



Efeitos das medidas de afastamento social sobre a qualidade do ar na Região Grande Vitória (Espírito Santo)

Alex Barcellos Vieira^{1*}, Iris Teixeira Bortolotti Cola², Douglas Rios Lougon³, Pedro Ronchi⁴

¹Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil. (*Autor Correspondente: barcellos13@gmail.com).

²Especialização em Engenharia de Produção, Faculdades Integradas Espírito-Santenses, Brasil.

³Graduado em Engenharia Elétrica, Uniest Educacional Centro Leste, Brasil.

⁴Mestre em Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 19/05/2020 – Revisado em: 17/07/2020 – Aceito em: 14/09/2020

RESUMO

A pandemia mundial imposta pelo novo coronavírus exigiu a adoção de medidas de afastamento social para desacelerar a transmissão do vírus. No Estado do Espírito Santo, Brasil, o governo local adotou medidas restritivas para diminuição da circulação de pessoas, impactando na redução do tráfego de veículos e, em alguns casos, na produção industrial. O objetivo deste artigo é avaliar os efeitos das medidas de afastamento social adotadas na qualidade do ar da Região da Grande Vitória. Para isso foram selecionados os dias úteis de cenários meteorologicamente similares, antes e durante a pandemia, para avaliar os impactos nas concentrações atmosféricas dos poluentes NO₂ (dióxido de nitrogênio), NO (óxido de nitrogênio), CO (monóxido de carbono), SO₂ (dióxido de enxofre), Material Particulado (MP₁₀) e O₃ (ozônio). Os resultados demonstraram que as medidas adotadas impactaram significativamente na qualidade do ar da região estudada, sendo possível verificar a redução das concentrações de NO₂ (-24%), NO (-65%), CO (-34%) e MP₁₀ (-23%). Para o poluente SO₂ foi verificado um aumento de 31% nas concentrações, enquanto que para o O₃ não foi verificada diferença estatística entre os cenários avaliados. A redução das atividades sociais e econômicas imposta pelas medidas de afastamento social impactaram na qualidade do ar da Região da Grande Vitória. A redução do tráfego veicular experimentada pode ter contribuído para a melhoria na qualidade do ar demonstrando a importância de investimentos em políticas de transportes ambientalmente mais limpos.

Palavras-Chaves: Poluição do Ar, COVID-19, Afastamento Social, Tráfego Veicular.

Evaluation of the Effects of Social Removal Measures on Air Quality in the Greater Vitória Region (Brazil)

ABSTRACT

The global pandemic imposed by the new coronavirus required the adoption of social withdrawal measures to slow the transmission of the virus. In the state of Espírito Santo, Brazil, the local government adopted restrictive measures to reduce the circulation of people, impacting on the reduction of vehicle traffic and, in some cases, industrial production. The purpose of this article is to evaluate the effects of the social distancing measures adopted on the air quality of the Greater Vitória Region. For this, the working days of meteorologically similar scenarios were selected, before and during the pandemic, to assess the impacts on the atmospheric concentrations of the NO₂ (nitrogen dioxides), NO (nitrogen oxides), CO (carbon monoxide), SO₂ (sulfur dioxides), Inhalable Particles (PM₁₀) and O₃ (ozone). The results showed that the social distancing measures adopted had a significant impact on air quality in the studied region, being possible to verify the reduction of concentrations of NO₂ (-24%), NO (-65%), CO (-34%) and PM₁₀ (-23%) For the pollutant SO₂ there was an increase in concentrations of 31%, while for O₃ there was no statistical difference between the scenarios evaluated. The reduction in social and economic activities imposed by the measures of social distancing impacted on the quality the reduction of vehicular traffic experienced may have contributed to the improvement in air quality, demonstrating the importance of investments in environmentally cleaner transport policies.

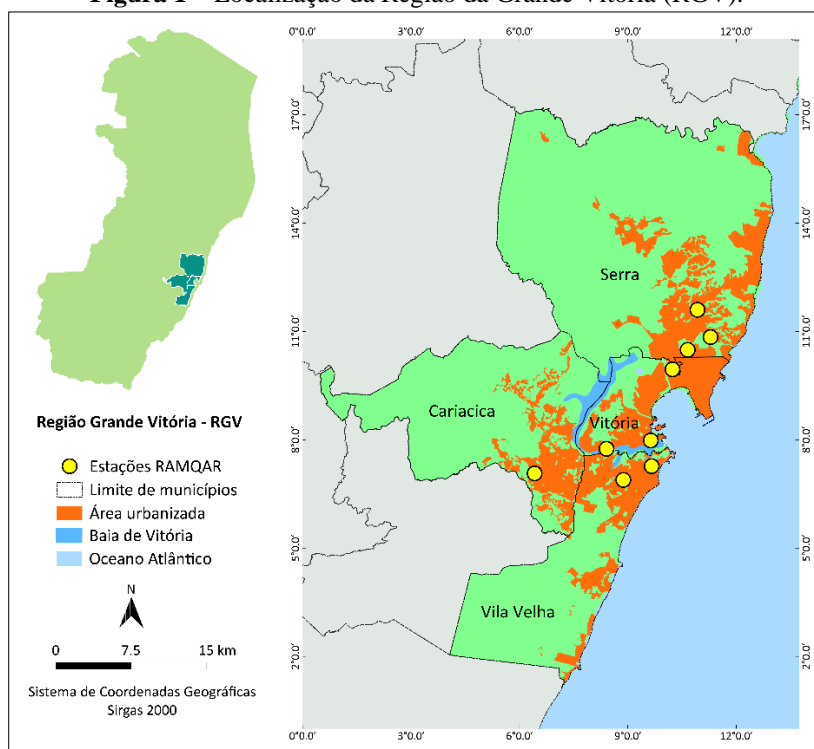
Keywords: Air Pollution, COVID-19, Social Distancing, Vehicle Traffic.

