

# **Emissões Veiculares e Índices Socioeconômicos: Uma Análise de Correlação**

**Palavras-Chave:** Poluentes Atmosféricos, Fontes Móveis de Emissão, Qualidade do Ar

**Biatriz Felipe de Siqueira [ETEC “Trajano Camargo”], Heloísa Isabel Bernardi [ETEC “Trajano Camargo”], Victória Pedron [E.E. “Prof. Gabriel Pozzi”, Colégio Técnico de Limeira - UNICAMP], Amanda Rocha Rodrigues (monitora) [FT-UNICAMP], Bruna Rafaela de Jesus Ferreira (monitora) [FT-UNICAMP], Prof. Dr. Diego Samuel Rodrigues (orientador) [FT-UNICAMP], Prof. Dr. Felipe Benavente Canteras (colaborador) [FT-UNICAMP], Profa. Dra. Simone Andréa Pozza (colaboradora) [FT-UNICAMP].**

## **INTRODUÇÃO**

Nas metrópoles, além de indústrias que contribuem para a poluição atmosférica, há também o setor de transportes, cuja demanda é crescente diante da modernização de áreas urbanas. Nesse contexto, é fato que, enquanto fontes móveis de emissão de poluentes, e a despeito da atual necessidade de seu uso, os veículos automotores terrestres a combustão também contribuem para a degradação da qualidade do ar.

Com isso, as emissões veiculares contribuem, substancialmente, para o aumento da concentração de poluentes atmosféricos. Como consequência da utilização dos veículos terrestres, há a geração de óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), formados durante os processos de combustão, e do monóxido de carbono (CO), resultando na queima incompleta de combustíveis fósseis nos veículos. Assim como o CO, os hidrocarbonetos (HC) são lançados na atmosfera como resultado da evaporação ou queima incompleta de combustíveis e outros produtos orgânicos voláteis (CETESB, 2022).

Além desses compostos, podemos destacar os óxidos de enxofre ( $\text{SO}_x$ ) e o material particulado (MP). Os  $\text{SO}_x$  são formados pela queima de combustíveis fósseis, como carvão mineral e óleos combustíveis, sendo esses derivados do petróleo e preferencialmente usados pela indústria no Brasil (VERGHANINI FILHO, 2020). O MP é composto por partículas de material sólido ou líquido que ficam em suspensão no ar. Seu tamanho, baseado em seu diâmetro aerodinâmico, pode variar de 2,5 a 50 micrômetros, sendo que os menores diâmetros são os mais prejudiciais à saúde humana, já que podem adentrar os alvéolos pulmonares (CETESB, 2020).

O avanço das fontes móveis de emissões no processo de urbanização das cidades é especialmente em regiões com maior Produto Interno Bruto (PIB), devido ao crescimento da frota

veicular e do transporte coletivo. A área territorial também pode ser relacionada com a emissão veicular, pois quanto maior o tamanho da região, maior é o consumo de combustível pelos meios de transportes e, conseqüentemente, maior é a emissão de poluentes.

O objetivo deste trabalho foi analisar e quantificar a correlação de índices socioeconômicos (PIB e IDH), área territorial, população e frota de veículos rodoviários – como automóveis, ônibus, caminhões e motocicletas – com valores de emissão de poluentes atmosféricos, considerando-se um inventário atual de emissões urbanas para o Estado de São Paulo (CETESB, 2022). O propósito é determinar a correlação entre área territorial, PIB, IDH, população e frota com concentrações de determinados poluentes atmosféricos: CO, HC, NO<sub>x</sub>, MP, SO<sub>x</sub>.

## **METODOLOGIA**

Para investigar a correlação entre as variáveis explicativas (população, frota, PIB, IDH e Área Territorial) com os poluentes atmosféricos (CO, HC, NO<sub>x</sub>, MP e SO<sub>x</sub>), foram calculados os respectivos coeficientes de correlação de Pearson.

O IDH é um método utilizado para identificar a ampliação de uma sociedade em diversas áreas: na economia, na educação e na saúde (MARQUES *et al.*, 2013). Ele é um valor de alusão numérica entre 0 e 1. Sendo assim, quanto mais próximo de 0, menor será o indicativo de saúde, renda e educação. Quanto mais próximo de 1, melhores são as circunstâncias dessas áreas de análise. O PIB é o indicador de fluxo de novos bens e serviços determinado pelo país, Estado ou cidade, com objetivos finais produzidos durante um período para estabelecer atividade econômica, geralmente ao longo de um ano (IBGE, 2022). O coeficiente de Pearson indica o grau de correlação linear entre duas variações contínuas de proporção métrica, identificado pelos valores de -1 e 1. Porém, se duas variáveis estão correlacionadas, isso não significa que há uma relação de causalidade entre elas (FIGUEIREDO, 2009).

