



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

O IMPACTO DA PARALIZAÇÃO DOS CAMINHONEIROS NA QUALIDADE DO AR NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

Vinícius Rozante

Relatório de Iniciação Científica do
Programa PIBIC, orientado pelos
Drs. Ariane Frassoni e Enver Ra-
mirez

URL do documento original:

<<http://urlib.net/>>



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

O IMPACTO DA PARALIZAÇÃO DOS CAMINHONEIROS NA QUALIDADE DO AR NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

Vinícius Rozante

Relatório de Iniciação Científica do
Programa PIBIC, orientado pelos
Drs. Ariane Frassoni e Enver Ra-
mirez

URL do documento original:

<<http://urlib.net/>>

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

O IMPACTO DA PARALIZAÇÃO DOS CAMINHONEIROS
NA QUALIDADE DO AR NA REGIÃO METROPOLITANA DE
SÃO PAULO / Vinícius Rozante. – : , 2021.

p. ; ()

() – , , .

: .

CDU



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](#).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](#).

Informar aqui sobre marca registrada (a modificação desta linha deve ser feita no arquivo publicacao.tex).

RESUMO

No período compreendido entre 21 a 31 de maio de 2018, uma greve de caminhoneiros diminuiu, em grande escala, a atividade de veículos no Brasil. Neste trabalho foram avaliadas as concentrações dos poluentes eliminados destes veículos de modo que seja possível observar, de maneira mais realista possível, o perfil dos ciclos diurnos destes gases. Dentre os critérios avaliados estão a disponibilidade e qualidade de dados (ao menos 75% da série temporal dos períodos utilizados); utilização do solo: veicular rodoviária ou comercial e o tipo de área no qual a estação está localizada para sete diferentes microambientes na Megacidade de São Paulo. Os resultados foram avaliados por meio de ciclos diurnos comparando o ano de 2018 com uma média de 4 anos anteriores (2013, 2014, 2015 e 2017). Para os poluentes primários (NO), as concentrações foram diminuída drasticamente no ano de 2018 durante todas as horas do dia (indo quase à zero no período da tarde) e para os anos anteriores a greve, diferenças estatisticamente significativas foram observadas. Com relação aos demais poluentes (NO₂, MP₁₀ e MP_{2,5}), as concentrações não diminuíram quanto o esperado, sugerindo a relevância de reações secundárias e outras fontes (ex: incêndios). Os resultados obtidos ajudam a avaliar melhor o papel das emissões veiculares e fornecem subsídios para avaliar os impactos da interrupção das atividades (ex: durante bloqueios) sobre a qualidade do ar em ambientes metropolitanos.

Palavras-chave: Poluição do ar. Greve dos caminhoneiros. Região Metropolitana de São Paulo. Emissão veicular.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 Contagem média de tráfego (km) das principais avenidas de São Paulo, para o período de 21 a 31 de maio, comparando anos sem greve (2013–2017*) e com greve (2018), utilizando todos os horários disponíveis do dia	2
2.1 Área de estudo e localidades monitoradas. As estações de monitoramento dentro da região metropolitana de São Paulo foram escolhidas de acordo com os critérios pré-estabelecidos na seção. As regiões interioranas e litorais não serão consideradas neste artigo.	6
2.2 Total de precipitação, temperatura média do ar e umidade relativa para o período entre 20 e 31 de Maio em 2018 na RMSP.	7
3.1 Ciclos diurnos de NO durante o período da greve (azul) e período anterior à greve (preto). As barras verticais são os desvios padrões de cada horário.	9
3.2 Ciclos diurnos de NO ₂ durante o período da greve (azul) e período anterior à greve (preto). As barras verticais são os desvios padrões de cada horário.	11
3.3 Ciclos diurnos de MP _{2,5} durante o período de greve (azul) e período anterior à greve (preto). As barras verticais são os desvios padrões de cada horário.	13
3.4 Ciclos diurnos de MP ₁₀ durante o período de greve (azul) e período anterior à greve (preto). As barras verticais são os desvios padrões de cada horário.	13

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
3.1 Número de queimadas no estado de São Paulo no período de 21 a 31 de maio.	11
3.2 Comparativo entre a diminuição e aumento das concentrações dos poluentes com base no pico observado para o período com greve e sem greve. N/A significa que não houve nenhum aumento durante a greve.	14

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RMSP	–	Região Metropolitana de São Paulo
COVs	–	Compostos Orgânicos Voláteis
CO	–	Monóxido de Carbono
O ₃	–	Ozônio
NO _x	–	Oxidos de Nitrogênio
HCs	–	Hidrocarbonetos
MP	–	Material Particulado
CETESB	–	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
NO	–	Monóxido de Nitrogênio
NO ₂	–	Dióxido de Nitrogênio
RES	–	Residencial
U-BG1	–	Fundo Urbano 1
U-BG2	–	Fundo Urbano 2
REP	–	Residencial Periférico
RDS	–	Estrada
COM	–	Comercial
RMC	–	Residencial Classe Média
COVID-19	–	Corona Virus Disease - 19
CET	–	Companhia de Engenharia de Tráfego da Cidade de São Paulo

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
2 DADOS E METODOLOGIA	5
2.1 Dados de poluentes e regiões analisadas	5
2.2 Dados atmosféricos e análises	6
2.3 Análise dos dados de poluição do ar	7
3 RESULTADOS	9
3.1 Análise dos ciclos diurnos dos poluentes	9
4 CONCLUSÕES	15
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17

1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores setores que contribuem como uma importante fonte de emissão de poluentes atmosféricos e gases estufas é o de transportes. Segundo relatório da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2018), para Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), os veículos leves e pesados emitiram 97% do monóxido de carbono (CO), 70% dos óxidos de nitrogênio (NOx), 80% dos hidrocarbonetos (HCs), 40% de material particulado (MP) e 16% dos óxidos de enxofre (SOx). Além disso, a cidade de São Paulo foi classificada, em ranking mundial, como o 4º pior engarrafamento e com pessoas gastando, em média, duas horas durante seu deslocamento diário (COOKSON; PISHUE, 2017; LEIRIAO; MIRAGLIA, 2019). Os veículos pesados contribuem até 47% da emissão do carbono negro (BC) atmosférico e 40% de certos compostos orgânicos voláteis (COVs, como benzeno e tolueno) na cidade de São Paulo.

