



**ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS OCASIONADAS  
PELO TRÁFEGO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES EM AVENIDAS DO  
MUNICÍPIO DE VITÓRIA, ES**

Recebido: 14/02/19    Aprovado: 06/06/19

Bruna Gonçalves Viana<sup>1</sup>  
Vanessa Brusco Filete<sup>1</sup>  
Andrielly Moutinho Knupp<sup>2</sup>

**RESUMO**

As emissões atmosféricas provenientes de veículos automotores em centros urbanos contribuem para a alteração na qualidade do ar, na saúde humana e no meio ambiente. O estudo visou estimar as emissões atmosféricas ocasionadas pelo tráfego de veículos automotores nas avenidas Nossa Senhora dos Navegantes, Américo Buaiz e Saturnino de Brito, localizadas no município de Vitória, ES. Para tanto, foi avaliada a intensidade do fluxo veicular nas avenidas selecionadas e realizada a categorização da frota local, sendo dividida em automóveis, motocicletas, ônibus e caminhões. Foram aplicadas metodologias distintas para estimativa das emissões por escapamento, desgaste de pneus, freios e pista, ressuspensão de partículas depositadas nas vias e para emissões por evaporação de combustível. Após a aplicação de fatores de emissão correspondentes às categorias veiculares consideradas, foram observadas as seguintes taxas de emissão: PM (15,54 kg/h), PM<sub>10</sub> (4,24 kg/h), PM<sub>2.5</sub> (1,84kg/h), CO (220,16kg/h), NO<sub>x</sub> (225,71kg/h) e COV's (0,23kg/h). A maior contribuição foi verificada ao longo da Avenida Saturnino de Brito, Vitória, ES.

**Palavras-chave:** Emissões Veiculares; Inventário de Emissões; Poluição do Ar.

---

<sup>1</sup> Graduada em Engenharia Ambiental e Sanitária.pela Faculdade Brasileira - MULTIVIX, Espírito Santo (Brasil).

<sup>2</sup> Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Espírito Santo (Brasil). Docente pela Faculdade Brasileira - MULTIVIX, Espírito Santo (Brasil)



## ESTIMATION OF AIR POLLUTANT EMISSIONS OCCASIONED BY MOTOR VEHICLE TRAFFIC IN AVENUES OF VITORIA, ES

### ABSTRACT

Air emissions from motor vehicles in urban centers contribute to changes in air quality, human health and the environment. The present study aimed to estimate the atmospheric emissions caused by the traffic of motor vehicles in the avenues Nossa Senhora dos Navegantes, Américo Buaiz and Saturnino de Brito, located in Vitória, ES. Therefore, the intensity of vehicular flow in the selected avenues was evaluated and the local fleet was categorized, divided into automobiles, motorcycles, buses and trucks. Different methodologies were applied to estimate exhaust emissions, tire, brake and track wear, resuspension of road deposited particles and for fuel evaporation emissions. After applying emission factors corresponding to the vehicle categories considered, the following emission rates were observed: PM (15,54 kg/h), PM<sub>10</sub> (4,24 kg/h), PM<sub>2.5</sub> (1,84 kg/h), CO (220,16 kg/h), NO<sub>x</sub> (225,71 kg/h) and COV's (0,81 kg/h). The largest contribution was verified along Avenida Saturnino de Brito, Vitória, ES.

**Keywords:** Vehicular Emissions; Emissions Inventory; Air Pollution.

## INTRODUÇÃO

A deterioração da qualidade do ar vem se intensificando de forma rápida e significativa no contexto atual. Nos grandes centros urbanos, vem sendo constantemente observada a emissão de maior quantidade de poluentes atmosféricos, associada principalmente à ocorrência de atividades antrópicas, incluindo as emissões veiculares (TEIXEIRA et al., 2008). Além de impactar a qualidade de vida das populações próximas, os poluentes atmosféricos podem ser transportados por milhares de quilômetros na atmosfera, atingindo localidades distantes e conduzindo uma quantidade significativa de substâncias tóxicas (LEITE et al., 2011). Segundo Braga (2003), é possível perceber isso por meio de doenças, danificação de materiais e efeitos ao meio ambiente.

Em estudo realizado por Landrigan et al. (2017), cita-se a negligência em sistemas de saúde, principalmente de países emergentes, nos quais os efeitos da poluição advinda de indústrias, veículos e produtos químicos são depreciados. De acordo com um levantamento feito pela *World Health Organization* (WHO, 2018), em 2016, cerca de 4,2 milhões de óbitos precoces em todo o mundo foram atribuídos à poluição do ar.

As emissões atmosféricas provenientes de veículos automotores podem ser ocasionadas pelos escapamentos, por intermédio da queima do combustível ou pela evaporação do combustível contido no tanque, em pontos como a tampa do bocal de abastecimento, as mangueiras de combustível, suas conexões, o respiro do tanque, dentre outros. Podendo, ademais, ocorrer emissão por ressuspensão, na qual os ventos e a agitação de veículos lançam à atmosfera pequenas e finas partículas, advindas de desgaste de freios e pneus, por exemplo, ou partículas que até então encontravam-se depositadas nas vias (CETESB, 2017).

Segundo o Relatório Anual de Qualidade do Ar, referente ao ano de 2014, publicado pelo IEMA (2017), a área urbana e industrializada da Região da Grande Vitória (RGV) está em processo de expansão e sua qualidade atmosférica é influenciada pelas emissões advindas de atividades industriais, veículos automotores e atividades de logística em função do aeroporto e setor portuário existentes na região.

Nesse contexto, o inventário de emissões de poluentes atmosféricos surge como uma ferramenta que promove a estimativa das emissões provenientes de fontes localizadas em uma certa área geográfica para um determinado período de tempo estabelecido (MMA, 2014). O

Inventário de Emissões Atmosféricas da RGV (IEMA, 2011) relata que as emissões provenientes de fontes veiculares são significativas para a região. Ainda, nesse documento é observado que algumas avenidas do município de Vitória, ES, como a Nossa Senhora dos Navegantes, Américo Buaiz e Saturnino de Brito, fazem parte da rota de vias primárias, constituindo um dos principais corredores de tráfego da região inventariada. Nesses locais o fluxo veicular é intenso, principalmente em horários de pico quando, em sua maioria, ocorrem congestionamentos.

Baseado no exposto, o objetivo do trabalho é estimar as emissões atmosféricas provenientes de fontes automotoras (automóveis, motocicletas, ônibus e caminhões) que trafegam nas avenidas Nossa Senhora dos Navegantes, Américo Buaiz e Saturnino de Brito, localizadas no município de Vitória, ES.

Espera-se que os resultados deste trabalho poderão subsidiar a tomada de decisões referentes à gestão ambiental local, bem como auxiliar no que diz respeito à criação e cumprimento de leis, visto que possibilita uma avaliação da situação atual das contribuições de emissões atmosféricas veiculares (BUTLER et al.,2008). Pode, ainda, subsidiar estudos e aprimoramentos futuros a fim de entender comportamentos atmosféricos e climatológicos, bem como auxiliar no estudo da dispersão desses poluentes na área presente no entorno e efeitos na qualidade do ar, com a aplicação de modelos matemáticos.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

O Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2018) cita que:

De uma forma geral, a qualidade do ar é produto da interação de um complexo conjunto de fatores dentre os quais destacam-se a magnitude das emissões, a topografia e as condições meteorológicas da região, favoráveis ou não à dispersão dos poluentes.

Nesse sentido, pode-se considerar ar poluído aquele que contém uma ou mais substâncias avaliadas como poluentes, que em quantidade ou intensidade suficientes possam causar efeitos deletérios aos seres vivos em seu conforto e variedade, à conservação do clima, culturas e materiais (GOMES, 2010).

