

## ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO SETOR DE TRANSPORTES NA CIDADE UNIVERSITÁRIA DA UFRJ

Victor Hugo Souza de Abreu

Andrea Souza Santos

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE)

### RESUMO

Este artigo tem como objetivos estimar as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), no âmbito dos transportes, na Cidade Universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro, por meio do Protocolo Global para Inventários de GEE na Escala de Comunidade, e propor medidas para a redução dessas emissões a partir dos dados do inventário. Os resultados indicam que as emissões de GEE, relativas ao setor de transportes, totalizaram 2.006,09 tCO<sub>2</sub>Eq/ano, no ano de 2018, e 1.797,33 tCO<sub>2</sub>Eq/ano, no ano de 2019. Embora tenha havido uma diminuição de cerca de 10% das emissões de 2018 para 2019, acredita-se que seja necessário investir em medidas que busquem reduzir ainda mais essas emissões, tais como: maior incentivo à utilização do transporte ativo (transporte por bicicleta, por exemplo); eletrificação da frota de ônibus interno; e utilização de um aditivo de combustível na frota de veículos leves.

### ABSTRACT

This paper aims to estimate Greenhouse Gases (GHG) emissions, in the transport scope, in the University City of the Federal University of Rio de Janeiro using the Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emissions Inventories and propose measures to reduce these emissions from the inventory data. The results indicate that GHG emissions, relating to the transport sector, totaled 2,006.09 tCO<sub>2</sub>Eq/year, in 2018, and 1,797.33 tCO<sub>2</sub>Eq/year, in 2019. Although there was a decrease of about 10% in emissions from 2018 to 2019 it is believed that it is necessary to invest in measures that seek to further reduce these emissions, such as: greater incentive to use active transportation (bicycle transportation, for example); electrification of the internal bus fleet; and use of a fuel additive in the light vehicle fleet.

### 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, tem havido esforços mútuos globalizados para superar as graves questões ambientais e aumentar a percepção pública da poluição. Um dessas preocupações refere-se às emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) decorrentes da queima de combustíveis fósseis (SIM *et al.*, 2013). A intensificação das emissões de GEE faz com que parte desses raios solares não volte para o espaço, ocasionando a elevação da temperatura média do planeta, provocando o aquecimento global e as mudanças climáticas ((IPCC, 2007). O poder de aquecimento de um gás é influenciado pelas suas características e sua abundância. Os principais gases de efeito estufa são o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e três grupos de gases fluorados, que são o hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>), hidrofluorcarbonetos (HFCs) e perfluorcarbonos (PFCs) (SIM *et al.*, 2013).

Embora o aumento das emissões de GEE possa estar associado a sistemas climáticos caóticos não lineares (Silva & Paula, 2009), as emissões antropogênicas de GEE, conduzidas majoritariamente pelo crescimento econômico e populacional são as principais responsáveis pelo aquecimento global e pelas mudanças climáticas (IPCC, 2007; 2013; 2014a, 2018). As emissões de CO<sub>2</sub>, por exemplo, estão associadas ao uso de combustíveis fósseis e às mudanças de uso do solo, o CH<sub>4</sub> provém de atividades agrícolas e da queima de combustíveis fósseis, enquanto as emissões de N<sub>2</sub>O devem-se principalmente à agricultura (IPCC, 2007).

Especialmente, devido à sua abundância, o CO<sub>2</sub> é o mais crítico de todos os GEE, sendo o responsável pela maior contribuição para o aquecimento global. Por isso é utilizado como referência em termos de poder de aquecimento por meio de uma medida denominada de

Potencial de Aquecimento Global (do inglês, *Global Warming Potential* – GWP). Em relação ao CO<sub>2</sub>, considerado de valor unitário, o CH<sub>4</sub> tem valor 28 e o N<sub>2</sub>O tem valor 265, em um tempo de 100 anos de permanência na atmosfera (IPCC, 2014b).

A consciência ambiental vem crescendo em todo mundo, e os governos vêm implantando políticas de estímulo à redução das emissões de GEE (ANDRADE, 2016). Com a crescente atenção mundial sobre essas emissões, os tomadores de decisão buscam averiguar as questões ambientais e implementar metodologias de medição e sistemas de gerenciamento de emissões de GEE. Uma das metodologias mais utilizadas atualmente para estimar as emissões de GEE é a proposta pelo *World Business Council for Sustainable Development* e *World Resources Institute*, o Protocolo de Gases do Efeito Estufa (do inglês, *Greenhouse Gas Protocol* – GHG *Protocol*), que para o nível de cidade tem um padrão de estimativas de emissões denominado Protocolo Global para Inventários de GEE na Escala de Comunidade (do inglês, *Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emissions Inventories* - GPC).

