

Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa no *Campus* Gávea da PUC-Rio

Greenhouse Gas Emissions Inventory on Gávea Campus of PUC-Rio

João Paulo Andrade F. de Carvalho¹, Ana Ghislane H. Pereira van Elk², Celso Romanel³

RESUMO

O presente trabalho apresenta resultados preliminares de um inventário de emissões de gases de efeito estufa (GEE) elaborado para o *campus* da PUC-Rio, situado no bairro da Gávea, zona sul da cidade do Rio de Janeiro. Foram identificadas emissões de GEE nos escopos 1 (combustão estacionária e móvel, emissões fugitivas), escopo 2 (consumo de energia elétrica) e escopo 3 (transporte, viagens, geração e descarte de resíduos sólidos), seguindo metodologias recomendadas pelo Programa Brasileiro *GHG Protocol*. Dentre as fontes de emissão, a mais difícil de quantificar foi justamente a principal geradora, relacionada com os deslocamentos entre o *campus* e as residências dos 20 mil potenciais frequentadores diários da PUC-Rio durante 2011.

Palavras-chave: inventário de gases de efeito estufa; gerenciamento de emissões; PUC-Rio.

ABSTRACT

This paper presents the preliminary results of a greenhouse gas (GHG) inventory prepared for the *campus* of PUC-Rio, located in the district of Gávea, south zone of the city of Rio de Janeiro. GHG emissions have been identified in scope 1 (stationary and mobile combustion, fugitive emissions), scope 2 (electricity consumption) and scope 3 (transport, travel, generation and disposal of solid waste), according to the methodologies recommended by the Brazilian GHG Protocol Program. Among the sources of emissions, the main generator was the most difficult to quantify, and it was related to the commuting between the *campus* and the residences of estimated 20,000 people who frequented PUC-Rio daily in 2011.

Keywords: greenhouse gas inventory; management of emissions; PUC-Rio.

INTRODUÇÃO

Dentre os problemas ambientais do mundo contemporâneo, as mudanças climáticas são dos mais desafiadores por interferirem na dinâmica dos biomas e afetarem a vida no planeta. O problema necessita de soluções positivas para reduzir o avanço das alterações provocadas pela ação do homem sobre o clima. No entanto, parte das mudanças necessárias passa por alterações de comportamento e hábitos, que podem levar gerações para se concretizarem.

Em dezembro de 2006, foi criada nos Estados Unidos a *American College & University President's Climate Commitment* (ACUPCC) com o propósito de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) nos *campi* universitários, promover esforços de pesquisa e de educação, encorajando jovens a desenvolver soluções sociais, econômicas e tecnológicas que possam reverter o aquecimento global e outros impactos gerados pelas mudanças climáticas. Atualmente, a associação já conta com a participação de mais de 600 instituições.

No Brasil, a PUC-Rio lançou, em 2009, como iniciativa pioneira, a Agenda Ambiental (NIMA, 2015), instrumento que oferece subsídios de gestão para a administração do *campus*, propondo metas de curto, médio e longo prazos em tópicos como biodiversidade, água, energia, atmosfera, materiais, resíduos e educação ambiental.

O presente trabalho se insere no propósito desta Agenda Ambiental, com a elaboração de um inventário preliminar de emissões de GEE no *campus* da universidade, no bairro da Gávea, Rio de Janeiro. O inventário foi realizado tomando como base o ano de 2011.

