X-1278 – EMISSÕES ATMOSFÉRICAS PROVENIENTES DA FROTA VEICULAR BRASILEIRA E SOTEROPOLITANA: UM ESTUDO DE CASO PARA OS ANOS DE 2013 A 2020 USANDO O MODELO BRAVES

Jadson dos Santos França[(1)]
Engenheiro Químico pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA). Mestrando em Processos e Sistemas Químicos pela Universidade Federal da Bahia (UFBA).
Édler Lins de Albuquerque[(2)]
Engenheiro Químico pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Mestre em Engenharia Química pela Universidade de Campinas (Unicamp). Especialista em Engenharia de Processos pela UFAL. Especialista em Engenharia Ambiental pela Unicamp. Professor de Engenharia Química e Pesquisador do IFBA.

Endereço[(1)]**:** Rua Engenheiro Lídio Campos, 54 - Federação - Salvador - BA - CEP: 40230-113 - Brasil - Tel: (71) 98850-0404 - e-mail: jauengquimica@gmail.com

RESUMO

A poluição atmosférica é um dos maiores problemas atuais que a humanidade enfrenta. Compreender o que causa essa poluição, como reduzi-la a níveis aceitáveis e manter esses níveis é um desafio que já foi aceito por muitos ao redor do mundo. Nesse contexto, faz-se importante a contabilização de inventários de emissão para se entender como as emissões projetadas por diferentes agentes se comportam no decorrer do tempo e espaço. Neste trabalho, através do uso do software MATLAB, empregou-se como base o modelo BRAVES, foi possível atualizar inventários de emissão veicular para a cidade do Salvador, na Bahia, e para o Brasil nos anos de 2013 a 2020. Para tanto, foram contabilizadas as frotas licenciadas (cidade e país) e foram obtidos dados de consumo de combustíveis por tipo de veículo, o tipo de combustível processado e por idade do veículo. Os resultados obtidos demonstram que as melhorias trazidas pelos programas PROCONVE e PROMOT trouxeram redução na emissão dos poluentes analisados, como o material particulado (MP) 2,5 e 10, o CO_2, o SO_2 e o NO_x, ao longo dos anos estudados cuja redução, para o $MP_{2,5}$ por exemplo, foi de 35 mil toneladas em 2013 para 25 mil toneladas, aproximadamente, em 2020 quando se avalia o cenário nacional.

PALAVRAS-CHAVE: inventários de emissão, emissões veiculares, BRAVES, Salvador, Brasil.

INTRODUÇÃO

A poluição do ar é um problema persistente na atualidade, compromete a qualidade de vida das populações e causa danos ao meio ambiente. Boa parte da população mundial respira ar que excede os limites da qualidade recomendados pela OMS, o que ameaça a saúde[1] e exige a criação de políticas públicas de combate à poluição atmosférica urbana Especialmente nos ambientes urbanos, é notório o alto impacto das emissões veiculares, já que um mesmo veículo pode emitir em diferentes lugares e em diferentes proporções a depender do combustível que processa, de sua idade, das condições das vias trafegadas, além de fatores difíceis de se estimar como o comportamento do motorista ao volante e influências climáticas que alteram a marcha durante o percurso. Essas emissões representam os gases e micropartículas emitidas na combustão dos veículos e são compostas por poluentes tais como monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos não-metânicos (NMHC), óxidos de nitrogênio (NO_x), material particulado ($MP_{2,5}$) e (MP_{10}), dióxido de carbono (CO_2) e dióxido de enxofre (SO_2) por exemplo.

As emissões veiculares podem ser estimadas através da elaboração dos inventários de emissão, os quais consistem em uma ferramenta que permite identificar, mapear e quantificar as fontes de emissão em determinada atividade e em um determinado local. Existem duas maneiras de compor um inventário de emissão: por meio da metodologia *top-down* ou a *bottom-up*. A *top-down* é uma abordagem menos detalhada, realizada a partir de estatísticas nacionais/regionais. Já a *bottom-up* é mais completa, pois contabiliza a emissão a partir de cada veículo, utilizando dados como frota e distância percorrida pelos mesmos.

Conhecer os poluentes emitidos e a quantidade emitida, auxiliam na previsão de seu impacto ambiental e à saúde humana, sendo fundamentais para a criação de estratégias mais efetivas para o controle e a redução dessas

emissões, como, por exemplo, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE – e o Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares – PROMOT.

Neste trabalho, o modelo *Brazilian Vehicular Emission Inventory Software* - BRAVES[2] - foi empregado no software MATLAB para obtenção das emissões veiculares dos poluentes e de sua evolução considerando a cidade de Salvador e o Brasil no período de 2013 a 2020, informações essenciais para atendimento ao Plano de Controle de Emissão Veicular (PCPV) e à criação de estratégias para diminuir a poluição atmosférica, especialmente nos centros urbanos.

Esse modelo associa a abordagem *top-down* com características de ano modelo e tipo de combustível da frota veicular do município. O modelo usa uma abordagem probabilística que leva em conta as características da frota, consumo do combustível, deterioração do veículo e intensidade de uso, para calcular as emissões veiculares do escapamento, desgaste dos freios, pneus e estradas, ressuspensão do solo, reabastecimento e emissões evaporativas[2]. Além disso, esse software também considera que todo combustível comercializado no município é consumido dentro do mesmo município com a frota operando exclusivamente na mesma cidade.

OBJETIVOS

Este trabalho de pesquisa teve como intuito principal estimar as emissões veiculares para os cenários local (cidade do Salvador) e nacional (Brasil), comparando-se os resultados dos últimos anos.

Paralelamente, a pesquisa também focou no uso do Modelo BRAVES, construído em ambiente do MATLAB, com o intuito de verificar a facilidade de uso dessa ferramenta, sua robustez e a confiabilidade dos resultados obtidos pela mesma.