Por mais que o transporte público esteja presente na categoria de veículos pesados, a utilização destes produzem emissões per capita muito menores que aos veículos individuais (SIDER et al., 2015). Tal fato mostra que o ambiente urbano é altamente caracterizado por fluxos sinérgicos e isto traz a reflexão de uma urgente necessidade em entender como estas interações funcionam no ambiente urbano de modo a desenvolver políticas públicas visando um desenvolvimento das cidades de modo sustentável (MALIK et al., 2019).

No período compreendido entre os dias 21 e 31 de maio de 2018, o Brasil presenciou uma greve nacional de caminhoneiros. A classe exigiu redução do preço dos combustíveis e melhorias nas condições de trabalho. A mobilização social paralisou grande parte da frota de veículos pesados (HDV).

Historicamente, o Brasil investiu grande parte dos recursos no transporte rodoviário em detrimento do ferroviário, tal fato abriu brecha para situações de desabastecimento de combustíveis nos postos de gasolina, o que causou uma expressiva redução na atividade de veículos leves (LDV). A contagem do tráfego em São Paulo durante o período da greve foi reduzida a números tão baixos, não ultrapassando 2 km nos horários de pico durante o período de greve (mais detalhes são apresentados na Tabela 1). A frota de ônibus municipais também apresentou uma redução de quase 50%, e parte das universidades, escolas e outros serviços pararam suas atividades. Estudos anteriores apresentaram a correlação existente entre as mudanças na qualidade do ar e a atividade veicular, a qual demonstrou diferentes impactos nas concentrações de poluentes.

Figura 1.1 - Contagem média de tráfego (km) das principais avenidas de São Paulo, para o período de 21 a 31 de maio, comparando anos sem greve (2013–2017*) e com greve (2018), utilizando todos os horários disponíveis do dia

Contagem total veicular (km)		
Avenida	Período	
	2013-2017	2018
Radial Leste	1975	1230
Washington Luis	2065	1415
Marginal Pinheiros	3528	2795
Marginal Tietê	4615	2670

Fonte: Companhia de Engenharia de Tráfego da Cidade de São Paulo (CET).

Segundo (SHARMA et al., 2010), a greve dos caminhoneiros ocorrida na Índia apresentou uma diminuição de cerca de 50% no monóxido de carbono (CO), material particulado e ozônio (O3). Na Europa, mais especificamente na Itália e na Espanha, as greves de transporte público levaram a um maior uso de veículos particulares, o que ocasionou um aumento nas concentrações de alguns poluentes, tais como monóxido de carbono e hidrocarbonetos, mas para os materiais particulados (MP) os resultados foram mais complexos devido a outras fontes (MEINARDI et al., 2008; BASAGAÑA et al., 2018). Quando analisado um feriado nacional em Israel, foi observada uma diminuição de, pelo menos, 80% nas concentrações de monóxido de nitrogênio (NO) em diferentes locais, em contra ponto ao ozônio, que aumentou cerca de 8 ppbv no centro urbano durante o dia e aumentou 20-30 ppbv durante a noite (LEVY, 2013).

É evidente que as mudanças na emissão de poluentes, como na greve dos caminhoneiros, provavelmente apresentarão diferentes interações espaciais nas concentrações de poluentes quando analisado individualmente a diversos microambientes urbanos nas megacidades, também revelando percepções sobre a exposição da população (LEVY et al., 2014). Tais resultados desmontam uma forte relação entre as diferentes dinâmicas sociais, padrões de emissão, necessitando de um estudo minucioso para entender essas relações. A greve dos caminhoneiros tornou o Brasil um ambiente propício ao estudo da dinâmica atmosférica no que diz respeito às emissões dos poluentes.

Um recente estudo avaliou a dinâmica dos poluentes NOx, MP10 e O3 no centro de São Paulo avaliando uma vertente direcionada à saúde da população em quatro localidades diferentes no centro da cidade (LEIRIAO et al., 2020). Neste trabalho, será oferecida uma abordagem diferente, na qual serão analisadas as concentrações

