

A PANDEMIA DA COVID-19 REDUZIU A POLUIÇÃO DO AR? EVIDÊNCIA DA REGIÃO METROPOLITANA DE CAMPINAS

André Dibbern Brunelli ¹
Ricardo Antônio Fernandes ²
Henrique Di Domenico Ziero ³
Míriam Tvrzská de Gouvêa ⁴
Tânia Forster Carneiro ⁵
Maria Thereza de Moraes Gomes Rosa ⁶

Educação Ambiental

Resumo

Em 2019, se iniciou na cidade chinesa de Wuhan, a pandemia do novo Coronavírus, conhecida como COVID-19. De fácil disseminação entre as pessoas, a doença rapidamente se espalhou pelo mundo. E como forma de frear a disseminação do vírus nas sociedades, os governos dos países adotaram a medida do isolamento social, conhecido com *lockdown* e isto não foi diferente na Região Metropolitana de Campinas. Este trabalho teve como principal objetivo verificar e analisar a influência da pandemia na emissão dos gases CO, O₃, NO_x e SO₂ por meio de dois tipos de análise, a primeira foi calculando o valor T *student* para amostras não pareadas e a segunda análise foi a comparação das médias das concentrações, percentualmente. Ambas utilizaram os valores das concentrações mensais durante os meses de março a maio dos anos de 2017 a 2020. Os dados de 2017 a 2019 foram considerados como dados históricos com o intuito de comparação com os valores do ano de 2020. Do ponto de vista estatístico, não se pode afirmar que houve mudanças significativas nas emissões de gases poluentes. Porém, pela análise percentual, verificou-se variações com relação à comparação dos dados históricos e os dados de 2020. O CO apresentou uma diminuição de 24% nos meses em questão. Para o O₃, verificou-se um aumento de 8% nas emissões deste gás. Foi observado uma redução de 32% nas emissões dos gases NO_x entre março e maio. Para o SO₂, não houve mudanças, já que o resultado da variação se manteve em 0%.

Palavras-chave: Isolamento social; Gases poluentes; CO; O₃; Nox.

¹Graduado Engenharia de Produção, Universidade Presbiteriana Mackenzie, Centro de Ciência e Tecnologia, andredbrunelli@gmail.com.

²Prof. Dr. Universidade Presbiteriana Mackenzie, Centro de Ciência e Tecnologia, ricardo.fernandes@mackenzie.br

³Aluno de doutorado em engenharia de alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Departamento Engenharia de Alimentos, h229267@dac.unicamp.br

⁴Profa. Dra. Universidade Presbiteriana Mackenzie, Escola de Engenharia, miriam.gouvea@mackenzie.br

⁵Prof. Dr. Tânia Forster Carneiro da Universidade Estadual de Campinas – Departamento Engenharia de Alimentos, taniafc@unicamp.br

⁶Profa. Dra. Universidade Presbiteriana Mackenzie, Centro de Ciência e Tecnologia, maria.rosa@mackenzie.br

INTRODUÇÃO

Em dezembro de 2019, teve início uma epidemia causada pelo coronavírus SARS-CoV-2, em Wuhan, na província de Hubei, na China. A expansão deste vírus ocorreu de forma rápida e descontrolada, levando assim a Organização Mundial de Saúde a decretar uma Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional. Já em 30 de janeiro de 2020, a doença foi classificada como uma epidemia e em 11 de março de 2020, como uma pandemia (Aquino *et al.*, 2020).

Medidas de saúde públicas não farmacológicas historicamente consagradas para o controle de epidemias foram tomadas, sendo a principal delas, o isolamento social. Esta medida consiste em uma forte recomendação governamental para que as pessoas saiam o mínimo possível de suas casas, com isso, reduziu-se fortemente a aglomeração de pessoas em ambientes públicos.

Como consequência deste isolamento, houve uma redução da circulação de veículos nas cidades, que afetou a qualidade do ar. No período de isolamento social, empresas reduziram ou paralisaram suas atividades, fazendo com que a poluição emitida, também fosse reduzida (Gama *et al.*, 2021). Devido ao isolamento imposto pelos governos dos países, observou-se uma modificação na qualidade do ar nas grandes concentrações urbanas durante o período de quarentena e este trabalho analisa o impacto na qualidade do ar entre os anos de 2017 e 2020 na Região Metropolitana de Campinas.

