

**ANÁLISE DE POLÍTICAS DE MITIGAÇÃO DE EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> e MP ATRAVÉS DE UMA PROPOSTA METODOLÓGICA DE BAIXO CUSTO PARA CIDADES: UMA ABORDAGEM NO RIO DE JANEIRO.**

**RODRIGO RODRIGUES DE FREITAS**

CEFET - CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA - RJ

**THIAGO SAGawe**

CEFET - CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA - RJ

**ARYANE CRISTINE DANTAS DE MOURA**

CEFET - CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA - RJ

**FELIPE DO CARMO AMORIM**

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA FONSECA (CEFET/RJ)

# **ANÁLISE DE POLÍTICAS DE MITIGAÇÃO DE EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> e MP ATRAVÉS DE UMA PROPOSTA METODOLÓGICA DE BAIXO CUSTO PARA CIDADES: UMA ABORDAGEM NO RIO DE JANEIRO.**

## **1. INTRODUÇÃO**

As emissões veiculares representam, em média, 22% de toda as emissões do planeta. Segundo Ibarra-Espinosa et al. (2020), as emissões veiculares são uma das fontes com maior participação na poluição nas áreas urbanas, impactando na qualidade do ar com efeitos graves sobre a saúde humana e ecossistemas.

Estima-se que o consumo de diesel possa apresentar grande degradação na qualidade do ar, visto que, a queima de combustível fóssil para a geração de energia produz gases da combustão incompleta que são nocivos ao meio ambiente (Ventura e Pinto, 2013). A poluição do ar relacionada ao trânsito está associada a diversos problemas à saúde como obesidade, e diabetes, e ainda é grande responsável pela baixa produtividade (Carteni, Cascetta, Campana, 2015; Martins et al., 2016).

Os impactos gerados pela poluição nas emissões de gases no transporte rodoviário contribuem para o aumento de doenças respiratórias em todo mundo. A emissão de gases nocivos ao meio ambiente e a concentração de pessoas nos grandes centros urbanos facilita o aparecimento de doenças com características provenientes da utilização de combustíveis fósseis. A poluição externa foi responsável por 20 mil mortes no Brasil e 1,15 milhões em todo mundo, correspondendo a cerca de 2% do total de óbitos (Öberg et al, 2011). No Brasil, o uso de combustível oriundo de energia primária para o transporte é responsável por emitir 204 MtCO<sub>2</sub>e, a parcela dedicada ao uso do diesel é 55% ou 113 MtCO<sub>2</sub> (Ferreira et al, 2017).

O monitoramento da emissão de poluentes atmosféricos foi atribuído ao Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE, 2011). O programa incentivou a adição de biodiesel ao diesel como forma de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE), gases poluentes e material particulado, que neste caso a pesquisa refere às partículas menores que 10 $\mu$ m (MP). Esse processo ocorreu com a autorização do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE, 2019), a adição de 2% em 2005, 3% em 2008, 4% em 2009, 5% em 2010, 6% em 2014 e 7% em 2015, sabendo que no corrente ano, o volume obrigatório é de 10% com aumento progressivo até 2023, chegando a 15%.

É possível entender a relevância em buscar meios de estimar as emissões provenientes do consumo de diesel a nível de cidades e centros urbanos de maneira eficiente e de baixo custo. A presente pesquisa foi motivada pela ausência de estudos anteriores que utilizam uma abordagem *top-down* para verificar as emissões de dióxido de carbono e material particulado a nível de cidades, a fim de analisar a série histórica e o impacto de políticas de mitigação de emissões.

## **2. EMISSÕES DO DIESEL**

As condições meteorológicas com o processo de combustão contribui para que o hidrocarbonetos (HC) e Óxido de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) desenvolva a formação de ozônio (O<sub>3</sub>), pois

apresenta grande perigo para os seres humanos, além disso, as emissões veiculares não respeitam fronteiras políticas ou geográficas, se propagando pela atmosfera. Os veículos pesados, que utilizam diesel são os principais responsáveis por emissões de MP, pois partículas de HC auxiliam na formação de NOx e dióxido de enxofre SOx, que contribuem para o aumento de doenças respiratórias. (Carvalho et al., 2014; Ventura e Pinto, 2013; Costa e Henkes, 2013; Loureiro, 2005). No entanto, é válido realizar estudos focados na emissão de CO2 dentro de fronteiras dada a concentração urbana e densidade de emissões, entende-se que os demais poluentes e gases de efeito estufa seguem, em média, a proporção semelhante da emissão de CO2. As áreas do subúrbio dos grandes centros possuem maior concentração de CO2, neste caso, deve-se pensar em políticas públicas para evitar aglomeração nestes espaços. (Glaeser e Kahn, 2010)

