



CONSTRUÇÃO DE UM INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES PARA A CIDADE DE MACEIÓ-AL

CONSTRUCTION OF AN INVENTORY OF VEHICLE EMISSIONS FOR THE CITY OF MACEIÓ-AL

CONSTRUCCIÓN DE UN INVENTARIO DE EMISIONES DE VEHÍCULOS PARA EL AYUNTAMIENTO DE MACEIÓ-AL

Marcones de Oliveira Silva¹, Thiago Amaral Melo Lima², Deivid Santos de Almeida³

e371697

<https://doi.org/10.47820/recima21.v3i7.1697>

PUBLICADO: 07/2022

RESUMO

Este artigo descreve toda a metodologia necessária para a construção de um inventário de emissões veiculares para uma metrópole de porte médio, como Maceió-AL. Tal metodologia pode ser usada com as devidas adequações para a construção de inventários para outras cidades brasileiras. Um inventário de emissões é um conjunto de dados que estima a quantidade de emissão de determinados poluentes atmosféricos a partir de fontes especificadas, levando em consideração certa área geográfica e um dado período. Os gases de exaustão inventariados neste trabalho foram o monóxido de carbono (CO), os óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP). Também se inventariou as emissões evaporativas e de abastecimento constituídas por vapores de gasolina e etanol e definidas como hidrocarbonetos não metano (NMHC).

PALAVRAS-CHAVE: Inventário. Emissão. Poluente

ABSTRACT

This article describes all the methodology needed to build a vehicle emissions inventory for a medium-sized metropolis like Maceió-AL. Such methodology can be used with the necessary adaptations for the construction of inventories for other Brazilian cities. An emissions inventory is a set of data that estimates the amount of emission of certain air pollutants from specified sources taking into account a certain geographic area and a given period of time. The exhaust gases inventoried in this work were carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NO_x) and particulate matter (PM). Evaporative and supply emissions constituted by gasoline and ethanol vapors and defined as non-methane hydrocarbons (NMHC) were also inventoried.

KEYWORDS: Inventory. Issue. Pollutant

RESUMEN

Este artículo describe toda la metodología necesaria para la construcción de un inventario de emisiones de vehículos para una metrópolis de tamaño medio, como Maceió-AL. Esta metodología puede ser utilizada con los ajustes apropiados para la construcción de inventarios para otras ciudades brasileñas. Un inventario de emisiones es un conjunto de datos que estima la cantidad de emisión de ciertos contaminantes atmosféricos procedentes de fuentes específicas, teniendo en cuenta una determinada zona geográfica y un período determinados. Los gases de escape inventariados en este trabajo fueron monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y partículas (MP). También se inventariaron las emisiones evaporativas y de suministro consistentes en vapores de gasolina y etanol y definidas como hidrocarburos no metanos (NMHC).

PALABRAS CLAVE: Inventario. Emisión. Contaminante

¹ Mestrado em Meteorologia pela Universidade Federal de Alagoas – UFAL - Instituto Federal do Sertão Pernambucano - IFSertãoPE

² Instituto Federal do Sertão Pernambucano - IFSertãoPE

³ Universidade Federal de Alagoas



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CONSTRUÇÃO DE UM INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES PARA A CIDADE DE MACEIÓ-AL
Marcones de Oliveira Silva, Thiago Amaral Melo Lima, Deivid Santos de Almeida