METODOLOGIA

Esta pesquisa tem como base uma análise descritiva e quantitativa de dados. Neste estudo caracterizou-se a qualidade do ar, a partir das análises de determinados gases poluentes emitidos na região metropolitana de Campinas, no estado de São Paulo. Os dados foram retirados de um site da CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) denominada Qualar (QUALAR, 2021). Após o devido cadastramento, obteve-se acesso aos relatórios mensais por poluente atmosférico. Nestes relatórios são fornecidas as concentrações mensais dos principais poluentes atmosféricos. É possível também,

Realização

Apoio

selecionar a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) de interesse. Para esta pesquisa, os dados foram da região de Piracicaba/Capivari/Jundiaí, que engloba a Região Metropolitana de Campinas.

A Região Metropolitana de Campinas (RMC) é constituída de 20 municípios. Como no município de Campinas há uma maior emissão de gases poluentes, foram selecionadas as seguintes estações de monitoramento: (a) Campinas – Taquaral, (b) Campinas – Centro, além da estação localizada no município de (c) Paulínia. Os dados coletados são referentes às concentrações mensais dos gases nos anos de 2017 a 2020.

Calculou-se a média aritmética dos dados relativos aos meses de março a maio dos anos de 2017 a 2019. Estas médias foram consideradas como dados históricos para cada gás e foram comparadas com as concentrações dos mesmos meses de março a maio de 2020, período em que o *lockdown* foi maior tanto na região de Campinas, quanto no Brasil. Aplicou-se o teste T *student* para amostras independentes (não pareadas), a fim de verificar se, estatisticamente, as concentrações do ano de 2020 e os dados considerados como históricos, sofreram mudanças com a diminuição da atividade industrial e a circulação de pessoas.

Após a análise estatística, foram calculadas as médias aritméticas das concentrações mensais e os respectivos desvios padrões, com base nos dados dos anos inteiros, i.e, não apenas de março a maio, mas de janeiro a dezembro de 2017 a 2020, uma vez que se observaram variações significativas das concentrações em alguns meses.

Finalmente, utilizou-se uma abordagem estatística de séries temporais para as observações, ou seja, considerando os dados como uma série de observações feitas sequencialmente ao longo do tempo.

De acordo com Morettin e Tolói (2018) um modelo clássico para séries temporais supõe que a série temporal Z_t , com $t=1, \dots, N$ pode ser escrita como a soma de três componentes, sendo uma tendência, um componente sazonal e um termo aleatório:

$$Z_t = T_t + S_t + a_t, \quad t=1, \dots, N$$

Utilizando esta abordagem, gráficos foram feitos com a utilização do programa R para observar a decomposição das séries de dados dos quatro gases separadamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise T-student

Na Tabela 1 são apresentadas as médias das concentrações mensais dos meses de março a maio dos anos de 2017 a 2019, também são apresentadas as concentrações para os mesmos meses de 2020.

Tabela 1: Concentrações dos gases poluentes, média e variação.

Gás	Histórico			2020			Histórico	2020	Variação	T student calculado	T student tabelado
	Março	Abril	Maió	Março	Abril	Maió	Média				
CO (ppm)	0,67	0,63	0,67	0,60	0,40	0,50	0,66	0,50	-24%	2,65	2,77
SO ₂ (µg/m ³)	3,67	4,00	4,33	4,00	3,00	5,00	4,00	4,00	0%	0,00	2,77
NO _x (ppb)	6,33	8,33	14,67	4,00	5,00	11,00	9,78	6,67	-32%	0,93	2,77
O ₃ (µg/m ³)	48,33	46,33	38,67	51,00	54,00	39,00	44,44	48,00	8%	-0,65	2,77

Monóxido de carbono

Na Figura 1 observam-se as concentrações mensais do CO (ppm) nos anos de 2017 a 2020.

