



**João Paulo Andrade Ferreira de Carvalho**

**Gerenciamento de emissões de gases de efeito estufa do Campus Gávea da PUC-Rio: Inventário de Emissões e proposta de mitigação.**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental (opção Profissional).

Orientador: Prof. Celso Romanel

Co-orientadora: Prof. Ana Ghislane H. Pereira van Elk

Rio de Janeiro, 21 de fevereiro de 2014



**João Paulo Andrade Ferreira de Carvalho**

**Gerenciamento de emissões de gases de efeito estufa  
do Campus Gávea da PUC-Rio: Inventário de emissões e  
proposta de mitigação.**

Dissertação apresentada como requisito parcial  
para obtenção do título de Mestre (opção  
Profissional) pelo Programa de Pós-graduação  
em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio.  
Aprovado pela Comissão Examinadora abaixo  
assinada.

**Celso Romanel**

Presidente / Orientador

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

**Ana Ghislane H. Pereira van Elk**

Co-orientadora

Departamento de Engenharia Sanitária e Meio Ambiente - UERJ

**Luiz Felipe Guanaes Rego**

Departamento de Geografia - PUC-Rio

**Carolina Burle Schmidt Dubeux**

UFRJ

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial de Pós-Graduação  
do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 21 de fevereiro de 2014.

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

### **João Paulo Andrade Ferreira de Carvalho**

Graduou-se em Engenharia Civil/Ambiental pela PUC-Rio (Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro), em 2002 e em 2003, concluiu o curso de Pós-graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho no CEFET-RJ. Tem atuado em diversas áreas, com destaque para o setor de óleo e gás, mas sempre com o foco na gestão da Segurança e Meio Ambiente.

Ficha

Carvalho, João Paulo Andrade F. de

Gerenciamento de emissões de gases de efeito estufa do Campus Gávea da PUC-Rio: Inventário de emissões e proposta de mitigação / João Paulo Andrade Ferreira de Carvalho; orientador: Celso Romanel. – 2014.

116 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 2014.

Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Meio ambiente. 3. Gases de efeito estufa. 4. Mudanças Climáticas. 5. Gerenciamento. 6. Instituição de Ensino. I. Romanel, Celso. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. III. Título.

*À memória de Carlos Gabaglia Penna.*

*À minha filha Luísa e toda sua geração.*

## **Agradecimentos**

Durante o tempo de desenvolvimento da dissertação tive a oportunidade de acessar diversos departamentos e unidades da PUC-Rio, nos quais fui sempre atendido com grande cordialidade. Gostaria de agradecer a todos aqueles que contribuíram de alguma forma, direta ou indiretamente, para que este trabalho pudesse ser concluído. A multiplicidade e abrangência do tema dificulta qualquer agradecimento individual a estas pessoas.

Agradeço especialmente aos Professores Celso Romanel e Ana Ghislane que dedicaram parte de seu tempo à minha orientação.

A todos os professores da Universidade de Braunschweig que compartilharam suas experiências e conhecimentos através das aulas que nos foram ministradas.

À minha esposa que me incentivou desde o início do curso e, principalmente, nos momentos mais difíceis.

## Resumo

Carvalho, João Paulo Andrade Ferreira de; Romanel, Celso (orientador); Ana Ghislane (co-orientadora). **Gerenciamento de emissões de gases de efeito estufa do Campus Gávea da PUC-Rio: Inventário de emissões e proposta de mitigação.** Rio de Janeiro, 2014, 116p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

As mudanças climáticas têm sido consideradas por grande parte da comunidade científica como o problema ambiental mais grave já enfrentado pela humanidade. Os estudos conduzidos, ainda que com incertezas, indicam uma forte relação entre as ações antrópicas, o aquecimento global e a consequente alteração climática. Verões mais quentes, invernos mais rigorosos, secas, enchentes, tornados, desertificação, escassez de água, alimentos, perda da biodiversidade são alguns exemplos dos impactos causados por este desequilíbrio. A mitigação ou controle de um problema desta magnitude merece, sem dúvida, atenção dos governos e de empresas responsáveis por grandes emissões de gases de efeito estufa, considerados como responsáveis pela alteração no clima. Entretanto, outros setores também podem e devem contribuir para o alcance das metas globais estabelecidas nos acordos internacionais. O presente trabalho apresenta o resultado de um inventário de emissões de gases de efeito estufa elaborado para o Campus Gávea da PUC-Rio, utilizando-se da metodologia validada pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), como ponto de partida para uma proposta de gerenciamento e mitigação das emissões diretas e indiretas do Campus. O estudo ainda indica ações para melhorar a qualidade de inventários futuros e medidas para a redução das emissões.