O monitoramento da tendência das emissões de GEE urbanas ao longo do tempo, por meio da metodologia do Protocolo GHG, possibilita analisar o progresso da região sob análise da redução de suas emissões (FRY *et al.*, 2018) e planejar estratégias de mitigação e adaptação às mudanças do clima (LOMBARDI *et al.*, 2017). No Brasil, por meio do Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável, essa metodologia está sendo disseminada entre as empresas e instituições de ensino (GHG PROTOCOL BRASIL, 2010).

A Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), primeira universidade do Brasil, hoje em dia é classificada como uma das maiores e melhores universidades do país e do mundo (UFRJ, 2019). Em seu campus principal, a Cidade Universitária, circulam mais de 100 mil pessoas/dia, onde estudam mais de 40 mil alunos, em aproximadamente 130 cursos. Apesar da grande contribuição acadêmica, técnica e científica que a universidade proporciona, sua pressão ambiental também é grande. Ciente disso, a UFRJ planeja desenvolver um projeto que propõe mitigar, ou compensar, as emissões decorrentes de suas atividades na Cidade Universitária até o ano de 2030. O movimento se alinha à iniciativa de diversas universidades pelo mundo, as quais buscam aplicar o conceito de desenvolvimento sustentável dentro de suas atividades administrativas e acadêmicas. E, com isso, formar os futuros tomadores de decisão dentro de um ambiente socioambiental responsável.

Para alcançar esses resultados, considera-se necessário, primeiramente, elaborar um inventário de emissões de GEE, que é fundamental para mensurar o nível de emissão desses gases, e identificar os principais agentes e setores que contribuem para essas emissões. Nesse sentido, este artigo busca servir a esse propósito ao estimar as emissões de GEE ocorridas no *campus* da Cidade Universitária da UFRJ, por meio da aplicação da Metodologia GPC, para os anos de 2018 e 2019, especificamente para o setor de transportes, que é um dos principais emissores de GEE. Além disso, diante dos resultados também são propostas medidas para mitigar essas emissões.

Para atingir seus objetivos, este estudo está estruturado da seguinte forma. A Seção 1 apresenta a contextualização do assunto, o problema e os objetivos da pesquisa. A Seção 2 trata da descrição da Metodologia GPC. A Seção 3 descreve como se deu o processo para obtenção dos resultados. A Seção 4 apresenta e discute os resultados e indica possíveis medidas de mitigação das emissões de GEE. Finalmente, a Seção 5 contém as considerações finais.

## 2. METODOLOGIA

Este artigo foi desenvolvido com base na Metodologia GPC - *Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emissions Inventories* (Protocolo Global para Inventários de GEE na Escala de Comunidade, em tradução livre) (FONG *et al.*, 2014). O GPC tem como base os manuais para inventários de GEE, em escala nacional, publicados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC, adaptando-os para a escala local ou subnacional. Além disso, ele foi desenvolvido de maneira a permitir a comparação e agregação de inventários entre diferentes locais (cidades, estados etc.).

Nessa metodologia as emissões devem ser relatadas por gás, escopo, setor e subsetor e o total deve ser calculado a partir de duas abordagens distintas, mas complementares: (i) por escopo; e (ii) emissões induzidas pela cidade, ou seja, atribuíveis às atividades que ocorrem dentro do limite geográfico da cidade (ou local) em análise.

A abordagem por escopo permite diferenciar as emissões relacionadas às atividades de uma cidade, mas que podem ocorrer tanto dentro de sua fronteira, inclusive, quanto fora dela. As emissões são categorizadas em três diferentes escopos, tal que: o escopo 1 engloba as emissões que ocorrem fisicamente na cidade (também chamado de escopo territorial); o escopo 2 se refere às emissões a partir do uso de uso de eletricidade, vapor, aquecimento, e/ou resfriamento fornecidos pelo sistema elétrico – no caso do Brasil, o Sistema Interligado Nacional (SIN) –, e que podem ou não cruzar o limite geográfico da cidade; enquanto o escopo 3, por sua vez, engloba as emissões que ocorrem fisicamente fora do limite geográfico estipulado para cidade. Na Figura 1 é apresentada uma ilustração da categorização por escopos de diferentes atividades emissoras de GEE que podem ocorrer em uma cidade.

