

# INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

RIO



**PREFEITURA**

MEIO AMBIENTE

RIO 2017



Uma conquista  
da **PREFEITURA**.  
Uma vitória  
do **RIO**.

Prefeito Cesar Eptácio Maia  
Secretário Municipal de Meio Ambiente Ayrton Alvarenga Xerez

COPPE



Centro de Estudos  
Integrados sobre  
Meio Ambiente e  
Mudanças Climáticas

**RIO**



**PREFEITURA**

**MEIO AMBIENTE**

INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES  
DO EFEITO ESTUFA  
DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

RIO DE JANEIRO 2003

**COPPE**



Centro de Estudos  
Integrados sobre  
Meio Ambiente e  
Mudanças Climáticas



**Fundo de Conservação  
Ambiental**

Publicação financiada com recursos  
do Fundo de Conservação Ambiental  
da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro

Este trabalho foi realizado mediante os termos do  
contrato SMAC nº 63/99 celebrados entre a  
Cidade do Rio de Janeiro e a Fundação COPPETEC.

Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa  
da Cidade do Rio de Janeiro.  
Rio de Janeiro, 2000  
104 p.

Prefeito da Cidade do Rio de Janeiro  
**Cesar Eptácio Maia**

Secretário Municipal de Meio Ambiente  
**Ayrton Alvarenga Xerez**

As mudanças climáticas globais vêm sendo nos últimos anos objeto de destaque no setor de pesquisa, constituindo-se num dos maiores desafios encontrados pela comunidade científica.

Em sua recente história, a preocupação com os prováveis impactos dos chamados gases do efeito estufa, provocou uma série de acordos internacionais e ganhou gradativamente espaço nos meios de comunicação.

Apesar de não gerarem efeitos localizados, onde quer que sejam emitidos os gases contribuintes ao efeito estufa estarão provocando alterações no padrão climático em todo o planeta. Assim, a possibilidade de sua quantificação local demonstra um importante avanço no conhecimento do problema e na busca de soluções.

O Inventário de Emissões de Gases do Efeito Estufa da Cidade do Rio de Janeiro é uma iniciativa inédita no Brasil, tendo a equipe da COPPE/UFRJ adaptado a metodologia proposta pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas - IPCC para a escala e características da cidade.

Seu desenvolvimento visa atender ao compromisso assinado pela Prefeitura, em 1998, de adesão à Campanha **Cities for Climate Protection (CCP)**, promovida pelo **International Council for Local Environmental Initiatives (ICLEI)**.

Com os resultados deste estudo, baseado nas emissões de dióxido de carbono e metano de responsabilidade da Cidade, ações nas áreas de energia, indústria, tratamento de resíduos, transporte, uso do solo e florestas e agricultura poderão ser direcionadas com o intuito de reduzir estas emissões.

A Secretaria Municipal de Meio Ambiente ao divulgar estes resultados mostra à população carioca como colaborar na redução dos impactos provocados no sistema global através da implementação de ações locais.

**Ayrton Alvarenga Xerez**  
Secretário Municipal de Meio Ambiente da Cidade  
do Rio de Janeiro

## EQUIPE TÉCNICA

---

### PREFEITURA MUNICIPAL

Secretaria Municipal de Meio Ambiente

Centro de Tecnologia e Informações Ambientais

Marilene Agrizzi Nacaratti

Marcos Borges Pereira

Brasiliano Vito Fico

Maria do Carmo Dias Bueno

Coordenadoria de Recuperação Ambiental

Celso Junius Ferreira Santos

Luiz Otávio Pedreira

Coordenadoria de Controle Ambiental

/Gerência de Fiscalização

Magda Carneiro Valverde

Programa Especial de Gestão Energética

da Cidade do Rio de Janeiro

Monica Di Masi

Coordenadoria de Despoluição dos Recursos Hídricos

Carmen Delorme Goiata Lucariny

Vinicius de Oliveira

Sebastiana Maria Bonfim Cesario

COMLURB

Marco Antônio Melo França

RIOLUZ

Mauro Eizman

Secretaria Municipal de Urbanismo

Georgete Barreto

Instituto Pereira Passos

Fábio Pires

Hélcio Junior

### FUNDAÇÃO COPPETEC

Equipe técnica responsável pela realização do Inventário dos seguintes centros de pesquisa:

IVIG - Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais

LIMA - Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente

PPE - Programa de Planejamento Energético da

COPPE/UFRJ - Instituto de Pesquisa e Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro

Coordenação

Emílio Lèbre La Rovere

Equipe Técnica

Carolina Burle Schmidt Dubeux

Laura Bedeschi Rego de Mattos

Leonardo da Silva Ribeiro

Luciano Basto Oliveira

Luiz Carlos Sérvulo Aquino

Marcelo Golin Buzzatti

Suzana Kahn Ribeiro

Diagramação e Arte Finalização

Edson Carvalho

André Bordalo

Murilo Miranda Richulino

---

## INSTITUIÇÕES COLABORADORAS

As seguintes instituições colaboraram cedendo dados para a confecção do Inventário

● Agência Nacional do Petróleo

- ANP

● Companhia Distribuidora de Gás do Rio de Janeiro

- CEG

● Companhia de Engenharia de Tráfego

- CET-RIO

● Companhia Municipal de Energia e Iluminação

● Companhia Municipal de Limpeza Urbana

- COMLURB

● Corpo de Bombeiros

● Departamento de Trânsito do Estado do Rio de Janeiro - DETRAN

● Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes

- GEIPOT

● Fundação Estadual de Engenharia de Meio Ambiente

- FEEMA

● Fundação Parques e Jardins

● Furnas Centrais Elétricas S.A.

● Gerência de Aeroporto Rio de Janeiro - GARIO

● Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos

● Light

● Petrobras

● Refinaria de Manguinhos

● Secretaria Especial de Transportes

● Secretaria Municipal de Administração

● Secretaria Municipal de Urbanismo

● Superintendência Municipal de Transportes Urbanos

Assim como ocorre para o planeta como um todo, também no caso do município do Rio de Janeiro o  $\text{CO}_2$  é o principal gás de efeito estufa emitido, em termos de contribuição para o aquecimento global. As emissões de  $\text{CO}_2$  da Cidade se mantiveram em torno de 7,6 milhões de toneladas entre 1990 e 1998. Ao longo da década de 90, porém, as emissões de  $\text{CH}_4$  da Cidade vêm crescendo a uma taxa média de 5,4% ao ano, tendo sua contribuição passado de 31% do total, em 1990, para 40% em 1998.

A queima de combustíveis fósseis (gasolina, óleo diesel, óleo combustível, querosene de aviação, gás natural e glp, em ordem decrescente de importância) em diversos setores (transportes, geração elétrica, industrial, residencial/comercial, em ordem decrescente de importância) é a principal fonte de emissões de  $\text{CO}_2$  da Cidade.

A fermentação anaeróbia dos Resíduos Sólidos é a principal responsável pela emissão de  $\text{CH}_4$ , com cerca de 80% do total de metano contabilizado em 1990 e chegando a 91% em 1998, graças à ampliação da coleta e da parcela do lixo urbano com disposição adequada em aterros sanitários.

A principal alteração estrutural na composição das emissões da Cidade ao longo da década de 90 foi o aumento de importância das emissões devidas ao transporte rodoviário individual. Em 1990, o setor de transporte rodoviário coletivo e de cargas era o principal responsável pelas emissões de  $\text{CO}_2$ , pois grande parte da energia consumida pelo setor de transporte rodoviário individual era proveniente do álcool etílico, com emissão líquida zero (o  $\text{CO}_2$  emitido durante a queima do álcool é reabsorvido no crescimento da cana-de-açúcar). Já em 1996 e em 1998, a rápida expansão da frota de veículos particulares, conjugada com uma queda no uso do álcool, refletiu-se num grande aumento das emissões de  $\text{CO}_2$  devidas ao uso de gasolina, que superaram as do óleo diesel e de querosene de aviação.

1.	Introdução .....	6
2.	Uso de Energia .....	9
3.	Mudança no Uso do Solo e Florestas .....	55
4.	Setor Agropecuário .....	69
5.	Disposição Final de Resíduos Sólidos .....	72
6.	Tratamento de Esgotos Domésticos e Comerciais e Tratamento de Efluentes Industriais.....	77
7.	Sumário da Emissões na Cidade do Rio de Janeiro : Visão Integrada da Contribuição do Metano e do Dióxido de Carbono .....	86
8.	Comparação das Emissões da Cidade do Rio de Janeiro com as Emissões Nacionais, as Emissões do Estado do Rio de Janeiro e as Emissões de Outras Cidades do Mundo .....	99
	Bibliografia .....	104

## 1. INTRODUÇÃO

Na década de 80, a questão da mudança climática começou a despertar a preocupação da comunidade internacional, devido a evidências científicas de que o aumento da emissão de gases de efeito estufa<sup>1</sup>, provenientes de atividades humanas, estaria provocando o aquecimento da atmosfera terrestre. Uma série de conferências e seminários internacionais foram realizados e o consenso geral apresentado em 1990 no Primeiro Relatório Científico do chamado Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas<sup>2</sup> - IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). O IPCC passou a ser conhecido universalmente após a publicação desse relatório, representando um processo de pesquisa sem precedentes em tamanho e em escopo, sobre um tema científico. A missão do IPCC é divulgar a opinião consensual dos diferentes cientistas de diversas áreas de atuação que o compõem, sobre as questões que envolvem o aquecimento global, seus prováveis impactos e as potenciais políticas de resposta.

Em 1992, com o objetivo de analisar e discutir soluções para os problemas ambientais globais, as Nações Unidas promoveram uma reunião - UNCED 92 (United Nations Conference on Environment and Development) - que contou com a participação de chefes de estado. Durante a Conferência, realizada no Rio de Janeiro e por isso conhecida como Rio 92, foram aprovadas duas convenções: a Convenção do Clima e a Convenção da Biodiversidade. No início do ano de 1999, 175 países já haviam ratificado e se comprometido com os termos da Convenção do Clima. A Conferência das Partes (COP), órgão supremo da Convenção do Clima, composta por todos os países signatários, teve sua primeira sessão em 1995 em Berlim. Na terceira reunião da Conferência das Partes, realizada em Quioto em dezembro de 1997, foi adotado o chamado Protocolo de Quioto, onde os países desenvolvidos se comprometeram a reduzir em 5% em média suas emissões coletivas de gases de efeito estufa no período entre 2008 a 2012, com relação às emissões de 1990. As Conferências seguintes realizadas em Buenos Aires (1998) e Bonn (1999) procuraram discutir os detalhes de implementação do Protocolo de Quioto a partir do ano 2000.

Os países em desenvolvimento não têm, no momento, obrigação de reduzir suas emissões de gases de efeito estufa. O comprometimento destes países é o de apresentar um inventário de emissões chamado de "Comunicação Nacional para o Inventário de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal". Isto porque este Protocolo já regulamenta as emissões de gases clorofluorcarbonos que afetam a camada de ozônio que envolve a Terra, que também são importantes gases de efeito estufa.

Neste Inventário são apresentados os dados levantados sobre as emissões dos principais gases de efeito estufa - de responsabilidade da Cidade do Rio de Janeiro, bem como os fatores de emissão e os resultados obtidos. Estão computados os valores estimados para a emissão de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e metano ( $\text{CH}_4$ ), os principais gases de efeito estufa. Portanto, com isso não estão incluídas as emissões por parte do setor de solventes, como na Comunicação Nacional, já que este setor apresenta somente emissões de compostos orgânicos voláteis, excluindo-se o  $\text{CH}_4$  (NMVOC's<sup>4</sup>).

A metodologia usada foi a do IPCC<sup>3</sup>, apresentada nas Diretrizes para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa de 1996, oficialmente adotada pela Convenção do Clima. As adaptações e hipóteses com relação à metodologia do IPCC encontram-se neste documento e foram feitas de acordo com o modelo adotado pela Comunicação Nacional para o Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal.

Desta forma, o enfoque metodológico adotado neste trabalho permite um tratamento dos dados consistente com os valores das emissões nacionais a serem oficialmente apresentados pelo Governo Brasileiro à Convenção do Clima.

<sup>1</sup> Efeito estufa: aumento da temperatura da atmosfera terrestre em consequência da absorção de energia reemitida pela superfície terrestre. A presença de vapor d'água, gases de nitrogênio ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ), oxigênio e gases ricos em carbono ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ) absorve o calor refletido pela superfície da Terra, fazendo com que a temperatura média na atmosfera do planeta seja de  $15^\circ\text{C}$ ; sem o efeito estufa esta temperatura seria de  $-17^\circ\text{C}$ . Os principais gases responsáveis pelo efeito estufa são o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o óxido nítrico ( $\text{N}_2\text{O}$ ) cujas concentrações na atmosfera vêm aumentando sensivelmente devido às atividades antrópicas.

<sup>2</sup> Painel das Nações Unidas que congrega mais de 300 cientistas de todo o mundo <http://www.ipcc.ch>

A principal questão metodológica enfrentada por este trabalho, tendo em vista seu pioneirismo ao inventariar emissões de gases de efeito estufa municipais, foi exatamente delimitar sua abrangência para que se restringisse aquelas emissões cujas fontes resultassem apenas das atividades sócio-econômicas do município. O primeiro critério foi a utilização dos limites político-administrativos, ou seja, considerando as emissões realizadas no interior das fronteiras geográficas do município. Esta opção por si só seria insuficiente, pois deixaria de considerar importantes fontes de emissão induzidas pela Cidade do Rio de Janeiro ou compensadas em outros municípios.

Por exemplo, boa parte dos resíduos sólidos urbanos do município é direcionada há muitos anos para o aterro de Gramacho, situado no município de Duque de Caxias, onde ocorrem fisicamente as emanações de metano correspondentes à fermentação anaeróbica destes resíduos. Não seria adequado excluir estas emissões do inventário.

Por outro lado, as emissões de dióxido de carbono provenientes dos motores de veículos a álcool, realizadas no território da Cidade do Rio de Janeiro, são compensadas pelo cultivo da cana de açúcar de forma renovável, em outros municípios brasileiros onde se situa a produção sucroalcooleira. Analogamente, não seria adequado imputar à Cidade do Rio de Janeiro emissões que estão sendo compensadas ainda dentro do território nacional, pois afinal a escolha de utilizar um veículo de combustível renovável foi realizada por um consumidor residente no Rio de Janeiro.

No caso dos transportes de passageiros intermunicipais, são as atividades sócio-econômicas realizadas na Cidade do Rio de Janeiro que induzem muitos deslocamentos da população de cidades vizinhas da região metropolitana. Assim, ao invés de considerar o local de emplacamento do veículo, torna-se mais apropriado considerar para efeito do inventário das emissões municipais todo o consumo de combustível comercializado dentro da Cidade do Rio de Janeiro.

Portanto, para superar este obstáculo adotou-se também neste Inventário, complementarmente à localização geográfica do ponto onde as emissões são efetuadas, o critério da responsabilidade por emissões induzidas pelo município, quer estejam ocorrendo em seu

território ou não. Desta forma, o presente trabalho denomina-se “Inventário de Emissões de Gases do Efeito Estufa da Cidade do Rio de Janeiro”, (e não na Cidade do Rio de Janeiro) na medida em que considera a existência de emissões induzidas ou compensadas em outros municípios, contabilizando-as adequadamente, conforme ilustrado pelos exemplos acima.

As emissões de CO<sub>2</sub> devidas à queima de combustíveis podem ser calculadas com precisão em um nível altamente agregado. O inventário de CH<sub>4</sub> necessita de informações mais detalhadas, uma vez que as emissões dependem do processo onde o gás é formado.

A quantificação das emissões decorrentes da queima de combustíveis fósseis considera duas possibilidades metodológicas:

a) Tipo “Top-Down” onde são contabilizadas apenas as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a partir dos dados de produção e consumo de energia primária.

b) Tipo “Bottom-Up” onde são contabilizadas as emissões de todos os gases. Neste caso, as emissões são quantificadas levando em consideração o tipo de equipamento empregado e respectivos rendimentos.

A metodologia usada para o setor energético na elaboração deste Inventário foi a “Top-Down”. A escolha se deu em função do tipo de informação disponível. As emissões de todas as fontes de combustão são estimadas com base nas quantidades de combustíveis consumidos e os respectivos fatores médios de emissão.

Por energia primária entende-se aquelas fontes providas pela natureza na sua forma direta. Podemos citar como exemplos de fontes primárias fósseis de energia o petróleo, o gás natural, o carvão e o urânio e de fontes primárias renováveis de energia a lenha, os produtos de cana-de-açúcar e a energia hidráulica. A maior parcela da energia primária é transformada nas refinarias de petróleo, plantas de gás natural, coquearias, usinas hidrelétricas, etc., onde é convertida em fontes de energia secundária. Outra parcela da energia primária é consumida diretamente nos diversos setores da economia, como é o caso da lenha para uso residencial, carvão vapor em fornos e caldeiras, entre outras. A energia secundária, normalmente vai diretamente para o consumo final nos diversos setores da economia.

<sup>3</sup> A metodologia pode ser encontrada nas seguintes páginas do Ministério da Ciência e Tecnologia:

<http://www.mct.gov.br/clima/comunic/Default.htm>

[http://www.mct.gov.br/clima/comunic\\_old/invent2.htm](http://www.mct.gov.br/clima/comunic_old/invent2.htm)

<sup>4</sup> Sigla em inglês para Non-Methane Volatile Organic Compounds

Entretanto existe uma parcela desta que é destinada para outros centros de transformação, onde é convertida em outras formas de energia secundária, como por exemplo as transformações do óleo combustível em eletricidade, da nafta em gás canalizado, entre outras. Nestes centros ocorrem perdas de energia.

Os capítulos deste Inventário correspondem à estrutura de desagregação dos cálculos adotada na metodologia do IPCC :

- > Uso de Energia
- > Indústria
- > Setor Agropecuário
- > Mudança no Uso da Terra e Florestas
- > Tratamento de Resíduos

O fluxograma contendo as contribuições de cada um dos setores para as emissões de gases do efeito estufa está apresentado a seguir.

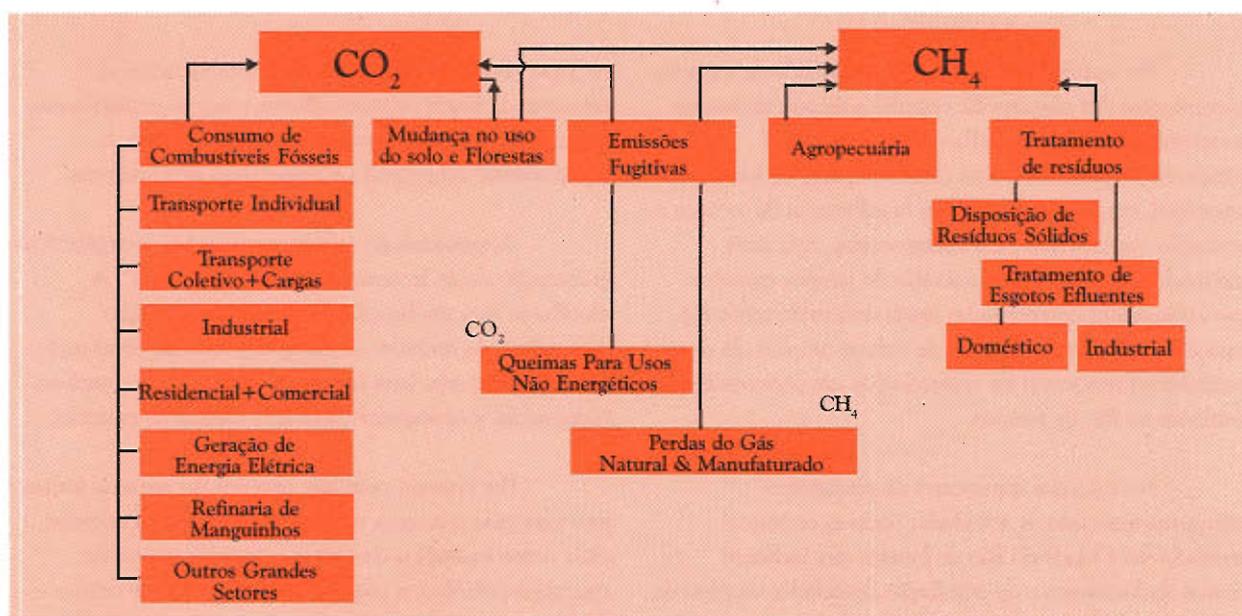


Figura 1- Fluxograma das emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> na Cidade do Rio de Janeiro

Neste trabalho foi adotado 1990 como ano base, referência para o desenvolvimento dos cenários futuros. O ano de 1998 é o último ano analisado, uma vez que é o mais recente com dados disponíveis para todas as fontes de emissão. Quando possíveis dados até o ano de 1999, são quantificadas as emissões para alguns setores.

## 2. ENERGIA

### 2.1 – Considerações Gerais

O uso de energia de origem fóssil como o petróleo e seus derivados, gás natural e carvão, é a principal causa de emissões de  $\text{CO}_2$ , gás que mais colabora para o efeito estufa. Estima-se que no início da década de 90, o uso e a produção de energia representavam 56% das atividades que contribuem para o efeito estufa, conforme pode ser observado na figura 2.

O que se busca dos combustíveis é a energia liberada a partir da sua combustão<sup>8</sup>. Dependendo da composição do combustível, da quantidade, do tipo de queima e da tecnologia empregada, o processo de combustão gera a emissão de diferentes poluentes. Entretanto, alguns poluentes são inerentes a este processo como o caso do  $\text{CO}_2$ , pois quando um combustível constituído de hidrocarbonetos<sup>9</sup> é queimado, o carbono e o hidrogênio são oxidados, transformando-se, principalmente em água e  $\text{CO}_2$ .

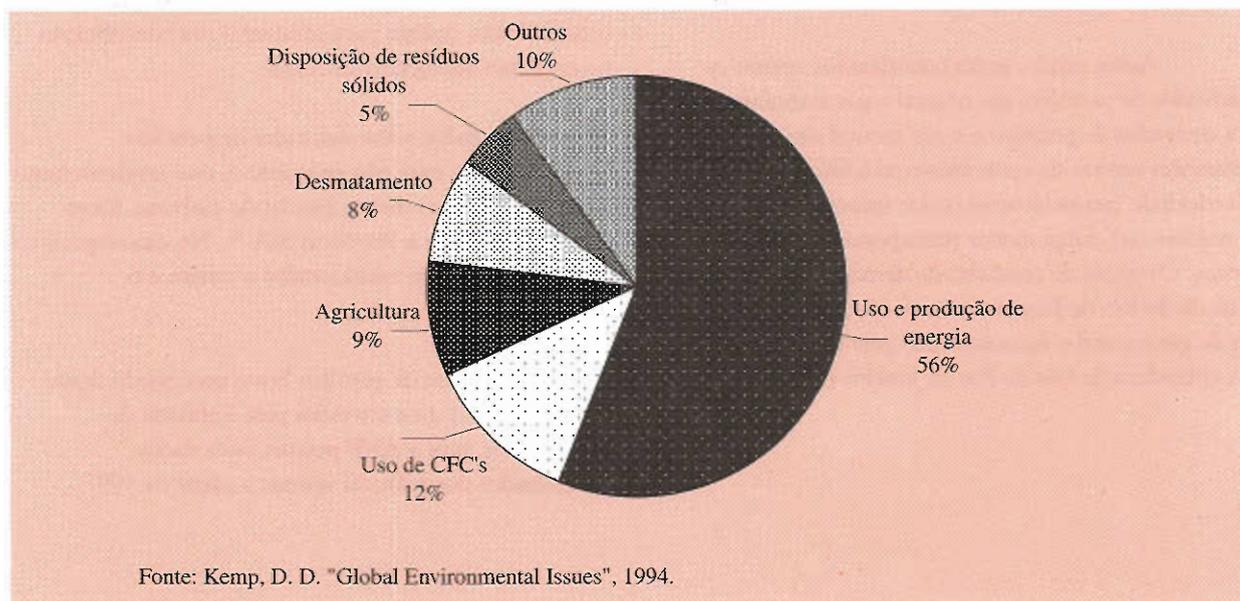


Figura 2 – Atividades que Contribuem para o Efeito Estufa no Mundo

Alguns combustíveis como carvão sub betuminoso, linhita, antracito e turfa, entre outros, não foram considerados neste relatório, apesar de estarem relacionados na metodologia do IPCC. Esses combustíveis foram excluídos pois não aparecem no Balanço Energético Nacional<sup>5</sup> e, conseqüentemente, no Balanço Energético do Estado.

Os combustíveis carvão metalúrgico, carvão vapor, alcatrão e coque também não foram considerados neste relatório pois não são utilizados na Cidade do Rio de Janeiro, segundo informações da Agência Nacional de Petróleo (ANP<sup>6</sup>).

<sup>5</sup> <http://www.mme.gov.br/sen/sen1net.htm>

<sup>6</sup> ANP: Agência Nacional de Petróleo <http://www.anp.gov.br>

O consumo da lenha no Estado do Rio de Janeiro concentra-se nos setores residenciais de áreas rurais e em áreas industriais. Nestas últimas, predomina o consumo da indústria de cerâmica vermelha e, em menos quantidade, dos setores de papel, química e têxtil. Já na Cidade do Rio de Janeiro não há ocorrência expressiva do consumo de lenha que, desta forma, não está computado neste Inventário. No caso do carvão vegetal, a situação é similar, pois o mercado consumidor desta fonte de energia é composto pelas indústrias siderúrgica e cimenteira, situadas além das fronteiras do município.

Assim sendo, serão considerados apenas os derivados de petróleo, gás natural e gás manufacturado. Os derivados de petróleo e o gás natural são usados em diferentes setores da economia com a finalidade de gerar eletricidade (termelétricas), calor (processos industriais e residências), força motriz (transportes) e matéria-prima. Os dados de consumo de derivados de petróleo na Cidade do Rio de Janeiro foram fornecidos pela ANP e os de gás natural e manufacturado pela Companhia Distribuidora de Gás do Rio de Janeiro (CEG<sup>7</sup>).

Os dados de querosene foram desagregados em querosene de aviação e querosene iluminante de acordo com a metodologia do IPCC e o relatório da Comunicação Nacional.

Os combustíveis de biomassa, como por exemplo o álcool etílico anidro (presente na gasolina automotiva) e álcool etílico hidratado foram alocados nos vários setores econômicos relacionados neste relatório, lembrando que as emissões de CO<sub>2</sub> da biomassa não estão computadas nos totais de emissão de responsabilidade do município. Esses combustíveis são contabilizados apenas para mostrar a sua contribuição no consumo energético da cidade.

Os dados sobre derivados de petróleo consumidos em usos não energéticos, que resultam num aprisionamento ao menos parcial do carbono, foram conseguidos junto à Petrobras S/A<sup>10</sup>. No caso específico do município foram considerados o asfalto e o lubrificante.

Os dados de petróleo bruto processado desde 1990 até 1998 foram enviados pela Refinaria de Manguinhos, pois a ANP possuía esses dados desagregados por refinaria apenas a partir de 1997.

<sup>7</sup> <http://www.ceg.com.br>

<sup>8</sup> COMBUSTÃO: reação química exotérmica onde os reagentes se juntam ao oxigênio do ar em uma determinada temperatura e pressão resultando nos produtos após liberação de energia/calor.

<sup>9</sup> HIDROCARBONETOS: substâncias químicas constituídas principalmente por carbono e hidrogênio.

<sup>10</sup> A Petrobras fez uma estimativa do consumo de lubrificantes e asfalto para o município com base nos dados existentes para o Estado do Rio de Janeiro. Esses dados estimados foram utilizados para realização do Inventário.

## 2.2 – Processamento dos Dados e Fatores de Emissão

Neste item será demonstrada, passo a passo, a metodologia utilizada para a realização do inventário de emissões de CO<sub>2</sub> para o item de Uso de Energia.

### A) Conversão da Unidade de Consumo do Combustível para Unidade Comum de Energia.

A conversão do consumo<sup>11</sup> (CU) de cada combustível, medido na sua unidade original para uma unidade comum de energia, é efetuada multiplicando-se o consumo do combustível pelo fator de conversão em tep<sup>12</sup> por unidade do combustível (tep/unidade). Os fatores de conversão foram obtidos no Balanço Energético do Estado do Rio de Janeiro, sendo o valor médio do tep brasileiro o utilizado pela Comunicação Nacional, ou seja, 1 tep brasileiro = 10.800 Mcal<sup>13</sup> = 45217,4 MJ<sup>14</sup>.

FÓRMULA A:	
CC	= CU * FConv * 45,2*10 <sup>-3</sup> * FCorr
CC	= Consumo de Energia (TJ) <sup>15</sup>
CU	= Consumo do Combustível (Unidade Física, por exemplo, m <sup>3</sup> , L, ton, etc.)
45,2*10 <sup>-3</sup> TJ	= 1 tep brasileiro
FConv	= Fator de Conversão (tep/Unidade Física) da Unidade Física para tep na Tabela 1.
Fcorr	= Fator de Correção (adimensional) de Poder Calorífico Superior (PCS) para Poder Calorífico Inferior (PCI).

Entretanto os valores em tep não podem ser convertidos diretamente em terajoules (TJ), pois no Balanço Energético o conteúdo energético dos combustíveis tem como base seu poder calorífico superior (PCS) e para o IPCC, a conversão deve ser feita multiplicando-se o consumo de combustível pelo seu poder calorífico inferior (PCI). A justificativa é que os fatores de emissão de carbono recomendados pelo IPCC, em quantidade de carbono por unidade de energia, são definidos com base na energia efetivamente aproveitável do combustível.

Os fatores de correção para transformar o PCS em PCI, usados pela Comunicação Nacional, são 0,95 para os combustíveis sólidos e líquidos e 0,90 para os combustíveis gasosos.

Na tabela 1 são mostrados os fatores de conversão para tep médio em PCS e na tabela 2 os fatores de conversão para tep médio corrigidos para PCI.

<sup>11</sup> A Comunicação Nacional utiliza dados de consumo aparente de combustíveis, mas esses valores não se encontravam disponíveis para a Cidade do Rio de Janeiro. Os valores usados para o cálculo das emissões foi o de consumo final energético e não energético de combustíveis que estavam disponíveis para o Rio de Janeiro. Para cálculo do consumo aparente seria necessário buscar a origem da energia secundária consumida pelo município, ou seja buscar a energia primária, antes da mesma passar pelos centros de transformação e se tornar energia secundária.

<sup>12</sup> TEP: tonelada equivalente de petróleo. O conteúdo energético de 1 TEP é função do tipo de petróleo utilizado como padrão.

<sup>13</sup> Mcal = 10<sup>6</sup> cal

<sup>14</sup> MJ = 10<sup>6</sup> J

<sup>15</sup> TJ (tera-joule) = 10<sup>12</sup> J

Tabela 1 – Fatores de Conversão para tep Médio (em PCS)

Energéticos	Unidade	Fator de Conversão * (tep/Unidade)	
		1990	1996
Óleo cru	m <sup>3</sup>	0,872	0,868
Gasolina	m <sup>3</sup>	0,771	0,771
Querosene de aviação	m <sup>3</sup>	0,811	0,811
Gasolina de aviação	m <sup>3</sup>	0,759	0,759
Querosene iluminante	m <sup>3</sup>	0,811	0,811
Óleo diesel	m <sup>3</sup>	0,848	0,848
Óleo combustível	ton	0,934	0,934
GLP	ton	1,089	1,089
Nafta	m <sup>3</sup>	0,736	0,736
Produtos não energéticos de petróleo **	m <sup>3</sup>	0,872	0,868
Gás natural (seco)	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	0,857	0,857
Gás de refinaria	m <sup>3</sup>	0,636	0,636
Gás manufacturado	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	0,361	0,361
Outras fontes primárias	tep	1,00	1,00
Lenha	ton	0,306	0,306
Bagaço de cana	ton	0,209	0,209
Carvão vegetal	ton	0,630	0,630
Caldo-de-cana	ton	0,057	0,057
Melaço	ton	0,179	0,179
Álcool etílico anidro	m <sup>3</sup>	0,520	0,520
Álcool etílico hidratado	m <sup>3</sup>	0,496	0,496

Fonte: Balanço Energético Nacional, 1996.

\* os fatores de conversão podem variar de acordo com o ano que se está trabalhando. Para os combustíveis relacionados no inventário do município foram levados em conta os fatores para o ano de 1990 e 1996, sendo que a maioria desses fatores não varia entre esses anos.

\*\* Para a Cidade do Rio de Janeiro, os combustíveis de uso não energético de petróleo considerados foram o asfalto e os lubrificantes.

Outros índices de conversão utilizados na equivalência energética entre combustíveis e eletricidade são os seguintes:

1 cal	=	4,1868 J
1 Gcal	=	1,163 MWh
1 Tcal	=	1,163 GWh

Na tabela 2 a seguir são mostrados os fatores de conversão final <sup>16</sup> para tep médio em PCI.

Tabela 2 – Fatores de Conversão Corrigidos para tep Médio (em PCI)

Energéticos	Unidade	Fator de Conversão * (tep/Unidade)	
		1990	1996
Óleo cru	m <sup>3</sup>	0,828	0,825
Gasolina	m <sup>3</sup>	0,732	0,732
Querosene de aviação	m <sup>3</sup>	0,770	0,770
Gasolina de aviação	m <sup>3</sup>	0,721	0,721
Querosene iluminante	m <sup>3</sup>	0,770	0,770
Óleo diesel	m <sup>3</sup>	0,806	0,806
Óleo combustível	ton	0,887	0,887
GLP	ton	1,034	1,034
Nafta	m <sup>3</sup>	0,699	0,699
Produtos não energéticos de petróleo**	m <sup>3</sup>	0,828	0,825
Gás natural (seco)	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	0,771	0,771
Gás de refinaria	m <sup>3</sup>	0,572	0,572
Gás manufacturado	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	0,325	0,325
Outras fontes primárias	tep	0,95	0,95
Lenha	ton	0,291	0,291
Bagaço de cana	ton	0,199	0,199
Carvão vegetal	ton	0,598	0,598
Caldo-de-cana	ton	0,054	0,054
Melaço	ton	0,170	0,170
Álcool etílico anidro	m <sup>3</sup>	0,494	0,494
Álcool etílico hidratado	m <sup>3</sup>	0,471	0,471

Fonte: Elaboração própria com base no Balanço Energético Nacional, 1996 e na Comunicação Nacional.

\*\* Asfalto e lubrificantes.

<sup>16</sup> Fator de Conversão Final = FConv \* Fcorr

Onde,

Fconv = Fator de Conversão (tep/Unidade Física) da Unidade Física para tep na Tabela 1.

Fcorr = Fator de Correção (adimensional) de Poder Calorífico Superior (PCS) para Poder Calorífico Inferior (PCI). O valor é de 0,95 para os combustíveis sólidos e líquidos e 0,90 para os combustíveis gasosos.

## B) Conteúdo de Carbono

Os fatores de emissão (Femiss) para cálculo de conteúdo de carbono (QC) utilizados neste trabalho foram os mesmos usados pela Comunicação Nacional, sendo alguns valores específicos para o Brasil e outros fornecidos pelo IPCC. Os fatores podem ser vistos na tabela 3.

### FÓRMULA B:

QC	=	CC * Femiss * 10 <sup>-3</sup>
QC	=	Quantidade de Carbono (GgC) <sup>17</sup>
CC	=	Consumo de Energia (TJ)
Femiss	=	Fator de Emissão de Carbono (tC/TJ) da Tabela 3.
10 <sup>-3</sup>	=	para transformar tC em GgC

Tabela 3 – Fatores de Emissão de Carbono Empregados

Combustíveis			Fator de Emissão (tC/TJ)
Combustíveis Fósseis Líquidos	Combustíveis Primários	Óleo cru	20,0
		Líquido de gás natural	17,2
	Combustíveis Secundários	Gasolina	18,9
		Querosene de aviação	19,5
		Gasolina de aviação	18,9
		Querosene iluminante	19,6
		Óleo diesel	20,2
		Óleo combustível	21,1
		GLP	17,2
		Nafta	20,0
		Asfalto	22,0
		Lubrificantes	20,0
		Outros produtos não energéticos de petróleo	20,0
Combustíveis Fósseis Gasosos		Gás natural (seco)	15,3
		Gás manufacturado	20,2
		Gás de refinaria	18,2
Outras Fontes Primárias			20,0
Biomassas Sólidas		Lenha p/ queima direta	29,9
		Lenha p/ carvoaria	29,9
		Bagaço de cana	29,9
		Resíduos vegetais	29,9
Biomassas Líquidas		Caldo-de-cana	20,0
		Melaço	20,0
		Álcool anidro	14,81
		Álcool hidratado	14,81
		Lixívia	20,0

Fonte: Comunicação Nacional, 1999.

<sup>17</sup> De acordo com as unidades adotadas pelo IPCC, os resultados dos cálculos das emissões serão expressos em Gg (gigagramas), ou seja, bilhões de gramas, equivalentes a mil t (milhares de toneladas).

### C) Fração de Carbono Fixado

Alguns gases e derivados de petróleo, além de álcool, são empregados também para fins não energéticos. Desta forma, parte do carbono fica estocado ou fixada (QCF). A tabela 4 a seguir apresenta os valores para a fração de carbono que fica aprisionada, ou como se refere a metodologia do IPCC, carbono estocado ou fixado.

FÓRMULA C:		
QCF	=	QC * FCFix
QCF	=	quantidade de carbono fixado (GgC)
QC	=	quantidade de carbono no combustível (GgC)
FCFix	=	fração de carbono fixado (adimensional).

Os produtos que não apresentam consumo energético são os seguintes: gás natural, nafta, querosene iluminante, álcool anidro e hidratado, gás de refinaria, lubrificantes e outros produtos não energéticos do petróleo. Para os combustíveis a fração de carbono estocado empregada é zero.

Para as biomassas sólidas e líquidas renováveis essa fração de carbono estocado é de 100%, pois todo carbono emitido na queima do combustível é sequestrado na renovação da biomassa. Optou-se por considerar as emissões zero no município, mesmo não havendo aqui todo o ciclo do combustível. A rigor, o município que planta a cana-de-açúcar sequestraria o carbono e o município que utiliza o álcool o liberaria a uma taxa de emissão de 14,81 tC/TJ.

Tabela 4 – Fração de Carbono Estocado Empregadas

Produtos em Usos Não Energéticos	Fração de Carbono Estocado
Querosene iluminante	1,00
Nafta	0,80
Asfalto	1,00
Lubrificantes	0,50
Alcatrão	0,75
Gás natural	0,33
Gás de refinaria	1,00
Álcool anidro	1,00
Álcool hidratado	1,00
Outros produtos não energéticos de petróleo	1,00

Fonte: Comunicação Nacional, 1999.

#### D) Emissões Líquidas de Carbono

As emissões líquidas de carbono (ELC) representam o balanço de massa entre o que existe de carbono no combustível menos a quantidade de carbono fixado em usos não energéticos como mostrado no item anterior.

##### FÓRMULA D:

ELC	=	QC - QCF
ELC	=	emissões líquidas de carbono (GgC)
QC	=	quantidade de carbono no combustível (GgC)
QCF	=	quantidade de carbono fixado (GgC)

#### E) Emissões Reais de Carbono

Na elaboração deste inventário de emissões considera-se que nem todo o carbono existente no combustível é oxidado, pois a combustão dificilmente ocorrerá de forma completa, deixando não oxidado em torno de 1% do carbono, que se incorpora às cinzas ou a outros subprodutos. Na tabela a seguir são mostrados as frações oxidadas (FCO) utilizadas com base nos valores usados pela Comunicação Nacional para cálculo das emissões reais de carbono (ERC).

##### FÓRMULA E:

ERC	=	ELC * FCO
ERC	=	emissões reais de carbono (GgC)
ELC	=	emissões líquidas de carbono (GgC)
FCO	=	fração de carbono oxidado (adimensional).

Tabela 5 – Frações de Carbono Oxidado

Combustíveis		Fração Oxidada	
Combustíveis Fósseis Líquidos	Combustíveis Primários	Óleo cru	0,990
		Líquido de gás natural	0,990
	Combustíveis Secundários	Gasolina	0,990
		Querosene de aviação	0,990
		Gasolina de aviação	0,990
		Querosene iluminante	0,990
		Óleo diesel	0,990
		Óleo combustível	0,990
		GLP	0,990
		Nafta	0,990
		Asfalto	0,990
		Lubrificantes	0,990
		Outros produtos não energéticos de petróleo	0,990
		Combustíveis Fósseis Gasosos	
	Gás manufacturado		0,995
	Gás de refinaria		0,995
Outras Fontes Primárias			0,990
	Biomassas Sólidas	Lenha p/ queima direta	0,870
		Lenha p/ carvoaria	0,891
		Bagaço de cana	0,880
		Resíduos vegetais	0,880
	Biomassas Líquidas	Caldo-de-cana	0,990
		Melaço	0,990
		Álcool anidro	0,990
		Álcool hidratado	0,990
		Lixívia	0,990

Fonte: Comunicação Nacional, 1999.

#### F) Emissões Reais de CO<sub>2</sub>

A partir das emissões reais de carbono pode-se então calcular as emissões reais de CO<sub>2</sub> (ERCO<sub>2</sub>) devidas ao uso de energia, levando-se em conta seu conteúdo de carbono: em 44 ton de CO<sub>2</sub> há 12 ton de carbono, ou seja, 1 ton CO<sub>2</sub> = 0,2727 tC.

#### FÓRMULA F:

ERCO <sub>2</sub>	=	ERC * [44/12]
ERCO <sub>2</sub>	=	emissões reais de CO <sub>2</sub> (GgCO <sub>2</sub> )
ERC	=	emissões reais de carbono (GgC)
1 GgCO <sub>2</sub>	=	[44/12] GgC

### 2.3 - Emissões de CO<sub>2</sub> Devidas ao Consumo de Combustíveis Fósseis por Setor

Este item apresenta as emissões de CO<sub>2</sub> de fontes móveis e fixas, devidas à queima de combustíveis fósseis, complementadas no item seguinte pelas emissões fugitivas de combustíveis.

Nesta parte do trabalho são consideradas somente as emissões de CO<sub>2</sub>, estando as emissões fugitivas de CH<sub>4</sub> do Setor Energético consideradas no item 2.4. As emissões de CO<sub>2</sub> são estimadas pelo enfoque de referência (metodologia Top-Down) da metodologia IPCC, em função dos dados de quantidade de energia suprida ao município. Este enfoque não necessita de informações detalhadas de como o combustível é usado pelo consumidor final ou por quais transformações intermediárias passa antes de ser consumido.