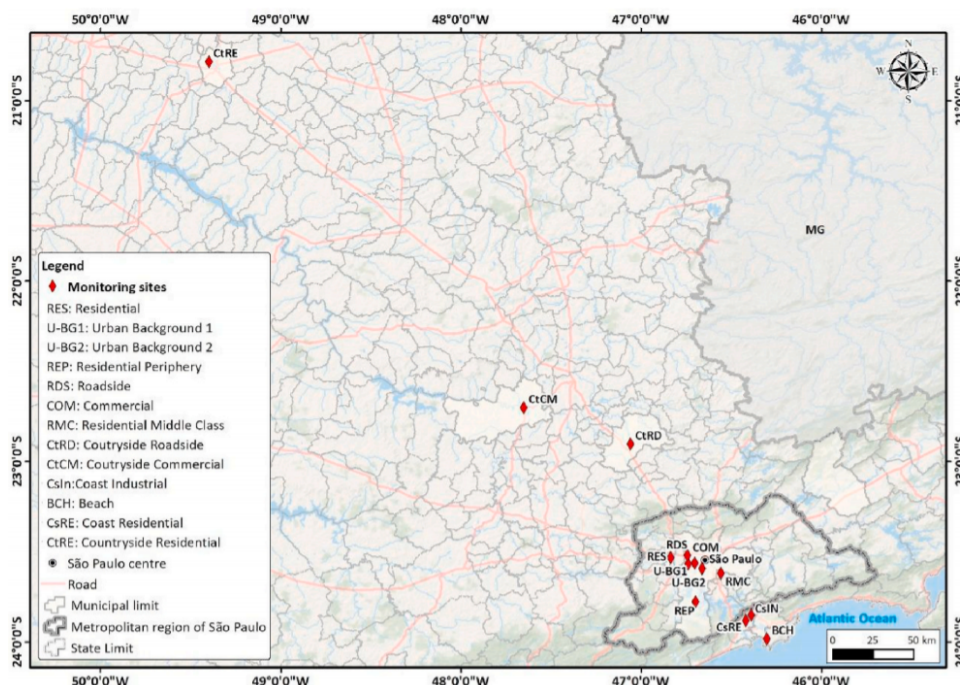
de NO, NO₂ , MP₁₀ , MP_{2,5} (CO e O₃ já foram analisadas anteriormente) em sete estações de monitoramento terrestre a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), as quais representam microambientes do centro e urbano durante o período da greve dos caminhoneiros em 2018. A análise foi realizada por meio de ciclos diurnos do período da greve em comparação com uma média do mesmo período dos quatro anos anteriores (com exceção de 2016) quando não houve greve.

2 DADOS E METODOLOGIA

2.1 Dados de poluentes e regiões analisadas

Como o foco do estudo está no período referente à greve dos caminhoneiros, as informações necessárias sobre os gases estudados (NO, NO₂, PM₁₀, PM_{2,5}) foram coletadas no banco de dados online da CETESB para o período de 21 a 31 de maio de 2018 e para o mesmo período nos quatro anos anteriores (2013-2017). Foram determinadas sete localidades de monitoramento seguindo aos seguintes critérios: disponibilidade e qualidade de dados (ao menos 75% da série temporal dos períodos utilizados); utilização do solo: veicular rodoviária ou comercial e o tipo de área na qual a estação está localizada (residencial e urbano). As localidades são apresentadas na Figura 1 na qual representam RES (Residencial), U-BG1 (Fundo Urbano 1), U-BG2 (Fundo Urbano 2), REP (Residencial periférico), RDS (Estrada), COM (Comercial) e RMC (Residencial Classe Média), enquanto que as demais áreas são interioranas e litorâneas e não serão utilizadas no estudo. Estes critérios são importantes devido à maior veracidade dos dados coletados de modo a garantir que os impactos da greve de caminhões fossem de fato observados em toda a megacidade analisada para em diferentes microambientes urbanos.

Figura 2.1 - Área de estudo e localidades monitoradas. As estações de monitoramento dentro da região metropolitana de São Paulo foram escolhidas de acordo com os critérios pré-estabelecidos na seção. As regiões interioranas e litorais não serão consideradas neste artigo.



Fonte: Produção do autor.

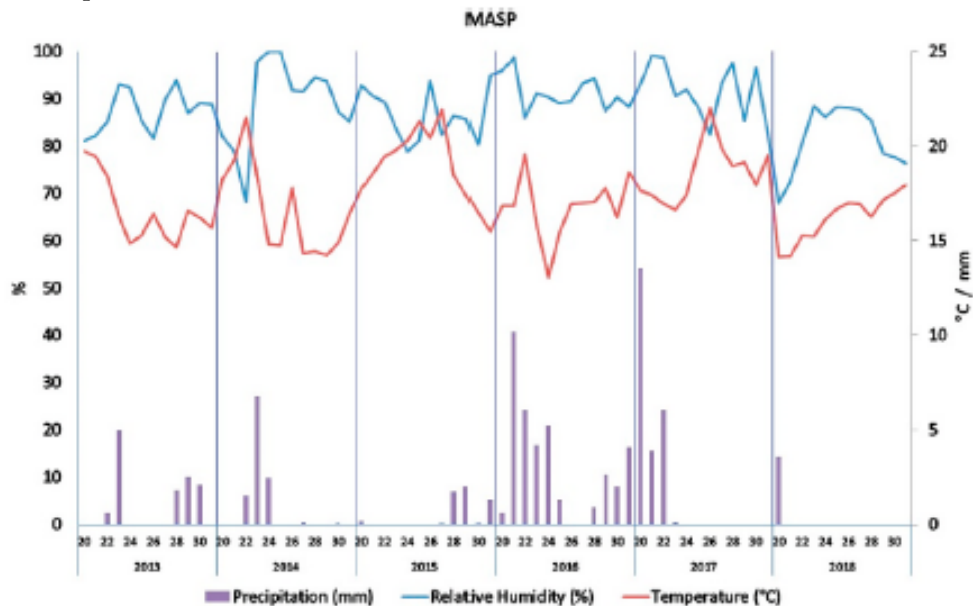
2.2 Dados atmosféricos e análises

Como a atmosfera é um grande laboratório, não é possível mensurar o perfil do impacto dos poluentes sem levar em conta os fatores atmosféricos, tais como precipitação, temperatura e vento, para tal foram utilizados dados do Centro de Gerenciamento de Emergências da cidade de São Paulo.