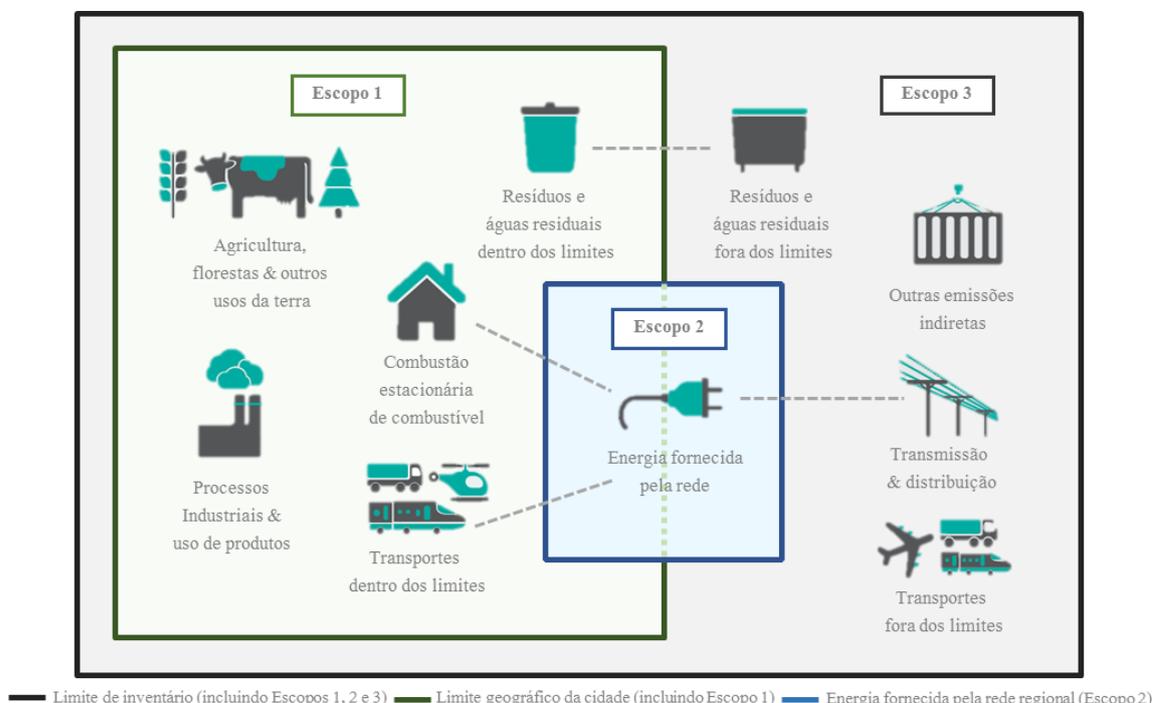


Figura 1: Descrição da divisão de emissões por escopo, extraído do manual GPC.

Fonte: Adaptado a partir de FONG *et al.* (2014).

Já a abordagem por emissões induzidas pela cidade permite que seja adotado entre um e dois possíveis níveis de relatório: *BASIC* ou *BASIC+*, vide Tabela 1. O nível *BASIC* abrange as emissões de energia estacionária e transporte, contemplados em ambos os escopos 1 e 2, bem como, as emissões provenientes de resíduos contempladas nos escopos 1 e 3. O nível *BASIC+*, por sua vez, engloba o escopo no nível *BASIC*, e inclui também as emissões do setor de Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU), de Agropecuária, Florestas e Uso do Solo (AFOLU), dos meios de transporte que cruzam o limite geográfico da cidade (escopo 3 de transporte), e das perdas de transmissão e distribuição de energia (escopo 3 de energia estacionária).

Tabela 1: Categorização dos diferentes setores nos dois possíveis níveis de relatório.

Setores	Níveis de relatório
Energia Estacionária	<i>BASIC/ BASIC+</i>
Transporte	<i>BASIC/ BASIC+</i>
Resíduos	<i>BASIC/ BASIC+</i>
IPPU	<i>BASIC+</i>
AFOLU	<i>BASIC+</i>

Fonte: Adaptado a partir de FONG *et al.*, 2014.

De acordo com o GPC, o setor denominado ‘Transporte’, foco desse estudo, pode ser dividido em cinco subsetores: (2.1) Transporte Rodoviário; (2.2) Transporte Ferroviário; (2.3) Transporte Aquaviário; (2.4) Transporte Aéreo; e (2.5) Transporte Fora de Estrada. Esses subsetores podem ainda ser divididos em diferentes categorias, conforme pode ser identificado na Tabela 2. Salienta-se que a numeração das fontes de emissão, primeira coluna, está de acordo com o estabelecido por FONG *et al.* (2014). Cabe destacar ainda que a Coluna Número (Nº) se refere ao identificador das fontes de emissões utilizada na Metodologia GPC.

Tabela 2: Transporte - Subsetores e categoria de acordo com o GPC.

Nº	Escopo	Fonte de Emissão GEE (por setor, subsetor e categoria)
2	-	TRANSPORTES
2.1	-	Transporte Rodoviário
2.1.1	1	Emissões oriundas da combustão de combustíveis, no âmbito do transporte rodoviário, que ocorrem dentro dos limites da cidade
2.1.2	2	Emissões provenientes de energia consumida da rede, dentro dos limites da cidade, para o transporte rodoviário
2.1.3	3	Emissões de parte das viagens transfronteiriças que ocorrem fora dos limites da cidade e perdas de transmissão e distribuição decorrentes do consumo de energia fornecido pela rede
2.2	-	Transporte Ferroviário
2.2.1	1	Emissões oriundas da combustão de combustíveis, no âmbito do transporte ferroviário, que ocorrem dentro dos limites da cidade
2.2.2	2	Emissões provenientes de energia consumida da rede, dentro dos limites da cidade, para o transporte ferroviário
2.2.3	3	Emissões de parte das viagens transfronteiriças que ocorrem fora dos limites da cidade e perdas de transmissão e distribuição decorrentes do consumo de energia fornecido pela rede