#### 2.3.1 Estimativa da Contribuição de Grandes Setores

##### A) Emissões Devidas ao Consumo de Energia Elétrica:

Quando se analisa o consumo de energia elétrica na Cidade do Rio de Janeiro na década de 1990, pode-se observar um suave declínio a partir do seu início, um retorno ao valor inicial em 1994, seguido de um crescimento contínuo até 1998. A figura 3 apresenta este comportamento.

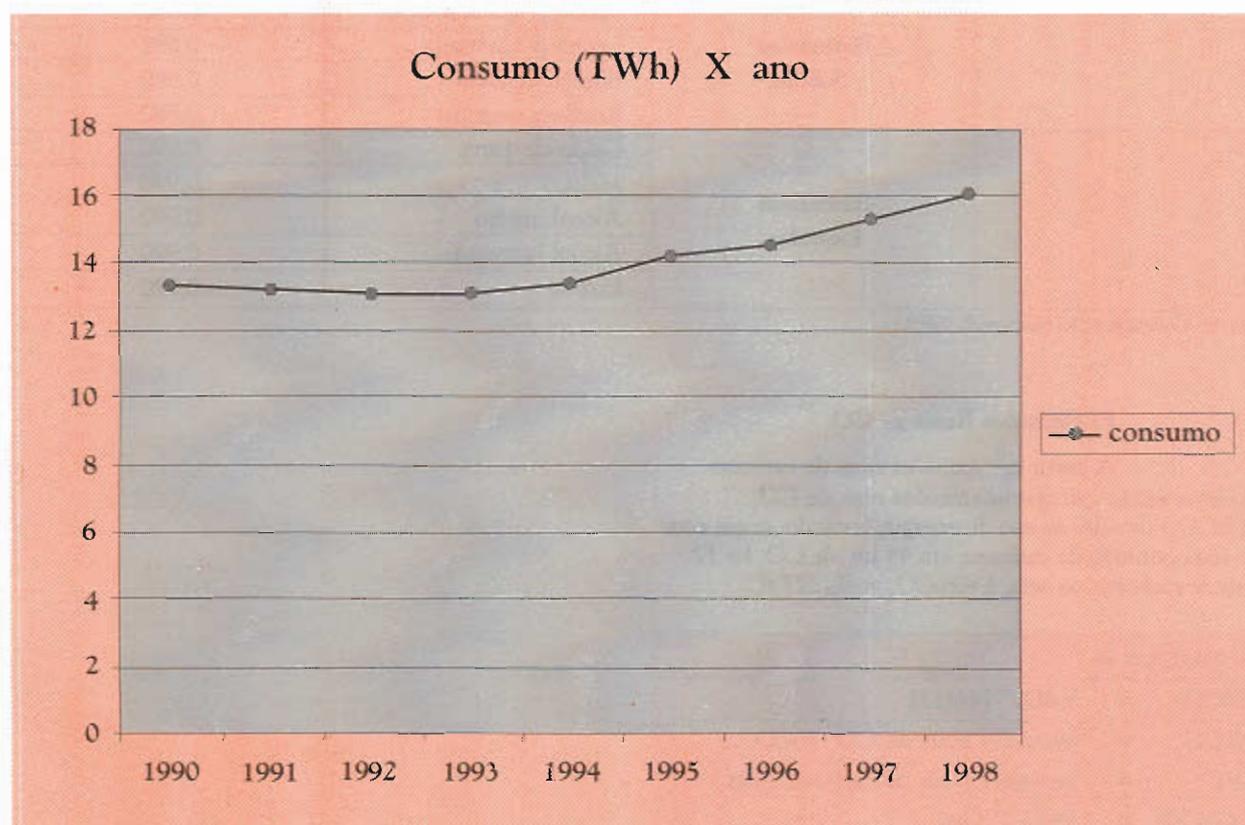


Figura 3 - Evolução do Consumo de Energia Elétrica

Nota : 1 TWh = 1 bilhão de kWh

Fonte: Elaboração própria

Quase toda a energia elétrica consumida na Cidade do Rio de Janeiro é fornecida pela rede da LIGHT, em sua maior parte através de interconexão com o sistema elétrico interligado da Região Sudeste do país

(adquirida de FURNAS e Itaipu), complementada por geração própria, sendo diminuta a parcela oriunda de autoprodutores localizados no município, conforme ilustrado na tabela 6, a partir dos dados disponíveis para o ano de 1997.

Tabela 6 – Origem do Suprimento de Energia Elétrica para a Cidade do Rio de Janeiro, 1997 (GWh e %)

		GWh	%
Rede LIGHT		15 319,686	99,38
Autoprodutores	Ref. Manguinhos	8,907	0,06
	Brahma	77,892	0,51
	Ilha Plaza Shopping	2,646	0,02
	Norte Shopping	5,849	0,04
Total		15 414,980	100,01

Fonte: Elaboração própria

Como pode ser observado, em 1997 a rede LIGHT responde por 99,38% do suprimento da energia elétrica consumida na Cidade do Rio de Janeiro, sendo de apenas 0,62% a contribuição total dos autoprodutores. A geração de energia elétrica dos autoprodutores, bem como a energia elétrica produzida ocasionalmente em pequenos geradores de emergência (por exemplo, em estabelecimentos comerciais e hospitais em casos de interrupção de suprimento), emitem gases do efeito estufa, pois utilizam combustíveis como o gás natural (ou gás de refinaria) e o óleo diesel, respectivamente. A energia elétrica produzida pelos autoprodutores no ano de 1997 corresponde a cerca de 8% da energia gerada pela usina termoeletrica de Santa Cruz (como será visto mais adiante). Admitindo-se que

toda a energia elétrica de autoprodutores fosse gerada em unidades a gás natural em ciclo combinado, suas emissões de CO<sub>2</sub> corresponderiam a cerca de 4% das emissões da Usina de Santa Cruz.

As emissões destes autoprodutores e dos pequenos geradores de emergência estão computadas no item Emissões dos Grandes Setores de Uso Final (pág. 41), a partir dos dados da ANP para o consumo de combustíveis fósseis em cada setor.

Desta forma, está considerada a seguir apenas a rede LIGHT como fornecedora da energia elétrica consumida na Cidade do Rio de Janeiro.

A tabela 7 fornece o consumo de energia elétrica (GWh) da Cidade do Rio de Janeiro atendido pela rede LIGHT, discriminado por classes:

Tabela 7 - Consumo de Energia Elétrica Fornecida pela LIGHT na Cidade do Rio de Janeiro, por Classes (GWh)

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Residencial	4067	4077	4095	4159	4163	4659	4900	5248	5706
Industrial	4415	4247	3977	3871	3963	4075	4017	4030	4002
Comercial	3153	3156	3213	3304	3407	3601	3711	4054	4284
Demais *	1746	1748	1840	1773	1854	1906	1915	1987	2076
Total	13382	13227	13125	13107	13387	14241	14543	15320	16067

\*Demais refere-se a: Rural, Poderes Públicos, Iluminação Pública, Serviços Públicos e Consumo Próprio.  
Fonte: LIGHT (dados fornecidos por contato pessoal - 1999)

A figura 4 indica a distribuição percentual das diferentes classes de mercado no consumo de energia elétrica suprido pela LIGHT na Cidade do Rio de Janeiro. Pode-se observar uma queda gradativa da participação das indústrias neste consumo: em 1990, respondia por 33%; em 1996, por 27,62%; e em 1998, por 24,91%. Já o setor residencial aumentou sua participação em 5,11%, e o setor comercial em 3,09%, no período entre 1990 e 1998. A perda de espaço da indústria se deve à diminuição da produção industrial até 1994, devido à crise econômica. Após o Plano Real (1994), há uma pequena retomada do crescimento industrial, resultando em uma estabilização do consumo energético

industrial a partir de 1996 em níveis inferiores aos de 1990. O consumo do setor residencial que cresceu a uma pequena taxa entre 1990 e 1994, dispara após o Plano Real, em que o maior consumo de eletrodomésticos causa uma maior demanda por energia elétrica, consolidando-se este quadro de 1996 em diante. O crescimento da participação do setor comercial reflete o processo de modernização dos estabelecimentos comerciais, a partir da informatização dos serviços e da expansão de empreendimentos de grande porte, como parques temáticos, hipermercados e shopping centers, adquirindo um grande impulso a partir de 1996.

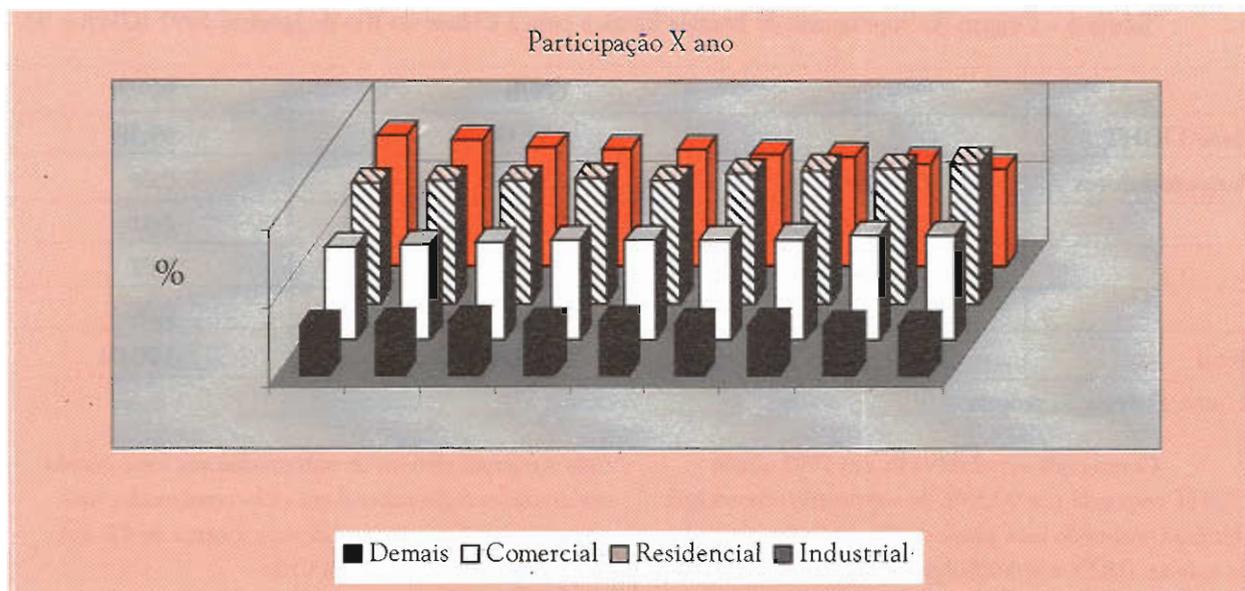


Figura 4 - Participação dos Diferentes Setores Consumidores de Energia Elétrica Suprida pela LIGHT na Cidade do Rio de Janeiro

A energia elétrica consumida na Cidade do Rio de Janeiro é em sua quase totalidade, de origem hidráulica, com pequena participação de uma usina termelétrica (Santa Cruz), localizada no próprio município, e outra nuclear (Angra 1), conforme pode ser observado na tabela 8 a seguir.

Tabela 8-a - Origem da Energia Elétrica Consumida na Cidade do Rio de Janeiro (em %)

	1990	1996	1997	1998
Hidrelétrica	89,9 %	84 %	82,3 %	81,9 %
Termelétrica	1,7 %	7,6 %	7,4 %	7,9 %
Termonuclear	8,4 %	8,4 %	10,3 %	10,2 %

Fonte : Elaboração própria (a partir de informações de contato pessoal da ONS, Organização Nacional do Sistema - 2000)

Tabela 8-b - Participação das Fontes de Geração na Energia Elétrica Distribuída pela LIGHT na Cidade do Rio de Janeiro (em %)

	1990	1996	1997	1998
LIGHT *	17,0 %	17,5 %	14,7 %	14,6 %
FURNAS**	83,0 %	51,7 %	49,2 %	50,7 %
ITAIPU *		30,8 %	36,1 %	34,7 %

\* somente hidroeletricidade

\*\* hidroeletricidade, parte da geração termonuclear de Angra I e geração termoelétrica em Santa Cruz (o dado para 1990 se refere a Furnas e Itaipu somadas)

Fonte : LIGHT (dados fornecidos por contato pessoal - 1999)

Pela metodologia do IPCC, apenas as termoeletricas emitem gases de efeito estufa. Entretanto, as usinas hidrelétricas também emitem gases do efeito estufa, pois a biomassa da área inundada pelas barragens sofre decomposição, liberando CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> por um determinado período de tempo. A mensuração destes gases é bastante complexa, dependendo de muitas variáveis, como o volume e o tipo de biomassa inundada, bem como a decomposição que se daria sem a barragem. Uma vez bem entendida a emissão das hidrelétricas, o IPCC as acrescentará em sua metodologia. No caso da Cidade do Rio de Janeiro, pode-se antecipar que estas emissões não serão significativas devido às características das hidrelétricas responsáveis por seu abastecimento.

Assim, a análise das emissões de CO<sub>2</sub> devidas ao consumo de energia elétrica na Cidade do Rio de Janeiro se concentra na termoeletrica de Santa Cruz. Pode-se considerar que toda energia elétrica gerada no município pela Usina de Santa Cruz é consumida no próprio município, pois o seu consumo é muito maior do que a geração desta usina, tendo, inclusive, que importar energia elétrica.

A Usina Termoeletrica de Santa Cruz possui quatro unidades geradoras, com capacidade total instalada de 600 Megawatts. Está localizada à margem direita do Canal de São Francisco, na extremidade oeste da Cidade do Rio de Janeiro, região do Pólo Industrial de Santa Cruz. Sua participação no fornecimento de energia elétrica para o município é pequena, porém crescente. Os maiores valores do consumo de eletricidade a partir de 1996 (Figura 3), não por acaso são os valores de maior geração na Usina de Santa Cruz, que vem aumentando a sua participação percentual no fornecimento de energia elétrica para o município. Nos primeiros anos da década, entre 1990 e 1995, contribuía com cerca de 2% no fornecimento total, enquanto que no intervalo de 1996 a 1998, sua participação cresceu para cerca de 7%. No entanto, suas emissões são muito significativas em termos de gases do efeito estufa, além de material particulado e de óxidos de enxofre por usar, principalmente, o óleo combustível para geração elétrica (usa-se óleo diesel para a partida), apesar da tendência de substituição gradativa pelo gás natural.

## A1) Características dos Combustíveis

A emissão de poluentes de óleo combustível depende de sua composição, do tipo e tamanho da caldeira, dos mecanismos de queima e do próprio estado de manutenção da caldeira. O óleo combustível é uma categoria de refinação que envolve vários tipos de produtos correspondentes às diferentes frações do destilado do petróleo que, embora sejam referentes a uma mesma categoria, possuem composições e propriedades diferenciadas, como percentagem de enxofre e viscosidade, entre outras. Para estas diferentes frações de um mesmo produto, faz-se uma classificação por tipos, como por exemplo, tipo 1 A, 1 B ou 7 B. O tipo de óleo combustível usado na Usina de Santa Cruz é do tipo 1 A, com as seguintes características:

Tabela 9 - Características do Óleo Combustível tipo 1 A

Parâmetros	Unidade	Valores
Viscosidade 110°C	SSU	187,5
Viscosidade 120°C	SSU	143,0
Viscosidade 130°C	SSU	123,0
Densidade	g/cm <sup>3</sup>	0,986
Ponto de fulgor	°C	95
Poder calorífico sup.	Kcal/kg	9981
Poder calorífico inf.	Kcal/kg	9487
Teor de enxofre	%S	2,8
Teor de cinzas	%p	0,05
Teor de água	%p	0,082
Carbono	%p	87,1
Hidrogênio	%p	9,5
Vanádio	ppm	77
Sódio	ppm	22
Cálcio	ppm	3,35
Magnésio	ppm	0,66
Alumínio	ppm	21
Níquel	ppm	0,5
Ferro	ppm	4,11
Silício	ppm	3,19

Fonte: Cenpes – Petrobrás, 1999

Nota: SSU significa Viscosidade Saybolt Universal que é uma unidade de viscosidade, representando a propriedade físico-química que determina a resistência interna do fluido ao escoamento. Há gráficos e tabelas que permitem a conversão para outras unidades, (por exemplo: cm<sup>2</sup>/s (Stokes) ou ft<sup>2</sup>/sec), como pode-se encontrar no Manual de Dados Técnicos, CENAP, Petrobrás-RJ, 1971.

O Gás Natural usado é oriundo da Bacia de Campos, possuindo baixa concentração de enxofre, com poder calorífico superior de 9850 kcal/m<sup>3</sup>.

Tabela 10- Características do Gás Natural da Bacia de Campos

Componentes	Gás Seco (% Volume)
Metano	89,88
Etano	8,52
Propano	0,51
CO <sub>2</sub>	0,36
N <sub>2</sub>	0,73
H <sub>2</sub> S	20ppm

Fonte: GASCAM – Gasoduto Macaé Campos, 1996

## A2) Considerações Metodológicas

A tabela 11 apresenta os fatores de emissão referentes aos combustíveis utilizados em termelétricas, adotando as mesmas hipóteses já utilizadas no enfoque de referência e algumas premissas específicas para o caso da Termoelétrica de Santa Cruz. Como já dito, no caso da Cidade do Rio de Janeiro, a única termoelétrica que participa na oferta de eletricidade do Sistema Elétrico é a Usina de Santa Cruz.

Tabela 11 – Fatores de Emissão de Combustíveis Utilizados em Termoelétricas

	Gás Natural	Diesel	Óleo Comb.
tC/TJ	15,3	20,2	21,1
tCO <sub>2</sub> /Tcal	234,9	310,1	323,9
tCO <sub>2</sub> /GWh	201,9	266,5	278,4
Ef. (%)	32*	32*	32*
tCO <sub>2</sub> /GWh	448,8	888,8	773,7
Fração oxidada	0,995	0,99	0,99

\* Eficiência de acordo com dados da Usina de Santa Cruz  
Fonte: Comunicação Nacional Adaptada, 1999.

Os valores estimados para a emissão de CO<sub>2</sub> foram calculados através da aplicação dos fatores de emissão aos dados de consumo de combustíveis da Usina de Santa Cruz, sendo feita uma comparação entre o valor da energia real gerada (dados da usina) e a estimada de acordo com a metodologia do IPCC [<http://www.mct.gov.br/clima/comunic-old/invent1.htm>].

A tabela 12 a seguir sintetiza os resultados obtidos para a emissão de CO<sub>2</sub> (Gg CO<sub>2</sub>) pela Termoelétrica de Santa Cruz no período de 1990 a 1998, por tipo de combustível.

Tabela 12 – Emissão de CO<sub>2</sub> (Gg CO<sub>2</sub>) por Combustíveis de 1990 a 1998 para a Usina Termoelétrica de Santa Cruz.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Ó. diesel	1,99	4,02	3,75	3,61	3,76	3,58	4,74	6,84	6,68
Ó. comb	215,01	129,22	118,80	203,37	254,20	205,90	854,31	815,15	949,65
Gás natural	0,40	0,34	0,09	12,82	16,92	15,74	19,08	59,60	99,91
Total	217,41	133,59	122,65	219,81	274,88	225,22	878,12	881,59	1056,24

Fonte: Elaboração própria

São mostrados a seguir alguns gráficos que facilitam a análise dos dados levantados e dos resultados obtidos no cálculo, permitindo uma visão global de seu comportamento ao longo do período estudado.

### A3) Análise da Evolução da Geração de Energia.

Como se pode observar na figura 5, em 1992 e 1998 os valores da energia elétrica gerada na usina, em GWh, real e estimado, são praticamente os mesmos. Em 1991, 1993, 1994 e 1995 a geração estimada é muito próxima da real (máximo de 5% de diferença), enquanto que em 1990 a geração estimada é maior do que a real, se invertendo a situação nos anos de 1996 e 1997 (eficiência real maior do que a estimada).

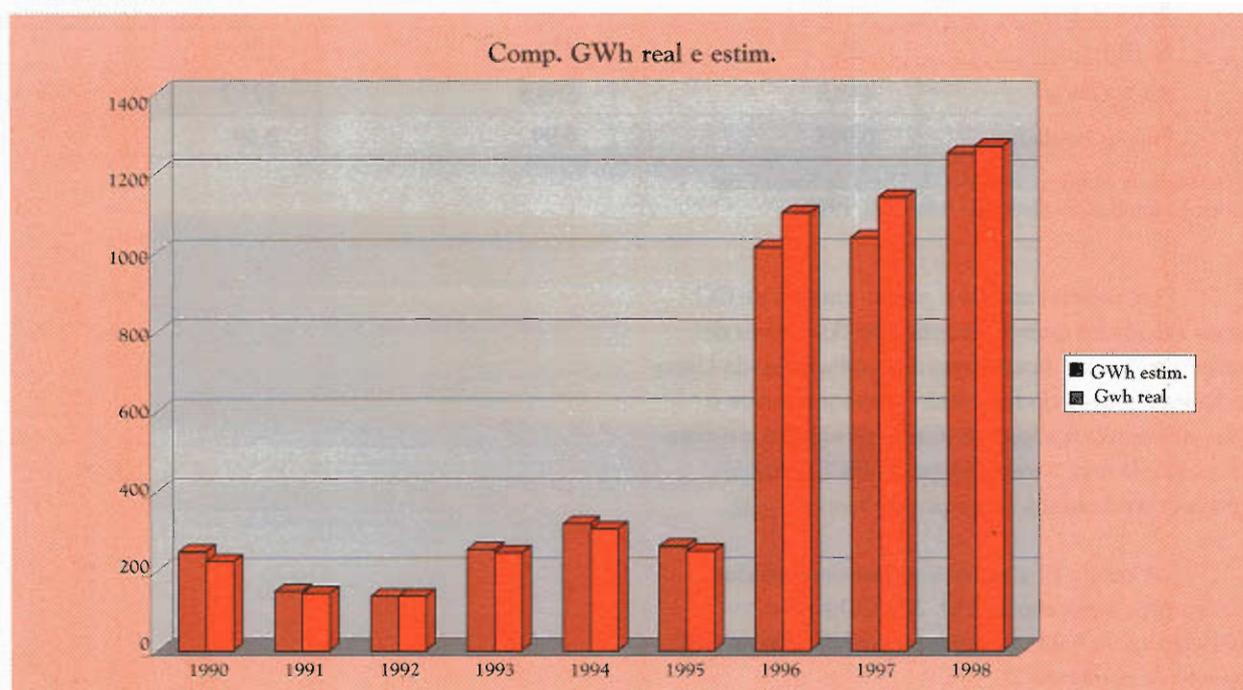


Figura 5 - Análise Comparativa GWh Real X Estimado

Nos cálculos para se chegar ao GWh estimado, foi utilizada uma eficiência de 32% (Usina Santa Cruz, 1999 -contato pessoal), diferentemente dos dados "default" (36%) da Comunicação Nacional, uma vez que o dado obtido diretamente pelo ator envolvido é mais fidedigno, seguindo a orientação da Comunicação Nacional e do IPCC.

O estado de manutenção da caldeira e as variações normais da composição dos combustíveis, dentre outros fatores, levam a flutuações da eficiência, salientando-se que quanto menor a amplitude destas flutuações, menor o erro do valor estimado. A maior diferença encontrada entre os valores da geração real e da estimada foi de 10,1% (ano de 1990), e a menor dife-

rença foi de 0,7% (ano de 1992), tendo como a média destas diferenças o valor de 5,1%. Assim, pode-se concluir que os valores estimados estão bem aceitáveis, indicando que são igualmente confiáveis os valores de emissões de CO<sub>2</sub>.

A figura 6 representa a evolução de energia elétrica gerada desde 1990, bem como a contribuição dos combustíveis nesta geração.

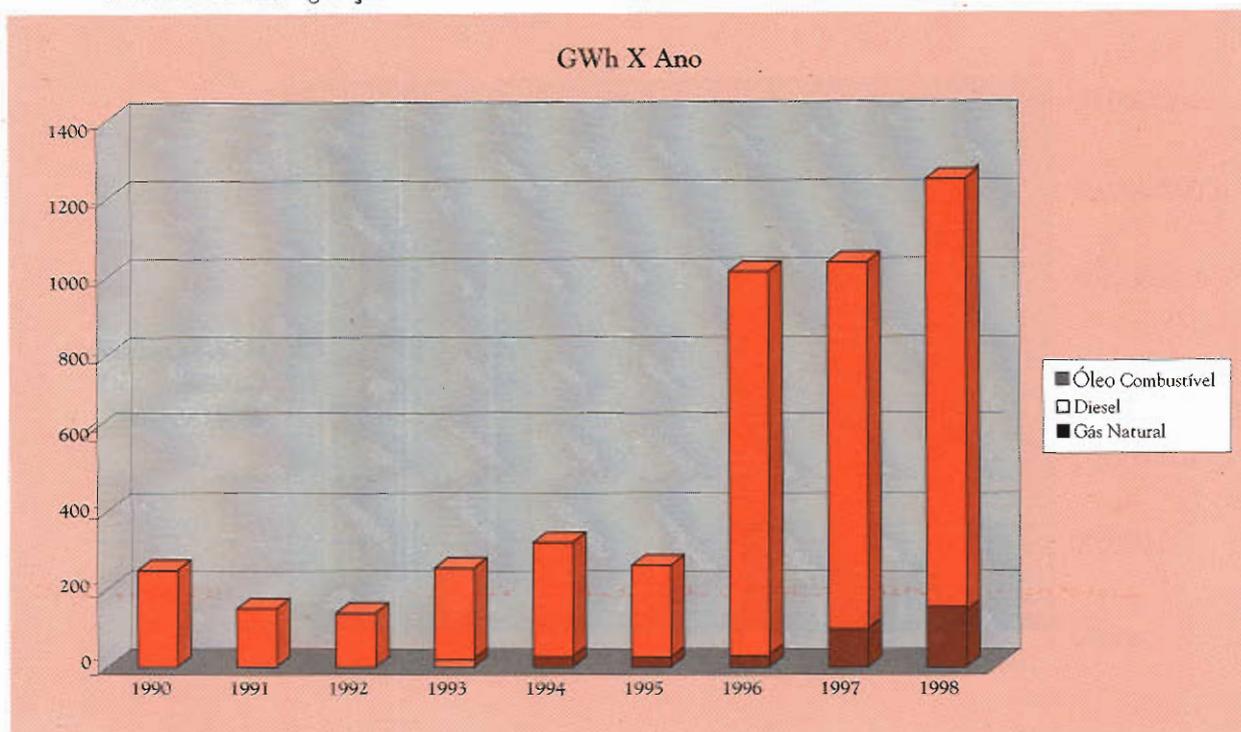


Figura 6 - Evolução da Energia Elétrica Gerada

O uso do gás natural (GN) como combustível iniciou-se no ano de 1987, não sendo significativo até o ano de 1993. O óleo diesel é usado apenas para a partida da caldeira, não aparecendo na escala do gráfico. Houve ao longo da década oscilações na geração de energia da usina iniciando-se, a partir de 1993, uma tendência de aumento desta geração, que por sua vez, deu um salto a partir de 1996, acompanhado de gradativo aumento da participação do GN. De acordo com os planos de Furnas, o GN substituirá definitivamente o óleo combustível, projeto que poderá se viabilizar com a crescente disponibilidade logística do GN, a partir dos investimentos da Petrobrás para o aproveitamento cada vez maior do gás da Bacia de Campos.

#### A4) Evolução das Emissões de CO<sub>2</sub>

A figura 7 representa a evolução das emissões de CO<sub>2</sub>, relacionadas com o aumento da energia gerada na usina, isto é, um brusco aumento a partir de 1996. Por outro lado, pode-se observar, ano a ano, a menor contribuição percentual do GN nas emissões totais de CO<sub>2</sub>, em comparação com a sua contribuição na geração elétrica total. Em termos quantitativos, a participação do GN na emissão de CO<sub>2</sub> é cerca de dois terços de sua participação na geração de energia, como pode ser visto pela tabela 13.

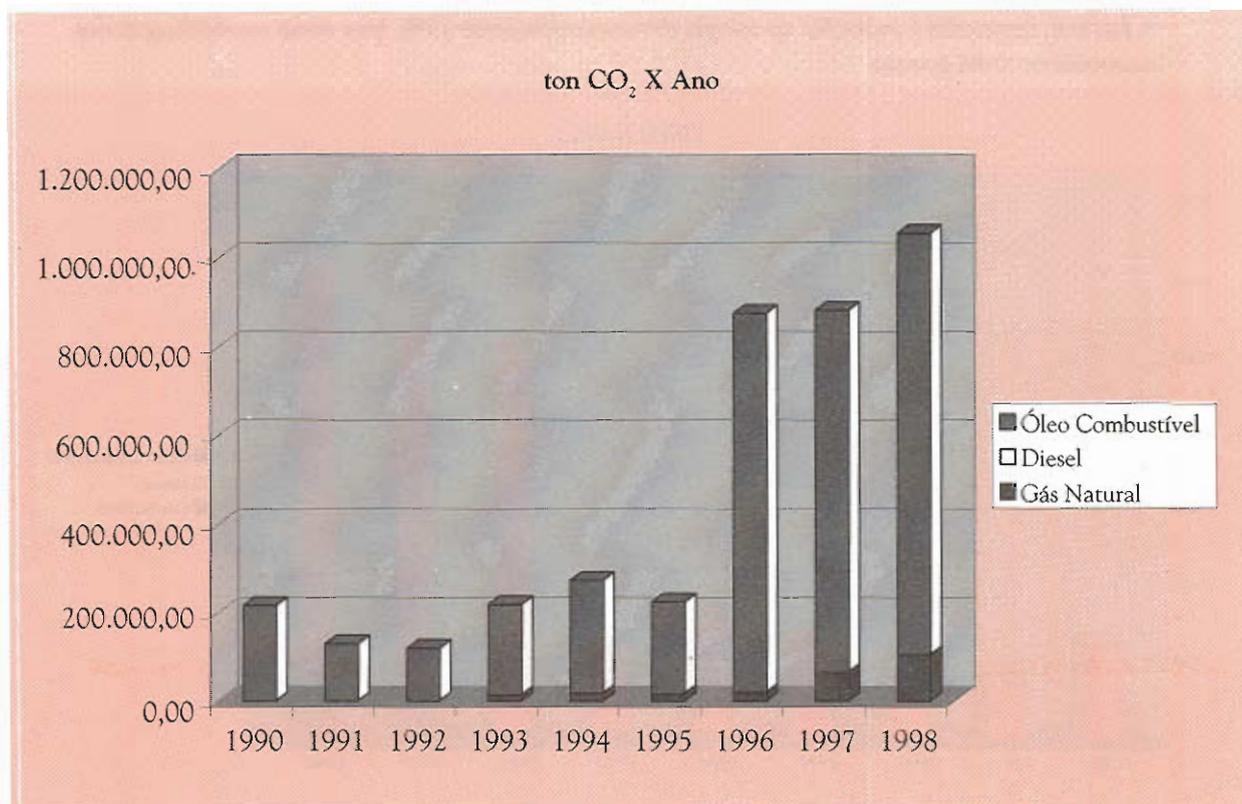


Figura 7 - Evolução das Emissões de CO<sub>2</sub>

Tabela 13 - Participação Percentual do Gás Natural em Relação ao Total da Participação dos Combustíveis (GN e óleo combustível)

	Emissão de CO <sub>2</sub> (%)	Geração de energia (%)
1990	0,20	0,28
1996	2,21	3,00
1997	7,09	9,47
1998	9,50	12,50

Fonte: Elaboração própria

Demonstra-se, desta forma, que o aumento das emissões de CO<sub>2</sub> nos últimos anos, decorrente do aumento da geração de energia, ocorre a uma taxa mais reduzida, em função da gradativa substituição do óleo combustível pelo GN, bastante positiva ambientalmente.

## B) Emissões Devidas ao Consumo de Gás

O gás consumido na Cidade do Rio de Janeiro compreende o gás canalizado (gás natural e manufaturado) e o gás de botijão (GLP, gás liqüefeito de petróleo).

## B.1) Consumo de Gás Liqüefeito de Petróleo (GLP)

Os dados sobre o consumo de GLP na Cidade do Rio de Janeiro foram conseguidos junto à ANP (Agência Nacional de Petróleo), sendo estimado somente o valor referente ao ano de 1999, com base nos valores de 1990 a 1998, de acordo com a tabela 14.

Tabela 14 - Consumo de GLP (em 10<sup>3</sup> ton) na Cidade do Rio de Janeiro

Ano	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999*
Consumo	155,6	141,1	117,3	131,4	145,4	139,7	141,7	140,1	144,3	140,4

\*estimado

Fonte: ANP

## B.2) Consumo de Gás Canalizado (Gás Natural e Manufaturado)

A concessão de distribuição do gás canalizado na Cidade do Rio de Janeiro está a cargo da CEG (Companhia Estadual de Gás), privatizada em 1997. Os dados referentes ao consumo deste gás foram fornecidos incompletos devido a não conclusão do banco de dados da companhia até a elaboração deste Inventário. Os valores relativos às vendas anuais de gás canalizado por setor, a partir de 1990, correspondem à Região Metropolitana, sendo fornecidos, entretanto, os valores totais de venda na Cidade do Rio de Janeiro para os anos de 1998 e 1999.

Informações adicionais foram obtidas através de contato pessoal com o funcionário responsável pelo banco de dados (CEG) em elaboração. A partir destes dados e informações, foi elaborada uma estimativa do consumo de gás referente à Cidade do Rio de Janeiro, conforme descrito a seguir.

### B.2.1) Consumo de Gás Manufaturado

As vendas de gás manufaturado para a Região Metropolitana compreendem apenas a Cidade do Rio de Janeiro, apresentando os seguintes valores:

Tabela 15: Consumo de Gás Manufaturado (em 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>) na Cidade do Rio de Janeiro

Ano	Industrial	Residencial/Comercial	Total
1990	23,82	132,05	155,87
1991	19,52	135,35	154,87
1992	14,07	127,69	141,76
1993	7,18	119,98	127,16
1994	6,68	114,59	121,28
1995	4,84	107,70	112,54
1996	4,06	105,80	109,86
1997	3,00	101,34	104,33
1998	1,78	104,25	106,03
1999	1,26	100,21	101,48

Fonte: CEG

### B.2.2) Consumo de Gás Natural

No tocante ao gás natural, como comentado anteriormente, não foram fornecidos os dados referentes à

Cidade do Rio de Janeiro no período entre 1990 e 1997. Para os anos de 1998 e 1999, foram fornecidos somente os dados de vendas totais no município, apresentados na tabela 16 a seguir.

Tabela 16 - Consumo de Gás Natural (em 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>) da Cidade do Rio de Janeiro.

Ano	1998	1999
Consumo	515,71	521,47

Fonte: CEG

Assim, algumas hipóteses foram levantadas para a estimativa dos valores do consumo de gás natural na Cidade do Rio de Janeiro, a partir dos dados relativos à Região Metropolitana, discriminados por setores de mercado, apresentados a seguir.

#### B.2.2.1) Mercado de Geração Elétrica

O suprimento de gás natural para geração elétrica refere-se ao abastecimento da Usina Termelétrica de Santa Cruz, pertencente à Furnas e situada na Cidade do Rio de Janeiro. Foram utilizados os dados de vendas realizadas pela CEG, no período a partir de 1997. O volume de vendas para o mercado de geração elétrica no período de 1990 e 1996, foi obtido através de levantamento direto na Usina de Santa Cruz. Os dados passíveis de comparação têm uma diferença máxima de 3%, demonstrando uma alta confiabilidade quanto aos dados de uso de gás natural na geração elétrica na Cidade do Rio de Janeiro.

Tabela 17 - Consumo de Gás Natural (em 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>) para o Mercado de Geração Elétrica na Cidade do Rio de Janeiro

Ano	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Consumo	0,21	0,18	0,05	6,59	8,69	8,08	9,80	30,61	51,32	76,01

Fonte: Furnas, Usina de Santa Cruz (1990 a 1996) e CEG (1997 a 1999)

#### B.2.2.2) Mercado Automotivo

Quanto ao mercado automotivo, até o ano de 1999, todo o volume de vendas destina-se à Cidade do Rio de Janeiro. Os valores fornecidos pela CEG estão na tabela 18 a seguir.

Tabela 18 - Consumo de Gás Natural (em 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>) para o Mercado Automotivo na Cidade do Rio de Janeiro:

Ano	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Consumo	0	0	0	8,65	18,70	19,97	16,15	26,45	58,40	90,65

Fonte: CEG<sup>18</sup>

<sup>18</sup> No decorrer do ano 2000, já estão previstos postos distribuidores de GNV (gás natural veicular) para outros municípios, além da Cidade do Rio de Janeiro.

### B.2.2.3) Mercado Residencial e Comercial

Segundo estimativas da CEG (comunicação pessoal), a quase totalidade (99,9%) do consumo de gás natural pelo setor residencial na Região Metropolitana está localizada na Cidade do Rio de Janeiro. O mesmo ocorre no caso do setor comercial (99,5%). Assim, também nestes setores, foram considerados para o consumo da Cidade do Rio de Janeiro, os valores fornecidos pela CEG referentes ao consumo da Região Metropolitana.

Tabela 19 - Consumo de Gás Natural (em  $10^6 \text{ m}^3$ ) para o setor Residencial e Comercial na Cidade do Rio de Janeiro:

Ano	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Consumo	5,63	7,53	9,70	12,99	16,04	18,36	22,51	27,34	29,92	35,84

Fonte: CEG

### B.2.2.4) Mercado Industrial

O único mercado atendido pela CEG na Região Metropolitana que ultrapassa as fronteiras da Cidade do Rio de Janeiro é o setor industrial, justamente o maior consumidor de gás natural dentre os mercados existentes.

De posse dos dados das vendas totais de gás natural para o município (tabela 16), e das estimativas sobre os mercados automotivo, de geração elétrica e residencial/comercial também para o município pode-se, por exclusão, deduzir os valores do total de consumo para o setor industrial na Cidade do Rio de Janeiro, nos anos de 1998 e 1999 (tabela 20).

Tabela 20 - Consumo de Gás Natural (em  $10^6 \text{ m}^3$ ) para o Setor Industrial na Cidade do Rio de Janeiro.

Ano	1998	1999
Consumo total	515,71	521,47
Mercado de geração elétrica	51,32	76,01
Mercado automotivo	58,40	90,65
Mercado residencial/comercial	29,92	35,84
Mercado industrial	376,07	318,97

Fonte: Elaboração própria

A ausência de dados sobre o total de vendas referentes ao setor industrial na Cidade do Rio de Janeiro, para o período compreendido entre 1990 e 1997, levou à necessidade de se estimar estes valores com base nas informações disponíveis e no entendimento da dinâmica do setor industrial consumidor de gás natural tanto na Região Metropolitana quanto na Cidade do Rio de Janeiro. Para se obter elementos a respeito do que se passou, entrou-se em contato com um especialista em energia da FIRJAN e com o Coordenador de Dutos do DTSE-PETROBRAS (Dutos e Terminais do Sudeste), além do contato pessoal da CEG. Na visão destes especialistas, o comportamento das indústrias referente ao consumo de gás natural, se manteve regular nesta década, sem grandes perturbações devidas à entrada ou saída de grandes consumidores ou mesmo picos ou quedas significativas no consumo das indústrias existentes.

Quanto aos atores envolvidos na distribuição do gás natural nos setores industrial e de geração elétrica, houve uma alteração significativa, pois Furnas e mais um grupo de grandes consumidores industriais recebiam o gás natural diretamente do DTSE-REDUC até o ano de 1996. A partir de 1997, ano da privatização da CEG

e da alteração no critério legal de venda de gás natural, a PETROBRAS (DTSE-REDUC) passou a não poder vender diretamente ao consumidor, somente a distribuidores. No município, a CEG detém a concessão de distribuição de gás canalizado.

No caso do setor industrial, observou-se (a partir de comunicação pessoal, CEG) para o período compreendido entre 1990 e 1999, que cerca de 93% do volume total de gás natural vendido aos grandes consumidores industriais (cujo fornecimento foi transferido da REDUC-DTSE para a CEG), destinam-se à Cidade do Rio de Janeiro. Desta parcela referente ao município, cerca de 47% do volume consumido são destinados a outra finalidade (matéria-prima para produção de metanol), que não o uso como combustível.

A CEG forneceu para o intervalo entre 1997 a 1999, além de um valor estimado para o ano de 2000, os dados a respeito do volume de vendas de gás natural para estes grandes consumidores. O valor estimado para o ano 2000, apesar de situar-se fora do intervalo de estudo, é de grande valia como elemento de referência na construção de projeções.

Tabela 21 - Vendas de Gás Natural (em  $10^6 \text{ m}^3$ ) Efetuadas pela CEG, Destinadas aos Clientes Industriais Incorporados à Companhia, para a Região Metropolitana do RJ.

Ano	1997	1998	1999	2000*
Vendas( $10^6 \text{ m}^3$ )	229,39	221,68	243,99	252,00

\*estimado

Fonte: CEG

Tabela 22 - Estimativa de Vendas de Gás Natural (em  $10^6 \text{ m}^3$ ) Efetuadas pela CEG, Destinadas aos Clientes Industriais Incorporados à Companhia, para a Cidade do Rio de Janeiro.

Ano	1997	1998	1999	2000
Vendas*	213,33	206,16	226,91	234,36

\* Valores correspondentes a 93% em relação à Região Metropolitana do RJ(Tabela 21)

Fonte: Elaboração própria

Tabela 23 - Estimativa de Utilizações Distintas do Gás Natural (em 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>) pelos Clientes Industriais Incorporados à CEG, Referentes à Cidade do Rio de Janeiro.

Ano	1997	1998	1999	2000
Combustível*	113,06	109,26	120,26	124,21
Insumo**	100,27	96,90	106,65	110,15

\* Valores correspondentes a 53% em relação ao Município do Rio de Janeiro (Tabela 22)

\*\*Valores correspondentes a 47% em relação ao Município do Rio de Janeiro (Tabela 22)

Fonte: Elaboração Própria

A PROSINT é a empresa que responde pela utilização do gás natural como insumo para o seu processo. Situada na Cidade do Rio de Janeiro, tem uma taxa de consumo, ao longo da década de 1990 a 1999, de cerca de 50% do volume vendido aos clientes industriais incorporados à CEG (comunicação pessoal, CEG), localizados no município. Do total do seu consumo, cerca de 8% destina-se ao uso como combustível, sendo os 92% restantes usados como matéria-prima para a produção de metanol. Assim, o gás natural usado como insumo (matéria-prima), tem o seu carbono proveniente do CH<sub>4</sub> realocado para a composição do metanol (CH<sub>3</sub>OH), após as devidas reações químicas do processo utilizado. Desta maneira, o carbono permanece fixado (salvo as emissões fugitivas), diferentemente do caso da utilização do gás natural como combustível, em que a reação de combustão

resulta em emissão de CO<sub>2</sub>, liberando para a atmosfera o carbono proveniente do CH<sub>4</sub>. Estas considerações foram observadas no momento de se levantar as emissões dos gases estufa, de acordo com a metodologia estabelecida pelo IPCC.