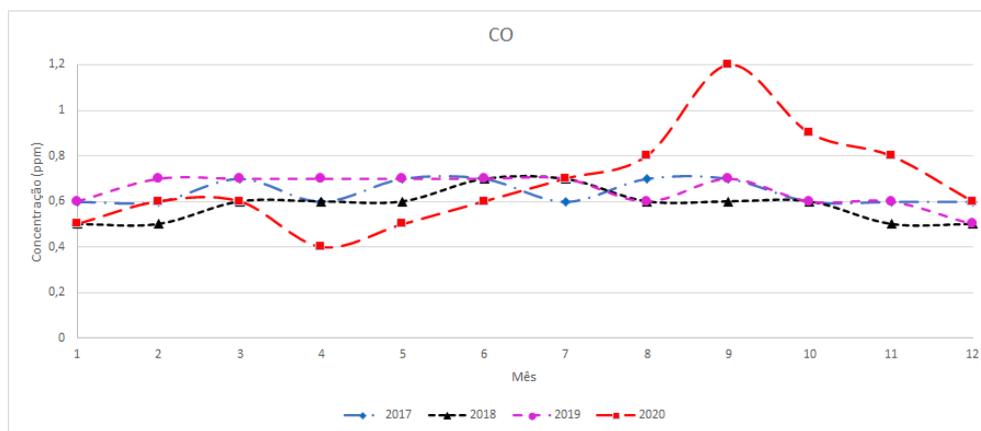


Figura 1: Concentrações mensais de CO de 2017 a 2020.

Os valores das médias com seus desvios padrão de emissão de CO nos anos de 2017 a 2020 foram, respectivamente, $0,64 \pm 0,05$; $0,58 \pm 0,07$; $0,65 \pm 0,07$ e $0,7 \pm 0,2$. Estes valores são muito próximos entre si. No entanto, é nítido o aumento no desvio padrão no ano de 2020 que foi aproximadamente 3 a 4 vezes maior se comparado aos anos

anteriores, indicando uma maior variação em alguns meses de 2020, como nitidamente observado no gráfico da Figura 1 entre os meses de agosto e novembro. Segundo os autores Zhang *et al.* (2021), houve uma diminuição significativa da emissão do monóxido de carbono de aproximadamente 1 para 0,1 mg/m³, no mesmo período na província de Hubei, onde está localizada a cidade de Wuhan, epicentro da pandemia. Esta redução, também relatada por Bao e Zhang A. (2020), 4,58% de redução nas emissões de CO em 44 cidades localizadas no norte da China. Stratoulia e Nuthammachot (Stratoulia & Nuthammachot, 2020) relataram que o monóxido de carbono, atingiu no mês de abril, sua menor concentração da última década, cerca de 0,125 ppm, este estudo foi realizado na Tailândia.

Na Região de Campinas, a análise de comparação da emissão do gás nos meses de março a maio de 2020 mostrou uma diminuição de 24% em relação ao período histórico (Tab. 1). Neste período, se iniciou o *lockdown* estabelecido em todo o Estado de São Paulo pelo Decreto nº 64.881 do dia 22 de março de 2020 publicado no Diário Oficial do Estado de São Paulo. Este decreto suspendeu o atendimento presencial ao público em estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, especialmente em casas noturnas, *shopping centers*, galerias e estabelecimentos congêneres, academias e centros de ginástica, ressalvadas as atividades internas e o consumo local em bares, restaurantes, padarias e supermercados, sem prejuízo dos serviços de entrega e *drive thru* (Diário Oficial do Estado de São Paulo, 2020) e, portanto, com essas medidas estabelecidas, houve uma forte redução na circulação de veículos automotores, principal fonte de emissão do CO.

Os resultados mostraram que houve um aumento da concentração do CO a partir do mês agosto de 2020, com pico no mês de setembro de 1,2 ppm. Se for considerada a média histórica para o mês de setembro dos anos de 2017 a 2019, houve um aumento de 80% das emissões do CO. Embora, possa ter contribuído para este aumento a permissão dada pelo governo do Estado de retomada das atividades, uma vez que a região já estava na fase amarela do Plano São Paulo, a causa mais provável é o efeito do desmatamento, que em 2020 foi registrado o maior número da história de queimadas na Amazônia até então registrada. A taxa de ocupação dos leitos de hospitais, chegou a um dos seus

Realização

Apoio

menores níveis desde o início da pandemia, cerca de 55% de ocupação (Plano São Paulo, 2020).