METODOLOGIA

Coleta de dados

As diretrizes do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2006) classificam o processo de estimativa de emissões

¹Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

²Doutora em Geotecnia Ambiental pela Universidad de Oviedo, Espanha. Professora Adjunta da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) - Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

³Doutor em Engenharia Civil pela University of Arizona. Professor Associado da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

Endereço para correspondência: Ana Ghislane H. Pereira van Elk - Rua São Francisco Xavier, 524, Pavilhão João Lyra Filho, 5º andar, sala 5029, Bloco F - Maracanã - 24550-400 - Rio de Janeiro (RJ), Brasil - E-mail: anavanelk@gmail.com

Recebido: 01/02/16 - **Aceito:** 20/07/16 - **Reg. ABES:** 155865

em três níveis distintos, identificados como *Tiers*. O *Tier 1* se refere a uma metodologia básica, o *Tier 2* a um processo intermediário, enquanto o *Tier 3* é um método mais abrangente, tanto em termos de cálculo quanto na necessidade da quantidade e qualidade dos dados. No presente trabalho, foram aplicados métodos dos *Tiers 1 e 2* para elaboração do inventário da PUC-Rio, com a consideração dos seguintes escopos recomendados pela *American College & University President's Climate Commitment* (ACUPCC):

Escopo 1 - Emissões diretas de fontes próprias ou controladas pela instituição:

Combustão estacionária e móvel

O controle da maioria dos veículos próprios da universidade é de responsabilidade da prefeitura do *campus*, com estimativa do consumo de combustível anual em 10.000 litros. A frota de ônibus destinada para o transporte de funcionários é gerenciada pela Associação de Funcionários da PUC-Rio. Considerando que os itinerários dos ônibus são fixos, foi utilizada a ferramenta *Google Maps* para determinação dos quilômetros percorridos em cada trajeto. Em 2011, o número de dias de trabalho dos funcionários foi 215, com base no calendário administrativo da universidade.

Emissões fugitivas

Foram analisados os equipamentos, com seus respectivos gases de efeito estufa, por meio do método utilizado nos processos de recarga e manutenção dos aparelhos instalados no *campus* (ar-condicionado, bebedouros, geladeiras, extintores de incêndio).

De acordo com informações da prefeitura do *campus*, o total de equipamentos de ar-condicionado instalados foi de 1.328, sendo 829 aparelhos de janela, 10 geradores de ar-condicionado central e 489 aparelhos de ar-condicionado tipo *split*. Além desses equipamentos, havia ainda 80 bebedouros e aproximadamente 100 geladeiras. O gás predominante em aparelhos de ar-condicionado, bebedouros e geladeiras é o HCFC-22 (clorodifluorometano), um gás controlado pelo Protocolo de Montreal, assinado pelo Brasil e, portanto, não incluído no Protocolo de Quioto.

O *campus* da PUC-Rio contava, em 2011, com 52 extintores de incêndio de 4 kg e 296 extintores de 6 kg. Na manutenção periódica anual, os extintores são descarregados e 90% dos gases são transferidos para outros cilindros que retornam aos distribuidores. Os 10% restantes são liberados para a atmosfera. Assim, cada extintor de 4 kg de capacidade libera 0,4 kg para a atmosfera e cada extintor de 6 kg libera 0,6 kg. O total de emissões considerando os 348 extintores existentes foi estimado em 198,4 kg de CO₂.

Escopo 2 - Emissões de GEE na geração da eletricidade adquirida e consumida pela instituição

Energia elétrica

O consumo de energia elétrica na PUC-Rio foi levantado junto à prefeitura do *campus*, constatando-se um consumo mensal médio de 34.000 kWh (CARVALHO, 2013). Para o inventário, adotou-se a média dos fatores de emissão mensais na geração de eletricidade divulgados pelo SIN - Sistema Interligado Nacional (BRASIL, 2013). Os fatores de emissão médios na geração de energia elétrica estimam a quantidade de CO₂ considerando o conjunto de todas as usinas hidrelétricas existentes no país. A adoção desses fatores de emissão implica que a energia elétrica consumida foi basicamente hidrelétrica.

