resume os resultados encontrados no estudo de cenários.

Tabela 77– Resultados de Emissões do Setor de Energia até 2025 (Cenário A)

Gg CO ₂ eq	2005	2012	2016	2020	2025
Energia	2.742,1	3.797,4	4.451,7	5.238,3	6.482,7
Residencial	795,6	1.080,5	1.188,7	1.322,6	1.519,2
Comercial	319,2	616,3	772,5	962,2	1.285,4
Publico e outros	210,9	293,9	322,6	351,3	399,8
Industrial	1.416,4	1.806,7	2.167,9	2.602,1	3.278,3
Transportes	5.478,2	5.849,7	6.247,0	6.707,5	7.351,7
Rodoviário	4.391,3	4.635,1	4.937,2	5.283,0	5.748,3
– Veículos leves (automóveis e Vans e utilitários)	2.974,2	2.919,4	3.183,7	3.500,5	3.936,0
– Veículos pesados (ônibus e caminhões)	1.417,2	1.715,7	1.753,5	1.782,5	1.812,3
Aéreo	1.062,9	1.175,0	1.269,7	1.384,5	1.562,9
Ferrovário	13,4	27,0	27,1	26,7	27,1
Hidroviário	10,6	12,7	13,0	13,2	13,5
Fugitivas de metano	53,6	38,28	45,14	53,69	66,64
Refino	75,0				
Total Energia e Transporte	8.348,9	9.685,4	10.743,9	11.999,5	13.901,1

Fonte: Adaptado a partir de ROVERE et. al. (2011)

2.3. Cenário B

O Cenário B apresenta o potencial de redução de emissões de GEE considerando a implantação das políticas públicas e projetos que já fazem parte do planejamento e das iniciativas da Prefeitura do Rio, isoladamente ou em conjunto com as outras esferas de governo ou da sociedade. Assim, este cenário incorpora as ações de mitigação planejadas, de cada setor, a partir das premissas e tendências observadas no cenário de linha de base (Cenário A).

Para o cálculo das estimativas de redução de emissões de GEE dessas ações, foram observados, quando da falta de dados que permitissem aproximar as estimativas do real, foram utilizados dados de literatura e de projetos no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo semelhantes aos considerados neste cenário. Portanto, os valores aqui apresentados são valores aproximados (ROVERE et. al., 2011). A Tabela 78 resume os resultados encontrados no estudo de cenários.

Tabela 78 – Resultados de Emissões do Setor de Energia até 2025 (Cenário B)

Gg CO ₂ eq	2005	2012	2016	2020	2025
Energia	2.742,1	3.797,3	4.451,6	5.238,2	6.482,6
Residencial	795,6	1.080,4	1.188,6	1.322,6	1.519,2
Comercial	319,2	616,3	772,5	962,2	1.285,4
Publico e outros	210,9	293,9	322,6	351,3	399,8
Industrial	1.416,4	1.806,7	2.167,9	2.602,1	3.278,3
Transportes	5.478,2	5.696,3	5.755,4	6.206,9	6.839,7
Rodoviário	4.391,3	4.475,0	4.408,2	4.746,1	5.200,5
– Veículos leves (automóveis e Vans e utilitários)	2.974,2	2.822,9	2.972,3	3.285,2	3.712,6
– Veículos pesados (ônibus e caminhões)	1.417,2	1.652,1	1.435,9	1.460,9	1.487,9
Aéreo	1.062,9	1.175,0	1.269,7	1.384,5	1.562,9
Ferroviário	13,4	33,6	64,5	63,0	62,9
Hidroviário	10,6	12,7	13,0	13,2	13,5
Fugitivas de metano	53,6	32,6	28,1	42,3	55,3
Refino	75,0				
Total Energia e Transporte	8.348,9	9.526,2	10.235,1	11.487,4	13.377,7

Fonte: Adaptado a partir de ROVERE et. al. (2011)

Observa-se uma redução de 523,4 Gg CO₂e em 2025, tendo a maior parte desta ocorrido até 2016 que é o ano em que terminam as ações definidas no plano estratégico. O inventário de 2012 chegou ao valor de 23.543,56 Gg CO₂e – número muito maior que o previsto (9.526,2 Gg CO₂eq). Isto não implica que as ações de mitigação não tenham ocorrido ou que não tenham sido efetivas. Retrata, no entanto, que a base de informação obtida foi mais ampla, contemplando fontes emissoras antes não identificadas. Ademais, o ingresso de novas indústrias na cidade também não fora previsto, apesar de impactar expressivamente as emissões.

Também o subsetor de transportes demonstrou crescimento acima do esperado – da ordem de 30% superior. Parte disto pode ser explicado pelo aumento do uso de automóveis indicado, por exemplo, pelas taxas de crescimento no Brasil da produção deste bem em 2011, que montam a 2,4% em referência ao ano anterior (IBGE, 2011c).

2.3.1. Fontes Fixas

Primeiramente, ressalta-se que as fontes fixas respondem por parte importante das atividades que geram emprego no Rio de Janeiro. Em particular, o setor de

serviços é particularmente relevante, empregando aproximadamente 80% da população da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (IBGE, 2012b). Infere-se que a distribuição seja aproximadamente igual nos limites do município. As principais ações passíveis de serem implementadas são relacionadas à eficiência energética e no uso de combustíveis mais limpos, ou energia renovável.

As ações no âmbito do município identificadas para este Cenário B compreendem (ROVERE *et. al.*, 2011):

✓ **Ação 1: Instalação de LEDs em semáforos**

Projeto da CET-Rio prevê a substituição de lâmpadas dos blocos semaforicos veiculares principais (semáforos localizados no eixo das vias principais) por lâmpadas tipo LED para semáforos. A previsão é reduzir o consumo de cada unidade, de 100 W para 70 W. Inicialmente, para este cenário foi considerado um valor hipotético de que 1.000 unidades seriam substituídas. Entretanto, obteve-se a informação de que até este momento 32.000 pontos de luz foram contemplados com esta medida.

✓ **Ação 2: Programa Minha Casa, Minha Vida**

É um programa do Governo Federal em parceria com os estados e municípios, cujo objetivo é a produção de unidades habitacionais, que depois de concluídas são vendidas sem arrendamento prévio, às famílias dentro de um determinados patamar de renda familiar mensal. Esse programa prevê a instalação de equipamentos de energia solar térmica para o aquecimento de água nas unidades. Assim existe um potencial de redução de emissões em torno de 30% a 40% do consumo de eletricidade nos domicílios de baixa renda (cerca de 45 kWh/mês).

Como não existiam dados para estimar o número de unidades a serem implementadas no município do Rio de Janeiro, foi estimado para este cenário, de forma conservadora, a construção de 1.000 unidades habitacionais (casas). Atualmente, sabe-se que 496 unidades deste tipo já foram construídas. Há também um projeto em execução, em Guadalupe, de realizar cerca de 1000 habitações que, pelo menos em parte, deve ser contemplado com aquecimento solar. Inferiu-se que aproximadamente 50% destas unidades receberão estes equipamentos.

✓ **Ação 3: Substituição da rede de ferro fundido por tubos de polietileno para distribuição de gás natural da CEG no Rio de Janeiro**

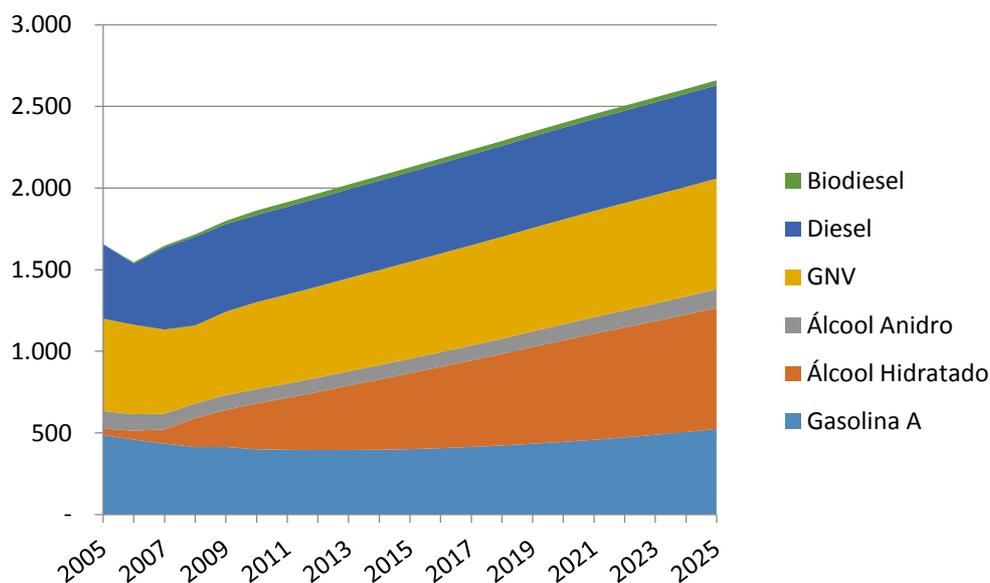
A CEG possui um projeto de redução de emissões de GEE no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto, que consiste na substituição da rede de ferro fundido por tubos de polietileno para distribuição de gás natural da CEG no Rio de Janeiro. A substituição por tubos modernos de polietileno reduz o vazamento de gás significativamente. O fator de emissão para os tubos de polietileno é de apenas 6% do fator para os tubos de ferro fundido.

Embora essa seja uma ação do setor privado, essa ação favorece a redução de emissões municipais no que diz respeito às emissões fugitivas no território do município. Considerou-se que a entrada em operação desta medida ocorre em janeiro de 2012.

O impacto dessas ações reduziria as emissões do setor de energia em 12,1 Gg CO₂eq em 2025. O projeto de iluminação por LED implicou em uma redução de 0,6 Gg CO₂eq. Já a iniciativa no Programa Minha Casa, Minha Vida possibilitou um abatimento de 0,1 Gg CO₂eq. Por fim, a iniciativa de substituição da rede de ferro fundido pela CEG foi a mais significativa, alcançando uma diminuição de 11,4 Gg CO₂eq (94% do total).

2.3.2. Fontes Móveis

Transportes é o setor mais emissor de GEE do município do Rio de Janeiro, contabilizando 48,0% em 2005 e apresentando um crescimento de 34,2% no período 2005-2025 (ROVERE *et. al.*, 2011). No Cenário A, este reduz sua participação para 40% nas emissões de GEE municipais em 2025. Tanto a tecnologia como o tipo de combustível são fatores determinantes nas emissões de GEE, assim como aumento da população, crescimento econômico e políticas de gestão no setor de transportes. Para as projeções até 2025, o aumento dos veículos flex fuel influencia no consumo de álcool hidratado, passando este a ser o energético mais consumido pelos veículos leves, conforme pode ser visto na Figura 33 a seguir. Ressalta-se que isto depende da competitividade deste combustível, logo, do seu preço de mercado em comparação com suas alternativas, sobretudo, a gasolina. O GNV também apresenta uma parcela significativa nas projeções do cenário, refletindo o aumento ocorrido no período 1998-2005 no consumo desse energético.



Fonte: Rio de Janeiro, 2011.

Figura 33 – Consumo de Combustíveis no Cenário A (mil tEP)

Os principais meios de reduzir emissões neste setor incluem: o aumento da eficiência nos motores que, inclusive, é incentivado pelo Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores; substituição de gasolina e óleo diesel por combustíveis menos emissores (como biodiesel e álcool etílico) como viabilizado pela mistura entre estes combustíveis ou por motores flex; mudança de modal, investindo-se no transporte ferroviário ou hidroviário; e estratégias de planejamento para reduzir o aumento do consumo de combustíveis – como programas que facilitam o uso de bicicleta – a exemplo do BikeRio (BikeRio, 2013). No Brasil, a ampliação do uso do álcool etílico devido a frota *flex fuel* e o Programa Nacional de Biodiesel vão ao encontro dos objetivos de mitigação nacionais e já fazem parte do cenário de linha de base (Cenário A).