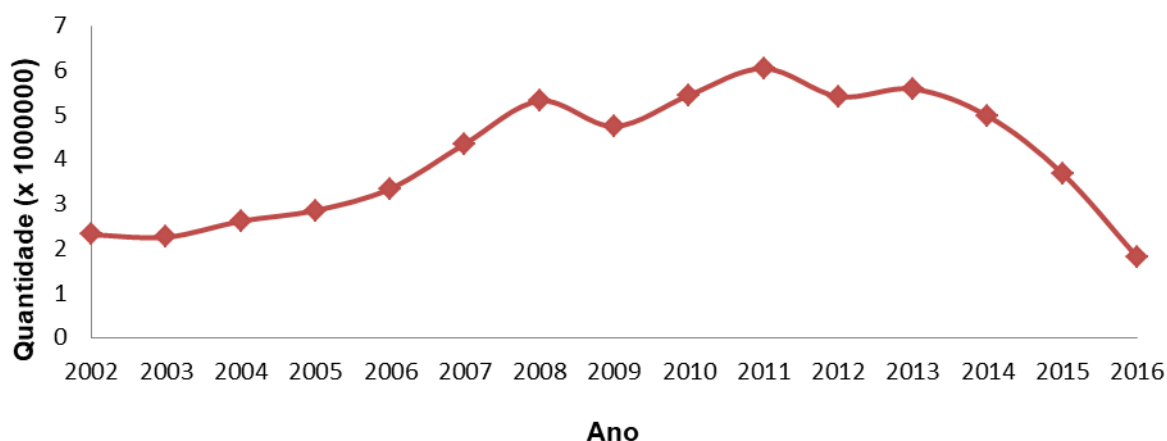
INTRODUÇÃO

A poluição do ar é um problema recorrente nas cidades que apresentam grande crescimento populacional e industrial. A Europa é responsável por até 400 mil mortes prematuras, onde cerca de 97% de sua população urbana está exposta a níveis de ozônio (O_3) maiores do que a concentração média de 8 horas ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) recomendada pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e cerca de 90% está exposta a níveis de material particulado fino ($\text{PM}_{2.5}$) maiores do que a média anual de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ recomendada pela OMS (KUIK *et al.*, 2016). Na região Metropolitana da Cidade do México as médias horárias das concentrações de ozônio (O_3) excedem diariamente o padrão mexicano de qualidade do ar de $210 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (TIE *et al.*, 2007).

No Brasil, a cidade do Rio de Janeiro, que tem a segunda maior frota veicular do país e uma topografia bastante característica influenciada pela brisa do mar e por montanhas que dificultam a dispersão de poluentes, registrou durante os anos de 2012 e 2013 ultrapassagens do padrão máximo de ozônio (O_3) estabelecido pela legislação brasileira vigente de $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por hora (MARTINS *et al.*, 2017). Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), que possui a maior frota veicular, 32 dias do ano de 2016 ultrapassaram o padrão estadual de concentração de ozônio estabelecido (média máxima de $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a cada 8 horas) (CETESB, 2017).

As principais fontes antropogênicas de poluição atmosférica são a combustão, processos industriais, queima de resíduos sólidos e a frota veicular que contribuem com aproximadamente 80% dos poluentes gasosos presentes na atmosfera (LISBOA, 2014). Atualmente, a maior fonte poluidora nas grandes cidades brasileiras é a frota de veículos automotores que cresce anualmente (Figura 1). O estado de Alagoas também segue a tendência brasileira de crescimento da frota veicular (Figura 2).

Figura 1 – Número de veículos emplacados no Brasil, por ano de fabricação, durante o período de 2002 a 2016.



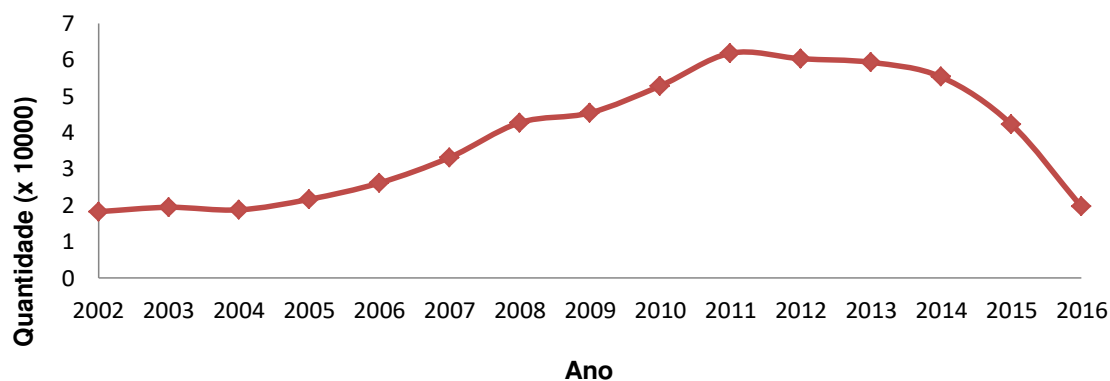
Fonte: Autor (2018).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CONSTRUÇÃO DE UM INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES PARA A CIDADE DE MACEIÓ-AL
Marcones de Oliveira Silva, Thiago Amaral Melo Lima, Deivid Santos de Almeida

Figura 2 – Número de veículos emplacados em Alagoas, por ano de fabricação, durante o período de 2002 a 2016.



Fonte: Autor (2018).