Segundo a WHO (2018), nove em cada dez pessoas respiram ar altamente contaminado por poluentes. Além do mais, cerca de 7 milhões de pessoas no mundo morrem

todos os anos em decorrência da poluição atmosférica. O autor, cita, ainda, que a poluição do ar é um fator de risco para a ocorrência de doenças crônicas, como câncer, doenças cardiovasculares e respiratórias.

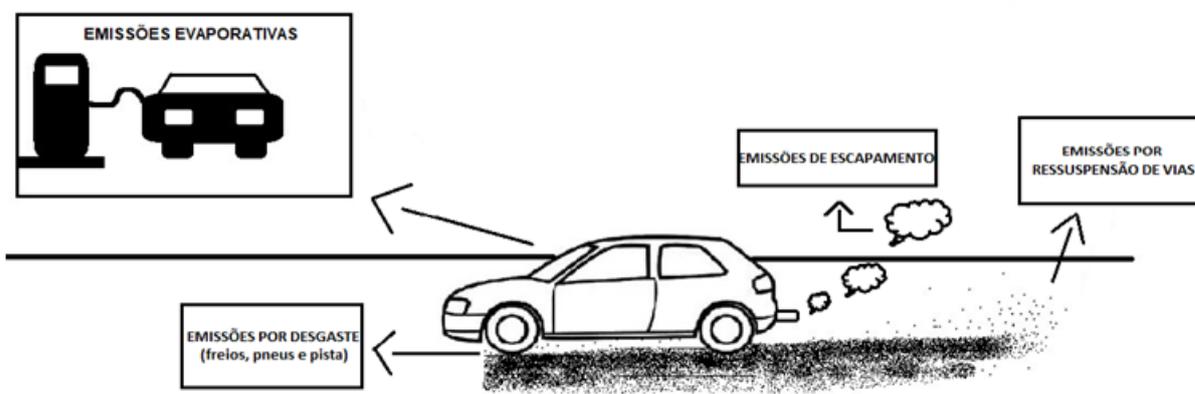
Considerando a poluição por fontes veiculares, é necessário atentar-se à formação e existência de alguns poluentes, os quais são:

- Monóxido de Carbono (CO): de acordo com Spiro e Stigliani (2009), o monóxido de carbono origina-se da combustão incompleta de combustíveis e pode ocorrer naturalmente no meio ambiente ou por fontes antrópicas. É considerado uma substância asfixiante, podendo causar de dores de cabeça à perda de consciência e óbito;
- Material Particulado (PM): Spiro e Stigliani (2009) mencionam que esse pode surgir por ação do vento ou tráfego de veículos causado por suspensão de poeira, queima de combustíveis, indústrias, gotículas de água e outros. Destaca-se que seus efeitos podem resultar em problemas de saúde decorrentes da penetração nas vias respiratórias e pulmões. A *Environmental Protection Agency* (USEPA, 2018) distingue as partículas em material particulado total (PM) e ainda PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>, com diâmetro menor ou igual a 10 micrômetros, e menor ou igual à 2,5 micrômetros, respectivamente;
- Óxidos de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>): é parte constituinte da atmosfera, sendo essa sua fonte primária (SEINFELD; PANDIS, 1998, p. 33) e podem ser originados da combustão (BRANCO; MURGEL, 2004);
- Compostos Orgânicos Voláteis (COV's): são oriundos da queima incompleta de combustíveis e materiais orgânicos. Dando notoriedade a alguns presentes na atmosfera, tem-se: tolueno, etil-benzeno, benzeno e xilenos, prejudiciais à saúde (CETESB, 2018). A Resolução Conama nº 382 (BRASIL, 2006) discorre que os mesmos são “compostos orgânicos que possuem ponto ebulição de até 130°C na pressão atmosférica e podem contribuir na formação dos oxidantes fotoquímicos”.

## EMISSÕES ATMOSFÉRICAS POR VEÍCULOS AUTOMOTORES

Conforme pode ser observado na Figura 1, as principais contribuições de um veículo automotor para emissões de poluentes para atmosfera ocorrem por meio da combustão e

escapamento, desgaste de freios, pneus e pista, evaporativas e ressuspensão de material particulado em vias pavimentadas.



**Figura 1.** Contribuições de emissões atmosféricas por veículos automotores.

Fonte: Elaborado pelas Autoras (2018).

### **Emissões por combustão e escapamento**

Brunetti (2012) cita que alguns gases são liberados durante o processo de combustão em veículos e sua proporção é influenciada pelo tipo de combustível que está sendo utilizado, o funcionamento do motor e qualidade de mistura. Esses gases liberam, principalmente, partículas finas (LOPES, 2013). Os principais produtos gerados são dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e água ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Porém, existem ainda os produtos gerados pela combustão incompleta que incluem óxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), material particulado (PM) e produtos oriundos de oxidação, como  $\text{NO}_x$  e  $\text{SO}_x$  (NTZIACHRISTOS; SAMARAS, 2014).

### **EMISSÕES POR DESGASTE (FREIOS, PNEUS E PISTA)**

O tráfego de veículos pode promover o desgaste dos freios e pneus dos mesmos, além de propiciar desgaste das vias, projetando partículas para a atmosfera. Dessa forma, cabe pontuar que o desgaste de pneus é oriundo de seu atrito com a superfície, podendo depender de fatores como o tipo da estrada, do pneu, do veículo e de como ele é conduzido. Cerca de 65% do desgaste dos pneus ocorrem em centro urbano, onde o entravamento, a aceleração e a maior incidência de curvas são os principais fatores responsáveis pela perda de borracha (BARLOW et al., 2007).

Ainda, segundo Barlow et al. (2007), para o desgaste dos freios, ele ocorre constantemente em semáforos, cruzamentos e curvas por conta da frenagem rápida, pois quando a desaceleração acontece, uma grande quantidade de calor é gerada, desgastando os discos e revestimentos que compõem o sistema. O mesmo autor ainda considera que, para os

desgastes provenientes de pista, pode-se considerar fatores como a velocidade do veículo, temperatura do ar e pressão dos pneus sobre a mesma.

### **EMISSÕES EVAPORATIVAS**

Existem alguns processos nos quais o automóvel emite vapores contendo Compostos Orgânicos Voláteis. Esses processos constituem emissões diurnas, com o veículo inerte, nas quais a variação de temperatura ao longo do dia influencia na emissão, pois o aumento da temperatura propicia a liberação de gases de combustível. Ainda há emissão quando o motor do veículo está quente (denominada *hot soak*), pela sua recente utilização, em que havia circulação de combustível e calor desprendido, fazendo com que ainda haja emissão de gases. Por último, destacam-se as emissões que ocorrem quando o veículo está em movimento, causadas pela circulação e aumento de pressão e temperatura do combustível, aos quais denomina-se *runninglosses* (MMA, 2011).

### **EMISSÕES POR RESSUSPENSÃO DE VIAS PAVIMENTADAS**

O modelo de estimativa de emissões AP-42 para vias pavimentadas (USEPA, 2011) expõe que, em tais vias, podem ocorrer emissões oriundas da movimentação do material solto na superfície. O mesmo pode ser advindo de emissões do veículo, ou ainda de derramamento de carregamentos industriais, poeira, resíduos biológicos, erosão em áreas próximas, dentre outros, que fazem com que vias se tornem potenciais geradoras do material particulado que é lançado à atmosfera.

### **ESTUDOS RELACIONADOS À ESTIMATIVA DE EMISSÕES**

Com vistas a melhorar a qualidade do ar no Brasil, bem como preservá-la em áreas que ainda não sofreram degradação e atender aos padrões estabelecidos por lei, faz-se necessário limitar as emissões de poluentes atmosféricos. Em face do exposto, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) criou o Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar (PRONAR). Uma das estratégias para alcançar seus objetivos foi a elaboração do Inventário Nacional de Fontes e Poluentes (BRASIL, 1989).