## Palavras-chave

Meio ambiente; gases de efeito estufa; mudanças climáticas; inventário de emissões; redução de emissões, gerenciamento de GEE; PUC-Rio campus Gávea.

## Extended Abstract

Carvalho, João Paulo Andrade Ferreira de Carvalho; Romanel, Celso (advisor); Ana Ghislane (co-advisor). **Greenhouse gases emissions management of PUC-Rio, Gávea Campus: Inventory of emissions and a proposal for mitigation.** Rio de Janeiro, 2013. 116p. MSc Dissertation – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Climate change has been considered by the scientific community as the most serious environmental problem ever faced by humanity. The studies performed, even with uncertainties, indicate a strong relationship between human actions, global warming and consequent climate change. Hotter summers, colder winters, severe droughts and floods, tornadoes, desertification, water and food scarcity and biodiversity loss are some examples of the impacts caused by this imbalance. The mitigation or control of a problem with this magnitude deserves undoubtedly attention of governments and companies responsible for the large emissions of greenhouse gases, considered as responsible for the climate change. However, other sectors can and should contribute to the achievement of the global targets set by international agreements.

Regarding the uncertainties and expectations on climate change, in 1988 the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), consisted of scientists from around the world, was created to provide information related to the causes of climate change, its consequences and possible actions to reduce the impact on the earth.

IPCC reports are published regularly and become a reference for the formulation of public policies and for use by experts and students.

The IPCC in its 4th Assessment Report, indicates a 70% increase in anthropogenic emissions of greenhouse gases in the period 1970-2004, where the carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) is the largest contributor. For the same period, CO<sub>2</sub> annual emissions increased 80% and represented 77% of



total anthropogenic emissions in 2004. This increase is mainly due to the consumption of fossil fuels and changes in land use.

Once established the relationship between greenhouse gases and global warming, it became evident the need for measurement and quantification of emissions for achieving any progress in the management of the problem. For that, a common, standardized, transparent and reliable methodology was desired. Developed in the United States by the World Resource Institute (WRI) in 2001, the GHG Protocol seeks to understand, quantify and manage GHG emissions of companies and nowadays is the most frequently method used worldwide for performing GHG inventories. It is also compatible with standard ISO 14064: 2007 - Greenhouse Gases and the methodologies for quantification issued by the Intergovernmental Panel on Climate Change.

According to the program, GHGs include carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>), nitrous oxide (N<sub>2</sub>O), hydrofluorocarbons (HFCs), perfluorocarbons (PFCs) and sulfur hexafluoride (SF<sub>6</sub>).

To assist the inventory, the GHG Protocol Program provides a spreadsheet for calculating GHG emissions. The spreadsheet is an Excel file with suggestions of methodologies and emission factors to be used for GHGs emission inventories within the framework of the Program. The tool is available on the Brazilian GHG Protocol Program website and is updated annually for improvements and adjustments to the emission factors adopted.

The Gávea campus of PUC-Rio is one of the largest in the city of Rio de Janeiro and receives approximately 20,000 attendees who are responsible for indirect emissions of Greenhouse Gases (GHG) caused by its commuting to the university, solid waste generation and in addition to direct emissions from the daily operation of the campus, energy consumption and travels promoted by the institution. The decision to conduct this study for the university seeks not only to understanding and quantifying GHG emissions, but also aims to raise the topic for discussion

among students and other visitors in a manner of increasing the participation in the local programs and mitigation measures.

The thesis shows the results of a greenhouse gases inventory of emissions produced for the Gávea campus of PUC-Rio, using the methodology validated by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), as the first step for a management and mitigation of direct and indirect emissions. The study also indicates actions to improve the quality of future inventories and measures to reduce emissions.

The inventory is the introduction to start a managing program for GHG emissions. Once identified the sources of emissions and their potentials is possible to think of new methods and measures to achieve the desired reduction. Additionally, it enables the identification of opportunities for improvement in the storage and data control system, which are essential for the realization of future inventories more accurate.

The results obtained in the inventory have shown that indirect emissions that refers to the transport sector are the largest in the university, representing over 98% of the total emissions in CO<sub>2</sub>-eq. As expected, the campus daily commuting are the main source responsible for these emissions, followed by travel promoted by the university in second place, although not present such impressive numbers.