As ações no âmbito do município identificadas para este Cenário B compreendem (ROVERE *et. al.*, 2011):

✓ **Ação 1: Implantação do sistema de BRTs**

O sistema de BRTs (*Bus Rapid Transit* – Transito Rápido por Ônibus) consiste em um modelo de transporte coletivo que utiliza ônibus articulados ou bi-articulados, que trafegam em vias exclusivas. O sistema visa aumentar a mobilidade urbana e reduzir o tempo de deslocamento nas grandes cidades. Com a ordenação dos

transportes públicos espera-se que a demanda por transporte individual seja reduzida, assim como os engarrafamentos, diminuindo assim as emissões de gases de efeito estufa e de poluentes locais. O sistema de BRTs na cidade do Rio de Janeiro utilizará ônibus articulados que circularão em vias exclusivas. O sistema pode ser dividido em quatro grandes traçados:

- **TransOeste:** Ligará os Bairros de Santa Cruz e Campo Grande à Barra da Tijuca. São esperados 150 mil passageiros por dia, atualmente, o sistema transporta algo em torno de 120 mil. Entrou em operação em junho de 2012, mas ainda sofre adaptações que lhe permitam aumentar a velocidade média atingida.
- **TransOlímpica:** Ligará o bairro de Deodoro e a Avenida Brasil até a Barra e o Recreio. São esperados 100 mil passageiros por dia. Entrada em operação prevista para janeiro de 2015.
- **Transbrasil:** Ligará o bairro de Deodoro ao Aeroporto Santos Dummond através da Avenida Brasil em uma extensão de 32 quilômetros. São esperados 900 mil passageiros por dia. Entrada em operação prevista até 2016 – vale notar que a obra ainda não foi licitada.
- **Transcarioca:** Primeira Fase: Ligará a Penha à Barra da Tijuca. São esperados 380 mil passageiros por dia. Entrada em operação fora prevista para janeiro de 2013, contudo, atualmente se espera que ocorra em dezembro deste ano. Segunda Fase: Será a extensão da primeira fase, que chegará agora até o Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim. São esperados 150 mil passageiros por dia. Entrada em operação prevista para janeiro de 2015.

✓ **Ação 2: BRS Copacabana**

O sistema BRS (Bus Rapid Service – Sistema de Ônibus Rápido) consiste em destinar duas das quatro faixas da Avenida Nossa Senhora de Copacabana e da Rua Barata Ribeiro para o tráfego exclusivo de ônibus. O sistema visa aumentar a velocidade média das viagens e reduzir a poluição e o barulho na cidade do Rio de Janeiro. A redução de emissões de gases de efeito estufa ocorre, uma vez que existe um aumento da velocidade média e uma redução dos engarrafamentos, e também por

causa da diminuição no número de ônibus que transitam pela via. A entrada em operação ocorreu em fevereiro de 2011.

✓ **Ação 3: Expansão do Metrô**

O metrô da cidade do Rio de Janeiro, de responsabilidade do Governo do Estado, será expandido até a Barra da Tijuca e sua capacidade será aumentada. Com isso o sistema atrairá passageiros que hoje utilizam modais de transportes mais intensivos em carbono. O cálculo da redução de emissões portanto, é baseado numa modelagem de troca de modal da população. Pode-se dividir as medidas em:

- Metrô Jardim Oceânico: Ligará a Zona Sul à Barra da Tijuca. São esperados 230 mil passageiros por dia, e seu início de operação é previsto para janeiro de 2014.
- Compra de novos carros para as linhas já existentes: A entrada em operação de novos carros aumentará a capacidade do sistema em 550 mil passageiros por dia, e diminuirá o tempo de intervalo entre os trens. Sua entrada em operação foi escalonada da seguinte forma: 12,5% da capacidade em janeiro de 2011; 25% da capacidade em janeiro de 2012; 50% da capacidade em janeiro de 2013; 100% da capacidade em janeiro de 2014.

✓ **Ação 4: Aumento da Rede de Ciclovias**

A rede de ciclovias da cidade do Rio de Janeiro ganhará mais 300 km de extensão. Até fins de 2012 foram feitos 153 km, totalizando aproximadamente 300 km – os 150 km restantes devem ser concluídos até 2016. O objetivo da expansão da rede é atrair passageiros de modais de transportes motorizados, mais intensivos em carbono, diminuindo assim os engarrafamentos, as emissões de gases de efeito estufa e de poluentes locais.

✓ **Ação 5: Programa de Inspeção e Manutenção de Veículos Leves – Moderado**

A prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro sinalizou a elaboração de um Programa de Controle da Poluição Veicular na sua Política Municipal de Mudanças Climáticas (Lei 5.248/11, Art. 11º). Este não foi efetivado, contudo, nota-se que o

governo estadual realiza controle similar para grande parte da frota desde 2008 (INEA, 2013).

O impacto dessas ações reduziria as emissões do setor de transporte em 530,4 Gg CO₂eq em 2025, representando quase a totalidade da redução no setor de energia (98%). A maior parte das reduções de emissões (524 Gg CO₂eq) ocorre devido à redução no consumo de óleo diesel no transporte rodoviário pesado, por causa da implementação dos BRTs (41,3%), BRS (3,4%) e expansão do Metrô (55,3%). O aumento da rede de ciclovias é responsável por uma redução de aproximadamente 6,4 Gg CO₂eq. Existe um ligeiro aumento nas emissões do modal ferroviário, o que reflete o aumento no consumo de eletricidade pela ampliação das atividades do metrô. No entanto, esse aumento é inteiramente compensado com as reduções induzidas pela substituição de outros modais mais intensivos em carbono, como ônibus e veículos leves (ROVERE *et. al.*, 2011).

Como algumas das medidas previstas estão atrasadas e/ou não serão realizadas como previsto, espera-se que a redução estimada não seja completamente atingida. Contudo, há que se considerar o impacto de iniciativas como o Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores e o BikeRio que não foram contempladas no estudo de cenário, mas que tem o potencial de impactar as emissões provenientes do uso de energia significativamente. Ademais, até 2025 podem ocorrer diversas modificações no contexto do município, como o aumento da geração elétrica distribuída, que influenciarão as emissões previstas.

2.4. Cenário C

Neste setor, as ações consideradas incluem ações adicionais ou ampliação das ações já adotadas no cenário B. Os resultados encontrados são apresentados na Tabela 79.

Tabela 79 – Resultados de Emissões do Setor de Energia até 2025 (Cenário C)

Gg CO ₂ eq	2005	2012	2016	2020	2025
Energia	2.742,1	3.780,0	4.411,5	5.166,7	6.352,1
Residencial	795,6	1.074,9	1.173,7	1.295,3	1.469,6
Comercial	319,2	610,0	755,9	930,6	1.223,5
Publico e outros	210,9	288,4	314,0	338,8	380,6

Gg CO ₂ eq	2005	2012	2016	2020	2025
Industrial	1.416,4	1.806,7	2.167,9	2.602,1	3.278,3
Transportes	5.478,2	5.613,0	5.582,3	5.877,4	6.497,8
Rodoviário	4.391,3	4.391,7	4.224,4	4.385,8	4.828,1
– Veículos leves (automóveis e Vans e utilitários)	2.974,2	2.746,5	2.857,6	3.110,7	3.528,8
– Veículos pesados (ônibus e caminhões)	1.417,2	1.645,2	1.366,8	1.275,1	1.299,3
Aéreo	1.062,9	1.175,0	1.269,7	1.384,5	1.562,9
Ferroviário	13,4	33,6	75,1	93,8	93,4
Hidroviário	10,6	12,7	13,0	13,2	13,5
Fugitivas de metano	53,6	32,6	28,1	42,3	55,3
Refino	75,0				
Total Energia e Transporte	8.348,9	9.526,2	10.235,1	11.487,4	13.377,7

Fonte: Adaptado a partir de ROVERE et. al. (2011)

2.4.1. Fontes Fixas

As ações no âmbito do município identificadas para este cenário compreendem (ROVERE *et. al.*, 2011):

✓ **Ação 1: Eficientização da Iluminação Pública (LEDs)**

Prevê a substituição de pontos de iluminação convencional por tecnologia LED disponível atualmente. As classes de potência consideradas são: Substituição de 50W no lugar de 70W, de 70W no lugar de 100W e de 110W no lugar de 150W. Neste cenário foi considerado a substituição de 100% da quantidade de pontos de iluminação pública existentes, a partir de janeiro de 2012.

✓ **Ação 2: Instalação de LEDs em semáforos**

Ampliação da medida considerada inicialmente no cenário B, para 10.000 unidades.

✓ **Ação 3: Projeto Minha Casa, Minha Vida**

Ampliação da medida considerada no Cenário B, para 10.000 casas.

✓ **Ação 4: Substituição da rede de ferro fundido por tubos de polietileno para distribuição de gás natural da CEG no Rio de Janeiro**

Igual ao cenário B.

✓ **Ação 5: Implementação de medidas de eficiência energética**

Adotou-se para este cenário as medidas de eficiência no uso de energia elétrica para os setores residencial, comercial e público, a partir de janeiro de 2012, de acordo com as projeções do Plano Decenal de Expansão de Energia 2019, conforme apresentado a seguir:

- Energia elétrica conservada por setor (%)

Setor	2010	2014	2019
Residencial	0,3	1,7	3,7
Comercial	0,6	2,5	4,1
Público	0,5	2,1	3,5

2.4.2. Fontes Móveis

Para o setor de transportes, o Cenário C considera que todas as medidas do cenário B foram implementadas com sucesso, e que novos investimentos no setor serão realizados entre os anos de 2016 e 2025, na busca por um setor de transportes mais racional e eficiente, como por exemplo, a expansão do metrô e da rede de ciclovias. A seguir estão descritas as ações deste cenário (ROVERE *et. al.*, 2011):

✓ **Ação 1: Implantação do sistema de BRTs**

Igual ao Cenário B.

✓ **Ação 2: BRS Copacabana**

Igual ao Cenário B.

✓ **Ação 3: Expansão do Metrô**

Igual ao cenário B.

✓ **Ação 4: Expansão Extra do Metrô – Novos Investimentos**

Novos investimentos no metrô aumentariam a capacidade do sistema de maneira gradativa entre 2016 e 2020, adicionando um total de 665 mil novos passageiros por dia. Sua entrada em operação foi escalonada da seguinte forma: 1/3 dos novos passageiros em janeiro de 2016; 2/3 dos novos passageiros em janeiro de 2018; 100% dos novos passageiros em janeiro de 2020.

✓ **Ação 5: Expansão da Rede de Ciclovias**

Igual ao Cenário B.

✓ **Ação 6: Expansão Extra da Rede de Ciclovias**

Prevê-se mais 140 km de ciclovia na cidade do Rio de Janeiro. Sua entrada em operação se dará da seguinte forma: 25% da nova rede em janeiro de 2016; 50% em janeiro de 2017; 100% em janeiro de 2018.

✓ **Ação 7: Programa de Inspeção e Manutenção de Veículos Leves – Otimista**

No Cenário C foi considerado que o Programa de Inspeção e Manutenção foi implantado com total sucesso, e as emissões provenientes dos veículos leves são reduzidas em 5%, que é o potencial máximo apontado pela CETESB (VIEIRA & SILVA, 2002).

✓ **Ação 8: Aumento da mistura de Biodiesel no Diesel**

Um aumento da mistura de biodiesel no diesel pode reduzir significativamente as emissões de gases de efeito estufa. Desde o início de 2010 o diesel brasileiro já conta com 5% de biodiesel (B5). No Cenário C foi considerado que o percentual de biodiesel no diesel avança da seguinte forma: B6 a partir de janeiro de 2012; B7 a partir de janeiro de 2014; B8 a partir de janeiro de 2016; B9 a partir de janeiro de 2018; B10 a partir de janeiro de 2020.