Na cidade de São Paulo, observaram que as concentrações de poluentes aumentavam quando condições de alta pressão prevaleciam na região, como o Anticiclone do Atlântico ou sistemas extratropicais de alta pressão seguindo frentes frias. Tais sistemas causam um aumento da pressão do ar e gera uma área de estabilidade, condições desfavoráveis para a dispersão de poluentes. Por outro lado, quando prevaleciam as condições de massa de ar caracterizada pela frente fria, baixa pressão e maior instabilidade atmosférica, ocorre uma maior turbulência dos ventos, o que causa uma maior dispersão dos poluentes e associam-se menores concentrações de poluentes (SáNCHEZ-CCOYLLO; ANDRADE, 2002).

Para avaliar adequadamente o impacto da greve do caminhoneiro sobre as concentrações de poluentes, os períodos analisados devem ter condições atmosféricas comparáveis, para que o papel das mudanças nas emissões possa ser mais bem desvinculado das condições atmosféricas. Com isso, o ano de 2016, que apresentava condições atmosféricas distintas, foi retirado dos demais procedimentos deste estudo (devido ao alto índice de precipitação, como apresentado a Figura 2). Portanto, o período de análise pré-greve será referido por 2013 - 2017 * como as médias de 2013, 2014, 2015 e 2017 (excluindo o ano de 2016).

Figura 2.2 - Total de precipitação, temperatura média do ar e umidade relativa para o período entre 20 e 31 de Maio em 2018 na RMSP.



Fonte: Produção do autor.

2.3 Análise dos dados de poluição do ar

Para a análise da evolução horária dos poluentes, foram calculados ciclos diurnos, computando uma média para cada hora do dia no período analisado. O cálculo a seguir foi realizado para cada poluente, a cada hora do dia, resultando em um gráfico de média de 24 horas para cada poluente em todos os locais de monitoramento.

$$\bar{x}_i = \frac{(x_{i,j_1} + x_{i,j_2} + \dots + x_{i,j_n})}{n} \quad (2.1)$$

Na qual \bar{x}_i = média do poluente x na hora i, para cada dia j por um número n de dias.

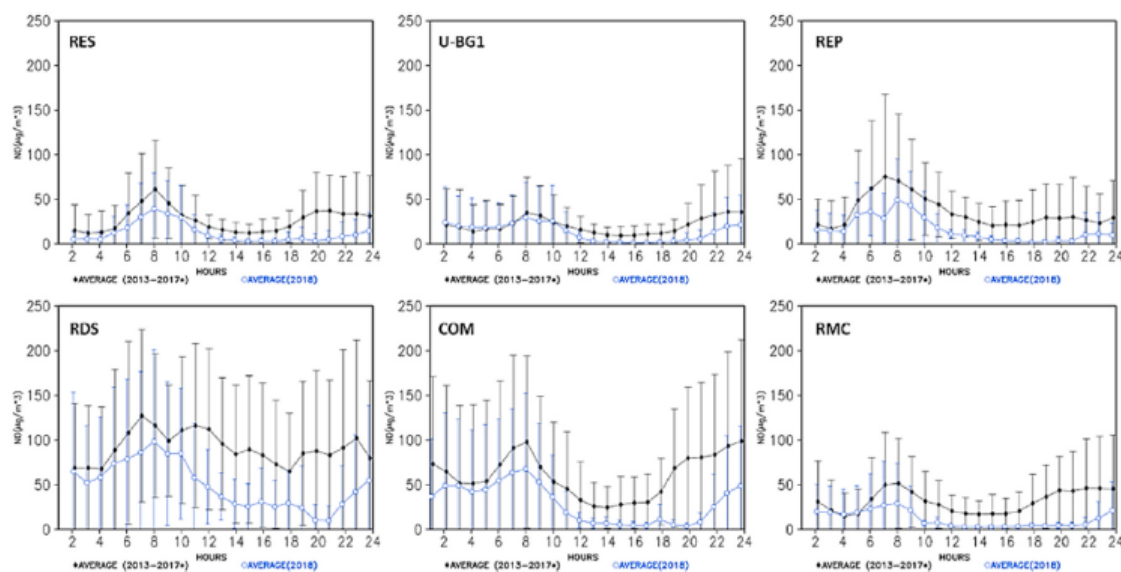
Foram comparados os ciclos diurnos de 2018 com os ciclos diurnos para a média de 2013-2017* para todos os poluentes de modo a para melhor caracterizar uma média de um período sem greve, como foi feito em trabalhos anteriores (SILVA et al., 2012). A utilização dos ciclos diurnos é importante pois facilita a identificação do impacto da hora específica do dia nas emissões veiculares sobre os poluentes atmosféricos (MAYER, 1999).

3 RESULTADOS

3.1 Análise dos ciclos diurnos dos poluentes

Um poluente primário é definido como um composto enviado diretamente ao ambiente gerando, posteriormente, os poluentes secundários com base nas reações na atmosfera. O NO é considerado um poluente primário, emitido principalmente por veículos pesados e muito mais reativo do que o CO na atmosfera. A Figura 3 apresenta o ciclo diurno deste composto e é possível observar que as concentrações de NO apresentam dois picos associados ao tráfego urbano, sendo que o mais alto ocorre nas horas da manhã (Figura 3). Dentre as localidades estudadas, as concentrações também são mais altas nas medições realizadas na estrada (RDS) e comercial (COM); seguido pelas áreas residenciais classe média e periférica (RES, RMC, REP). Naturalmente, os impactos de emissão dos veículos pesados são mais intensos no local de medição na estrada (às 20 h, a concentração média caiu de 90 para 10 g.m-3). Nas áreas residenciais (RES) e nas estações urbanas de fundo (U-BG1, U-BG2), os impactos da greve são menos evidentes, embora diminuições também tenham sido observadas, chegando a quase zero durante a tarde (uma hipótese talvez seja que a maior parte do NO foi convertido em NO2 nas manhãs).