Escopo 3 - Emissões indiretas cujas fontes não pertencem à universidade ou não são por ela controladas

Transporte

As estimativas de emissões GEE em transporte rodoviário podem ser baseadas em duas informações independentes: quantidade de combustível consumido ou distância percorrida pelo veículo. Neste trabalho, foi considerada a quantidade de combustível consumida utilizando a Equação 1:

$$E = \sum comb_{abc} \times FE_{abc} \quad (1)$$

Em que:

E representa a quantidade (kg) de emissões de CH₄ e N₂O,

comb a quantidade de combustível consumido (TJ),

FE um fator de emissão (kg/TJ) e os subscritos *a, b, c* estão associados ao tipo de combustível, tipo de veículo e tecnologia do veículo, respectivamente.

Os fatores de emissão para cálculo das emissões de CH₄ e N₂O foram apresentados nas diretrizes para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa (IPCC, 2006), bem como fatores de emissão por frota e tipo de combustível no Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (BRASIL, 2010).

Inicialmente buscaram-se dados na universidade sobre o número de potenciais frequentadores (Tabela 1) e a frequência diária nos estacionamento externo (alunos e visitantes, com uso médio diário de 2.300 carros e 110 motos) e interno (professores e funcionários com uso médio diário de 545 carros).

Também foi realizada uma pesquisa com frequentadores do *campus* para obtenção de informações específicas, necessárias para a quantificação das emissões de transporte, como distâncias percorridas entre locais de residência e a universidade, tipo de combustível utilizado no veículo, ano de fabricação do veículo, número de dias da semana que frequenta o

campus etc. Nessa etapa, os questionários foram respondidos por 479 pessoas, em sua maioria por alunos em diferentes horários de funcionamento da universidade, entre 7h e 22h. A margem de erro da pesquisa foi de aproximadamente 4,48%, considerando um intervalo de confiança de 95%.

As informações da pesquisa indicaram que 71,2% dos alunos e visitantes utilizaram o estacionamento externo, enquanto 28,8% deles estacionaram o veículo em outros locais, geralmente ruas vizinhas. Assim, o número total diário de veículos de alunos e visitantes foi de 2.963 unidades, correspondente à soma dos veículos controlados pelo estacionamento externo (2.300 unidades), mais um adicional estimado em 28,8% (663 unidades). O estacionamento interno foi ocupado exclusivamente por professores e funcionários, correspondendo a 545 veículos diários.

Outro dado relevante refere-se aos deslocamentos efetuados por meio de táxi. De acordo com a Cooperativa de Táxi Unigávea, que opera junto ao portão principal da universidade, são feitas aproximadamente 550 viagens diárias originadas da PUC-Rio.

Para a entrada de dados na planilha de cálculo foi ainda necessário saber a distância anual percorrida pelos veículos, o ano de fabricação dos mesmos e o tipo de combustível utilizado. A distância média percorrida pelos frequentadores da universidade nos deslocamentos diários entre a

residência e o *campus* foi determinada considerando uma média ponderada das respostas obtidas pela pesquisa executada, resultando em uma distância média de 34 km para trajetos de ida e volta. O número total de quilômetros percorridos no ano foi obtido multiplicando-se essa distância (34 km) pelo número de dias que os usuários de veículos frequentaram o *campus*. Como a presença média dos alunos no *campus* foi de 4,7 dias por semana, conforme levantamento da pesquisa, o número anual de dias foi proporcionalmente reduzido de 175, do calendário acadêmico, para 165 dias.

A distribuição dos anos de fabricação dos veículos foi considerada igualmente para os automóveis de alunos, professores, táxis e motocicletas. O tipo de combustível (5% álcool, 87% gasolina, 2% diesel e 6% GNV) foi aplicado aos automóveis de professores e funcionários (Tabela 2) e automóveis de alunos e visitantes (Tabela 3), enquanto os táxis (Tabela 4) foram admitidos com 100% de abastecimento por gás natural veicular (GNV) e as motocicletas (Tabela 5) com 100% de abastecimento por gasolina. Os deslocamentos em táxi e motocicletas foram considerados efetuados apenas por alunos.