Nº	Escopo	Fonte de Emissão GEE (por setor, subsetor e categoria)
2.3	-	Transporte Aquaviário
2.3.1	1	Emissões oriundas da combustão de combustíveis, no âmbito do transporte aquaviário, que ocorrem dentro dos limites da cidade
2.3.2	2	Emissões provenientes de energia consumida da rede, dentro dos limites da cidade, para o transporte aquaviário
2.3.3	3	Emissões de parte das viagens transfronteiriças que ocorrem fora dos limites da cidade e perdas de transmissão e distribuição decorrentes do consumo de energia fornecido pela rede
2.4	-	Transporte Aéreo
2.4.1	1	Emissões oriundas da combustão de combustíveis, no âmbito do transporte aéreo, que ocorrem dentro dos limites da cidade
2.4.2	2	Emissões provenientes de energia consumida da rede, dentro dos limites da cidade, para o transporte aéreo
2.4.3	3	Emissões de parte das viagens transfronteiriças que ocorrem fora dos limites da cidade e perdas de transmissão e distribuição decorrentes do consumo de energia fornecido pela rede
2.5	-	Transporte Fora de Estrada
2.5.1	1	Emissões oriundas da combustão de combustíveis, no âmbito do transporte fora de estrada, que ocorrem dentro dos limites da cidade
2.5.2	2	Emissões provenientes de energia consumida da rede, dentro dos limites da cidade, para o transporte fora de estrada

Fonte: Adaptado a partir de FONG *et al.* (2014).

Ressalta-se ainda que há um modelo de relatório padrão a ser seguido, tanto para os setores e subsetores a serem abordados, quanto para os gases que devem ser considerados. No entanto, há casos em que os dados não estão disponíveis, ou em que o modelo não se enquadra na realidade da cidade. Nesses casos, há um padrão de notação que deve ser usado no inventário, e seguido de uma justificativa para exclusão de algum setor, subsetor ou gás, ou contabilização parcial deles. Essas notações foram definidas pelo IPCC, e são mostradas na Tabela 3.

Tabela 3: Notações para os dados.

Notação	Descrição
IE	Emissão incluída em outra categoria ( <i>Included Elsewhere</i> )
NE	Emissão existe, mas não foi estimada ( <i>Not Estimated</i> )
NO	Atividade não ocorre na cidade ( <i>Not Occurring</i> )
C	Confidencial ( <i>Confidential</i> )

Fonte: Adaptado de IPCC (2006).

Ainda, é necessário informar todas as fontes de dados usadas, bem como, todas as premissas adotadas, a fim de estimar as emissões dos GEE, seja no dimensionamento, na extrapolação ou no modelo, de maneira a garantir total transparência dos dados. Para classificar a precisão e a complexidade da metodologia para cálculo dos fatores de emissões e da aquisição dos dados, o IPCC utiliza o conceito de *Tier* (camadas) (IPCC, 2006), conforme exposto na Tabela 4.

Tabela 4: *Tier* - classificação.

<i>Tiers</i>	Descrição
1 (básico)	Dados provenientes de estatísticas nacionais ou internacionais, e fatores padrões. Qualquer cidade pode aplicar.
2 (intermediário)	Similar ao <i>Tier</i> 1, mas com fatores específicos do país.
3 (complexo)	Utiliza modelos e fatores específicos da tecnologia, e medidas.

Fonte: Adaptado de IPCC (2006).

Além disso, também é proposta uma classificação com base no grau de detalhamento em que os dados refletem a localização geográfica da atividade, o tempo ou a idade da atividade e qualquer tecnologia utilizada, o limite de avaliação e a fonte de emissão, e se os dados foram obtidos de fontes confiáveis e verificáveis, conforme exposto na Tabela 5.

Tabela 5: Qualidade dos dados - classificação.

Qualidade do dado	Dados das atividades	Fator de emissão
Alta (H, do inglês <i>High</i> )	Dados detalhados	Fatores de emissão específicos
Média (M, do inglês <i>Medium</i> )	Dados modelados, usando suposições robustas	Fatores de emissão gerais
Baixa (L, do inglês <i>Low</i> )	Dados modelados de maneira incerta	Fatores de emissão padrão

Fonte: Adaptado de IPCC (2006).

### 3. APLICAÇÃO

Os sistemas de transporte urbano são projetados para deslocar pessoas e mercadorias dentro e além das fronteiras da cidade. Veículos e equipamentos ou máquinas móveis produzem emissões de GEE diretamente, queimando combustível, ou indiretamente, consumindo eletricidade fornecida pela rede.