O biodiesel é um substituto para o diesel, uma vez que o carbono emitido na combustão é absorvido durante o crescimento das plantas que fornecem o óleo natural. A sua produção pode ser realizada a partir de gordura vegetal ou fontes vegetais como soja, mamona, canola, girassol, algodão entre outros, sendo um produto natural com baixo teor de poluir o meio ambiente. Segundo Mora, Torres e Valero (2015), Rajaeifar (2017), destacam que a utilização do biodiesel de *used cook oil* (UCO) pode reduzir em até 88% dos gases de efeito estufa, além de eliminar resíduos poluentes. Silva et al (2017), destaca os efeitos da adição de biodiesel em teste de Tukey, em até 20% de éster metílico de soja, apresentou bons resultados. O biodiesel é promissor, pois é fonte de energia renovável e não precisa realizar muitas adaptações na motorização, pois as emissões são menos nocivas ao meio ambiente.

### 3. MÉTODOS DE MENSURAÇÃO DE EMISSÕES

No que diz respeito de estimativas de emissões, existem técnicas e metodologias para estimar as emissões de reserva de combustível de forma transparentes para os stakeholders, a fim de analisar as emissões de carbono e as decisões de investimento (Russell, 2016).

É possível investigar as emissões veiculares usando simulações de tráfego de veículos leves, caminhões e ônibus urbanos, além de dados de coordenadas GPS em tempo real e um Veículo Modelo Inventário de Emissões (VEIN) (Ibarra-Espinosa et al., 2020). O estudo foi realizado no Brasil, nas áreas metropolitanas de São Paulo, Santos, Vale de Paraíba, Sorocaba e Campinas, com uma população de mais de 30 milhões de habitantes.

Outra maneira é monitorar a qualidade do ar na estrada e medir as emissões de veículos com sensor de controle remoto em uma área urbana. A medição é realizada durante o dia das 8h às 17h, em uma estrada urbana com volumes de tráfego variando entre, aproximadamente, 400 a 800 veículos por hora e uma velocidade média de cerca de 40 km/h. (Smit, 2019)

Contudo, a ferramenta mais utilizada é o *GHG Protocol* desenvolvido pela *World Resources Institute* (WRI) que permite enquadrar as atividades de logística e transporte de carga dentro de uma visão ampla que considere os limites parametrizados de acordo com o cenário em estudo, além da flexibilizar a determinação dos fatores de emissão. Com isso, é possível a utilização de ferramentas complementares que se adequem ao caso específico, por exemplo, a utilização do *GLEC Framework* desenvolvido pelo *Smart Freight Center* e suas etapas de avaliação. (De Oliveira e D'Agosto, 2017).

#### 4. METODOLOGIA

O objetivo é analisar o impacto da adição do biodiesel no consumo de diesel através da estimativa das emissões de CO<sub>2</sub> e MP do transporte rodoviário a diesel na cidade do Rio de Janeiro, pois somente 2% de todo diesel consumido não é proveniente do consumo veicular. O processo metodológico é desenvolvido através do volume de diesel consumido de forma regional e não da frota circulante de veículos, essa diferenciação é uma alternativa adequada e de baixo custo para mensurar as emissões em cidades que não possuem dados da frota circulante e nem da curva de sucateamento.

A proposta é uma abordagem regionalizada para facilitar o gerenciamento de medidas e controle por parte das prefeituras. Os dados iniciam-se de forma nacional, onde o desmembramento permite uma observação mais ampla, finalizando ao nível das cidades. O procedimento divide-se em quatro partes indissociáveis para calcular as emissões de CO<sub>2</sub> e MP (combustível, freios, pneus e pista).

1) Na primeira etapa, é utilizada para mensurar o consumo de diesel na cidade através da obtenção dos dados a nível nacional, utilizando a proporção da frota de veículos para calibrar. 2) A segunda etapa é calcular a quilometragem média por veículos a diesel na cidade através da obtenção dos dados a nível nacional, utilizando a proporção da frota de veículos disponível para calibrar. 3) A terceira etapa é utilizada para calcular o fluxo de entrada e saída de veículos rodoviários que consomem diesel na cidade, dessa forma é possível verificar proporção a mais ou a menos do consumo de combustível na cidade. Essa parte deve ser adaptada, se aplicada em outras cidades, o impacto das emissões de diesel não provenientes do transporte rodoviário na cidade do Rio de Janeiro é aproximadamente 2%, logo parte-se da premissa da utilização somente do transporte rodoviário. 4) A quarta etapa é utilizada para estimar as emissões de CO<sub>2</sub> e MP, assim como a adição de biodiesel no diesel. Deve-se verificar a proporção e o fator de emissão de cada combustível na mistura, relacionando as proporções permitidas para cada ano. Para calcular as emissões de MP nas cidades, deve-se verificar o fator de emissão de cada particulado (combustível, freios, pneus e pista) em relação aos combustíveis e quilometragem rodada.