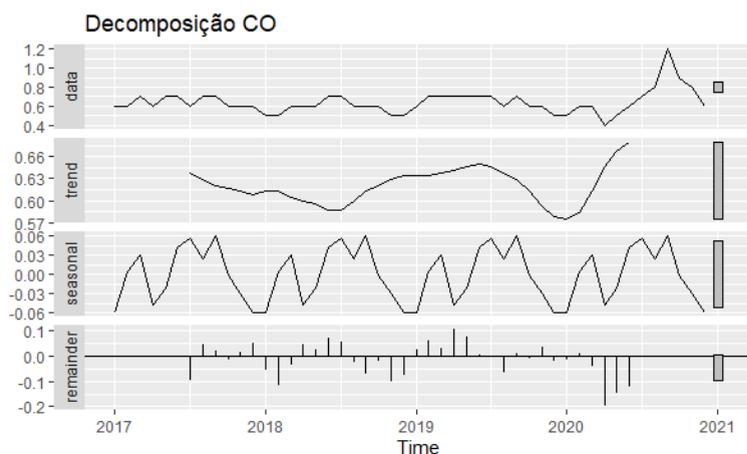


Figura 2 – Decomposição utilizando o modelo aditivo para a concentração de Monóxido de Carbono

A análise do gráfico da Figura 2 sugere que não houve alteração na sazonalidade da concentração de CO no período estudado. Observa-se, como já indicava a análise anterior, um aumento na tendência da concentração no ano de 2020.

Ozônio

Na Figura 3 são apresentadas as concentrações mensais do O₃ (µg/m³) nos anos de 2017 a 2020.

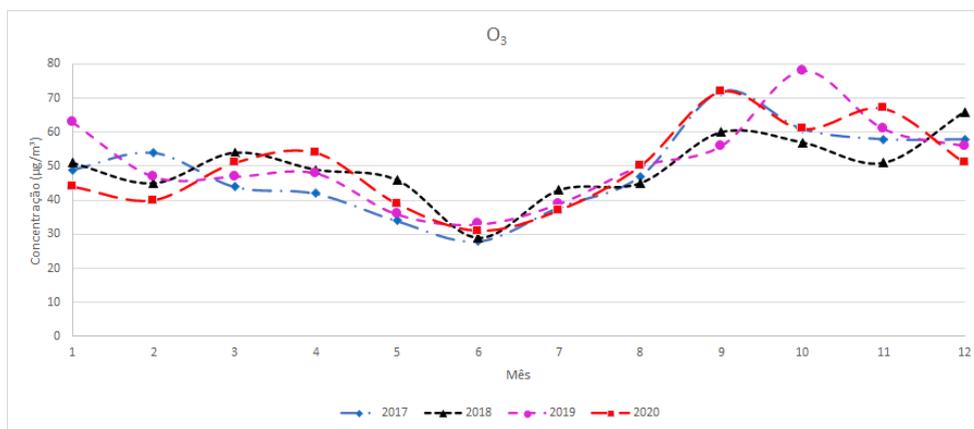


Figura 3: Concentrações mensais de O₃ de 2017 a 2020.

As médias e seus desvios padrão das concentrações do gás de ozônio de 2017 a

2020 são, respectivamente, 50 ± 10 ; 50 ± 9 ; 50 ± 10 e 50 ± 10 . Observar-se que os valores são muito próximos entre si. No entanto, como pode ser visto na Tabela 1, se for observado apenas o período em que as medidas restritivas foram seguidas com mais rigor, de março a maio, houve um aumento de 8% nas emissões do O_3 .