Figura 3.1 - Ciclos diurnos de NO durante o período da greve (azul) e período anterior à greve (preto). As barras verticais são os desvios padrões de cada horário.



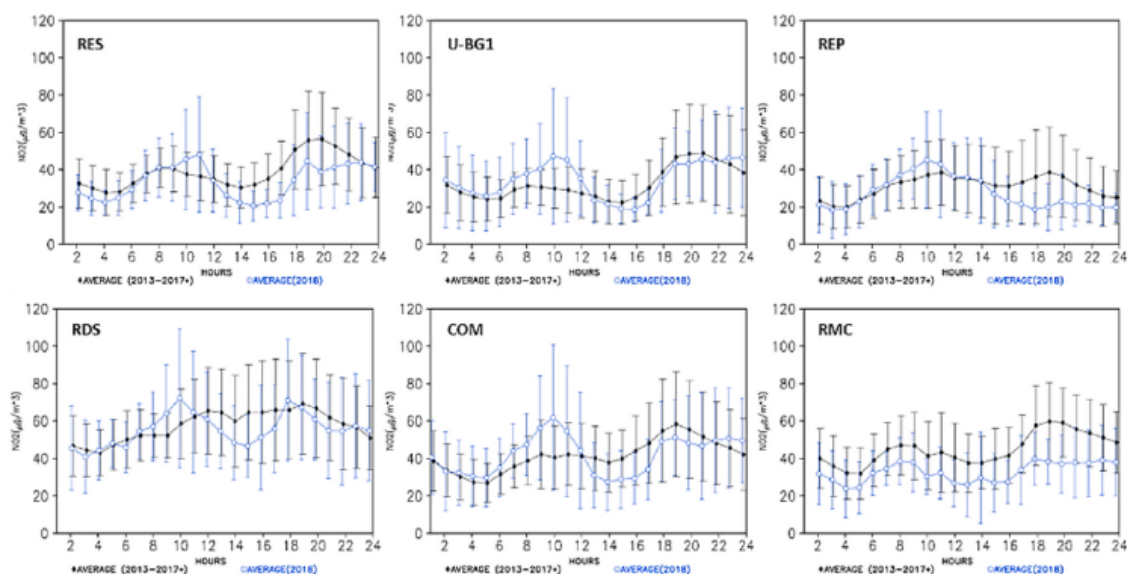
Fonte: Produção do autor.

Diferentemente ao apresentado na Figura 3, os ciclos diurnos do NO₂ mostram que a diminuição do gás em 2018 não foi proporcional entre as horas do dia (Figura 4). Durante a manhã, as concentrações de NO₂, em 2018, realmente aumentaram na maioria dos locais observados. Durante 2013–2017*, as concentrações permaneceram altas na estação RDS durante a maior parte do dia devido à influência contínua da emissão por parte dos veículos pesados. Na região periférica este fenômeno também pode ser observado (embora em menor grau), provavelmente devido à influência do Rodoanel (um anel rodoviário no entorno de São Paulo desenvolvido com a finalidade de diminuir o tráfego de caminhões dentro do centro urbano), localizado a aproximadamente 500 m ao sul. Nos demais locais, a influência veicular é percebida de forma semelhante ao NO, com picos de horários de pico pela manhã e à noite, e menores concentrações durante o dia.

A diminuição na concentração de NO₂ apresentada no período após o meio-dia está possivelmente ligada a decomposição do gás a partir da fotólise, devido a alta disponibilidade de luz solar em 2018, a maior parte do NO₂ foi convertida em NO + O. Uma exceção foi observada na localidade residencial de classe média (RMC), onde o NO₂ permaneceu menor em 2018 durante todo o dia e apresentou a maior redução, de 62 para 35 g.m³. Como apresentado na Figura 1, outro argumento para explicar este perfil do poluente na RMC é devido à sua posição mais próxima ao litoral em comparação com os outros locais, este fator pode levar ao favorecimento o transporte e a dispersão de poluentes pela brisa do mar (BISCHOFF-GAUß et al., 1998; CHIQUETTO et al., 2018).

De qualquer forma, dentre as hipóteses para o aumento matinal de NO₂ durante o ano de 2018, na maioria dos locais, pode estar relacionado às condições atmosféricas mais favoráveis para maior concentração dos poluentes neste ano ou à importância de outras fontes de emissão, como incêndios. O NO₂ e o material particulado (como será visto a frente) experimentaram aumentos inesperados em 2018 que, segundo a Tabela 2, podem estar relacionados ao aumento do número de incêndios no interior do estado de São Paulo. Geralmente o NO₂ costuma permanecer apenas um dia na atmosfera antes de ser removido, portanto, há um tempo limitado para o transporte atmosférico em comparação com o material particulado. No geral, os impactos da greve dos caminhoneiros na concentração de NO₂ são mais complexos do que os poluentes inteiramente primários, conforme mostrado por estudos recentes que investigaram mudanças na emissão de poluentes durante o bloqueio devido à pandemia COVID-19 (NAKADA; URBAN, 2020; KANNIAH et al., 2020; MUHAMMAD et al., 2020).

Figura 3.2 - Ciclos diurnos de NO₂ durante o período da grava (azul) e período anterior à greve (preto). As barras verticais são os desvios padrões de cada horário.