Dessa forma, é possível observar a evolução histórica das emissões individuais de CO<sub>2</sub> e MP, além da evolução total. Com isso, é possível observar o impacto nas emissões totais, assim como desenvolver políticas de mitigação como a adição do biodiesel no diesel e desenvolvimento de materiais menos nocivos para a comercialização de pneus, freios e pista.

A pesquisa concentrou-se na cidade do Rio de Janeiro com população estimada em 6,71 milhões de pessoas e uma densidade de 5.598 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2018). A cidade se encontra na região sudeste do país, que retêm cerca de 10% do território nacional e com a maior concentração da frota no país. Dada a proposta de baixo custo e simplificação, a metodologia é direcionada a cidades que não possuem cálculo da frota circulante, justificando a escolha do Rio de Janeiro como objeto de estudo.

#### 5. APLICAÇÃO

1º etapa: consumo de diesel no Rio de Janeiro: na primeira etapa é utilizada para mensurar o consumo de diesel na cidade, o processo exemplifica a obtenção dos dados a nível nacional, utilizando a frota de veículos para calibrar  $Cv$ , o consumo de diesel  $Dv$ , frota a diesel  $Fd$ , frota total  $Ft$ , venda total de diesel  $Dt$ , e proporção de combustível  $Prop. comb$ . Para obter o volume total de diesel consumido, neste caso, desde o nível nacional, estados ou cidade, utiliza-se a nomenclatura  $a$  para um nível superior e  $b$  para um nível inferior posterior.

$$Cv_a = \frac{Fd_a}{Ft_a} \quad (1)$$

$$Prop. comb_{b/a} = \frac{Fd_b}{Fd_a} \quad (2)$$

$$Dv_a = Cv_a * Dt_a \quad (3)$$

$$Dv_b = Prop. comb_{b/a} * Dv_a \quad (4)$$

2º etapa: quilometragem rodada no do Rio de Janeiro: a segunda etapa é calcular a quilometragem média dos veículos a diesel na cidade, e realizar o ajuste conforme o fluxo de veículos a diesel. O dado necessário foi a intensidade ou quilometragem rodada a diesel  $Qr$ . Na Eq. 5, o resultado foi obtido através do produto da proporção do total de veículos a diesel na cidade pela quilometragem rodada por veículos de consumo a diesel.

$$Qr_b = Qr_a * Prop. comb_{b/a} \quad (5)$$

3º etapa: fluxo de entrada e saída de veículos no Rio de Janeiro: a terceira etapa é utilizada para calcular o fator de compensação entre o fluxo de entrada e saída de veículos rodoviários que consomem diesel na cidade. A pesquisa de contagem de tráfego foi realizada por uma equipe de quatro pessoas: duas duplas em cada fluxo, alternado cada uma por duas horas entre 06:00h até 10:00h e 16:00h até 20:00h, na terça-feira, quarta-feira e quinta-feira durante quatro semanas no mês de setembro de 2018. O objetivo era calibrar os dados disponível na Companhia de Engenharia de Tráfego da cidade do Rio de Janeiro – CET-RIO. A escolha da localização foi a rodovia Avenida Brasil Km 4,2, pois é o ponto de maior tráfego entre a entrada e saída de veículos a diesel. A rodovia é confluência de outras quatro rodovias. A figura 1 demonstra as principais vias de entrada na cidade do Rio de Janeiro, o ponto marcado no mapa destaca o principal local de entrada na cidade com o maior fluxo.

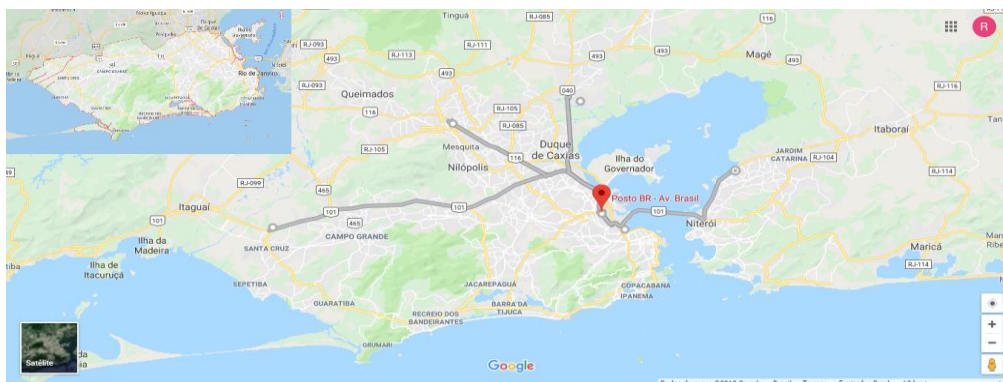


Figura 1: Mapa com as principais rodovias de entrada e saída na cidade do Rio de Janeiro  
 Fonte: produção própria extraído do *maps* 2019® Google. Ponto marcado em vermelho corresponde o local de pesquisa: avenida Brasil nº 4365 (-22.875164, -43.243091).