1. Introdução

Para enfrentamento da pandemia imposta pela COVID-19, doença provocada pelo coronavírus SARS-CoV-2, o Governo do Estado do Espírito Santo adotou diversas medidas para conter a transmissão do vírus. Dentre elas estão a suspensão de atividades educacionais em escolas, universidades e faculdades, das redes de ensino pública e privada (Decreto Nº 4597-R, de 16/03/2020); suspensão da realização de eventos e atividades com a presença de público que envolvem aglomeração de pessoas (Decreto Nº 4599-R, de 17/03/2020); suspensão de academias de esporte de todas as modalidades; suspensão de funcionamento de estabelecimentos (Decreto Nº 4600-R, de 18/03/2020); instituição de medidas preventivas a serem cumpridas pelos servidores, como férias compulsórias aqueles que tenham períodos aquisitivos implementados (Decreto Nº 4601-R, de 18/03/2020); suspensão do atendimento ao público em agências bancárias públicas e privadas (Decreto Nº 4604-R, de 19/03/2020) e suspensão do atendimento presencial ao público em concessionárias prestadoras de serviço público (Decreto Nº 4605-R, de 20/03/2020). Todas essas medidas tiveram início entre os dias 17 e 20 de março de 2020, sendo posteriormente prorrogadas, e tiveram impactos na circulação de pessoas e veículos em todo Estado.

Neste contexto, insere-se a Região da Grande Vitória (RGV), formada pelos municípios de Cariacica, Serra, Vila Velha e Vitória, capital do Estado (Figura 1). A população total estimada é de 1,8 milhões de habitantes, que corresponde a cerca de 46% da população do Estado do Espírito Santo, além de abrigar importantes empreendimentos industriais e de serviços (IBGE, 2020).

Figura 1 – Localização da Região da Grande Vitória (RGV).



Fonte: Base cartográfica (IJSN, 2018).

O monitoramento da qualidade do ar na RGV é realizado pela Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar (RMQAr), de propriedade e gestão do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA). A RMQAr é formada por nove estações automáticas e 10 (dez) pontos de coleta manual de Poeira Sedimentável (PS). A rede foi construída há mais 20 (vinte) anos com objetivo de acompanhar os impactos das atividades antrópicas sobre a qualidade do ar na RGV (IEMA, 2020a).

É importante destacar que a dinâmica dos poluentes na atmosfera não é uma equação de fácil solução, sendo objeto de estudos de complexos modelos matemáticos com a capacidade de ligar as fontes (causa) às concentrações ambientais dos poluentes (efeitos) (Moreira; Tirabassi, 2004). Isto posto, as características existentes na Região da Grande Vitória são únicas, não sendo recomendável a comparação direta com outras localidades.

Sendo assim, o objetivo deste estudo é avaliar os efeitos das medidas de afastamento social adotadas na qualidade do ar da Região da Grande Vitória.