Para se fazer a estimativa do consumo de gás natural relativo ao setor industrial na Cidade do Rio de Janeiro, foi necessário trabalhar com os dados fornecidos pela CEG para a Região Metropolitana, levando-se em conta a distinção entre os intervalos de 1990 a 1996 e 1997 a 1999, referentes à condição de empresa pública e privada, respectivamente, com as devidas implicações quanto à quantidade de clientes envolvidos. Pode-se verificar na Tabela 24, o salto das vendas da CEG no ano de 1997, com um aumento de cerca de 130%, correspondente à entrada dos clientes anteriormente atendidos pela Petrobras.

Tabela 24 - Vendas de Gás Natural (em 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>) Efetuadas pela CEG, para o Setor Industrial na Região Metropolitana do RJ.

Ano	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Vendas	222,7	251,2	235,8	214,3	192,0	211,1	206,1	474,3	486,1	521,3

Fonte: CEG

No intervalo entre 1990 e 1996, observa-se<sup>19</sup> que cerca de 85% do volume de vendas efetuadas pela CEG para o setor industrial na Região Metropolitana, correspondem às vendas na Cidade do Rio de Janeiro.

Tabela 25 - Estimativa de Vendas de Gás Natural (em 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>) Destinada aos Clientes Cativos da CEG, para o Setor Industrial na Cidade do Rio de Janeiro.

Ano	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Vendas*	189,3	213,5	200,4	182,2	163,2	179,4	175,2

\* Valores correspondentes a 85% em relação à Região Metropolitana do RJ (Tabela 24).

Fonte: Elaboração própria

Entretanto, além dos clientes industriais atendidos pela CEG, na estimativa dos valores para a Cidade do Rio de Janeiro é necessária a inclusão, para o período entre 1990 e 1996, do volume estimado de vendas do gás natural, relativo ao grupo de grandes consumidores que eram atendidos diretamente pela PETROBRAS (DTSE-REDUC).

<sup>19</sup> CEG, comunicação pessoal.

#### B.2.2.4.1) Elaboração das Estimativas Referentes ao Mercado Industrial

A partir dos valores conhecidos entre 1997 e 2000 de vendas da CEG para os clientes industriais incorporados à companhia relativos à Cidade do Rio de Janeiro (tabela 22), ajustou-se uma função linear, permitindo uma estimativa para o período entre 1990 e 1996 (tabela 26), em que não estão disponíveis os dados de venda de gás natural.

A função linear obtida é a seguinte:	
Y	= 8,384 * X - 16535,234 , onde:
Y	= ano
X	= volume de gás natural em milhões de m <sup>3</sup>

Os valores estimados para o intervalo entre 1990 e 1996, relativos ao volume de vendas de gás natural ao grupo de grandes consumidores industriais, a partir da função linear acima mencionada, são os mostrados na tabela 26 a seguir e na figura 8.

Tabela 26 - Volume Estimado de Vendas de Gás Natural (em 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>) ao Grupo de Grandes Consumidores na Cidade do Rio de Janeiro

Ano	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Vendas*	148,9	157,3	165,7	174,1	182,5	190,9	199,2

\* Valores obtidos a partir da função  $Y = 8,384 * X - 16535,234$   
Fonte: Elaboração própria

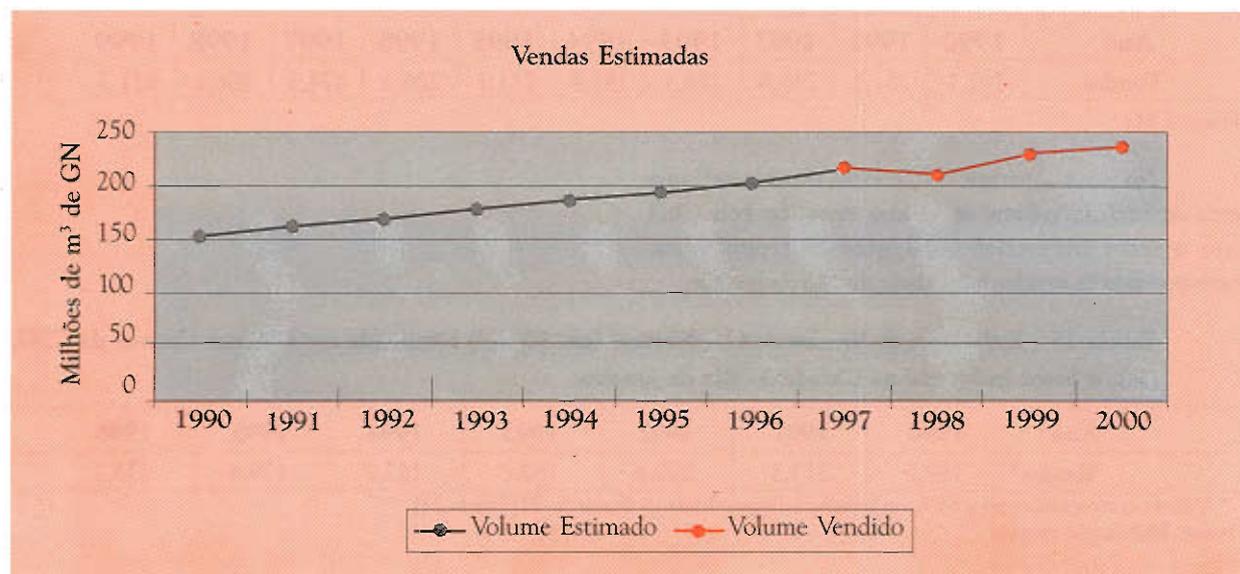


Figura 8 - Volume Estimado de Vendas de Gás Natural ao Grupo de Grandes Consumidores Industriais na Cidade do Rio de Janeiro

Os valores expostos na tabela 27a representam as estimativas de vendas de gás natural efetuadas pela CEG para os clientes cativos no setor industrial da Cidade do Rio de Janeiro, no período de 1990 a 1996. A partir destes valores, é possível se estimar a evolução do consumo destes mesmos clientes (figura 9) para o ano de 1997.

Para os sete anos compreendidos entre 1990 e 1996 (tabela 25), levantou-se uma aproximação para uma função linear que melhor descrevesse a evolução do consumo, permitindo uma estimativa para o ano de 1997.

A função linear obtida é a seguinte:	
Y	= - 5,2721* X + 10693,5479 , onde:
Y	= ano
X	= Volume de gás natural em milhões de m <sup>3</sup>

O volume estimado de vendas de gás natural para o ano de 1997, destinado aos clientes cativos da CEG para a Cidade do Rio de Janeiro, é de 165,1 milhões de m<sup>3</sup>.

Para os anos de 1998 e 1999, os valores do consumo de gás natural para o setor industrial, referentes aos clientes cativos da CEG e aos anteriormente atendidos pela Petrobras, foram transportados da tabela 20.

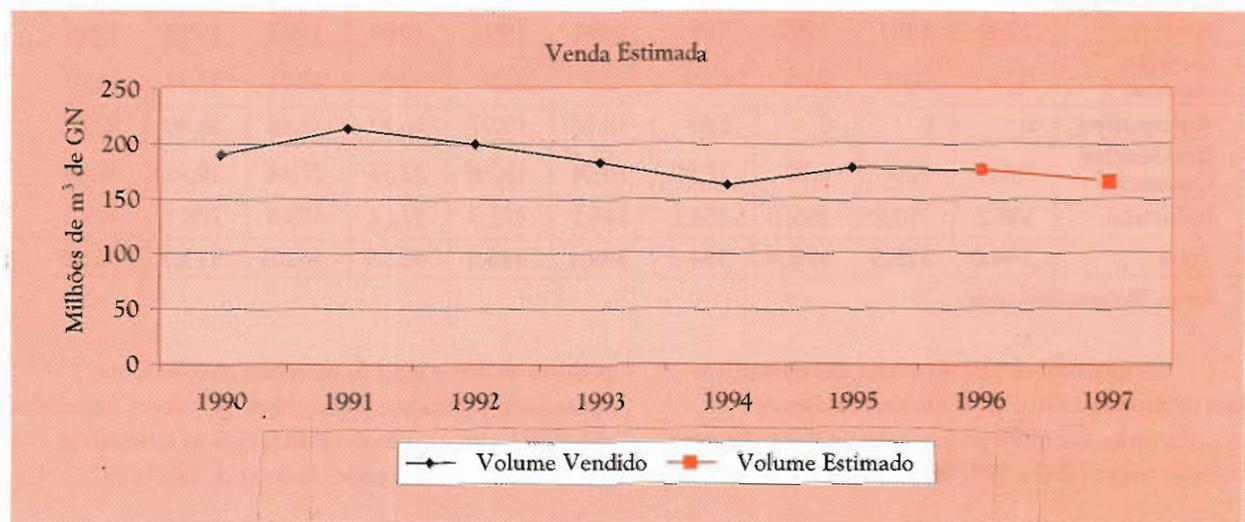


Figura 9 - Estimativa da Evolução do Consumo dos Clientes Cativos da CEG para o Ano de 1997, Relativo à Cidade do Rio de Janeiro.

Pode-se assim, chegar a uma estimativa do volume total de gás natural vendido para o setor industrial na Cidade do Rio de Janeiro, no período de 1990 a 1997.

No intervalo entre 1990 e 1997, somaram-se os valores dos volumes vendidos (tabela 22 e tabela 26) aos grandes consumidores, com os valores (tabela 25 e volu-

me estimado em 1997 = 165,1\*10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>) relativos aos clientes cativos, acrescentando-se em seguida os valores da tabela 20 para o preenchimento dos anos de 1998 e 1999. Obtém-se assim, a estimativa de consumo do setor industrial da Cidade do Rio de Janeiro, apresentada na tabela 27a. A tabela 27b apresenta a finalidade da aquisição do gás natural pelas indústrias.

Tabela 27a - Estimativa das Vendas de Gás Natural (em 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>), para o Setor Industrial na Cidade do Rio de Janeiro.

Ano	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Clientes cativos	189,3	213,5	200,4	182,2	163,2	179,4	175,2	165,1	169,9	92,1
Grandes consumidores	148,9	157,3	165,7	174,1	182,5	190,9	199,2	213,3	206,2	226,9
Mercado industrial	338,2	370,8	366,1	356,2	345,7	370,3	374,4	378,4	376,1	319,0

Fonte: Elaboração própria

**Tabela 27b - Estimativa de Utilizações Distintas do Gás Natural (em 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>) pelos Grandes Consumidores Industriais Incorporados à CEG, Referentes à Cidade do Rio de Janeiro.**

Ano	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Combustível*	78,9	83,4	87,8	92,3	96,7	101,2	105,6	113,1	109,3	120,3
Insumo**	70,0	73,9	77,9	81,8	85,8	89,7	93,6	100,3	96,9	106,7
Total: grandes consumidores	148,9	157,3	165,7	174,1	182,5	190,9	199,2	213,3	206,2	226,9

\*Valores correspondentes a 53% em relação aos grandes consumidores

\*\*Valores correspondentes a 47% em relação aos grandes consumidores

Fonte: Elaboração própria

#### B.2.2.4.2) Consolidação das Estimativas do Consumo de Gás Natural

Uma vez concluída, para o período compreendido entre 1990 a 1999 (tabela 27), a estimativa dos valores referentes ao consumo de gás natural para o setor industrial no município chega-se,

finalmente, à abrangência de todos os mercados envolvidos, e desta forma, pode-se levantar valores estimados das vendas totais de gás natural para a Cidade do Rio de Janeiro (tabela 28), no mesmo período.

**Tabela 28 - Estimativa do Consumo de Gás Natural (em 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>) na Cidade do Rio de Janeiro.**

Ano	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Geração elétrica	0,21	0,18	0,05	6,59	8,69	8,08	9,80	30,61	51,32	76,01
Automotivo	0	0	0	8,65	18,70	19,97	16,15	26,45	58,40	90,65
Residencial/Comercial	5,63	7,53	9,70	12,99	16,04	18,36	22,51	27,34	29,92	35,84
Industrial	338,2	370,8	366,1	356,2	345,7	370,3	374,4	378,4	376,1	319,0
Total	344,0	378,5	375,9	384,5	389,1	416,7	422,9	462,8	515,7	521,5

Fonte: Elaboração própria

Admitindo-se uma extensão das estimativas para os anos de 1998 e 1999, de acordo com os procedimentos adotados para a dedução dos valores no intervalo entre 1990 a 1997 referentes à tabela 28,

pode-se avaliar o grau de incerteza envolvido nas estimativas realizadas, comparando os valores fornecidos pela CEG com os valores obtidos para as estimativas nesses anos, como se pode observar na tabela 29.

**Tabela 29 - Comparação entre Valores Estimados com Valores Fornecidos para 1998 e 1999.**

Ano	Valor Fornecido	Valor Estimado	Diferença
1998	515,7	505,6	2%
1999	521,5	583,9	11%

Fonte: Elaboração própria

Observa-se, pela tabela 29, que a diferença relativa ao ano de 1998 é bastante reduzida. Porém, para o ano de 1999 o erro é um pouco maior, permanecendo, entretanto, dentro de padrões toleráveis. Assim, os valores estimados para o consumo de gás natural da Cidade do Rio de Janeiro (no período de 1990 a 1997) têm um grau de incerteza aceitável.

### B.3) Análise da Evolução do Consumo de Gás

A observação da evolução do consumo de gás na Cidade do Rio de Janeiro (figura 10), permite verificar a participação crescente do gás natural no consumo total de gás. O gás manufacturado sofre um declínio, chegando a 1996 com cerca de dois terços do valor apresentado em 1990, alcançando a seguir uma tímida estabilização até o ano de 1999, enquanto o GLP sofre uma queda até o ano de 1992, recuperando-se em seguida até estabilizar-se a partir de 1996, em patamar ainda inferior ao de 1990.

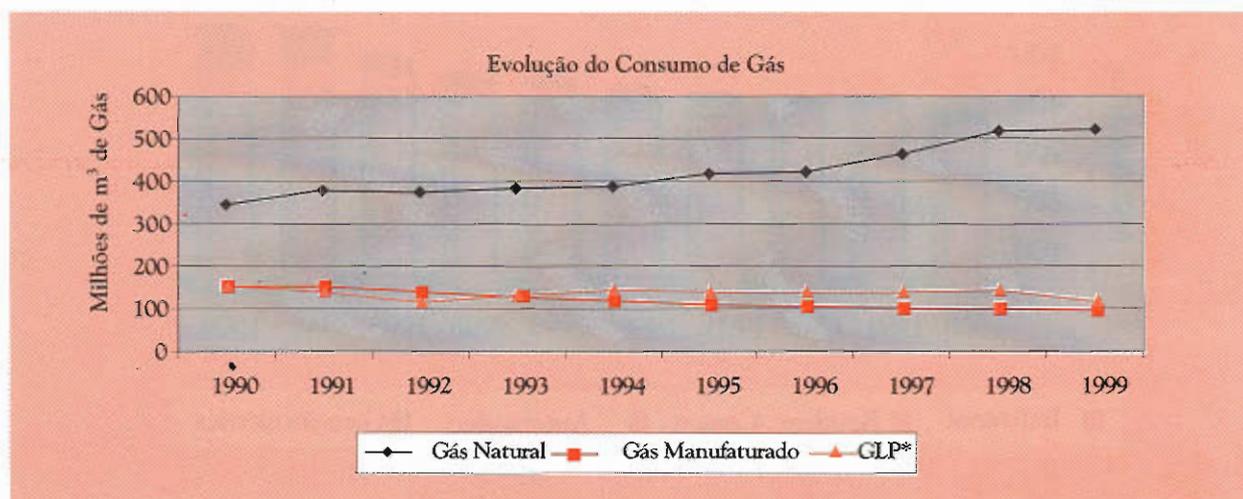


Figura 10 - Evolução do Consumo de Gás na Cidade do Rio de Janeiro \*GLP em Milhões de kg

O gás natural teve o seu aproveitamento iniciado a partir de 1980 como combustível nas plataformas de petróleo, e somente a partir de 1983 foi utilizado pela CEG para a produção de gás manufacturado, em substituição à nafta.

No decorrer da década de 1990, o gás natural respondeu ao aumento da demanda em todos os setores, inclusive no recente mercado automotivo, iniciado somente a partir de 1993 (figura 11).

Paralelamente à produção de GLP pelo processamento convencional do refino de petróleo, a Petrobrás cada vez mais vem produzindo GLP a partir da separação do butano e do propano do gás natural em seu estado original (úmido)

Como se pode observar, a disponibilidade do gás natural garante, através do seu processamento, o suprimento da demanda por GLP e gás manufacturado, embora a presença destes combustíveis no mercado venha sendo reduzida gradativamente.

### B.3.1) Consumo de Gás Natural por Setores.

O setor industrial é nitidamente o consumidor de maior importância de gás natural na Cidade do Rio de Janeiro (figura 11), principalmente de 1990 a 1996. A partir de 1997, começa a crescer a importância dos outros setores. O setor industrial, apesar de um aumento de cerca de 9% em 1991, apresenta de 1992 a 1994, um

decréscimo no consumo de gás natural explicado pela crise econômica que afetou a produção industrial. A partir de 1994, com o Plano Real, observou-se um aumento do consumo industrial de gás natural até 1997. De 1998 em diante, o retorno a uma situação econômica desfavorável causou um decréscimo do consumo industrial deste gás (tabela 28).

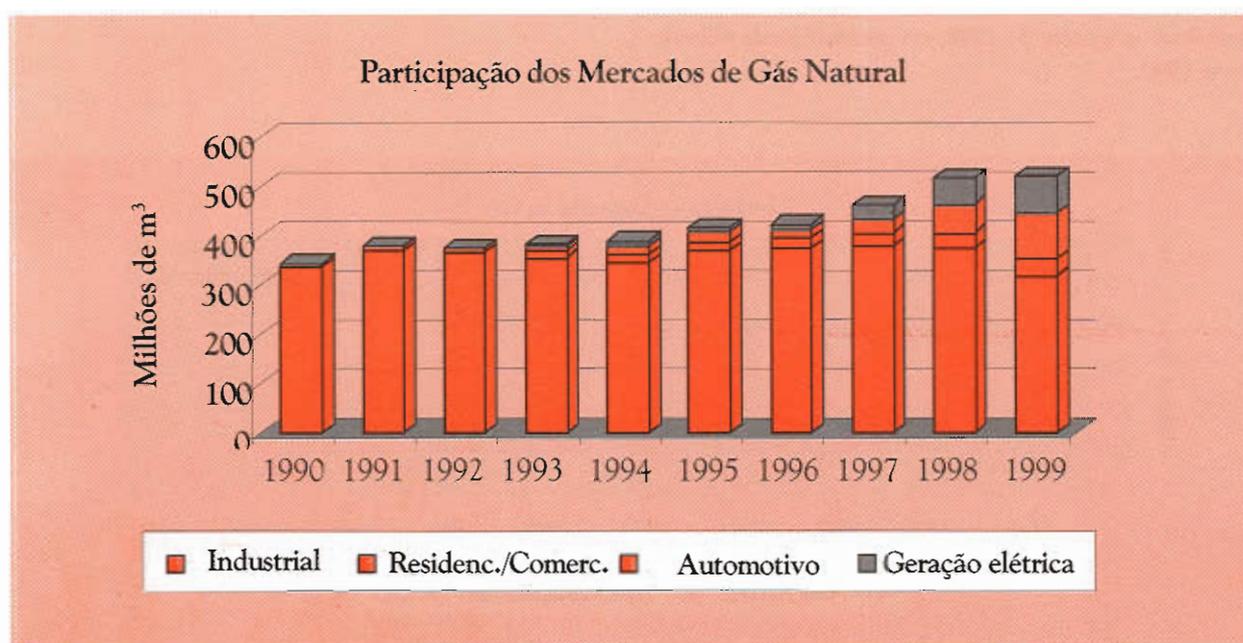


Figura 11 - Participação dos Mercados no Volume Consumido de Gás Natural ( $10^6$  m<sup>3</sup> de GN) na Cidade do Rio de Janeiro.

Quanto ao setor residencial/comercial, verifica-se um crescimento da sua participação no consumo de gás natural ao longo da década, em taxas flutuantes, devido à demanda crescente de população atendida e ao investimento na expansão da rede de distribuição canalizada, representando um aumento de quase cinco vezes o volume consumido no período compreendido entre 1990 e 1997. A partir de 1998, inicia-se o projeto de conversão de gás manufacturado para gás natural, o que apresenta todavia, problemas operacionais e técnicos, com a necessidade de adaptação da rede de distribuição, pois o gás natural opera a uma pressão maior do que a do gás manufacturado, ocorrendo, assim, vazamentos antes não verificados. Os principais problemas decorrem da necessidade de realização de operações no interior das residências dos clientes. Tais fatos reduziram o ritmo das conversões, não evitando, contudo, um crescimento adicional do volume de consumo do gás natural a partir do ano de 1998.

O mercado automotivo para gás natural veicular (GNV) surgiu somente a partir de 1993, ainda restrito à Cidade do Rio de Janeiro, com planos de expansão

já a partir de 1999 para outros municípios. O gás natural apresenta-se como um atraente substituto a outros combustíveis, com um grande potencial para o uso em veículos leves. De 1993 a 1995, verifica-se um crescimento em seu consumo, com uma pequena queda em 1996, atingindo porém, cerca do dobro do valor de 1993. A partir de então, graças a mais postos distribuidores oferecendo gás natural a um preço inferior à gasolina convencional e ao álcool, junto ao baixo custo da conversão do motor para o funcionamento a GNV, observa-se um crescimento acelerado do seu consumo. Em 1999 atinge um valor 5,6 vezes superior ao de 1996.

O mercado de geração elétrica é destinado a FURNAS para atender a Usina Termelétrica de Santa Cruz. A participação do gás natural em substituição ao óleo combustível é cada vez maior, principalmente a partir de 1996, justificando o aumento de mais de três vezes do consumo em 1997, seguido de continuado aumento. Uma análise mais específica do mercado de geração elétrica consta deste Inventário no capítulo referente às "Estimativas Devidas ao Consumo de Energia Elétrica" (item 2.3.1 A)

### B.3.2) Consumo de Gás Manufaturado por Setores.

O consumo de gás manufaturado restringe-se aos setores industrial e residencial/comercial, respectivamente (tabela 15), ocorrendo no estado apenas na Cidade do Rio de Janeiro.

Como se observa na figura 12, o mercado industrial para o gás manufaturado é pequeno, tendendo substituí-lo por gás natural. Para o ano de 1996, observa-se uma queda do consumo de quase seis vezes em relação

a 1990. O decréscimo se prolonga por toda a década, atingindo uma redução ainda maior do ano de 1996 a 1999.

O mercado residencial/comercial é preponderante, correspondendo em 1990, a 85%, e em 1999, a 99% do consumo total de gás manufaturado. Entretanto, apresenta um decréscimo contínuo até 1996, embora a taxas menores às do mercado industrial. A partir de 1997, alcança uma estabilidade com valores inferiores aos de 1996.

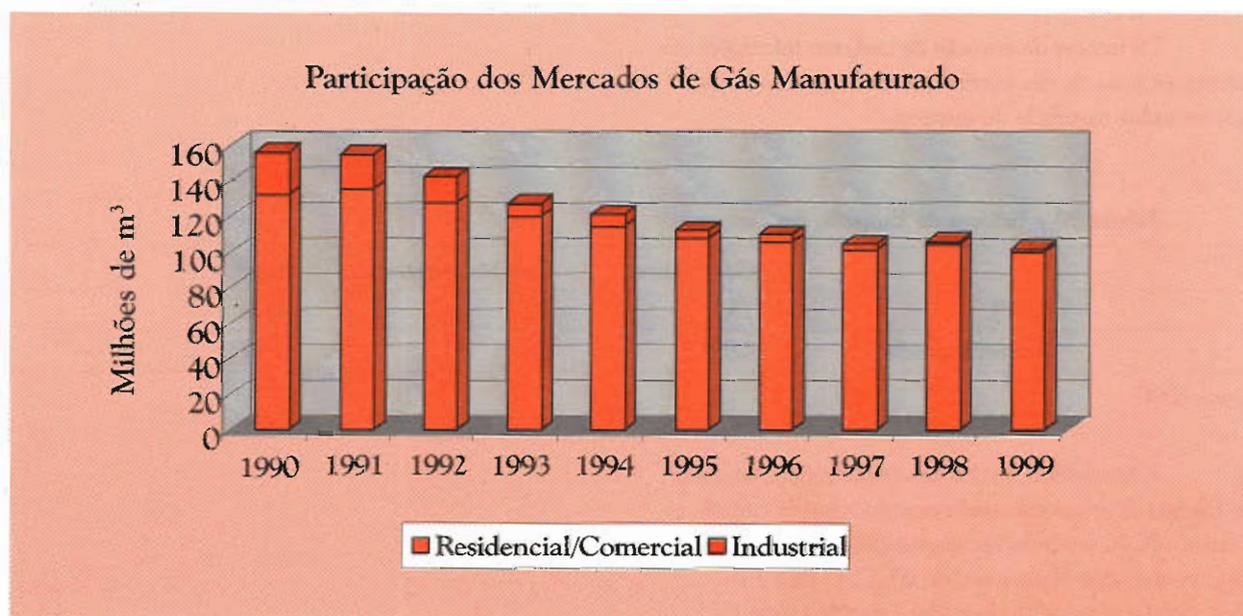


Figura 12 - Participação dos Mercados no Volume Consumido de Gás Manufaturado (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> de Gás Manufaturado) na Cidade do Rio de Janeiro

### B.3.3) Consumo de GLP

A comercialização do gás de botijão iniciou-se no país em 1936, apresentando um alto crescimento histórico, devido a sua caracterização como serviço público aos mercados consumidores, influenciando, desta forma, a política de preços praticada pelo governo.

O GLP é o gás mais consumido pelo setor residencial/comercial de energia, superando o gás manufaturado neste mercado. É usado principalmente para a cocção de alimentos e em pequena escala para o aquecimento d'água, além de ser indevidamente usado no setor de transporte e na indústria. O consumo de GLP na Cidade do Rio de Janeiro na década de 1990 é apresentado na tabela 14, considerando-se neste Inventário seu uso exclusivamente no setor residencial/comercial.

#### B.4 ) Considerações Metodológicas

De acordo com algumas considerações já comentadas anteriormente (B.2.2. 4 Mercado Industrial), a estimativa das emissões de gases estufa devidas ao consumo de gás na Cidade do Rio de Janeiro, refere-se aquele usado como combustível. A estimativa de utilizações distintas (como combustível ou como insumo) do gás natural, é apresentada na tabela 23. Assim, em conformidade com a metodologia estabelecida pelo IPCC, o gás utilizado como insumo (matéria-prima) pela indústria é considerado como não emissor de gases estufa.

Os fatores de emissão de carbono referentes aos diferentes tipos de gás usados como combustíveis, são apresentados na tabela 30 a seguir.

Tabela 30 - Fatores de Emissão de Carbono.

	Gás Natural	Gás Manufaturado	GLP
tC/TJ	15,3	20,2	17,2
Fração oxidada	0,995	0,995	0,99

Fonte: IPCC

A quantificação dos combustíveis em unidade de energia deve ser calculada usando o poder calorífico inferior (PCI), segundo recomendação da metodologia da Comunicação Nacional e do IPCC. O PCI é aproximadamente 95% do poder calorífico superior (PCS) para o GLP, e 90% do PCS para o gás natural e o manufaturado. A tabela 31 apresenta os poderes caloríficos inferiores dos diferentes tipos de gás.

Tabela 31 - Poder Calorífico Inferior.

	Gás Natural	Gás Manufaturado	GLP
kJ/m <sup>3</sup>	34876	14696	46735*
kcal/m <sup>3</sup>	8330	3510	11163**
	*kJ/kg	**kcal/kg	

Fonte: Elaboração própria a partir do Balanço Energético do Estado do Rio de Janeiro 1980-1997

Os valores estimados para a emissão de CO<sub>2</sub> foram calculados de acordo com a metodologia do IPCC (<http://www.mct.gov.br/clima/comunic-old/invent1.htm>).

### B.5) Emissões de CO<sub>2</sub>.

As emissões de CO<sub>2</sub> devidas ao consumo de gás na Cidade do Rio de Janeiro para o período de 1990 a 1999, são apresentadas na tabela 32 a seguir.

Tabela 32 - Emissão de CO<sub>2</sub> (Gg CO<sub>2</sub>) por Tipo de Gás e por Mercado, para o Período de 1990 a 1999, na Cidade do Rio de Janeiro.

		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Gás natural	Automotivo	0	0	0	16,8	36,4	38,9	31,4	51,5	113,7	176,5
	Industrial	522,1	578,0	561,1	534,2	506,0	546,2	546,6	541,5	543,5	413,3
	Geração elétrica	0,4	0,3	0,1	12,8	16,9	15,7	19,1	59,6	99,9	148,0
	Residencial/comercial	11,0	14,7	18,9	25,3	31,2	35,7	43,8	53,2	58,2	69,8
	<b>Total</b>	<b>533,5</b>	<b>593</b>	<b>580,1</b>	<b>589,1</b>	<b>590,5</b>	<b>636,5</b>	<b>640,9</b>	<b>705,8</b>	<b>815,3</b>	<b>807,6</b>
Gás manufaturado	Industrial	25,8	21,1	15,2	7,8	7,2	5,2	4,4	3,2	1,9	1,4
	Residencial/comercial	143,0	146,6	138,3	129,9	124,1	116,6	114,6	109,8	112,9	108,5
	<b>Total</b>	<b>168,8</b>	<b>167,7</b>	<b>153,5</b>	<b>137,7</b>	<b>131,3</b>	<b>121,8</b>	<b>119</b>	<b>113</b>	<b>114,8</b>	<b>109,9</b>
GLP	Residencial/comercial	454,1	411,8	342,3	383,3	424,2	407,6	413,5	409,1	421,1	409,7
<b>Total Geral</b>		<b>1156</b>	<b>1173</b>	<b>1076</b>	<b>1110</b>	<b>1146</b>	<b>1166</b>	<b>1173</b>	<b>1228</b>	<b>1351</b>	<b>1327</b>

Fonte: Elaboração própria

Como pode se observar na tabela 32, o gás natural tem o setor industrial como o maior responsável por suas emissões de CO<sub>2</sub>. Entre 1990 e 1992, cerca de 97% do total de emissões devidas ao consumo de gás natural correspondem ao setor industrial.

A partir de 1993, surge o mercado automotivo, apresentando pequenas variações em suas emissões entre os anos de 1994 a 1996 e um crescimento a taxas elevadas a partir de 1997. Atinge em 1999 um valor quase 3,5 vezes maior que o valor verificado em 1997.

O mercado de geração elétrica, por sua vez, passa a ter uma participação mais significativa nas

emissões relativas ao gás natural no ano de 1993. Entre 1993 e 1996, as emissões crescem 1,5 vezes, alavancando-se a partir de 1997 com crescimento superior a três vezes o ano anterior, chegando em 1999 com um valor 2,5 vezes maior ao valor apresentado em 1997. O consumo do setor residencial/comercial relativo ao gás natural, apesar de responsável pelo crescimento das emissões em mais de seis vezes no período de 1990 a 1999, permanece com modesta participação em relação às emissões totais do gás natural, passando a contribuir de cerca de 2% para 8,6% deste total, no mesmo período.

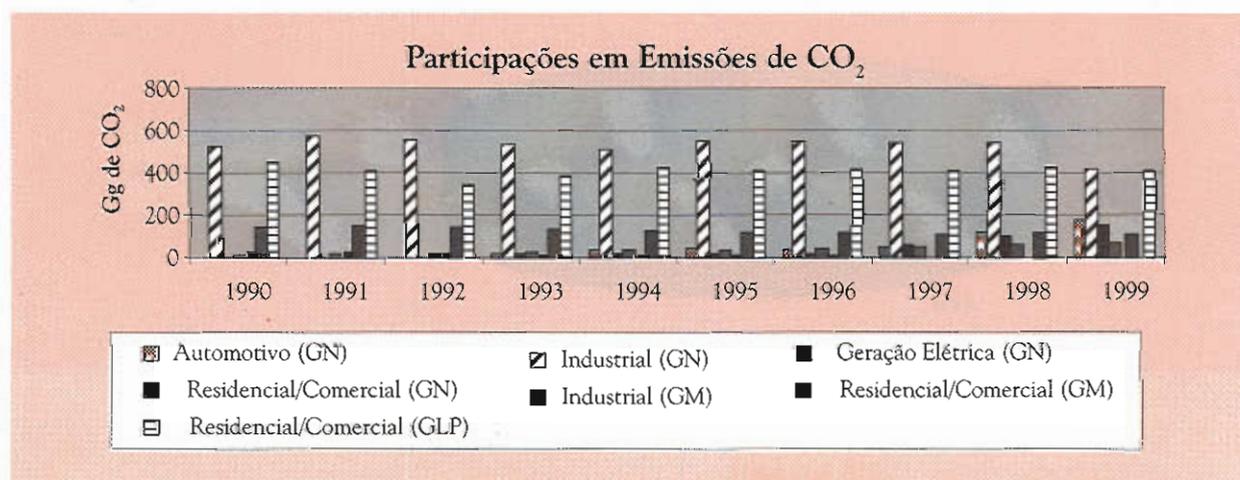


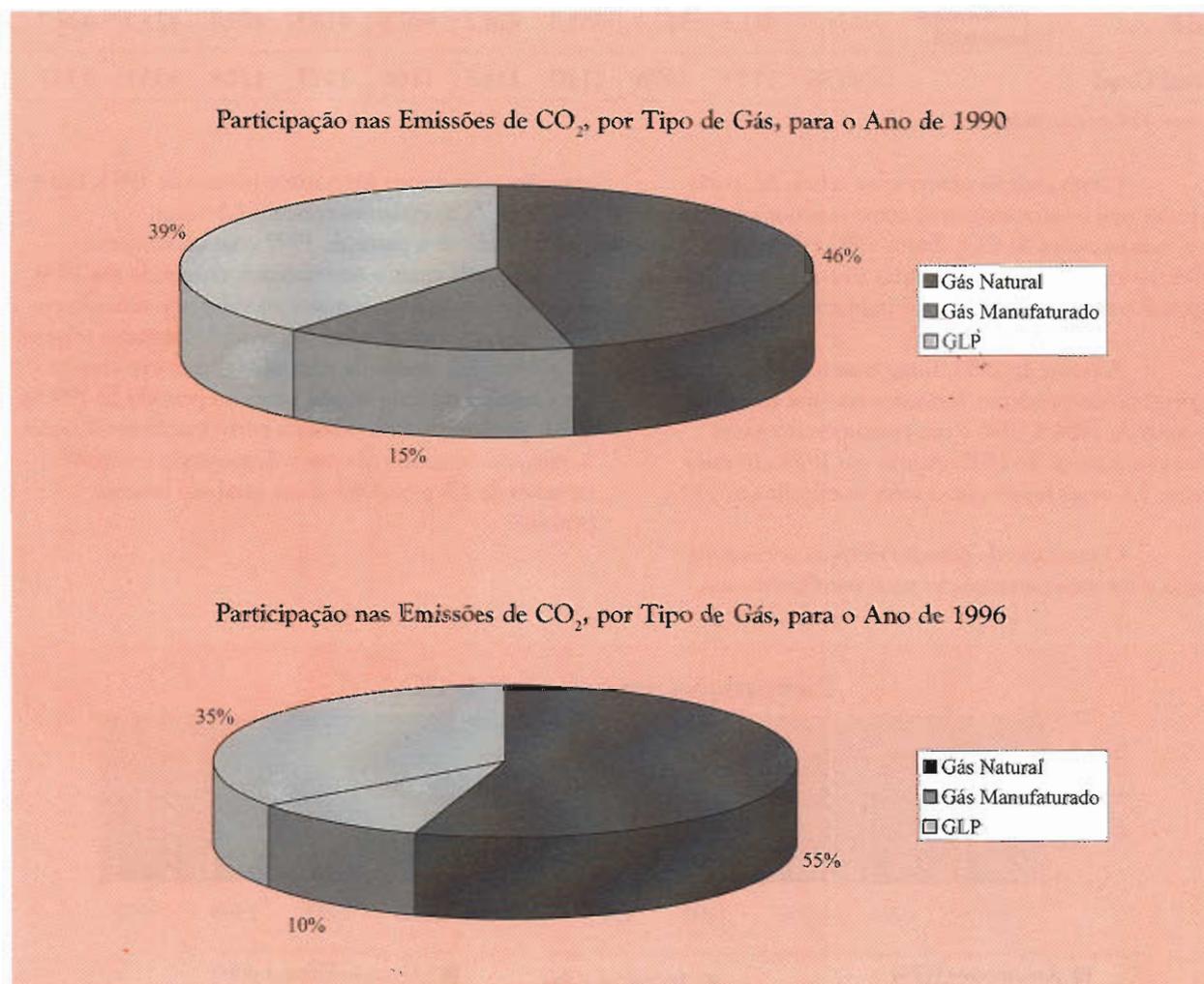
Figura 13: Participações na Emissão de CO<sub>2</sub> (Gg CO<sub>2</sub>) por Tipo de Gás e por Mercado, para o Período de 1990 a 1999, na Cidade do Rio de Janeiro.

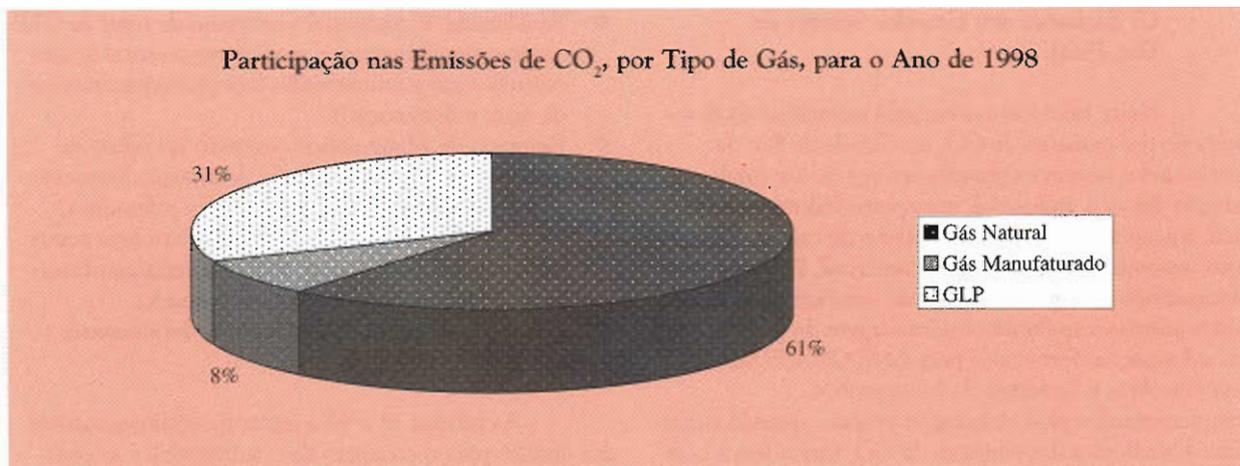
As emissões relativas ao consumo de gás manufaturado tendem a ser uma responsabilidade exclusiva do setor residencial/comercial. Ao longo da década de 1990, observa-se uma significativa redução destas emissões que representam em 1999, 65% do total das emissões verificadas em 1990. Esta redução é ocasionada pela decrescente importância do gás manufaturado na matriz energética da Cidade do Rio de Janeiro, cujo espaço tem sido ocupado cada vez mais pelo gás natural (figura 14).

O GLP continua sendo a principal fonte de energia do setor residencial/comercial, sendo usado essencialmente na cocção de alimentos. Apesar de sua emissão ter se estabilizado a partir de 1996 em cerca de 90% do valor de 1990, o GLP tem uma significativa participação no total das emissões devidas ao consumo de

gás na Cidade do Rio de Janeiro, apesar do aumento do uso do gás natural.

O setor industrial que consome o gás natural completa o ano de 1999 com queda de 34% em suas emissões, aproximando-se das emissões relativas ao consumo de GLP, cuja queda foi de apenas 3%. Demonstra-se, desta maneira, a maior sensibilidade da atividade industrial frente a uma situação econômica desfavorável, em relação ao impacto sobre o consumo de GLP no setor residencial/comercial. Entretanto, a participação do gás natural no total de emissões devidas ao uso de gás permanece preponderante (figura 14), devido à ascensão, a partir de 1997, dos mercados automotivo e de geração elétrica, bem como do mercado residencial/comercial (figura 13).





**Figura 14 - Participação nas Emissões de CO<sub>2</sub>, por Tipo de Gás, Referentes aos Anos de 1990, 1996 e 1998, na Cidade do Rio de Janeiro**

A participação dos diferentes tipos de gás nas emissões de CO<sub>2</sub> teve um comportamento dinâmico ao longo da década de 1990. No início (1990), o gás natural já ocupava um espaço importante, correspondendo a 46% das emissões totais devidas ao consumo de gás na Cidade do Rio de Janeiro (figura 14). Em 1996, a participação do gás manufacturado apresenta uma queda de um terço em relação ao início da década. Refletindo a penetração do Gás Natural em substituição ao gás manufacturado, o ano de 1998 apresenta uma participação de apenas 8% deste gás.

O GLP tem um papel importante no suprimento de gás em lugares onde não se tem rede de gás canalizado. A construção de uma rede de distribuição residencial de gás apresenta custo elevado. Por outro lado, a maior oferta de gás natural representa uma maior possibilidade de seu processamento para a produção de GLP. Assim, a redução da participação do GLP ocorre a uma taxa lenta, de 39% em 1990, caindo para 31% em 1998, em relação às emissões totais.