Alguns poluentes atmosféricos emitidos diretamente pelos veículos são o dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP). Outro poluente que não é emitido diretamente, mas formado através de reações químicas na presença de radiação solar é o ozônio troposférico. É relevante estudar as concentrações desses e outros poluentes e sua distribuição espacial nas cidades porque altas concentrações podem causar danos à saúde das pessoas, em especial, a saúde de idosos e crianças.

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) através da resolução nº 5 de 15 de junho de 1989, estabeleceu o Programa Nacional de Qualidade do Ar (PRONAR) como um dos instrumentos básicos de proteção da saúde e bem-estar das populações, tendo em vista um desenvolvimento econômico e social em concordância com a preservação ambiental e aos limites estabelecidos de emissão de poluentes. Esta resolução estabelece os padrões primários e secundários de qualidade do ar. Os padrões primários são limites máximos toleráveis de concentração que se ultrapassados podem causar danos à saúde da população, constituindo-se em metas de curto e médio prazo. Os padrões secundários são limites de concentrações abaixo dos quais se prevê o mínimo dano à saúde das pessoas e ao meio ambiente, sendo entendidos como níveis desejáveis de concentração de poluentes e constituindo-se metas de longo prazo.

A resolução CONAMA nº 3 de 28 de junho de 1990 complementa a resolução nº 5 de 15 de junho de 1989 e estabelece os valores dos padrões primários e secundários (Tabela 1) para os poluentes atmosféricos.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

ISSN 2675-6218

CONSTRUÇÃO DE UM INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES PARA A CIDADE DE MACEIÓ-AL
Marcones de Oliveira Silva, Thiago Amaral Melo Lima, Deivid Santos de Almeida

Tabela 1 – Padrões de qualidade do ar - MGA - média geométrica anual, MAA - média aritmética anual, ppm - partes por milhão e 1 – não deve ser excedido mais de uma vez durante o ano.

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão Secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas totais em suspensão	24 horas ¹	240	150
	MGA	80	60
Partículas inaláveis	24 horas ¹	150	150
	MAA	50	50
Fumaça	24 horas ¹	150	100
	MAA	60	40
Dióxido de enxofre	24 horas ¹	365	100
	MAA	80	40
Dióxido de nitrogênio	1 hora ¹	320	190
	MAA	100	100
Monóxido de carbono	1 hora ¹	40.000	40.000
		35 ppm	35 ppm
	8 horas ¹	10.000	10.000
		9 ppm	9 ppm
Ozônio	1 hora ¹	160	160

Fonte: CONAMA (1990).

METODOLOGIA

Área de Estudo

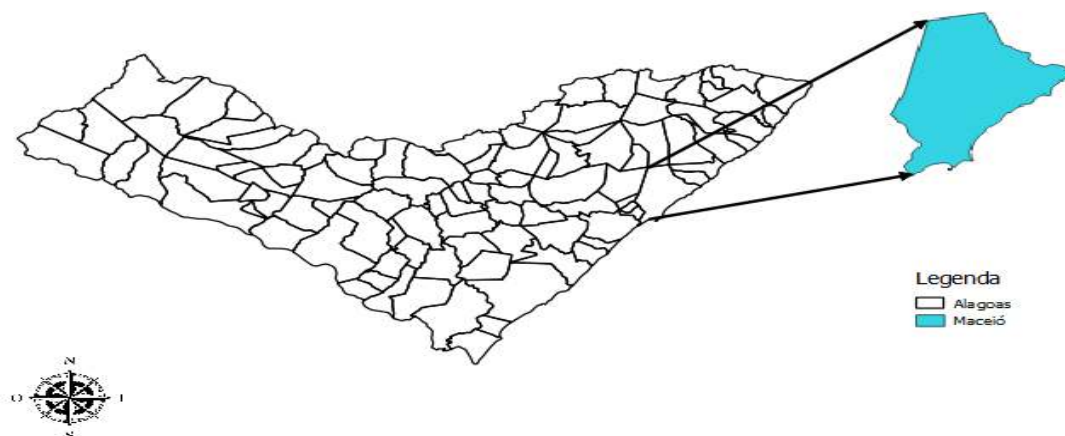
O município de Maceió-AL encontra-se na região Nordeste do Brasil, na latitude 9° 39' 75" sul e longitude 35° 44' 07" oeste, às margens do Oceano Atlântico, ver Figura 3. Tem uma área aproximada de 510 km² dos quais 212 km² de área urbana onde se localiza a cidade de Maceió, que possui uma população de um pouco mais de 1 milhão de habitantes (IBGE, 2017).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CONSTRUÇÃO DE UM INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES PARA A CIDADE DE MACEIÓ-AL
Marcones de Oliveira Silva, Thiago Amaral Melo Lima, Deivid Santos de Almeida