METODOLOGIA UTILIZADA

A atual pesquisa tratou de um levantamento de dados, apoiado a um estudo bibliográfico das principais metodologias empregadas para elaborar inventários de emissão e os principais softwares empregados no Brasil para esta contabilização.

Para o desenvolvimento do projeto, foram coletados dados da frota de veículos através do portal do SENATRAN – Governo Federal, dados dos fatores de emissão disponibilizados pela CETESB e dados de consumo de combustível fornecidos pela ANP, segundo uma abordagem *top-down.*

Após a coleta de dados, deu-se início ao processo computacional com o uso do MATLAB. Primeiramente, para o emprego do BRAVES, foi necessário organizar todos os dados referentes aos anos de 2019 e 2020, pois o modelo segue um padrão para os anos anteriores (2013 a 2018) que deveria ser seguido. Além disso, pelo fato do BRAVES conter arquivos com inúmeras funções construídas com base em dados coletados no portal do Governo Federal, foi necessário incluir diferentes tipos de veículos para categorizar a frota existente.

Foram efetuados cálculos específicos para cada tipo de emissão (escapamento/exaustão, ressuspensão, evaporação, etc.), o qual variou também de acordo com o poluente emitido, com o tipo de veículo e com o combustível processado. Por exemplo, as estimativas por exaustão foram calculadas para quatro categorias de veículos: automóveis, comerciais leves, motos e pesados. No BRAVES, as motocicletas foram divididas em quatro subcategorias, de acordo com a cilindrada do motor (cc), enquanto a frota de veículos pesados segregada em sete subcategorias em função do peso bruto total (PBT)[3]. As emissões de escapamento de cada categoria de veículos foram calculadas, portanto, através da equação 1:

$$\mathbf{E_{x,c,k} = \Sigma\Sigma\Sigma\, P(s,j,i) \times EF_{x,c,s,j,i} \times DF_{x,c} \times A_{s,j,i} \times CF_{k,j} \times \%V_{c,j}} \qquad \text{equação (1)}$$

onde, $E_{x,c,k}$ (massa emitida por unidade de tempo) é a emissão do poluente x para a categoria de veículo c na cidade k; P(s,j,i) a probabilidade do veículo ser da subcategoria s, utilizar o combustível j, e ser do ano i; $EF_{x,c,s,j,i}$ (massa por distância percorrida) o fator de emissão do poluente x para cada veículo de subcategoria s que utiliza o combustível j e é do ano i; $DF_{x,c}$ é o fator de deterioração do poluente x da categoria de veículo c; $A_{s,j,i}$ (distância percorrida por consumo de combustível) é a autonomia do veículo da subcategoria s que

utiliza o combustível j e é do ano i; CFk,j (consumo de combustível por unidade de tempo) é a quantidade de combustível j consumido na cidade k; %Vc,j é a porcentagem do consumo do combustível j pelo veículo da categoria c.

No caso das estimativas de emissão por evaporação de NMHC para automóveis e comerciais leves, elas foram analisadas através das emissões evaporativas diurnas (*diurnal*), ou seja, oscilação da temperatura durante o dia e a noite, enquanto o veículo está estacionado, as emissões por imersão a quente (*Hot Soak*) que ocorre durante a primeira hora que o veículo está estacionado após a operação normal e, também, as perdas quando o veículo está em operação (*Running Losses*). Cada emissão é representada por uma equação e elas foram inseridas no BRAVES para obter os valores estimados. A equação 2 representa a *diurnal*, a equação 3, a *Hot Soak*, e a equação 4, a *Running Losses*.

$$\mathbf{EDc,k = \Sigma\Sigma\ Pj,i \times eDj,i \times D \times Nc,k} \qquad \text{equação (2)}$$

onde, EDc,k é a emissão evaporativa diurna de hidrocarbonetos não metano para a categoria de veículo c no município k; Pj,i a probabilidade condicional de um veículo do ano modelo i e utilizando o combustível j; eDj,i a taxa de emissão média diária da fase diurna do veículo do ano modelo i utilizando o combustível j; D o número de dias em um determinado período.

$$\mathbf{EHSc,k = \Sigma\Sigma\ Oj,i \times e\ HSj,i \times DT \times Aj,i \times CFk,j \times \%Vc,j} \qquad \text{equação (3)}$$

$$\mathbf{ERLc,k = \Sigma\Sigma\ Pj,i \times eRLj,i \times DT \times Aj,i \times CFk,j \times \%Vc,j} \qquad \text{equação (4)}$$

onde, EHSc,k e ERLc,k são as emissões evaporativas *Hot Soak* e *Running Losses* respectivamente, de hidrocarbonetos não metano para o veículo da categoria c no município k; Pj,i a probabilidade condicional de um veículo do ano modelo i e utilizando o combustível j; eHSj,i e eRLj,i as taxas de emissão média por viagem *Hot Soak* e *Running Losses* respectivamente do veículo do ano modelo i utilizando o combustível j; DT a distância média percorrida por viagem; Aj,i é a autonomia do veículo que utiliza o combustível j e é do ano i; CFk,j é a quantidade de combustível j consumido na cidade k; %Vc,j a proporção de combustível j consumido pela categoria c.

As emissões por reabastecimento foram estimadas através da equação 5 a seguir:

$$\mathbf{ERc,k = VRj \times CFk,j \times \%Vc,j} \qquad \text{equação (5)}$$

onde, ERc,k é a emissão de reabastecimento da categoria de veículos c no município k; VRj é a taxa de volatilidade do combustível j; CFk,j é a quantidade de combustível j consumido na cidade k; %Vc,j a proporção de combustível j consumido pela categoria c.