No decorrer da década de 1990, é notório o crescimento da participação do gás natural nas emissões de CO<sub>2</sub>. Sua contribuição em 1990 era inferior à metade das emissões totais. Em 1996, já ultrapassa a metade destas emissões totais. Finalmente completa o ano de 1998 com 61% de participação nas emissões totais de CO<sub>2</sub> devidas ao consumo de gás na Cidade do Rio de Janeiro (figura 14).

Existe um grande potencial de reservas de gás natural na Bacia de Campos, cada vez mais explorado. Este potencial, com sua localização próxima ao mercado consumidor da Cidade do Rio de Janeiro, aliado às suas crescentes aplicações (mercado automotivo, geração elétrica e residencial/comercial), projetam uma maior participação do gás natural na matriz energética e conseqüentemente um aumento das emissões de gases de efeito estufa decorrentes de seu uso na Cidade do Rio de Janeiro.

### C) Emissões dos Grandes Setores de Uso Final.

Neste item fornece-se uma estimativa da desagregação das emissões de CO<sub>2</sub> na Cidade do Rio de Janeiro pelos seguintes grandes setores de uso final: geração elétrica, industrial, transporte rodoviário individual, transporte rodoviário coletivo e de cargas, transporte aeroviário, residencial + comercial, Refinaria de Manguinhos e outros. Os dados de combustíveis consumidos anualmente foram obtidos através do tratamento das informações fornecidas pela ANP, CEG, FURNAS, pela Petrobrás e Refinaria de Manguinhos, complementados pela elaboração própria, quando necessário. Os cálculos das emissões de CO<sub>2</sub> foram feitos com base na metodologia do IPCC.

Foram obtidos dados para o consumo no município de óleo cru (petróleo bruto) e dos seguintes derivados de petróleo: gasolina, querosene de aviação, gás natural, querosene iluminante, óleo diesel, óleo combustível, GLP, gás manufacturado, lubrificantes e asfalto. Estes produtos são responsáveis pela emissão de CO<sub>2</sub>, seja por ocasião de sua queima, seja por usos não energéticos, por exemplo, como matéria prima<sup>20</sup>.

Tanto para o consumo de combustíveis em TJ quanto para as emissões correspondentes em Gg CO<sub>2</sub>, a alocação por grandes setores de uso final foi realizada a partir dos seguintes critérios :

- ❖ Geração elétrica – dados de consumo de óleo diesel (pequena quantidade para a partida da caldeira), óleo combustível e gás natural da Usina Termelétrica de Santa Cruz.
- ❖ Industrial - total de óleo combustível menos o usado para geração elétrica (caldeiras e fornos industriais), parte do consumo total de gás natural e gás manufacturado.
- ❖ Transporte rodoviário individual - consumo de gasolina, álcool etílico hidratado, álcool etílico anidro e gás natural veicular (em veículos de passeio particulares e táxis).
- ❖ Transporte rodoviário coletivo e de cargas – quase a totalidade de óleo diesel (utilizado basicamente nos ônibus, vans e caminhões).
- ❖ Transporte aeroviário – querosene de aviação consumido em vôos domésticos e gasolina de aviação consumida no município (querosene de aviação dos vôos internacionais está contabilizado nos bunkers internacionais).

- ❖ Residencial + comercial - consumo de total de GLP e querosene iluminante, mais parte do total de gás natural e gás manufacturado (cozimento, aquecimento de água e iluminação).
- ❖ Refinaria de Manguinhos - emissão no refino de petróleo utilizando-se o fator de emissão fornecido pela Petrobras de 0,224 ton CO<sub>2</sub>/tep refinado. O fator de emissão foi calculado pela Petrobrás como uma média de emissão de CO<sub>2</sub> nas refinarias brasileiras para cada tep de petróleo refinado.
- ❖ Outros – contabiliza o consumo de lubrificantes e asfalto.

As tabelas 34 a 40 a seguir mostram os resultados obtidos para o consumo de combustíveis e as emissões de CO<sub>2</sub> por grandes setores de uso final nos anos de 1990, 1996 e 1998. As figuras 15 a 24 mostram as participações percentuais de cada setor no consumo de energia e nas emissões correspondentes de CO<sub>2</sub>. Vale ressaltar a grande contribuição do setor de transporte rodoviário (individual e coletivo/cargas) e transporte aeroviário em relação aos demais setores de uso final de energia.

O álcool etílico hidratado e o álcool etílico anidro também foram contabilizados no consumo municipal de energia, mas sendo obtidos a partir de biomassa renovável (cana-de-açúcar) suas emissões não são contabilizadas no total.

O consumo total de combustíveis da Cidade do Rio de Janeiro de 1990 até 1998 não considera o consumo dos bunkers internacionais. Entende-se por bunker internacional o consumo de combustíveis usados para aviação e navegação internacional. No caso da Cidade do Rio de Janeiro o consumo bunker é relativo a querosene de aviação utilizado para a aviação internacional<sup>21</sup>. O restante de querosene de aviação e a gasolina de aviação consumidos no município foram contabilizados na emissão total do mesmo. Tal contabilização foi realizada segundo as diretrizes do IPCC, pelas quais a alocação espacial das emissões do setor de transportes é ligada ao princípio da responsabilidade política, isto é, de acordo com o local da venda de combustível.

A figura 15 a seguir apresenta os resultados obtidos no cálculo da quantidade de energia destes combustíveis (em TJ) desde 1990 até 1998.

<sup>20</sup> Lubrificante e asfalto são derivados de petróleo não utilizados como fontes de energia. No caso do lubrificante, considera-se que 50% do carbono nele contido é emitido durante o seu uso. Já no caso do uso de asfalto, nenhum carbono é emitido (como pode ser visto na tabela 4 onde são mostradas as Frações de Carbono Estocadas Empregadas para Usos Não Energéticos).

<sup>21</sup> Para o ano 1999, segundo informações da Gerência de Aeroporto Rio de Janeiro (responsável pelo abastecimento dos vôos internacionais), os vôos internacionais que abastecem a Cidade do Rio de Janeiro consumiram 336.052 m<sup>3</sup> querosene de aviação. Na falta de outros dados de consumo de vôos internacionais para os anos do inventário, esse valor foi tomado como referência para os anos de 1990 a 1998, ou seja a quantidade de 336.052 m<sup>3</sup> de querosene de aviação foi considerada como bunker internacional para os referidos anos.



Figura 15 – Consumo de Combustíveis\* na Cidade do Rio de Janeiro de 1990 até 1998, Excluindo-se Bunkers (em TJ).

\* Combustíveis considerados: óleo cru, gasolina, querosene de aviação, gasolina de aviação, querosene iluminante, óleo diesel, óleo combustível, GLP, lubrificante, asfalto, gás natural, gás manufacturado, álcool etílico hidratado e álcool etílico anidro.

Percebe-se que o início da década de 90 representou um período recessivo na economia municipal que depois iniciou a sua recuperação na segunda metade da década.

A quantidade de energia correspondente ao consumo municipal dos combustíveis considerados, calculada com base nas hipóteses acima, está apresentada na tabela 33 a seguir, desagregada por combustível.

Tabela 33 – Quantidade de Energia Gasta (TJ) por Combustível de 1990 até 1998

Consumo Total (sem bunkers)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Óleo cru	1.441	1.231	1.427	1.549	1.424	1.506	1.443	1.449	1.475
Gasolina *	18.757	20.041	18.268	20.292	22.107	25.656	29.159	30.879	27.659
Querosene de aviação	23.125	12.034	8.633	5.316	12.440	13.934	11.829	15.587	12.063
Gasolina de aviação	173	78	55	46	33	36	39	56	41
Querosene iluminante	782	658	424	284	234	235	164	85	41
Óleo diesel	23.033	21.373	18.457	20.073	21.401	19.304	19.401	23.694	24.570
Óleo combustível	14.805	6.396	5.882	6.577	8.034	9.487	14.752	13.749	15.628
GLP	7.279	6.600	5.487	6.144	6.801	6.532	6.624	6.558	6.757
Asfalto**	802	692	996	848	1.116	950	1.313	1.035	ND***
Lubrificantes**	1.852	1.818	1.662	1.489	1.783	1.887	2.010	1.956	ND***
Gás natural "seco"	9.557	10.623	10.392	10.555	10.580	11.404	11.482	12.644	14.607
Gás manufacturado	2.290	2.275	2.083	1.868	1.782	1.653	1.614	1.533	1.558
Álcool etílico anidro	3.568	3.812	3.475	3.860	4.205	4.881	5.547	5.874	5.891
Álcool etílico hidratado	17.409	15.370	13.591	12.557	12.244	11.453	10.278	8.186	5.480
Somatório dos Consumos Totais (sem bunkers)	124.728	103.002	90.831	91.459	104.184	108.917	115.656	123.284	115.769
Consumo bunker									
Querosene de aviação	11.707	11.707	11.707	11.707	11.707	11.707	11.707	11.707	11.707
Somatório consumo bunkers	11.707	11.707	11.707	11.707	11.707	11.707	11.707	11.707	11.707

\* Gasolina sem a mistura com o álcool anidro

\*\* Lubrificantes e asfalto não são utilizados para obtenção de energia, mas como no Balanço Energético, optou-se por contabilizar a energia contida nesses produtos não energéticos derivados de petróleo.

\*\*\* Dados Não Disponíveis.

Fonte: Elaboração própria com base em dados da ANP, Petrobrás, CEG.

A tabela 34 apresenta os resultados do cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> devidas à queima e ao uso de combustíveis fósseis no município no período de 1990 a 1998, realizado pela aplicação dos fatores de emissão aos dados de consumo para uso combustível, de acordo com a metodologia do IPCC.

Tabela 34 – Emissões de CO<sub>2</sub> (Gg CO<sub>2</sub>) por Combustível de 1990 até 1998

Emissão Total -Sem bunker	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Óleo cru	105	89	104	112	103	109	105	105	107
Gasolina*	1.287	1.375	1.253	1.392	1.517	1.760	2.001	2.118	1.898
Querosene de aviação	1.637	852	611	376	881	986	837	1.103	854
Gasolina de aviação	12	5	4	3	2	2	3	4	3
Querosene iluminante	56	47	30	20	17	17	12	6	3
Óleo diesel	1.689	1.567	1.353	1.472	1.569	1.415	1.423	1.737	1.802
Óleo combustível	1.134	490	451	504	615	727	1.130	1.053	1.197
GLP	454	412	343	384	425	408	414	409	422
Asfalto	0	0	0	0	0	0	0	0	**
Lubrificantes	67	66	60	54	65	68	73	71	**
Gás natural “seco”	533	593	580	589	591	637	641	706	815
Gás manufacturado	169	168	153	138	131	122	119	113	115
Álcool etílico anidro	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Álcool etílico hidratado	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Emissões totais (sem bunkers)	7.143	5.664	4.942	5.044	5.915	6.252	6.756	7.427	7.215
Emissões Bunkers	829	829	829	829	829	829	829	829	829

\* - Gasolina sem a mistura com o álcool anidro

\*\* - Dados não disponíveis

Fonte: Elaboração própria

Gg CO<sub>2</sub> = Unidade-padrão do IPCC, equivale a bilhões de gramas de CO<sub>2</sub> = mil toneladas de CO<sub>2</sub>

A participação da gasolina, do óleo diesel e do querosene de aviação no total das emissões são as mais significativas, seguidas pela contribuição do óleo combustível. É interessante notar inicialmente o efeito da crise econômica no início da década, acarretando uma queda das emissões. A recuperação econômica a partir de 1994 foi acompanhada por um aumento das emissões de CO<sub>2</sub>, puxado inicialmente pelo óleo diesel (em 1994) e depois pela gasolina (entre 1995 e 1998).

A figura 16 a seguir permite visualizar as emissões de CO<sub>2</sub> na Cidade do Rio de Janeiro (descontando-se os bunkers) desde 1990 até 1998, devidas ao uso dos seguintes produtos: óleo cru, gasolina, querosene de aviação, gasolina de aviação, querosene iluminante, óleo diesel, óleo combustível, GLP, gás natural, gás manufacturado e lubrificantes.

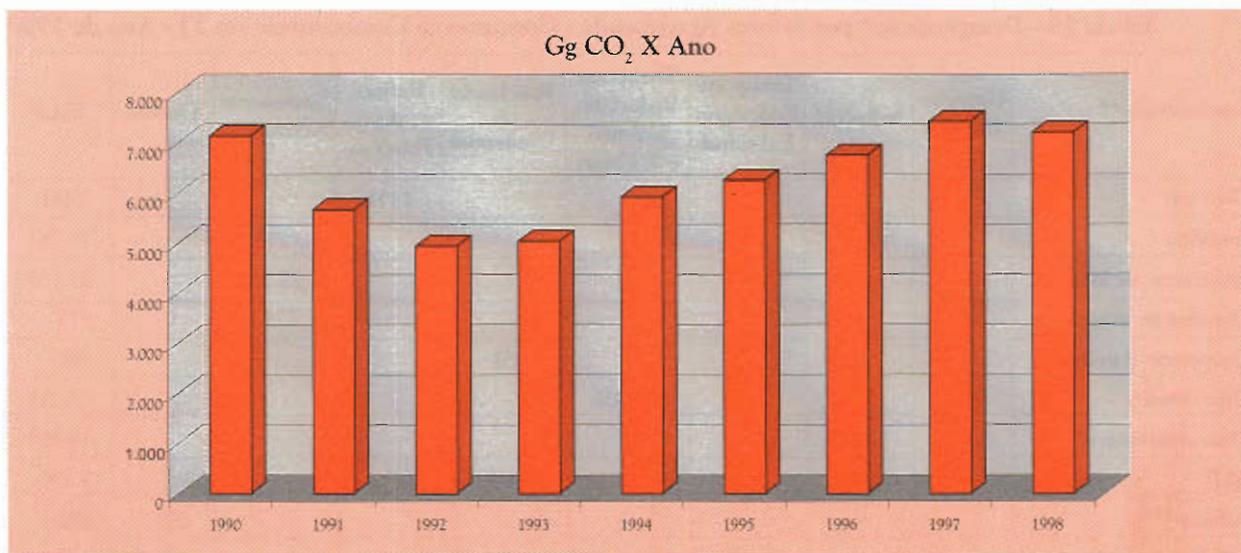


Figura 16 – Emissões de CO<sub>2</sub> (Gg CO<sub>2</sub>) Devidas à Queima de Combustíveis\* na Cidade do Rio de Janeiro (Sem Bunkers)

\* combustíveis considerados : óleo cru, gasolina, querosene de aviação, querosene iluminante, óleo diesel, óleo combustível, GLP, lubrificantes (uso não energético), gás natural e gás manufacturado.

Com essas informações foi elaborado um gráfico (figura 17), mostrando como se comportaram, no período em estudo, as emissões de CO<sub>2</sub> por unidade de energia consumida. Este coeficiente é importante para se observar a variação da intensidade das emissões com relação ao consumo de energia (lembrando que tanto as emissões dos bunkers quanto a energia consumida por este setor não estão contabilizadas).

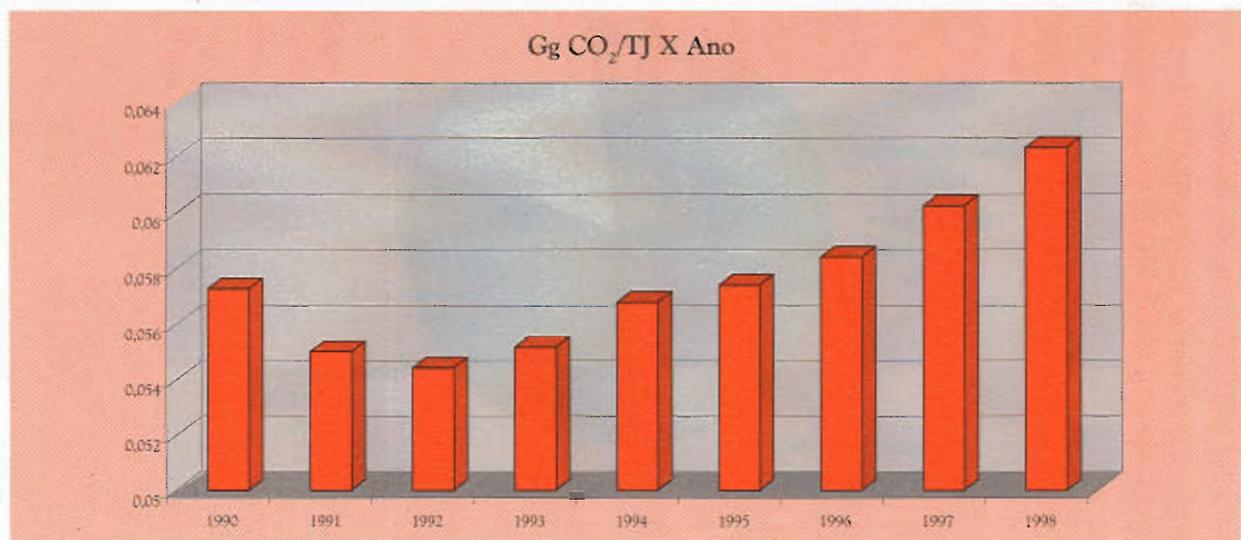


Figura 17 – Emissão de CO<sub>2</sub> por Energia Consumida (Gg CO<sub>2</sub>/TJ)

A figura 17 mostra que a intensidade de emissão de CO<sub>2</sub> por unidade de energia consumida cresceu de 1992 para 1998. Isso pode ser justificado, principalmente, pela diminuição no consumo de biomassa líquida, ou seja, o álcool etílico hidratado. O consumo total de álcool etílico hidratado caiu de

817.098 m<sup>3</sup> em 1990 para 257.189 m<sup>3</sup> em 1998. O aumento no consumo de álcool etílico anidro, adicionado à gasolina que passou de uma porcentagem de 22% para 24% a partir de 1998, não foi suficiente para uma diminuição nesse coeficiente de emissão de CO<sub>2</sub> por unidade de energia consumida.

Tabela 35 - Desagregação\* por Setores Aproximada - Consumo de Combustíveis em TJ - Ano de 1990

Combustíveis **	Geração Elétrica	Industrial	Transporte Rodoviário Individual	Transporte Rodoviário Coletivo e de Cargas	Residencial + Comercial	Refino de Petróleo	Transporte Aeroviário	Outros	Total
Óleo cru						1441			1.441
Gasolina			18.757						18.757
Querosene de aviação							23.125		23.125
Gasolina de aviação							173		173
Querosene iluminante					782				782
Óleo diesel	27			23.006					23.033
Óleo combustível	2.807	11998							14.805
GLP					7.279				7.279
Asfalto ***								692	692
Lubrificantes ***								1.818	1.818
Gás natural "seco"	7	9353	0		196				9.557
Gás manufacturado		350			1.941				2.291
Álcool etílico anidro			3.568						3.568
Álcool etílico hidratado			17.409						17.409
Total Grandes Subsetores	2.841	21.701	39.734	23.006	10.198	1.441	23.299	2.509	124.729

\* - Desagregação feita com base no consumo de combustíveis

\*\* - Totais de combustíveis já descontado o consumo bunker

\*\*\* - Usos não energéticos

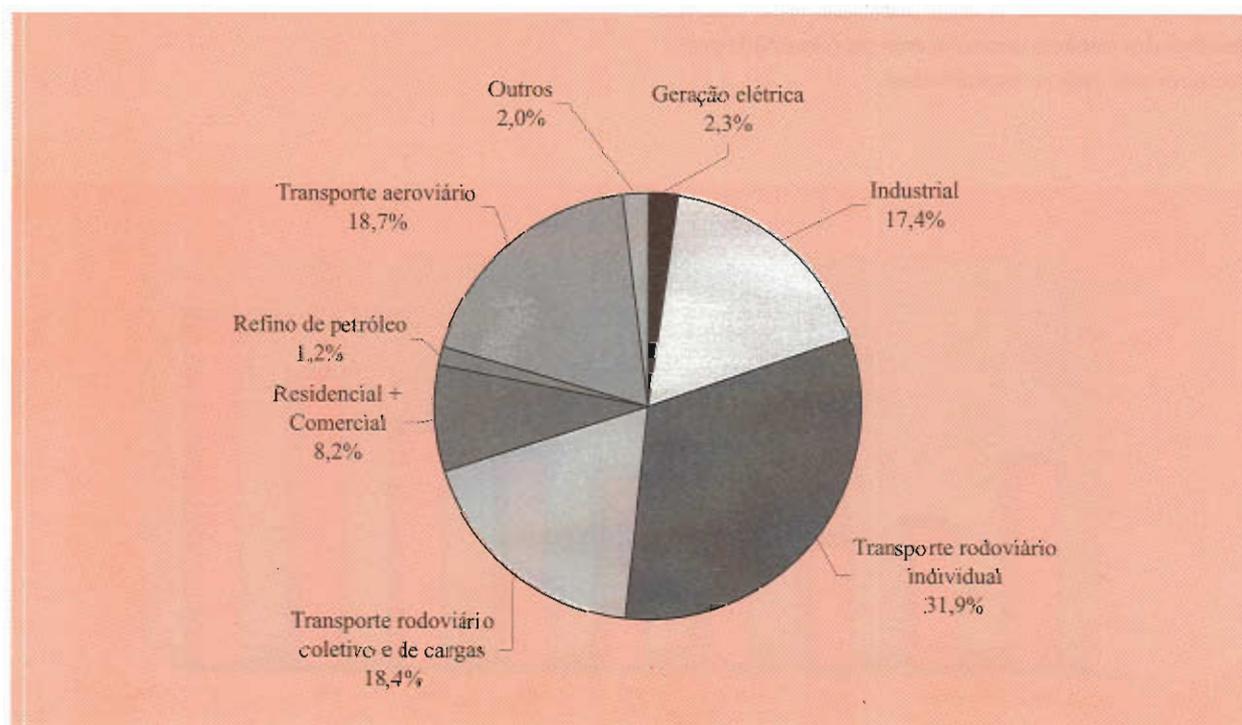


Figura 18- Participação % de cada Setor no Consumo de Energia - Ano 1990 (com base na tabela 35)

Tabela 36 - Desagregação\* por Setores Aproximada - Emissões de CO<sub>2</sub> em Gg de CO<sub>2</sub>- Ano de 1990

Combustíveis **	Geração Elétrica	Industrial	Transporte Rodoviário Individual	Transporte Rodoviário Coletivo e de Cargas	Residencial + Comercial	Refino de Petróleo	Transporte Aeroviário	Outros	Total
Óleo cru						105			105
Gasolina			1.287						1.287
Querosene de aviação							1.637		1.637
Gasolina de aviação							12		12
Querosene iluminante					56				56
Óleo diesel	2			1.687					1.689
Óleo combustível	215	919							1.134
GLP					454				454
Asfalto ***								0	0
Lubrificantes ***								67	67
Gás natural "seco"	0,4	522	0		11				533
Gás manufacturado		26			143				169
Álcool etílico anidro			0						0
Álcool etílico hidratado			0						0
Total grandes subsetores	217	1.467	1.287	1.687	664	105	1.649	67	7.143

\* - Desagregação feita com base no consumo de combustíveis

\*\* - Totais de combustíveis já descontado o consumo bunker

\*\*\* - Usos não energéticos

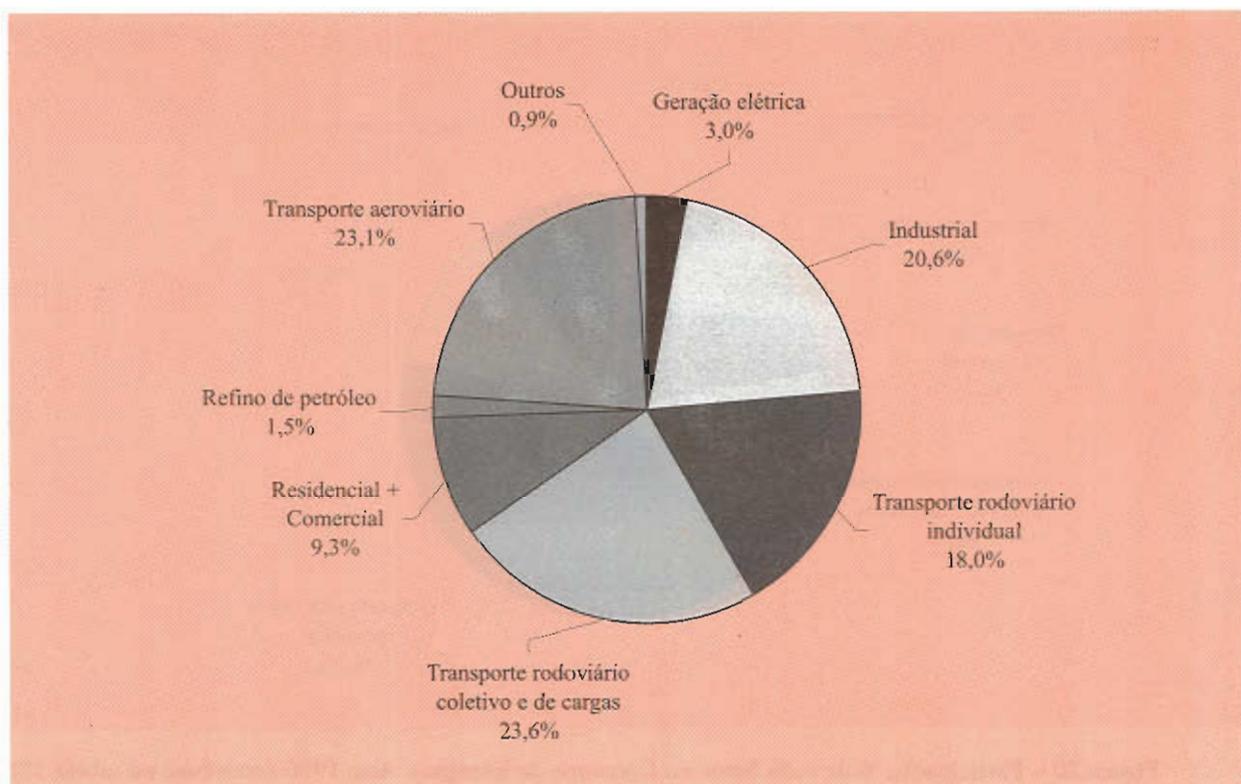


Figura 19 - Participação % de cada Setor nas Emissões de CO<sub>2</sub> - Ano 1990 (com base na tabela 36)

Tabela 37 - Desagregação\* por Setores Aproximada - Consumo de Combustíveis em TJ - Ano de 1996

Combustíveis **	Geração Elétrica	Industrial	Transporte Rodoviário Individual	Transporte Rodoviário Coletivo e de Cargas	Residencial + Comercial	Refino de Petróleo	Transporte Aeroviário	Outros	Total
Óleo cru						1443			1.443
Gasolina			29.159						29.159
Querosene de aviação							11.829		11.829
Gasolina de aviação							39		39
Querosene iluminante					164				164
Óleo diesel	65			19.336					19.401
Óleo combustível	11.154	3.598							14.752
GLP				6.624				6.624	
Asfalto ***							1.313	1.313	
Lubrificantes ***							2.010	2.010	
Gás natural "seco"	342	9.792	563		785				11.482
Gás manufacturado		60			1.555				1.615
Álcool etílico anidro			5.547						5.547
Álcool etílico hidratado			10.278						10.278
Total grandes subsetores	11.561	13.450	45.548	19.336	9.128	1.443	11.868	3.323	115.657

\* - Desagregação feita com base no consumo de combustíveis

\*\* - Totais de combustíveis já descontado o consumo bunker

\*\*\* - Usos não energéticos

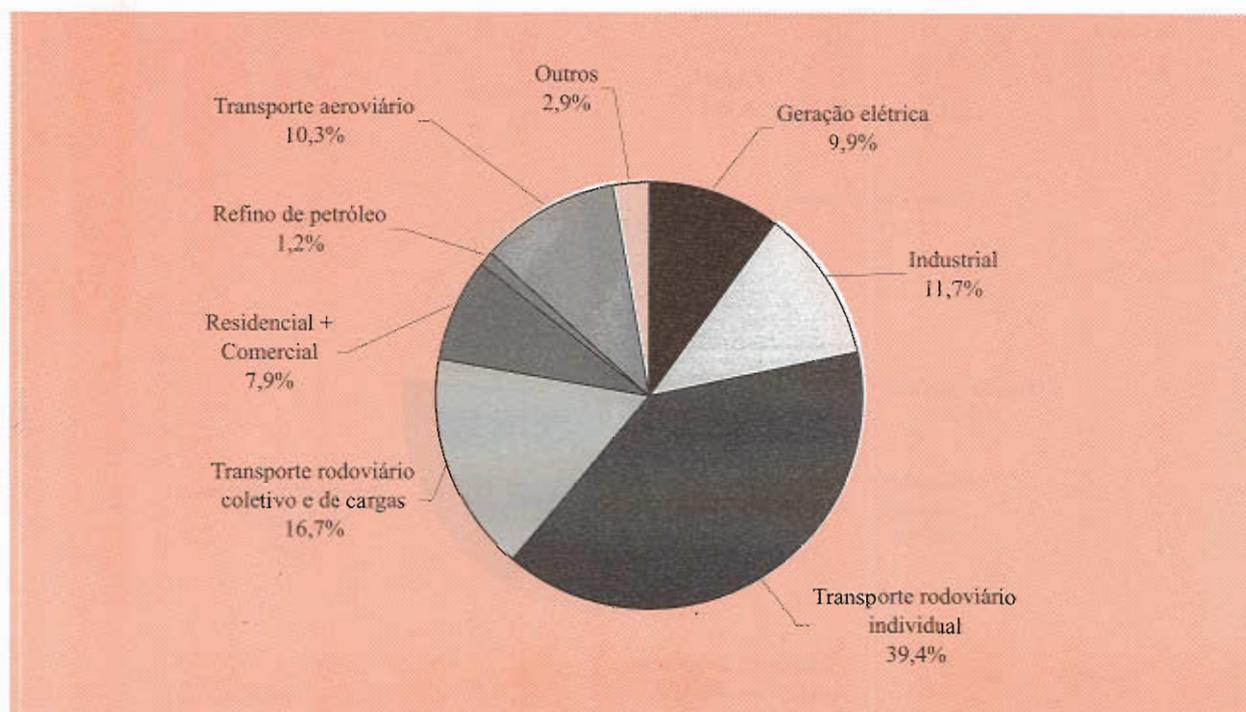


Figura 20 - Participação % de cada Setor no Consumo de Energia - Ano 1996 (com base na tabela 37)

Tabela 38 - Desagregação\* por Setores Aproximada - Emissões de CO<sub>2</sub> em Gg de CO<sub>2</sub>- Ano de 1996

Combustíveis **	Geração Elétrica	Industrial	Transporte Rodoviário Individual	Transporte Rodoviário Coletivo e de Cargas	Residencial + Comercial	Refino de Petróleo	Transporte Aeroviário	Outros	Total
Óleo cru						105			105
Gasolina			2.001						2.001
Querosene de aviação							837		837
Gasolina de aviação							3		3
Querosene iluminante					12				12
Óleo diesel	5			1.418					1.423
Óleo combustível	854	276							1.130
GLP					414				414
Asfalto ***								0	0
Lubrificantes ***								73	73
Gás natural "seco"	19	547	31		44				641
Gás manufacturado		4			115				119
Álcool etílico anidro			0						0
Álcool etílico hidratado			0						0
Total grandes subsetores	878	827	2.032	1.418	584	105	840	73	6.756

\* - Desagregação feita com base no consumo de combustíveis

\*\* - Totais de combustíveis já descontado o consumo bunker

\*\*\* - Usos não energéticos

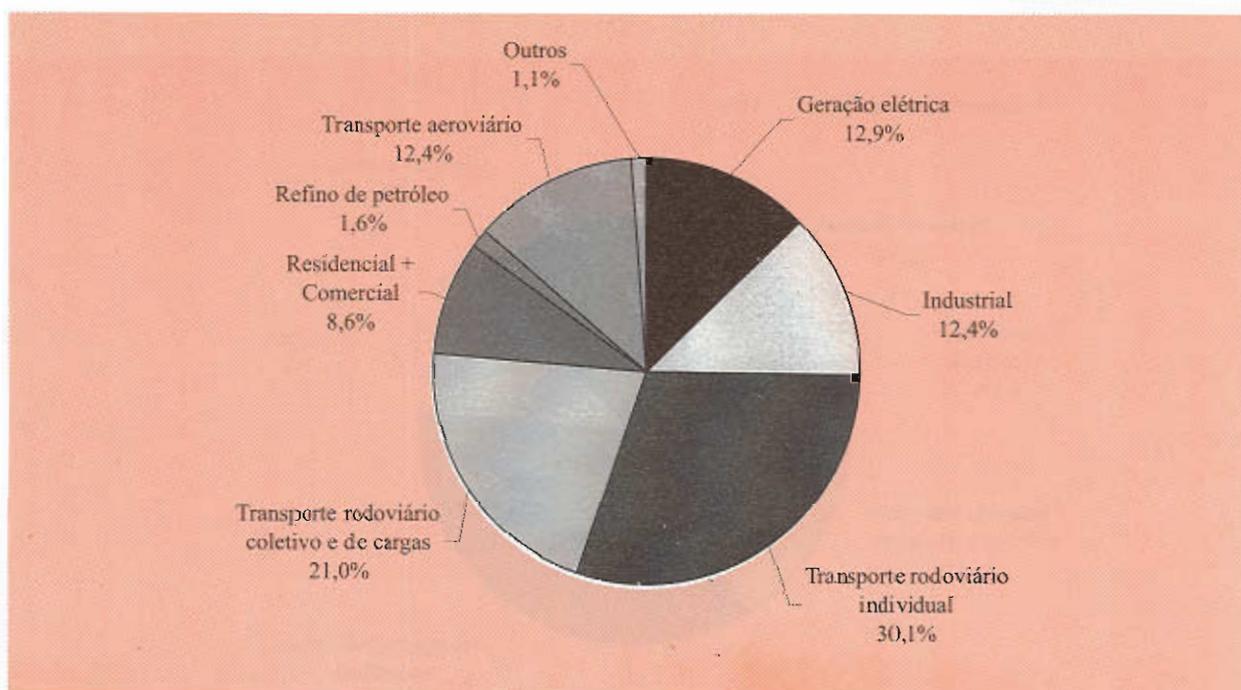


Figura 21 - Participação % de cada Setor nas Emissões de CO<sub>2</sub> - Ano 1996 (com base na tabela 38)

Tabela 39 - Desagregação\* por Setores Aproximada - Consumo de Combustíveis em TJ - Ano de 1998

Combustíveis**	Geração Elétrica	Industrial	Transporte Rodoviário Individual	Transporte Rodoviário Coletivo e de Cargas	Residencial + Comercial	Refino de Petróleo	Transporte Aeroviário	Outros	Total
Óleo cru						1475			1.475
Gasolina			27.659						27.659
Querosene de aviação							12.063		12.063
Gasolina de aviação							41		41
Querosene iluminante					41				41
Óleo diesel	91			24.479					24.570
Óleo combustível	12.399	3.229							15.628
GLP					6.757				6.757
Asfalto ***								ND	ND
Lubrificantes ***								ND	ND
Gás natural "seco"	1.790	9.736	2.037		1.044				14.607
Gás manufacturado		26			1.532				1.558
Álcool etílico anidro			5.891						5.891
Álcool etílico hidratado			5.480						5.480
Total grandes subsectores	14.280	12991	41.067	24.479	9.373	1.475	12.104	0	115.770

\* - Desagregação feita com base no consumo de combustíveis

\*\* - Totais de combustíveis já descontado o consumo bunker

\*\*\* - Usos não energéticos

ND - Não disponível

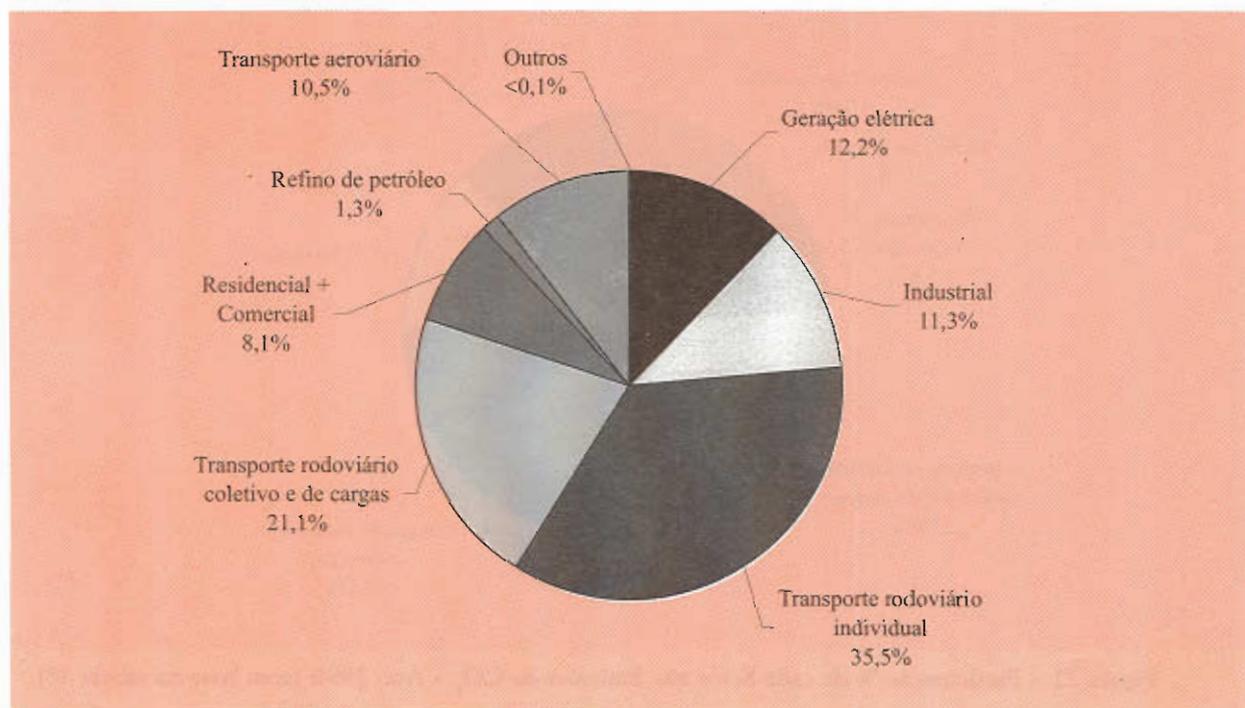


Figura 22 - Participação % de cada Setor no Consumo de Energia - Ano 1998 (com base na tabela 39)

Tabela 40 - Desagregação\* por Setores Aproximada - Emissões de CO<sub>2</sub> em Gg de CO<sub>2</sub>- Ano de 1998

Combustíveis **	Geração Elétrica	Industrial	Transporte Rodoviário Individual	Transporte Rodoviário Coletivo e de Cargas	Residencial + Comercial	Refino de Petróleo	Transporte Aeroviário	Outros	Total
Óleo cru						107			107
Gasolina			1.898						1.898
Querosene de aviação							854		854
Gasolina de aviação							3		3
Querosene iluminante					3				3
Óleo diesel	7			1.795					1.802
Óleo combustível	949	248							1.197
GLP					422				422
Asfalto ***								ND	ND
Lubrificantes ***								ND	ND
Gás natural "seco"	100	543	114		58				815
Gás manufacturado		2			113				115
Álcool etílico anidro			0						0
Álcool etílico hidratado			0						0
Total grandes subsectores	1.056	793	2.011	1.795	596	107	857	0	7.215

\* - Desagregação feita com base no consumo de combustíveis

\*\* - Totais de combustíveis já descontado o consumo bunker

\*\*\* - Usos não energéticos

ND - Não disponível

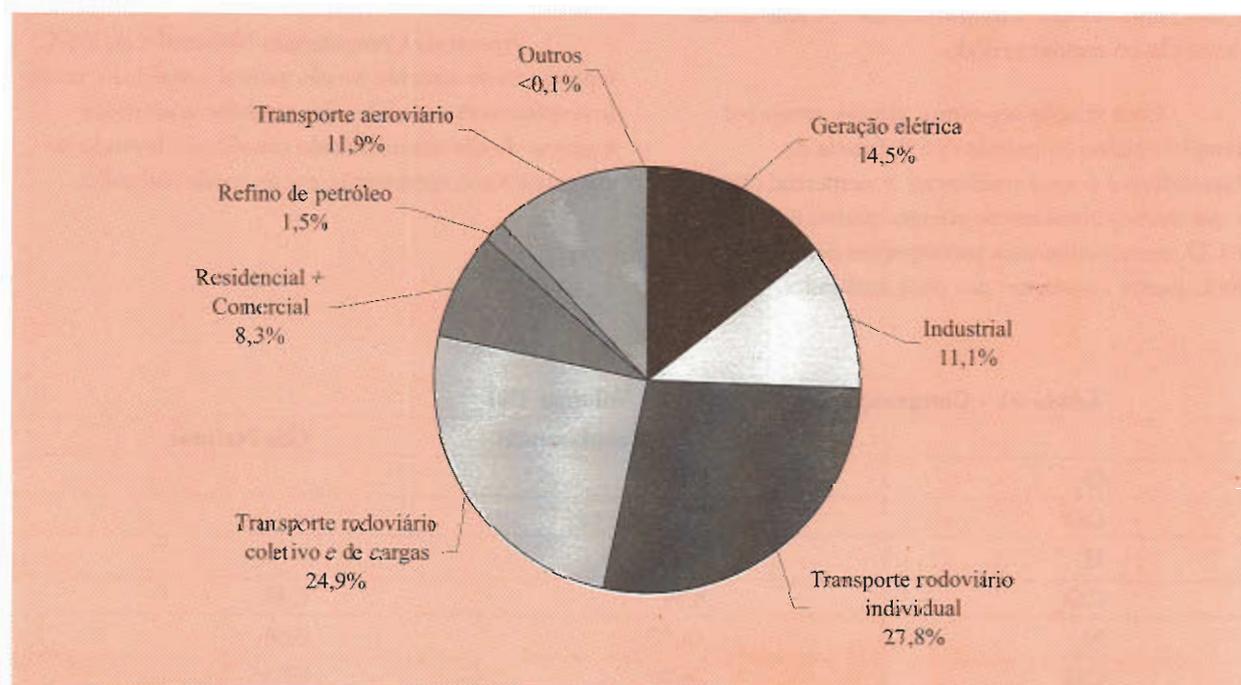


Figura 23 - Participação % de cada Setor nas emissões de CO<sub>2</sub> - Ano 1998 (com base na tabela 40)

A análise da evolução das emissões de 1990 a 1998 permite registrar algumas mudanças estruturais e oscilações na participação dos grandes setores de uso final ao longo desta década.