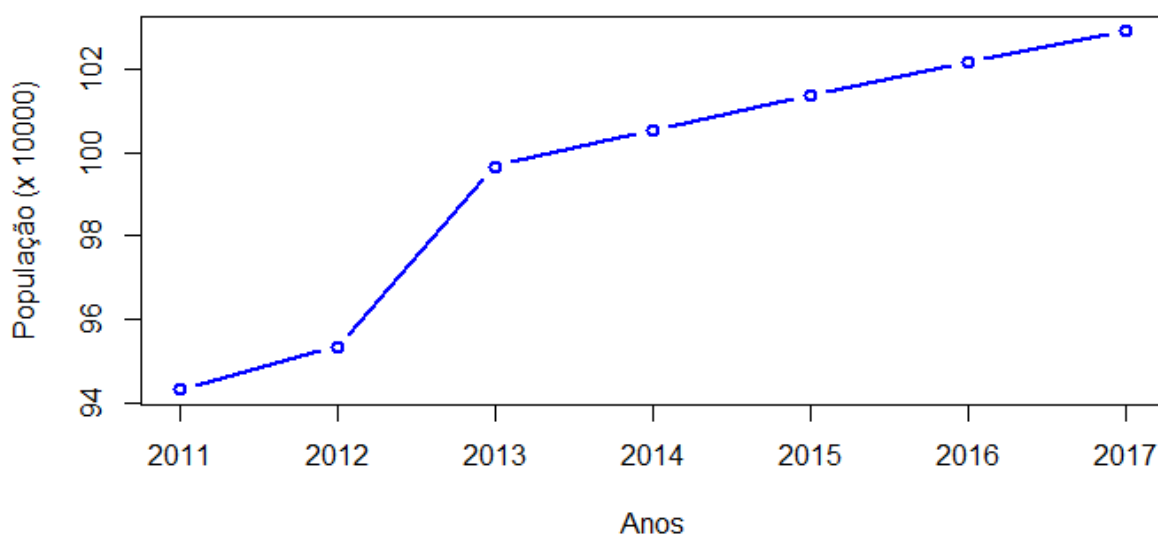
Figura 3 - Localização da área de estudo.



Fonte: Autor (2018).

A Figura 4 mostra a variação da população de Maceió durante os anos de 2011 a 2017. A cada ano tem-se verificado um crescimento da população e, conseqüentemente, mais pessoas estão expostas aos problemas decorrentes da poluição urbana.

Figura 4 – Variação anual da população de Maceió-AL durante os anos de 2011 a 2017.



Fonte: Autor (2018).

Inventário de Emissão

Esta subseção descreve toda a metodologia necessária para a construção de um inventário de emissões veiculares para uma metrópole de porte médio, como Maceió-AL. Tal metodologia pode



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CONSTRUÇÃO DE UM INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES PARA A CIDADE DE MACEIÓ-AL
Marcones de Oliveira Silva, Thiago Amaral Melo Lima, Deivid Santos de Almeida

ser usada com as devidas adequações para a construção de inventários para outras cidades brasileiras. Um inventário de emissões é um conjunto de dados que estima a quantidade de emissão de determinados poluentes atmosféricos a partir de fontes especificadas, levando em consideração certa área geográfica e um dado período. A construção de um inventário bem detalhado ajuda a compreender e estreita a relação entre emissão e concentração de poluentes na atmosfera e, portanto, é bastante útil na elaboração de políticas públicas que ajudem a reduzir as concentrações de poluentes danosos à saúde humana (CETESB, 2016).

Para a elaboração do Inventário de Emissões Veiculares para a Cidade de Maceió – AL utilizou-se a metodologia *bottom-up* que considera separadamente a contribuição de cada fonte na emissão de determinado poluente atmosférico. Os gases de exaustão são lançados na atmosfera através da queima do combustível no motor do veículo. Há ainda o lançamento de gases pelo processo de evaporação do combustível armazenado no tanque do veículo e também pelo processo de abastecimento nos postos de gasolina. Os gases de exaustão inventariados neste trabalho foram o monóxido de carbono (CO), os óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP). Também se inventariou as emissões evaporativas e de abastecimento constituídas por vapores de gasolina e etanol e definidas como hidrocarbonetos não metano (NMHC).