Os dados foram coletados no mês de setembro dos anos de 2016, 2017 e 2018, pela CET-RIO, apresentado conforme a tabela 1. A discrepância entre as pesquisas foi de 5% no mesmo ponto do posicionamento global.

Tabela 1: Contagem de tráfego na Avenida Brasil nº4.320 de veículos de combustão a diesel

Ano	Vce	Vcs	Fdc	Vde	Vds	Flx
2016	99.837	123.104	13,02%	12.996	16.025	0,85%
2017	92.629	114.216	12,92%	11.970	14.759	0,78%
2018	94.339	116.325	12,93%	12.196	15.038	0,78%

Fonte: produção própria adaptada da CET-RIO. *Vce* = volume diário de veículos que entram na cidade, *Vcs* = volume diário de veículos que saem da cidade, *Fdc* = participação da frota diesel na frota total da cidade, *Vde* = volume de veículos a diesel que entram na cidade, *Vds* = volume de veículos a diesel que saem, e *Flx* = fluxo de veículos a diesel na cidade.

O fator de fluxo de veículos é utilizado para determinar a compensação dos veículos que consomem diesel, uma vez abastecidos, emitem gases fora dos limites da cidade de abastecimento. Os dados demonstraram que em média, o número de veículos a diesel reduz 0,8025%, entre os veículos que entram e saem na cidade do Rio de Janeiro. A Eq. 6 exemplifica o fator do fluxo de veículo a diesel *Flx*, o volume de veículos a diesel que entram na cidade *Vde*, e volume de veículos a diesel que saem *Vds*.

$$Flx = \frac{Vds}{Vde} \quad (6)$$

O fator de fluxo de veículo é utilizado para compensar o volume real de veículos a diesel na cidade, desta forma, pode determinar o consumo de diesel ajustado *Dvj*, e a quilometragem rodada ajustada *Qrj*. O resultado é o produto da Eq. 6 com a Eq. 4 para o cálculo do consumo de diesel ajustado na Eq. 7, e o produto da Eq. 6 com a Eq. 5 para quilometragem rodada ajustada na Eq. 8.

$$Dvj_a = (1 + Flx_a) * Dv_a \quad (7)$$

$$Qrj_a = (1 + Flx_a) * Qr_a \quad (8)$$

4º etapa: emissões de CO<sub>2</sub> e MP na cidade do Rio de Janeiro: para calcular as emissões de CO<sub>2</sub> nas cidades que utilizam a adição de biodiesel no diesel, deve-se verificar a proporção e o fator de emissão de cada combustível e sua mistura nos anos e proporções permitidas, composto por emissão de dióxido de carbono em gramas *CO<sub>2</sub>(g)*, fator de participação do diesel %*D*, fator de participação do biodiesel %*B*, fator de emissão de diesel *Ftd*, e fator de emissão de biodiesel *Ftb*.

$$CO_2(g) = Dvj[(\%D * Ftd) + (\%B * Ftb)] \quad (9)$$

Para calcular as emissões de MP, deve-se verificar o fator de emissão de cada particulado (combustível, freios, pneus e pista) em relação a *Qrj*. Neste caso, o material particulado total *MP<sub>total</sub><sup>10</sup>* é composto por: fator total de emissão de particulado por combustível *Fpc*, fator total de emissão de particulado por pneus e freios *Fppf*, fator total de emissão de particulado na pista *Fppi*.

$$MP_{total}^{10} \text{ g/km} = Qrj_a(Fpc + Ftpf + Ftppi) \quad (10)$$

Na figura 2, o processo metodológico está detalhado de acordo com as etapas propostas. A 1º etapa está a venda de diesel para veículos, na 2º etapa a mensuração do fluxo de veículos, na 3º etapa quilometragem rodada, e por último a 4º etapa para verificar as emissões de CO<sub>2</sub> e MP.

