

INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES DA REGIÃO METROPOLITANA DE CAMPINAS (RMC): MUDANÇAS NO CENÁRIO PANDÊMICO?

Palavras-Chave: *Top-down*; inventário; poluentes atmosféricos

Autores(as):

BIANCA CRISTINA DOS REIS PINTO, FT – UNICAMP

Prof(a). Dr(a). Simone Andréa Pozza (orientadora), FT – UNICAMP

INTRODUÇÃO:

Os veículos são os principais responsáveis pela poluição atmosférica, emitindo diversos compostos orgânicos e inorgânicos (PEREIRA et al., 2023). A emissão de poluentes pode ser afetada pela qualidade do combustível (PACHECO et al., 2017). Altas concentrações de poluentes no ar podem ocasionar problemas de saúde, como doenças cardiovasculares e respiratórias, além de mortes prematuras (MARCO, 2018).

A mobilidade veicular foi um dos setores mais afetados pelas medidas de restrições durante o período da pandemia da COVID-19 (2020-2021), que limitou significativamente as atividades externas. Com isso, as emissões de poluentes atmosféricos foram reduzidas significativamente (POLEDNIK, 2021). A metodologia *top-down*, que utiliza dados agregados para estimar variáveis específicas, é usada para quantificar essas mudanças nas emissões (NAS, 2017).

A região de estudo deste trabalho contempla a Região Metropolitana de Campinas (RMC) localizada no estado de São Paulo. Possui 3,3 milhões de habitantes e uma área de 3.791,79 km² (FUNDAÇÃO SEADE, 2021). A região abriga indústrias nos setores automobilístico, farmacêutico, metalúrgico e químico. Conectada por importantes rodovias e pelo Aeroporto Internacional de Viracopos, a RMC possui 0,71 veículos por habitante (GLOBO, 2019). Campinas é considerada a maior cidade da RMC, tem uma área territorial de aproximadamente 794,57 km², sendo o município mais populoso da região com 1.139.047 habitantes, seguida de Sumaré e Indaiatuba, respectivamente. Com isso, a frota veicular é uma fonte de emissão de poluentes significativa na região afetando diretamente a saúde humana. Paulínia abriga o maior polo petroquímico da América Latina, com a refinaria de

Paulínia (Replan) como principal fonte de poluição. A cidade também é influenciada pela grande região urbanizada de Campinas e possui uma frota de 76.832 veículos (IBGE, 2021).

Este estudo teve como objetivo estimar a emissão dos poluentes atmosféricos pela metodologia *top-down*, como o monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NO_x), aldeídos (RCHO), material particulado (MP), dióxido de carbono (CO₂) e óxido nitroso (N₂O) emitidos por fontes móveis da área de estudo, no período de 2017 a 2021.

METODOLOGIA:

Para a metodologia *top-down*, foram utilizados parâmetros específicos (Equação 1) para realizar um inventário de emissões. Os dados de consumo de combustível, coletados da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) para cada município, abrangeram as categorias de etanol hidratado e gasolina C no período de 2017 a 2021.

$$E_{T,p,c} = \sum_{k=1}^n * \sum_{j=1}^n * FE_{p,j,i,c} * C_{j,k} \quad \text{Eq. 1}$$

sendo,

- $E_{T,p,c}$ é a emissão estimada pelo método *top-down*, para o poluente p e da categoria c , em kg/ano;
- $FE_{p,j,i,c}$ é o fator de emissão para cada poluente p , combustível j , ano-modelo i e da categoria c , em kg/Litro;
- $C_{j,k}$ é a quantidade de combustível j , consumido na cidade k , em Litro/ano.

Outro parâmetro necessário é o Fator de Emissão (FE) de cada poluente selecionado que foram obtidos pelo Relatórios de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo, disponibilizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

As figuras 1 e 2 apresentam a emissão dos poluentes HC, CO, NO_x e RCHO de veículos movidos a etanol e a gasolina, respectivamente. O monóxido de carbono (CO) apresentou níveis mais elevados das emissões em ambos os combustíveis deste estudo comparado aos outros poluentes, o que corroborou com resultados de pesquisas realizadas em outras regiões do Brasil como: Rio de Janeiro, Região Metropolitana de Porto Alegre e Campinas (SOUZA et al., 2013; TANG et al., 2016; UEDA e TOMAZ, 2011).