Em 1990, o setor de transporte rodoviário individual absorvia a maior quantidade de energia, mas graças à magnitude do uso de álcool anidro e hidratado cedia a liderança nas emissões de CO<sub>2</sub> ao setor de transporte coletivo e de cargas. Já em 1996, a redução da participação do álcool na movimentação da frota em relação à gasolina, fez com que o setor de transporte rodoviário individual liderasse tanto o consumo de combustíveis quanto as emissões de CO<sub>2</sub>. Em 1998, registra-se uma queda no consumo de gasolina e um crescimento no consumo de óleo diesel, em relação a 1996, fazendo com que as emissões de CO<sub>2</sub> do setor de transporte rodoviário coletivo e de carga voltassem a ser quase da mesma magnitude que as emissões do transporte rodoviário individual.

Deve-se também registrar o crescimento significativo das emissões de CO<sub>2</sub> devidas à geração de energia elétrica em 1996, em comparação com 1990, em razão da expansão do fator de utilização da usina de Santa Cruz. Desta forma, a geração de energia elétrica tornou-se o terceiro setor mais importante nas emissões de CO<sub>2</sub>, uma vez que a indústria registrou uma queda acentuada no mesmo período.

Com relação aos outros setores, como por exemplo o refino de petróleo na Refinaria de Manguinhos e o setor residencial + comercial observa-se que tanto o consumo de energia quanto as emissões de CO<sub>2</sub> mantiveram suas participações percentuais praticamente constantes nos anos analisados.

## 2.4 Emissões Fugitivas

As emissões fugitivas são emissões intencionais ou não de gases de atividades antropogênicas que não têm como finalidade a atividade produtiva. Um exemplo é a queima de gás natural nas tochas ("flares"<sup>22</sup>) das unidades na produção de óleo e gás que excede as necessidades técnicas.

No caso da Cidade do Rio de Janeiro a emissão fugitiva de CO<sub>2</sub> se dá na Refinaria de Manguinhos, durante o refino do petróleo. O valor correspondente a essa emissão está considerado no fator de emissão de CO<sub>2</sub> da atividade de refino, não sendo possível separá-lo do total emitido pela refinaria.

### Emissões Fugitivas de CH<sub>4</sub>

As emissões fugitivas de CH<sub>4</sub>, em particular, podem surgir da produção, transmissão, processamento e uso dos combustíveis. Incluem as emissões fugitivas no transporte de gás natural e outros combustíveis.

As emissões fugitivas de CH<sub>4</sub> referem-se ao gás canalizado, compreendendo o gás natural e o gás manufacturado. O GLP possui apenas traços de CH<sub>4</sub>, não sendo, portanto, avaliadas as suas emissões fugitivas.

Apesar da Comunicação Nacional e do IPCC reportarem-se somente ao gás natural canalizado, neste Inventário serão consideradas também as emissões fugitivas do gás manufacturado canalizado, levando-se em conta a sua composição e o seu poder calorífico.

Tabela 41 - Composição em Porcentagem Volumar (%)

	Gás Manufacturado	Gás Natural
O <sub>2</sub>	0,20	-
CO	7,05	-
H <sub>2</sub>	37,00	-
CO <sub>2</sub>	8,54	0,43
N <sub>2</sub>	18,30	0,66
CH <sub>4</sub>	26,08	87,35
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	2,19	9,72
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0,07	-
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,32	1,84

Fonte: CEG

<sup>22</sup> o "flare", ou tocha, é um dispositivo de segurança que queima gás quando ocorre algum problema durante a produção da refinaria. Essa tocha fica constantemente acesa e queimando uma certa quantidade de gás.

A CEG forneceu os dados de perdas de gás relativas à transmissão e distribuição (tabela 43). Quanto ao uso residencial/comercial e ao uso industrial/utilidades, foi adotado o valor default do IPCC, que oferece um intervalo de valores, devido à incerteza do método. Assumindo o critério da Comunicação Nacional, o valor adotado foi o correspondente ao limite superior do intervalo disponível, conforme a seguir:

Gás consumido em uso residencial/comercial  
87.000 kgCH<sub>4</sub>/PJ  
Gás consumido em uso industrial/utilidades  
175.000 kgCH<sub>4</sub>/PJ

A partir do volume do gás consumido e do seu poder calorífico respectivo, disponibilizado em calor por unidade de volume, calculam-se as emissões fugitivas do gás consumido em uso residencial/comercial e em uso industrial/utilidades, recorrendo-se aos fatores mencionados acima.

As emissões fugitivas relativas à transmissão e distribuição foram calculadas a partir dos dados de perdas fornecidos pela CEG. De posse do percentual de CH<sub>4</sub> do gás natural e do gás manufaturado (tabela 41), obtém-se o volume de perdas do CH<sub>4</sub>. A partir da massa específica do CH<sub>4</sub> para a temperatura ambiente e do volume de perdas, calcula-se a massa de CH<sub>4</sub> relativa às emissões fugitivas da transmissão e da distribuição.

As emissões fugitivas de CH<sub>4</sub> devidas ao consumo de gás na Cidade do Rio de Janeiro, para o período de 1990 a 1999, são apresentadas na tabela 42 a seguir.

Tabela 42 - Emissões Fugitivas de Metano (Gg CH<sub>4</sub>), no Período de 1990 a 1999

		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Gás Natural	Uso residencial /comercial	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05
	Uso industrial /utilidades	1,03	1,13	1,12	1,13	1,14	1,22	1,22	1,33	1,48	1,48
	Transmissão e distribuição	23,24	15,39	26,09	17,56	19,23	29,97	31,21	21,71	16,45	15,33
Gás Manufaturado	Uso residencial /comercial	0,08	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,06
	Uso industrial /utilidades	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
	Transmissão e distribuição	3,14	1,88	2,94	1,73	1,79	2,42	2,42	1,46	1,01	0,89
<b>Total</b>		<b>27,54</b>	<b>18,52</b>	<b>30,26</b>	<b>20,53</b>	<b>22,26</b>	<b>33,71</b>	<b>34,95</b>	<b>24,61</b>	<b>19,06</b>	<b>17,82</b>

Fonte: Elaboração própria

Tabela 43 - Perdas de Gás (%) na Transmissão e Distribuição

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Perdas de Gás	10,8	6,5	11,1	7,3	7,9	11,5	11,8	7,5	5,1	4,7

Fonte: CEG

As emissões fugitivas de  $\text{CH}_4$  são devidas principalmente às perdas na transmissão e distribuição de gás natural (figura 25). Ocorrem, em sua maior parte, através de pequenos vazamentos por juntas existentes nas tubulações e seus componentes. Eventualmente, ocorrem vazamentos por acidente ou por operações de manutenção ou manobra do sistema de transmissão e distribuição.

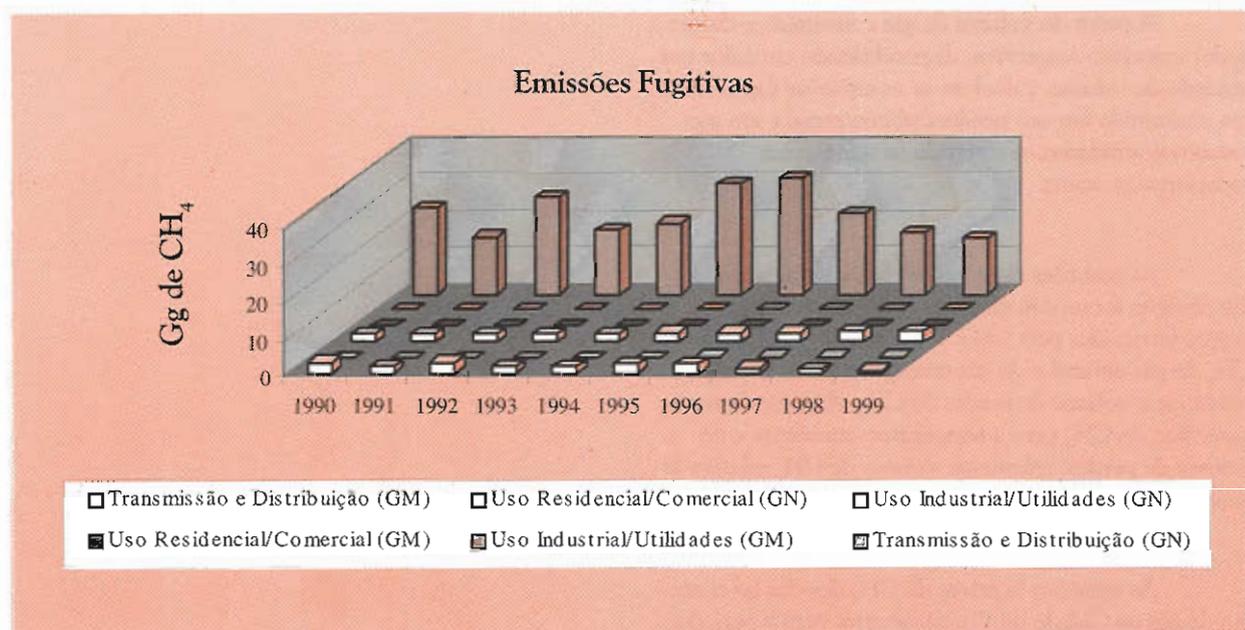


Figura 24 - Emissões Fugitivas de  $\text{CH}_4$  (Gg  $\text{CH}_4$ )

A partir de 1997, ano da privatização da CEG, as perdas de gás têm diminuído, refletindo esforços em se mitigar estes vazamentos. Foram realizados investimentos de recuperação e renovação das tubulações, além da detecção e localização de vazamentos. O gás natural tem uma maior responsabilidade nas emissões fugitivas de  $\text{CH}_4$  em relação ao gás manufacturado, devido à composição do gás natural ser basicamente de  $\text{CH}_4$ .

#### 3.1 - Considerações Gerais

A biosfera influi significativamente na composição química da atmosfera, pois emite e absorve grande variedade de gases de carbono, nitrogênio e enxofre. O uso e, conseqüentemente, a alteração da biosfera pelo ser humano em busca de alimento, combustível e fibras, ou mesmo sua remoção em busca de espaço, contribui para aumentar a concentração de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera.

O gás predominante nas questões relativas ao efeito estufa devido a alterações da biosfera é o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Outros gases como o metano ( $\text{CH}_4$ ), o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), os óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e compostos orgânicos voláteis não metano, também são produzidos por mudanças no uso do solo e atividades de manejo florestal, particularmente quando há uso do fogo.

Para a quantificação dos fluxos de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$  entre a biosfera e a atmosfera, a base metodológica do IPCC se fundamenta em dois pressupostos:

- o fluxo de  $\text{CO}_2$  é igual às alterações no estoque de carbono da fitomassa e do solo; e
- as alterações no estoque de carbono podem ser estimadas calculando-se as taxas de mudança no uso do solo e o tipo de prática econômica que levou à mudança em questão (por exemplo, queima, remoção, corte seletivo, etc.).

Segundo o próprio IPCC, as estimativas, porém, apresentam incertezas e imprecisões devidas à grande variedade de ecossistemas e de formas como o ser humano interage com cada um deles. Assim, sua metodologia se baseia em postulados simplificados a respeito dos impactos da atividade humana nos estoques de carbono e na conseqüente resposta biológica a um dado tipo de uso. A metodologia é abrangente para permitir sua ampla utilização em qualquer região e admite adaptações e ajustes quando necessários.

As principais mudanças no uso do solo relacionadas pelo IPCC que resultam em emissão ou absorção de carbono se enquadram nas seguintes categorias abaixo:

- Mudanças na Floresta e Outros Estoques de Biomassa (alterações no volume de fitomassa em culturas agrícolas, florestas plantadas e/ou cortadas e árvores urbanas) ;
- Conversão de Florestas e Campos (em culturas agrícolas permanentes);
- Abandono (Regeneração Natural) de Terras Cultivadas, Pastos ou Outras Terras Manejadas;
- Mudanças em Carbono do Solo.

No que se refere à Cidade do Rio de Janeiro, a metodologia para o cálculo das emissões foi adaptada à realidade local. Dadas as características de ocupação e uso do solo que não apresentam uso comercial de florestas naturais, tampouco plantações de florestas para fins comerciais, conversão de florestas e campos para fins agrícolas ou mesmo uma retirada de lenha que possa ser considerada significativa, os cálculos para o balanço de emissões de GEE foram realizados a partir de:

- carbono que vem sendo emitido pela remoção (ou alteração) da vegetação, resultado da dinâmica sócio-econômica de uso do solo que exerce pressão sobre as áreas de vegetação impondo mudanças na floresta e outros estoques de fitomassa;
- carbono que vem sendo emitido com a correção de acidez de solos agrícolas;
- carbono que vem sendo seqüestrado pelo Programa de Reflorestamento da Prefeitura Municipal.

Os cálculos estão apresentados nos itens a seguir.

### 3.2 - Emissões devidas à Alteração do Uso do Solo

A influência da dinâmica socio-econômica de uso do solo na dinâmica dos fluxos de carbono<sup>24</sup> foi avaliada pela variação dos estoques de cada tipo de vegetação ao longo do tempo.

Os cálculos foram realizados a partir da seguinte

fórmula:

Fórmula 3.2

C	=	ALC * DF * FCMS
C	=	Carbono Total Emitido no Ano
ALC	=	Área (ha) Líquida Convertida no Ano (remoção ou alteração de vegetação menos recuperação natural)
DF	=	Densidade de Fitomassa
FCMS	=	Fração de carbono na matéria seca

#### A) Área Líquida Convertida no Ano

A metodologia do IPCC recomenda que se assuma como default que todo o carbono da fitomassa retirada oxide no ano do inventário. Assim, as emissões referentes à área onde houve perda de cobertura vegetal foram atribuídas totalmente ao ano em que a perda se deu.

Por simplificação e por serem desprezíveis, o mesmo raciocínio foi aplicado às áreas onde houve crescimento de vegetação o que significa dizer que a taxa de acúmulo de fitomassa utilizada foi de 100% no ano do inventário.

Para se dimensionar a área líquida convertida foram utilizados os dados do "Mapeamento e Caracterização do Uso das Terras e Cobertura Vegetal no Município do Rio de Janeiro entre os anos de 1984 e 1999 SMAC 2000", desenvolvido pela classificação das cenas do satélite LANDSAT para os anos de 1984, 1988 e 1992 e pela composição LANDSAT - SPOT para os anos de 1996 e 1999.

A emissão de carbono decorrente da remoção (ou alteração) da vegetação foi calculada com base na área convertida por cada classe de cobertura vegetal, ou seja, nas variações de estoque de fitomassa decorrentes das variações na cobertura vegetal. Como os levantamentos são periódicos, para se calcular os valores anuais, foram divididos os valores do período pelo número de anos do período (média linear). A tabela 44 a seguir apresenta estas variações.

<sup>24</sup> No caso da Cidade do Rio de Janeiro, a supressão de vegetação vem ocorrendo desde a década de 70 na maior parte dos casos pela forte pressão para ocupação urbana quase imediata, principalmente nas áreas litorâneas, nas áreas centrais valorizadas e nas encostas em processo de favelização. Entretanto, para uma avaliação detalhada dessa alternância de classes de cobertura do solo, será necessário o desenvolvimento de uma análise espacial a partir dos mapas obtidos no "Mapeamento e Caracterização do Uso das Terras e Cobertura Vegetal no Município do Rio de Janeiro entre os anos de 1984 e 1999 SMAC 2000". Os dados apurados poderão subsidiar o cálculo de taxas de variação das classes de cobertura do solo e indicar a tendência destas alterações.

Tabela 44 - Variações Anuais de Cobertura Vegetal na Cidade do Rio de Janeiro

Tipo de Vegetação <sup>25</sup>	Período 1984/88 (média anual) ha/ano	Período 1988/92 (média anual) ha/ano	Período 1992/96 (média anual) ha/ano	Período 1996/99 (média anual) ha/ano
Floresta do Maciço da Tijuca	-8,31	-91,52	-103,41	-154,66
Floresta do Maciço do Gericinó-Mendanha	-8,17	-18,05	-27,16	-59,63
Floresta do Maciço da Pedra Branca	-274,70	-60,52	-439,20	-490,19
Mangue	-6,32	-1,05	-1,69	-3,64
Apicum	4,18	-5,38	0,44	-4,41
Restinga	-42,22	-33,70	-0,73	-8,45
Área úmida com vegetação	-86,52	-97,63	-122,25	84,73
Campo antrópico	-165,80	96,44	-122,06	-44,87
Cultura e pastagem	-158,70	6,13	-21,90	28,20
Floresta alterada <sup>26</sup>	222,75	-137,86	196,76	16,13
Vegetação em parques públicos	0	0	0	0

Fonte: "Mapeamento e Caracterização do Uso das Terras e Cobertura Vegetal na Cidade do Rio de Janeiro entre os anos de 1984 e 1999 SMAC 2000".

#### B) Densidade de Fitomassa

A densidade de fitomassa (expressa em t de matéria seca/ha) por tipo de vegetação é um valor que ainda carece de estudos científicos para a região. Apenas um estudo para uma pequena porção da Floresta da Tijuca foi identificado, no qual Clevelário et al (1999) <sup>27</sup> contabilizaram 355 toneladas de matéria seca de fitomassa aérea por hectare <sup>28</sup>.

Assim, considerando a falta de informações precisas e atualizadas para as florestas da Cidade do Rio de Janeiro, utilizaram-se dados do estudo de Clevelário et al. e de outros realizados em áreas similares. Para os demais tipos de vegetação, as estimativas foram baseadas apenas nas fitofisionomias. Por essa razão, um ajuste das estimativas pressupõe a realização de inventários e/ou estudos fitosociológicos em todas as tipologias consideradas.

Quando o dado original está expresso em volume, para converter os valores volumétricos dos estudos existentes para fitomassa acima do solo <sup>29</sup> foi utilizado um fator default do IPCC<sup>30</sup> de 0,5 t de matéria seca por m<sup>3</sup>. No caso de florestas nativas (inclusive mangue), aplicou-se, também, o fator 2,0 default do IPCC de expansão para incluir a fitomassa (galhos, pequenas árvores, etc.) que se perde além da porção de madeira. A combinação destes dois fatores resulta em paridade entre volume e massa.

<sup>25</sup> A caracterização das classes de cobertura vegetal está apresentada na Tabela 45

<sup>26</sup> Da categoria "floresta alterada" foram deduzidas as áreas correspondentes aos reflorestamentos da prefeitura que são tratadas como "pontos" nos mapas de uso do solo. Tal procedimento objetiva evitar dupla contagem, considerando que o seqüestro de carbono proveniente destes reflorestamentos está computado no item 3.4

<sup>27</sup> Clevelário Jr. et al, Variations in the Mass of Some Components of a Tropical Rainforest in a Small Watershed', Estudo do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, MG - BR (1999).

<sup>28</sup> O local do estudo é coberto por floresta tropical úmida secundária pré-montana (400-1000 m), com idade entre 120 a 150 anos.

<sup>29</sup> De acordo com o Manual do IPCC as estimativas de fitomassa subterrânea serão objeto de trabalhos futuros

<sup>30</sup> Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook

Nos demais tipos de vegetação (inclusive floresta alterada), utilizou-se apenas o fator de conversão para massa de 0,5 t ms por m<sup>3</sup>, anteriormente mencionado.

A fitomassa das florestas e demais tipos de vegetação da Cidade do Rio de Janeiro foi então calculada, conforme a seguir:

#### **B.1) Floresta do Maciço da Tijuca (Floresta ombrófila densa - Mata Atlântica)**

Ambiente florestal em avançado estágio de regeneração natural, onde a maioria das árvores não possuem fustes muito desenvolvidos, apesar das mesmas apresentarem altura compatível com a de espécies florestais que já atingiram o estágio clímax.

Neste maciço foi adotada uma média aritmética entre os valores encontrados por Clevelário et al. (1999) de 355 t ms/ha e os dados de uma mata nativa em estágio médio de regeneração, que reveste um trecho das encostas da Serra dos Órgãos, de 151 t ms/ha. Estes últimos constam de um estudo realizado sob os auspícios de Furnas Centrais Elétricas, no município de Magé<sup>31</sup>, na parte sul da Área de Proteção Ambiental de Petrópolis e foram considerados devido à similaridade entre alguns trechos das matas do referido maciço e as que revestem as encostas da Serra dos Órgãos. Os valores foram assim calculados:

$$\text{Fitomassa} = (355 \text{ t ms/ha} + 151 \text{ t ms/ha}) / 2 = 253 \text{ t ms/ha}$$

#### **B.2) Floresta do Maciço do Gericinó Mendanha (Floresta ombrófila densa - Mata Atlântica)**

Área do município cujas matas estão em excelente estado de conservação, principalmente acima da cota 200 m. Tal fato motivou a adoção do maior valor volumétrico obtido no Inventário Florestal Nacional, (volume: matas nativas) elaborado, em 1984, pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), em parceria com o antigo Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF) e o Ministério da Agricultura<sup>32</sup> e que corresponde a 185 t ms/ha, bem como os valores encontrados por Clevelário et al (1999) de 355 t ms/ha

na Floresta da Tijuca. Os valores foram estimados conforme a seguir:

$$\text{Fitomassa} = (185 \text{ t ms/ha} + 355 \text{ t ms/ha}) / 2 = 270 \text{ t ms/ha}$$

#### **B.3) Floresta do Maciço da Pedra Branca (Floresta ombrófila densa - Mata Atlântica)**

Região com predominância de matas secundárias em estágio médio de regeneração, só possuindo florestas bem preservadas nas regiões de difícil acesso da vertente de Jacarepaguá, voltada para a Barra da Tijuca e Recreio dos Bandeirantes. Para o Maciço da Pedra Branca foi adotado o maior valor volumétrico obtido no Inventário Florestal Nacional anteriormente mencionado, de 185 m<sup>3</sup>/ha ou 185 toneladas matéria seca/ha.

#### **B.4) Mangue (vegetação halófila de porte arbustivo-arbóreo, em diferentes estados de conservação)**

Neste caso, realizou-se um cálculo volumétrico a partir dos dados de um estudo realizado por Araújo e Maciel (1979)<sup>33</sup> de 37 árvores do manguezal da foz do rio Guaxindiba, município de Itaboraí. O resultado encontrado foi de 56,4 toneladas de matéria seca/ha.

#### **B.5) Vegetação de Restinga**

Por falta de inventários fitossociológicos específicos, os dados utilizados foram inferidos de levantamentos feitos em outras tipologias vegetais brasileiras, que fisionomicamente se assemelham a este tipo de vegetação. Desta forma, recorreu-se a alguns estudos feitos em áreas degradadas da caatinga e das savanas<sup>34</sup>, destacando-se o fato de ser comum nas restingas a presença de manchas de vegetação arbustivo-arbórea ("ilhas de árvores e arbustos") cercadas de pequenas clareiras e/ou de vegetação herbácea espinhosa (cactus, bromélias, pequenas palmeiras e outras). Estima-se, assim, um volume de material lenhoso de 38 m<sup>3</sup>/ha, correspondente a 19 toneladas de matéria seca/ha.

<sup>31</sup> Estudo de Impacto Ambiental em fase de conclusão.

<sup>32</sup> Amorim, H. B., Inventário das Florestas Nativas dos Estados do Rio de Janeiro e do Espírito Santo, Brasília, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1984), 204 p. ilust..

<sup>33</sup> Araújo, D. S e Crude Maciel, N, Os Manguezais do Recôncavo da Baía de Guanabara, Cadernos FEEMA, Série Técnica 10/79.

<sup>34</sup> Diagnóstico Ambiental feito recentemente por solicitação da Comp. Des. do Vale do São Francisco (CODEVASF), a ser publicado.

## B.6) Área Úmida Com Vegetação

Para estimar a quantidade de matéria seca por hectare desta tipologia, tomaram-se como referência os valores aplicados aos trechos gramíneos dos campos antrópicos. Isto porque as áreas úmidas da baixada de Jacarepaguá e demais localidades da Zona Oeste são compostas, majoritariamente, por uma espécie da família das ciperáceas ( em torno de 75 %) cujo conjunto de plantas que apresenta um aspecto fisionômico muito semelhante a um campo coberto por grandes tufos de gramíneas. Portanto, diante da falta de dados bibliográficos, utilizou-se um valor médio (média ponderada) entre os dados de 14,3 t ms/ha referentes ao capim colônião obtidos de um estudo da Confederação Nacional de Produtores de Gado de Corte (CNPGC)<sup>35</sup> e 2 t ms/ha de arbustos (estimada por Aquino<sup>36</sup>). O valor utilizado é de 11,2 toneladas de matéria seca/ha.

$$\text{Fitomassa} = (14,3 \text{ t ms/ha} \times 0,75) + (2 \times 0,25) = 11,2$$

## B.7) Campo Antrópico

Considerando que, por definição, esse ambiente é constituído, principalmente, por capim colônião (em torno de 70%), embora apresente também árvores dispersas e arbustos, foram utilizados dois critérios básicos para o cálculo da volumetria: a fitomassa foliar do capim colônião (*Panicum maximum*) de 14,3 t ms/ha e a fitomassa lenhosa dispersa de 30 m<sup>3</sup>/ha, correspondente a 15 t ms/ha. Para a avaliação do colônião utilizou-se dados de pesquisas feitas pelo CNPGC (anteriormente mencionada), enquanto a estimativa da parte arbórea baseou-se na volumetria normalmente verificada em áreas florestais muito degradadas. O resultado encontrado foi de 14,5 toneladas de matéria seca/ha.

$$\text{Fitomassa} = (14,3 \text{ t ms/ha} \times 0,70) + (15 \text{ t ms/ha} \times 0,30) = 14,5$$

## B.8) Cultura e Pastagem

Neste caso, pelo fato do mapeamento da cobertura vegetal não separar o plantio agrícola da atividade pecuária, considerou-se, para efeito de cálculo, uma taxa de ocupação do solo de 100% constituída de plantas herbáceas (gramíneas, hortaliças, feijão etc.), que apresenta para um campo coberto por gramíneas, uma estimativa média de 14,3 t de matéria seca por hectare/ano, obtido do GNPGC.

## B.9) Floresta Alterada

Tal como explicita o próprio nome da tipologia, trata-se de um remanescente florestal que sofreu, ao longo do tempo, profundas modificações antrópicas. Alguns trechos, como os que ocorrem nas vertentes norte do Maciço da Pedra Branca, são resultado de um demorado processo de regeneração natural, uma vez que, no início do século, essa região era ocupada por muitas fazendas de produção agropecuária, onde se destacava o cultivo do café.

Por seu turno, na vertente sul, parte da floresta foi sendo substituída paulatinamente, e de modo descontínuo, por plantações de banana, gerando um mosaico de ambientes agro-florestais de difícil caracterização volumétrica. Em função do exposto, adotou-se o valor apresentado pelo Inventário Florestal Nacional (pg.150) de 119 m<sup>3</sup>/ha, que corresponde 60 toneladas de matéria seca/ha, referente à média volumétrica para toda cobertura florestal do Estado do Rio de Janeiro, onde não foram obtidos dados de campo.

<sup>35</sup> In Anais do 12º Simpósio de Pastagens. Tema: O Capim Colônião – Publicado pela Fundação dos Estudos Agrários Luiz de Queirós (FEALQ/UNESP)

<sup>36</sup> Luiz Carlos Servulo de Aquino, Engº Florestal, ex diretor técnico do Instituto Estadual de Florestas (IEF) estimou este valor com base em conhecimento sobre a região.

A tabela 45 abaixo apresenta uma síntese dos valores de fitomassa utilizados para as diferentes classes de cobertura vegetal da Cidade do Rio de Janeiro.

Tabela 45 - Densidade de Fitomassa por Tipo de Vegetação

Tipologias Vegetais	Composição Aproximada	Percentual	Massa Não-Lenhosa Verde (t/ha)	Não-Lenhosa Seca (t/ha)	Material Lenhoso m <sup>3</sup> /ha	Fitomassa Lenhosa, Acima do Solo (t ms/ha)	Fitomassa Total, Acima do Solo (t ms/ha)
Tijuca (F) <sup>1</sup>	-	-	-	-	253,0	253,0	253,0
Gericinó (F) <sup>1</sup>	-	-	-	-	270,0	270,0	270,0
Pedra Branca (F) <sup>1</sup>	-	-	-	-	185,0	185,0	185,0
Mangue <sup>1</sup>	-	-	-	-	56,4	56,4	56,4
Apicum <sup>3</sup>	-	-	-	-	0,0	0,0	0,0
Restinga <sup>2</sup>	-	-	-	-	38,0	19,0	19,0
Área úmida com vegetação	Ciperáceas*	75%	84,0	14,3	0,0	0,0	
	Arbustos <sup>2</sup>	25%	-	-	4,0	2,0	11,2
Campo antrópico	C. Colônião**	70%	84,0	14,3	0,0	0,0	
	Mat. Lenhoso <sup>2</sup>	30%			30,0	15,0	14,5
Cultura e pastagem	Gramíneas**		84,0	14,3	0,0	0,0	14,3
Floresta alterada <sup>2</sup>	-	-	-	-	119,0	60,0	60,0

FONTE: Elaboração própria

\* Valor estimado a partir dos dados relativos ao capim colônião

\*\* CNPGC

1 - fator de conversão de m<sup>3</sup> para matéria seca = 1 (inclui galhos e folhas)

2 - fator de conversão de m<sup>3</sup> para matéria seca = 0,5

3 - Inclui áreas de mangue não cobertas por vegetação com substrato lodoso típico dos ecossistemas de manguezal.

Ressalte-se que mesmo os valores obtidos em estudos de campo para fitomassa variam muito e que, portanto, geram informações não muito precisas. Alguns estudos, por exemplo, revelam que a variação de estoque de fitomassa é muito grande mesmo dentro um único ecossistema. Laurance, Fearnside et al (1999)<sup>37</sup> estimam que apenas numa área de 1000 km<sup>2</sup> na Amazônia a quantidade de fitomassa aérea viva varie de 231 a 492 t ms/ha. Martinelli, Moreira et al (1994)<sup>38</sup> relacionam seis inventários na Região Amazônica cujos valores variam de 162 a 320 t ms/ha.

### C) Fração de Carbono

No que se refere à fração de carbono na matéria seca, utilizou-se a fração 0,5, valor default do IPCC.

### Emissões por Alteração do Uso do Solo

Os resultados dos cálculos indicam que no período 1985/1999, houve emissões totais (acumuladas nos 15 anos) no montante de 626 kt de C equivalentes a 2.296 Gg de CO<sub>2</sub>, conforme a tabela 46, a seguir.

<sup>37</sup> Laurance, W., Fearnside, P. et al., Relationship Between Soils and Amazon Forest Biomass: a land-scape study in Forest Ecology and Management 118 (1999) 127 - 138.

<sup>38</sup> Martinelli, Moreira et al, Incertezas Associadas às Estimativas de Biomassa em Florestas Tropicais: o exemplo de uma floresta situada no estado de Rondônia, in Anais do Seminário Emissão X Seqüestro de CO<sub>2</sub> - Cia. Vale do Rio Doce (1994).

Tabela 46 - Emissões de Carbono (e CO<sub>2</sub> equivalente) por Remoção (ou alteração) da Cobertura Vegetal

Ano	Tijuca (F)		Gericinó (F)		Pedra Branca (F)		Mangue		Restinga		Área Úmida com Vegetação		Campo Atrópico		Cultura e Pastagem		Floresta Alterada	
	Kt C	Gg CO <sub>2</sub>	Kt C	Gg CO <sub>2</sub>	Kt C	Gg CO <sub>2</sub>	Kt C	Gg CO <sub>2</sub>	Kt C	Gg CO <sub>2</sub>	Kt C	Gg CO <sub>2</sub>	Kt C	Gg CO <sub>2</sub>	Kt C	Gg CO <sub>2</sub>	Kt C	Gg CO <sub>2</sub>
1985	1,1	3,9	1,1	4,0	25,4	93,2	0,2	0,7	0,4	1,5	0,5	1,8	1,2	4,4	2,1	7,6	-6,7	-24,5
1986	1,1	3,9	1,1	4,0	25,4	93,2	0,2	0,7	0,4	1,5	0,5	1,8	1,2	4,4	2,1	7,6	-6,7	-24,5
1987	1,1	3,9	1,1	4,0	25,4	93,2	0,2	0,7	0,4	1,5	0,5	1,8	1,2	4,4	2,1	7,6	-6,7	-24,5
1988	1,1	3,9	1,1	4,0	25,4	93,2	0,2	0,7	0,4	1,5	0,5	1,8	1,2	4,4	2,1	7,6	-6,7	-24,5
1989	11,6	42,4	2,4	8,9	5,6	20,5	0,0	0,1	0,3	1,2	0,5	2,0	-0,7	-2,6	-0,1	-0,3	4,1	15,2
1990	11,6	42,4	2,4	8,9	5,6	20,5	0,0	0,1	0,3	1,2	0,5	2,0	-0,7	-2,6	-0,1	-0,3	4,1	15,2
1991	11,6	42,4	2,4	8,9	5,6	20,5	0,0	0,1	0,3	1,2	0,5	2,0	-0,7	-2,6	-0,1	-0,3	4,1	15,2
1992	11,6	42,4	2,4	8,9	5,6	20,5	0,0	0,1	0,3	1,2	0,5	2,0	-0,7	-2,6	-0,1	-0,3	4,1	15,2
1993	13,1	48,0	3,7	13,4	40,6	149,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,7	2,5	0,9	3,2	0,3	1,0	-5,9	-21,6
1994	13,1	48,0	3,7	13,4	40,6	149,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,7	2,5	0,9	3,2	0,3	1,0	-5,9	-21,6
1995	13,1	48,0	3,7	13,4	40,6	149,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,7	2,5	0,9	3,2	0,3	1,0	-5,9	-21,6
1996	13,1	48,0	3,7	13,4	40,6	149,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,7	2,5	0,9	3,2	0,3	1,0	-5,9	-21,6
1997	19,6	71,7	8,0	29,5	45,3	166,3	0,1	0,4	0,1	0,3	-0,5	-1,7	0,3	1,2	-0,4	-1,3	-0,5	-1,8
1998	19,6	71,7	8,0	29,5	45,3	166,3	0,1	0,4	0,1	0,3	-0,5	-1,7	0,3	1,2	-0,4	-1,3	-0,5	-1,8
1999	19,6	71,7	8,0	29,5	45,3	166,3	0,1	0,4	0,1	0,3	-0,5	-1,7	0,3	1,2	-0,4	-1,3	-0,5	-1,8

Fonte: Elaboração própria

### 3.3 - Emissões por Queima de Vegetação

É importante destacar a ocorrência de inúmeros focos de incêndio em vegetação que ocorrem todos os anos na Cidade do Rio de Janeiro e que emitem CH<sub>4</sub> como gás traço. O Corpo de Bombeiros Militar do Estado contabilizou em 1999 a ocorrência de 2.526 destes focos. No Relatório Técnico, FAPERJ, março de 1999 "A Ecologia do Fogo na Floresta da Tijuca", a Prof. Dalva da Silva Matos relata a ocorrência de uma média de 3 a 4 pequenos incêndios por mês somente na Floresta da Tijuca.

No entanto, a ausência de informações detalhadas sobre estes pequenos incêndios florestais, que ocorrem com muita frequência e que são combatidos rotineiramente pelo Grupamento Florestal e Meio Ambiente do Corpo de Bombeiros Militar, não permite que se faça uma estimativa das emissões de metano com alguma confiabilidade. Assim, estas emissões não puderam ser consideradas pela dificuldade em quantificar as áreas queimadas e em obter informações sobre o tipo de vegetação (e estágios sucessionais) em que o fogo ocorreu.

Para se avaliar a importância relativa do metano como gás traço e, portanto, decidir sobre a introdução de novos parâmetros nos registros de

ocorrência de fogo do Corpo de Bombeiros que permitam estimar emissões futuras, pode-se simular o volume das emissões provenientes de uma hipótese não verificável, qual seja, a de que toda a vegetação removida nos últimos 15 anos (período deste inventário), tenha sido queimada.

Para tanto, os cálculos se efetuam conforme a seguir:

#### Fórmula 3.2.1

CH <sub>4</sub>	=	FP x FFQ x FO x FC x RE x RC
FP	=	fitomassa perdida (em quantidade de matéria seca)
FFQ	=	fração de fitomassa queimada ( default = 0,5) <sup>39</sup>
FO	=	fração de fitomassa oxidada (default = 0,9)
FC	=	fração de carbono (default = 0,5)
RE	=	razão de emissão de metano como gás traço (0,012)
RC	=	razão de conversão (16/12)

Considerando que a quantidade de matéria seca perdida foi de 1.252,48 kt, as emissões seriam incrementadas em 4,5 Gg de CH<sub>4</sub> em um período de 15 anos, ou em 0,3 Gg de CH<sub>4</sub> ao ano. Estes valores, no entanto, não foram incluídos no inventário e servem apenas de parâmetro para decisões sobre a conveniência de evidarem-se esforços na coleta de dados para a realização de estimativas futuras.

<sup>39</sup> A emissão de metano como gás traço é calculada com base na fitomassa que queima. De acordo com a metodologia do IPCC, na ocorrência de fogo, 50% da fitomassa queimam imediatamente e os restantes 50% decaem em dez anos.

### 3.4 - Emissões por de Correção de Acidez de Solos Agrícolas

Na atividade agrícola, a melhoria da acidez dos solos é feita utilizando-se alguns compostos que contém calcário ( $\text{CaCO}_3$ ) e dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ). De acordo com o IPCC, a taxa de liberação de carbono decorrente do uso destes corretivos varia de acordo com as condições do solo e a combinação dos compostos. A metodologia do IPCC assume que a taxa anual de adição dos corretivos de solo é constante, conforme a fórmula a seguir.

#### Fórmula 3.3

C	=	AC * QC* FCC
C	=	Carbono Total Anual
AC	=	Área Cultivada
QC	=	Quantidade de Corretivo de Solo
FCC	=	Fator de Conversão de Carbono

#### A) Área Cultivada

A Pesquisa Agropecuária Municipal (PAM/IBGE) apresenta a área plantada do município nos anos de 1990 a 1997. Para os anos compreendidos nos períodos 1985/1989 e 1998/1999, entretanto, estes dados não estão disponíveis. Para estimá-los, verificou-se a proporção de área plantada dos dados da PAM em relação a área agrícola total dos dados dos Mapas de Uso do Solo que incluem as áreas destinadas à pecuária do ano de 1990 e mantida esta proporção para o período anterior. O mesmo procedimento foi adotado para os anos de 1998 e 1999, estimados a partir da proporção de cultivo em relação à área agrícola total do ano de 1997.

#### B) Quantidade de Corretivo de Solo

Para se estimar a quantidade de corretivo de solo utilizada pela agricultura no município, utilizou-se a quantidade média recomendada pela Empresa de Extensão Rural do Estado do Rio de Janeiro – EMATER que é de 2 toneladas por hectare por ano nas áreas cultivadas, na proporção de 66% para dolomita e 33% para calcário.<sup>40</sup> Os fatores de conversão de carbono são de 0,122 para dolomita e 0,12 para calcário e são valores default do IPCC.

#### C) Fator de Conversão de Carbono

O fatores default de conversão de carbono são 12% de carbono no calcário e 12,2% de carbono na dolomita, conforme o IPCC.

#### Emissões por Correção de Solos Agrícolas

Os resultados dos cálculos indicam emissões de carbono por uso de corretivos no solo na quantidade de 11 Gg C, equivalentes a 41 Gg de  $\text{CO}_2$  no período 1985/1999, conforme a tabela 47 a seguir.

<sup>40</sup> De acordo com o Engº Agrônomo Benito Gonzaga Igreja Junior, Diretor Técnico da EMATER. Segundo o Engenheiro, estes são os valores aproximados pois, na prática de campo, retiram-se amostras de solo para fazer a prescrição adequada a cada área cultivada.