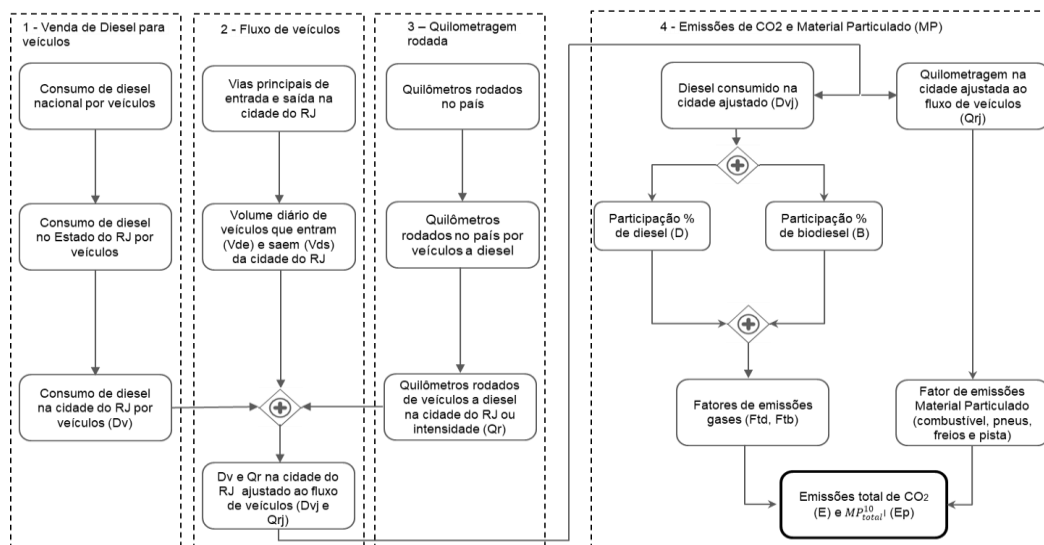


Figura 2: Processo metodológico para mensurar as emissões de CO<sub>2</sub> e MP de forma regional a partir do volume de diesel no ano

Fonte: produção própria. Legenda: *Dnv*= diesel nacional por veículos; *Dev* = diesel estadual por veículos, *Dcv* = diesel da cidade por veículos; *Vde* = veículos diário que entram na cidade; *Vds* = veículos diário que saem da cidade; *Qcd* = quilômetros rodados na cidade por veículos a diesel; *Dcj* = consumo de diesel na cidade ajustado; *Qcdj* = quilometragem na cidade por veículos a diesel ajustado; *D* = diesel; *B* = biodiesel; *Ftd* = fator total das emissões de diesel; *Ftb* = fator total de biodiesel; *Ftpc* = Fator total de emissão de particulado por combustível; *E* = emissões de CO<sub>2</sub> e *Ep* = Emissões totais de material particulado  $MP_{total}^{10}$ .

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para analisar a sensibilidade dos dados é proposta a regressão linear múltipla através da análise da variância (ANOVA) na tabela 2. Neste caso, com variável dependente o consumo de biodiesel (*y*), e as variáveis independentes emissões de CO<sub>2</sub> e  $MP_{total}^{10}$ . As variáveis da Eq. 9 estão em grama para nivelar a escala de dados. A amostragem inicia-se em 2001 e termina em 2016, pois no ano de 2005 ocorre a primeira adição de 2% de biodiesel, e de forma paulatina até alcançar 7% de concentração no diesel. Os resultados foram gerados pelo *Software Gretl 2019a*, onde não apresentaram violações estatísticas e rejeita-se  $H_0$ .

$$y = \alpha_0 + \beta_1 CO_2(g) + \beta_2 MP_{total}^{10} g/km + \varepsilon \quad (11)$$

Tabela 2: Regressão dos dados de CO<sub>2</sub> e MP com variáveis independentes e adição de biodiesel como variável dependente na cidade do Rio de Janeiro

Variáveis	Coefficiente	Erro Padrão	razão-t	p-valor
Constante ( $\alpha$ )	-5,22471e+07	4,63E+07	-1,128	0,2797
CO <sub>2</sub> (g)	-0,128372	0,0292103	-4,395	0,0007 ***

$MP_{total}^{10}$ (g/km)		50574	4273,51	11,83	<0,0001 ***
Média dependente	var.	1,05E+08	D.P. var. dependente		87143383
Soma quadrados	resíd.	2,31E+15	E.P. da regressão		13334605
R-quadrado		0,979707	R-quadrado ajustado		0,976585
F(2, 13)		313,8095	P-valor(F)		9,95E-12
Log verossimilhança	da	-283,5359	Critério de Akaike		573,0717
Critério de Schwarz		575,3895	Critério Hannan-Quinn		573,1904
rô		0,347021	Durbin-Watson		1,248211

Fonte: produção própria

O *t-student* está na margem adequada, assim como o p-valor < 5%, logo exclui  $H_0$  em relação as variáveis  $CO_2$  e  $MP_{total}^{10}$ , contudo a constante  $\alpha$  não apresenta um valor adequado. O resultado demonstra que as emissões de  $MP_{total}^{10}$  estão na direção oposta do biodiesel, pois o aumento de adição no diesel, não necessariamente reduzirá as emissões na atmosfera. Esse resultado é resposta as ações de políticas públicas com somente o incentivo a adição do aumento da concentração de biodiesel no diesel, pois o coeficiente da constante diverge em relação as emissões de  $MP_{total}^{10}$ . Existe um grande distanciamento do coeficiente  $\alpha$  em relação aos  $\beta_i$ , ainda que substituísse 100% do diesel por biodiesel, desde o período de implantação, ocorreriam grandes emissões de  $MP_{total}^{10}$ .