Conclui-se, portanto, que não houve redução na emissão do ozônio durante o período em que se adotou a quarentena e sim um aumento em 8% se comparado às concentrações dos anos anteriores a 2020, reforçando os resultados atingidos com a análise estatística feita no presente estudo. Este aumento na concentração do gás ozônio verificado neste trabalho, também foi observado pelos autores Zhang *et al.* (2021), nos meses de março a maio, na China. Os autores deste estudo atribuíram o aumento de O_3 à redução da emissão de NO_x devido à redução na circulação de veículos de transporte.

A análise de emissão de ozônio ao longo dos anos em estudo neste presente trabalho, mostrou a mesma tendência para todos os anos, uma redução no mês de junho, na estação do inverno. Este comportamento do gás também foi relatado por Alvim (2013) na região metropolitana de São Paulo entre os anos de 2000 e 2011. Em geral o ozônio atinge seus níveis máximos de concentração nas estações mais quentes do ano, primavera e verão, nas quais há uma maior intensidade de radiação solar. Esta maior quantidade de radiação solar presente na atmosfera terrestre, favorece as reações fotoquímicas, e a formação de ozônio está fortemente ligada a este tipo de reação, já que um dos produtos destas reações é justamente o ozônio. E quando se tem menos radiação solar na atmosfera, a frequência destas reações diminui, fazendo com que a concentração do O_3 diminua também. Por isso que se observou o mesmo comportamento do gás nos meses em que a estação predominante é o inverno (Preto, 2005 e Alvim, 2013).

Realização

Apoio

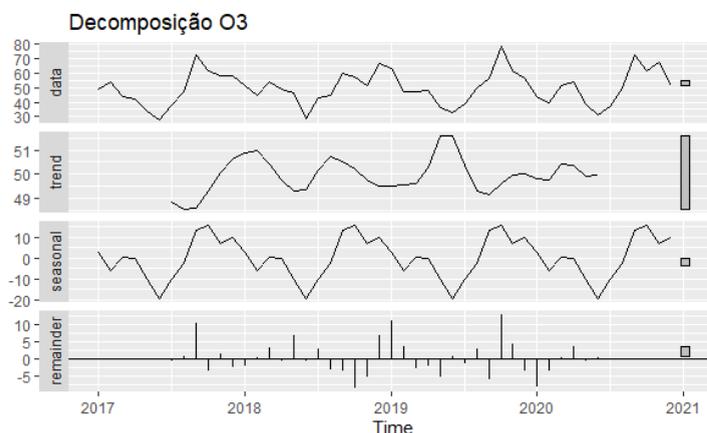


Figura 4 – Decomposição utilizando o modelo aditivo para a concentração de Ozônio

Figura 4 sugere que não houve alteração na sazonalidade e, como já indicava a análise anterior, uma tendência um pouco acima na concentração considerando os primeiros meses de 2020 em relação ao mesmo período dos anos anteriores.

Óxidos de nitrogênio

Na Figura 5 observa-se as concentrações mensais do NO_x (ppb) nos anos de 2017 a 2020.

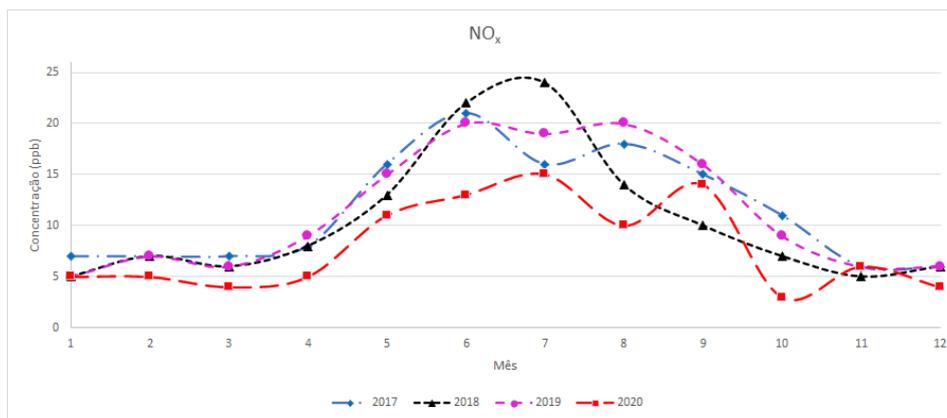


Figura 1: Concentrações mensais de NO_x de 2017 a 2020.