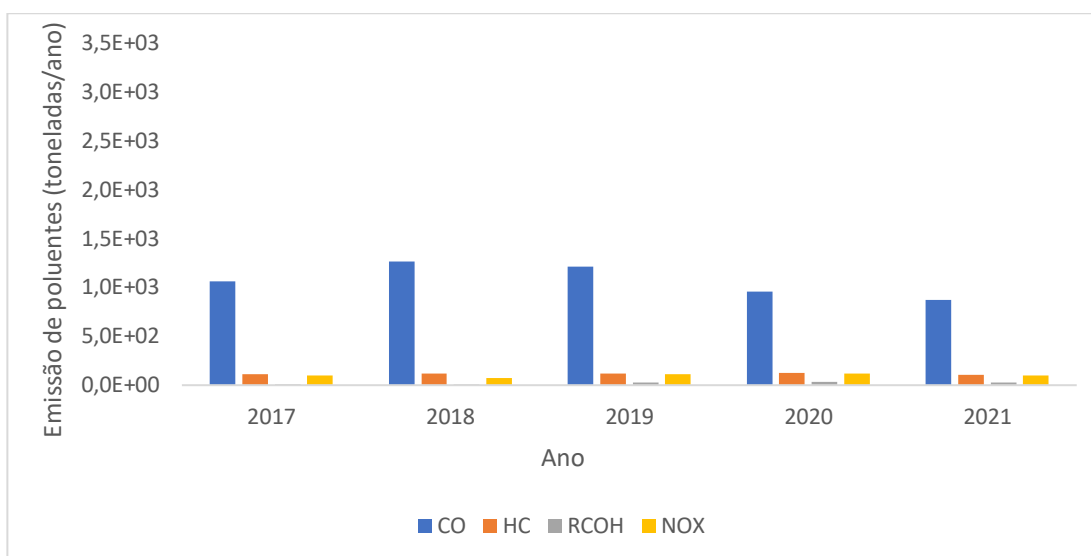


Figura 1- Emissão de poluentes (toneladas/ano) de veículos leves movidos a etanol na RMC de 2017 a 2021.

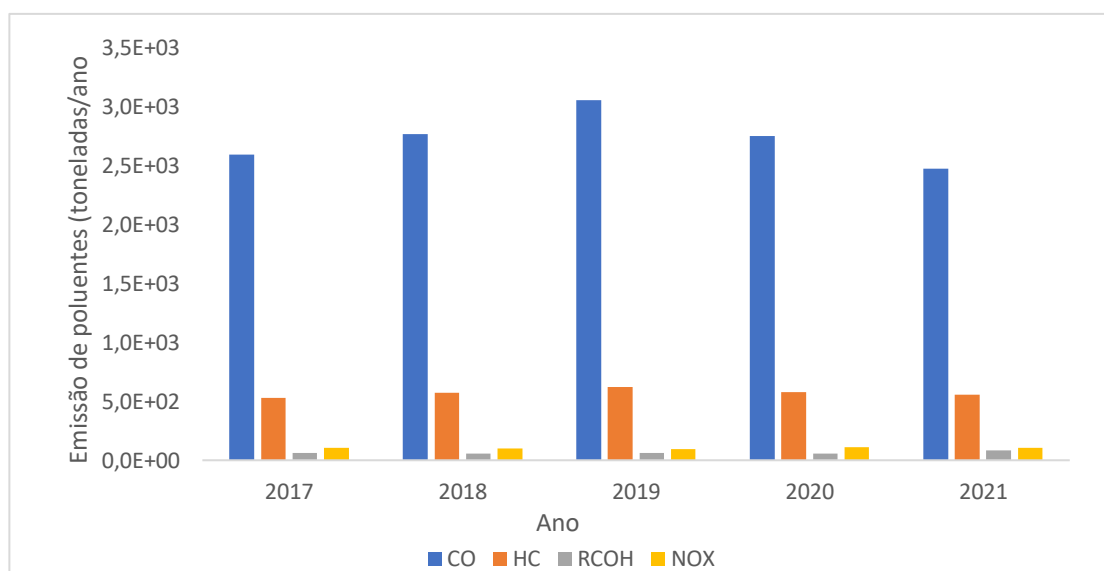


Figura 2- Emissão de poluentes (toneladas/ano) de veículos leves movidos a gasolina na RMC de 2017 a 2021.