As ações do Cenário C reduzem 853,7 Gg CO₂eq em 2025 (Rio de Janeiro, 011). A maior redução se verifica no transporte rodoviário pesado (513 Gg CO₂eq), mas também veículos leves tem uma redução significativa (407 Gg CO₂eq), devido a ampliação do programa de inspeção e manutenção. Existe um ligeiro aumento das emissões do setor ferroviário, de 27 Gg CO₂eq para 93 Gg CO₂eq em 2025, por causa do aumento no consumo da eletricidade. No entanto, assim como no Cenário B, esse aumento é compensado com as reduções induzidas pela substituição de outros modais mais intensivos em carbono.

As estimativas realizadas se baseiam apenas nas ações especificadas. Portanto, como anteriormente observado, existem outros fatores que influenciam as emissões e não foram previstos neste cenário – de modo que os próximos inventários, bem como o do ano de 2012, devem indicar emissões incompatíveis com os cálculos

efetuados. Não obstante, este trabalho serve para buscar uma avaliação dos impactos das políticas municipais na área de mudanças climáticas.

2.5. Planos Estratégicos

Neste tópico são relatadas as ações contidas nos planos estratégicos da Prefeitura do Rio de Janeiro. Em certa medida, há coincidência de ações com o cenário B, contudo, também estão presentes diferenças. Ao final, busca-se realizar estimativas do total de emissões evitadas através das medidas da Prefeitura.

2.5.1. Fontes Fixas

O Plano Estratégico 2009-2012 (Rio de Janeiro, 2011) previu duas iniciativas estratégicas que tem impactos sobre estas fontes: o Choque de Ordem de Conservação que, dentre outras coisas, promoveu medidas de conservação da iluminação pública; e a realização do projeto Bairro Maravilha que leva a requalificação urbana à bairros degradados, incluindo melhorias de iluminação. Estas iniciativas tem o potencial de resultar em progressos em termos de eficiência no uso de energia elétrica. Todavia, é difícil avaliar o quanto foi obtido neste sentido.

O Plano Estratégico 2013-2016 (Rio de Janeiro, 2013b), por sua vez, também possui metas e iniciativas relevantes ao uso da energia – a saber: a continuação do projeto Bairro Maravilha; a manutenção de um índice de apagamento dentro dos padrões internacionais (inferior a 2%); a reformulação da iluminação em vias principais com substituição de tecnologia (LED/Energia Solar/Eólica); a implementação do projeto Morar Carioca que pretende realizar a urbanização com a componentes de infraestrutura e equipamento urbano (água, tratamento de esgoto, drenagem, iluminação pública, coleta de lixo, contenção, pavimentação e equipamentos públicos) de 584 unidades urbanizáveis – constituindo 156 mil domicílios até 2016 – e pretende se incorporar ao Programa Minha Casa, Minha Vida de modo a prover habitação para 100 mil famílias; e a construção do Parque Olímpico que deve ser um legado ambiental, arquitetônico, cultural e econômico sustentável das Olimpíadas de 2016. Cabe notar que a maior parte destas medidas não são especificamente voltadas para o setor de energia, mas importam devido às suas características. Para efeito de cálculo, destaca-se que a iniciativa de uso de LED já atingiu 32.000 pontos de luz.

Percebe-se que o plano estratégico mais atual se mostra mais ousado em suas metas e iniciativas no que se refere às fontes fixas emissores relacionadas com o uso

de energia. As ações que promovem urbanização tem um impacto importante, mas de difícil contabilização – já reformulação da iluminação em vias principais possibilita uma redução de emissores de aproximadamente 0,6 Gg CO₂e.

2.5.2. Fontes Móveis

Para este conjunto são previstas mais iniciativas e metas. Isto se mostra positivo, visto que compreende fontes emissoras expressivas e importantes oportunidades de redução.

O Plano Estratégico 2009-2012 (Rio de Janeiro, 2011) indica as seguintes metas e iniciativas estratégicas: Rio Capital da Bicicleta – consiste na manutenção de 150 km de ciclovias existentes e implantação de 150 km de novas ciclovias, novos bicicletários e de novas estações públicas de guarda de bicicletas, integrando toda a malha cicloviária à rede de transportes públicos; recuperar 300 km de vias públicas na zona Norte até o final de 2012; reduzir o tempo médio de viagem dos 20 principais percursos da cidade em, pelo menos, 10% entre 2009 e 2012; implantar o trecho Barra/Madureira do TransCarioca e o trecho Barra/Santa Cruz do TransOeste até o final de 2012; racionalização e integração físico-tarifária da rede de transportes de ônibus, compreendendo a criação do Bilhete Único, a redefinição das linhas para torná-las mais eficientes – eliminando a superposição de linhas – e integrando-as ao transporte de massa (metrô e trem); TransCarioca – consiste na criação de um corredor de ônibus expresso, em faixa dedicada, ligando a Barra da Tijuca à Penha; Ligação C – consiste em uma ligação transversal entre Bangu e Jacarepaguá (BRT); TransOeste – Túnel da Grota Funda – implantação de sistema BRT entre Santa Cruz e a Barra da Tijuca e construção de um túnel ligando Barra de Guaratiba ao Recreio dos Bandeirantes.

O Plano Estratégico 2013-2016 (Rio de Janeiro, 2013b), por sua vez, indica as seguintes metas e iniciativas estratégicas relacionadas direta ou indiretamente com potenciais reduções de emissões de GEE de fontes móveis:

- Recapear 1,7 mil km de vias primárias (asfalto liso) e 1,0 mil km de vias secundárias da cidade entre 2009 e 2016;
- Reduzir pela metade o tempo médio de deslocamento dos ônibus nos principais percursos da cidade em sistemas Ligeirão – via racionalização dos ônibus regulares, regularização das vans, integração tarifária, transporte complementar (“Cabritinho”) – e em pelo menos 20% em

- sistemas BRS no ano de inauguração de cada sistema, mantendo a redução nos anos subsequentes;
- Integrar todos os meios de transporte público ao sistema tarifário do Bilhete Único Carioca, até 2016;
 - Alcançar 60% dos usuários de transporte público do no município do Rio de Janeiro que usam pelo menos um meio de transporte de alta capacidade (trem, metrô ou Ligeirão) até 2016;
 - Concluir as obras e iniciar as operações da TransOeste, TransCarioca, TransOlimpica e TransBrasil;
 - Modernizar 100% da frota de ônibus até 2016, adotando ônibus modernos com ar-condicionado, motor traseiro, combustível verde e recursos de acessibilidade;
 - VLT do Centro – implementação de um sistema de veículos leves sobre trilhos (VLT) que integrará os diversos modais de transporte (metrô, trem, barcas) e pontos estratégicos (Rodoviária, Praça Mauá, Avenidas Rio Branco e Presidente Vargas, Praça XV, Aeroporto Santos Dumont);
 - Projeto de Transporte Aquaviário – análise de viabilidade do complexo de lagoas receber um modal aquaviário na região da Barra como alternativa ao transporte rodoviário, a fim de ajudar a reduzir o trânsito nas principais vias e contribuir para a exploração do potencial turístico da região;
 - Plano de Mobilidade Sustentável – consiste na elaboração de um Plano de Mobilidade Sustentável, incluindo a definição de políticas e do modelo de estacionamento em áreas públicas da cidade;
 - Rio Verde – Transformação da Rio Branco – revitalização com espaços arborizados, iluminação moderna, coleta de lixo a vácuo e moderna infraestrutura. Fechamento completo da via, organização do sistema de transporte em um anel periférico à região conectado a diferentes modais de transporte (metrô, barcas e VLTs);
 - Alcançar 450 km de malha cicloviária entre 2009 e 2016, integrando-a aos modais da cidade.

Os projetos listados implicam em modificações que implicam em reduções de difícil estimativa. O aumento de ciclovias, por exemplo, implica em redução de uso de transporte motorizado, contudo, seria necessário realizar um estudo para calcular mais precisamente, no contexto da Cidade do Rio de Janeiro, em que monta isto ocorre. Há

também iniciativas ainda com baixo nível de detalhamento – como o Plano de Mobilidade Sustentável – ou ainda sem perspectiva concreta de realização, tal qual Projeto de Transporte Aquaviário. Assim, este trabalho se limita a buscar uma aproximação das emissões evitadas das medidas em que há uma previsão mais robusta de operacionalização e que implicam em reduções para as quais há informação básica que viabilize o cálculo. Neste sentido, destacam-se os corredores BRT. Atualmente, nas condições relatadas neste documento no Cenário B de operação, estima-se em 2012 uma redução de 29,2 Gg CO₂ eq. ao ano para as ações indicadas nos planos estratégicos. Para o ano de 2016, o total sobe para 241,2 Gg CO₂ eq.

Ressalta-se que há outros projetos – tanto de outras esferas do governo, como a expansão da rede metroviária – quanto da própria Prefeitura, a exemplo da expansão do sistema BRS que pretende abranger muitos dos principais trechos de trânsito do Rio de Janeiro, que devem resultar em redução de emissões de GEE. Entretanto, seria necessário aprofundar a pesquisa em aspectos operacionais destas iniciativas para se chegar a um número representativo. De todo modo, o valor evitado é significativo e, considerando outras medidas que não são de responsabilidade do Município, deve chegar às cifras previstas anteriormente para o setor de energia (523,3 Gg de CO₂e. em 2025) no Plano de Ação para a Redução de Emissões dos Gases de Efeito Estufa da Cidade do Rio de Janeiro (ROVERE *et. at.*, 2011).

2.6. Considerações Finais

As estimativas de reduções de emissões deste trabalho sofrem uma série de limitações, pois, por carecerem de dados específicos, baseiam-se em referências disponíveis – muitas destas de outros contextos urbanos. Ademais, devido ao caráter das ações contempladas, nem sempre é possível definir exatamente o impacto resultante em termos de emissões de GEE. Para os cálculos efetivados, seguiu-se a metodologia adotada no setor de energia do Plano de Ação elaborado em 2011 – apenas atualizando as informações que se tornaram disponíveis desde então.

É a partir desta perspectiva que se deve entender o propósito deste esforço. Não se pretende prever o que vai ocorrer nos próximos anos e nem estimar precisamente o impacto de cada medida aqui descrita. O objetivo está muito mais próximo de se proporcionar uma base para a definição de políticas públicas no campo

das mudanças climáticas e energia – possibilitando uma percepção do potencial de redução de emissões que cada tipo de ação contemplada possui.

Visto isso, calculou-se o valor dos abatimentos do Cenário B em relação ao Cenário A com as devidas atualizações – bem como as reduções referentes às iniciativas estratégicas divulgadas pela prefeitura (RIO DE JANEIRO, 2011; 2013). A Tabela 80 resume os resultados encontrados.

Tabela 80 – Reduções de Emissões de GEE Estimadas (Gg CO₂ e) – Cenário B

	2012	2016	2020	2025
Emissões Reduzidas/Energia – Fontes Fixas	0,69	0,74	0,74	0,74
Instalação de LEDs em semáforos (32.000 unid)	0,64	0,64	0,64	0,64
Projeto Minha Casa, Minha Vida (1.000 unid)	0,05	0,10	0,10	0,10
Emissões Reduzidas/Energia – Emissões Fugitivas	5,70	17,00	11,40	11,40
Substituição da rede de distribuição de gás (CEG)	5,70	17,00	11,40	11,40
Emissões Reduzidas/Transportes – Fontes Móveis	79,60	525,00	529,70	530,40
BRT – TransOeste (150 mil pass/dia)	7,70	15,50	19,20	19,30
BRT – TransCarioca (380 mil pass/dia)	0,00	48,20	48,70	48,90
BRT – 2a Fase TransCarioca (150.000 pass/dia)	0,00	19,00	19,20	19,30
BRT – TransOlímpica (100 mil pass/dia)	0,00	12,70	12,80	12,90
BRT – Transbrasil (900 mil pass/dia)	0,00	115,70	115,90	116,10
BRS Copacabana	17,60	17,60	17,60	17,60
Metrô Jardim Oceânico (230 mil pass/dia)	0,00	85,50	85,50	85,50
Metrô – compra de novos carros dobra o nº de passageiros (+550 mil pass/dia)	51,10	204,40	204,40	204,40
Expansão rede de ciclovias (300km)	3,20	6,40	6,40	6,40
Total	85,99	542,74	541,84	542,54

Fonte: Autores

No que se refere às reduções relacionadas com as medidas definidas pelos planos estratégicos, a Tabela 81 resume os resultados encontrados:

Tabela 81 – Resumo das Reduções de Emissões de GEE Estimadas (Gg CO₂ e)

	2012	2016	2020	2025
Planos Estratégicos	29,2	235,8	240,5	241,2

Fonte: Autores

Nota-se que, em ambas as tabelas, a partir do ano 2016 as emissões evitadas praticamente estagnam. Isso se dá, pois não há ações previstas para estes anos, todavia, é de se esperar que novas iniciativas surjam modificando estas estimativas. Além disso, a participação das medidas previstas nos planos estratégicos não possuem impacto tão elevado, já que o município não tem capacidade nem atribuição

de intervir em aspectos importantes do cenário energético, como o transporte ferroviário.