As emissões por desgaste de pneus, freios e pistas foram estimadas com base no guia europeu *Emission Inventory Guidebook – EMEP/EEA 2009*, pela ausência de informações sobre as emissões devido ao desgaste das superfícies das estradas. Com base nesse guia, as estimativas foram calculadas através da equação 6 a seguir:

$$\mathbf{EWc,k = \Sigma\Sigma\ Pi,j \times EWc \times Aj,i \times CFk,j \times \%Vc,j} \qquad \text{equação (6)}$$

onde, EWc,k são as emissões de desgaste de pneus, freios e estradas dos veículos da categoria c em um município k; Pj,i a probabilidade condicional de um veículo do ano modelo i e utilizando o combustível j; EWc o fator de emissão de desgaste de uma categoria c; Aj,i é a autonomia do veículo que utiliza o combustível j e é do ano i; CFk,j é a quantidade de combustível j consumido na cidade k; %Vc,j a proporção de combustível j consumido pela categoria c.

As emissões por ressuspensão do solo também foram estimadas utilizando o valor de 0,062 g/km de MP_{10}, já quantificado, devido à escassez de estudos sobre o tema em questão no território estudado. Essas emissões foram estimadas através da equação 7 representada a seguir:

$$\mathbf{ESc,k = \Sigma\Sigma\ Pj,i \times 0{,}062 \times Aj,i \times CFk,j \times \%Vc,j} \qquad \text{equação (7)}$$

onde, ESc,k é a emissão de ressuspensão de MP_{10} da categoria de veículos c na cidade k; Pj,i a probabilidade condicional de um veículo do ano modelo i e utilizando o combustível j; 0,062 é o fator de emissão de ressuspensao de MP_{10} do solo; Aj,i é a autonomia do veículo que utiliza o combustível j e é do ano i; CFk,j é a quantidade de combustível j consumido na cidade k; %Vc,j a proporção de combustível j consumido pela categoria c.

Já, para a estimativa de gases efeito estufa, o BRAVES apresenta resultados equivalentes a CO_2 (CO_2eq) e são considerados os poluentes CO_2, CH_4 e N_2O. A magnitude da emissão desses gases de exaustão é convertida em CO2eq com base no Potencial de Aquecimento Global em horizonte de 100 anos previsto pelo IPCC – *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* e também preconizado pelo relatório de emissões veiculares no Estado de São Paulo[2]. Esses dados estão representados na tabela 1[2] a seguir:

Tabela 1: Potencial de Aquecimento de Gases Efeito Estufa (GEE)

GEE	Equivalência em CO_2
CO2	1
CH4	21
N2O	310

Para as emissões referentes ao SO_2, foram estabelecidos os valores da relação máxima de teor de enxofre na gasolina de 0,05 g/L, no diesel S10 de 0,01 g/L e no diesel S500 de 0,5 g/L[2]. O cálculo para a estimativa da emissão de SO2 está apresentado na equação 8 a seguir:

$$\mathbf{ESEc,k = \Sigma\Sigma\ Pj,i \times SCc,j \times CFk,j \times \%Vc,j} \qquad \text{equação (8)}$$

onde, ESEc,k são as emissões de dióxido de enxofre da categoria c em um município k; Pj,i a probabilidade condicional de um veículo utilizar um combustível do tipo j e ser do ano modelo i; SCc,j o teor de enxofre do combustível j; CFk,j o consumo do combustível j na cidade k; %Vc,j a proporção de combustível j consumido pela categoria c.

Cálculos semelhantes aos descritos anteriormente são efetuados para estimar todas as emissões de um determinado poluente.

A última etapa consistiu no processo computacional para a obtenção dos dados desejados e, por fim, organização dos resultados em tabelas e gráficos que serão mostrados nas seções seguintes.

Os resultados do trabalho em questão foram comparados com os resultados obtidos por Brandão (2020)[4] que utiliza como cálculo da estimativa o segundo método de cálculo da Agência Europeia do Ambiente (AEA). A equação utilizada está apresentada a seguir:

$$\mathbf{Ep = \Sigma\Sigma\Sigma\ Fk,t,c \times FCp,k,t,c \times Kmak,t,} \qquad \text{equação (9)}$$

onde, Ep = emissão de um poluente p em um ano; Fk,t,c é a frota de veículos de uma categoria k, fabricados em um ano t e que processam um combustível c; FCp,k,t,c é o fator de emissão corrigido de um poluente p, para veículos de uma categoria k, fabricados em um ano t e que processam um combustível c; Kmak,t é a quilometragem média anual desenvolvida por veículos de uma categoria k, fabricados em um ano t.

RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos podem ser visualizados nas figuras a seguir. Primeiramente, foram plotados gráficos referentes ao material particulado, $MP_{2,5}$ e MP_{10}, para entender o quanto de material emitido estava presente no país e no município. A figura 1 apresenta os valores para o Brasil e a figura 2 para a cidade do Salvador. Nota-se um equilíbrio em aumento e redução da quantidade de MP emitida por diferentes tipos de veículos. Os valores foram obtidos através do BRAVES e do MATLAB e, posteriormente, organizados em gráficos através do Excel.

Os resultados obtidos através do BRAVES e MATLAB foram comparados com os resultados obtidos por Brandão (2020) que utilizou uma metodologia diferente.