GEE (t)	Emissions in metric tons			Emissions in metric tons of CO <sub>2</sub> equivalent (tCO <sub>2</sub> e)		
	Scope 1	Scope 2	Scope 3	Scope 1	Scope 2	Scope 3
CO <sub>2</sub>	84,690	12,859	6.584,425	84,690	12,859	6.584,425
CH <sub>4</sub>	0,007	0,000	1,309	0,139	0,000	27,493
N <sub>2</sub> O	0,001	0,000	0,232	0,394	0,000	71,961
HFCs	0,002		0,000	2,100		0,000
PFCs	0,000		0,000	0,000		0,000
SF <sub>6</sub>	0,000		0,000	0,000		0,000
<b>Total</b>				<b>87,323</b>	<b>12,859</b>	<b>6.683,879</b>

Table: Emissions for all GHG and scopes.

Scope 1 emissions are not significant. Basically due to the very small fleet of vehicles of PUC-Rio and also because the electric generator that uses diesel oil was not used. This fact helped to ensure that emissions of scope 1, in 2011, were small.

The Brazilian energy matrix contributes for a greatly reduced emissions on Scope 2. In addition, the architecture and design of the buildings of PUC-Rio, as well as local climate characteristics reduce the use of air conditioning and artificial lighting in comparison to other buildings.

In 2010, the university began to dispose their waste in the CTR Nova Iguaçu landfill, which has a methane recovery system. Only this measure contributed to reduce approximately two tons of CO<sub>2</sub>-eq in annual emissions.

Emissions from biomass burning are relevant. Not necessarily by choice of exclusive use of alternative fuels, but due to the mandatory addition of ethanol or biodiesel in gasoline and diesel, respectively, regulated by specific resolutions in Brazil.

	Scope 1	Scope 2	Scope 3	Total Emissions of Biomass
CO <sub>2</sub> (t)	6,646		1.417,595	1.424,241
CH <sub>4</sub> (t)				
N <sub>2</sub> O (t)				
HFC (t)				
PFC (t)				
SF <sub>6</sub> (t)				
CO <sub>2</sub> e (t)	6,646	-	1.417,595	1.424,241

Table: Emissions of CO<sub>2</sub> due to biomass burning.

Identifying the categories which contributes to emissions Campus may assist the campus in directing or improve the measures and

programs regarding the commuting, responsible for the largest contribution.

It is known that some programs and measures are already undertaken by PUC-Rio. Projects such as "car sharing", discount for cars with more than 3 passengers and incentive for using bicycles are some examples.

With a significant percentage of visitors living nearby, less than 10 km from the campus, bicycle use can and should be encouraged. The timing is more appropriate, since there is a large movement in the city to improve the cycling infrastructure in order to increase the displacement made by bicycles.

Based on the results, targets can be set and programs and measures can take place. Although the university does not have any legal or regulatory obligation, this reinforces the commitment of PUC-Rio to the sustainability and, at the same time, the reductions contribute towards achieving the targets set by the Brazilian government in macro scales, as well as the state and municipality.

Some examples to reduce or prevent GHG emissions include, but are not limited to:

- Management of energy demand and use;
- Energy efficiency;
- Improved processes or technologies;
- Increasing reduction, reuse and recycling of the waste generated on the campus;
- Managing demands of transport and travel;
- Improvement of the use of alternative transportation;
- Use of renewable fuels.

It is also recommended that the inventory is recorded in the GHG Protocol Program. In addition, it is suggested that the PUC-Rio give continuity to this program, making the inventories for the coming years, and that the result can be used as an indicator of performance and environmental monitoring for the university. The measures suggested on this study should be considered to reduce the uncertainty on the way the emissions were estimated.

### **Keywords**

Environmental; greenhouse gases inventory; climate change; management of GHG; emissions reductions, PUC-Rio campus Gávea.

## **Lista de Abreviaturas**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ACUPCC – American College & University Presidents’ Climate  
Commitment  
AFPUC - Associação de funcionários da PUC-Rio  
BEN – Balanço Energético Nacional  
CCE - Coordenação Central de Extensão  
CCPG - Coordenação Central de Pós-graduação e Pesquisa  
CEBEDS – Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento  
Sustentável  
CFCs – Clorofluorcarbonos  
COMLURB - Companhia Municipal de Limpeza Urbana  
COP – Conferência das Partes  
CTR – Central de Tratamento de Resíduos  
DAR - Diretoria de Admissão e Registro  
DEFRA - Department for Environment, Food and Rural Affairs  
EAESP – Escola de Administração de Empresas da FGV  
ECO-92 - Conferência Internacional sobre Meio Ambiente e  
Desenvolvimento Sustentável  
EPE – Empresa de Pesquisa Energética  
FGV – Fundação Getúlio Vargas  
GEE – Gases de Efeito Estufa  
GHG – Green House Gas  
GNV – Gás Natural Veicular  
GVces - Centro de Estudos em Sustentabilidade da FGV  
GWP – Global Potential Warming  
HCFC – Hidroclorofluorcarbonos  
IAG - Instituto de Administração e Gerência  
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
IPCC - Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas  
ISO – International Standard Organization  
ITUC – Instituto Tecnológico da PUC-Rio  
LEV – Laboratório de Engenharia Veicular

MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo  
NBR – Norma Brasileira  
NIMA - Núcleo Interdisciplinar de Meio Ambiente  
MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação  
ONU – Organização das Nações Unidas  
PAG – Potencial de Aquecimento Global  
PIB – Produto Interno Bruto  
PNMC – Política Nacional de Mudança do Clima  
PRODES – Projeto de Monitoramento do Desflorestamento na Amazônia Legal  
PUC-Rio – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro  
RAC – Refrigeração e ar condicionado  
SESMT - Serviço de Engenharia de Segurança e Medicina do Trabalho  
SIN – Sistema Interligado Nacional  
SDOs - Substâncias que Destroem a camada de Ozônio  
UNFPA - Fundo de População das Nações Unidas  
WBCSD – World Business Council for Sustainable Development  
WRI – World Resource Institute

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>22</b>
1.1 Considerações Gerais	22
1.2 Objetivos	24
1.3 Justificativa	25
1.4 Estrutura da Dissertação	26
<b>CAPÍTULO 2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....</b>	<b>27</b>
2.1 Uma Visão Geral do Problema	27
2.2 Uma Análise Econômica – Relatório Stern	33
2.2 Geopolítica do Clima	34
2.2.1 Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - UNFCCC	34
2.2.1.1 Protocolo de Quioto	35
2.2.2 Políticas Públicas e Dados do Inventário de GEE Brasileiro	37
<b>CAPÍTULO 3 INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA.....</b>	<b>41</b>
3.1 O Programa Brasileiro GHG Protocol	41
3.1.1 Conceitos	41
3.1.2 Ferramenta de Cálculo	44
3.1.3 Metodologia de Cálculo	47
3.2 Campus Carbon Calculator	57
<b>CAPÍTULO 4 PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO – PUC-RIO.....</b>	<b>60</b>
4.1 O Campus Gávea da PUC-Rio	60
4.2 Inventário de Emissões de GEE do Campus Gávea da PUC-Rio	65
4.2.1 Premissas e Coleta de Dados	65
4.2.2 Resultados	96
4.2.3 Incertezas	101
4.3 Propostas para o Gerenciamento e Mitigação de Emissões	102
<b>CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>108</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>112</b>



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Crescimento da população mundial (UNFPA, 2011 - adaptação G1).	23
<b>Figura 2:</b> Curva de Keeling – concentração de CO <sub>2</sub> na atmosfera de 1958 até julho de 2013.....	29
<b>Figura 3:</b> Seca em região Masai na África (HOUGHTON, 2009). ....	31
<b>Figura 4:</b> Trabalhadores retornando para casa após chuva torrencial em Mumbai, Índia, 2005 (GORE, 2006). ....	31
<b>Figura 5:</b> Seca estimada entre as piores dos últimos 60 anos no agreste pernambucano ( <i>G1 Notícias, março/2013</i> ). ....	32
<b>Figura 6:</b> Enchentes após chuvas e cheias de rios na Alemanha ( <i>Foxnews, jun/2013</i> ). ....	33
<b>Figura 7:</b> Países com programas nacionais e regionais que utilizam o GHG Protocol (Programa Brasileiro GHG Protocol). ....	42
<b>Figura 8:</b> Escopos de um inventário de emissões de GEE ( <i>Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard</i> ). ....	44
<b>Figura 9:</b> Planilha de introdução da ferramenta de cálculo do Programa GHG Protocol. ....	47
<b>Figura 10:</b> Planilha de introdução da ferramenta de cálculo <i>Campus Carbon Calculator</i> . ....	59
<b>Figura 11:</b> Mapa da PUC-Rio, Campus da Gávea. ....	64
<b>Figura 12:</b> Gerador de energia elétrica movido a óleo diesel. ....	69
<b>Figura 13:</b> Fila para a entrada do estacionamento. ....	80
<b>Figura 14:</b> Bicicletário do Campus da PUC-Rio. ....	89