Em suma, as emissões do setor de energia são as mais expressivas e, dentre elas, o subsetor de transporte concentra grande parte do potencial de redução de emissões. Nesse sentido, a Prefeitura do Rio de Janeiro tem se mostrado proativa, buscando explorar oportunidades neste campo, assim, desenvolve iniciativas como o BRS e o BRT que implicam em impactos positivos importantes para as emissões desta cidade. Inclusive, é relevante destacar que existem projetos que não foram contemplados nos cálculos deste estudo que, certamente, impactam as emissões de GEE – como a expansão do sistema de BRS para o Centro, Ipanema/Leblon e ainda possivelmente para trechos na Tijuca e em Botafogo.

Entretanto, há ainda muito que pode ser feito. No que se refere às fontes fixas, o inventário de ano base 2012 demonstra que o controle de autoprodutores poderia render abatimentos expressivos. Além disso, poder-se-ia investir em programas de aumento da eficiência energética ou mesmo proporcionar incentivos para geração distribuída de eletricidade por fontes renováveis. Para as fontes móveis, o projeto de transporte aquaviário descrito pode render bons frutos, visto que este modal é pouco intensivo em energia – sendo interessante explorar as oportunidades existentes devido ao contexto hidrográfico do Município do Rio de Janeiro – onde vias hídricas são abundantes. Em um futuro próximo, pode-se considerar também o incentivo à veículos híbridos/elétricos, tanto privados quanto do sistema de transporte público.

Naturalmente, tudo isto depende de organização e recursos financeiros que nem sempre estão ao alcance de uma prefeitura. Deve-se atentar ainda às prováveis sinergias e dependências que estas iniciativas compartilham, conforme se discute na literatura de desenvolvimento econômico (MURPHY K., SHLEIFER A., VISHNY R. W., 1989) – a título de exemplo se menciona os vínculos existentes entre a disseminação: da geração de energia elétrica distribuída; dos veículos híbridos/elétricos; e de um *smart-grid*. Enfim, a Prefeitura está seguindo um rumo positivo mesmo diante de uma série de restrições, entretanto, ainda há espaço para novos projetos que podem, inclusive, fazer sentido econômico.

3. AFOLU

3.1. Plano de Ação para Redução das Emissões de GEE da Cidade do Rio de Janeiro.

Neste item são apresentados os cenários de emissão de GEE projetados até 2025, com as medidas de mitigação das emissões de GEE propostas para aplicar na cidade do Rio de Janeiro até 2025.

3.1.1. Cenário A

As projeções das emissões de GEE do município do Rio de Janeiro foram elaboradas a partir da hipótese de continuidade da tendência atual – é o cenário de linha de base, ou *business as usual*, e reflete as emissões de GEE que ocorreriam na ausência de políticas e projetos dentro das fronteiras do município do Rio de Janeiro.

Para AFOLU foram utilizados dados históricos existentes no âmbito da prefeitura para a projeção do futuro.

As estimativas das emissões relacionadas à AFOLU mostram uma redução das emissões de 7,6% no período 2005-2025, ou seja existe um seqüestro de carbono de 13,6 Gg CO₂eq, mesmo sem nenhum esforço adicional. Isso se deve à tendência histórica observada principalmente na parte de cobertura vegetal, apresentando acúmulo de áreas de reflorestamento, arborização urbana e árvores da fruticultura dentro dos limites do município (Tabela 82).

Tabela 82 – Emissões de GEE 2005-2025, Cenário de Referência (Cenário A).

Fontes	2005	2012	2016	2020	2025
	Gg CO₂eq				
Uso do Solo	203,40	196,70	193,40	190,80	189,70
Agropecuária	17,16	13,96	13,96	13,96	13,96
Fermentação Entérica (Pecuária)	10,80	8,30	8,30	8,30	8,30
Manejo de Dejetos (Pecuária)	3,80	3,10	3,10	3,10	3,10
Queima da Cana-de-açúcar (Agricultura)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Uso de Fertilizante Nitrogenado (Agricultura)	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
Uso de Calcário e Dolomita (Agricultura)	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13
Uso de Uréia (Agricultura)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Total Emissões	220,56	210,66	207,36	204,76	203,66

Fonte: CentroClima, 2011.

3.1.2. Cenário B

Neste setor as principais ações existentes para reduzir as emissões são aquelas provenientes do aumento de cobertura vegetal no município, seja pelo reflorestamento, seja pela redução do desmatamento.

No Cenário B, os esforços realizados para a redução dos impactos do desmatamento e a ampliação das superfícies de reflorestamento levam a uma diminuição significativa das emissões de GEE, sendo que, a partir de 2020, as remoções (seqüestro) de carbono são maiores do que a quantidade de emissões. Portanto dentro dos limites do município do Rio de Janeiro, o setor de AFOLU se transforma num reservatório de absorção líquida de CO₂ da atmosfera, devido, principalmente, ao maior acúmulo de áreas verdes dentro dos limites do município.

A agricultura, por ser uma atividade de pouca expressão no município (1,9% do território), não foi considerada nas estimativas das emissões/remoções de carbono e, assim, os valores do inventário de 2005 foram considerados constantes no Cenário B no horizonte do estudo. O mesmo se aplica à pecuária e ao uso de fertilizantes, cujas emissões (CH₄ e N₂O) foram consideradas constantes no período.

Ações de Mitigação:

✓ **Ação 1: Desmatamento evitado**

Redução gradual do desmatamento, até atingir o percentual de 80% da categoria de vegetação “Floresta” no município em 2020 (seguindo a diretriz do Plano Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC). Esse percentual é calculado em relação à quantidade desmatada em 2005 (420 hectares), ou seja, em 2020, o desmatamento evitado chegará a 336 hectares, enquanto 84 hectares serão desmatados. Entre 2020 e 2025, o desmatamento continuará constante, numa taxa de 84 hectares/ano.

✓ **Ação 2: Reflorestamento**

Esta ação se dá através da ação do Programa Mutirão de Reflorestamento da Prefeitura do Rio, no âmbito do Projeto Rio Capital Verde, que tem metas de plantios de floresta nativa entre 2010 e 2012, conforme informações obtidas da SMAC (Secretaria Municipal de Meio Ambiente), distribuídas da seguinte forma:

- 2010 – 300 ha
- 2011 – 500 ha
- 2012 – 700 ha

O plantio destes 1.500 hectares estava previsto para ocorrer até 2012. Sendo assim, a taxa de reflorestamento entre 2013 e 2025 dependerá da disponibilidade de terras para este objetivo. No entanto, para este estudo optou-se por aplicar a taxa média de 58,5 hectares/ano, obtida em função dos plantios ocorridos no período de 2005 a 2008 (dados mais atualizados e fornecidos pela SMAC).

Considerando as premissas assumidas, Rio Capital Verde + Mutirão do Reflorestamento acumularia 3,7 mil hectares plantados até 2025 (contabilizando os plantios acumulados desde a década de 90, já que estes ainda estariam absorvendo carbono da atmosfera). Considerando apenas os plantios realizados após 2010, este valor mudaria para 2,553 mil hectares plantados até 2025.

O subsetor agropecuário não sofre variações e fica igual ao Cenário A, uma vez que os valores obtidos são pouco representativos no total das emissões do setor AFOLU (Tabela 83).

Tabela 83 – Resumo das Ações e suas Emissões Evitadas para o Cenário B em relação ao cenário de referência (Gg CO₂eq).

Ações	2012	2016	2020	2025
Emissões Cenário B – AFOLU	97,4	39,8	-17,2	-17,8
Redução do desmatamento em 80% da categoria do uso do solo “Floresta”.	95	149,4	203,7	203,7
Projeto Rio Capital Verde + Mutirão do Reflorestamento	18,3	18,3	18,3	17,8
Emissões reduzidas	113	168	222	222

*Redução do desmatamento contabiliza as emissões evitadas pelo desmatamento; reflorestamento significa seqüestro de emissão, pois quando do crescimento da árvore, esta absorve carbono e, por isso, é apresentada com sinal negativo. No entanto, para fins de contabilização do total de redução de emissões da parcela do uso do solo, as quantidades de emissão reduzidas são somadas.

3.1.3. Cenário C

No Cenário C existe uma ampliação dos esforços do município, de forma a aumentar o nível de cobertura vegetal no município, conforme abaixo:

✓ **Ação 1:**

Redução de 100% na taxa do desmatamento em 2020 para todas as categorias de cobertura vegetal (Floresta, Área de Várzea, Assentamentos Urbanos e Restinga). Ou seja, desmatamento zero em 2020, comparado com o desmatamento em 2005 (431,9 hectares), mantendo-se constante até 2025.

✓ **Ação 2:**

Igual ao cenário B

✓ **Ação 3:**

Reflorestamento do Parque do Carbono (Parque Estadual da Pedra Branca) por parte da instituição Estadual. Esta ação se constitui no plantio de mais de 3 milhões de árvores em 1.360 hectares até 2016 (equivale a 194 hectares/ano) e no plantio dos 3.640 hectares restantes entre 2017 e 2025 (404,5 hectares/ano). Seriam, portanto, plantados 5.000 novos hectares até 2025, com Mata Atlântica.

O setor de agricultura e pecuária, assim como no Cenário B, permanecem constantes e iguais ao Cenário A (Tabela 84).

Tabela 84 – Resumo das Ações e suas Emissões para o Cenário C em relação ao cenário de referência (Gg CO₂eq).

Ações	2012	2016	2020	2025
Emissões AFOLU – Cenário C	65,36	-16,64	-109,64	-138,14
Redução do desmatamento em 100% nas categorias de uso do solo “Floresta, Área de Varzea e Restinga”.	118,8	186,7	254,6	254,6
Projeto Rio Capital Verde + Mutirão do Reflorestamento.	18,3	18,3	18,3	17,8
Reflorestamento do Parque do Carbono (Parque Estadual da Pedra Branca).	8,2	19	41,5	69,4
Emissões reduzidas	145	224	314	342

*Os valores negativos representam absorção de carbono

3.2. Planos Estratégicos PCRJ (2009-2012/2013-2016)

No que se refere aos planos estratégicos para a cidade do Rio de Janeiro, especificamente, na área de Uso do Solo e Florestas, o município vem se comprometendo em varias iniciativas. Destas, as que têm relação com emissões/remoções de GEE são duas. A primeira iniciativa é a continuidade do programa Rio Capital Verde, onde serão realizadas atividades de reflorestamento até 2016, consolidação de 2.000 hectares de áreas

já reflorestadas, com a implantação de corredores verdes, iniciando-se na região de Marapendi, Chico Mendes e Prainha. A segunda tem haver com a reforma de mais de 170 mil m² de praças e parques e elaboração de 15 planos de manejo para a arborização urbana da cidade, chamado de projeto 15 Minutos Verdes.

Estas iniciativas apresentam as seguintes metas:

- Reflorestar 1.700 hectares em novas áreas entre 2009 e 2016, garantindo o manejo das áreas já reflorestadas.
- Plantar 500 mil novas árvores em parques, praças ou unidades de conservação até 2016.