A Tabela 1 apresenta as emissões dos poluentes (CO, HC, NO_x, MP e RCHO) de veículos leves novos e compara a variação em percentual entre 2017 e 2021, em Campinas e Paulínia, dois dos principais municípios da RMC. Em ambos os municípios houve diminuições dos poluentes, ao longo dos anos, com uma diferença de diminuição durante o período da pandemia.

Ano	Campinas					Paulínia				
	CO	HC	NO _x	MP	RCHO	CO	HC	NO _x	MP	RCHO
2017	51,74	5,50	3,84	4,80	3,84	61,44	6,53	5,66	0,43	0,34
2021	38,09	4,08	2,61	3,26	2,61	40,02	4,28	4,28	0,28	0,22
Varição (%)	-26,38	-25,82	-32,03	-32,08	-32,03	-32,86	-34,45	-24,38	-34,88	-35,29

Tabela 1- Total das emissões de poluentes de veículos leves em toneladas e seus percentuais de variação de 2017 e 2021 em Campinas e Paulínia.

A Figura 3 compara a concentração média de MP_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) com o fator de emissão dos municípios Campinas e Paulínia, da RMC. Pode-se notar que as concentrações médias de MP_{10} não refletiram a redução dos padrões de emissão para veículos leves. O fator de emissão houve uma redução comparado ao período antes da pandemia. Estudos realizados por Liu et al. (2021) em 597 cidades no período de janeiro e julho de 2020 avaliou que os fatores de emissões de MP_{10} e $MP_{2,5}$ reduziram em 14-20% e 7-16%, respectivamente, em relação ao período de pré-confinamento da COVID-19.

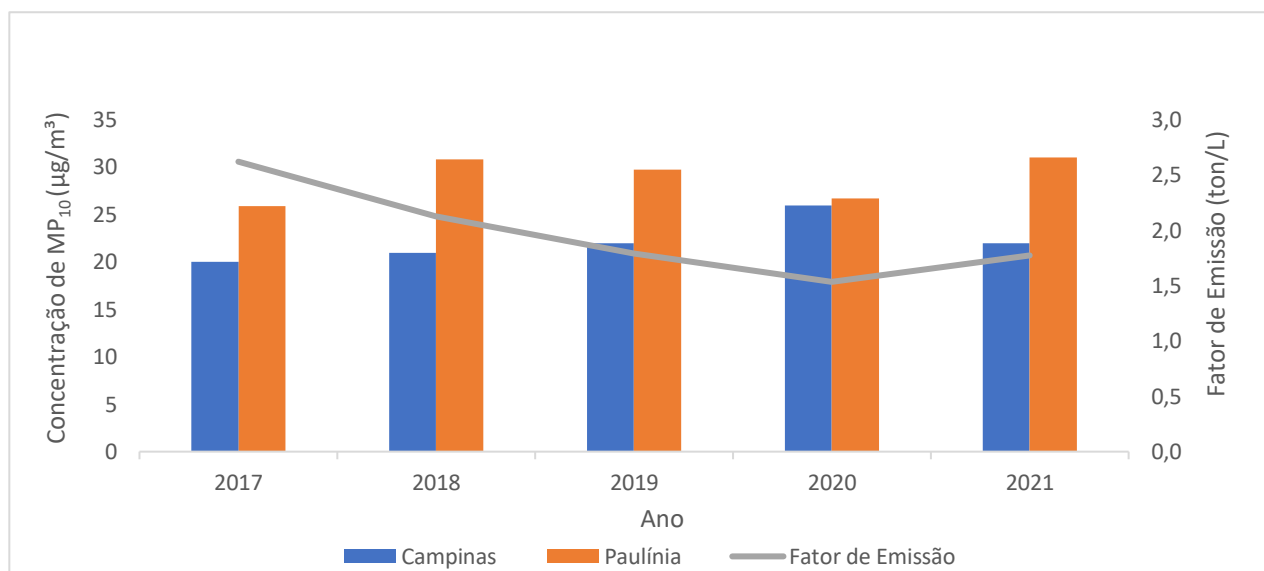


Figura 3- Concentração média de MP_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) obtida nas estações automática de Campinas e Paulínia e fator de emissão médio da frota de veículos leves.