Outro dado importante levantado na pesquisa é que aproximadamente 60% dos frequentadores chegam à universidade utilizando ônibus públicos; 24,5% são transportados por automóveis ou motos e os 15,5% restantes se locomoveram a pé ou de bicicleta. Parte dos funcionários da instituição chega e retorna da universidade por meio de ônibus fretados, cujas emissões já foram consideradas no escopo 1.

Seguindo o mesmo procedimento feito para o cálculo das distâncias percorridas pelos usuários de automóveis, foi possível obter a soma das distâncias percorridas anualmente por ônibus públicos, multiplicando o número de 11.819 pessoas (60% dos 19.699 potenciais frequentadores) pelo número de dias presentes no *campus* (165, admitindo que a maioria dessas é formada por estudantes) e pela distância média percorrida de 34 km. Considerando que um ônibus transporta em média 70 passageiros, a parcela referente à contribuição dos usuários de ônibus foi equivalente a 947.208 km ($11.819 \times 165 \times 34 / 70$). A idade média adotada para a frota de ônibus foi 6 anos, conforme dado divulgado pela Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos (NTU, 2015).

Viagens a trabalho

Este item refere-se a viagens realizadas por professores, alunos ou funcionários da PUC-Rio, motivados pela atividade acadêmica. No caso

Tabela 1 - Número de potenciais frequentadores diários do *campus* da PUC-Rio.

Frequentadores do <i>campus</i> em 2011	Nº	Fonte
Alunos de graduação	13.293	Vice-Reitoria Acadêmica
Alunos de pós-graduação	2.291	Vice-Reitoria Acadêmica
Funcionários	1.591	Vice-Reitoria Administrativa
Professores	1.324	Vice-Reitoria Administrativa
Terceirizados (limpeza, manutenção, estacionamento etc.)	350	Estimativa
Funcionários de serviços (lojas, restaurantes, bancos etc.)	150	Estimativa
Visitantes (serviços de entrega, eventos, convidados etc.)	700	Estimativa
Total	19.699	

Tabela 2 - Deslocamentos em automóveis - professores e funcionários.

Ano de fabricação	%	Total de veículos	Gasolina	Distância média percorrida no ano (km) - gasolina	Álcool	Distância média percorrida no ano (km) - álcool	GNV / diesel	Distância média percorrida no ano (km) - GNV / Diesel
2011	44	240	209	1.527.790	12	87.720	19	138.890
2010-2009	30	163	142	1.038.020	8	58.480	13	95.030
2008-2007	8	44	38	321.640	2	14.620	4	29.240
2006-2005	9	49	43	314.330	3	21.930	3	21.930
< 2005	9	49	43	314.330	3	21.930	3	21.930
Total	100	545	475		28		42	

de viagens aéreas a metodologia utilizada pelo Programa Brasileiro *GHG Protocol* utiliza uma abordagem *Tier 1* e adota fatores de emissão (FE) médios para CO₂, CH₄ e N₂O, apresentados pelo *Department for Environment, Food and Rural Affairs* (DEFRA, 2013) do Reino Unido. O cálculo das emissões de CO₂, CH₄ e N₂O é feito de maneira direta aplicando a Equação 2:

$$E = D \times F_c \times FE \quad (2)$$

Em que:

E representa a quantidade (kg) de emissões de cada gás,

D a distância aérea percorrida,

F_c o fator de correção de rota, com valor padrão de 1,09, e

FE o fator de emissão correspondente a cada gás.

Para obter as informações relacionadas com viagens foram solicitados dados à agência de viagens contratada pela universidade e responsável pela emissão dos bilhetes aéreos. Em 2011, foram emitidos 615 bilhetes; para cada trajeto foram determinadas as distâncias aéreas entre as cidades, estimadas com auxílio do aplicativo Google Earth.