Esse parâmetro é explicado na hipótese da produção de biodiesel substituir toda a produção de diesel, onde as variáveis independentes  $\beta_i$  fossem iguais a 0, sem interferir na variável dependente. Neste caso, se ocorresse aumento na venda de veículos de combustão a diesel, e se somente políticas de redução de  $CO_2$  fossem aplicadas, as emissões de  $MP_{total}^{10}$  poderiam aumentar. De acordo com Woodcock (2009), Air Quality Expert Group (2007) e Carslaw (2005), o aumento do incentivo de veículos elétricos e outras fontes de energia renovável, não elimina as emissões de MP, pois as emissões provenientes dos pneus e freios, assim como do desgastes da pista, é maior que o MP emitida na queima do combustível

## 7. CONCLUSÃO

Pesquisas para verificar as emissões de material particulado (MP), e gases de efeito estufa (GEE), especificamente dióxido de carbono ( $CO_2$ ), provenientes do transporte de carga ou pessoas, demanda um alto custo de recursos tecnológicos e pessoal especializado, pois a principal dificuldade são os dados de veículos que estão circulando em tempo real. A falta de confiabilidade desses dados ocorre por falha na retirada de veículos sucateados que estavam em circulação.

A metodologia tem o enfoque no consumo de combustível, pois a demanda do produto ocorre quase que de forma instantânea com a utilização dos veículos. O processo se divide em 4 etapas



como: i) a venda de diesel na cidade, ii) fluxo de entrada e saída de veículos, iii) quilometragem rodada, e iv) cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> e MP. A aplicação é uma abordagem *top-down*, pois é orientada para reduzir os custos de pesquisa, podendo decompor resultados anteriores ou relatórios a nível nacional. A metodologia em 4 etapas facilita a aplicação por exigir um número menor na participação de pessoas para realizar a pesquisa, assim como na maior velocidade no levantamento dos dados. A confiabilidade dos relatórios investigados é importante no sentido de aumentar a acurácia dos resultados. Os bancos de dados devem ser disponíveis e utilizados por pesquisadores, assim como o resultado de pesquisa devem estar procedentes com trabalhos anteriores (André, 2004).

Somente a adição do biodiesel como estratégia para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> e MP, não produz efeitos satisfatórios, pois os resultados são perceptíveis somente na queima de combustível. O biodiesel não influencia no desempenho das emissões de particulados provenientes dos pneus, freios e pistas. A adição de biodiesel pode retardar os efeitos no curto prazo, contudo os acréscimos na venda de veículos, pode aumentar a poluição e a degradação do meio ambiente. Por isso, a necessidade das cidades organizarem relatórios, de forma a mensurar, registrar e verificar de forma constante, a fim de comparar com políticas públicas de sustentabilidade, principalmente para grandes cidades com alta densidade populacional.

Os resultados orientam para o aumento de esforços em pesquisa de materiais menos nocivos ao meio ambiente, principalmente na fabricação de pneus, freios e pistas, pois as partículas emitidas por esses produtos podem contribuir para o aumento de mortes por doenças respiratórias.

## AGRADECIMENTOS

Dois pesquisadores obtiveram bolsa de estudo financiada pela Governo Brasileiro no Programas de Iniciação Científica e Tecnológica do Centro Federal de Educação Tecnológica.

## REFERÊNCIAS

- Air Quality Expert Group. (2007). *Air quality and climate change: a UK perspective*. London: Department for Environment, Food and Rural Affairs.
- André, M. (2004). The ARTEMIS European driving cycles for measuring car pollutant emissions. *Science of the total Environment*, 334, 73-84. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.04.070>.
- Boddey, R., Alves, B. J. R., Soares, L.H.B., Urquiaga, S. (2008). Biological nitrogen fixation and the mitigation of greenhouse gas emissions. *Agronomy Monograph*. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr52.c14>.
- Carslaw DC. (2005). Evidence of an increasing NO<sub>2</sub>/NO<sub>X</sub> emissions ratio from road traffic emissions. *Atmos Environ* 39: 4793–802. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.06.023>.
- Carteni, A., Cascetta, F., Campana, S. (2015). Underground and ground-level particulate matter concentrations in an Italian metro system. *Atmos. Environ.* 101,328-337. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.11.030>.
- Carvalho et al. (2014). *Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários – Ano base 2012*. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA.