Para tanto, o Primeiro Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores foi criado em janeiro de 2011, englobando emissões advindas de motocicletas,

automóveis, veículos leves, veículos pesados, além de abordar a influência do melhoramento na qualidade de combustíveis ao longo dos anos, na emissão de poluentes (MMA, 2011). Após a criação, o Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas do ano-base 2012 foi confeccionado, de forma a atualizar e melhorar os dados para a estimativa das emissões (MMA, 2014).

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) também tem se tornado referência em estudos de emissões veiculares, os quais subsidiam e servem como referência para a realização de outros, como por exemplo o Programa de Controle de Poluição Veicular (PCPV). O Governo do estado de São Paulo criou-o por determinação expressa em lei e começou a divulgá-lo a partir do ano de 2012, que engloba a criação de políticas públicas a fim de melhorar a qualidade do ar no ambiente urbano (CETESB, 2011). Além do mais, a CETESB divulga anualmente o Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo, voltado para a quantificação das emissões de poluentes e compostos propulsores do efeito estufa (CETESB, 2018).

Para o estado do Espírito Santo, o Instituto Estadual de Meio Ambiente divulgou, em 2011, o Inventário de Emissões Atmosféricas da Grande Vitória. Nele, são quantificadas emissões de poluentes atmosféricos provenientes de fontes industriais, veiculares, residenciais, biogênicas, entre outras, que abrangem os municípios do Espírito Santo de Vila Velha, Vitória, Serra, Viana e Cariacica. Seu objetivo é fortalecer a gestão referente à qualidade do ar, conhecendo e quantificando as principais fontes de emissão da região (IEMA, 2011).

## **METODOLOGIA**

### **PREMISSAS**

Para a construção e execução das estimativas, foram considerados equacionamentos e ressalvas fundamentadas em metodologias consolidadas e validadas, as quais têm-se:

- Para estimativa das emissões provenientes de veículos automotores (escapamento, desgaste de pneus, freios e pista) baseou-se no equacionamento adotado por Cancelli e Dias (2014) para fontes emissoras em linha, o caso das vias de tráfego;

- Para estimativa das emissões provenientes da ressuspensão de partículas depositadas nas vias, foi adotada a metodologia proposta pela *Environmental Protection Agency* (USEPA, 2011), a partir do modelo AP-42;
- Para estimar as emissões provenientes da evaporação de combustível, utilizou-se o equacionamento proposto no Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas referente ao ano de 2012, publicado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2014), bem como adotou-se os valores correspondentes aos fatores de emissão para o ano de 2012 (último ano a ser apresentado);
- O período de referência adotado foi de janeiro a março de 2018, sendo esse o intervalo mais atual para o qual haviam dados disponíveis.
- A área de interesse do estudo é o trecho de vias que abrange as avenidas Nossa Senhora dos Navegantes, Américo Buaiç e Saturnino de Brito, localizadas no município de Vitória, ES.

#### DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Figura 2 apresenta as avenidas do município de Vitória, ES (Nossa Senhora dos Navegantes, Américo Buaiç e Saturnino de Brito) consideradas no Inventário de Emissões Atmosféricas. Tais avenidas estão localizadas entre os bairros Enseada do Suá e Praia do Canto e compõem um trecho de aproximadamente 3,60 quilômetros de comprimento.



**Figura 2.** Localização das Avenidas Nossa Senhora dos Navegantes, Américo Buaiç e Saturnino de Brito, Vitória – ES.

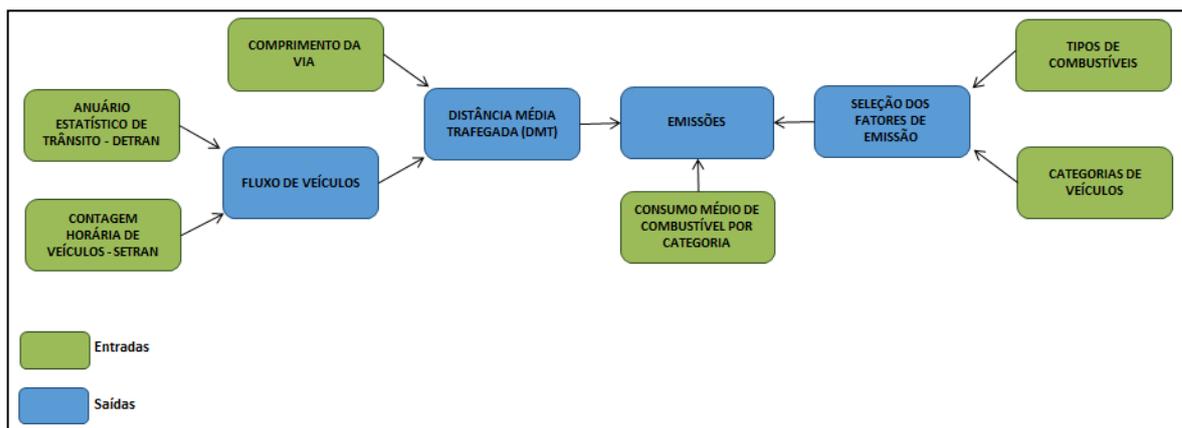
Fonte: Adaptado de Google Earth (2018).

A região selecionada corresponde à Região Administrativa 5 – Praia do Canto e trata-se da quinta região mais populosa do município, com estimativa populacional de 34.236 habitantes para o ano de 2010 (PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA, 2018). A mesma

contém a melhor infraestrutura, significativa presença de comércios, serviços, órgãos públicos e centros empresariais, além de ser um importante corredor de tráfego de veículos.

### ESTIMATIVA DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

A Figura 3 apresentada a seguir tem como objetivo ilustrar o método utilizado para estimar as emissões advindas de veículos, de acordo com os dados disponíveis.



**Figura 3.** Fluxograma do método e informações utilizados para obtenção das emissões veiculares. Fonte: Elaborado pelas Autoras (2018).

Para estimar as emissões atmosféricas provenientes das vias selecionadas, foram obtidos dados de monitoramento horário do fluxo veicular no período entre janeiro e março de 2018, por meio da Secretaria de Transportes, Trânsito e Infraestrutura Urbana (SETRAN) do município de Vitória, ES. Em posse desses dados, foram identificados os horários de pico para cada via, para os quais foram extraídos valores médios de veículos, utilizados nos equacionamentos.

Para essa região, foram consideradas as categorias de veículos evidenciadas no Relatório Anual de Estatística de Trânsito de 2016 (DETRAN, 2017), correlacionadas com as categorias utilizadas no Inventário Nacional, sendo expressas por: motocicletas, automóveis, ônibus e caminhões. Com base na metodologia do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas do ano de 2012 (MMA, 2014), foi considerado que:

- Para cada categoria veicular foram estimadas as emissões por ressuspensão de vias, escapamento, evaporação e desgastes de freios, pneus e pista;
- Os poluentes inventariados foram: PM, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, NO<sub>x</sub>, CO e COV.

As formulações utilizadas para as estimativas de cada tipo de emissão podem ser observadas a seguir.

Emissões por escapamento e emissões por desgaste de freios, pneus e pista

A Equação 1 apresentada a seguir para estimativa de emissões em fontes lineares, foi baseada na metodologia adotada por Cancelli e Dias (2014).

$$E = \left( \frac{Fe}{1000} \right) \times DMT \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

E = Massa de poluente emitida no período de estudo (kg/h);

Fe = Fator de Emissão, para o tipo de veículo, do poluente e combustível usado (g/km), conforme evidenciado no Tabela 1;

DMT = Distância Média Trafegada, calculada com base no comprimento da via (km) e quantitativo médio de veículos trafegando a via no horário de pico (km/h), para cada categoria, de acordo com informações correlacionadas com dados fornecidos pelo DETRAN (2017).