Os dados referentes a Área territorial (2020), PIB (2019) e IDH (2000 e 2010) aqui utilizados são oriundos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Considerando que o último censo foi realizado há 10 anos, não existem dados recentes para o IDH. Com isso, foi necessário utilizar o método de extrapolação linear para determinar os valores de IDH para 2019. Para tanto, utilizaram-se os dados de IDH do ano 2000 e do ano 2010 disponibilizados pelo IBGE. Entretanto, para os valores de IDH indicados na Região Metropolitana de Campinas (RMC) e na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), foi feita a Média Ponderada dos valores de IDH de cada município integrante na região, que resultou em um valor médio de IDH das Regiões Metropolitanas. Também aplicamos esse método para as cidades de Sorocaba e Votorantim, obtendo assim os devidos resultados.

Na Tabela 1 são apresentados estimativas de população, da frota veicular e emissões móveis (em 1000 toneladas/ano) tendo como base dados do Relatório de Qualidade do Ar no Estado

de São Paulo de 2020, com a inclusão de dados da Área Territorial, PIB e o IDH (CETESB, 2020). A frota veicular diz respeito a todas as categorias de veículos em cada região, ou seja, abrange automóveis, comerciais leves, caminhões, ônibus e motocicletas.

Município	População (2020)	Frota (2019)	Área Territorial (2020) (km <sup>2</sup> )	PIB (2019) (milhares de R\$)	IDH (2019)	Emissão Fontes Móveis (1000 toneladas/ano)				
						CO	HC	NOx	MP	SOx
Guaratinguetá	122505	38922	752,636	6488615	0,870	1,30	0,24	0,83	0,02	0,01
Jacareí	235416	69947	464,272	13361648	0,846	1,60	0,33	0,83	0,02	0,01
São José dos Campos	729737	236456	1099,409	43457370	0,868	5,29	1,10	2,07	0,05	0,04
Taubaté	317915	112002	625,003	18357172	0,859	2,96	0,57	0,64	0,01	0,01
São Sebastião	90328	21741	402,395	3575340	0,870	0,55	0,10	0,19	0,01	0,00
Ribeirão Preto	711825	292317	650,916	35355227	0,824	5,79	1,19	2,52	0,06	0,04
RMC	3304338	1241164	3791,129	217471386	0,863	25,52	5,35	13,15	0,31	0,21
Jundiaí	423006	185511	431,207	46952323	0,892	4,33	0,89	1,83	0,04	0,03
Limeira	308482	112801	580,711	13785897	0,843	2,60	0,53	1,70	0,04	0,03
Piracicaba	407252	160466	1378,069	27822630	0,853	3,84	0,78	1,73	0,04	0,03
Rio Claro	208008	84605	498,422	10511811	0,865	1,66	0,32	0,72	0,02	0,01
Santa Gertrudes	27381	8416	98,291	2015669	0,821	0,18	0,04	0,22	0,005	0,00
RMSP	21893842	7324690	7946,956	1255655815	0,791	112,97	24,89	48,27	1,22	0,72
Cubatão	131626	28322	142,879	15046347	0,830	-	-	-	-	-
Santos	433656	153261	281,033	22753121	0,890	2,43	0,49	1,39	0,04	0,02
Tatuí	122967	43104	523,749	4160032	0,824	1,09	0,21	0,50	0,01	0,01
Sorocaba e Votorantim	810956	299713	634,058	40690368	0,863	6,39	1,33	1,78	0,04	0,03
Araraquara	238339	92041	1003,625	10026981	0,881	2,09	0,42	0,88	0,02	0,01
Bauru	276982	152114	667,684	15324591	0,860	3,08	0,65	1,27	0,03	0,02

Jaú	151881	51738	687,103	4903684	0,844	1,16	0,23	0,39	0,01	0,01
Catanduva	122497	49971	290,596	4339528	0,857	1,09	0,22	0,95	0,02	0,02
São José do Rio Preto	464983	206455	431,944	18776621	0,844	4,29	0,87	2,33	0,05	0,04
Araçatuba	198129	85063	1167,126	7807916	0,828	1,88	0,36	1,00	0,02	0,02
Marília	240590	88512	1170,515	8384437	0,864	1,79	0,36	0,79	0,02	0,02
Presidente Prudente	230371	90339	560,637	8368439	0,860	1,92	0,39	1,16	0,03	0,02

Tabela 1 – População, frota veicular, emissões móveis, área territorial, PIB e IDH de um aglomerado de municípios do estado de São Paulo.  
Fonte: Adaptado de CETESB (2020), com inclusão de dados da área territorial, PIB e IDH.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizamos o coeficiente de correlação de Pearson para saber a correlação entre população, frota veicular, IDH, PIB e área territorial com os poluentes atmosféricos. É possível perceber que população, frota, área territorial e PIB estão fortemente correlacionados aos poluentes, já que os valores ficaram muito próximos de 1. Já no IDH não existe essa correlação, pois os valores do coeficiente de Pearson ficaram entre 0,068 e 0,074.