Fonte: Produção do autor.

Tabela 3.1 - Número de queimadas no estado de São Paulo no período de 21 a 31 de maio.

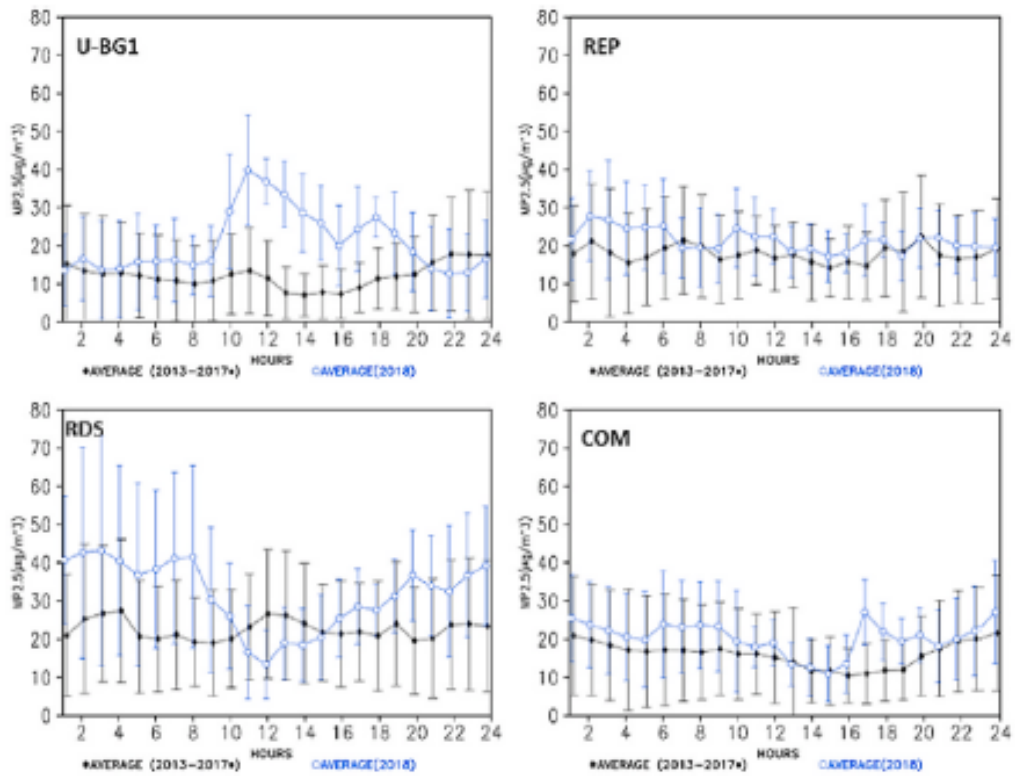
Ano	Número de incêndios
2013	580
2014	690
2015	495
2016	270
2017	230
2018	1675

Para o material particulado (MP), nenhum impacto discernível da greve pode ser observado nos ciclos diurnos (Figura 5 e Figura 6). As concentrações durante o período de greve mantiveram-se em níveis semelhantes aos dos anos anteriores. Na medição em estrada (RDS), houve uma diminuição acentuada em MP_{2,5} no horário compreendido entre 8h e 12h, mas permanecendo muito maior durante a noite do que na média dos anos anteriores (Figura 5). Na Figura 6, um comportamento se-

melhante é observado para o MP10 na localidade RDS e para MP2,5 na localidade comercial. Como estes são os locais com a influência mais direta de emissões veiculares, desenvolveu-se a hipótese na qual tais reduções poderiam estar associadas à greve de caminhões, particularmente ao poluente MP2,5, que está mais fortemente ligado à combustão dos combustíveis fósseis.

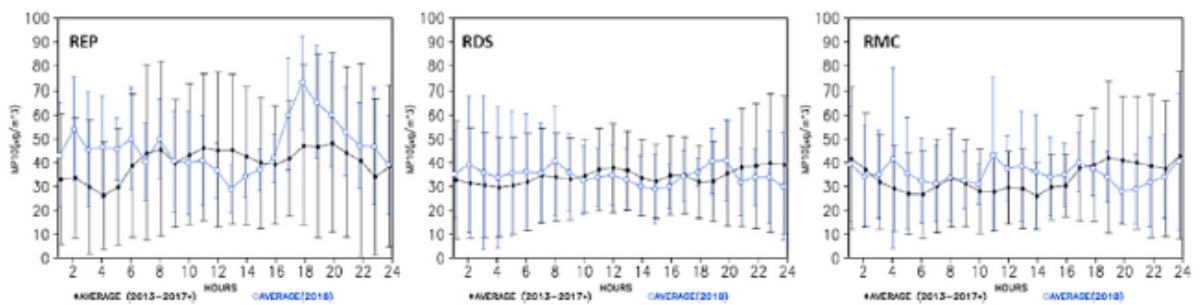
Por outro lado, um aumento acentuado é observado na localidade de fundo urbano 2 (U-BG2) durante o mesmo período do dia. Nos demais sites, nenhuma tendência visualmente perceptível é percebida. Como parte deste trabalho, procurou-se estudar o comportamento dos materiais particulados já que este tem uma gama ampla de fontes liberadoras à atmosfera além de veículos, tais como atividade industrial, queima de biomassa, suspensão de material do solo e sal marinho. Para a RMSP, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) estima as seguintes contribuições para emissão de material particulado: veículos 40%, atividade industrial 10%, 25% suspensão do solo e 25% formação de particulado secundário (CETESB, 2018). Como apresentado nas Figuras 5 e 6, a ausência de veículos não pareceu impactar muito as concentrações durante o período de greve, o que destaca a importância das demais fontes emissoras de material particulado.