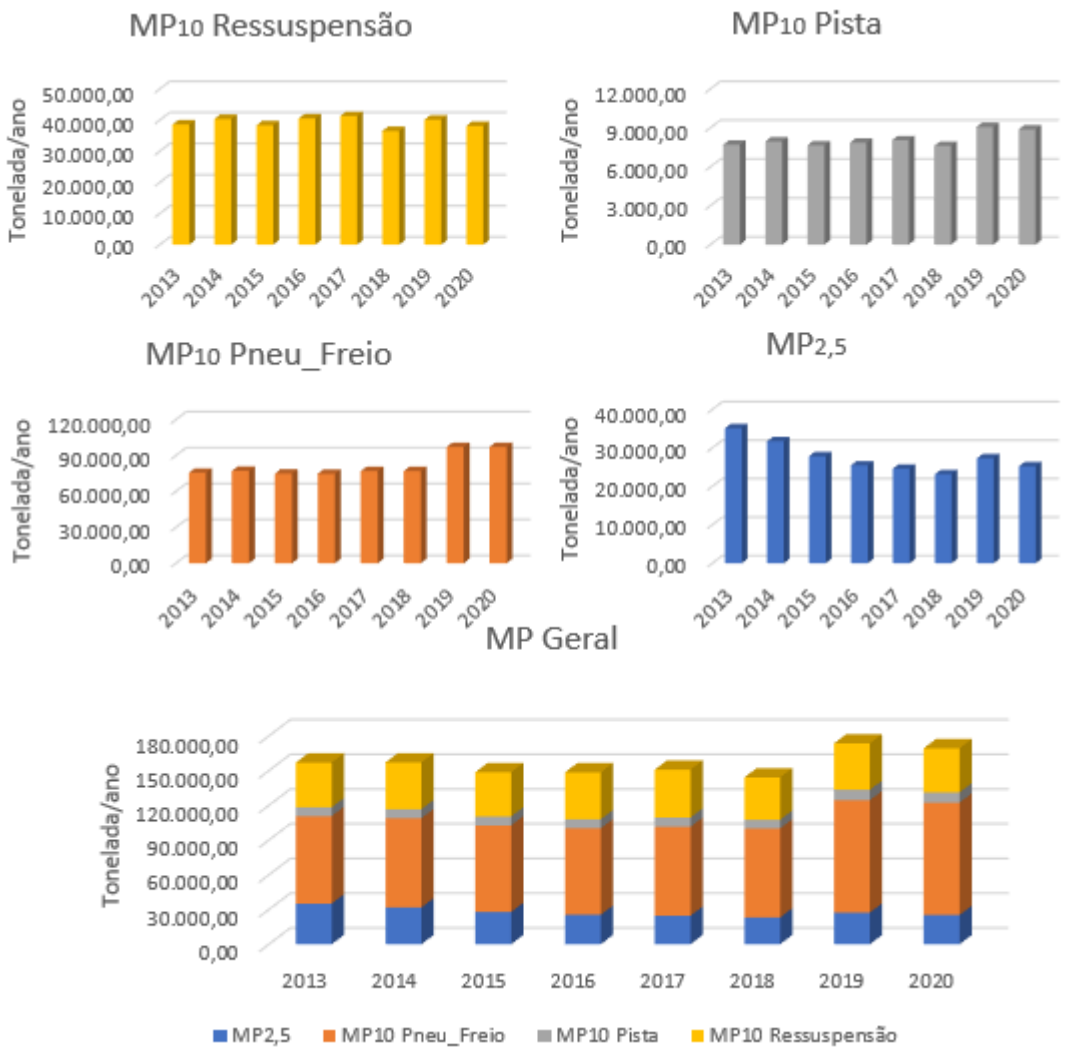

Figura 1: Emissões veiculares de MP no Brasil entre 2013 e 2020.

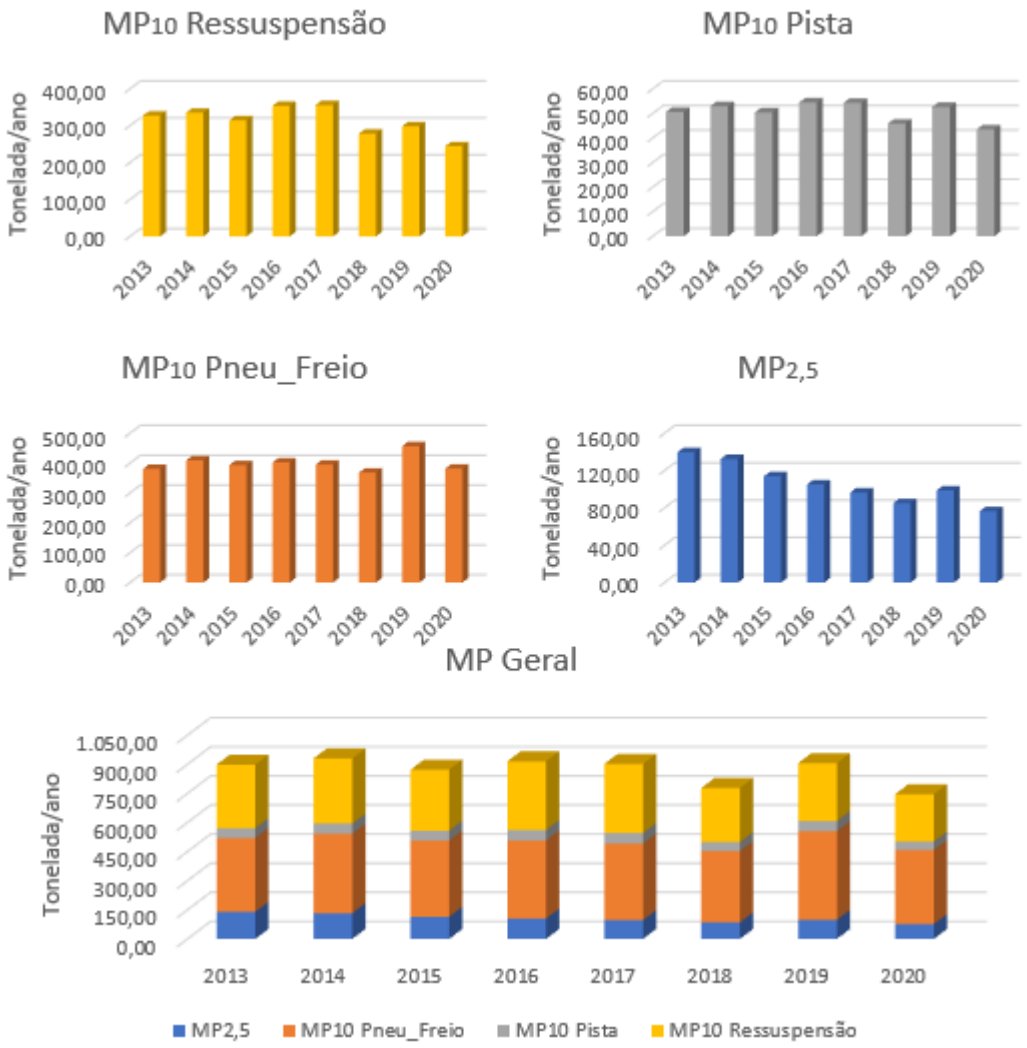

Figura 2: Emissões veiculares de MP em Salvador entre 2013 e 2020.