	CO	HC	NOx	MP	SOx
População	0,997	0,998	0,993	0,955	0,990
Frota	0,998	0,999	0,995	0,996	0,993
Área Territorial	0,962	0,960	0,968	0,965	0,971
PIB	0,998	0,999	0,995	0,997	0,993
IDH	0,072	0,071	0,071	0,074	0,068

Tabela 2 – Coeficiente de correlação de Pearson entre variáveis explicativas e emissões de poluentes do ar oriundos de fontes móveis.

## CONCLUSÕES

Neste trabalho foi analisada e quantificada a correlação de índices socioeconômicos (IDH e PIB), área territorial, população e frota de veículos leves com valores de emissão de poluentes atmosféricos de fontes móveis veiculares (CO, HC, NO<sub>x</sub>, MP, SO<sub>x</sub>). Isso foi desenvolvido por meio do cálculo do coeficiente de correlação de Pearson entre os índices socioeconômicos e os tais poluentes atmosféricos.

Foram utilizados dados do Relatório de Qualidade do Ar do estado de São Paulo de 2020 da CETESB para a realização dos componentes trabalhados, e o IBGE foi consultado como fonte dos dados adicionais. Devido à falta de dados ocasionados pela não realização do censo em 2020, utilizaram-se dados do PIB de 2019 e a extrapolação do IDH para 2019 a partir dos dados dos anos de 2000 e 2010.

Concluímos que há correlação entre as variáveis população, frota, área territorial e PIB com os poluentes atmosféricos CO, HC, NO<sub>x</sub>, MP, SO<sub>x</sub>, visto que o coeficiente de correlação de Pearson entre essas variáveis e a concentração de todos os poluentes considerados foi superior a 0,95. Em relação ao IDH, os valores do coeficiente de Pearson indicaram que não há correlação entre esta variável e a emissão, por fontes móveis, dos poluentes estudados. Logo, os fatores socioeconômicos, área territorial, população e frota têm uma relação com a emissão dos poluentes atmosféricos analisados no trabalho.

---

## BIBLIOGRAFIA

ALONSO, Marcelo Felix; LONGO, Karla Maria; FREITAS, Saulo R.; FONSECA, Rafael Mello da; MARÉCAL, Virginie; PIRRE, Michel; KLENNER, Laura Gallardo. An urban emissions inventory for South America and its application in numerical modeling of atmospheric chemical composition at local and regional scales. **Atmospheric Environment**, [S.L.], v. 44, n. 39, p. 5072-5083, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.09.013>.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2020. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, Cetesb, 2020. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2021/05/Relatorio-de-Qualidade-do-Ar-no-Estado-de-Sao-Paulo-2020.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2022.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Emissão Veicular. São Paulo: Cetesb, 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/>. Acesso em: 21 jul. 2022.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Poluentes. São Paulo: Cetesb, 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>. Acesso em: 25 jul. 2022.

FIGUEIREDO FILHO, Dalson Britto; SILVA JÚNIOR, José Alexandre da. **Desvendando os Mistérios do coeficiente de Correlação de Pearson**. 2009. 146 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência Política, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2009. Cap. 18. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/>. Acesso em: 21 jul. 2022.

MARQUES, Maria Luiza de Aguiar; PINTO, Daniela Gomes; COSTA, Marco Aurélio. **O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2013. 51 p. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/2375>. Acesso em: 19 jul. 2022.

Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente de São Paulo. **Comitê de Mudanças do Clima e Ecoeconomia discute emissão de poluentes**. 2018. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=nJb4upNQgeM>. Acesso em: 10 mar. 2022.

VERGHANINI FILHO, Renato. **Emissão de óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>) na combustão industrial**. São Paulo: Revista Ipt | Tecnologia e Inovação, 2020. 4 v. Disponível em: <http://revista.ipt.br/index.php/revistaIPT/article/view/119/127>. Acesso em: 25 jul. 2022.

PRODUTO INTERNO BRUTO (PIB). Brasil: IBGE, 2022. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>. Acesso em: 25 jul. 2022.