Resíduos sólidos

Os aterros sanitários produzem quantidades significativas de CH₄, CO₂ e pequenas quantidades de N₂O. Um método *Tier 2*, geralmente utilizado para a estimativa das emissões provenientes de aterros, é o modelo de decaimento de primeira ordem (IPCC, 2006), que considera uma emissão persistente de CH₄ ao longo de vários anos após o descarte de resíduos

no local de disposição final. Para esta categoria, obteve-se informações de um estudo que teve o objetivo de elaborar um plano de gerenciamento dos resíduos sólidos do *campus* da PUC (GOMES, 2012).

Em 2011, a PUC-Rio enviou para a Central de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTR) de Nova Iguaçu 1.591 toneladas de resíduos sólidos, cuja composição consistia de 26% de papel e papelão, 6% de plástico rígido, 3% de plástico fino, 1% de alumínio, 26% de matéria orgânica, 31% de resíduos de jardim e 7% de materiais inertes. As emissões provenientes dos resíduos sólidos foram contabilizadas em função da distância anual percorrida pelos veículos para conduzir os resíduos do *campus* até o aterro sanitário, totalizando 12.700 km.

RESULTADOS

Os dados anteriormente coletados para a estimativa das emissões de GEE foram aplicados à ferramenta de cálculo do programa Brasileiro *GHG Protocol* (FGV, 2015), convertendo cada gás de efeito estufa em dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}), em função do seu potencial de aquecimento global (PAG). Esses dados estão apresentados na Tabela 6, considerando o PAG de 21 para CH₄, 310 para N₂O e 1.300 para HFCs.

Emissões resultantes da combustão de biomassa devem ser tratadas de forma diferente daquelas provenientes de combustíveis fósseis, uma vez que a quantidade de dióxido de carbono liberada na combustão é igual àquela retirada da atmosfera durante o processo de fotossíntese e pode ser considerada neutra. Valores significativos de emissões de CO₂ advindas da combustão da biomassa estão reportados separadamente (Tabela 7)

Tabela 3 - Deslocamentos em automóveis - alunos e visitantes.

Ano de fabricação	%	Total de veículos	Gasolina	Distância média percorrida no ano (km) - gasolina	Álcool	Distância média percorrida no ano (km) - álcool	GNV/Diesel	Distância média percorrida no ano (km) - GNV/Diesel
2011	44	1303	1134	6.361.740	65	364.650	104	583.440
2010-2009	30	889	773	4.336.530	45	252.450	71	398.310
2008-2007	8	237	206	1.155.660	12	67.320	19	106.590
2006-2005	9	267	232	1.301.520	13	72.930	22	123.420
< 2005	9	267	232	1.301.520	13	72.930	22	123.420
Total	100	2963	2577		148		238	

Tabela 4 - Deslocamentos em táxis.

Ano de fabricação	%	Total de veículos	GNV	Distância média percorrida no ano (km) - GNV
2011	44	242	242	1.357.620
2010-2009	30	165	165	925.650
2008-2007	8	43	43	241.230
2006-2005	9	50	50	280.500
< 2005	9	50	50	280.500
Total	100	550	550	

Tabela 5 - Deslocamentos em motocicletas.

Ano de fabricação	%	Total de veículos (gasolina)	Distância média percorrida no ano (km)
2011	44	48	269.280
2010-2009	30	33	185.130
2008-2007	8	9	50.490
2006-2005	9	10	56.100
< 2005	9	10	56.100
Total	100	110	

Tabela 6 - Emissões de GEE nos escopos 1, 2 e 3.

GEE	Emissões em toneladas métricas			Emissões em toneladas métricas de CO ₂ equivalente (tCO ₂ e)		
	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3
CO ₂	84,690	12,860	5,596,766	84,690	12,860	5,596,766
CH ₄	0,007	0	1,113	0,147	0	23,373
N ₂ O	0,001	0	0,197	0,310	0	61,070
HFCs	0,002	-	0	2,600	-	0
PFCs	0	-	0	0	-	0
SF ₆	0	-	0	0	-	0
Total				87,747	12,860	5,681,209

Tabela 7 - Emissões de GEE por combustão de biomassa.