Em relação ao NMHC é necessário analisar as emissões de escapamento, abastecimento e as evaporativas. Os valores que estão apresentados nas figuras 3 para o Brasil e 4 para Salvador apresentam uma redução na emissão desse componente ao longo do tempo, o que está condizente com reduções provocadas pela maior eficiência dos motores mais novos, além da presença de dispositivos que diminuem as perdas evaporativas.

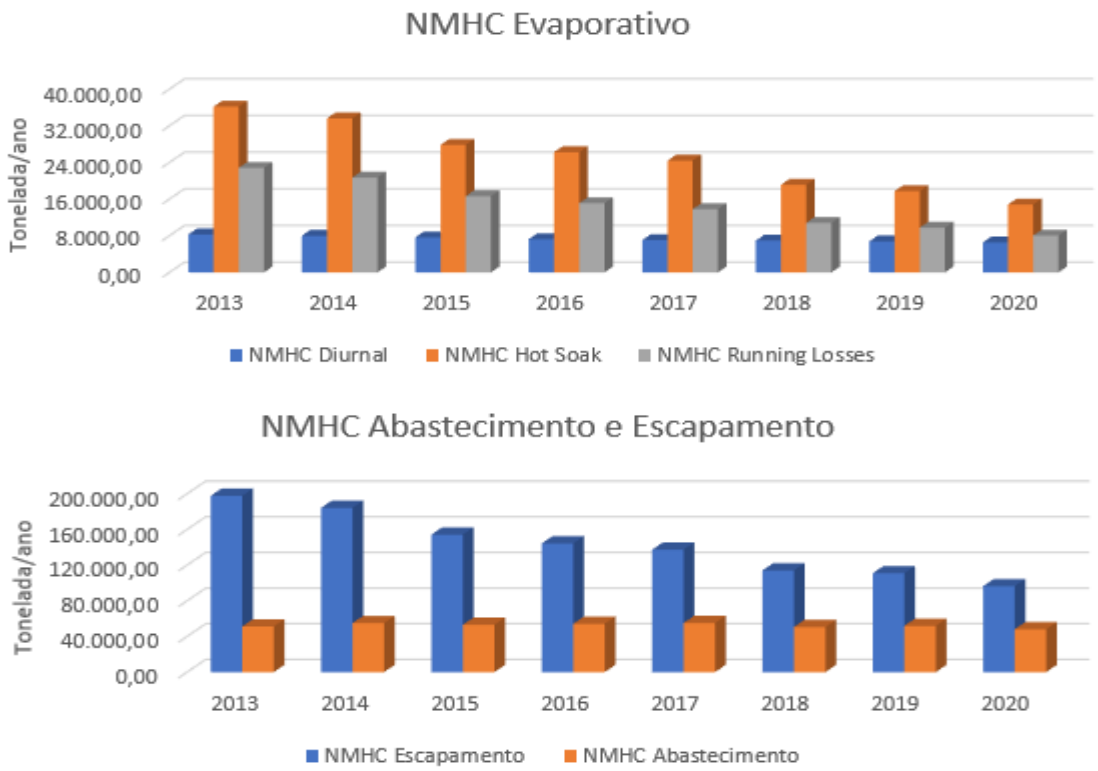

Figura 3: Emissões evaporativas de NMHC no Brasil entre 2013 e 2020.