As médias com seus desvios padrão das concentrações de NO_x dos anos de 2017 a 2020 foram, respectivamente, de 12±5; 11±7; 12±6 e 8±4 para os anos em mesma ordem. Observando-se as médias e os desvios padrão, verifica-se que houve uma redução na emissão dos gases NO_x no ano em que a quarentena foi adotada pelo Governo, mesmo que estatisticamente, não tenha sido observada uma diferença tão nítida. Este

comportamento também foi verificado neste estudo, uma vez que a queda percentual dos gases NO_x foi de 32% (Tab. 1) durante os três meses iniciais da pandemia na região. Pode-se concluir que as medidas restritivas relacionadas à circulação de pessoas, já discutidas, foram responsáveis pela queda da circulação dos veículos automotores, uma das principais fontes de emissão dos óxidos de nitrogênio. A redução também foi observada por Gao *et al.* (2021), em estudo feito em 4 metrópoles localizadas na China, notou-se uma redução do NO_2 de aproximadamente 43%. Liu *et al.* (2021), fizeram um estudo sobre o comportamento dos principais gases poluentes durante os períodos de *lockdown* pelo mundo e salientaram no trabalho que o NO_2 apresentou maior taxa percentual de redução se comparados aos outros gases.

As concentrações mensais dos gases apresentadas na Figura 5 indicam em todos os anos, um aumento na emissão dos gases NO_x no inverno, como já discutido anteriormente, nesta estação há uma diminuição da intensidade de radiação solar na atmosfera, com conseqüente redução da formação de ozônio. Segundo Monte *et al.* (2017), uma das reações de formação do ozônio consiste na foto dissociação do dióxido de nitrogênio, produzindo o oxigênio atômico (O). E este reage com o oxigênio molecular (O_2), formando assim, o O_3 . Portanto, quando da diminuição da radiação solar, há um excesso de NO_2 na atmosfera ocasionando o aumento da concentração dos gases NO_x no ar.

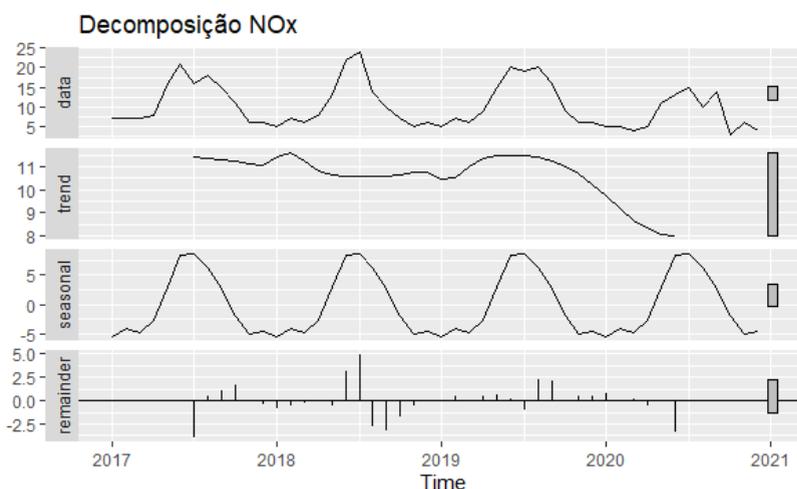


Figura 6 – Decomposição utilizando o modelo aditivo para a concentração de Óxido de Nitrogênio

Dióxido de enxofre

Na Figura 7 observam-se as concentrações mensais do SO₂ (µg/m³) nos anos de 2017 a 2020.

