

Tendências sazonais para material particulado e ozônio em estações de qualidade do ar do estado de São Paulo: análise entre os anos 2015 e 2019

Arthur Boari e Marcelo Vieira-Filho

Universidade Federal de Lavras
XXXI Congresso da Pós-Graduação
Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental
Mudanças Climáticas, Energia e Poluição Atmosférica

Introdução

OMS:

- Anualmente: 7 milhões de óbitos prematuros
- Redução da expectativa de vida
- Crianças: redução do crescimento e função pulmonar, infecções respiratórias e asma agravada
- Adultos: isquemia cardíaca e AVC, diabetes e condições neurodegenerativas

.: Legislação + monitoramento

Fonte: WHO (2021).

CONAMA 491/2018

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI-1 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	PI-2 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	PI-3 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	PF $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	ppm
Material Particulado (MP ₁₀)	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Material Particulado (MP _{2,5})	24 horas	60	50	37	25	-
	Anual ¹	20	17	15	10	-
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	24 horas	125	50	30	20	-
	Anual ¹	40	30	20	-	-
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	1 hora ²	260	240	220	200	-
	Anual ¹	60	50	45	40	-
Ozônio (O ₃)	8 horas ³	140	130	120	100	-
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Monóxido de Carbono (CO)	8 horas ³	-	-	-	-	9
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	24 horas	-	-	-	240	-
	Anual ⁴	-	-	-	80	-
Chumbo (Pb) ⁵	Anual ¹	-	-	-	0,5	-

Média aritmética anual¹, média horária², máxima média móvel obtida no dia³, média geométrica anual⁴ e medido nas partículas totais em suspensão⁵.

Material Particulado

Definição:

Partículas, líquidas ou sólidas dispersas na atmosfera.

Caracterização:

Em relação ao diâmetro aerodinâmico (ϕ):

- MP₁₀ ($\phi < 10 \mu m$) — “inalável”
- MP_{2,5} ($\phi < 2,5 \mu m$) — “respirável”
- MP_{1,0} ($\phi < 1,0 \mu m$) — “ultrafinas”

Fonte: Seinfeld e Pandis (2006).

Material Particulado

	Partículas Finas	Partículas Grossas
Vias de formação	Reações químicas Nucleação Condensação Coagulação	Ruptura mecânica Suspensão de poeira
Composição	Sulfato Nitrato Amônio Íon hidrogênio Carbono elementar	Ressuspensão de poeiras Cinzas de carvão e óleo Óxidos de elementos crustais (Si, Al, Ti, Fe) CaCO_3 , NaCl
Solubilidade	Amplamente solúvel e higroscópico	Amplamente insolúvel e não-higroscópico
Fontes	Combustão (carvão, óleo, gasolina, diesel, madeira) Conversão gás-partícula de NO_x , SO_3 e COVs Fundações, moinhos, etc.	Ressuspensão de poeira industrial e solo Suspensão de solo (agricultura, mineração, estradas não pavimentadas) Fontes biológicas Construção/demolição
Residência na Atmosfera	Dias a semanas	Minutos a dias
Transporte	De centenas a milhares de km	Menos do que dezenas de km

Fonte: Seinfeld e Pandis (2016), traduzido pelo autor.

Ozônio

Na atmosfera:

- Estratosfera: Ciclo de Chapman
- Troposfera: poluente

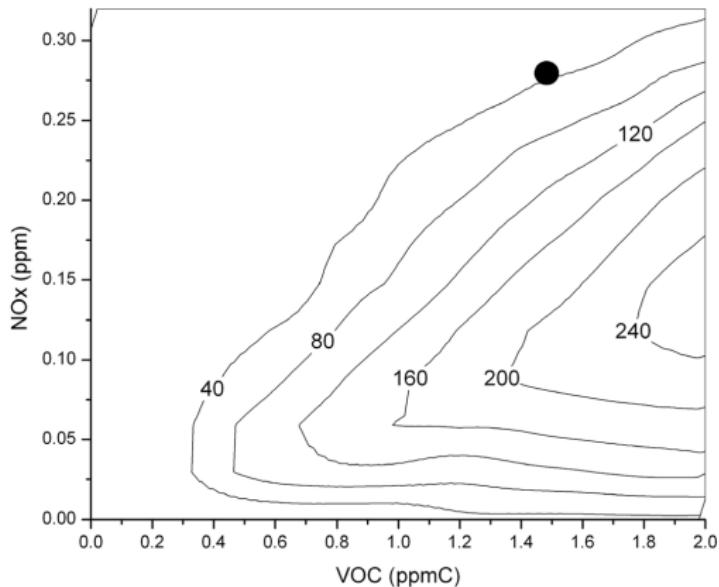
Formação

- Precursors: COVs e NOx
- Reações fotoquímicas não-lineares

Fonte: Lenzi e Favero (2019).

Ozônio Troposférico

Fig.: Isopleths of ozone (ppbv) for different VOCs (ppmC) and NOx (ppmv) concentrations, in the campaign performed in 2008 (Cerqueira César)



Fonte: Alvim et al. (2017).

Objetivos

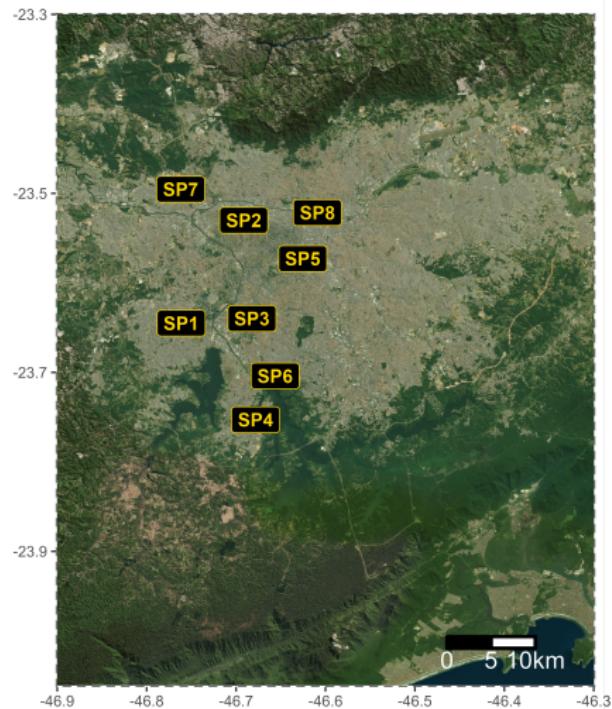
Investigar o comportamento sazonal da tendência de concentração de material particulado ($MP_{2,5}$ e MP_{10}) e ozônio (O_3) para oito estações de qualidade do ar de São Paulo/SP entre os anos de 2015 e 2019.

Área de estudo

Estação	Coordenadas SIRGAS2000			Poluente	Comp. (%)
		Lat.	Long.		
SP1	Capão Redondo	-23.67	-46.78	MP ₁₀	93.67
SP2	Cerqueira César	-23.55	-46.67	MP ₁₀	97.73
SP3	Congonhas	-23.62	-46.66	MP ₁₀ MP _{2,5}	95.03 92.04
SP4	Grajaú-Parelheiros	-23.78	-46.70	MP ₁₀ MP _{2,5}	92.08 91.91
SP5	Ibirapuera	-23.59	-46.66	O ₃	92.15
SP6	Interlagos	-23.68	-46.68	O ₃	90.67
SP7	Marginal Tietê	-23.52	-46.74	MP ₁₀	96.26
	Ponte Remédios			MP _{2,5}	95.97
SP8	Parque D. Pedro II	-23.55	-46.63	MP ₁₀	90.74

Fontes: CETESB (2021).

Área de estudo



Procedimento



Testes estatísticos

- Anderson-Darling
- Mann-Kendall
- Sen's Slope

Teste de Anderson-Darling

- Teste de normalidade

Hipóteses:

- H_0 : dados são oriundos de uma amostra aleatória e que seguem uma distribuição $N(\mu, \sigma^2)$
- H_1 : dados não seguem uma distribuição normal

Fonte: Anderson e Darling (1952).