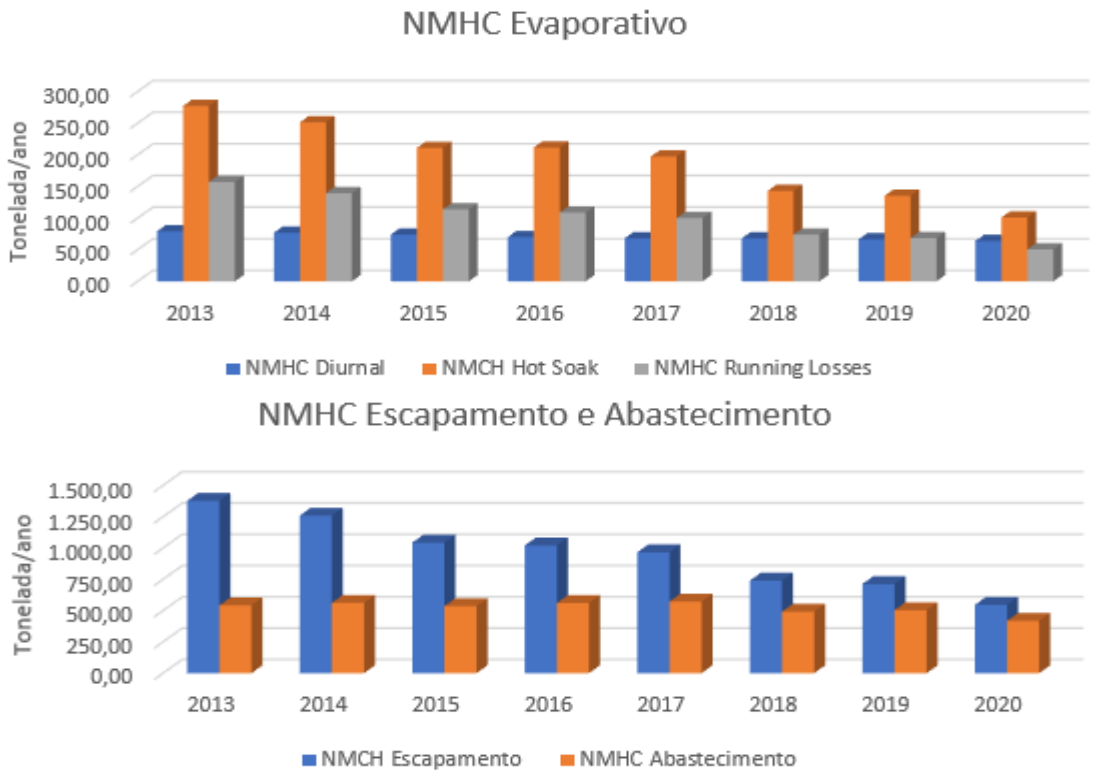

Figura 4: Emissões evaporativas de NMHC em Salvador entre 2013 e 2020.

Em relação aos gases de emissão, os valores também foram calculados, plotados e estão representados nas figuras 5 para o Brasil e 6 para Salvador. As figuras demonstram a redução dos gases analisados na maior parte do período estudado.

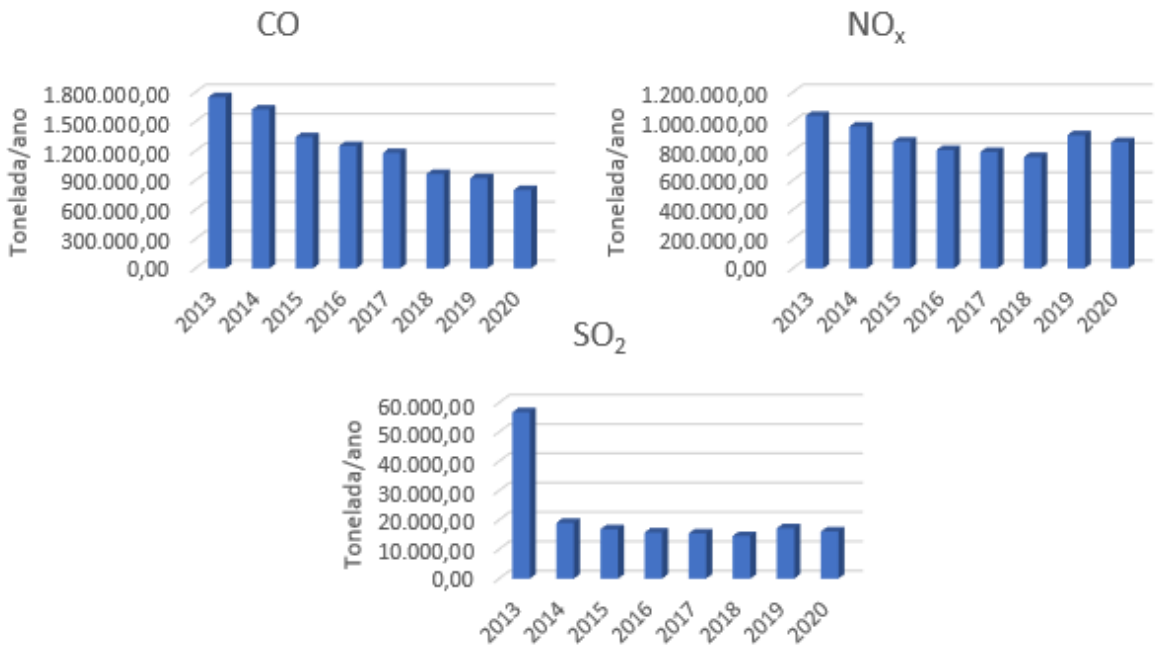

Figura 5: Gases de emissão CO, NO_x e SO_2 no Brasil entre 2013 e 2020.

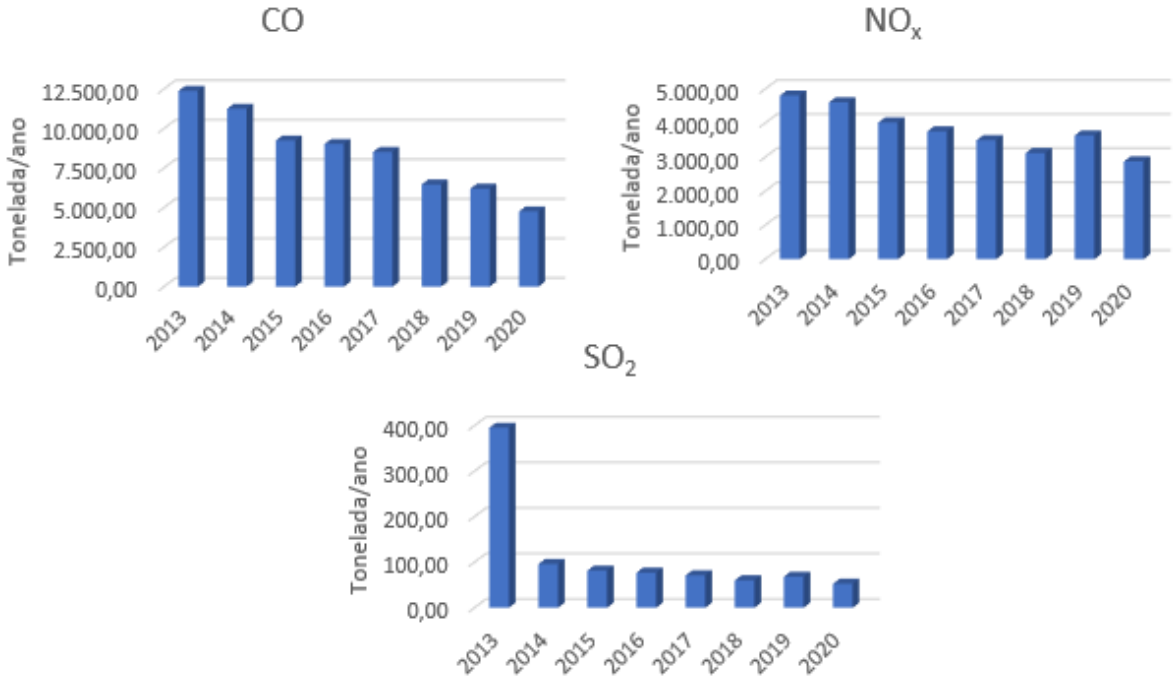

Figura 6: Gases de emissão CO, NO_x e SO_2 em Salvador entre 2013 e 2020.