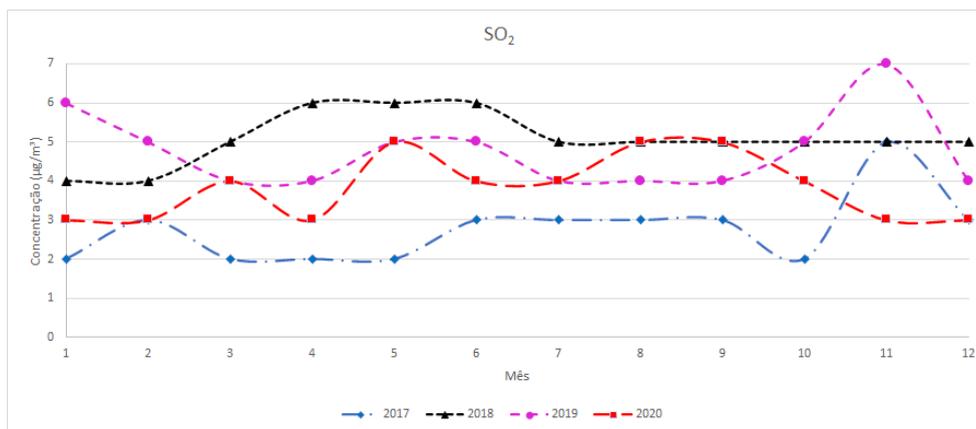


Figura 7: Concentrações mensais de SO₂ de 2017 a 2020.

As médias com seus desvios padrão das concentrações mensais de 2017 a 2020 são, respectivamente, $2,8 \pm 0,8$; $5,1 \pm 0,7$; 5 ± 1 e $3,8 \pm 0,8$. Pode-se verificar que a média anual de 2020 foi menor se comparados aos valores das médias anuais de 2018 e 2019. Porém, como foram considerados os valores médios de 2017 a 2019 como sendo os dados históricos, não houve mudança nas concentrações anuais em relação a 2020, como pode ser visto na Tabela 1. Este resultado é corroborado pela análise estatística *T student* realizada neste trabalho. Stratoulías e Nuthammachot (2020), em estudo feito na Tailândia, como já discutido neste texto, observaram um aumento na média da emissão de dióxido de enxofre entre a metade de março ao início de maio de, aproximadamente 5 ppb, porém após este intervalo, os valores abaixaram novamente.

As fontes primárias de emissão deste gás são: queima de óleo combustível, refinarias de petróleo, combustão de veículos movidos a óleo diesel e indústrias de fertilizantes e papel (Alvim, 2013). A manutenção dos mesmos níveis de emissão de dióxido de enxofre em 2020 pode ser explicada pelo fato de que as medidas restritivas adotadas na pandemia não afetaram significativamente estas fontes de emissão, uma vez que a atividade industrial, de transporte de cargas e produção de combustíveis eram essenciais para o funcionamento das atividades essenciais.

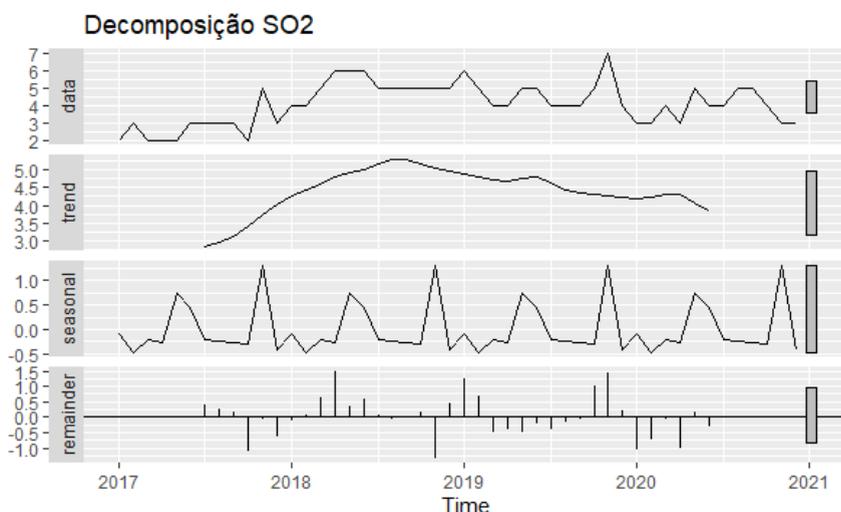


Figura 8 – Decomposição utilizando o modelo aditivo para a concentração de Dióxido de Enxofre

Como nos casos anteriores não houve alteração na sazonalidade. Observa-se também uma redução na tendência iniciando-se em 2019.