Até o ano de 2012, parte destas iniciativas já vinham sendo executadas no município do Rio de Janeiro. Na Tabela 85 são apresentados os resultados do inventário de emissões de GEE de 2012, considerando as ações já realizadas e as estimativas sobre as ações referentes ao Plano Estratégico da cidade, com sua projeção para 2016.

Tabela 85 – Ações do Plano Estratégico e suas remoções de C (Gg CO₂eq).

Ações	2012	2016	2020	2025
Projeto Rio Capital Verde + Mutirão do Reflorestamento.	-33,5	-39,9	-	-
Reflorestamento de praças e parques.	-2,8	-9,8	-	-
Total das remoções	-36,3	-49,7		

*Os valores negativos representam absorção de carbono.

3.3. Considerações Finais

Com o objetivo de mensurar o alcance dos esforços de mitigação das emissões de GEE, no que se refere às ações propostas e realizadas no município do Rio de Janeiro, foi realizada uma comparação entre os resultados dos cenários de mitigação de reflorestamento propostos e com as ações de mitigação do Plano Estratégico. Sendo assim, na Tabela 86 é possível observar o comportamento das emissões/remoções de GEE no tempo de análise.

Tabela 86 – Comparativo das remoções de carbono das ações de reflorestamento para Cidade do Rio de Janeiro (Gg CO₂eq).

AFOLU	2012	2016	2020	2025
Cenário B	-44,9	-48,1	-50,7	-51,2
Cenário C	-52,9	-66,8	-91,6	-120,0
Ações do Plano Estratégico	-36,3	-49,7	-	-

*Os valores negativos representam absorção de carbono.

Como pode ser observado, as ações do Plano Estratégico previstas para 2012, não alcançaram as reduções de emissões estimadas nos cenários B e C. Isto pode ter se dado em função da Prefeitura do Rio não ter realizado exatamente todo o esforço que foi proposto no estudo dos cenários, visto que este se baseou em informações preliminares, já que Plano Estratégico do município ainda não tinha sido finalizado à época. No entanto, para 2016, percebe-se que as ações propostas no Plano têm potencial de superar as reduções estimadas para o cenário B do mesmo ano, podendo chegar a 1,6 Gg de CO₂eq acima do valor estimado. Vale lembrar que nos totais estimados para o cenário C está incluído o reflorestamento do Parque Estadual da Pedra Branca, região de jurisdição do Estado do Rio e que, por isso, não consta como ação do Plano Estratégico do município.

Analisando as emissões calculadas para o ano de 2012, em comparação com o que foi projetado no estudo de cenários realizado em 2010, é possível observar que a meta estimada para o Cenário “C”, para o ano de 2012, foi superada amplamente (Tabela 87). Isto pode ser explicado pela baixa taxa de desmatamento observado atualmente nas áreas florestais e pela absorção de gases promovida pelos reflorestamentos e manutenção e plantio de arborização urbana realizados até o ano de 2012.

Tabela 87 – Comparativo das emissões/remoções de C para a Cidade do Rio de Janeiro (Gg CO₂eq).

AFOLU	2012	2016	2020	2025
Cenário A	210,66	207,36	204,76	203,66
Cenário B	97,40	39,80	-17,20	-17,80
Cenário C	65,36	-16,64	-109,64	-138,14
3º Inventário de Emissões de GEE	8,59	-	-	-

Em vista dos resultados, pode-se concluir que as ações do Plano Estratégico no setor de florestas e uso do solo do município do Rio se apresentam como importantes medidas de mitigação das emissões, já que contribuem na absorção de carbono da atmosfera, ajudando assim a compensar as emissões de GEE do desmatamento e das atividades agropecuárias.

4. Resíduos

4.1. Plano de Ação para Redução das Emissões de GEE da Cidade do Rio de Janeiro

Neste item são apresentados os cenários de emissão de GEE projetados até 2025, com as medidas de mitigação das emissões de GEE propostas para aplicar na cidade do Rio de Janeiro até 2025.

4.1.1. Cenário A

Resíduos sólidos

Para a construção dos cenários de linha de base (Cenário A) do setor de resíduos sólidos, foram consideradas as mesmas premissas adotadas para o cálculo das emissões de GEE em 2005, estendendo-se até o ano de 2025 as hipóteses, ou seja:

- O cálculo da produção per capita de lixo teve como ponto de partida os dados históricos fornecidos pela COMLURB de 1995 a 2009 da produção de lixo per capita. Em seguida correlacionou-se essa produção com o PIB per capita, calculado conforme os cenários socioeconômicos, de forma a poder achar uma tendência de crescimento para o período 2010-2025. Foram também utilizados os dados constantes do Inventário de Emissões de GEE do município, calculado com base na metodologia de inventário, de produção per capita, desde 1975 (Tabela 88). A produção per capita de lixo é um parâmetro importante, pois uma vez multiplicado pela população do município, fornece a quantidade total de lixo que é gerado na CRJ a cada ano.

Tabela 88 – Evolução da Produção *Per Capita* de RSU do Rio de Janeiro

Ano	Produção (kg/hab.dia)								
1975	0,715	1985	0,740	1995	0,769	2005	0,807	2015	0,860
1976	0,717	1986	0,743	1996	0,719	2006	0,830	2016	0,864
1977	0,719	1987	0,746	1997	0,744	2007	0,820	2017	0,867
1978	0,721	1988	0,749	1998	0,765	2008	0,844	2018	0,871
1979	0,723	1989	0,752	1999	0,794	2009	0,803	2019	0,875
1980	0,725	1990	0,755	2000	0,824	2010	0,842	2020	0,878

Ano	Produção (kg/hab.dia)								
1981	0,728	1991	0,758	2001	0,832	2011	0,846	2021	0,882
1982	0,731	1992	0,761	2002	0,852	2012	0,849	2022	0,886
1983	0,734	1993	0,763	2003	0,813	2013	0,853	2023	0,889
1984	0,737	1994	0,766	2004	0,805	2014	0,857	2024	0,893

Fonte: Autores

- O cálculo da produção de resíduos industriais utilizou os dados da série histórica fornecida pela COMLURB para o período de 1995-2009 e foi correlacionado com o PIB industrial municipal, seguindo a mesma abordagem mencionada acima (Tabela 89).

Tabela 89 – Evolução da Produção de RSI do Rio de Janeiro

Ano	Produção (10 ³ t/ano)								
1975	9,1	1985	14,7	1995	23,8	2005	40,2	2015	82,0
1976	9,6	1986	15,5	1996	11,8	2006	51,3	2016	86,0
1977	10,0	1987	16,2	1997	6,6	2007	71,9	2017	90,2
1978	10,5	1988	17,0	1998	17,2	2008	71,8	2018	94,7
1979	11,0	1989	17,8	1999	26,7	2009	61,5	2019	99,3
1980	11,6	1990	18,7	2000	15,8	2010	64,5	2020	104,2
1981	12,2	1991	19,6	2001	18,2	2011	67,7	2021	109,4
1982	12,8	1992	20,6	2002	27,2	2012	71,0	2022	114,7
1983	13,4	1993	21,6	2003	58,7	2013	74,5	2023	120,4
1984	14,0	1994	22,7	2004	76,0	2014	78,1	2024	126,3

Fonte: Autores.

- Composição gravimétrica – a partir dos dados históricos da COMLURB de 1981-2005 foi feita uma correlação com a projeção do PIB per capita para identificar a tendência de crescimento tanto da matéria orgânica quanto dos outros componentes do lixo até 2025 (Tabela 90).

Tabela 90 – Composição dos RSU, em Percentual de Peso por Volume (% kg/m³)

Ano	Material Orgânico (%)	Jardins (%)	Papel/Papelão (%)	Madeira (%)	Têxteis (%)
2006	61,37	1,30	14,83	0,73	1,68
2008	56,21	1,09	15,96	0,79	1,83
2010	52,10	1,09	13,25	0,93	1,68
2012	51,80	1,02	12,61	1,00	1,65
2014	51,49	0,95	12,00	1,06	1,62
2016	51,16	0,89	11,43	1,13	1,59
2018	50,83	0,84	10,89	1,21	1,56
2020	50,49	0,79	10,38	1,29	1,53
2022	50,14	0,74	9,89	1,37	1,50
2025	49,59	0,67	9,20	1,51	1,46

Fonte: Autores.

Os dados acima foram então aplicados na metodologia do IPCC (2006), no modelo de Decaimento de Primeira Ordem, de forma a achar a trajetória de emissões do Cenário A, que é o cenário que considera que a emissão de GEE continuará a seguir a tendência apresentada pelo inventário em 2005, ou seja, considera que os resíduos coletados pela COMLURB continuarão a ser aterrados em condições semelhantes às atuais (conforme em Gramacho e Gericinó), e as emissões de GEE crescerão de acordo com o crescimento da produção de lixo que depende do crescimento da população e do aumento do consumo devido ao crescimento da renda *per capita*.

No que diz respeito ao contexto do sistema de coleta e disposição dos resíduos, que permeia a elaboração dos cenários A, B e C, conforme o planejamento da Prefeitura do Rio de Janeiro e informações da SMAC e COMLURB, temos (Tabela 91):

Tabela 91 – Contextualização do Setor de Resíduos Sólidos

100% do lixo municipal é coletado pela COMLURB no Cenário A, B e C, conforme informações da COMLURB.
O Cenário A considera como hipótese de linha de base que todo o lixo da cidade continuará sendo depositado nos aterros de Gramacho e Gericinó.
Os Cenários B e C consideram que todo o lixo da cidade passará a ser depositado em Centrais de Tratamento de Resíduos (por exemplo, CTR Seropédica), e que o aterro de Gramacho e Gericinó serão fechados gradativamente.
O Cenário B e C considera a compostagem conforme a Resolução Conjunta SMAC / COMLURB, nº - 1/2010, que estabelece a compostagem de 15,33 Gg de resíduos a partir de 2011. Para os anos de 2009 e 2010 foi adotado a quantidade fornecida pela COMLURB de 30 t/dia totalizando 10,95 Gg de resíduos encaminhados a compostagem ²⁹ .
O Cenário A considera a coleta seletiva de 6.000t/ano constante no período 2005-2025. Nos Cenários B e C, somente é contabilizado as emissões evitadas pela coleta seletiva da quantidade adicional de resíduos encaminhados para tal fim.
As três estações de transferência de resíduos atuais darão lugar a sete, de acordo com informações da COMLURB, quando for implementado o CTR Seropédica. As estações de transferência do Caju e de Vargem Pequena (existentes atualmente) serão reformadas e farão parte da estrutura do CTR Seropédica. Serão construídas mais cinco estações de tratamento, a saber: Penha, Tanque, Marechal Hermes, Bangu e Santa Cruz

Esgotos e efluentes

Para o setor de esgotos e efluentes, o Cenário A foi construído utilizando-se os dados relacionados ao volume de esgotos coletados e tratados no município, obtidos do Instituto Pereira Passos, e tem como premissa o fato de não haver nenhuma ampliação dos serviços de esgotamento sanitário já existentes. Sendo assim, conforme a população cresce ao longo do horizonte de tempo estudado, a porcentagem de pessoas atendidas por rede coletora (86%) e a porcentagem de pessoas atendidas por estações de tratamento (47%) no ano de 2005 (ano do inventário), permanece a mesma. Sendo assim, não havendo ampliação dos serviços de esgotamento sanitário, o número de pessoas atendidas por fossas e que não possuem nenhum tipo de serviço aumenta de forma diretamente proporcional ao crescimento da população.

²⁹ A compostagem evita a emissão de GEE da quantidade de material orgânico que estaria sendo encaminhado aos aterros, caso não fosse compostada. No entanto, conforme a metodologia do IPCC, a atividade emite uma pequena quantidade de metano, mesmo sendo aeróbica, que foi devidamente calculada neste estudo.

4.1.2. Cenário B

Resíduos sólidos

No Cenário B, as ações consideradas no âmbito do município para a redução de emissões consistem basicamente na captura e queima do biogás tendo a possibilidade do seu aproveitamento para uso industrial³⁰. As ações adotadas no Cenário B reduzem aproximadamente 1.610 Gg CO₂eq, uma quantidade considerável, cerca de 77% das emissões do setor de RSU. A maior redução de emissões (93%) é obtida pela medida de captura e queima do biogás nos aterros (Tabela 92).