Teste de Mann-Kendall

- Teste não-paramétrico
- Não assume distribuição

Hipóteses:

- H_0 : amostra dos dados é independente e identicamente distribuída \therefore não há tendência
- H_1 : amostra segue uma tendência monotônica condicional no tempo \therefore há tendência

Fonte: Alyousifi et al. (2021).

Sen's Slope

$$\beta = \text{Mediana} \left(\frac{x_j - x_i}{j - i} \right), 1 \leq i < j \leq n$$

Fonte: Sen (1968).

Tendências

Estação	Poluente	Tendência				
		Geral	DJF	MAM	JJA	SON
SP1	MP ₁₀	-0,73**	-2,19	-1,46	-3,285	-3,285+
SP2	MP ₁₀	-0,73***	-2,555*	-2,92*	-4,38*	-5,84***
SP3	MP ₁₀	-0,073	-0,73	-1,46	3,285	-0,73
	MP _{2,5}	-0,365**	-0,365	-1,46	-0,365	-4,38***
SP4	MP ₁₀	-0,365	-5,11*	1,46	-4,015	0
	MP _{2,5}	-0,365*	-3,65**	0	-0,73	-2,555+
SP5	O ₃	1,095	0	2,92	16,79***	-0,73
SP6	O ₃	0,365	-8,76+	2,19	10,95***	-6,57
SP7	MP ₁₀	0	-1,095	0,73	-0,73	-3,65
	MP _{2,5}	-0,365*	-0,73	-0,365	-1,095	-2,19+
SP8	MP ₁₀	0,365	-2,19+	1,095	6,935*	-2,92

$p < 0,001 = ***$, $p < 0,01 = **$, $p < 0,05 = *$ e $p < 0,1 = +$.

Conclusões

Material Particulado

- Tendência geral significativa de decrescimento - MP₁₀ (SP1 e SP2) e MP_{2,5} (SP3, SP4 e SP7)
- Tendência de redução na estação chuvosa - remoção via precipitação e vento
- SP2 (Cerqueira César) apresentou tendência de redução em todos os trimestres — região altamente urbanizada

Ozônio

- Tendência significativa de crescimento durante o inverno
- Baixa nebulosidade, frequentes inversões térmicas, e baixa precipitação

Referências

- ALVIM, D. S. et al. Main ozone-forming VOCs in the city of São Paulo: observations, modelling and impacts. **Air Quality, Atmosphere & Health**, v. 10, n. 4, p. 421–435, may 2017. ISSN 1873-9318.
- ALYOUSIFI, Y. et al. Trend analysis and change point detection of air pollution index in Malaysia. **International Journal of Environmental Science and Technology**, Springer Berlin Heidelberg, n. 0123456789, nov 2021. ISSN 1735-1472.
- ANDERSON, T. W.; DARLING, D. A. Asymptotic Theory of Certain “Goodness of Fit” Criteria Based on Stochastic Processes. **The Annals of Mathematical Statistics, Institute of Mathematical Statistics**, v. 23, n. 2, p. 193 – 212, 19527.

Referências

- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Qualidade do ar no estado de São Paulo 2020**: Apêndice 2 – Endereços das Estações das Redes de Monitoramento da Qualidade do Ar. São Paulo, 2021. 10 p.
- SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. **Atmospheric chemistry and physics**: from air pollution to climate change. 2. ed. Hoboken, N.J: John Wiley & Sons, 2006. 1203 p. ISBN 978-0471720188.
- SEN, P. K. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. **Journal of the American Statistical Association**, v. 63, n. 324, p. 1379, dec 1968. ISSN 01621459.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **WHO global air quality guidelines**: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2021. xxi, 273 p. p

Entre em contato:

arthur.boari1@estudante.ufla.br



Confira a lista de referências e demais
informações presente no portfólio *online*