CONCLUSÕES

Conclui-se que, segundo a análise estatística de *T student* para amostras independentes (não pareadas), não houve diferença estatística entre as médias históricas de 2017 a 2019 e os valores do ano de 2020 para os gases CO, O₃, NO_x e SO₂ na cidade de Campinas. Após a análise das variações percentuais, verificaram-se alterações consideráveis das concentrações em alguns meses para determinados gases. As emissões do CO apresentaram uma diminuição de 24% nos primeiros meses da pandemia e depois, um aumento significativo nas emissões do gás no mês de setembro, cerca 80% considerando a média histórica, indicando não apenas uma possível retomada da circulação de veículos automotores após o período de *lockdown* mais rigoroso, mas principalmente, o efeito das fortes queimadas que ocorreram naquele ano. Para o O₃, verificou-se um aumento de 8% nas emissões deste gás durante os meses de março a maio. Foi observado uma redução de 32% nas emissões dos gases NO_x entre março e maio, também. Esta tendência não se manteve para o SO₂, já que não houve mudança entre as médias de emissão consideradas como histórica e os valores do ano de 2020.

REFERÊNCIAS

Alvim, D. S. (2013). *Estudo dos Principais Precursores de Ozônio na Região Metropolitana de São Paulo*. 161.

Aquino, E. M. L., Silveira, I. H., Pescarini, J. M., Aquino, R., & de Souza-Filho, J. A. (2020). Social distancing measures to control the COVID-19 pandemic: Potential impacts and challenges in Brazil. *Ciencia e Saude Coletiva*, 25, 2423–2446.

Bao, R., & Zhang, A. (2020). Does lockdown reduce air pollution? Evidence from 44 cities in northern China. *Science of the Total Environment*, 731(1954), 139052.

Diário Oficial de São Paulo, Governo do Estado de São Paulo, Disponível em: <DO.buscadireta (imprensaoficial.com.br)> Acesso em: 22 de outubro de 2021

Gama, C., Relvas, H., Lopes, M., & Monteiro, A. (2021). The impact of COVID-19 on air quality levels in Portugal: A way to assess traffic contribution. *Environmental Research*, 193(August 2020).

Gao, C., Li, S., Liu, M., Zhang, F., Achal, V., Tu, Y., Zhang, S., & Cai, C. (2021). Impact of the COVID-19 pandemic on air pollution in Chinese megacities from the perspective of traffic volume and meteorological factors. *Science of the Total Environment*, 773, 145545.

Liu, F., Wang, M., & Zheng, M. (2021). Effects of COVID-19 lockdown on global air quality and health. *Science of the Total Environment*, 755, 142533.

Monte, E. Z., Albuquerque, T. T. de A., & Reisen, V. A. (2017). Inter-relações entre as concentrações de ozônio e de dióxido de nitrogênio na região da Grande Vitória, Espírito Santo, Brasil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 22(4), 679–690.

Morettin, P.A., Tolo, C.M.C. *Análise de séries temporais: modelos lineares univariados*. Editora Blucher, 2018.

Plano São Paulo, Governo do Estado de São Paulo, Disponível em: < Apresentação do PowerPoint (saopaulo.sp.gov.br)> Acesso em: 22 de outubro de 2021

Preto, A. (2005). O ESTUDO DO COMPORTAMENTO DOS GASES-TRAÇO O₃, NO_x, CO, SO₂ E DE COV_s NA ATMOSFERA DA CIDADE DE SÃO PAULO. 1–140.

Qualar, CETESB, Disponível em: <Serviços - CETESB> Acesso m: 15 de setembro de 2021

Stratoulas, D., & Nuthammachot, N. (2020). Air quality development during the COVID-19 pandemic over a medium-sized urban area in Thailand. *Science of the Total Environment*, 746(2), 141320.

Zhang, X., Tang, M., Guo, F., Wei, F., Yu, Z., Gao, K., Jin, M., Wang, J., & Chen, K. (2021). Associations between air pollution and COVID-19 epidemic during quarantine period in China. *Environmental Pollution*, 268, 115897.

Realização

Apoio