**Tabela 1.** Fator de Emissão, para o tipo de veículo, poluente e combustível usado. Conclusão.

Poluentes	Motocicletas			Automóveis			Ônibus	Caminhões	
	Gasolina C	Flex – Gasolina C	Flex – Etanol Hidratado	Gasolina C	Flex – Gasolina C	Flex – Etanol Hidratado	Diesel		
<b>Emissões por escapamento</b>									
CO(g/km)	0,57	0,74	0,9	0,25	0,27	0,47	0,044	0,051	
NO <sub>x</sub> (g/km)	0,08	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	2,103	1,025	
PM(g/km)	0,0035	0,0035	-	0,0011	0,0011	-	0,02	0,007	
N <sub>2</sub> O(g/km)	0,02	0,02	-	0,021	0,019	0,017	0,03	0,03	
CO <sub>2</sub> (kg/L)	2,212	-	1,457	2,212	-	1,457	2,603	2,603	
<b>Emissões evaporativas</b>									
COV's	ed (g/dia)	-	-	-	0,14	0,16	0,25	-	-
	es(g/viagem)	-	-	-	0,14	0,21	0,32	-	-
	er (g/viagem)	-	-	-	0,06	0,07	0,11	-	-
<b>Emissões por desgaste de freios e pneus (g/km)</b>									
PM <sub>10</sub>	0,0064			0,0138			0,59	0,59	
<b>Emissões por desgaste de pista (g/km)</b>									
PM <sub>10</sub>	0,003			0,0075			0,038	0,038	

Fonte: Adaptado de MMA (2014).

\*ed= emissões diurnas;

\*er= emissões por perdas do veículo em movimento;

\*es = emissões com o veículo em repouso, com motor frio e quente.

### Emissões evaporativas

A metodologia do Inventário Nacional (MMA, 2014), na qual são consideradas emissões provenientes de automóveis, é representada pela Equação 2.

$$E_{cov} = \frac{\sum_s D_s \times \sum_j N_j \times (HS_j + E_{dj} + RL_j)}{1000} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$E_{cov}$  = Emissões evaporativas de carbonos orgânicos voláteis anuais (kg);

$D_s$  = Números de dias para qual o fator de emissão deverá ser aplicado;

$N_j$  = Quantitativo de veículos da categoria inventariada;

$HS_j$  = Média diária *hot soak* - emissão do combustível devido ao aquecimento do motor após utilizado (g/dia), apresentada na Tabela 1;

$E_{dj}$  = Média diária da emissão na fase diurna – emissão de combustível por exposição ao sol após desligado (g/dia), apresentada na Tabela 2;

$RL_j$  = Média diária da emissão na fase *running losses* – emissão do veículo em funcionamento (g/dia), apresentada na Tabela 1.

### Emissões por ressuspensão de vias

O material particulado ressuspensão nas vias de tráfego pôde ser estimado por meio da Equação 3, obtida no capítulo “*Paved Roads*” do AP-42 (USEPA, 2011).

$$E = \frac{k (sL)^{0.91} \times (W)^{1.02}}{1000} \times DMT \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

$E$  = fator de emissão do material particulado (kg/h);

$k$  = multiplicador de tamanho de partícula (g/VKT), conforme mostrado na Tabela 2;

$sL$  = carga do silte da superfície da estrada (g/m<sup>2</sup>). Sendo utilizado o valor de 0,03 g/m<sup>2</sup>, conforme estabelecido pela USEPA (2011);

$W$  = peso médio dos veículos (toneladas), obtido através de estimativas médias baseadas em fichas técnicas fornecidas pelos fabricantes de modelos de veículos usuais;

$DMT$  = Distância Média Trafegada, calculada com base no comprimento da via (km) e quantitativo médio de veículos trafegando a via no horário de pico (km/h), para cada categoria, de acordo com informações correlacionadas com dados fornecidos pelo DETRAN (2017).

O método anterior deve, ainda, ser multiplicado pelo fator de atenuação da chuva para vias pavimentadas (USEPA, 2011), medido em função da precipitação ocorrida no tempo de estudo, como demonstrado na Equação 4.

$$FA = 1 - P/4N \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

FA = fator de atenuação para vias pavimentadas;

P= precipitação ocorrida durante o tempo de estudo (em dias precipitados, considerando como precipitação os valores maiores ou iguais a 0,254mm);

N = números de dias totais do período de estudo.

**Tabela 2.** Multiplicadores de tamanho de partícula para equação de vias pavimentadas.

Faixa de tamanho	Multiplicador de tamanho de partícula k (g/VKT*)
PM <sub>2.5</sub>	0,15
PM <sub>10</sub>	0,60
PM	3,23

Fonte: Adaptado de USEPA (2011).

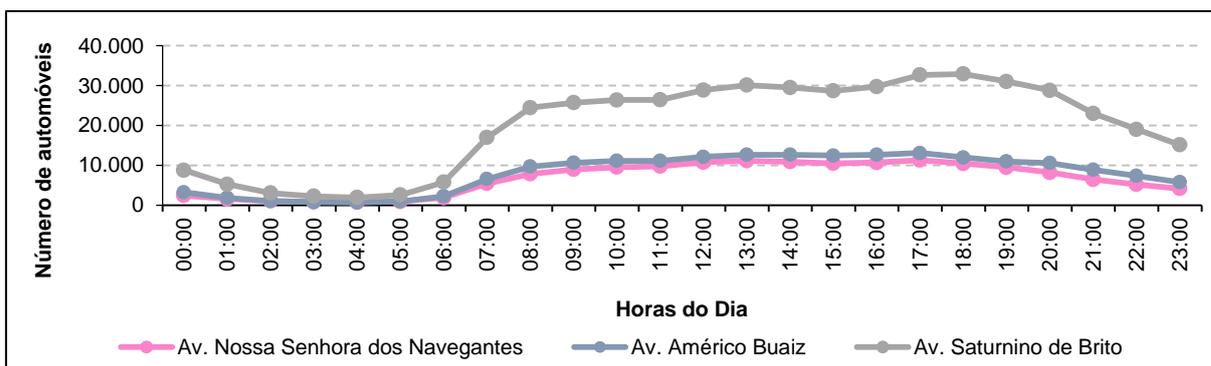
\*g/VKT= gramas por veículo por quilômetro percorrido. VKT corresponde ao DMT.

Após aplicação das equações apresentadas acima, foi possível obter o quantitativo total de cada poluente atmosférico emitido por meio dos veículos automotores nas vias inventariadas no município de Vitória.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### ANÁLISE DO FLUXO VEICULAR

A Figura 4 apresenta a variação do fluxo médio horário de veículos automotores (motocicletas, automóveis, ônibus e caminhões) que trafegam nas Avenidas Nossa Senhora dos Navegantes, Américo Buaziz e Saturnino de Brito, do município de Vitória, ao longo do dia.



**Figura 4.** Fluxo médio de automóveis nas Avenidas Nossa Senhora dos Navegantes, Américo Buaziz e Saturnino de Brito.

Fonte: Elaborado pelas Autoras (2018).

Observa-se na Figura 4 que o comportamento nas Avenidas Nossa Senhora dos Navegantes, Américo Buaziz e Saturnino de Brito é semelhante, uma vez que a movimentação

de veículos se intensifica nas três vias a partir das 6:00h e diminui após às 17:00h. Verifica-se, ainda, que o horário de pico observado foi às 17:00h nas Avenidas Nossa Senhora dos Navegantes (média de 11.301 veículos) e Américo Buaiz (média de 13.080 veículos) e às 18:00h na Avenida Saturnino de Brito (média de 32.943 veículos). Complementarmente, constata-se que o número médio de veículos trafegando na Avenida Saturnino de Brito é significativamente superior ao que trafega nas Avenidas Nossa Senhora dos Navegantes e Américo Buaiz, o que pode estar atrelado ao fato de que a Avenida Saturnino de Brito recebe significativas contribuições de outras vias primárias, conforme demonstrado no Inventário de Emissões Atmosféricas da Grande Vitória (IEMA, 2011).