Tabela 47 - Emissões de Carbono de Correção de Acidez de Solos Agrícolas

Ano	Área de Cultura e Pastagem	Área Cultivada	Tipo de Adubo	Quantidade de Adubo ****	Quantidade Total de Adubo	Fator de Conversão de Carbono	Emissões de Carbono por Adubação	Emissão total de C	Conversão para CO <sub>2</sub>
	ha	ha		(Mg/ha)	Mg	(default)	(Mg C)	(Gg)	(Gg/Ano)
1984*	5618,49	4438,61	Calcário	0,67	2960,55	0,12	355,27	0,36	1,30
			Dolomita	1,33	5916,66	0,122	721,83	0,72	2,65
			<b>Total</b>				<b>1077,10</b>	<b>1,08</b>	<b>3,95</b>
1985*	5301,10	4187,87	Calcário	0,67	2793,31	0,12	335,20	0,34	1,23
			Dolomita	1,33	5582,42	0,122	681,06	0,68	2,50
			<b>Total</b>				<b>1016,25</b>	<b>1,02</b>	<b>3,73</b>
1986*	5301,10	4187,87	Calcário	0,67	2793,31	0,12	335,20	0,34	1,23
			Dolomita	1,33	5582,42	0,122	681,06	0,68	2,50
			<b>Total</b>				<b>1016,25</b>	<b>1,02</b>	<b>3,73</b>
1987*	5301,10	4187,87	Calcário	0,67	2793,31	0,12	335,20	0,34	1,23
			Dolomita	1,33	5582,42	0,122	681,06	0,68	2,50
			<b>Total</b>				<b>1016,25</b>	<b>1,02</b>	<b>3,73</b>
1988*	4983,70	3937,12	Calcário	0,67	2626,06	0,12	315,13	0,32	1,16
			Dolomita	1,33	5248,19	0,122	640,28	0,64	2,35
			<b>Total</b>				<b>955,41</b>	<b>0,96</b>	<b>3,50</b>
1989*	4995,34	3946,32	Calcário	0,67	2632,19	0,12	315,86	0,32	1,16
			Dolomita	1,33	5260,44	0,122	641,77	0,64	2,35
			<b>Total</b>				<b>957,64</b>	<b>0,96</b>	<b>3,51</b>
1990**	4995,34	3989,00	Calcário	0,67	2660,66	0,12	319,28	0,32	1,17
			Dolomita	1,33	5317,34	0,122	648,72	0,65	2,38
			<b>Total</b>				<b>967,99</b>	<b>0,97</b>	<b>3,55</b>
1991**	4995,34	3728,00	Calcário	0,67	2486,58	0,12	298,39	0,30	1,09
			Dolomita	1,33	4969,42	0,122	606,27	0,61	2,22
			<b>Total</b>				<b>904,66</b>	<b>0,90</b>	<b>3,32</b>
1992**	5006,97	2060,00	Calcário	0,67	1374,02	0,12	164,88	0,16	0,60
			Dolomita	1,33	2745,98	0,122	335,01	0,34	1,23
			<b>Total</b>				<b>499,89</b>	<b>0,50</b>	<b>1,83</b>
1993**	4948,57	1844,00	Calcário	0,67	1229,95	0,12	147,59	0,15	0,54
			Dolomita	1,33	2458,05	0,122	299,88	0,30	1,10
			<b>Total</b>				<b>447,48</b>	<b>0,45</b>	<b>1,64</b>
1994**	4948,57	2050,00	Calcário	0,67	1367,35	0,12	164,08	0,16	0,60
			Dolomita	1,33	2732,65	0,122	333,38	0,33	1,22
			<b>Total</b>				<b>497,47</b>	<b>0,50</b>	<b>1,82</b>

Tabela 47 - Emissões de Carbono de Correção de Acidez de Solos Agrícolas

Ano	Área de Cultura e Pastagem	Área Cultivada	Tipo de Adubo	Quantidade de Adubo ****	Quantidade Total de Adubo	Fator de Conversão de Carbono	Emissões de Carbono por Adubação	Emissão total de C	Conversão para CO2
	ha	ha		(Mg/ha)	Mg	(default)	(Mg C)	(Gg)	(Gg/Ano)
1995**	4948,57	2363,00	Calcário	0,67	1576,12	0,12	189,13	0,19	0,69
			Dolomita	1,33	3149,88	0,122	384,29	0,38	1,41
			<b>Total</b>				<b>573,42</b>	<b>0,57</b>	<b>2,10</b>
1996**	4890,16	2335,00	Calcário	0,67	1557,45	0,12	186,89	0,19	0,69
			Dolomita	1,33	3112,56	0,122	379,73	0,38	1,39
			<b>Total</b>				<b>566,63</b>	<b>0,57</b>	<b>2,08</b>
1997**	4947,93	2333,00	Calcário	0,67	1556,11	0,12	186,73	0,19	0,68
			Dolomita	1,33	3109,89	0,122	379,41	0,38	1,39
			<b>Total</b>				<b>566,14</b>	<b>0,57</b>	<b>2,08</b>
1998***	4947,93	2325,53	Calcário	0,67	1551,13	0,12	186,14	0,19	0,68
			Dolomita	1,33	3099,93	0,122	378,19	0,38	1,39
			<b>Total</b>				<b>564,33</b>	<b>0,56</b>	<b>2,07</b>
1999***	5005,70	2332,95	Calcário	0,67	1556,08	0,12	186,73	0,19	0,68
			Dolomita	1,33	3109,82	0,122	379,40	0,38	1,39
			<b>Total</b>				<b>566,13</b>	<b>0,57</b>	<b>2,08</b>

Fonte: Elaboração própria

\* estimativa calculada com base na PAM/IBGE de 1990

\*\* dados da PAM/IBGE

\*\*\* estimativa calculada com base na PAM/IBGE de 1997

\*\*\*\* recomendação técnica média da EMATER para os solos da região

### 3.5 - Carbono Seqüestrado pelo Crescimento de Floresta Plantada

O Programa de Reflorestamento da Prefeitura Municipal é a mais importante fonte de absorção de carbono por vegetação na Cidade do Rio de Janeiro<sup>41</sup>, pois as árvores plantadas acumulam carbono durante sua fase de crescimento. O cálculo da quantidade de carbono seqüestrado anualmente por este Programa foi realizado a partir da seguinte fórmula:

#### Fórmula 3.4

C	=	(AP + APAA) * TAC * FCMS
C	=	Carbono Total Seqüestrado no Ano
AP	=	Área Plantada no Ano (ha)
APAA	=	Área Plantada em Anos Anteriores
TAC	=	Taxa Anual de Crescimento
FCMS	=	Fração de carbono na matéria seca

#### A) Área Plantada

A Prefeitura Municipal, por intermédio do Programa de Reflorestamento Comunitário da Secretaria de Meio Ambiente (SMAC), vem recompondo áreas do município desde 1987, com o propósito de ajudar a reconstituir a Mata Atlântica revertendo o desmatamento urbano e de melhorar as condições sócio-econômicas dos assentamentos humanos de baixa renda nas encostas da cidade. Até 1999, o total reflorestado alcançou uma área de 952 ha. As quantidades anuais podem ser observadas na tabela 48, adiante.

#### B) Taxa Anual de Crescimento

É importante ressaltar a falta de estudos científicos conclusivos a respeito da taxa anual de crescimento para a vegetação em questão. Assim, a taxa utilizada para os cálculos de absorção de carbono é de 7,5 t de matéria seca por hectare<sup>42</sup>, obtida no Projeto FLORAM do Instituto de Estudos Avançados (IEA) da Universidade de São Paulo (USP).

O Projeto FLORAM<sup>43</sup> relaciona vários níveis de produtividade com valores entre 1,3 tC/ha/ano (aproximadamente 2,6 t ms/ha/ano) e 13,1 tC/ha/ano (26,2 t ms/ha/ano), o que equivale a uma média de 7,5 tC/ha/ano (15 t ms/ha/ano). Esta variação do crescimento florestal ocorre em função de fatores como condições do solo, fisiologia das espécies, tratos culturais e uma série de outros fatores.

#### C) Fração de Carbono

No que se refere à fração de carbono na matéria seca, utilizou-se a fração 0,5, valor default do IPCC.

#### Carbono Seqüestrado por Reflorestamento

Considerando os plantios realizados a partir de 1987, este Programa de Reflorestamento Comunitário é responsável até o momento pela absorção de 16 kt C, o equivalente a 59 Gg de CO<sub>2</sub>. Os cálculos se encontram na tabela 48 e foram realizados com base nos dados fornecidos pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente – SMAC.

<sup>41</sup> O plantio de árvores urbanas também resulta em significativa absorção de carbono e não foi incluído nos cálculos por falta de dados sistematizados para o período em estudo. Para 1999, a Fundação Parques e Jardins contabilizou o plantio de 22.920 unidades com um índice de perda da ordem de 20%. Os valores de fitomassa correspondentes a estes plantios serão incorporados nos estudos referentes aos cenários.

<sup>42</sup> Taxa média de acumulação anual baseada na capacidade de acumulação total da floresta plantada ao término de sua fase de crescimento.

<sup>43</sup> Projeto FLORAM in Revista Estudos Avançados, Volume 4 – Número 9 da Universidade de São Paulo (1990)

**Tabela 48 - Carbono Seqüestrado por Reflorestamento**

Ano	Área de Floresta (Estoque de Fitomassa) (ha)		Taxa Anual de Crescimento	Fração de Carbono de Matéria Seca	Carbono Total Seqüestrado	Conversão de C em CO <sub>2</sub>
	Plantado no Ano	Acumulado com Anos Anteriores	(t matéria seca/ha)	(default)	(kt C)	(Gg CO <sub>2</sub> )
1987	14,5	-	7,5	0,5	0,054	0,2
1988	19,0	33,5	7,5	0,5	0,126	0,5
1989	11,5	45,0	7,5	0,5	0,169	0,6
1990	19,6	64,6	7,5	0,5	0,242	0,9
1991	50,0	114,6	7,5	0,5	0,430	1,6
1992	84,4	199,0	7,5	0,5	0,746	2,7
1993	50,4	249,4	7,5	0,5	0,935	3,4
1994	16,2	265,6	7,5	0,5	0,996	3,7
1995	68,8	334,4	7,5	0,5	1,254	4,6
1996	161,3	495,7	7,5	0,5	1,859	6,8
1997	156,7	652,4	7,5	0,5	2,447	9,0
1998	189,4	841,8	7,5	0,5	3,157	11,6
1999	110,1	951,9	7,5	0,5	3,570	13,1

Fonte: Elaboração própria com base em dados de reflorestamento da SMAC

#### Potencial de Seqüestro de Carbono

Normalmente, nas regiões tropicais, o tempo necessário para um povoamento florestal atingir o estágio clímax está em torno de 30 anos<sup>44</sup>. Porém, tal estimativa é válida para as espécies nobre, de crescimento mais lento, que são mais exigentes em relação aos aspectos edafo-climáticos. Quando se trata de uma mistura constituída de espécies arbóreas pioneiras, secundárias iniciais e secundárias tardias, esse período pode ser menor e merece ser investigado.

Este é o caso dos plantios feitos pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro que são realizados em encostas bastante degradadas, onde há a necessidade de ser priorizado o plantio de árvores de rápido crescimento, cuja função básica é proteger o solo, com a maior brevidade possível.

Considerando 30 anos, então, como o período máximo de crescimento da vegetação plantada no período 1987/1999 e uma taxa anual de 7,5 t ms/ha/ano, o potencial de acúmulo de fitomassa pelo reflorestamento seria de 225 t ms/ha, correspondentes a 112,5 t C/ha.

O quadro I, a seguir, apresenta a relação de espécies mais utilizadas no reflorestamento de encostas na Cidade do Rio de Janeiro.

<sup>44</sup>De acordo com o Engº Florestal Luiz Carlos Sérvulo de Aquino, ex diretor técnico do Instituto Estadual de Florestas

Quadro I – Espécies Utilizadas em Reflorestamento de Encostas

Espécie	Nome Vulgar	Grupo Ecológico
<i>Acacia mangium</i>		L
<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i>	sabiá	L
<i>Clitoria fairchildiana</i>	sombreiro	L
<i>Senna siamea</i>	cássia-siamea	L
<i>Croton floribundus</i>	capixingui	P
<i>Jacaratia spinosa</i>	mamão-do-mato	P
<i>Joannesia princeps</i>	boleira	P
<i>Luehea grandiflora</i>	açoita-cavalo	P
<i>Aegyphylla sellowianna</i>	tamanqueira	P
<i>Cecropia sp.</i>	embaúba	P
<i>Gochnatia polymorpha</i>	cambará	P
<i>Senna multijuga</i>	aleleuia	P
<i>Centrolobium tomentosum</i>	araribá	p
<i>Cytharexylum mirianthum</i>	tarumã	P
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	orelha-de-negro	P
<i>Mimosa bimucronata</i>	maricá	P
<i>Sparattosperma leucanthum</i>	ipê-cinco-folhas	P
<i>Tibouchina granulosa</i>	quaresmeira	P
<i>Mimosa artemisiana</i>	roseira	P
<i>Peltophorum dubium</i>	tamboril	P
<i>Pterogyne nitens</i>	amendoim-bravo	P
<i>Schinus terebintifolius</i>	aroeira	P
<i>Schyzolobium parahyba</i>	guapuruvu	P
<i>Trema micrantha</i>	crindiúba	P
<i>Caesalpinia peltophoroides</i>	sibipiruna	NP
<i>Chorisia speciosa</i>	paineira	NP
<i>Cordia superba</i>	babosa branca	NP
<i>Hymenaea coubaril</i>	jatobá	NP
<i>Tabebuia heptaphylla</i>	ipê-roxo	NP
<i>Inga uruguensis</i>	ingá-quatro-quinas	NP
<i>Pseudobombax grandiflorum</i>	embiruçu	NP
<i>Spondias lutea</i>	cajá-mirim	NP
<i>Artocarpus integrifolia</i>	jaqueira	F
<i>Psidium guajava</i>	goiabeira	F
<i>Syzygium cuminii</i>	jamelão	F
<i>Tamarindus indica</i>	tamarindo	F

L = Leguminosa de rápido crescimento  
 Np = Não pioneira

P = Espécie pioneira  
 F = Frutífera

### 3.6 - Balanço das Emissões de GEE por Mudança no Uso do Solo e Florestas

Considerando as mudanças havidas em toda a extensão da cobertura vegetal da Cidade do Rio de Janeiro, as emissões totalizaram 2.324 Gg de CO<sub>2</sub> no período compreendido entre 1985 e 1999. As emissões por remoção da cobertura vegetal no montante de 2.283

Gg CO<sub>2</sub> representam quase que a totalidade das emissões de CO<sub>2</sub> (98 %), sendo relativamente pequenas as emissões por correção de solos agrícolas, em torno de 41 Gg de CO<sub>2</sub> (2 %). Considerando que houve um seqüestro de carbono de 59 Gg de CO<sub>2</sub> no período, as emissões líquidas (emissões menos seqüestro) foram de 2.265 Gg de CO<sub>2</sub>. As emissões anuais de GEE por tipo na Cidade do Rio de Janeiro podem ser observadas na tabela 49 a seguir.

Tabela 49 - Balanço das Emissões de CO<sub>2</sub> por Mudanças no Uso do Solo e Florestas

Ano	Emissão por Remoção de Vegetação (Gg CO <sub>2</sub> )	Emissão por Correção de Solos (Gg CO <sub>2</sub> )	CO <sub>2</sub> Total Emitido (Gg CO <sub>2</sub> )	CO <sub>2</sub> Total Sequestrado (Gg CO <sub>2</sub> )	Emissão Total Líquida de CO <sub>2</sub> (Gg CO <sub>2</sub> )
1985	89,0	3,7	92,8	0,0	92,8
1986	89,0	3,7	92,8	0,0	92,8
1987	89,0	3,7	92,8	0,2	92,6
1988	89,0	3,5	92,5	0,5	92,1
1989	87,6	3,5	91,1	0,6	90,5
1990	87,6	3,5	91,2	0,9	90,3
1991	87,6	3,3	91,0	1,6	89,4
1992	87,6	1,8	89,5	2,7	86,7
1993	195,3	1,6	196,9	3,4	193,5
1994	195,3	1,8	197,1	3,7	193,4
1995	195,3	2,1	197,4	4,6	192,8
1996	195,3	2,1	197,3	6,8	190,5
1997	265,1	2,1	267,2	9,0	258,2
1998	265,1	2,1	267,2	11,6	255,6
1999	265,1	2,1	267,2	13,1	254,1

Fonte: Elaboração própria

A figura 25 permite que se visualizem as emissão e o seqüestro de CO<sub>2</sub> por mudanças no uso do solo e florestas ao longo dos últimos quinze anos.

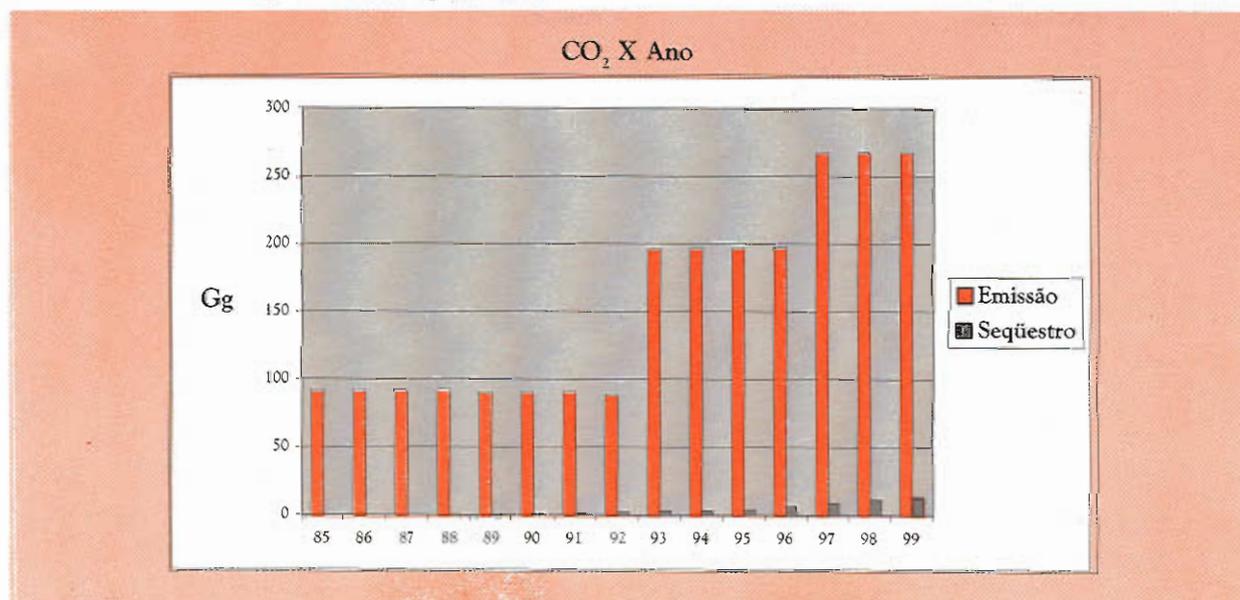


Figura 25 - Emissões Líquidas de CO<sub>2</sub> por Mudanças no Uso do Solo e Florestas

4.1 - Considerações Gerais

Este setor tem importância reduzida na Cidade do Rio de Janeiro. As emissões de CO<sub>2</sub> do setor agropecuário devidas à queima de combustíveis fósseis apresentadas na seção 2 deste trabalho são consequentemente muito pequenas em relação ao total.

Desta forma os cálculos abaixo são referentes às seguintes fontes de emissões :

4-2 - Fermentação Entérica

A produção de CH<sub>4</sub> por herbívoros é um sub-produto da fermentação entérica - processo de digestão em que os carboidratos são quebrados pelos microorganismos em moléculas simples para serem absorvidos na corrente sanguínea. Tanto os animais ruminantes (por exemplo: gado e ovelhas) quanto os não ruminantes (por exemplo: porcos e cavalos) produzem CH<sub>4</sub> sendo, no entanto, os ruminantes as maiores fontes (por unidade de comida ingerida).

A emissão total de CH<sub>4</sub> é calculada pela soma das emissões de cada rebanho. Estes valores são fruto da população - às vezes considerando a composição e a função atribuída (como no caso do gado, se leiteiro ou de corte) - de cada rebanho, multiplicada pelo fator de

emissão correspondente, segundo valores default do IPCC.

A fórmula é a seguinte:

Fórmula 4.2

METANO = $\sum f_i r_i$	
$f_i$	= fator sugerido pelo IPCC para fermentação entérica de cada rebanho, e
$r_i$	= população de cada rebanho, de acordo com a Fundação CIDE.

Os rebanhos existentes na Cidade do Rio de Janeiro são de bovinos, bubalinos, suínos, eqüinos, asininos, muares, caprinos, ovinos, além de coelhos, galinhas e codornas.

Como estavam disponíveis dados para o período de 1991 a 1997, mas não foi possível identificar uma tendência clara, como pode ser visto na figura 26, abaixo, optou-se por reproduzir os valores de 1991 para 1990 e de 1997 para 1998. Com isso as emissões em 1990, 1996 e 1998 foram de 0,80, 0,46 e 0,50 Gg de CH<sub>4</sub>, respectivamente, contando com uma redução média de 6% ao ano.

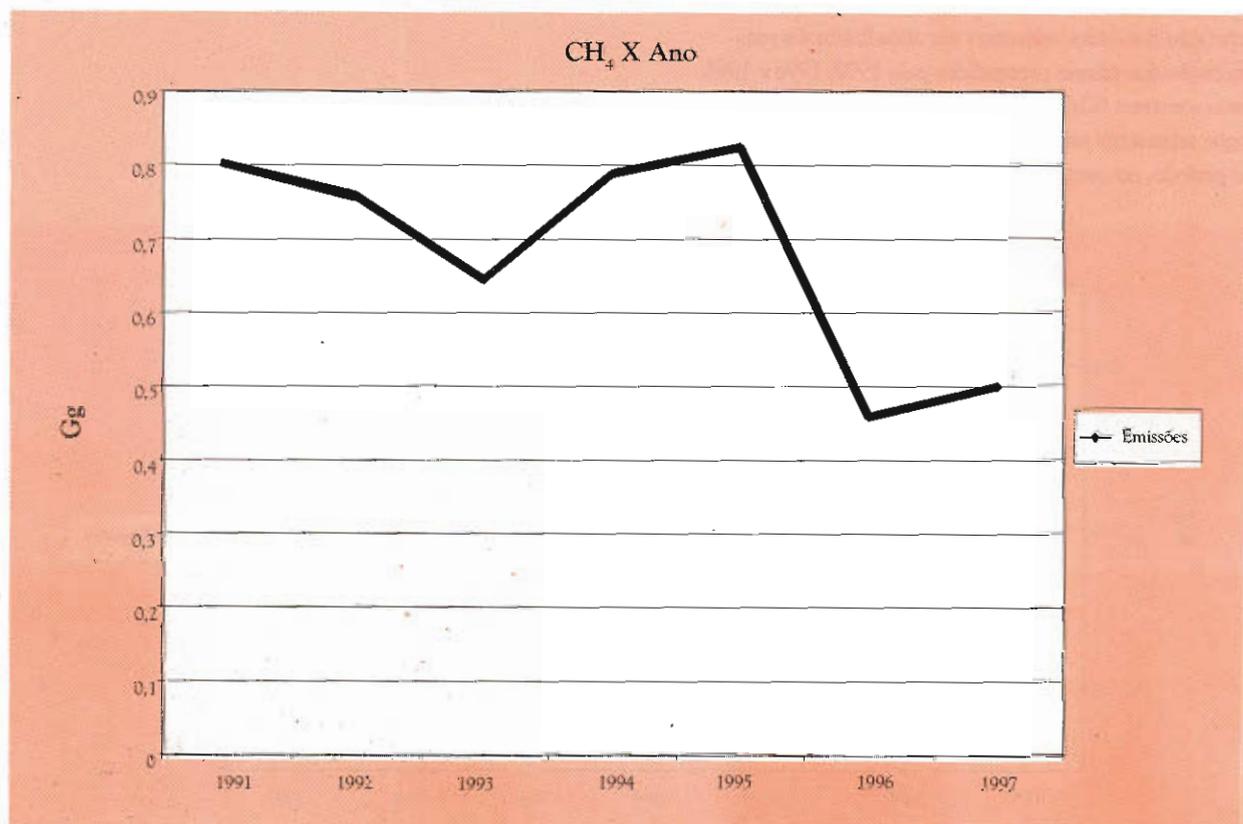


Figura 26 - Emissões de Metano da Fermentação Entérica (Gg CH<sub>4</sub>)

### 4.3 - Gerenciamento do Estrume

O  $\text{CH}_4$  é produzido pela decomposição do estrume sob a presença de pouco oxigênio ou condição anaeróbia. Essa condição normalmente ocorre quando grande número de animais está em uma área confinada, onde o estrume é tipicamente estocado em grandes pilhas ou disposto em lagoas ou outros tipos de sistema de gerenciamento de estrume.

A metodologia do IPCC para este caso é bastante similar a do caso anterior, modificando-se apenas os valores "default" a serem multiplicados pela população dos rebanhos.

A fórmula é a seguinte:

#### Fórmula 4.3

<b>METANO = <math>\sum e_i c_i r_i</math></b>	
$e_i$	- fator sugerido pelo IPCC para produção de estrume de cada rebanho,
$c_i$	- fator sugerido pelo IPCC para emissão de $\text{CH}_4$ por kg de estrume, e
$r_i$	- população de cada rebanho, por sexo e função, de acordo com a Fundação CIDE.

Devido às mesmas restrições anteriores, como pode ser visto na figura 27, abaixo, adotou-se também o critério de repetição dos dados referentes aos anos limítrofes para obtenção dos valores pretendidos para 1990, 1996 e 1998. Estes somaram 0,26, 0,06 e 0,12 Gg de  $\text{CH}_4$ , respectivamente, o que representa uma redução da ordem de 50% no decorrer do período, ou cerca de 9% ao ano.

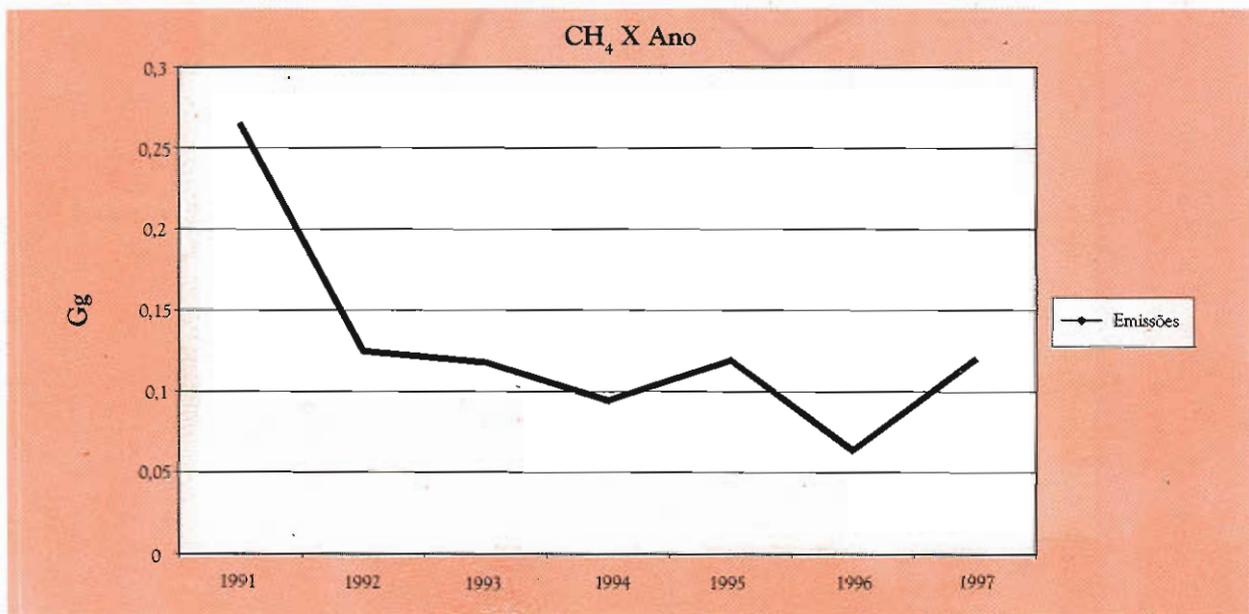


Figura 27 – Emissões de Metano do Gerenciamento de Esterco (Gg  $\text{CH}_4$ )

#### 4.4 - Cultivo de Arroz

O cultivo de arroz em áreas alagadas é responsável pela emissão de CH<sub>4</sub>. O cálculo é feito com base na fórmula abaixo, dada em teragrama (10<sup>12</sup>) por ano (Tg/ano):

Fórmula 4.4

METANO = F <sub>e</sub> x A x 10 <sup>-12</sup>	
F <sub>e</sub>	= Fator de emissão regional;
A	= Área utilizada, em metros quadrados.

Como de acordo com informações obtidas na EMATER-RIO não existe nenhuma área de plantio alagada, não há emissão de CH<sub>4</sub> da agricultura.

Somando-se os valores das tres fontes de emissão de CH<sub>4</sub> acima apresentadas, obtém-se a tabela 50 abaixo, cujos valores são desprezíveis no contexto em estudo.

Tabela 50 - Emissão de Metano da Agropecuária

Gg CH <sub>4</sub>	1990	1996	1998
Fermentação entérica	0,80	0,46	0,50
Gerenciamento de estrume	0,26	0,06	0,12
Plantio de arroz alagado	0	0	0
Total	1,07	0,52	0,62

Fonte: Elaboração própria.

5.1 - Considerações Gerais

A fermentação anaeróbia dos resíduos sólidos libera para a atmosfera quantidades de CH<sub>4</sub> que podem ser expressivas em função da quantidade de lixo produzida, da composição deste lixo e das condições de sua disposição. A fórmula geral adotada pelo IPCC para o cálculo dessas emissões, em Gg/ano, é a seguinte:

Fórmula 5.1

$$\text{EMISSÕES DE METANO} = S(\text{RSU}_D \times \text{FCM} \times \text{COD} \times \text{COD}_R \times \text{FEM} \times 16/12 - R) (1 - \text{OX})$$

RSU <sub>D</sub>	= Total anual de Resíduos Sólidos Urbanos Dispostos nos diferentes tipos de vazadouro. São considerados aterros (controlados e sanitários) e vazadouros. Deve ser expresso em milhares de toneladas, ou gigagramas.
FCM	= Fator de Correção do Metano. Varia em função de cada tipo de local de disposição, valendo 0,4 para os vazadouros com células de até cinco metros, 0,8 para os vazadouros com células maiores e 1,0 no caso dos aterros.
COD	= Carbono Organicamente Degradável. Seu valor está relacionado à composição orgânica dos resíduos. Depende do teor de papéis e papelões, folhas, madeiras e matéria orgânica total, dados em percentuais do lixo os quais são aplicados na equação abaixo.
COD	= 0,4 Papel e Papelão + 0,17 Folhas + 0,15 Mat. Org. Total + 0,3 Madeira
COD <sub>R</sub>	= Fração do COD que realmente degrada. Devido ao processo anaeróbio ser incompleto, parte do carbono potencialmente degradável não atinge a degradação. O valor sugerido pela metodologia do IPCC é 77%.
FEM	= Fração de Carbono Emitida como Metano. O valor sugerido pela metodologia do IPCC é 50%.
16/12	= Taxa de conversão, em peso molecular, do carbono para o metano.
R	= Metano Recuperado. Refere-se à parcela recuperada em cada local de disposição, influenciando nas emissões líquidas. Se queimado, produz CO <sub>2</sub> (de acordo com relação apresentada adiante) que é um gás com menor potencial de aquecimento global. Este valor deve ser abatido das emissões.
OX	= Fator de Oxidação. Relaciona-se à fração do RSU <sub>D</sub> consumida quando há queima espontânea – relacionada a incêndios – nos depósitos, evitando a produção do metano.

## 5.2- Emissões pelo Tratamento e Disposição Final dos Resíduos Sólidos

### 5.2.1 - Dados Disponíveis

A coleta e disposição dos resíduos sólidos da Cidade do Rio de Janeiro são realizadas pela Companhia Municipal de Limpeza Urbana – COMLURB.

A base de dados desta instituição foi a origem dos dados utilizados no cálculo das emissões de metano para a Cidade do Rio de Janeiro.

Assim foram utilizados os seguintes dados da COMLURB, nos cálculos:

- Composição histórica dos resíduos desde 1989.
- Participação da Cidade do Rio de Janeiro na utilização dos vazadouros consorciados.
- Total depositado nos aterros próprios.

### 5.2.2 - Cálculo das Emissões de Metano no Período entre 1990 e 1998

O cálculo das emissões pode ser detalhado como se segue:

## A) Total Anual de Resíduos Sólidos Urbanos Dispostos nos Diferentes Tipos de Vazadouro (RSU<sub>D</sub>)

Em 1990, toda a disposição do material coletado pela COMLURB – 90% da produção da época, segundo informações “ad hoc”<sup>(45)</sup> –, se dava em vazadouros, em células com mais de 5 metros de altura, enquanto os 10% restantes eram dispostos diretamente pela população – sem intermédio da COMLURB – em vazadouros com células menores que 5 metros.

Para 1996 e 1998, as quantidades de resíduos coletadas pela COMLURB – que correspondiam a cerca de 95% da geração –, tinham 70% de sua destinação direcionada para aterros e 30% para vazadouros com células com mais de 5 metros de altura, enquanto o lixo não coletado era encaminhado, diretamente pela população, para vazadouros com células de até 5 metros.

Os totais anuais dos resíduos sólidos urbanos e os tipos de disposição estão apresentados na tabela 51.

Tabela 51 - Totais Anuais dos Resíduos Sólidos Urbanos e Tipos de Disposição

Tipo de Disposição	1990		1996		1998	
	10 <sup>3</sup> ton	%	10 <sup>3</sup> ton	%	10 <sup>3</sup> ton	%
Aterros	0	0	1.916,02	66,5	1.956,03	66,5
Vazadouros (<= 5m)	202,88	10	144,06	5	147,07	5
Vazadouros (> 5m)	1.826,00	90	821,15	28,5	838,30	28,5
Total	2.028,88	100	2.881,23	100	2.941,40	100

Fonte: COMLURB, 1999.

Obs.: A COMLURB informou ter feito substancial investimento na recuperação ambiental do vazadouro de Gramacho, passando a considerá-lo como Aterro Sanitário em 1996.

## B) Fator de Correção do Metano (FCM)

Varia em função de cada tipo de local de disposição, valendo 0,4 para os vazadouros com células de até cinco metros, 0,8 para os vazadouros com células maiores e 1,0 no caso dos aterros.

## C) Carbono Organicamente Degradável (COD)

O carbono organicamente degradável foi calculado segundo a metodologia do IPCC, a qual considera

os percentuais de papéis e papelões, restos de comida, folhas e madeiras. Os valores encontrados são apresentados na tabela 52.

Tabela 52 – Carbono Organicamente Degradável para os anos de 1990, 1996 e 1998

Ano	COD
1990	0,190
1996	0,168
1998	0,167

<sup>45</sup> Informações coletadas na DIN – COMLURB.

#### D) Fração do COD que realmente degrada ( $COD_R$ )

A fração do COD que realmente degrada usada é de 77%<sup>(46)</sup>.

#### E) Fração de Carbono Emitida como Metano (FEM)

A Fração de Carbono Emitida como Metano usada é de 50%<sup>(47)</sup>.

#### F) Taxa de Conversão, em peso molecular, do carbono para o metano

A taxa de conversão, em peso molecular, do carbono para o metano é de 16/12.

#### G) Metano Recuperado (R)

O metano recuperado para cada um dos anos considerados foi calculado do seguinte modo:

##### G.1) Metano Recuperado em 1990

A quantidade de gás coletada e disponibilizada na rede pela CEG em 1990 proveniente do aterro do Caju, foi de 0,4 Gg, decorrente da recuperação de 1.000.000 de metros cúbicos de biogás, dos quais 55% são metano, cuja densidade é 0,716 kg/m<sup>3</sup>.

##### G.2) Metano Recuperado em 1996 e 1998

O valor de metano recuperado foi de 7,8 Gg, o que decorre dos 150 poços com vazão de 15 m<sup>3</sup>/hora de biogás cada um, segundo a COMLURB, operando à plena carga (24 horas durante 365 dias por ano), com participação de 55% de metano (e 40% de dióxido de carbono), convertido pela densidade 0,716 kg/m<sup>3</sup>.

#### G.3) Produção de CO<sub>2</sub> pela Queima de Metano Recuperado

Além de reduzir o risco de explosões e incêndios, a queima é benéfica para o efeito estufa, pois libera dióxido de carbono em vez de metano, cujo potencial de aquecimento global é 21 vezes maior. Mesmo assim, é preciso contabilizar esta emissão antropogênica de CO<sub>2</sub>, de acordo com a fórmula a seguir.

##### Fórmula G3

CO <sub>2</sub>	=	CH <sub>4</sub> + D x PCI x E x F x 44/12 x 10 <sup>-3</sup>
CO <sub>2</sub>	=	Quantidade de dióxido de carbono gerada (Gg).
CH <sub>4</sub>	=	Quantidade de metano convertida, em (Kg).
D	=	Densidade do metano (0,716 Kg/m <sup>3</sup> ).
PCI	=	Poder Calorífico Inferior do metano (aproximadamente o mesmo do gás natural, cerca de 0,771 x 10 <sup>-3</sup> tep/ m <sup>3</sup> ).
F	=	Fator de conversão de terajoule para tonelada equivalente de petróleo (45,2 x 10 <sup>-3</sup> TJ/tep).
E	=	Emissão de carbono por unidade de calor produzida (15,2 tC/TJ).
44/12	=	Fator de conversão de carbono para dióxido de carbono.
10 <sup>-3</sup>	=	Fator de conversão de tonelada para gigagramas

#### H) Fator de Oxidação (OX)

Em 1990, deve ser considerada a redução das emissões de metano decorrente do incêndio – queima espontânea, oxidação, de cerca de 20% do material disposto no vazadouro de Gramacho. Como este respondia por cerca de 70% da destinação final dos resíduos coletados pela COMLURB no município, o fator de oxidação foi de 14% (20%x70%), para este ano, no segmento cuja disposição final era feita em células com mais de 5 metros de altura.

Em 1996 e 1998, como não houve incêndio em nenhum dos depósitos de lixo, o fator de oxidação foi nulo.

<sup>46</sup> Valor sugerido pela metodologia do IPCC

<sup>47</sup> Valor sugerido pela metodologia do IPCC

## Emissões de Dioxido de Carbono

As emissões de dióxido de carbono relacionadas aos resíduos sólidos urbanos são oriundas de três fontes, quais sejam, queima do metano recuperado, oxidação da matéria orgânica em incêndios e emissões fugitivas do biogás<sup>48</sup>.

Quanto à combustão do metano recuperado, a conversão é feita utilizando-se o poder calorífico inferior, de acordo com a fórmula G.3, acima.

Em relação à emissão oriunda da oxidação, em virtude da metodologia de cálculo do COD não considerar o plástico – que emite dióxido de carbono em sua queima – será considerada como emissão de CO<sub>2</sub>, a proporção de presença de carbono – 50% – na matéria orgânica seca, 40% do total, referente aos 20% do material queimado em Gramacho.

Assim, segundo as considerações anteriores, o dióxido de carbono emitido, em gigagramas de CO<sub>2</sub>, nos anos de 1990, 1996 e 1998 é apresentado na tabela 53.

Tabela 53 - CO<sub>2</sub> Emitido pelos Resíduos Sólidos Urbanos

Ano	CO <sub>2</sub> Emitido por Oxidação (Cg)	CO <sub>2</sub> Emitido por Recuperação (Cg)	Total CO <sub>2</sub> Emitido (Cg)
1990	187,5	1,1	188,6
1996	-	21,3	21,3
1998	-	21,3	21,3

## Emissões de Metano

Os valores líquidos das emissões de metano calculados pela fórmula 5.1 são apresentados na tabela 54.

Tabela 54 - CH<sub>4</sub> Emitido pelos Resíduos Sólidos Urbanos

Ano	Emissões de Metano (Gg)
1990	130
1996	219,1
1998	222,5

<sup>48</sup> Apesar de não serem consideradas pela metodologia do IPCC, existem emissões fugitivas do biogás, que decorrem de sua composição ter 40% do volume em CO<sub>2</sub>, cuja densidade é 1,53 kg/m<sup>3</sup>. Com isto, as emissões fugitivas de CO<sub>2</sub> do biogás recuperado foram de 11,8 Gg por ano, em 1996 e 1998, enquanto as referentes ao biogás não recuperado foram de 202,7 Gg em 1990 e 350 Gg em 1996 e 355,4 Gg em 1998, perfazendo emissões fugitivas totais de CO<sub>2</sub> de 202,7 Gg em 1990, 361,8 Gg em 1996 e 367,2 Gg em 1998.

### 5.3 Síntese das Emissões Oriundas do Tratamento e Disposição de Resíduos Sólidos

O crescimento das emissões de metano entre 1990 e 1996 pode ser explicado por dois fatores: o aumento da produção de lixo, tanto decorrente do Plano Real como do aumento de eficiência na coleta, que passou de 2.028 mil t para 2.881 mil t anuais, assim como o fator de emissão de  $\text{CH}_4$ , que nos aterros é maior que nos vazadouros (1 contra 0,8).

Já entre 1996 e 1998, os valores mantiveram-se praticamente constantes.

A tabela 55 e a figura 28 sintetizam os resultados obtidos para as emissões de  $\text{CH}_4$  devidas à fermentação dos resíduos sólidos produzidos na Cidade do Rio de Janeiro, mostrando sua evolução no período de 1990 a 1998, assim como para as emissões de dióxido de carbono decorrentes da queima dos resíduos sólidos, até 1995 e da recuperação e queima de metano após 1995.

Tabela 55 – Síntese dos Valores para Resíduos Sólidos

	Unidade	1990	1996	1998
Geração de lixo	$10^3$ ton	2.028	2.881	2.941
Emissão de metano	Gg	130	219,1	222,5
Emissão de dióxido de carbono	Gg	188,6	21,3	21,3

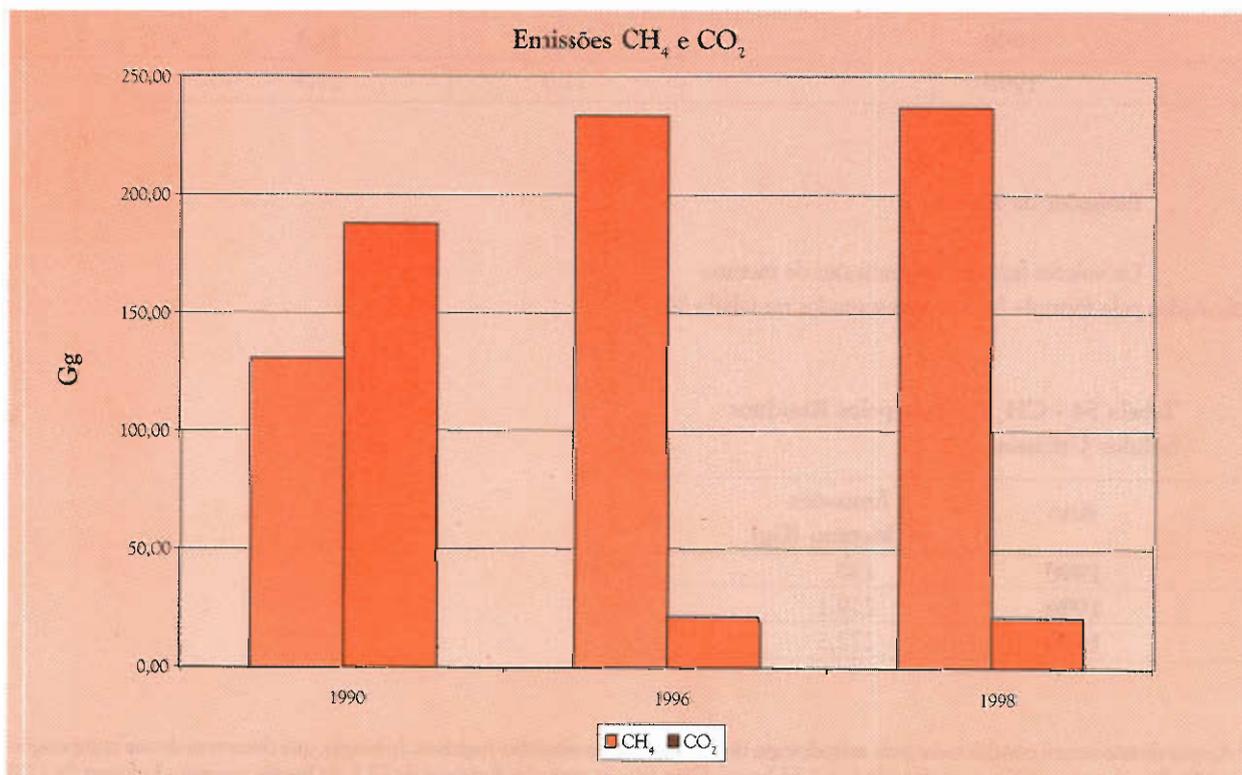


Figura 28 – Síntese das Emissões de Resíduos Sólidos

**6.1 - Considerações Gerais**

Os sistemas de tratamento de esgotos domésticos e comerciais e de efluentes industriais podem ser classificados como primário, secundário e terciário. No tratamento primário, são removidos os sólidos maiores por intermédio de barreiras físicas, enquanto os particulados remanescentes se depositam. No tratamento secundário, há uma combinação de processos biológicos que resultam na biodegradação por microorganismos. Estes podem incluir lagoas de estabilização anaeróbias e aeróbias, filtros biológicos e lodos ativados. O tratamento terciário é usado para purificar o efluente de agentes patogênicos e outros contaminantes por intermédio de um ou mais processos combinados de lagoas de maturação, filtração, bio-adsorção, troca de íons e desinfecção.