Figura 3.3 - Ciclos diurnos de MP2,5 durante o período de greve (azul) e período anterior à greve (preto). As barras verticais são os desvios padrões de cada horário.



Fonte: Fonte: Produção do autor.

Figura 3.4 - Ciclos diurnos de MP10 durante o período de greve(azul) e período anterior à greve (preto). As barras verticais são os desvios padrões de cada horário.



Fonte: Fonte: Produção do autor.

Tabela 3.2 - Comparativo entre a diminuição e aumento das concentrações dos poluentes com base no pico observado para o período com greve e sem greve. N/A significa que não houve nenhum aumento durante a greve.

Poluente	Pico de diminuição	Estação	Pico de aumento	Estação
MP2,5 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	-33%	COM	10%	U-BG1
MP10 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	-39%	REP	41%	RES
NO ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	-47%	COM	N/A	N/A
NO2 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	-7%	RMC	31%	COM

De modo a complementar a análise do aumento dos materiais particulados, mesmo com a massiva redução na fora veicular devido ao período da greve, foi observado que o período estudado coincide com a temporada de queima da cana-de-açúcar no interior do estado de São Paulo, na qual costuma ocorrer um grande número de queimadas (PARAISO; GOUVEIA, 2018). Como apresentado pela Tabela 2, o estado de São Paulo presenciou um grande número de incêndios no ano da greve em comparação aos anos anteriores analisados no mesmo período (2013-2017*), o que pode estar associado às altas concentrações de material particulado apesar da redução das emissões veiculares, que é de fato observado nas estações de monitoramento do campo. A partir desse conjunto de resultados, fica claro que a greve de caminhões impactou poluentes atmosféricos primários e secundários de maneiras diferentes nos diversos microambientes propostos para análise. De acordo com a Tabela 3, uma diminuição foi observada para todos os poluentes monitorados durante a greve, particularmente para o NO (-47%). NO2 apresentou as menores reduções. De maneira como foi observado em análises anteriores, a concentração de NO não aumentou durante a greve, mas os matérias particulados e NO2 mostraram aumentos durante o período de greve, particularmente o MP10 (+ 41%), o que concorda com outros resultados apresentados até o presente momento.

4 CONCLUSÕES

Foram analisados os impactos de uma greve de caminhoneiros ocorrida no Brasil, no período em 2018 de 21 a 31 de maio, e o quão este evento impactou na poluição do ar na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Comparou-se os dados horários de NO, NO₂, MP₁₀, MP_{2,5} desse período com o mesmo período dos anos anteriores. Foi analisado, de forma breve, as condições atmosféricas (que levaram à exclusão do ano de 2016 da análise pré-greve) e foi desenvolvido ciclos diurnos para representar as diferenças. A paralisação dos caminhoneiros restringiu não apenas a circulação de caminhões, mas também de veículos leves (devido à escassez no fornecimento de combustível) e ônibus (a qual teve a frota reduzida em torno de 30-60%), então diferentes impactos foram observados sobre poluição do ar na RMSP.

Com relação aos poluentes primários (diretamente associados às emissões veiculares, tal como o NO), estes tiveram sua concentração diminuída drasticamente no ano de 2018 durante todas as horas do dia. Para este poluente, entre os anos antecedentes à greve em comparação com o ano de 2018, houve diferenças estatisticamente significativas para quase todos os locais observados. O monóxido de nitrogênio diminuiu para quase zero no período da tarde durante a greve. Com relação ao NO₂ (que possui fonte primária e secundária de emissão), os impactos da greve não foram tão marcados e nem estatisticamente significativos, principalmente nas localidades que apresentaram as emissões veiculares com maior intensidade. Grande parte das localidades analisadas apresentaram concentrações mais altas de NO₂ no período matinal, em contraponto à baixa da concentração do gás para o período da tarde durante a greve, possivelmente devido ao aumento da quantidade de raios solares que serem como um catalisador do processo de fotólise. No que diz respeito aos materiais particulados, foi observado resultados mistos, embora as concentrações de MP_{2,5} tenham aumentado basicamente em todos as localidades no ano da greve em relação aos anos anteriores.

Tais resultados mostram que a RMSP sofreu, consideravelmente, a influência das emissões veiculares, embora os impactos variem de gravidade entre os poluentes. Os poluentes primários e secundários mostraram diferenças estatisticamente significativas durante o período de greve, enquanto que para os impactos envolvendo os poluentes com as frações primárias e secundárias foram mistas, tais como (NO₂, MP₁₀ e MP_{2,5}). Como maneira de atuar na diminuição destas emissões, seriam necessárias melhorias tecnológicas no motor do equipamento (adicionar catalisadores para converter os gases à outros menos poluentes), manutenção e qualidade do

combustível de todos os tipos de veículos.

Para a análise real dos dados tratados destacam-se a importância das condições atmosféricas do local (chuvas e ventos influem na dispersão dos poluentes), a formação secundária de poluentes na atmosfera (devido às reações químicas de conversão de materiais), as fontes regionais de poluição não veicular e possível transporte de poluentes (como no caso de incêndios), que afetam as concentrações de poluentes em uma área urbana.