A Tabela 3 apresenta o número médio de veículos que circula em cada uma das avenidas, no horário de pico estimado para cada categoria, com base nos percentuais de categorização da frota obtidos no Anuário Estatístico do Detran (DETRAN, 2017), bem como a porcentagem total referente ao número total de veículos, para cada categoria.

**Tabela 3.** Média de veículos que circula em cada uma das avenidas no horário de pico e porcentagem total de veículos

Tipo de Veículo	Nossa Senhora dos Navegantes <sup>a</sup>	Américo Buaiz <sup>a</sup>	Saturnino de Brito <sup>b</sup>	Porcentagem de veículos
Automóveis	9.064	10.490	26.422	80,20%
Motocicletas	1.509	1.746	4.399	13,35%
Ônibus	120	139	350	5,38%
Caminhões	608	704	1.773	1,06%
<b>Total</b>	<b>11.301</b>	<b>13.080</b>	<b>32.943</b>	<b>100%</b>

Fonte: Elaborado pelas Autoras (2018).

<sup>a</sup>Horário de pico às 17:00h.

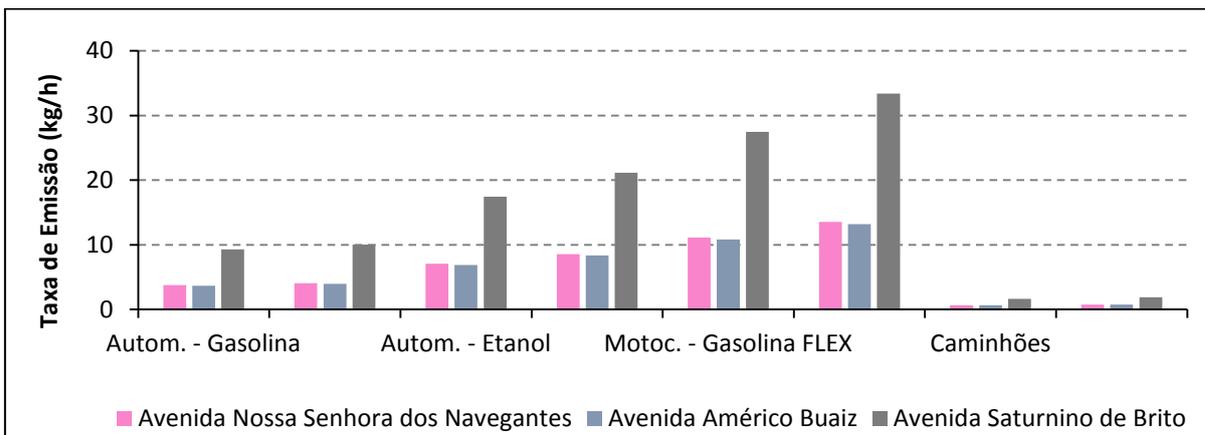
<sup>b</sup>Horário de pico às 18:00h.

## ESTIMATIVA DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

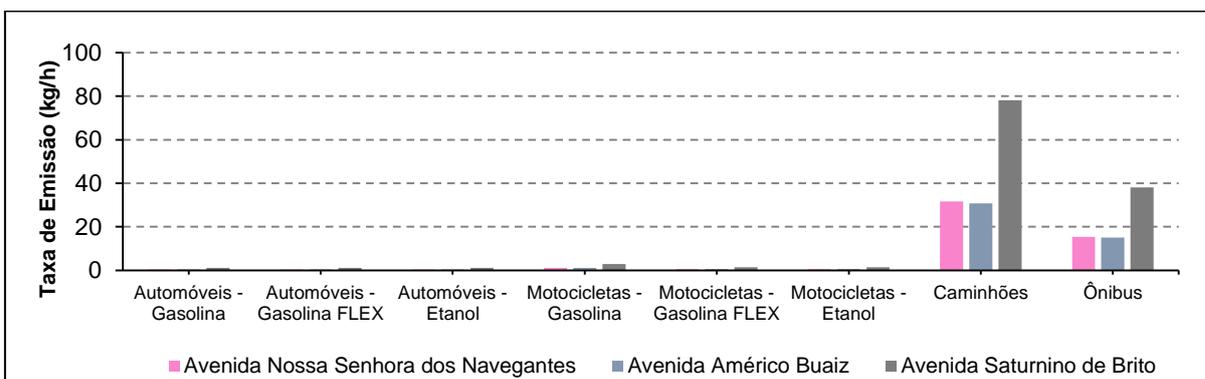
A seguir são exibidos os resultados obtidos para o inventário de emissões atmosféricas das Avenidas Nossa Senhora dos Navegantes, Américo Buaiz e Saturnino de Brito, no município de Vitória. Primeiro, são apresentadas as emissões, conforme cada mecanismo emissor de poluentes atmosféricos nas vias de tráfego e, em seguida, é apresentado o balanço total das principais categorias emissoras de poluentes atmosféricos observados.

## EMISSÕES POR ESCAPAMENTO

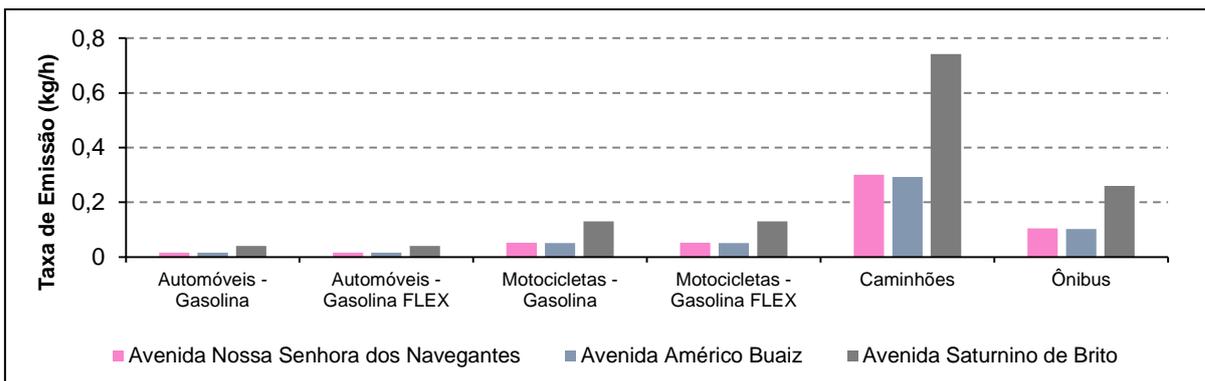
Nas Figuras 5, 6, 7, 8 e 9 apresentam as emissões atmosféricas de CO, NO<sub>x</sub>, PM, PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>, respectivamente. Nesses, são ilustradas as emissões conforme a categoria do veículo e tipo de combustível consumido para cada via.