Tabela 92 – Resumo das Ações e Suas Emissões Evitadas para o Cenário B (Gg CO₂eq).

Resíduos Sólidos Urbanos	2012	2016	2020	2025
Emissões Cenário A – RSU	1.826,0	1.896,1	1.976,6	2.085,1
Emissão evitada pela coleta seletiva	11,5	34,3	58,2	89,1
Captura e queima de biogás	955,5	1.443,0	1.473,0	1.509,2
Compostagem aeróbica	7,3	8,8	11,9	11,6
Emissões reduzidas	974,3	1.486,1	1.543,1	1.609,9
Emissões Cenário B – RSU	851,7	410,0	433,5	475,2

Fonte: Autores.

✓ **Ação 1: Coleta Seletiva**

A coleta seletiva é o termo utilizado para o recolhimento dos materiais que são passíveis de serem reciclados, previamente separados na fonte geradora. Dentre estes materiais recicláveis podemos citar os diversos tipos de papéis, plásticos, metais e vidros. Uma parcela desses materiais recicláveis, como o papel, por exemplo, ao serem encaminhados para os aterros, geram o biogás. Portanto, quando são reciclados existe uma emissão evitada, que é contabilizada na redução de emissões do município.

³⁰ O aproveitamento industrial do biogás normalmente reduz emissões de GEE na atividade da indústria em que é utilizado, como por exemplo, troca de combustível no processo, ou geração de eletricidade. Essas reduções de emissões não pertencem ao Setor de Resíduos. Neste estudo, não foi considerado as reduções de emissões de GEE pela utilização do biogás na indústria ou na geração de eletricidade, uma vez que ainda não se conhece a dimensão que isso poderá ter no município.

No Cenário B, a coleta seletiva tem um aumento gradual até atingir 5% em 2025, ou seja o valor de 6.000 t/ano (menos de 1%) em 2010 é extrapolado a partir de 2011 até atingir 5% em 2025

✓ **Ação 2: Captura e queima de biogás**

Os resíduos sólidos, ao serem aterrados, geram o biogás. A prática usual nos aterros é coletar e queimar uma pequena parte desse biogás por medidas de segurança, principalmente a prevenção de incêndios no local de disposição do resíduo. O restante do biogás drena através do aterro e é emitido para atmosfera. Portanto uma das formas de reduzir as emissões de metano, é a correta captura desse biogás para a queima em flairs. Ao ser queimado, o metano, se transforma em CO₂, e reduz as emissões porque o metano possui um poder de aquecimento 21 vezes maior que o gás carbônico.

No Cenário B a captura e a queima de biogás começa a partir de 2009, conforme cronograma seguinte, descrito por aterros:

- Aterro de Gramacho:
 - de junho a dezembro de 2009: 1.800 m³/h biogás = 118,5 GgCH₄/ano;
 - de janeiro de 2010 a fevereiro de 2012: 9,1% do CH₄ coletado;
 - de março de 2012 em diante: 80% do biogás coletado.
- Aterro de Gericinó:
 - de janeiro de 2014 em diante: 70% do biogás coletado.
- CTR de Seropédica:
 - de janeiro de 2012 em diante: 80% do biogás coletado.

✓ **Ação 3: Compostagem Aeróbica**

Compostagem consiste na utilização da parte orgânica do RSU para obter um material estável, rico em húmus e nutrientes, para ser utilizado como adubo. A atividade de compostagem observada na usina do Caju, é do “sistemas de leiras revolvidas”, onde a mistura de resíduos é disposta em leiras, sendo a aeração fornecida pelo revolvimento dos materiais e pela convecção do ar na massa do composto.

De acordo com a Resolução Conjunta SMAC/COMLURB nº 01/2010, a quantidade de composto a ser produzida a partir dos resíduos é a seguinte:

- em 2010: 7.500 m³ de composto, o que equivale a 7,66 Gg/ano de resíduos;
- de 2011 em diante: 15.000 m³, o que equivale a 15,33 Gg/ano de resíduos;

No entanto, segundo a COMLURB, em 2009 foram encaminhados à compostagem cerca de 30 t/dia, ou 10,95 Gg de resíduos/ano. Sendo assim, para o Cenário B, considerou-se esta quantidade nos anos de 2009 e 2010 e 15,33 Gg de resíduos/ano a partir de 2011.

Esgotos e efluentes

No Cenário B, as ações e medidas constantes do planejamento para a ampliação e melhoria dos serviços de esgotamento sanitário ocasionam um aumento das emissões de GEE, uma vez que, na falta de maiores informações, e de forma conservadora, adotou-se a hipótese de que as novas ETEs (Estação de Tratamento de Esgotos), adotariam a tecnologia de sistemas anaeróbicos.

- ✓ **Ação 1:** Início de operação da estação de tratamento da Barra da Tijuca (capacidade para 900L/s) em 2007
- ✓ **Ação 2:** Ampliação da estação de tratamento da Barra da Tijuca para uma capacidade de 2.500L/s em 2011
- ✓ **Ação 3:** Início da operação da estação de tratamento de Deodoro em 2016, atendendo 344.239 habitantes

As ações consideradas acima, considerando-se o sistema anaeróbico, aumentam as emissões do município em aproximadamente 63 Gg CO₂e (Tabela 93).

Tabela 93 – Resumo das Ações e Suas Emissões Evitadas para o Cenário B (Gg CO₂eq).

Efluentes Líquidos	2012	2016	2020	2025
Emissões Cenário A – Efluentes	785,2	798,1	813,5	833,3
Início de operação da estação de tratamento da Barra da Tijuca (capacidade para 900L/s) em 2007	-39,3	-42,2	-42,2	-42,1
Ampliação da estação de tratamento da Barra da Tijuca para uma capacidade de 2.500L/s em 2011	-112,7	-121,0	-121,0	-121,0
Início da operação da estação de tratamento de Deodoro em 2016, atendendo 344.239 habitantes	2,0	-44,4	-44,3	-44,3
Emissões reduzidas	-150,1	-207,6	-207,5	-207,5
Emissões Cenário B– Efluentes	835,2	1.005,7	1.021,1	1.040,8

Fonte: Autores. Obs: valores negativos representam aumento nas emissões.

4.1.3. Cenário C

Resíduos sólidos

No cenário C as ações estabelecidas no Cenário B são ampliadas de forma que a redução de emissões contabilizam 1.806,4 Gg CO₂eq, cerca de 87% das emissões do setor de RSU, dos quais 77% são provenientes da captura e queima do biogás nos Aterros (Tabela 94).

✓ **Ação 1: Coleta Seletiva**

No Cenário C, a coleta seletiva tem um aumento gradual até atingir 10% em 2025, ou seja o valor de 6.000 t/ano (menos de 1%) em 2010 é extrapolado a partir de 2011 até atingir 10% em 2025

✓ **Ação 2: Captura e queima de biogás**

No Cenário C, a captura e queima de biogás é ampliada para 85% da seguinte forma:

- Aterro de Gramacho – de março de 2012 em diante
- Aterro de Gericinó – de janeiro de 2014 em diante
- CTR Seropédica – de janeiro de 2012 em diante

✓ **Ação 3: Compostagem Aeróbica**

Igual ao Cenário B

Tabela 94 – Resumo das Ações e Suas Emissões Evitadas para o Cenário C (GgCO₂eq).

Resíduos Sólidos Urbanos	2012	2016	2020	2025
Emissões RSU – Cenário A	1.826,0	1.896,1	1.976,6	2.085,1
Emissão evitada pela coleta seletiva	23,6	70,8	120,0	183,8
Captura e queima de biogás	1.033,3	1551,3	1.576,8	1.611,0
Compostagem aeróbica	7,3	8,8	11,9	11,6
Emissões reduzidas	1.064,2	1.630,9	1.708,7	1.806,4
Emissões RSU – Cenário C	761,8	265,2	267,9	278,7

Esgotos e efluentes

Conforme comentado no Cenário B, as ações e medidas constantes do planejamento para a ampliação e melhoria dos serviços de esgotamento sanitário ocasionam um aumento das emissões de GEE, uma vez que, na falta de maiores informações, e de forma conservadora, adotou-se a hipótese de que as novas ETES (Estação de Tratamento de Esgotos), adotariam a tecnologia de sistemas anaeróbicos no Cenário B.

Dessa forma, o Cenário C considera que as novas ETES instaladas recuperarão todo o metano gerado para queima. Neste cenário, assim como no Cenário B, apesar de um aumento nas emissões devido ao maior número de habitantes sendo atendido pelo sistema de tratamento, estas emissões são mitigadas consideravelmente quando se considera a captura e a queima do metano. Portanto, podemos observar que no Cenário de linha base, Cenário A, sem aumento e melhoria do sistema de esgotamento sanitário, as emissões alcançam 833 Gg CO₂eq. No cenário B se considera o aumento dos serviços de esgotamento sanitário e portanto adotando-se ETES com sistema anaeróbico essas emissões alcançam 1.040 Gg CO₂eq. O cenário C mostra que ao aumentar o atendimento à população, caso haja a coleta e a queima do biogás produzido nas ETES, as emissões reduzem para 779,5 Gg CO₂e (Tabela 95).

✓ **Ação 1**

Início de operação da estação de tratamento da Barra da Tijuca (capacidade para 900L/s) em 2007.

✓ **Ação 2**

Ampliação da estação de tratamento da Barra da Tijuca para uma capacidade de 2.500L/s em 2011.

✓ **Ação 3**

Início da operação da estação de tratamento de Deodoro em 2016, atendendo 344.239 habitantes.

✓ **Ação 4**

As novas ETEs instaladas recuperarão todo o metano gerado para a queima.

Tabela 95 – Resumo das ações e suas emissões evitadas para o Cenário C (Gg de CO₂).

Efluentes Líquidos	2012	2016	2020	2025
Emissões Efluentes – Cenário A	785,1	798,0	813,6	833,3
Início de operação da estação de tratamento da Barra da Tijuca (capacidade para 900L/s), com captura do gás gerado	30,3	11,7	11,6	11,7
Ampliação da estação de tratamento da Barra da Tijuca para uma capacidade de 5.300L/s, com captura do gás gerado	77,9	30,0	29,9	29,9
Início da operação da estação de tratamento de Deodoro, atendendo 344.239 habitantes, com captura do gás gerado	3,5	12,2	12,2	12,2
Emissões reduzidas	111,64	53,83	53,68	53,7
Emissões Efluentes – Cenário C	673,5	744,2	759,9	779,6

Fonte: Autores. Obs: valores negativos representam aumento nas emissões.

4.2. Planos Estratégicos PCRJ (2009-2012 / 2013-2016)

No que se refere aos planos estratégicos para a cidade do Rio de Janeiro, especificamente, na área de Resíduos, o município vem se comprometendo em varias iniciativas, tais como:

- Metas de habitação urbana:
 - Levar urbanização – água, tratamento de esgoto, drenagem, iluminação pública, coleta de lixo, contenção e pavimentação – a 156 mil domicílios até 2016, no âmbito da iniciativa Morar Carioca.

- Metas de meio ambiente e sustentabilidade:
 - Aumentar para 55% a taxa de cobertura da rede coletora de esgoto com tratamento na AP 5 até 2016.
 - Coletar 25% de todo o lixo reciclável produzido na cidade até 2016.

Entretanto, nenhuma destas ações tem relação direta com emissões/remoções de GEE. Conforme já mencionado, tanto para resíduos sólidos quanto para esgotos, a principal ação de mitigação das emissões é a captura e queima ou aproveitamento do gás de aterro. Os aterros de Gramacho, Seropédica, Nova Iguaçu e a ETE Alegria, que recebem resíduos e esgotos do Município do Rio de Janeiro, realizam a captura e queima deste gás, o que contribuiu para a redução de emissões, conforme mostra a tabela a seguir.