CONCLUSÕES:

Concluiu-se neste trabalho que o inventário das emissões veiculares, a partir da metodologia *top-down*, foi essencial para quantificar os poluentes que podem afetar a saúde humana na RMC. Notou-se uma variação de diminuição nas emissões entre o período pré e pós-pandemia, com uma redução na quantidade de poluentes emitidos pela frota veicular em 2021 em comparação a 2017. Os veículos leves representam a maior parte dos veículos da RMC, sendo a emissão de CO foi a mais significativa. Assim, torna-se necessário o monitoramento e controle da qualidade do ar para garantir à população uma melhor qualidade de vida.

BIBLIOGRAFIA

FUNDAÇÃO SEADE. PIB Regional 1º trimestre de 2021. Plataforma SEADE PAINEL, 2021. Disponível em: <https://pib.seade.gov.br/>. Acesso em: 06 fev. 2024.

GLOBO. Região Metropolitana de Campinas tem o maior índice carro/habitante em SP, diz PUC. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/campinas-regiao/noticia/2019/08/05/regiao-metropolitana-de-campinas-tem-o-maior-indice-carrohabitante-em-sp-diz-puc.ghtml>. Acesso em: 06 fev. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>.

Acesso em: 02 ago. 2024.

- LIU, F.; WANG, M.; ZHENG, M. Efeitos do bloqueio da COVID-19 na qualidade do ar e saúde. *Science of The Total Environment*, v. 755, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142533>
- MARCO, A.; AMOATE, P.; KHANIABADI, Y. O.; SICARD, P.; HOPKE, P. K. Mortality and morbidity for cardiopulmonary diseases attributed to PM_{2.5} exposure in the metropolis of Rome, Italy. *European Journal of Internal Medicine*, v. 57, p. 49-57, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejim.2018.07.027>.
- NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE (NAS). *The Future of Atmospheric Chemistry Research: Remembering Yesterday, Understanding Today, Anticipating Tomorrow*. National Academies Press, 2017.
- PACHECO, M. T.; PARMIGIANI, M. M. M.; ANDRADE, M. D. F.; MORAWSKA, L.; KUMAR, P. A review of emissions and concentrations of particulate matter in the three major metropolitan areas of Brazil. *Journal of Transport & Health*, v. 4, p. 53-72, jan. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jth.2017.01.008>.
- PEREIRA, G. M.; NOGUEIRA, T.; KAMIGAUTI, L. Y.; SANTOS, D. M. D.; NASCIMENTO, E. Q. M.; MARTINS, J. V.; VICENTE, A.; ARTAXO, P.; ALVES, C.; VASCONCELLOS, P. D. C.; ANDRADE, M. D. F. Particulate matter fingerprints in biofuel impacted tunnels in South America's largest metropolitan area. *Science of The Total Environment*, v. 856, Part 2, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159006>.
- POLEDNIK, B. Air quality changes in a Central European city during COVID-19 lockdown. *Sustainable Cities and Society*, v. 73, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103096>.
- SOUZA, C. D. R.; SILVA, S. D.; SILVA, M. A. V.; D'AGOSTO, M. A.; BARBOZA, A. P. Inventory of conventional air pollutants emissions from road transportation for the state of Rio de Janeiro. *Energy Policy*, v. 53, p. 125–135, 2013. DOI: [10.1016/j.enpol.2012.10.021](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.021).
- TANG, G.; CHAO, N.; WANG, Y.; CHEN, J. Vehicular emissions in China in 2006 and 2010. *Journal of Environmental Sciences*, v. 48, p. 179–192, 2016. DOI: [10.1016/j.jes.2016.01.031](https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.01.031).
- UEDA, A. C.; TOMAZ, E. Inventário de emissão de fontes veiculares da região metropolitana de Campinas, São Paulo. *Química Nova*, v. 34, n. 9, p. 1496–1500, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000900003>.