Foram consideradas apenas as emissões de poluentes por veículos automotores, uma vez que elas representam a maior parte do total emitido nas grandes cidades. Foram calculadas as emissões totais em toneladas por ano para os poluentes monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos não metano (NMHC) e material particulado (MP). Optou-se por seguir a metodologia proposta no Relatório de Emissões Veiculares publicado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), no ano de 2016.

Emissões de Escapamento

Para calcular as emissões de escapamento são necessários os dados de fator de emissão por tipo de veículo, poluente e combustível, a quilometragem média ou intensidade de uso e o número de veículos por categoria, combustível e ano de fabricação.

De acordo com CETESB (2016), a equação geral utilizada para o cálculo das emissões de escapamento é dada por:

$$E = Fr \times Fe \times lu$$

onde:

E = Massa do poluente emitida durante o ano que se quer inventariar (g/ano);

Fr = Frota circulante, ou seja, número de veículos por categoria, combustível e ano de fabricação;

Fe = Fator de emissão, depende do tipo de veículo, poluente e combustível utilizado (g/km).

lu = Intensidade de uso ou quilometragem média anual percorrida pelo veículo.

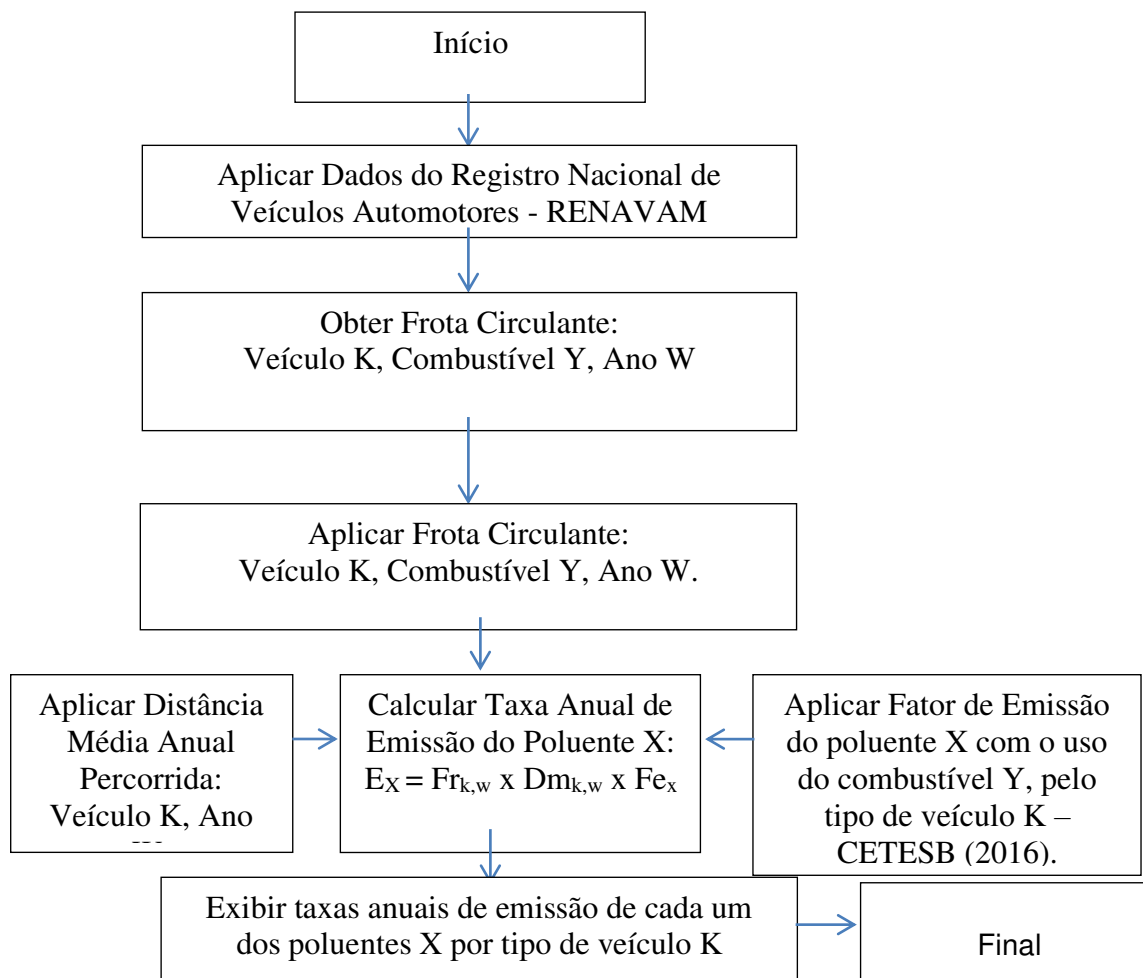


RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CONSTRUÇÃO DE UM INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES PARA A CIDADE DE MACEIÓ-AL
Marcones de Oliveira Silva, Thiago Amaral Melo Lima, Deivid Santos de Almeida