O lodo é produzido tanto no tratamento primário quanto no secundário. No primeiro método, o lodo consiste de sólidos removidos do esgoto e no segundo é o resultado do crescimento biológico na biomassa, bem como da agregação de pequenas partículas. O tratamento do lodo inclui digestão anaeróbia e aeróbia, condicionamento, centrifugação, compostagem e secagem.

Tanto o tratamento de esgotos quanto o de lodos sob condições anaeróbias resulta em produção de metano. A quantidade de metano produzida depende dos seguintes fatores: características do esgoto/efluente, temperatura e tipo de tratamento.

**A) Características do Esgoto/Efluente**

O principal fator determinante da geração de metano é a quantidade de matéria orgânica degradável encontrada no esgoto/efluente. Os parâmetros usados para medir esta quantidade são DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio). Quanto maior a concentração de DBO (ou DQO), maior a produção de metano.

**B) Temperatura**

A produção de metano aumenta com o aumento da temperatura, especialmente em sistemas sem controle adequado e em climas quentes, pois requer uma temperatura superior a 15° C.

**C) Tipo de Tratamento**

Os sistemas de tratamento que apresentam ambiente anaeróbio produzem metano, enquanto os sistemas aeróbios geralmente produzem muito pouco ou nenhum metano. De acordo com o IPCC, as exceções em países em desenvolvimento ocorrem sob as seguintes condições:

**Quadro II - Excessões na Produção de Metano em Países em Desenvolvimento**

Método de Tratamento	Exceções na Produção de Metano
<b>Sistemas Anaeróbios</b>	
Lagoas Estações de tratamento	Projetos mal elaborados ou estações de tratamento (ETEs) mal operadas podem receber aeração e reduzir a produção de metano
<b>Sistemas Aeróbios</b>	
Fossas/latrinas a céu aberto	Alta temperatura e tempo de retenção inadequado podem propiciar a produção de metano.
Lagoas Lançamentos diretos em rios	Profundidade acima de 3 metros pode resultar em produção de metano Rios com baixo nível de oxigenação e de águas paradas podem resultar em decomposição anaeróbia da matéria orgânica e, portanto, em produção de metano

Fonte: IPCC – Revised Guidelines 1996: Workbook

## 6.2 - Emissões de Esgotos Domésticos e Comerciais

No caso da Cidade do Rio de Janeiro, a Companhia Estadual de Águas e Esgoto (CEDAE) é responsável pela coleta e tratamento de esgoto doméstico e comercial. Segundo a empresa, a parcela do esgoto coletado atualmente que recebe tratamento, não é tratada por sistemas anaeróbios. Somente o lodo resultante deste tratamento passa por um sistema anaeróbio e, portanto, segundo a metodologia do IPCC, somente haveria produção de metano nesta etapa do tratamento de esgotos. Os dados referentes ao lodo não estão ainda disponibilizados.

Com relação a fossas sépticas residenciais, os dados do último Censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) revelam que 19,72 % da população tiveram seu esgoto retido por fossas em 1991. A Pesquisa Nacional de Amostras Domiciliares (PNAD/IBGE), apresenta estes dados para o período 1992/1997, conforme a tabela 56 a seguir.

Tabela 56 - Domicílios com Fossa Séptica no Rio de Janeiro

Ano	População Total do Município (1.000 hab.)	Percentual de Fossas Sépticas sobre o Total de Domicílios	População Esgotada por Fossas Sépticas Ligadas ou Não à Rede (1.000 hab.)
1991	5.481	19,72	1081
1992	5.495	20,09	1104
1993	5.509	18,42	1015
1994*	5.523	18,04	996
1995	5.537	17,66	978
1996	5.552	16,25	902
1997	5.566	23,75	1322

Fonte: PNAD/IBGE <sup>49</sup>

\* calculado por interpolação

A eficiência das fossas é controversa. Segundo o Inventário Nacional de Emissões de Metano pelo Manejo de Resíduos, elaborado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB)<sup>50</sup>, pesquisas realizadas revelam que a população consultada sobre os sistemas de esgotos adotados em suas propriedades, informam "fossas sépticas" mesmo na ocorrência de fossas negras ou simples buracos escavados no terreno. Outro fato comum é a existência de sistemas mal dimensionados e/ou mal construídos e mesmo a venda de fossas pré-moldadas fora das especificações técnicas. Ainda, a falta de anteparos na entrada e saída do sistema, transformam-no em simples caixas de passagem.

No que se refere às estações particulares de tratamento de esgotos, em sua grande maioria operando na região da Barra da Tijuca e da Baixada de Jacarepaguá, as informações obtidas junto à Coordenação de Despoluição de Recursos Hídricos da SMAC são de que estas ETEs são aeróbias.

Diante da falta de informações disponíveis para essas fontes de emissão que permitam uma avaliação mais precisa sobre a contribuição da Cidade do Rio de Janeiro, o critério adotado foi estimar as emissões potenciais médias para o período compreendido entre 1990 e 1999, a partir do cruzamento de dados de população com os valores default do IPCC.

<sup>49</sup> Pesquisa Nacional de Amostras Domiciliares

<sup>50</sup> Inventário Nacional de Emissões de Metano pelo Manejo de Resíduos, Volume I, Relatório Final, CETESB, 1998.

A estimativa de carga orgânica total gerada foi calculada a partir da seguinte fórmula:

**Fórmula 6.2a**

COT	=	Pop * COD * (1 - FRL)
COT	=	Carga Orgânica Total
Pop	=	População do Município
COD	=	Componente Orgânico de Degradação
FRL	=	Fração Removida como Lodo

O Componente Orgânico de Degradação, um valor default do IPCC é de 14.600 kg DBO<sub>5</sub> (demanda bioquímica de oxigênio) por mil habitantes por ano. No

entanto, como o Plano Diretor de Esgotamento Sanitário da Região Metropolitana do Rio de Janeiro e das Bacias Contribuintes à Baía de Guanabara da CEDAE<sup>51</sup> adota o valor de 19.710 kg de DBO por mil habitantes por ano, optou-se por este valor<sup>52</sup>.

Na ausência de dados sobre a Fração de Matéria Orgânica Removida como Lodo, utilizou-se o valor default zero para esta fração. Os resultados dos cálculos indicam que os valores anuais de produção de carga orgânica estão situados em torno de 109 milhões de kg de DBO<sub>5</sub>/ano (média aritmética do período) e podem ser observados na tabela 57 a seguir.

**Tabela 57 - Estimativa de Produção de Carga Orgânica**

Ano	População do Município (1000 hab.)	Componente Orgânico de Degradação (kg DBO/1000 hab/ano)	Fração do Componente Orgânico de Degradação Removido como Lodo	Esgoto Orgânico Total a Ser Tratado (kg DBO/ano)
		default	default	
1990	5.445	19.710	-	107.320.950
1991	5.481	19.710	-	108.030.510
1992	5.495	19.710	-	108.306.450
1993	5.509	19.710	-	108.582.390
1994	5.523	19.710	-	108.858.330
1995	5.537	19.710	-	109.134.270
1996	5.552	19.710	-	109.429.920
1997	5.566	19.710	-	109.705.860
1998	5.581	19.710	-	110.001.510
1999	5.596	19.710	-	110.297.160

Fonte: Elaboração própria a partir de Revised 1996 IPCC Guidelines - Workbook

Na ausência de informações específicas para o município, o Fator de Emissão de Metano de 0,02 kg de CH<sub>4</sub>/kg de DBO<sub>5</sub> foi calculado utilizando-se todos os valores default do IPCC, também utilizados no Inventário Nacional, anteriormente referenciado, a partir da seguinte fórmula:

**Fórmula 6.2b**

FEM	=	FET * FCM * CPM
FEM	=	Fator de Emissão de Metano
FET	=	Fração do Esgoto Tratado
FCM	=	Fator de Conversão de Metano
CPM	=	Capacidade Máxima de Produção de Metano

A tabela 58 Fator de Emissão de Metano, a seguir, apresenta o cálculo.

<sup>51</sup> Plano Diretor de Esgotamento Sanitário da Região Metropolitana do Rio de Janeiro e das Bacias Contribuintes à Baía de Guanabara da Companhia de Estadual de Águas e Esgotos - CEDAE (1994)

<sup>52</sup> Este valor também é adotado por Jordão, E. P. e Pessoa, A.C., in: Tratamento de Esgotos Domésticos, 3ª Edição, ABES (1995)

Tabela 58 - Fator de Emissão de Metano

Sistema de Tratamento de Esgoto	Fração do Esgoto Tratado	Fator de Conversão de Metano	Capacidade Máxima de Produção de Metano (kg CH <sub>4</sub> /kg DBO)	Fator de Emissão (kg CH <sub>4</sub> /kg DBO)
	default	default	default	
Não especificado	10%	80%	0,25	0,020

Fonte: Revised 1996 IPCC Guidelines - Workbook

Para a realização dos cálculos de emissão, utilizou-se a seguinte fórmula:

Fórmula 6.2c

ELM	=	(COT * FE) - MR
ELM	=	Emissões Líquidas de Metano
COT	=	Carga Orgânica Total (obtida da fórmula 6.2a)
FEM	=	Fator de Emissão de Metano (obtido da fórmula 6.2b)
MR	=	Metano Recuperado <sup>53</sup>

Os resultados obtidos para a estimativa de produção de metano por tratamento de esgotos domésticos e comerciais se encontram na tabela 59 e indicam que no período compreendido entre 1990 e 1999, as emissões médias potenciais foram da ordem de 2,18 Gg de CH<sub>4</sub> por ano (média aritmética do período).

<sup>53</sup> Na ausência de informações, este valor é zero.

Tabela 59 - Estimativa de Emissões de Esgoto Doméstico e Comercial

Ano	Carga Orgânica Total (kg DBO/ano)	Fator de Emissão (kg CH <sub>4</sub> /kg DBO)	Emissões de Metano sem Recuperação ou Queima (kg CH <sub>4</sub> /ano)	Metano Recuperado ou Queimado (kg CH <sub>4</sub> /ano)	Emissões Líquidas de Metano (GgCH <sub>4</sub> /ano)
1990	107.320.950	0,02	2.146.419	-	2,15
1991	108.030.510	0,02	2.160.610	-	2,16
1992	108.306.450	0,02	2.166.129	-	2,17
1993	108.582.390	0,02	2.171.648	-	2,17
1994	108.858.330	0,02	2.177.167	-	2,18
1995	109.134.270	0,02	2.182.685	-	2,18
1996	109.429.920	0,02	2.188.598	-	2,19
1997	109.705.860	0,02	2.194.117	-	2,19
1998	110.001.510	0,02	2.200.030	-	2,20
1999	110.297.160	0,02	2.205.943	-	2,21

Fonte: Elaboração própria a partir de Revised 1996 IPCC Guidelines - Workbook

É importante ressaltar que estes valores resultam de cálculos realizados a partir de estimativas que desconsideram a remoção de lodos e a eventual queima de metano, conforme orientação metodológica do IPCC para a ausência de dados para estes casos.

A utilização deste procedimento metodológico faz com que o cálculo das emissões reflita as variações de população ao longo dos anos e não a prática real de tratamento (ou ausência de tratamento) de esgotos sanitários. Como a população da Cidade do Rio de Janeiro se manteve praticamente constante no período, também assim se mantiveram os níveis de emissão, conforme pode ser observado na figura 29 a seguir.

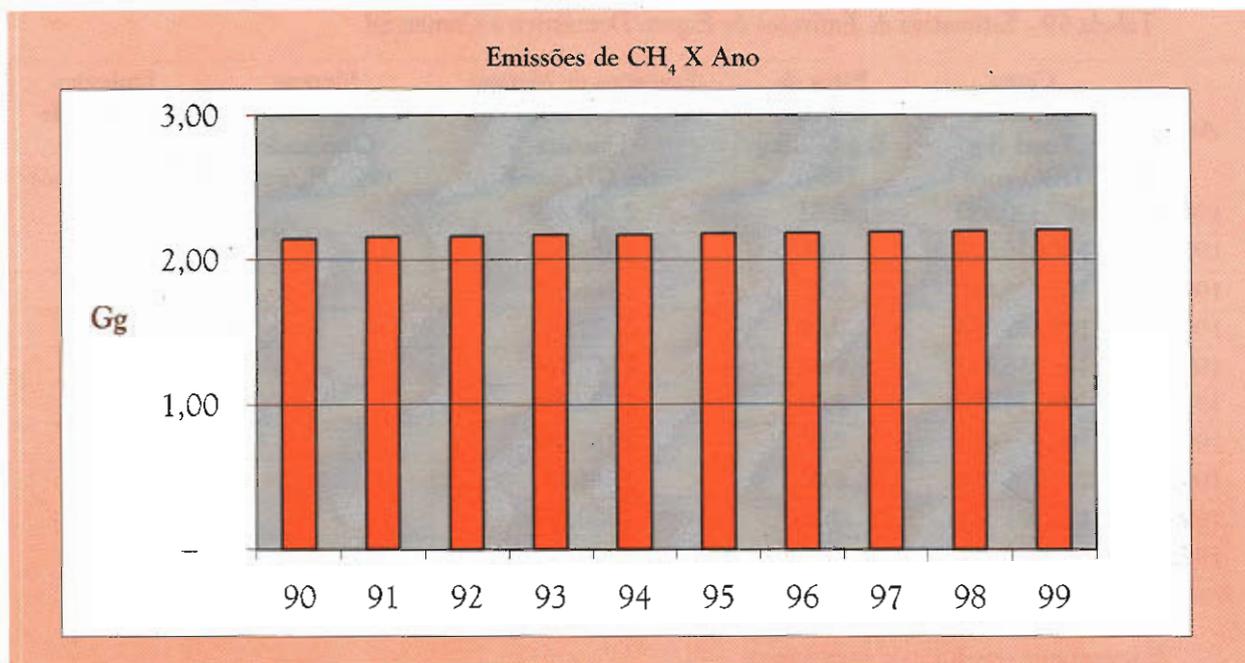


Figura 29 - Emissões Provenientes de Esgotos Domésticos e Comerciais

Um refinamento poderá ser obtido se forem feitos estudos de campo sobre produção de metano em redes de coleta e em corpos hídricos estagnados receptores de esgotos sanitários, conforme sugerido por Evandro de Brito, Diretor de Esgotos da CEDAE.

### 6.3 - Emissões de Efluentes Industriais

O cálculo das emissões decorrentes do tratamento anaeróbio de efluentes industriais foi realizado a partir dos dados disponíveis na Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA), instituição responsável pelo controle ambiental das indústrias.

Os dados da FEEMA são aqueles obtidos do Programa de Autocontrole de Efluentes Líquidos (PROCON ÁGUA). O gerenciamento das informações é realizado por regiões geográficas, cada uma em diferentes estágios de informatização.

No que se refere à região da Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara (BHBC), o sistema está informatizado desde 1997. Nos anos de 1997 e 1998, apenas 2 indústrias (açúcar e refrigerante) com tratamento anaeróbio de efluentes operaram nesta região do município. O cálculo da carga orgânica anual tratada anaerobiamente encontra-se na tabela 60 a seguir.

Tabela 60 – Carga Orgânica Industrial Tratada Anaerobiamente na BHBG

Ano	Tipo de Ind.	DQO Afluente/ mês	DQO Afluente/ ano	Vazão/ mês	Vazão/ ano	Vazão/ano	Carga Orgânica	Carga Org. Total
		mg/l	mg/l	M3	m3	l	mg/ano	kg DQO/ ano
1997 Relatórios de 8 meses Relatórios de 10 meses Total	Açúcar	3.603,49	43.241,92	391,60	4.699,18	4.699.175,04	203.201.370.130	203.201
	Refrig.	1.665,64	19.987,67	838,06	10.056,69	10.056.693,60	201.009.911.988	201.010
Total								404.211
1998 Relatórios de 12 meses Relatórios de 12 meses Total	Açúcar	3.732,59	44.791,10	362,87	4.354,45	4.354.446,96	195.040.476.720	195.040
	Refrig.	2.452,17	29.426,06	980,64	11.767,66	11.767.660,32	346.275.915.822	346.276
Total								541.316
1999 Relatórios de 9 meses Não operou Total	Açúcar	3.897,10	46.765,24	372,43	4.469,17	4.469.170,56	209.001.843.314	209.002
	Refrig.							
Total								209.002

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do PROCON ÁGUA

No que se refere a Jacarepaguá, Campo Grande e Itaguaí, o setor da FEEMA responsável pela região ainda não dispõe de um gerenciamento informatizado dos dados do PROCON ÁGUA, não tendo sido obtidos relatórios da própria FEEMA com dados de produção de efluente. Os cálculos de emissões de metano foram, então, realizados a partir de poucos relatórios (das próprias indústrias), o que faz com que a amostra tenha pouca significância estatística.

Segundo a FEEMA, duas empresas operam na região (cervejarias) com sistema anaeróbio de tratamento de efluentes. Para o ano de 1997, pode-se computar apenas as emissões de uma das empresas, calculadas com base em relatórios de dois meses de operações. Para 1999, observa-se a mesma dificuldade, pois há somente informações da outra empresa, agravada pelo fato de que a média anual de emissão de efluentes foi baseada em um único relatório mensal.

Apesar da pouca representatividade dos dados, mas considerando que as duas indústrias juntas são responsáveis por 100% da produção de efluentes tratados anaerobiamente na região e que ambas operaram em 1997, 1998 e 1999, optou-se por incluir estas empresas nas estimativas das emissões de metano. Para tanto, assumiu-se que ambas mantiveram um nível de operações constante durante este período. O cálculo da carga orgânica anual tratada encontra-se na Tabela 61 a seguir.

Tabela 61 - Carga Orgânica Industrial Tratada Anaerobiamente na Região de Jacarepaguá e Campo Grande

Ano	Tipo de Ind.	DQO Afluente /mês	DQO Afluente /ano	Vazão /mês	Vazão /ano	Vazão /ano	Carga Orgânica	Carga Org. Anual Total	
	Cervejaria	mg/l	mg/l	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	l	mg/ano x 10 <sup>3</sup>	kg DQO/ano	
1997	Relatórios de 2 meses	Indústria 1 *	5.818,00	69.816,00	255.424,50	3.065.094,00	3.065.094.000	213.992.602.704	213.992.603
	Relatório de 1 mês	Indústria 2	2.832,00	33.984,00	168.213,00	2.018.556,00	2.018.556.000	68.598.607.104	68.598.607
	<b>Total</b>								<b>282.591.210</b>
1998	Relatórios de 2 meses	Indústria 1	5.818,00	69.816,00	255.424,50	3.065.094,00	3.065.094.000	213.992.602.704	213.992.603
	Relatório de 1 mês	Indústria 2	2.832,00	33.984,00	168.213,00	2.018.556,00	2.018.556.000	68.598.607.104	68.598.607
	<b>Total</b>								<b>282.591.210</b>
1999	Relatórios de 2 meses	Indústria 1	5.818,00	69.816,00	255.424,50	3.065.094,00	3.065.094.000	213.992.602.704	213.992.603
	Relatório de 1 mês	Indústria 2 *	2.832,00	33.984,00	168.213,00	2.018.556,00	2.018.556.000	68.598.607.104	68.598.607
	<b>Total</b>								<b>282.591.210</b>

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do PROCON ÁGUA

\* os valores obtidos para este ano foram repetidos para os demais anos

A estimativa das emissões do tratamento de efluentes industriais baseou-se na seguinte fórmula:

Fórmula 6.3

PM	=	COT * FET * FCM * CPM
PM	=	Produção de Metano
COT	=	Carga Orgânica Total (obtida das tabelas 60 e 61)
FET	=	Fração do Efluente Tratado (dados das indústrias) <sup>54</sup>
FCM	=	Fator de Conversão de Metano (90%, valor default do IPCC)
CPM	=	Capacidade Máxima de Produção de Metano (0,25 kg CH <sub>4</sub> /kg DBO)

Agregando-se os valores das duas regiões, a produção de metano manteve-se em torno de 64 Gg ao ano em 1997, 1998 e 1999. Como as empresas queimam o metano e esta queima resulta na conversão de metano em dióxido de carbono, os valores de CO<sub>2</sub> emitidos se mantiveram em torno de 174 Gg ao ano em 1997, 1998 e 1999, conforme a Tabela 62 a seguir.

Tabela 62 – Produção de Metano e Conversão para CO<sub>2</sub> de Tratamento de Efluentes Industriais

Ano	Região	Carga Orgânica Total de Fonte Industrial (kg DQO/ano)	Fator de Conversão de Metano (default)	Capacidade Máxima de Produção de Metano	Produção de Metano (Gg CH <sub>4</sub> )	Conversão para CO <sub>2</sub> por Queima (Gg CO <sub>2</sub> )
1997	• Baía de Guanabara	404.211,28	0,9	0,25	0,09	0,25
	• Jacarepaguá	282.591.209,81	0,9	0,25	63,58	173,61
	• Campo Grande					
	<b>Total no Ano</b>	<b>282.794.411,20</b>			<b>63,67</b>	<b>173,86</b>
1998	• Baía de Guanabara	541.316,39	0,9	0,25	0,12	0,33
	• Jacarepaguá	282.591.209,81	0,9	0,25	63,58	173,61
	• Campo Grande					
	<b>Total no Ano</b>	<b>283.132.526,20</b>			<b>63,70</b>	<b>173,94</b>
1999	• Baía de Guanabara	209.001,84	0,9	0,25	0,05	0,13
	• Jacarepaguá	282.591.209,81	0,9	0,25	63,58	173,61
	• Campo Grande					
	<b>Total no Ano</b>	<b>282.800.211,65</b>			<b>63,63</b>	<b>173,74</b>

Fonte: Elaboração própria

Ressalte-se que os valores obtidos para os anos de 1997, 1998 e 1999 estão extremamente próximos devido à grande participação das indústrias da Região de Jacarepaguá e Campo Grande, cuja lacuna de informações criou a necessidade de se reproduzirem os mesmos valores ao longo do período, conforme anteriormente mencionado.

No que se refere ao lodo orgânico produzido pelo setor industrial como um todo, o Núcleo de Resíduos da Divisão de Controle Industrial da FEEMA informou que a maior parte produzida tem como destino final os aterros sanitários e, portanto, a emissão proveniente desta fonte está computada no item resíduos sólidos. Para uma pequena parte que é encaminhada para tratamento na CEDAE não há informação disponível.

<sup>54</sup> Como os dados utilizados referem-se à totalidade do efluente tratado (e não do efluente produzido) esta fração corresponde à unidade (igual a um)

## 7 - SÍNTESE DAS EMISSÕES DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO: VISÃO INTEGRADA DA CONTRIBUIÇÃO DO METANO E DO DIÓXIDO DE CARBONO

A análise da origem e do comportamento das emissões dos gases de efeito estufa da Cidade do Rio de Janeiro no período entre 1990 e 1998, pode ser realizada de duas formas: por combustíveis ou por setores.

A totalização por combustíveis atinge as fontes de emissão relacionadas à oferta de energia e de transportes, enquanto a totalização por setores incorpora as mudanças no uso do solo e florestas e o tratamento e disposição de resíduos.

A totalização por combustíveis em 1990, 1996 e 1998 é dada pelas tabelas a seguir:

Tabela 63 - Desagregação\* Por Setores Aproximada - Emissões de CO<sub>2</sub> em Gg de CO<sub>2</sub> - Ano de 1990

Combustíveis**	Geração Elétrica	Industrial	Transporte Rodoviário Individual	Transporte Rodoviário Coletivo e de Cargas	Residencial + Comercial	Refino de Petróleo	Transporte Aeroviário	Outros	Total
Óleo cru						105			105
Gasolina			1.287						1.287
Querosene de aviação							1.637		1.637
Gasolina de aviação							12		12
Querosene iluminante					56				56
Óleo diesel	2			1.687					1.689
Óleo combustível	215	919							1.134
GLP					454				454
Asfalto ***								0	0
Lubrificantes ***								67	67
Gás natural "seco"	0,4	522	0		11				533
Gás manufacturado		26			143				169
Álcool etílico anidro			0						0
Álcool etílico hidratado			0						0
Total grandes subsetores	217	1.467	1.287	1.687	664	105	1.649	67	7.143

\* - Desagregação feita com base no consumo de combustíveis

\*\* - Totais de combustíveis já descontado o consumo bunker

\*\*\* - Usos não energéticos

Tabela 64 - Desagregação\* Por Setores Aproximada - Emissões de CO<sub>2</sub> em Gg de CO<sub>2</sub>- Ano de 1996

Combustíveis**	Geração Elétrica	Industrial	Transporte Rodoviário Individual	Transporte Rodoviário Coletivo e de Cargas	Residencial + Comercial	Refino de Petróleo	Transporte Aeroviário	Outros	Total
Óleo cru						105			105
Gasolina			2.001						2.001
Querosene de aviação							837		837
Gasolina de aviação							3		3
Querosene iluminante					12				12
Óleo diesel	5			1.418					1.423
Óleo combustível	854	276							1.130
GLP					414				414
Asfalto ***								0	0
Lubrificantes ***								73	73
Gás natural "seco"	19	547	31		44				641
Gás manufacturado		4			115				119
Álcool etílico anidro			0						0
Álcool etílico hidratado			0						0
Total grandes subsectores	878	827	2.032	1.418	584	105	840	73	6.756

\* - Desagregação feita com base no consumo de combustíveis

\*\* - Totais de combustíveis já descontado o consumo bunker

\*\*\* - Usos não energéticos

Tabela 65 - Desagregação\* Por Setores Aproximada - Emissões de CO<sub>2</sub> em Gg de CO<sub>2</sub> - Ano de 1998

Combustíveis** e de Produtos de Petróleo	Geração Elétrica	Industrial	Transporte Rodoviário Individual	Transporte Rodoviário Coletivo e de Cargas	Residencial + Comercial	Refino de Petróleo	Transporte Aeroviário	Outros	Total
Óleo cru						107			107
Gasolina			1.898						1.898
Querosene de aviação							854		854
Gasolina de aviação							3		3
Querosene iluminante					3				3
Óleo diesel	7			1.795					1.802
Óleo combustível	949	248							1.197
GLP					422				422
Asfalto ***								ND	ND
Lubrificantes ***								ND	ND
Gás natural "seco"	100	543	114		58				815
Gás manufacturado		2			113				115
Álcool etílico anidro			0						0
Álcool etílico hidratado			0						0
Total grandes subsetores	1.056	793	2.011	1.795	596	107	857	0	7.215

\* - Desagregação feita com base no consumo de combustíveis

\*\* - Totais de combustíveis já descontado o consumo bunker

\*\*\* - Usos não energéticos

ND - Não disponíveis

Tabela 66 - Emissões de CO<sub>2</sub> (Gg CO<sub>2</sub>) por Combustível de 1990 até 1998

Emissão Total - Sem <i>Bunker</i>	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Óleo cru	105	89	104	112	103	109	105	105	107
Gasolina*	1.287	1.375	1.253	1.392	1.517	1.760	2.001	2.118	1.898
Querosene de aviação	1.637	852	611	376	881	986	837	1.103	854
Gasolina de aviação	12	5	4	3	2	2	3	4	3
Querosene iluminante	56	47	30	20	17	17	12	6	3
Óleo diesel	1.689	1.567	1.353	1.472	1.569	1.415	1.423	1.737	1.802
Óleo combustível	1.134	490	451	504	615	727	1.130	1.053	1.197
GLP	454	412	343	384	425	408	414	409	422
Asfalto ***	0	0	0	0	0	0	0	0	**
Lubrificantes ***	67	66	60	54	65	68	73	71	**
Gás natural "seco"	533	593	580	589	591	637	641	706	815
Gás manufacturado	169	168	153	138	131	122	119	113	115
Álcool etílico anidro	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Álcool etílico hidratado	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Emissões totais (sem <i>bunkers</i> )	7.143	5.664	4.942	5.044	5.915	6.252	6.756	7.427	7.215
Emissões <i>bunkers</i>	829	829	829	829	829	829	829	829	829

\* - Gasolina sem a mistura com o álcool anidro

\*\* - Dados não disponíveis

\*\*\* - Usos não energéticos

Fonte: Elaboração própria

Gg CO<sub>2</sub> = Unidade-padrão do IPCC, equivale a bilhões de gramas de CO<sub>2</sub> = mil toneladas de CO<sub>2</sub>

Tabela 67 - Emissões Fugitivas de Metano (Gg CH<sub>4</sub>) no Período de 1990 a 1999

		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
		Gás Natural	Uso Residencial/ Comercial	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04
Uso Industrial/ Utilidades	1,03		1,13	1,12	1,13	1,14	1,22	1,22	1,33	1,48	1,48
Transmissão e Distribuição	23,24		15,39	26,09	17,56	19,23	29,97	31,21	21,71	16,45	15,33
Gás Manufaturado	Uso Residencial/ Comercial	0,08	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,06
	Uso Industrial/ Utilidades	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
	Transmissão e Distribuição	3,14	1,88	2,94	1,73	1,79	2,42	2,42	1,46	1,01	0,89
Total		27,54	18,52	30,26	20,53	22,26	33,71	34,95	24,61	19,06	17,82

Fonte: Elaboração própria

Com relação aos setores, a visão integrada das emissões de gases de efeito estufa na Cidade do Rio de Janeiro está apresentada a seguir.

Verifica-se na tabela 68 e nas figuras 30 a 32 abaixo que a fermentação anaeróbia dos resíduos sólidos é a principal responsável pela emissão de CH<sub>4</sub>, correspondendo a cerca de 80 % do total contabilizado em 1990, chegando a 91% em 1998. A soma dos demais setores responsáveis apresentou uma queda significativa em 1998, em termos absolutos, se comparada aos anos de 1996 e 1990.

Tabela 68 - Emissões de Metano

	1990		1996		1998	
	Gg	%	Gg	%	Gg	%
Agropecuária	1,07	0,67	0,52	0,20	0,62	0,25
Resíduos sólidos	130	80,87	219,1	85,33	222,5	91,05
Esgotos domésticos e comerciais	2,15	1,34	2,19	0,85	2,20	0,90
Emissões fugitivas	27,54	17,13	34,95	13,61	19,06	7,80
Total	160,76	100	256,76	100	244,38	100

Fonte: Elaboração própria

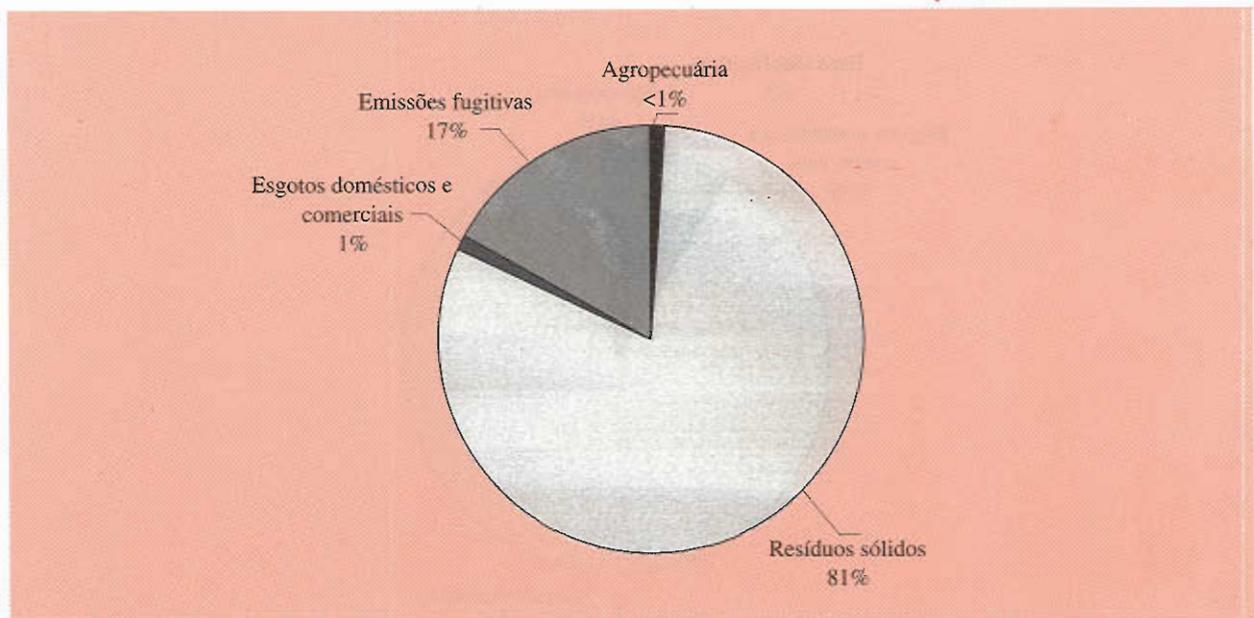


Figura 30 - Emissões de Metano - Participações Setoriais em 1990

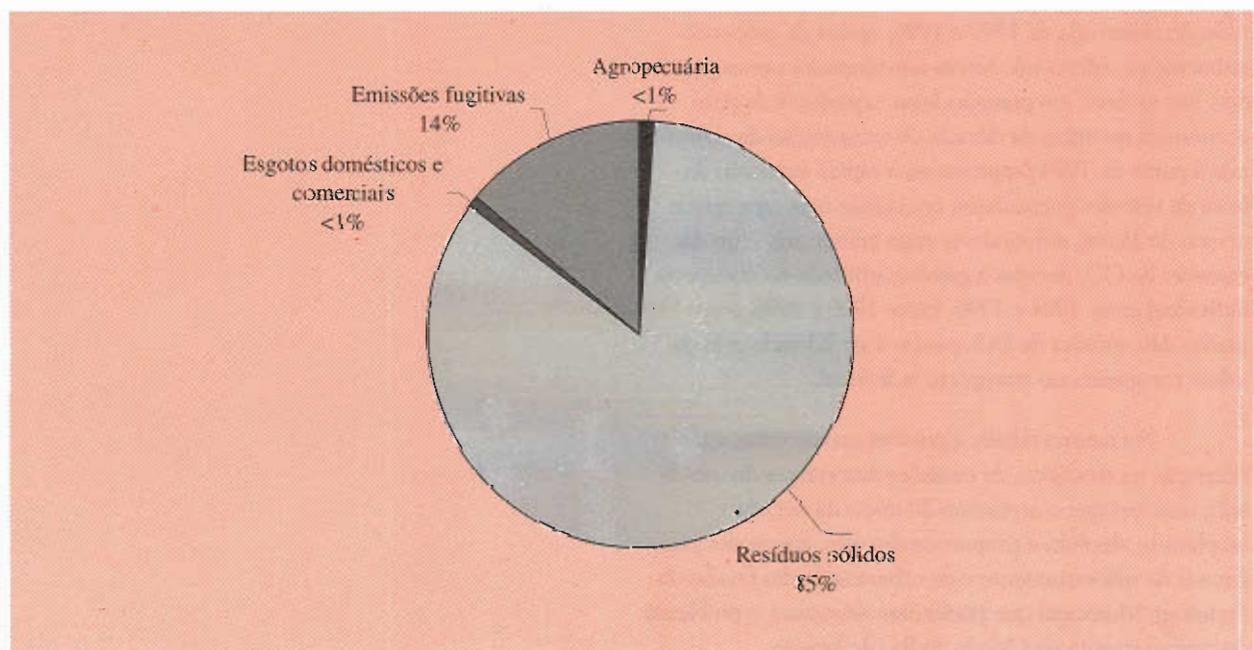


Figura 31 - Emissões de Metano - Participações Setoriais em 1996

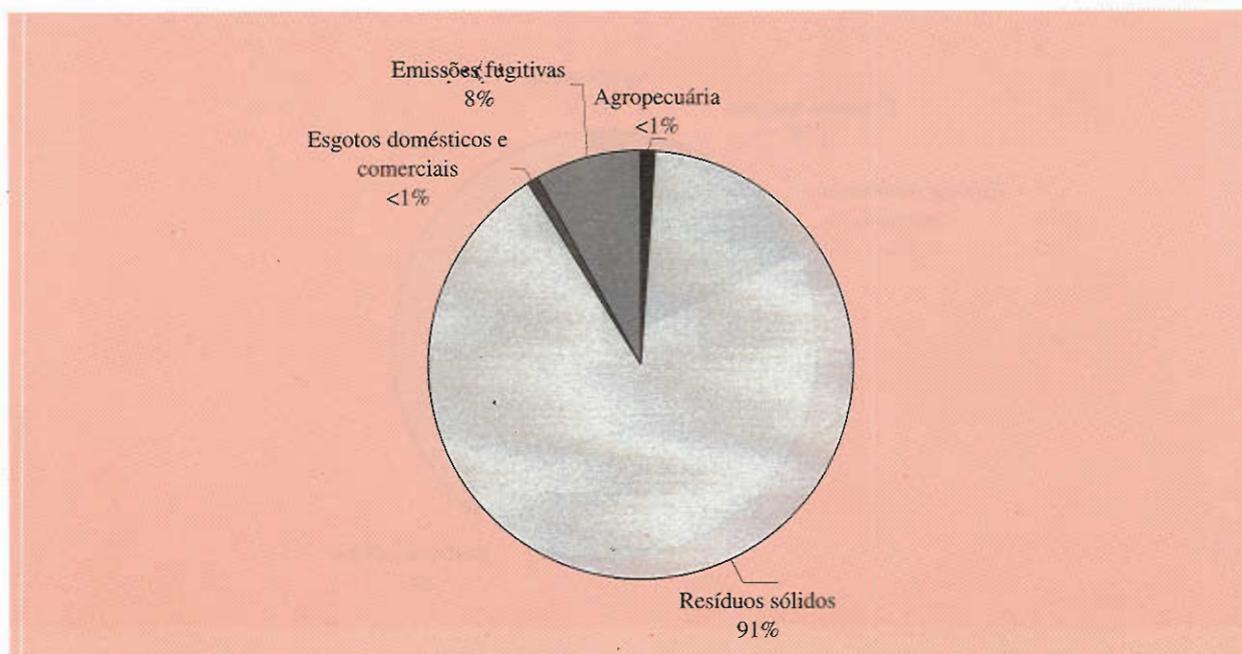


Figura 32 - Emissões de Metano - Participações Setoriais em 1998

Registra-se entre 1990 e 1996 um salto nas emissões de  $\text{CH}_4$  devidas aos resíduos sólidos, causado principalmente pelo aumento na produção, coleta e disposição de lixo em aterros.

Já a emissão de  $\text{CO}_2$  da queima de combustíveis fósseis, mostrada na tabela 69 e nas figuras 33 a 35, teve um crescimento absoluto entre 1996 e 1998 equivalente à redução observada de 1990 a 1996, apesar de proporcionalmente os valores não terem sido alterados nestes períodos. Isto se deve, em primeiro lugar, aos efeitos da crise econômica no início da década. A recuperação da economia a partir de 1994 propiciou uma rápida expansão da frota de veículos particulares, conjugada com uma queda no uso do álcool, refletindo-se num grande aumento das emissões de  $\text{CO}_2$  devidas à gasolina utilizada no transporte individual entre 1994 e 1996. Entre 1996 e 1998, o aumento das emissões de  $\text{CO}_2$  passou a ser liderado pela gasolina consumida no transporte individual.

Na mesma tabela, é possível acompanhar a manutenção na tendência de emissões decorrentes do uso do solo, uma vez que o acréscimo do início da década ampliou-se absoluta e proporcionalmente, apesar dos programas de reflorestamento e de urbanização das favelas da Prefeitura Municipal que pretendem minimizar o problema do desmatamento na Cidade do Rio de Janeiro.

Já as emissões dos efluentes industriais, fruto da queima do  $\text{CH}_4$  produzido nas estações de tratamento de esgoto das empresas, mantiveram-se no mesmo nível, assim como ocorreu com os resíduos sólidos após 1996, quando os incêndios nos locais de disposição final, que emitiam bastante, foram controlados.