É possível, também, desenvolver um paralelo do estudo realizado neste trabalho com o advento da pandemia da COVID-19. Particularmente, neste momento, quando a situação de crise sanitária impõe severas restrições ao uso veicular, os poder público deve implementar estratégias de mobilidade com foco em melhorar o uso ativo e de micromobilidade, incluindo bicicletas, caminhadas, etc. Com relação à população de baixa renda, altamente dependente de sistemas de transporte público lotados, poderiam se beneficiar com a diminuição das distâncias entre a moradia e os empregos disponíveis. Estas medidas, em aliança aos recentes avanços tecnológicos voltados ao transporte, ajudariam não só a mitigar as emissões veiculares totais, mas também a melhorar a qualidade de vida, de modo a garantir um distanciamento social no deslocamento diário destas pessoas. Nesse contexto, uma gestão urbana devidamente integrada, a qual considera a sinergia de todos os setores, como saúde, energia, transporte e meio ambiente, torna-se muito fundamental para o desenvolvimento de políticas públicas robustas para as megacidades mais resilientes ao meio ambiente no futuro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASAGAÑA, X.; TRIGUERO-MAS, M.; AGIS, D.; PÉREZ, N.; RECHE, C.; ALASTUEY, A.; QUEROL, X. Effect of public transport strikes on air pollution levels in barcelona (spain). **Science of the total environment**, v. 610, p. 1076–1082, 2018. 2
- BISCHOFF-GAUß, I.; KALTHOFF, N.; FIEDLER, F. The impact of secondary flow systems on air pollution in the area of sao paulo. **Journal of Applied Meteorology**, v. 37(3), p. 269–287., 1998. 10
- CETESB. Air quality report for the são paulo state 2017. environmental agency of the state of são paulo. 2018. 1, 12
- CHIQUETTO, J. B.; RIBEIRO, F. N. D.; ALVIM, D. S.; YNOUE, R. Y.; SILVA, J. da; SILVA, M. E. S. Transport of pollutants by the sea breeze in são paulo under the south atlantic high. **Revista do Departamento de Geografia**, p. 148–161., 2018. 10
- COOKSON, G.; PISHUE, B. **Inrix global traffic scorecard—appendices**. [S.l.]: INRIX research., 2017. 1
- KANNIAH, K. D.; ZAMAN, N. A. F. K.; KASKAOUTIS, D. G.; LATIF, M. T. Covid-19's impact on the atmospheric environment in the southeast asia region. **Science of the Total Environment**, v. 736, p. 139658., 2020. 10
- LEIRIAO, L. F. L.; DEBONE, D.; PAULIQUEVIS, T.; ROSÁRIO, N. M. do; MIRAGLIA, S. G. E. K. Environmental and public health effects of vehicle emissions in a large metropolis: Case study of a truck driver strike in sao paulo, brazil. **Atmospheric Pollution Research**, v. 11(6), p. 24–31., 2020. 2
- LEIRIAO, L. F. L.; MIRAGLIA, S. G. E. K. Environmental and health impacts due to the violation of brazilian emissions control program standards in sao paulo metropolitan area. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 70, p. 70–76, 2019. 1
- LEVY, I. A national day with near zero emissions and its effect on primary and secondary pollutants. **Atmospheric Environment**, v. 77, p. 202–212, 2013. 2
- LEVY, I.; MIHELE, C.; LU, G.; NARAYAN, J.; HILKER, N.; BROOK, J. R. Elucidating multipollutant exposure across a complex metropolitan area by

- systematic deployment of a mobile laboratory. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 14(14), p. 7173–7193., 2014. 2
- MALIK, L.; TIWARI, G.; THAKUR, S.; KUMAR, A. Assessment of freight vehicle characteristics and impact of future policy interventions on their emissions in delhi. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 67, p. 610–627, 2019. 1
- MAYER, H. Air pollution in cities. **Atmospheric environment**, v. 33(24-25), p. 4029–4037., 1999. 8
- MEINARDI, S.; NISSENSON, P.; BARLETTA, B.; DABDUB, D.; ROWLAND, F. S.; BLAKE, D. R. Influence of the public transportation system on the air quality of a major urban center. a case study: Milan, italy. **Atmospheric Environment**, v. 42(34), p. 7915–7923, 2008. 2
- MUHAMMAD, S.; LONG, X.; SALMAN, M. Covid-19 pandemic and environmental pollution: A blessing in disguise?. **Science of the total environment**, v. 728, p. 138820., 2020. 10
- NAKADA, L. Y. K.; URBAN, R. C. Covid-19 pandemic: Impacts on the air quality during the partial lockdown in são paulo state, brazil. **Science of the Total Environment**, v. 730, p. 139087., 2020. 10
- PARAISO, M. L. D. S.; GOUVEIA, N. Health risks due to pre-harvesting sugarcane burning in são paulo state, brazil. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 18, p. 691–701., 2018. 14
- SHARMA, A. R.; KHAROL, S. K.; BADARINATH, K. V. S. Influence of vehicular traffic on urban air quality—a case study of hyderabad, india. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 15(3), p. 154–159, 2010. 2
- SIDER, T.; HATZOPOULOU, M.; ELURU, N.; GOULET-LANGLOIS, G.; MANAUGH, K. Smog and socioeconomics: an evaluation of equity in traffic-related air pollution generation and exposure. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 42, p. 870–887, 2015. 1
- SILVA, C. B. P. da; SALDIVA, P. H. N.; AMATO-LOURENÇO, L. F.; RODRIGUES-SILVA, F.; MIRAGLIA, S. G. E. K. Evaluation of the air quality benefits of the subway system in são paulo, brazil. **Journal of environmental management**, v. 101, p. 191–196., 2012. 8

SáNCHEZ-CCOYLLO, O. R.; ANDRADE, M. de F. The influence of meteorological conditions on the behavior of pollutants concentrations in são paulo, brazil,. **Environmental Pollution**,, v. 116(2), p. 257–263., 2002. 6