<b>Figura 15:</b> <i>Compacteiner</i> e caixa <i>roll on/off</i> presentes no Campus (estacionamento).....	92
<b>Figura 16:</b> Resíduos dispostos na <i>Caixa roll on/off</i> . ....	92
<b>Figura 17:</b> Gráfico de emissões consolidadas por escopo. ....	97
<b>Figura 18:</b> Gráfico de emissões de CO <sub>2</sub> de Biomassa. ....	98
<b>Figura 19:</b> Gráfico de emissões para escopo 1.....	99
<b>Figura 20:</b> Gráfico de emissões para escopo 2.....	100
<b>Figura 21:</b> Gráfico de emissões para escopo 3.....	101

## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>Equação 1</b> - Emissão de CH <sub>4</sub> pelo método de decaimento de primeira ordem.....	50
<b>Equação 2</b> - Fator de normalização para a soma.....	51
<b>Equação 3</b> - Potencial de geração de metano.....	51
<b>Equação 4</b> - Carbono orgânico degradável.....	52
<b>Equação 5</b> – Abordagem <i>Tier 1</i> para cálculo de emissões de CO <sub>2</sub> para transporte rodoviário.....	54
<b>Equação 6</b> – Abordagem <i>Tier 2</i> para cálculo de emissões de CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O para transporte rodoviário.....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores de emissão para geração de eletricidade no Brasil no ano de 2011. ....	48
Tabela 2 – Percentuais de etanol na gasolina e biodiesel no diesel no Brasil para o ano de 2011. ....	53
Tabela 3 – Fatores de Emissão de CO <sub>2</sub> por tipo de combustível. ....	54
Tabela 4 – Fatores de Emissão de CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O por tipo de combustível.....	56
Tabela 5 – Fatores de Emissão de CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O para aviação civil.....	57
Tabela 6 - Frota própria PUC-Rio. ....	71
Tabela 7 – Serviço de transporte fretado pela PUC-Rio para transportar os funcionários.....	71
Tabela 8 – Consumo de energia elétrica em kWh, nos meses do ano de 2011. ....	74
Tabela 9 – Uso das áreas destinadas para estacionamento na PUC-Rio.....	75

Tabela 10 – Distribuição do número de dias de frequência no Campus ao longo da semana. ....	77
Tabela 11 – Distribuição das distâncias percorridas nos deslocamentos (somente 1 percurso). ....	78
Tabela 12 – Distribuição dos meios de transporte mais utilizados pelos frequentadores do Campus. ....	78
Tabela 13 – Distribuição dos tipos de combustíveis utilizados pelos usuários de veículos. ....	78
Tabela 14 – Distribuição da idade da frota dos usuários de veículos. ....	78
Tabela 15 – Distribuição da utilização do estacionamento do Campus, por usuários de automóveis. ....	79
Tabela 16 – Número de ocupantes que chegam nos veículos estacionados no Campus da PUC-Rio. ....	80
Tabela 17 – Número de frequentadores do Campus. ....	82
Tabela 18 – Estimativa de pessoas transportadas em automóveis. ....	82
Tabela 19 – Frequência semanal de alunos na PUC-Rio (campus Gávea). ....	83
Tabela 20 – Deslocamentos com veículos – professores e funcionários. ....	86
Tabela 21 – Deslocamentos com veículos – alunos e visitantes. ....	86
Tabela 22 – Deslocamentos em taxis. ....	87
Tabela 23 – Deslocamentos em motos. ....	87
Tabela 24 – Quantidade de caçambas de resíduos coletadas em 2011. ....	91
Tabela 25 – Composição dos resíduos gerados na PUC-Rio. ....	93
Tabela 26 – Peso de resíduos gerados na PUC-Rio, no ano de 2011. ....	93

Tabela 27 – Adaptação dos valores de resíduos para utilização na ferramenta GHG Protocol.....	94
Tabela 28 – Número de viagens realizadas ao aterro para disposição final dos resíduos. ....	95
Tabela 29 – Dados de emissões consolidados para todos os GEE e escopos.	97
Tabela 30 – Emissões de CO <sub>2</sub> por consumo de Biomassa.....	98
Tabela 31 – Resumo das emissões de GEE da organização, por categoria (Escopo 1).....	99
Tabela 32 – Resumo das emissões de GEE da organização, por categoria (Escopo 2).....	100
Tabela 33 – Resumo das emissões de GEE da organização, por categoria (Escopo 3).....	101