O modelo geral utilizado para inventariar as emissões de poluentes está descrito abaixo onde se utiliza as informações relativas ao número de veículos de determinada categoria, fatores de emissão (por tipo de veículo, combustível e poluente) e distância média percorrida anualmente em função da idade do veículo.

Figura 5 - Diagrama esquemático com as etapas da metodologia proposta.



Fonte: Autor (2018).

Intensidade de uso é a distância percorrida pelo veículo ao longo de um ano. Tal distância depende do tipo e idade do veículo. Expressa em quilômetro por ano (km/ano).

Fator de emissão é a massa de poluente emitida pelos veículos ao percorrer determinada distância. Expresso em gramas por quilômetro (g/km). Todos os fatores de emissão e valores de intensidade de uso utilizados neste trabalho foram retirados do Relatório de Emissões Veiculares publicado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), no ano de 2016.

Frota Circulante é a quantidade de veículos que estão em circulação nas cidades independentemente de estarem licenciados ou registrados no órgão de trânsito. No presente trabalho



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

ISSN 2675-6218

CONSTRUÇÃO DE UM INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES PARA A CIDADE DE MACEIÓ-AL
Marcones de Oliveira Silva, Thiago Amaral Melo Lima, Deivid Santos de Almeida

a frota circulante em Maceió-AL foi tomada como sendo igual ao número de veículos que consta no Registro Nacional de Veículos Automotores (RENAVAM). As categorias de veículos utilizadas para os cálculos das emissões de poluentes estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2 - Definição das Categorias de Veículos em Maceió - AL.

Categories	Combustível	Definição
Automóveis	Gasolina Etanol Flex	Veículo automotor destinado ao transporte de passageiros, com capacidade para até oito pessoas, inclusive o condutor.
Veículos Comerciais Leves	Gasolina Etanol Flex Diesel	Veículo automotor destinado ao transporte de pessoas ou carga, com peso bruto total de até 3.500 kg.
Motocicletas	Gasolina Flex	Veículo automotor de duas rodas, com ou sem side-car, dirigido em posição montada.
Caminhões	Diesel	Veículo automotor destinado ao transporte de carga, com carroçaria, e peso bruto total superior a 3.500 kg.
Ônibus Urbanos	Diesel	Veículo automotor de transporte coletivo dentro do município, de uso intermunicipal nas regiões metropolitanas e os midi-ônibus.
Micro-ônibus	Diesel	Veículo automotor para transporte coletivo com capacidade para até vinte passageiros, para uso urbano, intermunicipal ou rodoviário, incluindo os miniônibus.

Fonte: Autor (2018).

O levantamento da quantidade de veículos em circulação levou em consideração os dados presentes no Registro Nacional de Veículos Automotores (RENAVAM) tendo como base o ano de 2016 (Tabela 3).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

CONSTRUÇÃO DE UM INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES PARA A CIDADE DE MACEIÓ-AL
 Marcones de Oliveira Silva, Thiago Amaral Melo Lima, Deivid Santos de Almeida

Tabela 3 - Distribuição da frota por categoria em 2016 para Maceió - AL.

Categoria	Distribuição da frota	Porcentagem (%)
Automóveis	177.548	61,2
Comerciais Leves	32.486	11,2
Motocicletas	68.370	23,6
Caminhões	8.388	2,9
Ônibus Urbanos	2.120	0,7
Micro – Ônibus	1.159	0,4
Total	290.071	100

Fonte: Autor (2018).