Para o nível *BASIC* deve-se reportar todas as emissões de GEE da combustão de combustíveis, no âmbito dos transportes, que ocorrem dentro do limite da cidade, no escopo 1, e as emissões de GEE da eletricidade fornecida pela rede utilizada para o transporte dentro do limite da cidade, no escopo 2. Além disso, se a análise for do nível *BASIC+*, também devem ser consideradas as emissões associadas ao transporte transfronteiriço, no escopo 3. Nesse sentido, um resumo das premissas adotadas para estimativa das emissões de GEE, no âmbito dos transportes, na Cidade Universitária da UFRJ é apresentado na Tabela 6.

Tabela 6: Transporte - Subsetores e categorias da Cidade Universitária da UFRJ.

Nº	Escopo	Fonte de Emissão GEE (por setor, subsetor e categoria)	Notação dados
2	-	TRANSPORTES	-
2.1		Transporte Rodoviário	-
2.1.1	1	Emissões oriundas da combustão de combustíveis, no âmbito do transporte rodoviário, que ocorrem dentro dos limites da cidade	
2.1.2	2	Emissões provenientes de energia consumida da rede, dentro dos limites da cidade, para o transporte rodoviário	NO
2.1.3	3	Emissões de parte das viagens transfronteiriças que ocorrem fora dos limites da cidade e perdas de transmissão e distribuição decorrentes do consumo de energia fornecido pela rede	NE

Nº	Escopo	Fonte de Emissão GEE (por setor, subsetor e categoria)	Notação dados
2.2	-	Transporte Ferroviário	NO
2.3	-	Transporte Aquaviário	NO
2.4	-	Transporte Aéreo	NO
2.5	-	Transporte Fora de Estrada	NO

Fonte: Adaptado a partir de FONG *et al.* (2014).

De acordo com a Tabela 6, tem-se que, no contexto da Cidade Universitária da UFRJ, os subsetores (2.2) a (2.5) não se aplicam, pois são atividades que não ocorrem no perímetro em análise e, por isso, foram identificados com a notação ‘NO’ (*Not Occurring*). Analisando as categorias do subsetor (2.1) tem-se que: atividades relacionadas à emissão em (2.1.2) não ocorrem na cidade, dessa forma, também foram identificadas com a notação ‘NO’; e atividades relacionadas à emissão em (2.1.3) não foram consideradas por fazerem parte somente do nível *BASIC+* (não do nível *BASIC*), dessa forma, utilizou-se a notação ‘NE’ (*Not Estimated*). Sendo assim, para o caso da Cidade Universitária da UFRJ, as emissões contabilizadas associadas ao setor ‘Transporte’ são oriundas da combustão de combustíveis, no âmbito do transporte rodoviário, que ocorrem dentro dos limites da cidade.

As emissões provenientes das fontes do subsetor ‘Transporte Rodoviário’ são calculadas multiplicando seus dados de consumo por tipo de combustível pelo fator de emissão correspondente, considerando uma parcela de combustível fóssil e outra parcela de biocombustível, caso haja. Nesse sentido, as próximas subseções descrevem detalhadamente os procedimentos adotados para estimar as emissões de GEE, no âmbito dos transportes, da Cidade Universitária da UFRJ.

### 3.1. Determinação da quantidade de combustível consumido

O total de combustível consumido foi obtido por meio de dados, disponibilizados pela Prefeitura Universitária, relativos à frota própria da UFRJ (que utiliza etanol, gasolina e diesel) e da linha de ônibus circular interno (que utiliza apenas diesel). Para cálculo do combustível consumido considerou-se a Equação 4.1:

$$C_i = \sum c_i \quad (1)$$

Onde:

- $i$  = Tipo de combustível [adimensional];
- $C$  = Combustível consumido total [L];
- $c$  = Combustível consumido unitário [L];

Nota-se, com a Equação 1, que a quantidade de combustível consumido é determinada para cada tipo de combustível considerado na pesquisa (ou seja, etanol, gasolina e diesel). Isso ocorre porque o fator de emissão, apresentado na Subseção 3.2, é definido para cada tipo de combustível.

### 3.2. Determinação dos fatores de emissão de GEE

Basicamente, os fatores de emissão de GEE utilizados para essas estimativas foram obtidos por meio da ferramenta disponibilizada pelo GHG *Protocol* Brasil. Nesse sentido, a Tabela 7 e a

Tabela 8 apresentam os fatores de emissão separados, respectivamente, por tipo de combustível fóssil e biocombustível.

Tabela 7: Fatores de emissão por utilização de combustíveis fósseis em fontes móveis.

Combustível	Unidade	Fatores de Emissão (kg GEE/un.)		
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Gasolina Automotiva (pura)	l	2,212	0,0008	0,00026
Óleo Diesel (puro)	l	2,603	0,0001	0,00014
Gás Natural Veicular (GNV)	m <sup>3</sup>	1,999	0,0034	0,00011
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	kg	2,932	0,0029	0,00001
Óleo Combustível	l	3,106	0,0004	0,00002

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 8: Fatores de emissão por utilização de biocombustível em fontes móveis.