- CET-RIO – Companhia de Engenharia de Tráfego do Rio de Janeiro. (2018). *Indicador Global de Volume (IGVOL)*. Rio de Janeiro.
- CNPE - Conselho Nacional de Política Energética. (2019). *Relatório de consolidação dos testes e ensaios para validação da utilização de Biodiesel B15 em motores e veículos*. Brasília.
- Costa, F. A. A., Henkes, J. A. (2013). Uma Breve Análise da Qualidade do Ar da Cidade De São Paulo. *R. Gest. Sust. Ambient.* v.2, n.1, p. 250 – 264.
- De Oliveira, C.M., D Agosto, M.D.A. (2017). *Guia de Referências em Sustentabilidade: Boas Práticas para o Transporte de Cargas*. Rio de Janeiro.
- Devarajan, Y., Munuswamy, D. B., Mahalingam, A. P. (2017). Performance, combustion and emission analysis on the effect of ferrofluid on neat biodiesel. *Process Safety and Environment Protection* 111, 283-291. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.07.021>.
- Dodman, D. (2009). Blaming cities for climate change? An analysis of urban greenhouse gas emissions inventories. *Environment and Urbanization* 21: 185. <https://doi.org/10.1177/0956247809103016>.
- Etyemezian, V., Kuhns, H., Gillies, J., Green, M., Pitchford, M., & Watson, J. (2003). Vehicle-based road dust emission measurement: I—methods and calibration. *Atmospheric Environment*, 37(32), 4559-4571. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(03\)00528-4](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(03)00528-4).
- Ferreira et al. (2017). Emissões dos Setores de Energia, Processos Industriais e Uso de Produtos - SEEG. Instituto de Energia e Meio Ambiente – IEMA.
- Glaeser, E. L., Kahn, M. E. (2010). The greenness of cities: Carbon dioxide emissions and urban development. *Journal of Urban Economics*, 67, 404–418. <https://doi.org/10.1016/j.jue.2009.11.006>.
- Ibarra-Espinosa, S., Ynoue, R. Y., Ropkins, K., Zhang, X., & de Freitas, E. D. (2020). High spatial and temporal resolution vehicular emissions in south-east Brazil with traffic data from real-time GPS and travel demand models. *Atmospheric Environment*, 222, 117136. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117136>.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2018). Estimativas da população residente para os municípios e para as unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2018. Rio de Janeiro.
- Loureiro, C. F. B. et al. (2005). Complexidade e dialética: contribuições à práxis política e emancipatória em educação ambiental. *Educação e Sociedade*, Campinas, v. 26, n. 93, p.1473-1494.
- Macedo, I. C., Seabra, J. E., Silva, J. E. (2008). Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: the 2005/2006 averages and a prediction for 2020. *Biomass and Bioenergy*, 32, p. 582-595. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.12.006>.
- Martins, V., Moreno, T., Mendes, L., Eleftheriadis, K., Diapouli, E., Alves, C.A., Duarte, M., De Miguel, E., Capdevila, M., Querol, X. (2016). Factors controlling airquality in different European subway systems. *Environ. Res.* 146, 35–46. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.12.007>.
- Mora, E. F., Torres, C., Valero, A. (2015). Thermoeconomic Analysis of Biodiesel Production from Used Cooking Oils. *Sustainability* 2015, 7, 6321-6335. <https://doi.org/10.3390/su7056321>.