Os dados encontrados por Brandão (2020) estão apresentados na figura 7 a seguir:

	CO	NMHC	NOx	MP
2009	$2,87x10^5$	$2,40x10^4$	$7,34x10^4$	$2,25x10^3$
2010	$2,82x10^5$	$2,38x10^4$	$7,58x10^4$	$2,35x10^3$
2011	$2,81x10^5$	$2,38x10^4$	$7,07x10^4$	$2,41x10^3$
2017	$1,76x10^4$	$2,24x10^3$	$1,71x10^4$	$3,02x10^3$
2018	$1,65x10^4$	$2,07x10^3$	$1,62x10^4$	$2,97x10^3$

Figura 7: Emissão de Poluentes oriundos da frota veicular na cidade de Salvador (toneladas/ano).

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Observando-se as figuras apresentadas, nota-se uma tendência geral de queda nas emissões dos poluentes ao longo dos anos. Entretanto, percebe-se que houve um aumento expressivo do ano de 2018 para 2019 para a maioria dos poluentes. Sabe-se que, quanto maior a frota, maior a emissão e, de fato, houve um aumento na frota veicular de 2018 para 2019. Entretanto, a taxa de atividade do método BRAVES é baseada no consumo de combustível e, nesse período, também houve aumento no consumo em questão, conforme dados divulgados pela ANP. Portanto, o aumento presente no período de 2018 a 2019, está de acordo com esse aumento do consumo de combustíveis no período e à consequente atividade contabilizada pelo BRAVES.

Avaliando-se às figuras 1 e 2, analisou-se as emissões de MP. Para as parcelas Freio e Pista não havia informação suficiente sobre as emissões de partículas no ar devido ao desgaste da superfície das estradas. Dessa forma, os resultados obtidos pelo BRAVES eram baseados no guia europeu – *Emission Inventory Guidebook* – EMEP/EEA 2009[2]. Para a parcela Ressuspensão do Solo, pelo fato de existir poucos estudos que abordam o tema no Brasil, o BRAVES utiliza o valor de 0,062 g/km de MP_{10}[5]. Já para o $MP_{2,5}$, a redução vem por conta da melhoria da qualidade dos combustíveis ofertados, da tecnologia presente nos veículos e da regulamentação presente no país.

De 2019 para 2020, devido à pandemia do Coronavírus, que no Brasil começou em março de 2020, o número de veículos circulantes diminuiu consideravelmente em consequência das restrições impostas e paralização de atividades[6] acarretando menor consumo de combustíveis nesse período, e, portanto, menores emissões.

Para as figuras 3 e 4, os valores que estão apresentados nelas mostram que as emissões de NMHC reduziram com o tempo. Tendências semelhantes foram observadas para os gases monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e de enxofre (Figuras 5 e 6). Da mesma forma como o que ocorreu com o material particulado, tais reduções podem ser atribuídas, em geral, à evolução tecnológica induzida pelo PROCONVE e PROMOT, impondo a fabricação de veículos mais eficientes e menos poluentes, dotados de dispositivos de controle como os conversores catalíticos e o ARLA-32.

A redução nas emissões do SO_2 está também atrelada à redução do teor de enxofre na gasolina a partir de 2014 e no diesel a partir de 2013[7,8]. Por conta disso, houve uma queda brusca no valor da emissão de SO_2 estimada para os anos de 2013 e 2014.

Verifica-se, no contexto geral, que as mesmas tendências observadas no cenário nacional foram observadas para a cidade de Salvador, mostrando que o consumo de combustíveis em Salvador, nos oito anos investigados, seguiu o consumo registrado em todo território nacional.

Resultados da estimativa de emissão de poluentes podem, também, ser obtidos através de outros softwares ou métodos. Comparando-se os resultados encontrados através do software BRAVES com os dados do trabalho de Brandão (2020), com o uso do segundo método de cálculo da AEA, diferenças consideráveis são encontradas acerca da estimativa de emissão de poluente.

O trabalho em questão também estima emissões de poluentes na cidade de Salvador. Os valores que são possíveis analisar são os que referem aos anos de 2017 e 2018, pois ambos os trabalhos abordam esses anos. É notável a diferença nos valores encontrados, como por exemplo, para o ano de 2017, a quantidade estimada de poluente MP para a cidade de Salvador, pelo método usado por Brandão (2020), foi de 3020 toneladas. Já com o BRAVES, o valor foi de, aproximadamente, 900 toneladas. Essa diferença de valores pode ser explicada através de alguns fatores, como:

- Abordagens diferentes. O método BRAVES utiliza uma metodologia *top-down* com características do ano modelo e tipo de combustível. A metodologia utilizada por Brandão (2020) é *bottom-up* sendo, portanto, mais complexa e considerada mais completa. Ambas abordagens possuem vantagens e desvantagens. As hipóteses assumidas geralmente implicam em incertezas nos valores obtidos que podem chegar a mais de 100% do valor total[9,10]. Por exemplo, na abordagem *top-down* não se pode garantir que o combustível é consumido na região que é vendido/comprado. Da mesma forma, na *bottom-up* não é possível garantir que os veículos irão trafegar somente na região de estudo nem que veículos de outras regiões não irão circular na região estudada. Tais fatores, como já citado, levam a incertezas que podem estar relacionadas com as diferenças observadas.
- A diferença nos dados utilizados para cálculos da estimativa. BRAVES utiliza os fatores de emissão, o consumo e a autonomia do veículo, todos os dados tabelados e registrados a partir de estimativas da CETESB. Brandão (2020) utiliza um fator de emissão ponderado referente à frota de cada avenida/rua analisada a partir de um fator de emissão médio ponderado calculado com o uso da velocidade média por categoria de veículo e da contagem de veículos da via por meio de radares da companhia de engenharia de tráfego de Salvador (TRANSALVADOR). Sendo assim, cada avenida/rua estudada possui seu fator de emissão o qual seria utilizado para os cálculos juntamente com informações da frota circulante por determinada avenida, diferente do BRAVES que utiliza um fator de emissão fornecido pela CETESB para cada tipo de poluente, ano e categoria de veículo. Na prática, os memos fatores de emissão são empregados, mas a metodologia empregada por Brandão (2020) permitiria prever a emissão em função dos veículos que circulam na via, o que deve ser mais próximo da realidade.

Dessa forma, o cálculo para Brandão (2020) seria mais específico, analisando cada tipo de veículo por determinada via analisada.

Isso, entretanto, não invalida o método utilizado pelo BRAVES, pois ele aborda uma visão mais geral do problema considerando um valor específico de fator de emissão para a região como um todo, desconsiderando, portanto, a análise mais detalhada.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Foram estimadas as emissões de material particulado, HCNM, monóxido de carbono, óxidos de enxofre e de nitrogênio baseadas no consumo de combustíveis, de acordo com o software BRAVES. As tendências contabilizadas demonstraram redução nas emissões ao longo do tempo, resultado das melhorias tecnológicas provenientes dos programas PROCONVE e PROMOT e regulamentações limitando o teor de determinadas substâncias, como o enxofre, nos combustíveis.

Exceção ao comportamento anterior foi observada para o material particulado nos anos finais da pesquisa, nos quais foram empregados fatores de emissão mais atuais para as emissões provenientes de freios, pista e ressuspensão, aumentando a parcela de contribuição destas nas emissões finais deste poluente.

De modo geral, o BRAVES atendeu ao que foi proposto para o projeto, estimativas rápidas, gerais e confiáveis para as emissões de poluentes, visto que os dados fornecidos pelo modelo foram consistentes, estando de acordo com o que tem sido reportado na literatura, apresentando-se, portanto, útil para prever a emissão dos poluentes atmosféricos estudados (material particulado, HCNM, óxidos de enxofre, monóxido de carbono e óxidos de nitrogênio).

Algumas atualizações metodológicas parecem necessárias ao modelo para incorporar fatores de emissões mais recentes, mas podem ser facilmente implementáveis por ser um modelo que pode ser utilizado em ambiente

MATLAB. Também, uma abordagem mais específica, considerando regiões dos municípios, poderia ser implementada para fornecer resultados mais precisos e detalhados. Deste modo, o BRAVES é uma alternativa prática para o conhecimento das emissões veiculares, ampliando o escopo de pesquisas e estudos na área ambiental com foco na qualidade do ar, facilitando a obtenção de inventários de emissões em trabalhos de pesquisa, estimativas de impactos ambientais de empreendimentos e obras, além de permitir os levantamentos necessários ao poder público de acordo com o que estabelece o PCPV.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PAHO. *Novos dados da OMS revelam que bilhões de pessoas ainda respiram ar insalubre***.** Disponível em: https://www.paho.org/pt/noticias/4-4-2022-novos-dados-da-oms-revelam-que-bilhoes-pessoas-ainda-respiram-ar-insalubre#:~:text=As%20%C3%BAltimas%20Diretrizes%20de%20Qualidade,24%20horas%3A%2045%20%C2%B5g%2Fm3.
2. VASQUES, T. V. INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO BRASIL: BRAZILIAN VEHICULAR EMISSION INVENTORY SOFTWARE – BRAVES. Florianópolis, 2021. Dissertação de mestrado – Faculdade de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 2021.
3. VASQUES, T. V.; HOINASKI, L. *Brazilian vehicular emission inventory software - BRAVES. Transportation Research Part D*, v. 100, p. 103041, nov. 2021.
4. BRANDÃO, P., V., R. *Estudo da Dispersão Atmosférica de Poluentes Originários da Frota Veicular em Salvador – BA.* Salvador, 2020. Dissertação de mestrado – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, 2020.
5. INEA. *RESOLUÇÃO INEA Nº 67 DE 25 DE FEVEREIRO DE 2013*. 2013.
6. MARTINS, R. *Por que as montadoras estão suspendendo a produção no Brasil? Entenda. G1*, Disponível em: https://g1.globo.com/economia/noticia/2021/03/26/por-que-as-montadoras-estao-suspendendo-a-producao-no-brasil-entenda.ghtml, 2021.
7. PETROBRAS. *Gasolina: Informações Técnicas*. Disponível em: http://sites.petrobras.com.br/minisite/assistenciatecnica/public/downloads/manual-gasolina-2019.pdf.
8. CETESB. *Emissões Veiculares no Estado de São Paulo*. São Paulo, 2019.
9. AGUIAR FILHO, A. M., ALBUQUERQUE, E., L. *Evolução das emissões de poluentes atmosféricos veiculares na região metropolitana de Salvador: 2009 a 2011. 27º CBESA – Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES.* Goiânia, 2013.
10. BRANDÃO, P., V., R. *et al. Estudo comparativo entre as metodologias para realização de inventários demissão de gases poluentes por fontes automotoras: CETESB x Ministério do Meio Ambiente. Braz. J. of Develop*, v. 6, n. 5, p. 25544-25554, mai. 2020.