Combustível	Unidade	Fatores de Emissão (kg GEE/un.)		
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Etanol Hidratado	l	1,457	0,0004	0,00001
Biodiesel (B100)	l	2,431	0,0003	0,00002
Etanol Anidro	l	1,526	0,0002	0,00001

Fonte: Elaboração própria.

Como podem ser observados, os fatores de emissão para fontes móveis devem ser estimados considerando uma parcela de combustível fóssil e outra de biocombustível, caso haja, presente em cada tipo de combustível. Além disso, destacam-se os fatores de emissão apresentados na Tabela 7 e na Tabela 8 que foram convertidos para kg GEE/un., de modo a facilitar os cálculos de emissão de GEE.

### 3.3. Determinação da quantidade de Emissão de GEE

As estimativas de emissão de GEE, realizadas nesse artigo, conforme já discutido anteriormente, baseiam-se na quantidade de combustível consumido e nos fatores de emissão, conforme pode ser identificado na Equação 2.

$$E = \sum \frac{FE_{ij} \cdot \%_j \cdot C_i + FE_{ik} \cdot \%_k \cdot C_i}{1000} \quad (2)$$

Onde:

- i = Tipo de combustível [adimensional];
- j = Tipo de combustível fóssil de i [adimensional];
- k = Tipo de biocombustível de i [adimensional];
- % = porcentagem [adimensional];
- E = Emissão por tipo de GEE [ton GEE];
- FE = Fator de Emissão de GEE [kg GEE/l];
- C = Combustível consumido total [l];

Com a Equação 2, nota-se que se faz necessário determinar, quais e em que proporção, são os combustíveis fósseis e biocombustíveis, caso haja, por cada tipo de combustível analisado nesse inventário, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9: Parcela de combustível fóssil e de biocombustível de cada combustível analisado por ano.

Combustível	Sustâncias	P <sup>1</sup> 2018	P <sup>1</sup> 2019
Gasolina Comum	Gasolina Automotiva (pura)	73%	73%
	Etanol Anidro	27%	27%
Etanol	Etanol Hidratado	100%	100%
Óleo Diesel Comercial	Óleo Diesel (puro)	92%	92%
	Biodiesel (B100)	8%	8%

Nota: (1) Prefere-se as proporções das substâncias contidas em cada combustível analisado.  
Fonte: Elaboração própria.

### 3.4. Determinação da quantidade de emissão de CO<sub>2</sub> equivalente

Para o CH<sub>4</sub> e o N<sub>2</sub>O, os resultados da Equação 4.2 são multiplicados pelo GWP correspondente, conforme já mencionado na Seção 1. Assim, a quantidade de emissão de CO<sub>2</sub> equivalente é obtida de acordo com a Equação 3.

$$E_{CO_2 Eq} = E_{C_2O} + 28 \cdot E_{CH_4} + 265 \cdot E_{N_2O} \quad (3)$$

## 4. RESULTADOS

Esta seção tem como objetivo apresentar os resultados obtidos com a aplicação da Metodologia GPC para estimativa das emissões de GEE, oriundas do setor de transportes da Cidade Universitária da UFRJ, referente aos anos de 2018 e 2019. Nesse sentido, na Tabela 10 são apresentados os consumos de combustível, por tipo, referente aos anos de 2018 e 2019, respectivamente.

Tabela 10: Consumo de combustível por ano.

Combustível	L/ano 2018	L/ano 2019
Gasolina	164346,92	151169,65
Etanol	6427,96	7141,36
Diesel	628742,40	558103,57
<b>Total</b>	<b>799517,28</b>	<b>716414,57</b>

Conforme nota-se na Tabela 10, o consumo de diesel, tanto em 2018, quanto em 2019, foi bem superior aos demais tipos de combustíveis. Isso se dá pela expressiva participação dos ônibus de circulação interna, destinados a movimentação de alunos e funcionários pelos centros de ensino espalhados pelo Campus da Cidade Universitária. Além disso, menciona-se a pequena participação do etanol. Isso demonstra que a universidade não é capaz de aproveitar o grande potencial do país na produção desse tipo de combustível, mesmo grande parte dos veículos, que

compõem a frota, apresentando motor *flex*, o que permite tanto o uso de gasolina, quanto de etanol.

Com os consumos de combustível, por tipo, presentes na Tabela 10, e seguindo os passos apresentados na Seção 3, é possível determinar a emissão de GEE por ano, no âmbito dos transportes, conforme identificado nas Tabelas 11 e 12 que correspondem aos anos de 2018 e 2019, respectivamente.

Tabela 11: Emissão de GEE referente ao ano de 2018.