GEE	Emissões em toneladas métricas			Emissões em toneladas métricas de CO ₂ equivalente (tCO ₂ e)		
	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3
CO ₂	6,650	-	1,417,600	6,650	-	1,204,960

e devem-se, em grande parte, à composição dos combustíveis, com teores de etanol e biodiesel. A recuperação do metano (CH₄) no aterro sanitário CTR de Nova Iguaçu também contribuiu para a obtenção desses resultados.

CONCLUSÕES

O inventário é o passo inicial para a elaboração de um programa de gerenciamento das emissões de GEE. Uma vez determinadas as fontes

e seus potenciais de emissão é possível planejar métodos e ações para alcançar a redução desejada. No caso especial de universidades, essa iniciativa é também relevante como parte da formação educacional dos alunos, incentivando-os para o desenvolvimento de novas soluções que possam prevenir e combater o aquecimento global, bem como outros impactos decorrentes das mudanças climáticas.

Os valores obtidos nesse inventário mostraram que as emissões de escopo 3, na categoria transporte, representaram mais de 98% das emissões totais no *campus* da PUC-Rio, devido aos deslocamentos diários entre a universidade e os locais de residência dos 20 mil frequentadores do *campus*. As emissões do escopo 1 foram pouco significativas, em grande parte, devido à pequena frota de veículos próprios da universidade, enquanto as emissões do escopo 2 também foram reduzidas em razão das características da matriz energética brasileira, predominantemente de origem hídrica. A arquitetura dos edifícios da universidade, assim como as características do espaço do *campus* da Gávea, muito arborizado e ventilado, também contribuiu para uma menor utilização de aparelhos de ar-condicionado e iluminação artificial.

O presente inventário de GEE indica que um projeto para estimular caronas solidárias, possibilidade de isenção do pagamento de estacionamento para automóveis com mais de três passageiros transportados e incentivos para a utilização de bicicletas pelos alunos, funcionários e professores, são exemplos de possíveis soluções de transporte, para atingir metas de redução de emissão de GEE no *campus*.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. (2010) *Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatórios de Referência*. Brasília, DF. Disponível em: <www.mct.gov.br/upd_blob/0212/212594.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2015.
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. (2013) Sistema Interligado Nacional (SIN). Disponível em: <www.mct.gov.br/index.php/content/view/321144.html>. Acesso em: 12 set. 2015.
- CARVALHO, J.P.A.F. (2013) *Gerenciamento de emissões de gases de efeito estufa do campus Gávea da PUC-Rio: inventário e proposta de mitigação de emissões*. Dissertação (Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Urbana e Ambiental) - PUC-Rio, Rio de Janeiro. 110p.
- DEFRA - Department for Environment, Food and Rural Affairs (UK). (2013) *Government GHG Conversion Factors for Company Reporting: Methodology Paper for Emission Factors*. Disponível em: <www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/224437/pb13988-emission-factor-methodology-130719.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2015.
- FGV - Fundação Getúlio Vargas. (2015) *Programa Brasileiro GHG Protocol*. Disponível em: <www.ghgprotocolbrasil.com.br>. Acesso em: 03 ago. 2015.
- GOMES, P.C.G. (2012) *Plano de gestão de resíduos sólidos do campus Gávea da PUC-Rio: elaboração, implementação e diagnóstico de operação*. Dissertação (Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Urbana e Ambiental) - PUC-Rio, Rio de Janeiro. 394p.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006) *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. IGES, Japan.
- NIMA - Núcleo Interdisciplinar de Meio Ambiente da PUC-Rio. (2015) *Agenda Ambiental*. Disponível em: <www.nima.puc-rio.br/noticias/agenda_ambiental.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2015.
- NTU - Assoc. Nacional de Empresas de Transporte Urbano. (2015) *Dados do Transporte Público*. Disponível em: <www.ntu.org.br/novo/ListaDadosPorRegiao.aspx?idArea=7&idSegundoNivel=17>. Acesso em: 19 dez. 2015.