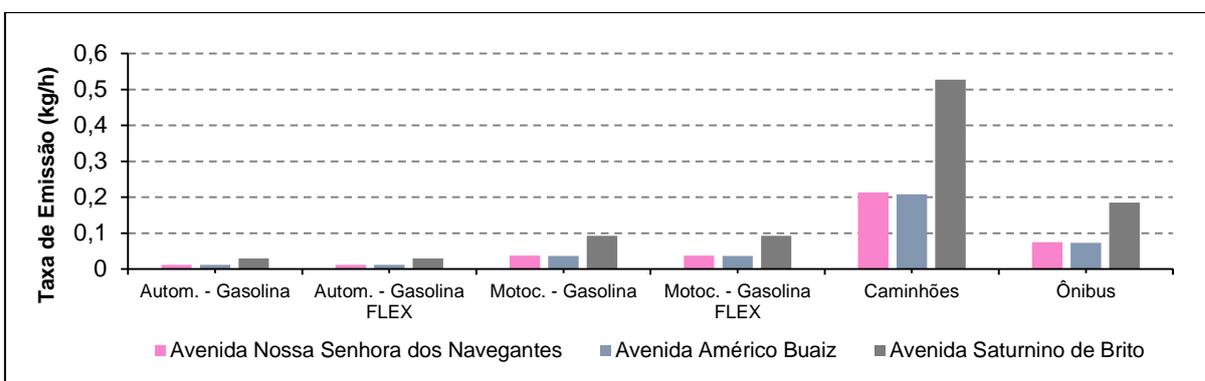
**Figura 5.** Emissões de CO por escapamento nas vias de tráfego inventariadas.  
Fonte: Elaborado pelas Autoras (2018).



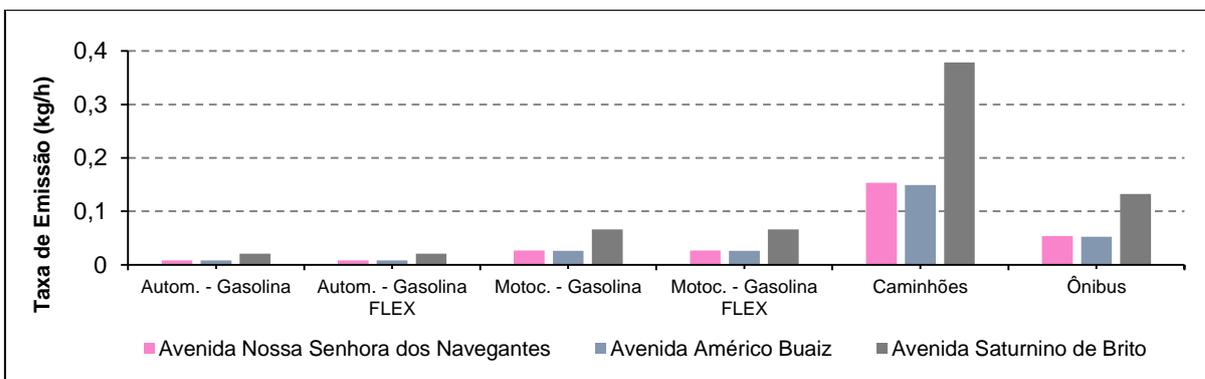
**Figura 6.** Emissões de NO<sub>x</sub> por escapamento nas vias de tráfego inventariadas.  
Fonte: Elaborado pelas Autoras (2018).



**Figura 7.** Emissões de PM por escapamento nas vias de tráfego inventariadas.  
Fonte: Elaborado pelas Autoras (2018).



**Figura 8.** Emissões de PM<sub>10</sub> por escapamento nas vias de tráfego inventariadas.  
Fonte: Elaborado pelas Autoras (2018).



**Figura 9.** Emissões de PM<sub>2,5</sub> por escapamento nas vias de tráfego inventariadas.  
Fonte: Elaborado pelas Autoras (2018).

Em relação às emissões de CO (Figura 5), foi observado que os veículos movidos a gasolina e a etanol apresentaram maior contribuição desse poluente, destacando-se as motocicletas movidas a etanol (60,12 kg/h de CO ao longo das três avenidas). Essa observação está possivelmente relacionada ao fator de emissão, o qual é maior para motocicletas que utilizam o etanol como combustível associado ao fluxo de motocicletas que trafegam nas vias.

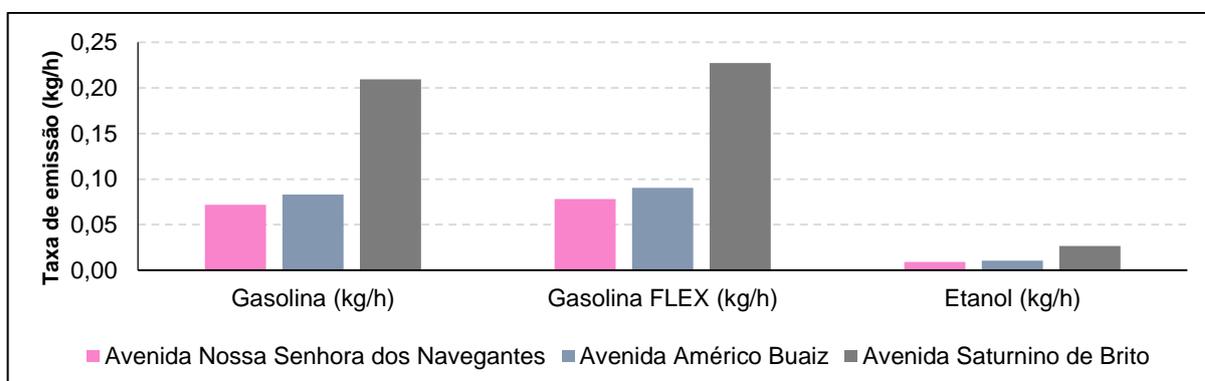
Ao contrário do que foi observado para as emissões de CO, caminhões e ônibus, nos quais o diesel é empregado como combustível, são as fontes preponderantes das emissões de NO<sub>x</sub> por escapamento, como apresentado no Figura 6. É importante atentar-se ao fato de que os fatores de emissão para as categorias em questão são maiores do que os fatores para veículos leves e motocicletas. Nesse contexto, nota-se que o porte dos veículos influencia nas emissões desse poluente, como afirmam Faiz et al. (1996).

Tratando-se das emissões de PM, PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> (Figuras 7, 8 e 9, respectivamente), nota-se um comportamento similar para todas as frações, no qual a contribuição de veículos movidos a diesel, principalmente caminhões, mostra-se superior à dos demais combustíveis. Isso corrobora o que foi constatado no Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas, do ano de 2012 (MMA, 2014), e pode ser explicado pelos fatores de emissão específicos para essas categorias, que são mais elevados.

Outrossim, quando analisada a contribuição das vias de tráfego, foi observado que a Avenida Saturnino de Brito apresentou maior contribuição de poluentes atmosféricos. Isso se deve ao fato dessa via ser a que possui o maior fluxo de veículos que trafegam ao longo de sua extensão, como pode ser observado por meio do quantitativo médio do fluxo de veículos encontrado.

## EMISSÕES EVAPORATIVAS

As emissões de compostos orgânicos voláteis (COV), resultantes do processo de evaporação, estão representadas de acordo com o tipo de combustível utilizado e, ainda, de acordo com as vias consideradas nessa estimativa (Figura 10).