A distribuição dos veículos por categoria e combustível é mostrada na Tabela 4.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

ISSN 2675-6218

CONSTRUÇÃO DE UM INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES PARA A CIDADE DE MACEIÓ-AL
Marcones de Oliveira Silva, Thiago Amaral Melo Lima, Deivid Santos de Almeida

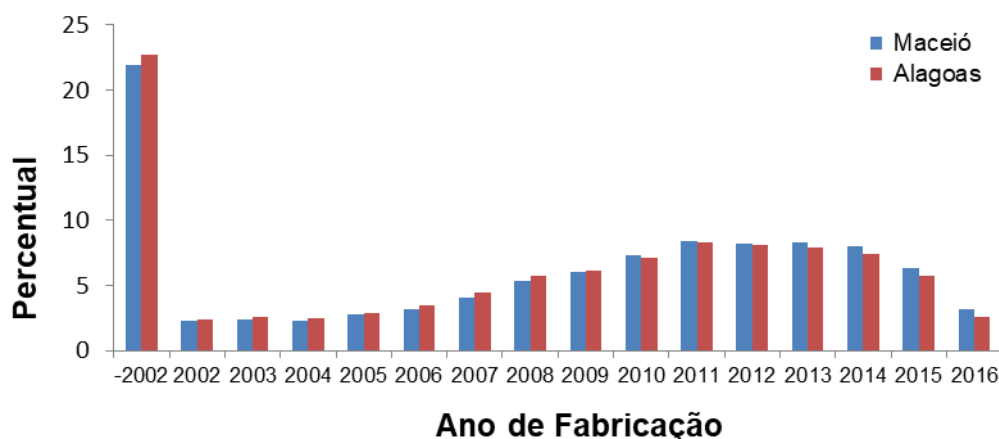
Tabela 4 - Distribuição da frota por categoria e combustível em 2016 para Maceió – AL - (*)
Gasolina comercial vendida nos postos de combustíveis. Possui em sua composição etanol anidro (obtido da cana de açúcar e com teor de água próximo de zero), em percentual que varia de 18% a 27% do volume total (CETESB, 2016).

Categoria	Gasolina C*	Etanol	Diesel	Flex
Automóveis	67.890 (38,2%)	8.979 (5,1%)	-	100.679 (56,7%)
Comerciais Leves	12.422 (38,2%)	1.643 (5,1%)	11.184 (34,4%)	7.237 (22,3%)
Motocicletas	26.144 (38,2%)	-	-	42.226 (61,8%)
Caminhões	-	-	8.388 (100%)	-
Ônibus Urbanos	-	-	2.120 (100%)	-
Micro – Ônibus	-	-	1.159 (100%)	-

Fonte: Autor (2018).

Em relação à categorização dos veículos por idade, nota-se que mais de um quarto das frotas de Alagoas e Maceió são formadas por veículos com mais de 15 anos de uso (Figura 6).

Figura 6 - Percentual da distribuição de veículos por idade no período de -2002 até 2016 para Maceió (azul) e Alagoas (vermelho).



Fonte: Autor (2018).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

CONSTRUÇÃO DE UM INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES PARA A CIDADE DE MACEIÓ-AL
Marcones de Oliveira Silva, Thiago Amaral Melo Lima, Deivid Santos de Almeida

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As emissões de CO, NO_x, MP e NMHC dos veículos em circulação na cidade de Maceió – AL foram calculadas de acordo com a metodologia proposta pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). O ano de 2016 foi tomado com referência, onde se estimou uma frota de aproximadamente 290 mil veículos dentre as categorias: Automóveis, Comerciais Leves, Motocicletas, Caminhões, Ônibus Urbanos e Micro-Ônibus (RENAVAM).

A frota veicular de Maceió-AL emitiu 10.445 toneladas de CO, 2595 toneladas de NO_x, 57 toneladas de MP e 786 toneladas de NMHC (Tabela 5).

Os automóveis que compõem aproximadamente 62% da frota de veículos são responsáveis por 72% do total de emissão de CO e 58% do total de emissão de NMHC. A categoria caminhões, que representa apenas 3% dos veículos em circulação, emite 36% do total de emissão de NO_x e 47% do total de emissão de MP (Figura 7).

Tabela 5 - Total de Emissões em 2016 de CO, NO_x, MP e NMHC para a cidade de Maceió – AL em toneladas por ano (t/ano).

Emissões (t)	CO	NO _x	MP	NMHC
Automóveis	7518	508	3	452
Comerciais Leves	1114	372	10	67
Motocicletas	1502	75		207
Caminhões	167	937	26	35
Ônibus Urbanos	117	567	13	20
Micro-Ônibus	27	135	4	6
Total	10.445	2595	57	786

Fonte: Autor (2018).