Tabela 96 – Resumo das Reduções de Emissões de GEE Estimadas (Gg CO₂ eq.)

Ações	2012	2016	2020	2025
Emissões reduzidas /Resíduos Sólidos Urbanos	243,80	1.240,00	-	-
Captura e queima de biogás em Gramacho	235,10	329,00	-	-
Captura e queima de biogás em Seropédica	8,70	911,00	-	-
Emissões reduzidas/Efluentes Líquidos	11,90	-	-	-
Total das remoções	255,70	1.240,00		

4.3. Considerações Finais

Com o objetivo de mensurar o alcance dos esforços de mitigação das emissões de GEE, no que se refere às ações propostas e realizadas no município do Rio de Janeiro, foi realizada uma comparação entre os resultados dos cenários de mitigação propostos e com as ações de mitigação estimadas. Sendo assim, na Tabela 97 é possível observar o comportamento das emissões/remoções de GEE no tempo de análise.

Tabela 97 – Comparativo das remoções de carbono das ações de Resíduos para o Município do Rio de Janeiro (Gg CO₂eq).

	2012	2016	2020	2025
Cenário B	824,20	1.278,50	1.335,60	1.402,50
Resíduos sólidos	974,30	1.486,10	1.543,10	1.609,90
Efluentes	-150,10	-207,60	-207,50	-207,40
Cenário C	1.175,90	1.684,70	1.762,50	1.860,20
Resíduos sólidos	1.064,20	1.630,90	1.708,70	1.806,40
Efluentes	111,70	53,80	53,80	53,80

	2012	2016	2020	2025
Ações estimadas	255,70	1.240,00	-	-
Resíduos sólidos	243,80	1.240,00	-	-
Efluentes	11,90	0,00	-	-

*Os valores negativos representam aumento nas emissões..

Ainda que tenham ocorrido recuperações de metano nos aterros de Gramacho, Seropédica, Nova Iguaçu e na ETE Alegria, essas recuperações não foram suficientes para que as emissões em 2012 fossem reduzidas como previsto no estudo de cenários. Entre outras razões, um dos principais motivos para o não atingimento das reduções foi uma mudança no cronograma de implementação da queima do biogás para uso industrial (biogás purificado como combustível para REDUC). As incertezas regulatórias e o impacto sobre o mercado de carbono provavelmente influenciou na decisão dos atores privados (no caso, a Petrobras).

O gasoduto que liga a unidade de purificação à REDUC entra em operação em março de 2013. Ao fim de 2013, a captura e queima de biogás no CTR de Seropédica iniciada em novembro de 2012 deverá ser bem superior à previsão inicial. O biogás, queimado em flare a partir de junho de 2009 atingirá a projeção inicial de 12.000 m³/h até o final de 2013. Justifica-se também a utilização dessa tecnologia por ser mais sustentável do que a simples queima do biogás, embora de mais complexa implementação. A alteração no cronograma impediu o Município de atingir as metas de 2012, mas o deixa mais próximo de atingi-las ao fim de 2013, conforme mostra a Tabela 98, abaixo.

Tabela 98 – Redução verificada de emissões em 2012 e 2013.

Medidas de Redução GEE – RJ	2012	2013
Captura e queima de biogás no Aterro de Gramacho	237	413
Captura e queima de biogás no CTR de Seropédica	18	425
Total (mil toneladas CO₂ eq):	255	838

Uma vez que a tendência é de ampliação do saneamento da cidade, como por exemplo, todo resíduo destinado a aterros 100% sanitários, que produzem mais gases estufa em função de sua condição anaeróbica, é de se esperar que as emissões continuem aumentando, caso não sejam empregados mais esforços para aumentar a recuperação do biogás gerado ou adotadas tecnologias menos geradoras de gases estufa, como usinas de compostagem de orgânicos, usinas térmicas para geração de eletricidade ou mesmo uso veicular do metano recuperado e o incremento da reciclagem.

5. Consolidação das Estimativas

Segundo a atualização dos resultados do inventário de 2005, as emissões totais da cidade em 2005 somaram 11.402,18 mil toneladas de CO₂e. Sendo assim, as metas de redução de emissões previstas em lei correspondem a 912 mil toneladas CO₂e (8% das emissões de 2005) em 2012. Para 2016, os 16% significariam 1.824 mil toneladas de CO₂e.

Devido aos motivos já detalhados nos setores, as estimativas do presente estudo mostram que as ações realizadas pela Prefeitura até 2012 não foram suficientes para o alcance da meta de 8%. Entretanto, para 2016, as ações previstas, se realmente implantadas, chegarão bem próximas de atingir a meta de 16%, conforme mostra a Tabela 99.

Vale ressaltar que a cidade está em pleno crescimento e é preciso considerar que o Complexo Siderúrgico do Atlântico, que ainda não está operando a plena carga, deve atingi-la até 2016. Considerando que para um nível de produção de 3,5 milhões de toneladas de aço bruto, as emissões brutas do complexo chegaram a 8,8 milhões de toneladas de CO₂e, e as emissões líquidas a 6,3, em 2012, a plena carga de 5 M t de aço bruto, estas emissões serão maiores e provavelmente superarão as reduções previstas pelas ações de mitigação do Município.

Tabela 99 – Reduções de emissões estimadas para o período do Plano Estratégico do Município do Rio de Janeiro.

Emissões Reduzidas (mil toneladas de CO₂e)	2012	2016
Energia – Fontes Fixas	0,70	0,70
Energia – Emissões Fugitivas- Substituição da rede de distribuição de gás (CEG)	5,70	17,00
Energia – Transportes	79,60	525,00
BRTs (1 em 2012, 4 em 2016)	7,70	211,10
BRS Copacabana	17,60	17,60
Expansão do Metrô	51,10	289,90
Expansão da rede de ciclovias (300km)	3,20	6,40
Agricultura, Florestas e Uso do Solo – AFOLU	36,30	49,70
Resíduos Sólidos Urbanos	243,80	1.240,00
Captura e queima de biogás em Gramacho	235,10	329,00
Captura e queima de biogás em Seropédica	8,70	911,00
Efluentes Líquidos	11,90	-
Total Emissões Reduzidas	378,00	1.832,40
Metas da Política Municipal de Mudanças Climáticas	912,17	1.824,35

Anexo I - Resumo das fontes e GEEs emitidos considerados no Inventário

Fonte de Emissão		GEEs Emitidos Considerados
Energia	Escopo 1	
	Emissões da geração de eletricidade na Central de Serviço Público (Usina de Santa Cruz) e por autoprodutores	CO ₂ , CH ₄ and N ₂ O
	Emissões da produção de coque ⁽¹⁾	CO ₂ , CH ₄ and N ₂ O
	Emissões da geração de energia térmica durante o processo de refino de petróleo	CO ₂ , CH ₄ and N ₂ O
	Emissões da queima de combustíveis para uso final nos diversos setores: residencial, comercial, público, agropecuário, industrial, transporte e geração e distribuição de energia.	CO ₂ , CH ₄ and N ₂ O
	Emissões da perda de eletricidade na distribuição	CO ₂ , CH ₄ and N ₂ O
	Emissões fugitivas do processo de refino de petróleo	CO ₂ , CH ₄ and N ₂ O
	Emissões fugitivas da atividade siderúrgica ⁽¹⁾	CO ₂ , CH ₄ and N ₂ O
	Emissões fugitivas da distribuição de gás natural	CH ₄
	Emissões de <i>Bunkers</i>	CO ₂ , CH ₄ and N ₂ O
	Escopo 2	
	Emissões de CO ₂ da eletricidade do Sistema Interligado Nacional, distribuídas pelos setores consumidores	CO ₂
	Escopo 3	
	Emissões da cadeia produtiva do etanol ⁽²⁾	CO ₂ , CH ₄ and N ₂ O
Emissões da cadeia produtiva do biodiesel ⁽²⁾	CO ₂ , CH ₄ and N ₂ O	
Emissões fugitivas da exploração do carvão mineral usado na siderurgia ⁽³⁾	CH ₄	
IPPU ⁽⁴⁾	Escopo 1	
	Emissões da produção de vidro	CO ₂
	Emissões da produção de metanol	CO ₂ and CH ₄
	Emissões dos processos siderúrgicos ^(1,3)	CO ₂ , CH ₄ and N ₂ O
	Emissões do uso de óxido nitroso	N ₂ O
Emissões de CO ₂ do uso de óleos lubrificantes, graxas e parafinas	CO ₂	
AFOLU	Escopo 1	
	Emissões e remoções de CO ₂ da mudança de uso do solo	CO ₂
	Emissões da fermentação entérica de animais	CH ₄
	Emissões do manejo de dejetos de animais	CO ₂ , CH ₄ and N ₂ O
Emissões da correção dos solos agrícolas (aplicação fertilizantes, uréia e cal)	CO ₂ , CH ₄ and N ₂ O	
Resíduos	Escopo 1	
	Emissões dos resíduos municipais (urbanos, industriais, e de saúde) aterrados dentro do município	CH ₄ ⁽⁵⁾
	Emissões da incineração controlada de resíduos municipais dentro do município	CO ₂ ⁽⁶⁾
	Emissões da compostagem de resíduos orgânicos	CH ₄ and N ₂ O ⁽⁵⁾
	Emissões da disposição e/ou tratamento de esgotos domésticos e comerciais e efluentes industriais	CH ₄ and N ₂ O ⁽⁵⁾
Escopo 3		
Emissões dos resíduos municipais (urbanos, industriais, e de saúde) aterrados fora do município	CH ₄ ⁽⁵⁾	

Fonte de Emissão	GEEs Emitidos Considerados
------------------	----------------------------

⁽¹⁾ Parte das emissões da atividade siderúrgica foram informados diretamente como emissões, já em CO₂e e portanto foram alocadas em tabelas somente na coluna referente ao CO₂.

⁽²⁾ O fator utilizado já calcula as emissões direto em CO₂e.

⁽³⁾ Parte das emissões provenientes da indústria siderúrgica é computada no setor de energia, como as emissões da produção de coque e da geração de energia térmica e elétrica

⁽⁴⁾ Não identificou-se outras indústrias ou processos emissores ocorrendo dentro das fronteiras municipais além das atividades listadas.

⁽⁵⁾ Também há emissão de CO₂, mas não é contabilizada pois é considerada de origem biogênica.

⁽⁶⁾ No caso de incineração controlada, feita em uma usina de incineração e sob altas temperaturas, as emissões de CH₄ e N₂O são desprezíveis.

Referências Bibliográficas

- ANEEL, 2013, *Banco de Informações de Geração*, Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=15>. Acesso em fevereiro de 2013.
- ANP, 2013, *Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis-2012*. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Rio de Janeiro.
- BEE-RJ, 2012. *Balanço Energético do Estado do Rio de Janeiro 2012*. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico, Energia, Indústria e Serviços – SEDEIS-RJ.
- BIKERIO. Sobre o BikeRio. Disponível em: <<http://www.mobilidade.com.br/bikerio.asp>>. Acesso: 13 set. 2013.
- BRASIL, 2004, *Comunicação Nacional Inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança no Clima*. Ministério da Ciência e Tecnologia. Brasília. 170
- _____, 2010, *Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança no Clima*. Ministério de Ciência e Tecnologia. Brasília.
- _____. *Lei N° 12.715 de 17 de setembro de 2012*. Disponível em: <<http://www3.dataprev.gov.br/sislex/paginas/42/2012/12715.htm>>. Acesso: 13 set. 2013.
- CARNEVALE, C., GABUSI, V. e VOLTA, M., 2006, "POEM-PM: an emission model for secondary pollution control scenarios", *Environmental Modelling & Software*, v.21, n.3, pp.320.
- COMPANHIA MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA. *Caracterização gravimétrica e microbiológica dos resíduos sólidos domiciliares do município do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Comlurb/PCRJ, 2013.
- D' AVIGNON, A., CARLONI, F. A., ROVERE, E. L. L., et al., 2010, "Emission inventory: An urban public policy instrument and benchmark", *Energy Policy*, v.38, n.9, pp.4838-4847.
- DOLL, C. N. H., DIRGAHAYANI, P. e GASPARATOS, A., 2011, "Urban Mobility Co-benefits and their Contribution to Sustainable Urban Development: A Developing Country Perspective". In: *Proceedings of the Asian Planning Schools Association Congress*, pp. 1308-1317.
- EMATER-RIO, 2012. *Lista das culturas e áreas agrícolas no Município do Rio de Janeiro*. Comunicação pessoal com técnicos da EMATER-Rio
- EPE, 2013. Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). *Balanço Energético Nacional 2013: Ano base 2012* / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro.
- FONG, W. K.; SOTOS, M.; DOUST, M.; SCHULTZ, S.; MARQUES, A.; DENG-BECK, C. 2012. *Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories - An Accounting and Reporting Standard for Cities – Pilot Version 1.0 – May 2012*.