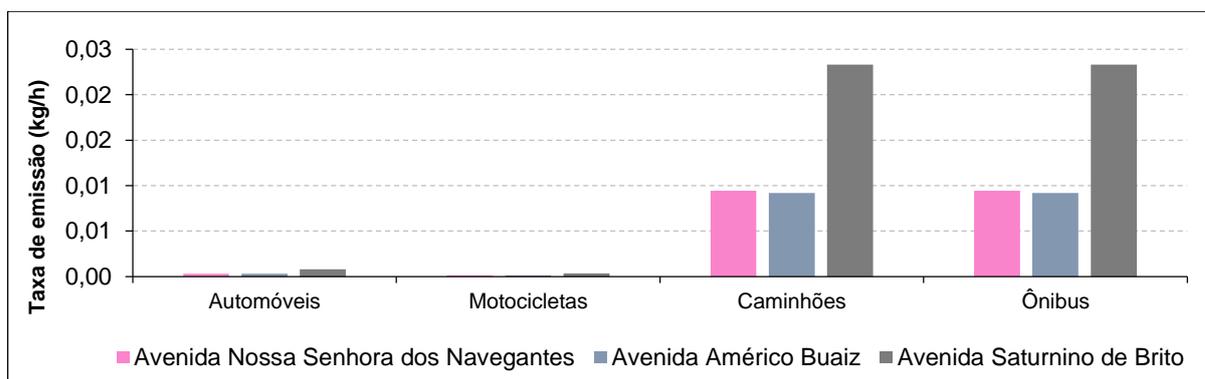


**Figura 10.** Emissões de COV por evaporação, para cada tipo de combustível.  
Fonte: Elaborado pelas Autoras (2018).

É possível concluir que as emissões mais significativas de COV são provenientes de veículos que utilizam gasolina flex, seguido dos modelos movidos a gasolina, sendo as maiores taxas observadas, também, ao longo da Avenida Saturnino de Brito. Cabe ressaltar que o número médio de veículos considerados para a estimativa baseou-se na proporção da quantidade em cada categoria, para cada tipo de combustível. Por isso, apesar do etanol possuir características que permitam sua volatilização com maior facilidade que os outros combustíveis, fazendo com que maior quantidade de poluentes sejam emitidos, como citado por Santos (2008), os veículos a gasolina apresentam-se em maiores quantidades e, conseqüentemente, têm maiores taxas de emissão.

### EMISSÕES POR DESGASTE DE FREIOS, PNEUS E PISTA

A Figura 11 ilustra os valores obtidos para PM<sub>10</sub> emitido por meio do desgaste de freios, pneus e pista durante o tráfego pelas vias, em função das categorias de veículos e das vias consideradas.



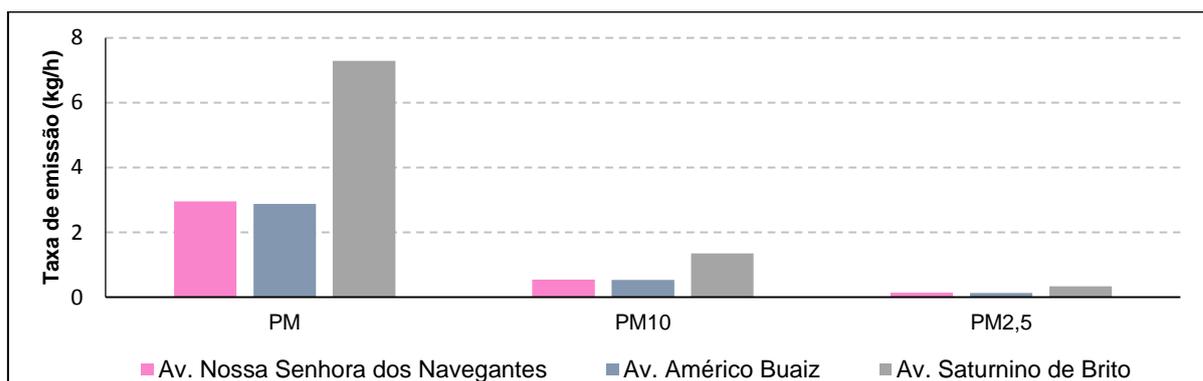
**Figura 11.** Emissões de PM<sub>10</sub> por desgastes oriundos de freios, pneus e pista, para cada categoria de veículo.

Fonte: Elaborado pelas Autoras (2018).

Com isso, nota-se que as maiores contribuições na emissão de PM<sub>10</sub> são provenientes de caminhões e ônibus, veículos que são pesados e geram maior atrito com a superfície. Ainda no mesmo gráfico, é possível observar que as taxas de emissões de PM<sub>10</sub> na Avenida Saturnino de Brito são maiores que nas avenidas Nossa Senhora dos Navegantes e Américo Buaid, com valores aproximados de pico de 0,022 kg/h.

## EMISSÕES POR RESSUSPENSÃO DE VIAS

Como já citado anteriormente, a USEPA (2011) atribui as emissões de material particulado proveniente da ressuspensão à depleção do material solto presente na superfície das vias. Assim sendo, observa-se na Figura 12 a seguir os valores das taxas de emissão para PM, PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> nas três avenidas objeto deste estudo.

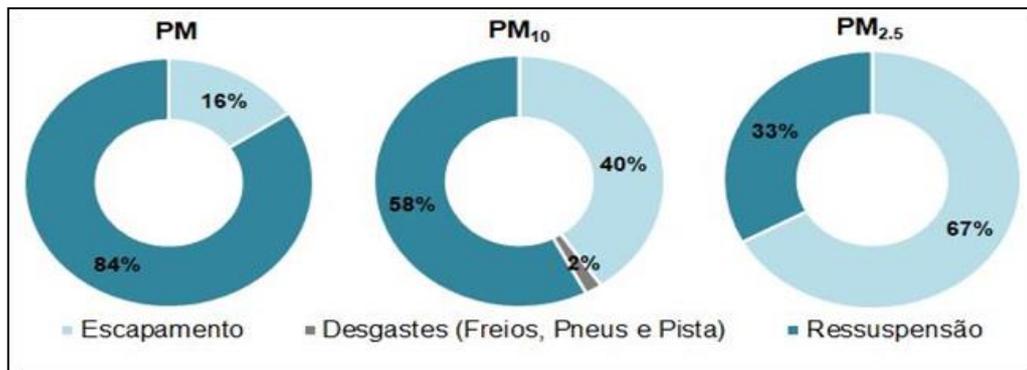


**Figura 12.** Emissões de PM, PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> por ressuspensão de vias, para cada categoria de veículo.  
Fonte: Elaborado pelas Autoras (2018).

Verifica-se que as taxas de emissão de PM são notadamente superiores aos valores obtidos para PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>. É importante ressaltar que o multiplicador de tamanho de partícula (k) para PM é superior ao utilizado para o cálculo das demais frações de material particulado, o que contribuiu com a diferença de resultados. Pôde-se observar que, para todos os casos, a Avenida Saturnino de Brito apresentou as maiores taxas de emissão, sendo influenciada pelas contribuições que recebe de suas interligações.

## EMISSÕES TOTAIS

O Figura 13 apresenta as contribuições totais de PM, PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> emitidos por escapamento, desgastes e ressuspensão nas Avenidas Nossa Senhora dos Navegantes, Américo Buaziz e Saturnino de Brito.



**Figura 13.** Emissões totais de PM, PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub>.  
Fonte: Elaborado pelas Autoras (2018).

Observou-se que as maiores taxas de emissão para PM e PM<sub>10</sub> originaram-se da ressuspensão de partículas nas vias (13,12kg/h do total de 15,54kg/h e 2,44kg/h do total de 4,24kg/h, respectivamente), enquanto as emissões por escapamentos ocasionaram maiores taxas de emissão de PM<sub>2.5</sub> (1,23kg/h do total de 1,84kg/h).

Quanto às emissões por escapamento, verificou-se que as contribuições de NO<sub>x</sub> e CO foram responsáveis por aproximadamente 50,02% e 48,79% do total de poluentes emitidos, respectivamente.

Por intermédio dos resultados apresentados no Inventário da RGV, foi possível estabelecer uma comparação com os resultados de emissões de PM, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> e CO obtidos nesse inventário para o trecho estudado. Tal comparação evidencia que os valores de emissão encontrados para PM, PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub> são próximos aos expostos no Inventário da RGV. Para o poluente CO, o resultado deste trabalho foi superior, entretanto, ainda dentro da mesma ordem de grandeza. Ressalta-se que não foi possível estabelecer uma comparação com os resultados obtidos para as emissões de NO<sub>x</sub> e COV, uma vez que a metodologia e fatores de emissão adotados no Inventário da RGV diferem do que foi considerado no presente trabalho.