Combustível	tCO <sub>2</sub> /ano	tCH <sub>4</sub> /ano	tN <sub>2</sub> O/ano	tCO <sub>2</sub> Eq/ano
	2018	2018	2018	2018
Gasolina	333,10	0,1068	0,0316	344,46
Etanol	9,37	0,0025	0,0001	9,46
Diesel	1627,96	0,0968	0,0811	1652,18
<b>Total</b>	<b>1970,43</b>	<b>0,2061</b>	<b>0,1128</b>	<b>2006,09</b>

Tabela 12: Emissão de GEE referente ao ano de 2019.

Combustível	tCO <sub>2</sub> /ano	tCH <sub>4</sub> /ano	tN <sub>2</sub> O/ano	tCO <sub>2</sub> Eq/ano
	2019	2019	2019	2019
Gasolina	308,46	0,1000	0,0298	319,16
Etanol	10,40	0,0027	0,0001	10,51
Diesel	1446,02	0,0849	0,0727	1467,66
<b>Total</b>	<b>1764,89</b>	<b>0,1876</b>	<b>0,1026</b>	<b>1797,33</b>

Com as Tabelas 11 e 12 nota-se, além da expressiva participação do diesel nas emissões de GEE, o que já era de se esperar por causa de sua elevada contribuição para o consumo de combustível, que de 2018 para 2019 houve uma queda de 2006,09 tCO<sub>2</sub>Eq/ano para 1797,33 tCO<sub>2</sub>Eq/ano, ou seja, ocorreu uma redução de 10% das emissões de GEE.

Salienta-se que para estimar as emissões de GEE do subsetor ‘Transporte Rodoviário’, aplicou-se o *Tier 2* para CO<sub>2</sub> e o *Tier 1* para N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>. Isso ocorre porque para fontes móveis, tratando-se das emissões de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>, existe a necessidade de um maior nível de informação, como tipo do veículo e tipo de tecnologia utilizada para o controle das emissões. Além disso, a qualidade dos dados foi alta (H, do inglês *High*) porque os dados são detalhados com Fatores de Emissão obtidos pelo Ministério do Meio Ambiente e pela ferramenta GHG *Protocol* Brasil.

A partir da obtenção dos dados das estimativas, parte-se para a avaliação de opções de mitigação das emissões de GEE. Nesse sentido, acredita-se que, como uma possível medida, pode-se mencionar um maior incentivo ao uso do transporte ativo, mais especificamente ao transporte não motorizado por bicicleta, aproveitando o traçado das ciclovias já existentes na região e as bicicletas disponibilizadas pelo Projeto “Integra UFRJ – compartilhamento de bicicletas e carros elétricos” do Fundo Verde, para viagens entre os centros de ensino, principalmente para aquelas com percurso inferior a 2 km. Isso reduziria a utilização dos ônibus internos que são os maiores consumidores de diesel. Para isso, faz-se necessário que seja realizada uma propaganda mais intensiva em busca de novos adeptos à utilização das bicicletas, bem como fornecimento de benefícios, como horas de atividades extracurriculares ou descontos em restaurantes da universidade, aos praticantes mais assíduos, ou seja, aqueles que fazem mais uso das bicicletas em seus deslocamentos diários entre os centros de ensino da universidade.

Outra medida de mitigação das emissões de GEE, no âmbito dos transportes, e provavelmente a mais efetiva, é a eletrização da frota de ônibus interno. Essa medida acarretaria uma minimização significativa no consumo de diesel e, conseqüentemente, de emissões de GEE. Isso porque, a frota de ônibus, consumidora de diesel, representou 72% e 79% das emissões de GEE referentes ao ano de 2018 e 2019, respectivamente. Entretanto, cabe mencionar que essa medida exige investimentos expressivos que podem, em curto prazo, serem inviabilizados devido a limitação dos recursos disponíveis na UFRJ. Além disso, torna-se importante fazer alusão a eventuais emissões de GEE por utilização de veículos elétricos (direta e/ou indiretamente).

Outra medida que pode ser mencionada é a utilização de um combustível de transição energética, que se baseia na incorporação de um aditivo, denominado *Green Plus*, no combustível, que melhora o desempenho dos veículos em até 7% (*Superb Crew*, 2020). O *Green Plus* é uma espécie de catalizador que funciona ao nível molecular para levemente “desaglomerar” complexos moleculares de hidrocarboneto - é completamente miscível a todos os combustíveis com base de hidrocarboneto - e permite que o oxigênio alcance o combustível e reaja mais facilmente. O fato de melhorar o processo de combustão resulta em um “efeito dominó positivo” – isto é, em uma queima mais completa, mais linear e mais fria. Isto em consequência, adiciona mais força, mais torque, melhor economia de combustível e menor emissão de substâncias prejudiciais.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As atividades antrópicas em todo o mundo relacionadas com a produção, consumo e o uso de energia, principalmente para os transportes, são as principais responsáveis pelo aumento das emissões de GEE, que intensificam o fenômeno do aquecimento global e, conseqüentemente, as mudanças climáticas. Isso motiva os tomadores de decisão a estimarem essas emissões e, a partir disso, implantarem ações de mitigação, em vários setores, incluindo o de transportes.