Tabela 69 - Emissão de Dióxido de Carbono (Gg CO<sub>2</sub>)

	1990		1996		1998	
	Gg	%	Gg	%	Gg	%
Geração elétrica	217	2,86	878	12,29	1.056	13,78
Setor industrial	1.467	19,31	827	11,58	793	10,34
Transporte rodoviário individual	1.287	16,94	2.032	28,45	2.011	26,23
Transporte rodoviário coletivo e cargas	1.687	22,21	1.418	19,85	1.795	23,41
Residencial + comercial	664	8,74	584	8,18	596	7,77
Refino de petróleo	105	1,38	105	1,47	107	1,40
Transporte aeroviário	1.649	21,71	840	11,76	857	11,18
Outros grandes setores	67	0,88	73	1,02	-	0,00
Queima de combustíveis fósseis	7.143	94,04	6.757	94,59	7.215	94,11
Uso do solo	90	1,18	191	2,67	256	3,34
Efluentes industriais	174	2,29	174	2,44	174	2,27
Resíduos sólidos	189	2,49	21	0,30	21	0,28
Outras emissões	453	5,96	386	5,41	451	5,89
Total	7.596	100	7.143	100	7.666	100

Fonte: Elaboração própria

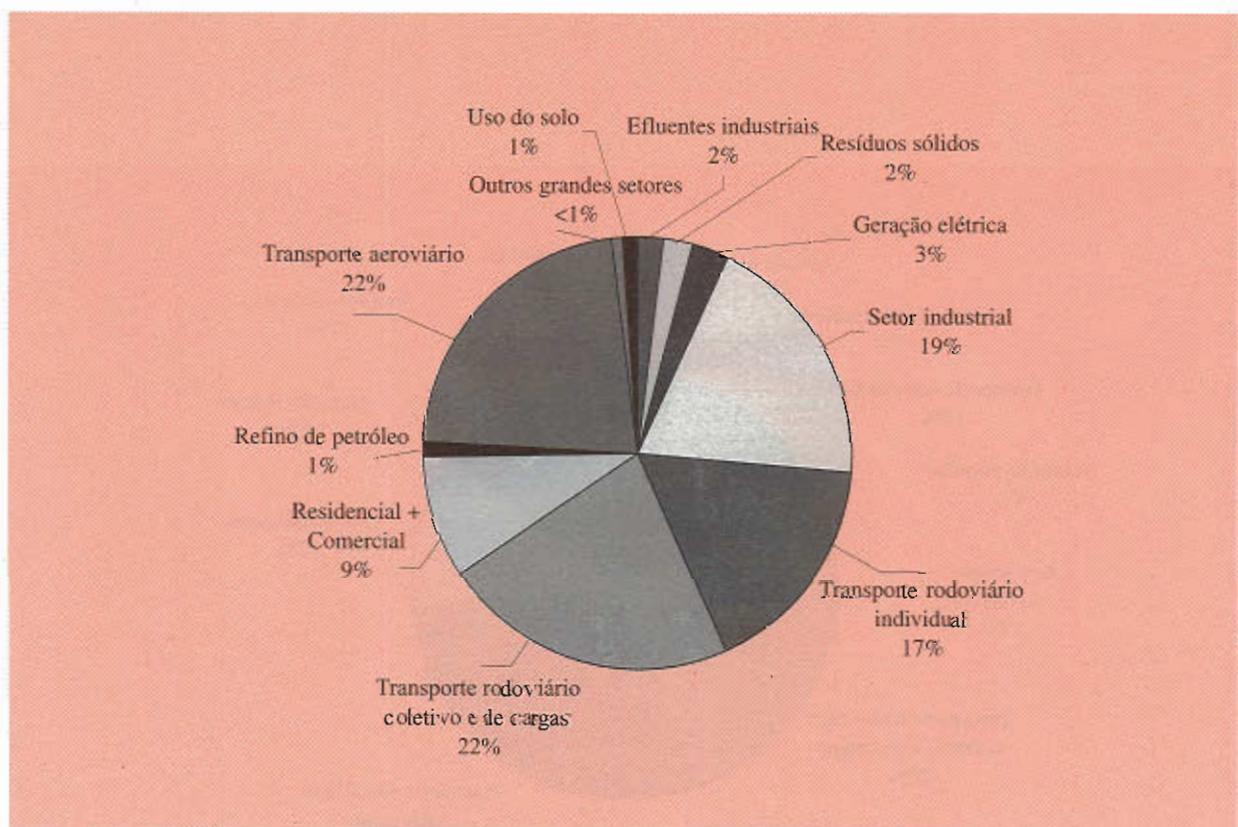


Figura 33 - Emissões de CO<sub>2</sub> - Participação Setorial - 1990

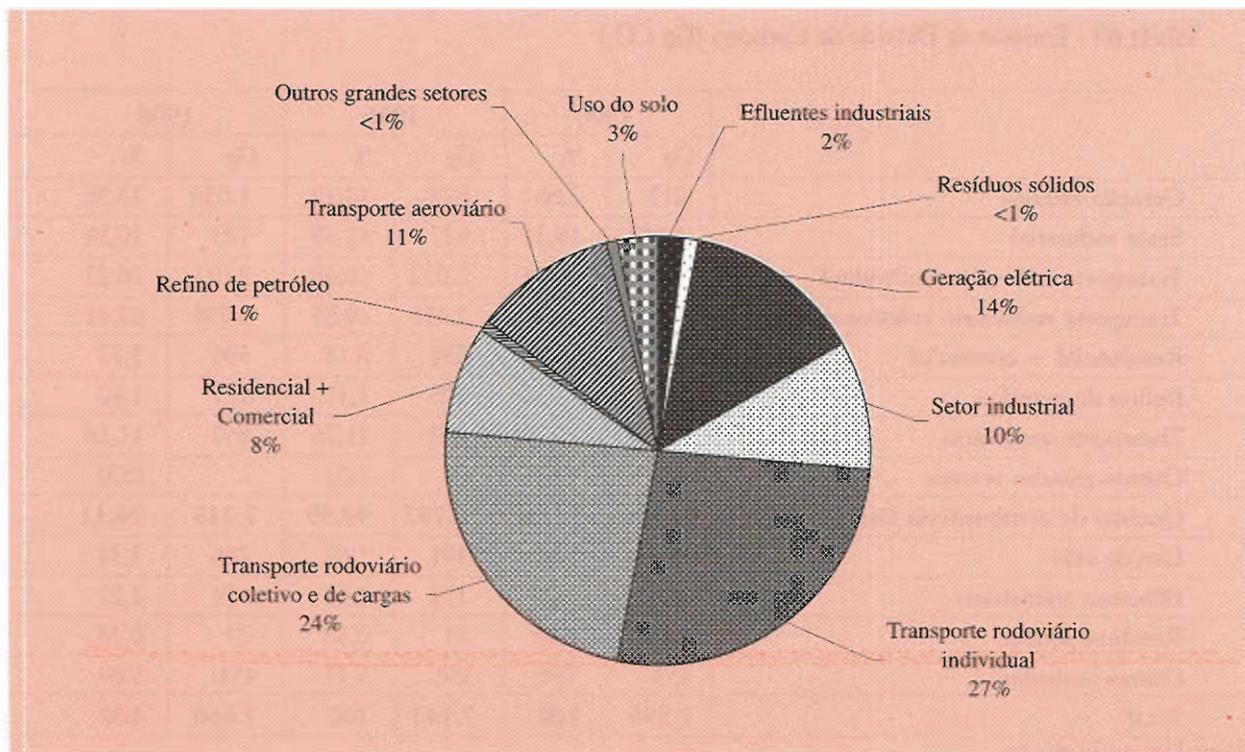


Figura 34 – Emissões de CO<sub>2</sub> - Participação Setorial – 1996

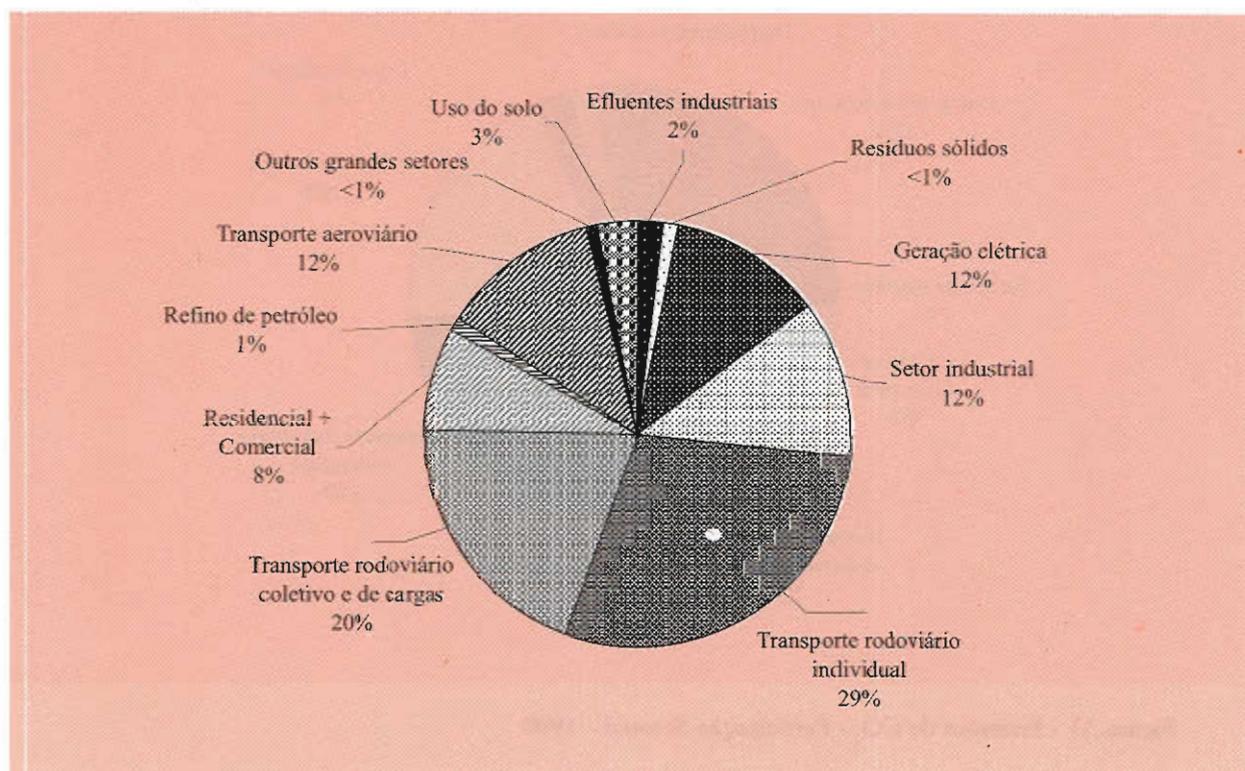


Figura 35 – Emissões de CO<sub>2</sub> - Participação Setorial – 1998

A queima de combustíveis fósseis (gasolina, óleo diesel, querosene de aviação, óleo combustível, gás natural e GLP, em ordem decrescente de importância) em diversos setores (transportes, geração elétrica, industrial, residencial/comercial, em ordem decrescente de importância) é a principal fonte de emissões de CO<sub>2</sub> no município.

De acordo com a metodologia do IPCC, as emissões de CH<sub>4</sub> e de CO<sub>2</sub> podem ser adicionadas levando-se em conta seu potencial de aquecimento global (GWP)<sup>55</sup>. Isto se faz através da utilização de um coeficiente de equivalência onde, para os próximos 100 anos, 21 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalem a uma tonelada de CH<sub>4</sub>. O resultado das emissões totais de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, expressas em CO<sub>2</sub> eq, são

apresentadas na tabela 70 e figuras 36 a 38. Registra-se desde o início da década um aumento da importância do CH<sub>4</sub> em relação ao CO<sub>2</sub>, com ligeira queda entre 1996 e 1998. Apesar das emissões de CH<sub>4</sub> jamais terem superado as emissões de CO<sub>2</sub> no total, o principal emissor sempre foi a disposição de resíduos sólidos.

Ao considerar-se o setor de transportes como único, ou seja, abrangendo os três itens na tabela (rodoviário coletivo e de cargas, rodoviário individual e o aeroviário), este seria o principal emissor em 1990, seguido dos resíduos sólidos. No decorrer da década estas posições foram alteradas.

Tabela 70 - Emissões Totais Usando GWP (CO<sub>2</sub> Eq)

		1990		1996		1998	
		Gg	%	Gg	%	Gg	%
EMISSIONES DE METANO	Agropecuária	22	0,20	11	0,09	13	0,10
	Resíduos sólidos	2.730	24,88	4.601	36,71	4.673	36,51
	Efluentes domésticos e comerciais	45	0,41	46	0,37	46	0,36
	Emissões fugitivas	578	5,27	734	5,86	400	3,13
	Subtotal	3.376	30,77	5.392	43,02	5.132	40,10
EMISSIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO	Geração elétrica	217	1,98	878	7,00	1.056	8,25
	Industrial	1.467	13,37	827	6,60	793	6,20
	Transporte rodoviário individual	1.287	11,73	2.032	16,21	2.011	15,71
	Transporte rodoviário coletivo e de cargas	1.687	15,38	1.418	11,31	1.795	14,03
	Residencial + comercial	664	6,05	584	4,66	596	4,66
	Refino de petróleo	105	0,96	105	0,84	107	0,84
	Transporte aeroviário	1.649	15,03	840	6,70	857	6,70
	Outros grandes setores	67	0,61	73	0,58	-	0,00
	Uso do solo	90	0,82	191	1,52	256	2,00
	Efluentes industriais	174	1,59	174	1,39	174	1,36
	Resíduos sólidos	189	1,72	21	0,17	21	0,16
	Subtotal	7.596	69,23	7.143	56,98	7.666	59,90
	Total	10.972	100	12.535	100	12.798	100

Fonte: Elaboração própria

<sup>55</sup> - Global Warming Potential

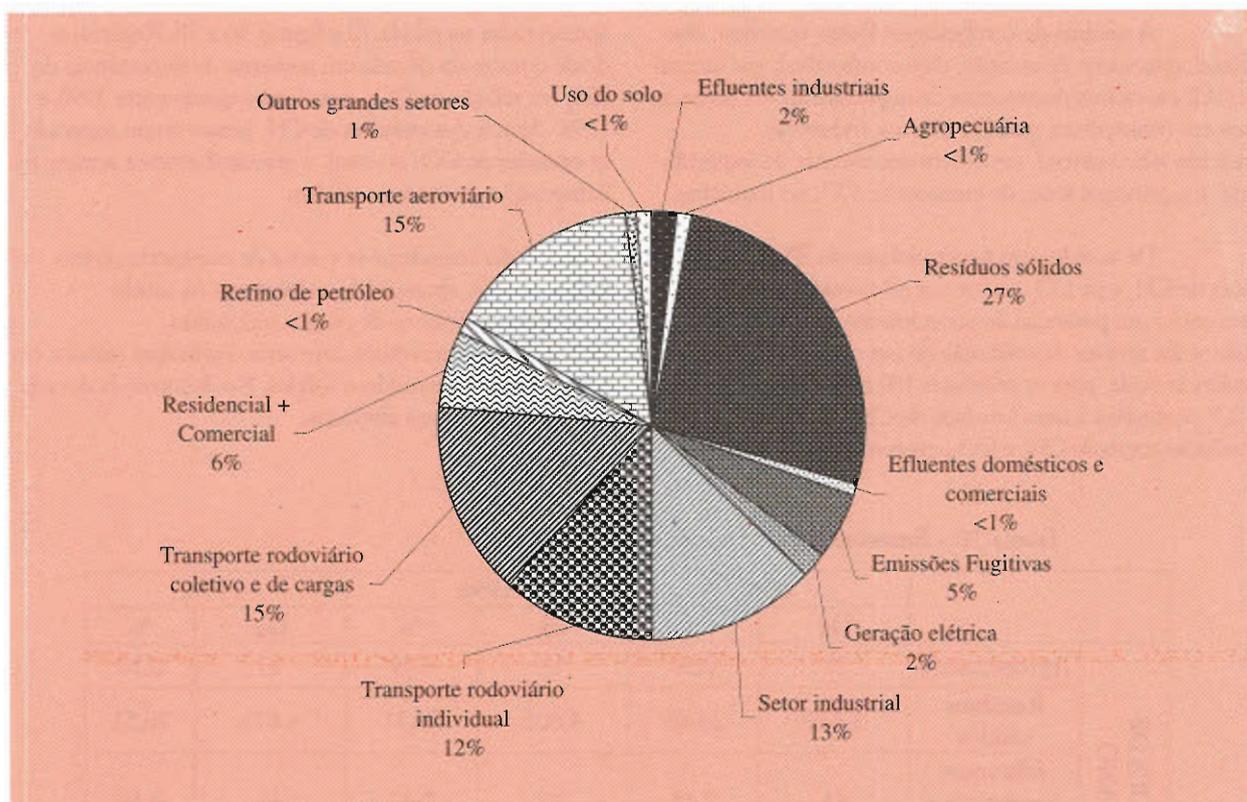


Figura 36 - Emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> em GWP - Participação Setorial - 1990

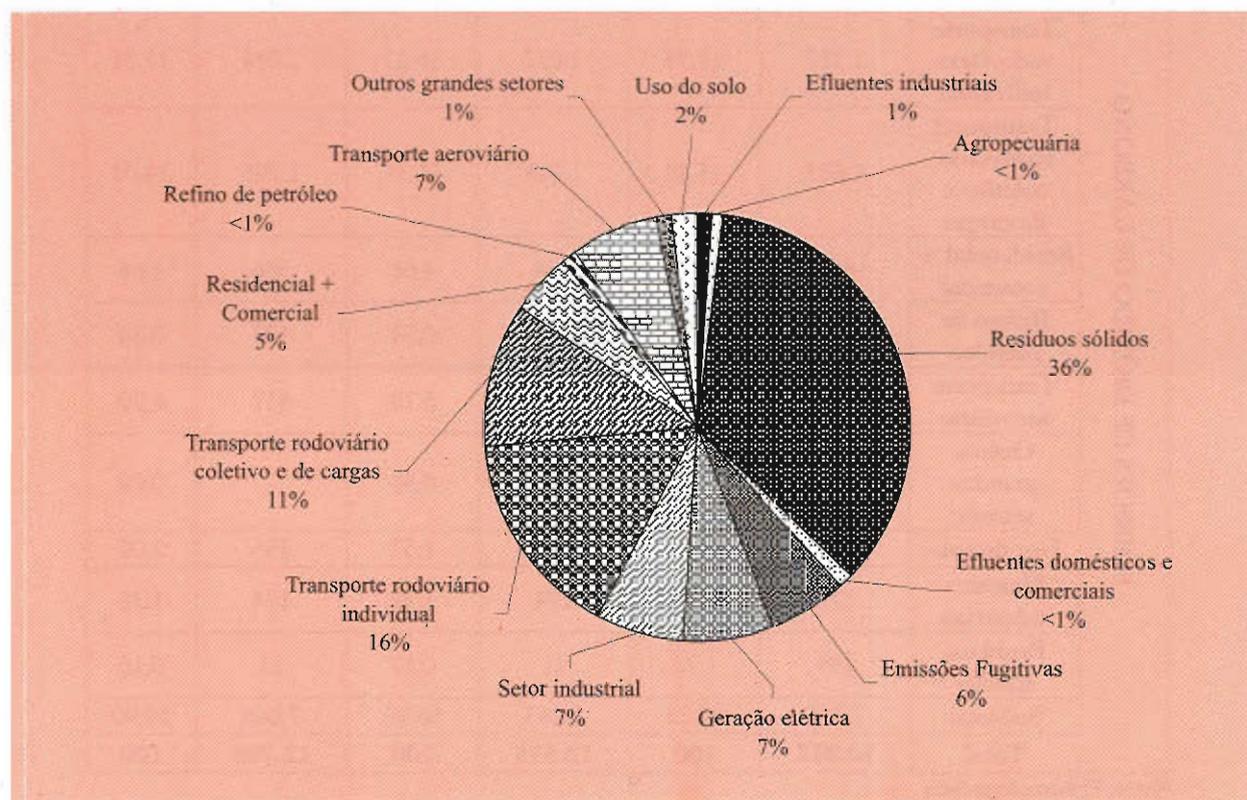


Figura 37 - Emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> em GWP - Participação Setorial - 1996

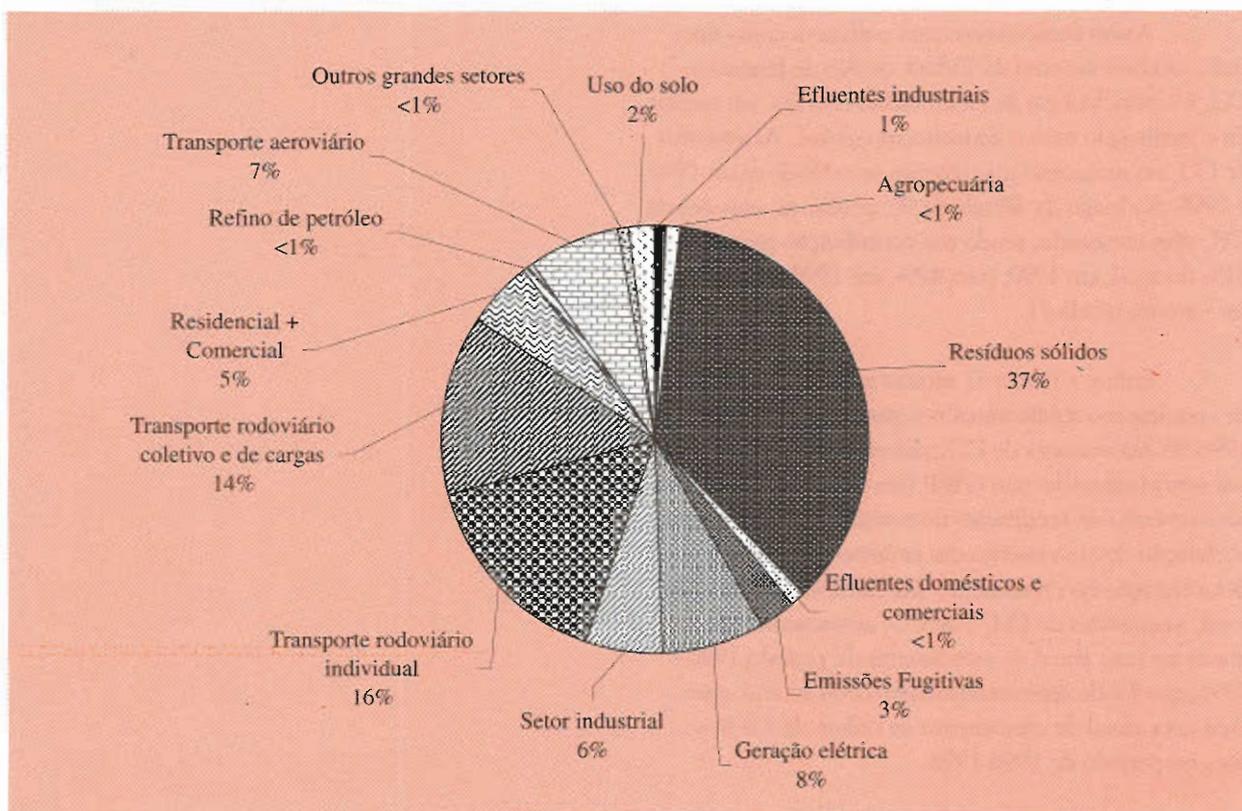


Figura 38 - Emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> em GWP - Participação Setorial – 1998

Tabela 71 - Emissões Totais de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> em GWP

	1990		1996		1998	
	Gg CO <sub>2</sub> Eq	%	Gg CO <sub>2</sub> Eq	%	Gg CO <sub>2</sub> Eq	%
<b>Total CH<sub>4</sub></b>	3.376	31	5.392	43	5.132	40
<b>Total CO<sub>2</sub></b>	7.596	69	7.143	57	7.666	60
<b>Total</b>	10.972	100	12.535	100	12.798	100

Fonte: Elaboração própria

Assim como ocorre para o planeta como um todo, também no caso da Cidade do Rio de Janeiro o  $\text{CO}_2$  é o principal gás de efeito estufa emitido, em termos de contribuição para o aquecimento global. As emissões de  $\text{CO}_2$  no município mantiveram-se estáveis entre 1990 e 1998. Ao longo da década de 90, porém, as emissões de  $\text{CH}_4$  vêm crescendo, tendo sua contribuição passado de 31% do total, em 1990, para 40%, em 1998, como pode ser visto na tabela 71.

Enfim, a tabela 72 mostra as taxas geométricas de crescimento médio anual nos períodos 1990-96 e 1996-98 das emissões de  $\text{CO}_2$ , das emissões de  $\text{CH}_4$  e de sua soma utilizando-se o GWP (em  $\text{CO}_2$  Eq). Verifica-se uma reversão de tendências no período 1996-98, com a aceleração do crescimento das emissões de  $\text{CO}_2$  e uma desaceleração no crescimento das emissões de  $\text{CH}_4$ . No total, as emissões de  $\text{CH}_4$  e de  $\text{CO}_2$  apresentaram uma queda na taxa anual de crescimento do período 1990-1996, que foi de aproximadamente 2,3% ao ano, para uma taxa anual de crescimento da ordem de 1,0 % ao ano, no período de 1996-1998.

Tabela 72 - Taxas Geométricas de Crescimento Médio Anual (% a.a.)

	1990/96	1996/98	1990/98
Emissão de metano	8,12	-2,44	5,37
Emissão de dióxido de carbono	-1,02	3,60	0,11
Emissões totais usando GWP	2,25	1,04	1,94

Fonte: Elaboração própria

**8.1 - Emissões da Cidade do Rio de Janeiro  
X Emissões Nacionais**

Os dados de consumo de energia e de emissões de CO<sub>2</sub> nacionais foram retirados da Internet, diretamente da página da Comunicação Nacional <sup>56</sup>. Deve-se lembrar no entanto que o trabalho da Comunicação Nacional não se encontra ainda consolidado, podendo então ocorrer modificações nas emissões totais do país na sua versão final, sem previsão de data para ser publicada.

A tabela 73 a seguir mostra a comparação das emissões das fontes fósseis líquidas e gasosas no sistema energético brasileiro e do município <sup>57</sup>.

**Tabela 73 - Emissões de CO<sub>2</sub> (Gg de CO<sub>2</sub>) de Fontes Fósseis Líquidas e Gasosas do Município e no Sistema Energético Brasileiro.**

	1990	1991	1992	1993	1994
<b>Município*</b>	7.143	5.664	4.942	5.044	5.915
<b>Brasil**</b>	164.124	168.601	173.815	181.375	190.318
<b>%Município/Brasil</b>	4,35%	3,36%	2,84%	2,78%	3,11%

\*Fósseis Líquidos: óleo cru, gasolina, querosene de aviação, gasolina de aviação, querosene iluminante, óleo diesel, óleo combustível, GLP, lubrificantes e asfalto. Fósseis Gasosos: gás natural seco e gás manufacturado.

\*\*Fósseis Líquidos: óleo cru, líquidos de gás natural, gasolina, querosene de aviação, querosene iluminante, óleo diesel, óleo combustível, GLP, nafta, asfalto, lubrificantes, coque de petróleo e outros produtos não energéticos de petróleo. Fósseis Gasosos: gás natural seco e gás de refinaria.

Fonte: Elaboração própria e Comunicação Nacional.

A tabela acima mostra que a participação percentual no consumo de combustíveis fósseis no município e as respectivas emissões de CO<sub>2</sub> acompanham a participação da população do município com relação ao país.

Por exemplo, para o ano de 1991, a população brasileira era de 146.825.475 habitantes (IBGE), enquanto a população do município era de 5.480.768 habitantes (IPP), ou seja 3,7% do total do país. Este valor se aproxima da participação percentual do município com relação ao país no consumo de fósseis líquidos e gasosos desde 1990 até 1994 variando de 4,35% a 3,11%.

Quanto às emissões de CH<sub>4</sub> oriundas dos resíduos sólidos, com base nos fatores usados pela Comunicação Nacional <sup>58</sup>, em 1990 e 1994 o país emitiu 617,95 Gg e 676,89 Gg, respectivamente. Em 1990, as

emissões da Cidade do Rio de Janeiro foram de 129,2 Gg, configurando cerca de 20% das emissões brasileiras no setor, o que pode ser explicado pela reunião de alguns fatores, dentre eles a geração per capita de resíduos maior que a média nacional, com composição mais rica em produtos que geram carbono orgânico degradável. Além disto, os principais vazadouros apresentam células com altura maior que a média nacional.

Apesar do cálculo não ter sido feito para 1994, a proporção deve ser mantida, uma vez que as modificações quanto à destinação final dos resíduos sólidos só foram implantadas em 1995. Aliás, estas medidas sanitárias indispensáveis a todos os municípios podem elevar as emissões de CH<sub>4</sub>, como ocorreu na Cidade do Rio de Janeiro, onde o projeto que tornou o vazadouro em aterro não pode contemplar um sistema de drenagem total de biogás e sua queima, uma vez que as células já fechadas são de difícil manejo.

<sup>56</sup> [http://www.mct.gov.br/clima/comunic\\_old/energia.htm](http://www.mct.gov.br/clima/comunic_old/energia.htm)

<sup>57</sup> Não foram consideradas as emissões das fontes fósseis sólidas, tais como carvão metalúrgico, carvão vapor, alcatrão e coque, pois os mesmos não são consumidos na Cidade do Rio de Janeiro.

<sup>58</sup> Disponível na Internet em <http://www.mct.gov.br/clima/residuo7/htm>

## 8.2 - Emissões da Cidade do Rio de Janeiro

### X Emissões do Estado do Rio de Janeiro

Os dados do consumo de energia e combustíveis para o Estado do Rio de Janeiro <sup>59</sup> foram retirados do Balanço Energético do Estado 1980 – 1997.

A tabela 74 a seguir mostra o consumo energético de derivados de petróleo do Estado do Rio de Janeiro, bem como o da Cidade do Rio de Janeiro. Já a tabela 75 mostra as emissões de CO<sub>2</sub> do consumo de derivados de petróleo no Estado e no Município.

Tabela 74 - Consumo Energético Derivados de Petróleo (10<sup>3</sup> tEP) - Cidade\* do Rio de Janeiro e Estado\*\* do Rio de Janeiro - 1990 até 1997

Ano	Município	Estado	Município/Estado (%)
1990	2.539	6.678	38,0%
1991	2.097	6.378	32,9%
1992	1.873	6.247	30,0%
1993	1.899	6.358	29,9%
1994	2.182	6.646	32,8%
1995	2.288	6.877	33,3%
1996	2.449	7.218	33,9%
1997	2.656	7.335	36,2%

\* Fósseis Líquidos: óleo cru, gasolina, querosene de aviação, gasolina de aviação, querosene iluminante, óleo diesel, óleo combustível, GLP, lubrificantes e asfalto. Fósseis Gasosos: gás natural seco e gás manufacturado.

\*\* Inclui os seguintes derivados: gasolina, querosene, óleo diesel, óleo combustível, GLP, gás natural (seco e úmido), gás manufacturado, gás de refinaria e produtos não energéticos derivados de petróleo (como no Balanço Energético do Estado não existe uma separação dos produtos não energéticos, consideramos 1 a fração de carbono estocado).

Fonte: Elaboração própria

<sup>59</sup> Um pequeno ajuste teve que ser feito para possibilitar a comparação dos dados de consumo de energia do Estado com o consumo de energia do município. Isso foi feito pois o Balanço Energético do estado considera o conteúdo energético dos combustíveis com base no seu poder calorífico superior (PCS) e para o IPCC a conversão para a unidade de energia deve ser feita multiplicando-se o consumo de combustível pelo seu poder calorífico inferior (PCI), pois esta seria a energia efetivamente aproveitável do combustível. Os fatores de correção para transformar o PCS em PCI, usados pela Comunicação Nacional, são 0,95 para os combustíveis sólidos e líquidos e 0,90 para os combustíveis gasosos. Para o ano de 1980 os combustíveis gasosos representavam menos que 1% do consumo total de energia em tep. Já para 1997 este valor está abaixo de 7%. Com isso o fator de correção para transformar o PCS em PCI para o Balanço Energético do Estado será de 0,95 (já que em 1997 quando a participação do gás é maior, o fator médio fica próximo deste valor).

Tabela 75 - Emissões de CO<sub>2</sub> do Consumo de Derivados de Petróleo\* (GgCO<sub>2</sub>) - Cidade do Rio de Janeiro e Estado do Rio de Janeiro - 1990 até 1997

Ano	Município	Estado**	Município/Estado (%)
1990	7.281	20.020	36,4%
1991	6.022	18.966	31,8%
1992	5.368	18.413	29,2%
1993	5.536	18.703	29,6%
1994	6.265	20.076	31,2%
1995	6.572	20.237	32,5%
1996	7.118	21.248	33,5%
1997	7.714	21.595	35,7%

\* Os derivados de petróleo aqui considerados são os mesmos da tabela 74 mostrada anteriormente.

\*\* As emissões do estado foram calculadas com os mesmos fatores de emissão utilizados para o município. Os dados de consumo de combustíveis foram os mesmos utilizados pela tabela 74 acima.

Fonte: Elaboração própria

Observa-se que o município tem uma participação percentual maior no consumo energético de derivados de petróleo com relação ao estado que nas emissões de CO<sub>2</sub>. Isto é devido ao estado consumir maior quantidade de combustíveis com menores conteúdos energéticos e maiores coeficientes de emissão de carbono por unidade de energia consumida.

Para o consumo setorial foi feita a comparação somente com o setor de transportes rodoviários. A justificativa para tal é que o consumo desse setor variou de 1990 a 1998 de 40,9% a 50,4% das emissões dos combustíveis fósseis no município. A tabela 76 mostra o consumo energético do setor de transportes rodoviário da Cidade do Rio de Janeiro<sup>60</sup>, bem como do Estado do Rio de Janeiro. Na sequência, a tabela 77 mostra a comparação das emissões dessa categoria de transportes no município e no estado.

<sup>60</sup> O valor de consumo energético do setor de transportes rodoviário para o município foi estimado segundo critério mostrado no item 2, somando-se os itens de transporte rodoviário individual e de transporte rodoviário coletivo e de carga.

Tabela 76 - Consumo Energético do Setor de Transportes Rodoviário (10<sup>3</sup>tep) - Cidade\* do Rio de Janeiro e Estado\*\* do Rio de Janeiro e - 1990 até 1997.

Ano	Município	Estado	Município/Estado (%)
1990	1.388	2.447	56,7%
1991	1.340	2.565	52,2%
1992	1.190	2.355	50,5%
1993	1.262	2.435	51,8%
1994	1.340	2.606	51,4%
1995	1.371	2.867	47,8%
1996	1.436	3.120	46,0%
1997	1.538	3.170	48,5%

\* Fontes de Energia: óleo diesel, gasolina (separado do álcool anidro), álcool etílico hidratado e álcool etílico anidro e gás natural veicular.

\*\* Fontes de Energia: óleo diesel, gasolina automotiva (mistura com álcool anidro), gás natural (veicular) e álcool etílico hidratado. Dados retirados do Balanço Energético do Estado e multiplicados pelo fator 0,95.

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 77 - Emissões de CO<sub>2</sub> do Setor de Transportes Rodoviário (GgCO<sub>2</sub>) - Cidade do Rio de Janeiro e Estado\* do Rio de Janeiro - 1990 até 1997.

Ano	Município	Estado	Município/Estado (%)
1990	2.976	4.871	61,1%
1991	2.942	5.561	52,9%
1992	2.607	4.919	53,0%
1993	2.881	5.370	53,6%
1994	3.122	6.307	49,5%
1995	3.215	7.803	41,2%
1996	3.455	9.686	35,7%
1997	3.907	10.552	37,0%

\* Cálculo com base no consumo setorial rodoviário do Balanço Energético do Estado. As emissões do estado foram calculadas com os mesmos fatores de emissão utilizados para o município.

Fonte: Elaboração própria.

### 8.3 - Emissões da Cidade do Rio de Janeiro X Emissões de Outras Cidades

O inventário de emissões do município foi ainda comparado ao inventário de emissões de outras cidades que participam do programa do Cidades na Proteção do Clima (CCP - Cities for Climate Protection) do ICLEI <sup>61</sup> (Conselho Internacional para as Iniciativas Ambientais Locais).

Os dados dos inventários das outras cidades foram retirados da publicação do ICLEI. A comparação entre as emissões de algumas das cidades participantes do projeto pode ser vista da tabela 78.

Tabela 78 - Emissões de CO<sub>2</sub> (Gg CO<sub>2</sub>), População e Emissão per capita da Cidade do Rio de Janeiro e outras Cidades participantes do Programa CCP/ICLEI.

Município	Ano Base <sup>i</sup>	Emissões de CO <sub>2</sub> (GgCO <sub>2</sub> eq) <sup>ii</sup>	População <sup>iii</sup> (nº habitantes)	Emissão per capita (ton CO <sub>2</sub> eq/hab)
Rio de Janeiro	1990	10.972	5.435.942	2,0
Rio de Janeiro	1998	12.798	5.633.407	2,3
Cidades Médias Americanas (média) <sup>iv</sup>	1990	9.953	443.612	22,4
Los Angeles, EUA	1990	32.133	3.485.398	9,2
Chicago, EUA	1990	22.848	2.783.726	8,2
Cidades Médias Canadenses (média) <sup>v</sup>	1990	5.050	375.505	13,4
Toronto (área metropolitana), Canadá	1988	28.300	3.898.933	7,3
Cidades Médias Européias (média) <sup>vi</sup>	Vários anos	4.520	468.531	9,6
Praga, República Tcheca	1990	9.123	1.215.771	7,5
Berlim, Alemanha	1990	30.926	3.471.418	8,9
Roma, Itália	1993	13.923	2.693.383	5,2

<sup>i</sup> Ano Base do Inventário de Gases de Efeito Estufa da Cidade em questão.

<sup>ii</sup> 1 Gg CO<sub>2</sub> = 1.000 ton CO<sub>2</sub>

<sup>iii</sup> Dado de população da Cidade Rio de Janeiro do Anuário Estatístico do IPP 1995-97. Dados de população cidades americanas retirados da internet página do U.S. Census Bureau (<http://www.census.gov>). Dados de população das cidades européias <http://www.iclei.org/co2/citriact.htm> e da Enciclopédia Britannica <http://www.britannica.com>. População das cidades canadenses da página do Canadian Statistics <http://www.statcan.ca>.

<sup>iv</sup> As cidades americanas consideradas são as seguintes: Atlanta, Austin, Albuquerque, Denver, Miami, Minneapolis, Portland, Oakland, San Jose, Tucson. A população dessas cidades variam de 358 mil a 782 mil habitantes.

<sup>v</sup> As cidades canadenses consideradas são as seguintes: Toronto, Edmonton, Hamilton, Regina, Sudbury, Vancouver, Ottawa. A população dessas cidades varia de 92 mil a 635 mil habitantes.

<sup>vi</sup> As cidades européias consideradas são as seguintes: Copenhagen, Dinamarca; Helsinki, Finlândia; Graz, Áustria; Linz, Áustria; Dusseldorf, Alemanha; Hannover, Alemanha; Saarbrücken, Alemanha; Bolonha, Itália; Amsterdam, Holanda; Gdansk, Polônia; Stocolmo, Suécia; Göteborg, Suécia; Zurich, Suíça; Lviv, Ucrânia.

Fonte: Elaboração própria e ICLEI (1997).

Pode-se observar que as emissões per capita da Cidade do Rio de Janeiro são muito inferiores as das demais cidades que participam do programa Cidades para Proteção do Clima (CCP - Cities for Climate Protection) do ICLEI. Mas este resultado, no entanto, não deve servir como justificativa para que projetos de redução de emissões de gases de efeito estufa não sejam incentivados pela Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro. Segundo estudos realizados junto às cidades dos

países em desenvolvimento, a proteção do clima leva também a soluções para muitos outros problemas a nível local. Essas cidades podem integrar as estratégias de abatimento de gases de efeito estufa nas suas soluções para sérios problemas tais como lixo, saneamento e poluição atmosférica, (ações de combate ao crescimento desordenado, contenção de encostas e prevenção de acidentes, como reflorestamento).

<sup>61</sup> ICLEI (International Council for Local Environmental Initiatives). <http://www.iclei.org>

- IPCC(1996) – Greenhouse Gas Inventory Reporting Instructions – IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol 1, 2, 3 – IPCC, IEA, OECD, 1996.
- Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT. <http://www.mct.gov.br/clima/Default.htm>.
- Comunicação Nacional do Brasil. [http://www.mct.gov.br/clima/comunic\\_old/natcomb.htm](http://www.mct.gov.br/clima/comunic_old/natcomb.htm)
- Balanço Energético do Estado do Rio de Janeiro 1980/1997. NUSEG, Rio de Janeiro, 1997.
- BEN, 1996 - Balanço Energético Nacional/ Ministério das Minas e Energia. <http://www.mme.gov.br/sen/ben/todoben.htm>.
- Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMAC 1999) – Avaliação Preliminar do Potencial de Fixação de Carbono no Programa de Reflorestamento da Cidade do Rio de Janeiro
- CETESB (1998) - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - Inventário Nacional de Emissões de Metano pelo Manejo de Resíduos;
- FEEMA (1997/98/99) – Fundação Estadual de Engenharia de Meio Ambiente – Programa de Autocontrole de Efluentes Líquidos (PROCON ÁGUA).
- Lima e Silva, P. P.; Guerra A. T. J.; Mousinho, P.; Bueno, C.; Almeida, F. G.; Malheiros, T.; Souza Jr, A. B. “Dicionário Brasileiro de Ciências Ambientais”. Editora Thex. Rio de Janeiro, 1999.
- ICLEI. “Local Government Implementation of Climate Protection – Report to the United Nations”. Canada, 1997.
- Kemp, D.D. “Global Environment Issues”, 1994.
- Amorim, H. B. , Inventário das Florestas Nativas dos Estados do Rio de Janeiro e do Espírito Santo, Brasília, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1984), 204 p. ilustr..
- Clevelário Jr. et al, Variations in the Mass of Some Components of a Tropical Rainforest in a Small Watershed, Estudo do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, MG – BR (1999).
- Laurance, W. , Fearnside, P. et al , Relationship Between Soils and Amazon Forest Biomass: a landscape study in Forest Ecology and Management 118 (1999) 127 – 138.
- Martinelli, Moreira et al, Incertezas Associadas às Estimativas de Biomassa em Florestas Tropicais: o exemplo de uma floresta situada no estado de Rondônia, in Anais do Seminário Emissão X Seqüestro de CO<sub>2</sub> – Cia. Vale do Rio Doce (1994).
- Matos, D. S. “A Ecologia do Fogo na Floresta da Tijuca”, Relatório Técnico, FAPERJ, março de 1999.
- Projeto FLORAM, in Revista Estudos Avançados, Volume 4 – Número 9 da Universidade de São Paulo (1990)
- Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Avaliação Preliminar do Potencial de Fixação de Carbono no Programa de Reflorestamento da Cidade do Rio de Janeiro (1999).
- Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Mapeamento e Caracterização do Uso das Terras e Cobertura Vegetal no Município do Rio de Janeiro entre os anos de 1984 e 1999 SMAC 2000”
- Fundação CIDE. “Anuário Estatístico do Rio de Janeiro – 1998”. <http://www.cide.rj.gov.br/anu98.html>
- Anais do 12º Simpósio sobre Manejo de Pastagem. Tema: O Capim Colonião, publicado pela Fundação dos Estudos Agrários Luiz de Queirós (FEALQ/UNESP).
- Araújo, D. S. e Crude Maciel, N., Os Manguezais do Recôncavo da Baía de Guanabara, Cadernos FEEMA, Série Técnica 10/79.
- COMLURB, Análise do lixo carioca. 1999.
- FURNAS Centrais Elétricas S. A. , Usina Termelétrica de Santa Cruz, Relatórios Anuais (1998, 1997 e 1996).
- FURNAS Centrais Elétricas S. A. , Usina Termelétrica de Santa Cruz, Setor de Estatística e Apoio Operacional-Retrospecto Geral (referente a 1967 a 1996).