## CONCLUSÃO

O comportamento do fluxo veicular médio para a área de estudo apresentou um notório pico ao final da tarde (entre 17h e 18h), o que pode estar associado ao fato de se tratar de um período na qual boa parte da população está se deslocando em função do trabalho e atividades diárias.

Os resultados das emissões apresentados sofreram direta influência desse quantitativo, a exemplo da Avenida Saturnino de Brito, que apresentou os resultados mais elevados para

todos os tipos de emissão, quando comparada com as avenidas Américo Buaiz e Nossa Senhora dos Navegantes. Pode o exposto ser justificado pela grande contribuição que essa avenida recebe, em relação ao fluxo de veículos advindos de outras vias primárias do município.

As emissões mais significativas para PM (13,12kg/h) e PM<sub>10</sub> (2,44kg/h) originaram-se da ressuspensão de partículas da via, ao passo que os escapamentos veiculares contribuíram com a maior parte das emissões de PM<sub>2,5</sub> (1,23 kg/h). Para os gases advindos de escapamento, observou-se que a maior parte do CO (60,14kg/h) originou-se de motocicletas movidas a etanol e para NO<sub>x</sub>, as maiores contribuições originaram-se de caminhões movidos a diesel (140,52 kg/h).

Sugere-se a construção de Curva de Sucateamento da Frota de Veículos para a Grande Vitória, ES, a fim de se representar detalhadamente a frota circulante no local com base na idade dos veículos e aplicá-la a formulações baseadas na intensidade de uso dos mesmos. Recomenda-se, ainda, uma avaliação da variação horária das emissões de poluentes para as vias em questão, com vistas a uma melhor compreensão da influência do fluxo de veículos automotores nas emissões atmosféricas ao longo do dia, além da inclusão da estimativa de outros poluentes, tais como Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>) e Metano (CH<sub>4</sub>), para uma caracterização completa das emissões.

## REFERÊNCIAS

BARLOW et al. *Non-exhaust particulate matter emissions from road traffic: Summary report*. Version Final. TRL Limited. [s.l.] 2007. Disponível em: <[https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat15/0706061644\\_Report5\\_Summary.pdf](https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat15/0706061644_Report5_Summary.pdf)>. Acesso em: 01 jun. 2018.

BRAGA, A; PEREIRA, L. A. A; SALDIVA, P. H. N. *Poluição atmosférica e seus efeitos na saúde humana*. Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, USP. São Paulo. 2003.

BRANCO, S. M.; MURGEL E. *Poluição do ar*. 2. ed. São Paulo. Moderna. 2004.

BRASIL. *Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 05, de 15 de junho de 1989. "Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar – PRONAR"*. Brasília, 25 ago. 1989. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=81>>. Acesso em: 20 maio 2018.

BRASIL. *Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 382, de 26 de dezembro de 2006. "Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas."*. Brasília, 02 jan 2007. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=520>>. Acesso em: 23 maio 2018.

BRUNETTI, F. *Motores de combustão interna*. São Paulo, SP. v. 2, Blucher, 2012.

BUTLER, T. M. et al. *The representation of emissions from megacities in global emission inventories*. Atmospheric Environment, v. 42, n. 4, p. 703-719, 2008.

CANCELLI, D. M.; DIAS, N. L. *Brevê: uma metodologia objetiva de cálculo de emissões para a frota brasileira de veículos*. Engenharia Sanitária e Ambiental, [s.l.], v. 19, n., p.13-20, 2014.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Plano de controle de poluição veicular do Estado de São Paulo: PCPV 2011-2013*. São Paulo: CETESB, 2011. Disponível em: <[http://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2013/12/Plano\\_de\\_Controlde\\_de\\_Poluicao\\_Veicular\\_do\\_Estado\\_de\\_Sao\\_Paulo\\_2011-2013.pdf](http://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2013/12/Plano_de_Controlde_de_Poluicao_Veicular_do_Estado_de_Sao_Paulo_2011-2013.pdf)>. Acesso em: 04 jun. 2018.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Relatório de emissões Veiculares do Estado de São Paulo: 2016*. São Paulo, SP. 2017.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Emissão veicular: Relatórios e publicações*. São Paulo: CETESB, 2018. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/veicular/relatorios-e-publicacoes/>>. Acesso em: 05 de junho de 2018.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Qualidade do ar, Informações básicas: Poluentes*. São Paulo/SP. 2018. Disponível em: <http://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>. Acesso em: 23 maio 2018.

DETRAN – DEPARTAMENTO ESTADUAL DE TRÂNSITO. *Relatório anual de estatística de trânsito, 2016*. Espírito Santo. 2017.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). *Emissions factors & AP42 – Chapter 13: Miscellaneous Sources, 13.2.1 Paved Roads* USEPA, 5. ed, v. 1: Disponível em: <<https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0201.pdf>>. Acesso em: 18 mai. 2018.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). *Particulate Matter (PM) Pollution: Particulate Matter (PM) Basics*. U.S. EPA, 2018. Disponível em: <<https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM>>. Acesso em: 26 maio 2018.

FAIZ, A.; WEAVER, C. S.; WALSH, M. P. *Air pollution from motor vehicles: standard and Technologies for controlling emissions*. World Bank Publications, 1996.

GOMES, J. *Poluição Atmosférica: um manual universitário*. 2. ed. Porto: Publindústria, 2010.

IEMA - INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. *Inventário de emissões atmosféricas da Região da Grande Vitória*. Vitória: IEMA, 2011.

IEMA - INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. *Relatório Anual de Qualidade do Ar 2014 Grande Vitória*. Cariacica, ES, 2017.

LANDRIGAN, P. J. et al. *The lancet commission on pollution and health*. The Lancet, [s.l.]. 2017. Disponível em: <[https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(17\)32345-0/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(17)32345-0/fulltext)>. Acesso em: 20 abril 2018.

LEITE, R. C. M. et al. *Utilização de regressão logística simples na verificação da qualidade do ar atmosférico de Uberlândia*. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.16, n.1, jan./mar. 2011.

LOPES, D. J. S. *Determinação de fatores de emissão de gases de exaustão de veículos*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro. Portugal. 2013.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Primeiro Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários: Relatório Final*. [s.l.]. Jan/2011.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013. Ano-base 2012: Relatório Final*. [s.l.]. 2014.

NTZIACHRISTOS, L.; SAMARAS, Z. *EMEP/EEA emission inventory guidebook 2013 update Sept 2014 – Passenger cars, light commercial trucks, heavy-duty vehicles including buses and motor cycles*. Environmental European Agency: 2014.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA. *Regiões Administrativas: Região Administrativa 5 - Praia do Canto*. 2018. Disponível em: <[http://legado.vitoria.es.gov.br/regionais/dados\\_regiao/regiao\\_5/regiao5d.asp](http://legado.vitoria.es.gov.br/regionais/dados_regiao/regiao_5/regiao5d.asp)>. Acesso em: 26 maio 2018.

SANTOS, A. C. *A influência do etanol combustível nas emissões dos gases do efeito estufa nos motores do Ciclo Otto*. São Caetano do Sul. SP, 90 p. 2008.

SEINFELD, J. H., PANDIS, S. N. *Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change*. 2. ed. Interscience, U.S. 1998.

SPIRO, T. G.; STIGLIANI, W. *Química ambiental*. 2. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2009.

TEIXEIRA, E. C; FELTES, S; SANTANA, E. R. R. *Estudo das emissões de fontes móveis da Região Metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul*. Química Nova, vol. 31, p. 244, 2008.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Ambient (outdoor) air quality and health*. 2018. Disponível em: <[http://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](http://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)>. Acesso em: 27 set. 2018.