- Oberg M, Jaakkola, M. S., Woodward, A., Peruga, A., Prüss-Ustün, A. (2011). Worldwide burden of disease from exposure to second-hand smoke: a retrospective analysis of data from 192 countries. *Lancet*. 377(9760):139-46. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(10\)61388-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(10)61388-8).
- PROCONVE - *Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores*. (2011). Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. 3 ed. Brasília.
- Rajaeifar, M. A. et al. (2017). Attributional and consequential environmental assessment of using waste cooking oil- and poultry fat-based biodiesel blends in urban buses: a real-world operation condition study. *Biofuel Research Journal* 15, 638-653. <https://doi.org/10.18331/BRJ2017.4.3.3>.
- Russell, Stephen. (2016). *A Recommended Methodology for Estimating and Reporting the Potential Greenhouse Gas Emissions from Fossil Fuel Reserves*. Working Paper. Washington, DC: World Resources Institute.
- Sehnm, S., Jabbour, C. J. C., Rossetto, A. M., Campos, L. M. S., Sarquis, A. Bessa. (2015). Green Supply Chain Management: uma análise da produção científica recente (2001-2012). *Production*, v. 25, n. 3, p. 465-481. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132014005000006>.
- Senna, P. et al. (2016). A three-stage stochastic optimization model for the Brazilian biodiesel supply chain. *Production*, 26 (3), 501-515. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.200015>.
- Severo, E. A., Guimarães, J. C. F., Dorion, E. C. H., & Nodari, C. H. (2015). Cleaner production, environmental sustainability and organizational performance: an empirical study in the Brazilian metal-mechanic industry. *Journal of Cleaner Production*, 96, 118-125. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.027>.
- Silva et al. (2017). Comparative study of NOx emissions of biodiesel-diesel blends from soybean, palm and waste frying oils using methyl and ethyl transesterification routes. *Fuel* 194,144–156. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.12.084>.
- Smart Freight Centre (2016). *GLEC Framework for Logistics Emissions Methodologies*.
- Smit, R., Kingston, P., Neale, D. W., Brown, M. K., Verran, B., Nolan, T. (2019). Monitoring on-road air quality and measuring vehicle emissions with remote sensing in an urban area. *Atmospheric Environment*, 218, 116978. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.116978>.
- Soares, J., Mariano, A. P., De Angelis, D.D. (2009). Biodegradation of biodiesel/diesel blends by *Candida viswanathii*. *Afr. J. Biotechnol.* 8, 2774–2778.
- Teles, C. D., Dutra, C. C., Ribeiro, J. L. D., Guimarães, L. B. M. (2016). Uma proposta para avaliação da sustentabilidade socioambiental utilizando suporte analítico e gráfico. *Production*, 26(2), 417-429. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.0638T6>.
- Urquiaga, S. Alves, B.J.R., Boodey, R. M. (2005). Produção de biocombustíveis A questão do balanço energético. *Revista de política agrícola*. V. 14, 1, 42-46.
- Van der Horst, D., Vermeulen, S. (2011). Spatial scale and social impacts of biofuel production. *Biomass and Bioenergy*. V. 35, 6, 2435-2443. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.11.029>.
- Ventura, L. M; B., Pinto, F. O. (2013). *Inventário Emissões de Fontes Veiculares Região Metropolitana Do Rio De Janeiro*. Instituto Estadual do Ambiente. Version 1.0. Rio de Janeiro.

Woodcock, J. (2009). Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: urban land transport. *The lancet*, vol 374, 1930 – 1943. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)61714-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61714-1).

**Apêndice A: Tabela de volume de Diesel, emissões de CO<sub>2</sub> e MP na cidade do Rio de Janeiro**

Ano	Venda de diesel na cidade	Emissões de CO <sub>2</sub> do Biodiesel e Diesel			Material Particulado (MP)	
		Biodiesel (g)	Diesel (g)	Emissões totais (g)	Km rodado na cidade	MP
2001	1.051.925	-	2.738.159.662	2.716.187.153	12.266	7.884
2002	1.045.932	-	2.722.561.832	2.700.714.488	12.414	7.980
2003	1.030.822	-	2.683.230.641	2.661.698.912	12.631	8.120
2004	1.070.311	-	2.786.019.205	2.763.662.644	13.123	8.435
2005	1.042.307	50.676.975	2.658.863.053	2.687.797.178	13.136	8.444
2006	1.013.573	49.279.915	2.585.563.694	2.613.700.165	12.881	8.280
2007	1.058.753	51.476.584	2.700.816.069	2.730.206.733	13.954	8.970
2008	1.124.363	81.999.781	2.838.914.957	2.897.475.701	15.289	9.828
2009	1.105.933	107.540.949	2.763.594.467	2.848.095.835	15.566	10.006
2010	1.229.056	149.391.789	3.039.271.785	3.163.075.971	17.373	11.168
2011	1.314.735	159.806.084	3.251.143.350	3.383.578.086	18.797	12.082
2012	1.413.994	171.870.970	3.496.595.040	3.639.028.207	20.329	13.068
2013	1.473.072	179.051.953	3.642.687.142	3.791.071.344	21.542	13.847
2014	1.502.159	219.104.969	3.675.513.644	3.863.366.036	22.734	14.613
2015	1.428.450	243.079.273	3.457.976.576	3.671.356.527	22.521	14.476
2016	1.341.453	228.275.076	3.247.376.271	3.447.760.796	21.924	14.093

**Apêndice B: Fatores de conversão**

<i>Ftd</i> = Fator de emissão de diesel	2,603	g/L
<i>Ftb</i> = Fator de emissão de biodiesel	2,431	g/L
<i>Ftpc</i> = Fator total de emissão de particulado por combustível	0,02	g/km
<i>Ftpf</i> = Fator total de emissão de particulado por pneus e freios	0,5900	g/km
<i>Ftpi</i> = Fator total de emissão de particulado por pista	0,0380	g/km
<i>Flx</i> = Fluxo de veículos a diesel que saem da cidade	0,0080246	fluxo