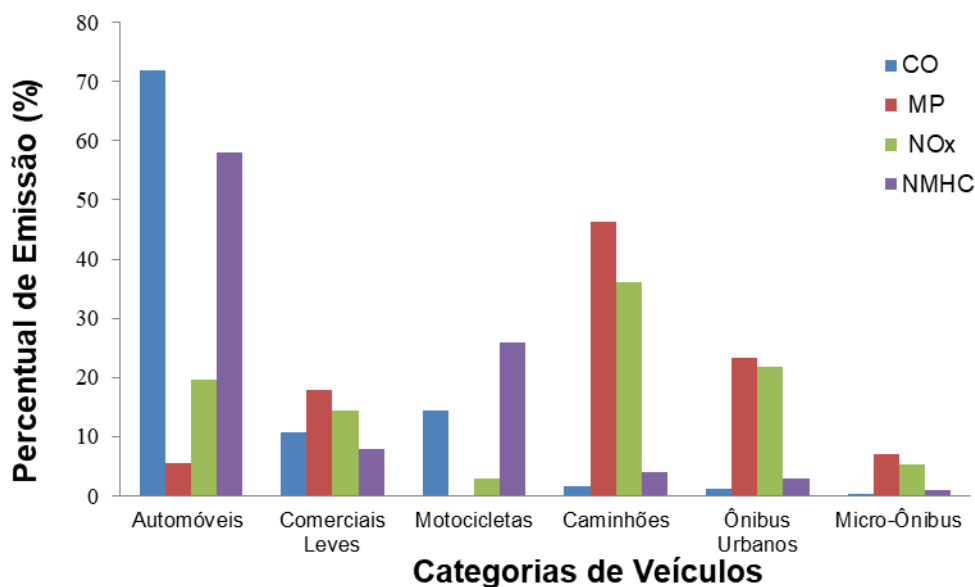


RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

ISSN 2675-6218

CONSTRUÇÃO DE UM INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES PARA A CIDADE DE MACEIÓ-AL
Marcones de Oliveira Silva, Thiago Amaral Melo Lima, Deivid Santos de Almeida

Figura 7 – Percentual de emissão de poluentes por categoria de veículos.



Fonte: Autor (2018).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção de um inventário de emissões veiculares detalhado ajuda a entender o nível de poluição que determinada cidade possui e, portanto, é uma maneira eficaz de auxiliar na tomada de decisões pertinentes às políticas públicas que contribuam para a mitigação da poluição urbana.

REFERÊNCIAS

CETESB. 2016. **Emissões veiculares no estado de São Paulo 2015**: Série relatórios. São Paulo: CETESB, 2016. 213 p.

CETESB. **Qualidade do ar no estado de São Paulo 2016**. Série relatórios. São Paulo: CETESB, 2017. 200 p.

CONAMA. **Resolução Nº 3 de 28 de junho de 1990**. Brasília: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 1990.

CONAMA. **Resolução Nº 5 de 15 de junho de 1989**. Brasília: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 1989.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas de população**. Brasília: IBGE, 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9103-estimativas-depopulacao.html?edicao=9112&t=downloads>. Acesso em: 20 dez. 2017.

KUIK, F.; LAUER, A.; CHURKINA, G.; VAN DE GON, H. A. C. D.; FENNER, D.; MAR, K. A.; BUTLER, T. M. Air quality modelling in the Berlin-Brandenburg region using WRF-Chem v3.7.1: sensitivity to



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

CONSTRUÇÃO DE UM INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES PARA A CIDADE DE MACEIÓ-AL
Marcones de Oliveira Silva, Thiago Amaral Melo Lima, Deivid Santos de Almeida

resolution of model grid and input data. **Geoscientific Model Development**, v. 9, p. 4339-4363, 2016.

LISBOA, H. M. Controle da poluição atmosférica. *In:* _____. **Fontes de poluição atmosférica**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2014. Cap. 2, 24 p.

MARTINS, E. M.; MEIRELES, A. R.; MAGALHAES, F. R.; CARVALHO, J. B. B.; RIBEIRO, M. M. Concentrações de poluentes atmosféricos no Rio de Janeiro em relação a normas nacionais e internacionais. **Revista Internacional de Ciências**, v. 07, n. 01, p. 32-48, 2017.

TIE, X.; MADRONICH, S.; LI, G.; YING, Z.; ZHANG, R.; GARCIA, A. R.; LEE-TAYLOR, J.; LIU, Y. Characterizations of chemical oxidants in Mexico City: A regional chemical dynamical model (WRF-Chem) study. **Atmospheric Environment**, v. 41, p. 1989-2008, 2007.