FUNDAÇÃO PARQUES E JARDINS, 2012. *Lista de n° de árvores plantados no Município do Rio de Janeiro no período 2007-2012*. Comunicação pessoal com os técnicos.

IBGE, 2011a. *Pesquisa de orçamentos familiares 2008-2009: Análise do consumo alimentar no Brasil*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/Coordenação de Trabalho e Rendimento, 150 p. ISBN 978-85-240-4198-3.

_____, 2011b. *Pesquisa Pecuária Municipal – PPM 2011*. Disponível em:
<<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?e=v&p=PP&z=t&o=4>>. Acesso em:
23 agosto 2013.

_____, 2011c. *Pesquisa Industrial Mensal – Produção Física, Brasil: dezembro 2011*.
Disponível em:
<ftp://ftp.ibge.gov.br/Industrias_Extrativas_e_de_Transformacao/Pesquisa_Industrial_Mensal_Producao_Fisica/Fasciculos/Fasciculo_Indicadores_IBGE_Brasil/2011/>. Acesso: 13
set. 2013.

_____, 2012a. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD 2011*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro. Disponível em:
<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2011/>>.
Acesso em: 16 maio 2013.

_____, 2012b. *Pesquisa Mensal de Emprego – Dezembro 2012*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em:
<ftp://ftp.ibge.gov.br/Trabalho_e_Rendimento/Pesquisa_Mensal_de_Emprego/fasciculo_indicadores_ibge/2012/>. Acesso: 13 set. 2013.

_____, 2013a. *Censo 2010*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em:
<http://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso: Setembro de 2013.

_____, 2013b. *Cidades@ – Rio de Janeiro*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/index.php>. Acesso em: 23 agosto de 2013.

IEA, 2005. *Energy Statistics Manual*. International Energy Agency. Paris: OCDE/IEA.

_____, 2009. *World Energy Outlook 2008*. International Energy Agency. Paris: OCDE/IEA.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). *Programa Inspeção / Manutenção de Veículos*. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/fma/programa-im.asp>>. Acesso: 01 de out. 2013.

INSTITUTO PEREIRA PASSOS – IPP, 2012. *Cidade do Rio de Janeiro – Uso do Solo 2011*.
Disponível em: <http://www.armazemdedados.rio.rj.gov.br/>

- _____, 2013. *PIB Municipal: Conceituação, metodologia e análise para a Cidade do Rio de Janeiro*. Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos. Rio de Janeiro: Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro.
- IPCC, 2006, *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. National Greenhouse Gas Inventories Programme/IGES. Japan.
- _____, 2007a, *Annex I (glossary) to the fourth assessment report*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland.
- _____, 2007b, *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland.
- KIMMEL, V. e KAASIK, M., 2003, "Assessment of urban air quality in south Estonia by simple measures", *Environmental Modeling and Assessment*, v.8, pp.47-53.
- KOJIMA, M. e LOVEI, M., 2001, *Urban Air Quality Management – Coordinating Transport, Environment, and Energy Policies in Developing Countries* Washington, The World Bank.
- LOUREIRO, Saulo Machado. *Índice de Qualidade no Sistema da Gestão Ambiental em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos – IQS*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.
- LOUREIRO, Saulo Machado; ROVERE, Emilio Lèbre La; MAHLER, Cláudio Fernando.
“Analysis of potential for reducing emissions of greenhouse gases in municipal solid waste in Brazil, in the State and City of Rio de Janeiro.” *International Journal of Integrated Waste Management, Science & Technology*. Oxford, UK, v. 33, n. 5, p. 1302-1312, mar. 2013. ISSN 0956-053X.
- MACEDO, I. C., SEABRA, J. E. A., e SILVA, J. E. A. R., 2008. “Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brasil: the 2005/2006 averages and a prediction for 2020”. *Biomass and Bioenergy*, n. 32, p. 582-595.
- MCTI, 2013. *Fatores de Emissão de CO2 pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil*. Brasil: Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação.
- NOGUEIRA, L.A.H., 2011. “Does biodiesel make sense?”. *Energy*, n.36, p. 3659-3666.
- MURPHY K., SHLEIFER A., VISHNY R. W., 1989. Industrialization and the Big Push. *Journal of political economy*, v. 97, n.5.
- PENG, C., WU, X., LIU, G., et al., 2002, "Urban Air Quality and Health in China", *Urban Studies*, v.39, n.12, pp.2283-2299.
- PETROBRAS, 2010. Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Relatórios de referência – Emissões Fugitivas de Gases de Efeito Estufa na

- Indústria de Petróleo e Gás Natural. Rio de Janeiro: Petrobras. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/330054/Emissoes_Fugitivas_de_Gases_de_Efeito_Estufa_na_Industria_de_Petroleo_e_Gas_Natural.html>. Acesso em: 14 set. 2013.
- RIO DE JANEIRO, 2011. *Plano Estratégico da Prefeitura do Rio de Janeiro 2009-2012: Pós – 2016 O Rio mais Integrado e Competitivo*. Rio de Janeiro: Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. Disponível em: < http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/2116763/243779/planejamento_estrategico_site.pdf>. Acesso em: 14 set.
- RIO DE JANEIRO, 2013. *Plano Estratégico da Prefeitura do Rio de Janeiro 2013-2016: Pós – 2016 O Rio mais Integrado e Competitivo*. Rio de Janeiro: Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. Disponível em: < http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/2116763/4104304/planejamento_estrategico_1316.pdf>. Acesso em: 12 set.
- ROVERE, Emilio Lèbre La; DUBEUX, C. B. S.; COSTA, Claudia do Valle; *et. al.*, 2007 *Inventário de Emissões de GEE do Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Centro Clima/COPPE/LIMA.
- ROVERE, Emilio Lèbre La; COSTA, Claudia do Valle; CARLONI, Flávia Beatriz; *et. al.*, 2010. *Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa da Cidade do Rio de Janeiro*. Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas/Fundo de Conservação Ambiental/COPPE-UFRJ. Rio de Janeiro: Centro Clima/COPPE/LIMA.
- _____, 2011. *Plano de Ação para a Redução de Emissões dos Gases de Efeito Estufa da Cidade do Rio de Janeiro*. Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas/ COPPE-UFRJ. Rio de Janeiro: CENTRO CLIMA/COPPE/LIMA.
- SECRETARIA DO ESTADO DO AMBIENTE (SEA), 2011. *Inventário de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores do Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://download.rj.gov.br/documentos/10112/975111/DLFE-51272.pdf/Inventario_2011.pdf>. Acesso em: 01 de out. 2013.
- SMAC, 2011. *Mapeamento da Cobertura Vegetal e do Uso das Terras do Município do Rio de Janeiro*. Secretaria Municipal De Meio Ambiente. Rio de Janeiro: Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/web/smac/exibeconteudo?article-id=2367969>
- SIQUEIRA, L. P. e MESQUITA, C. A. 2007. *Meu Pé de Mata Atlântica: experiências de recomposição florestal em propriedades particulares no corredor central*. 1. Ed. Rio de Janeiro: Instituto BioAtlântica. 188 p.”.

- TANIZAKI, K. 2003. *Avaliação do Estoque de Carbono nas Formações Florestais e na Vegetação Secundária do Estado do Rio de Janeiro*. In: *Fundação CIDE. Índice de qualidade dos Municípios – verde (II edição)*. Rio de Janeiro, 2003. Cap 8, p 117 – 125.
- VENEGAS, L. E. e MAZZEO, N. A., 2006, "Modelling of urban background pollution in Buenos Aires City (Argentina)", *Modelling & Software*, v.21, pp.577-586.
- VIEIRA, S. M. M., & SILVA, J. W. Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Relatórios de Referência – Emissões de Metano no Tratamento e na Disposição de Resíduos. CETESB/MCT. Brasília. 2002.
- VON SPERLING, M.; OLIVEIRA, S. M., 2005, "Avaliação comparativa de seis tecnologias de tratamento de esgoto em termos de atendimento a padrões de lançamento." In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 23., 2005. Campo Grande. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES.
- WRI, 2011. *Technical Assistance to the City of Rio de Janeiro on Citywide Greenhouse Gas Monitoring System*. Washington: World Resource Institute/World Bank.

Declaração de Verificação

DECLARAÇÃO DE VERIFICAÇÃO

DNV·GL

A Det Norske Veritas Certificadora Ltda (DNV GL) foi contratada para realizar a verificação independente do Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa da Cidade do Rio de Janeiro de 2012, o qual fora elaborado pela COPPE com intuito de quantificar e reportar as emissões diretas e indiretas de GEE decorrentes das atividades da cidade em 2012, buscando atender as recomendações da Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emissions (GPC).

O trabalho foi conduzido pela DNV GL a partir de dados, informações e documentos fornecidos pela Prefeitura do Rio de Janeiro e pela COPPE, que são responsáveis por todas as informações fornecidas assim como por todos os processos envolvidos na coleta, análise e relato das informações. Desta forma, a DNV GL não assume qualquer responsabilidade sobre qualquer decisão, ação ou interpretação fundamentada na observação das informações constantes neste relatório/declaração de verificação de inventário de GEE.

A verificação do Inventário de Emissões de Gases do Efeito Estufa de 2012 da Cidade do Rio de Janeiro foi baseado nas recomendações da Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emissions (GPC) Pilot version 1.0, bem como na ferramenta desenvolvida pelo GHG Protocol para verificação de inventários corporativos: "Especificações de Verificação do Programa Brasileiro GHG Protocol".

O total de emissões de GEE reportado no Inventário de Emissões de Gases do Efeito Estufa de 2012 da Cidade do Rio de Janeiro foi de 23.602,90 Gg de CO₂ equivalente, correspondentes a:

- 20.034,92 Gg CO₂ equivalente de emissões por fontes diretas, consideradas como Escopo 1;
- 1.297,42 Gg CO₂ equivalente de emissões por fontes indiretas provenientes de importação de energia elétrica, considerada como Escopo 2;
- 2.270,56 Gg CO₂ equivalente de emissões por outras fontes indiretas, consideradas como Escopo 3.

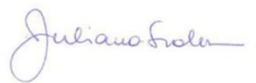
Esta declaração de verificação documenta que a Prefeitura do Rio de Janeiro realizou atividades de verificação de acordo com as "Especificações de Verificação do Programa Brasileiro GHG Protocol". Esta declaração também atesta que a DNV GL fornece nível de confiança razoável de que as emissões de gases de efeito estufa informadas pela Prefeitura do Rio de Janeiro para o ano de 2012 são verificáveis.

A DNV GL declara que os totais de emissões de GEE reportados para os Escopos 1, 2 e 3 do Inventário das Emissões de Gases do Efeito Estufa da Cidade do Rio de Janeiro foram corretamente quantificados e documentados de maneira transparente e que as abordagens utilizadas são razoáveis e aceitáveis no contexto dos critérios e diretrizes adotados para esta verificação.

Rio de Janeiro, 24 de Março de 2015.



Felipe Lacerda Antunes
Auditor Líder
Det Norske Veritas Certificadora Ltda.



Juliana Scalón
Aprovador
Det Norske Veritas Certificadora Ltda.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO
SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE
<http://www.rio.rj.gov.br/web/smac>