Servindo a esse propósito, este artigo teve como objetivos estimar as emissões de GEE, no âmbito dos transportes, na Cidade Universitária da UFRJ por meio da Metodologia GPC e propor medidas de mitigação dessas emissões a partir dos resultados encontrados. Salienta-se que essas estimativas foram feitas com base no nível *BASIC*, que no setor de transportes engloba os escopos 1 e 2.

Os resultados indicam que as emissões de GEE, no âmbito dos transportes, da Cidade Universitária da UFRJ foi de 2006,09 tCO<sub>2</sub>Eq/ano, no ano de 2018, e 1797,33 tCO<sub>2</sub>Eq/ano, no ano de 2019. Embora tenha havido uma diminuição de cerca de 10% das emissões de 2018 para 2019, acredita-se que seja necessário investir em medidas que busquem reduzir a trajetória dessas emissões, tais como: (i) um maior incentivo à utilização do transporte não-motorizado por bicicleta; (ii) eletrização da frota de ônibus interno; e (iii) utilização de um combustível de transição energética nos veículos da frota da UFRJ. Salienta-se que essas propostas não excluem a existência de outras, de igual importância, que podem ter ficado de fora das considerações.

O desenvolvimento deste artigo visa contribuir com as discussões e no planejamento para uma gestão estratégica das emissões de GEE em *campi* universitários. Para isso, é importante realizar estimativas ou inventários de emissões de GEE e atualizar os dados anualmente, de

forma a ser possível a obtenção de uma série histórica e facilitar uma avaliação do desempenho e sobre o alcance de metas de redução de emissões estabelecidas.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, C. E. S. (2016). *Avaliação da Emissão de Dióxido de Carbono e do Uso de Energia no Ciclo de Vida de Sistemas Metroferroviários de Passageiros: Aplicação na Linha 4 do Metrô do Rio de Janeiro*. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: [http://www.pet.coppe.ufrj.br/images/documentos/teses/Tese\\_Carlos\\_Andrade\\_08-07-2016.pdf](http://www.pet.coppe.ufrj.br/images/documentos/teses/Tese_Carlos_Andrade_08-07-2016.pdf).
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. The National Greenhouse Gas Inventories Programme.
- Fry, J.; Lenzen, M.; Jin, Y.; Wakiyama, T.; Baynes, T.; Wiedmann, T.; Malik, A.; Chen, G.; Wang, Y.; Geschke, A.; & Schandl, H. (2018). Assessing carbon footprints of cities under limited information. *Journal of Cleaner Production*, v. 176, p. 1254-1270.
- Fong, W. K. et al. (2014). *Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories. An Accounting and Reporting Standard for Cities*. Disponível em: [https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/GHGP\\_GPC\\_0.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/GHGP_GPC_0.pdf).
- GHG Protocol Brasil. (2019). *Programa Brasileiro GHG Protocol*. Disponível em: <https://www.ghgprotocolbrasil.com.br/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. (2014a). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva and Switzerland.
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. (2014b). *Climate Change 2014: Summary for Policymakers, In: Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. (2018). *Climate Change 2018: Summary for Policymakers. Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. In Press.
- Lombardi, M.; Laiola, E.; Tricase, C.; & Rana, R. (2017). Assessing the urban carbon footprint: An overview. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 66, p. 43-52.
- Silva, R. W. C., & Paula, B. L. (2009). Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural. *Terra e Didática*, v. 5, n. 1, p. 42-49.
- Sim, S., Oh, J., & Jeong, B. (2013). Measuring greenhouse gas emissions for the transportation sector in Korea. *Annals of Operations Research*, v. 230, n. 1, p. 129–151. doi:10.1007/s10479-013-1452-y
- Superb Crew. (2020). *Biofriendly Provides A 7% Reduction in Greenhouse Gases with Green Plus, The World's Only UN Eco-Labeled Energy Transition Fuel Additive*. Disponível em: <https://www.superbcrew.com/biofriendly-provides-a-7-reduction-in-greenhouse-gases-with-green-plus-the-worlds-only-un-eco-labeled-energy-transition-fuel-additive/>
- UFRJ. (2019). *UFRJ se mantém entre as melhores universidades do mundo*. Disponível em: <https://ufrj.br/noticia/2019/06/24/ufrj-se-mantem-entre-melhores-universidades-do-mundo>

---

Victor Hugo Souza de Abreu (victor@pet.coppe.ufrj.br)  
Andrea Souza Santos (andrea.santos@pet.coppe.ufrj.br)  
Programa de Engenharia de Transportes, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Av. Horácio Macedo, 2030, 101 – Cidade Universitária – Rio de Janeiro, RJ, Brasil