2. Material e Métodos

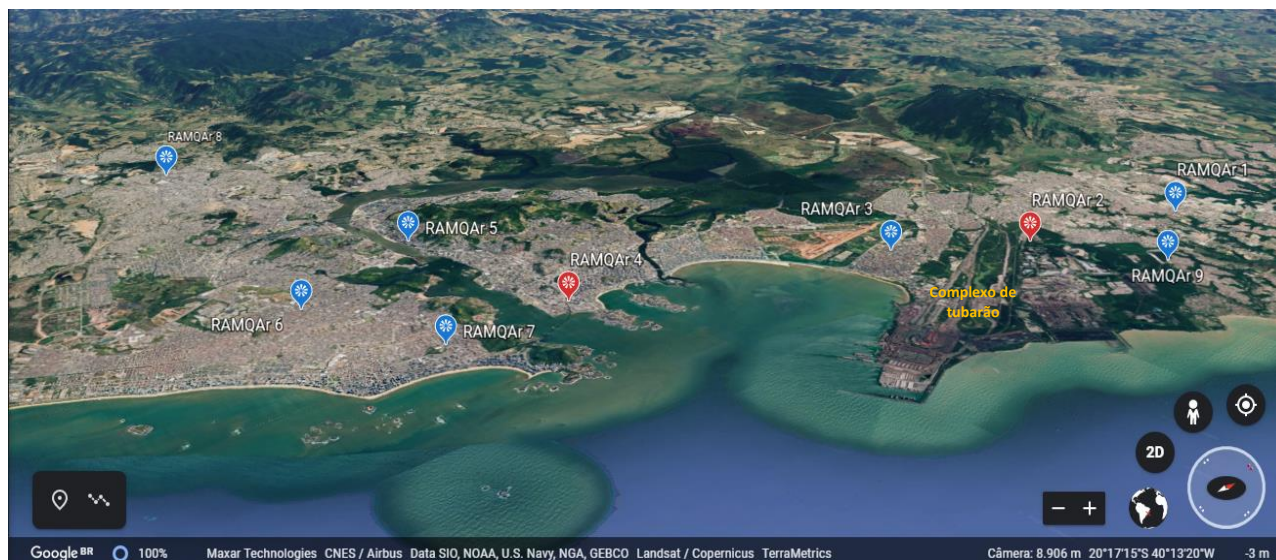
2.1 Coleta de dados

A avaliação foi realizada pela comparação dos dados de concentração de poluentes medidos, buscando períodos com condições meteorológicas similares, conforme estudos anteriormente realizados (Leirião et al., 2020; Silva et al., 2012).

Para as análises realizadas neste estudo foram avaliadas as concentrações horárias dos poluentes Material Particulado (MP_{10}), Dióxido de Enxofre (SO_2), Ozônio (O_3), Dióxido de Nitrogênio (NO_2), Monóxido de Nitrogênio (NO) e Monóxido de Carbono (CO) registradas na estação de monitoramento Enseada do Suá (RAMQAr 4). Além dos poluentes foram analisados dados meteorológicos registrados na estação Carapina (RAMQAr 2). A estação Enseada do Suá localiza-se em um ponto central da RGV (Figura 2), sendo diretamente impactada por fontes de emissão veiculares e industriais oriundas, principalmente, do complexo de tubarão, que reúne grandes atividades nos segmentos de mineração e siderurgia.

Os dados de direção e velocidade dos ventos foram obtidos da estação Enseada do Suá, enquanto que os dados de temperatura, precipitação pluviométrica, umidade relativa e radiação solar foram obtidos da estação Carapina, uma vez que na estação Enseada do Suá não é realizada a medição destes parâmetros.

Figura 2 – Localização da RAMQAr. Em vermelho as estações utilizadas nesse estudo.



Fonte: Google Earth, 2020.

2.2 Período avaliado

Para escolha dos períodos buscou-se identificar aqueles que possuíam semelhanças para as variáveis meteorológicas, além de estarem inseridos no contexto das medidas de afastamento social. Para efeitos de comparação foram considerados dados registrados entre 24/03/2019 a 30/04/2019 e 24/03/2020 a 30/04/2020, sendo definidos dois cenários comparativos (Tabela 1). O cenário base (2019) considera os dados de monitoramento de qualidade do ar onde não estavam presentes os efeitos das medidas de afastamento social em função da COVID-19. No cenário de afastamento social (2020) foram considerados os dados de monitoramento de qualidade do ar onde os efeitos das medidas de afastamento social estavam presentes.

Tabela 1 – Período de registro dos dados.

Período	Cenário	Medidas de Afastamento Social
24/03/2019 a 30/04/2019	Base	Não
24/03/2020 a 30/04/2020	Afastamento Social	Sim

2.3 Comparação dos cenários

Para análise dos dados de qualidade do ar registrados nos cenários estabelecidos foram consideradas as concentrações médias horárias para os poluentes MP₁₀, SO₂, O₃, NO₂, NO e CO, sendo utilizados apenas dados registrados em dias úteis. Tal tratativa tem como objetivo caracterizar melhor as diferenças entre os cenários em avaliação, uma vez que, em dias não úteis já é esperada a redução dos níveis de concentração atmosférica dos poluentes pela redução das atividades antrópicas.

As amostras dos dados foram representadas na forma de estatísticas descritivas e gráficas para avaliação do comportamento das variáveis. Além disso, visando a comparação entre os cenários em estudo, as amostras foram testadas utilizando o teste estatístico de hipóteses de Kruskal-Wallis ao nível de confiança de 95%. Tal teste foi utilizado pois não foi possível verificar a normalidade dos dados amostrais ou a igualdade de variância entre os grupos analisados. Além disso, o teste utilizado sofre menos influência de valores extremos por se tratar de um teste que utiliza a mediana como parâmetro de localização.

3. Resultados e Discussão

3.1 Variáveis meteorológicas

Na Tabela 2 são apresentadas as médias diárias das variáveis meteorológicas registradas para os períodos em avaliação. Além das médias diárias também está representado o desvio padrão associada a cada medida.

Observa-se que o período avaliado (Cenário base 2019) apresentou maior precipitação pluviométrica, registrando um volume acumulado superior a quatro vezes ao registrado para o ano de 2020 (Cenário de afastamento social). A precipitação pluviométrica exerce importante efeito sobre os poluentes atmosféricos, impactando em sua distribuição espacial, concentração e tempo de vida na atmosfera (Elperin et al., 2011).

Tabela 2 – Médias diárias das variáveis meteorológicas ± o desvio padrão.

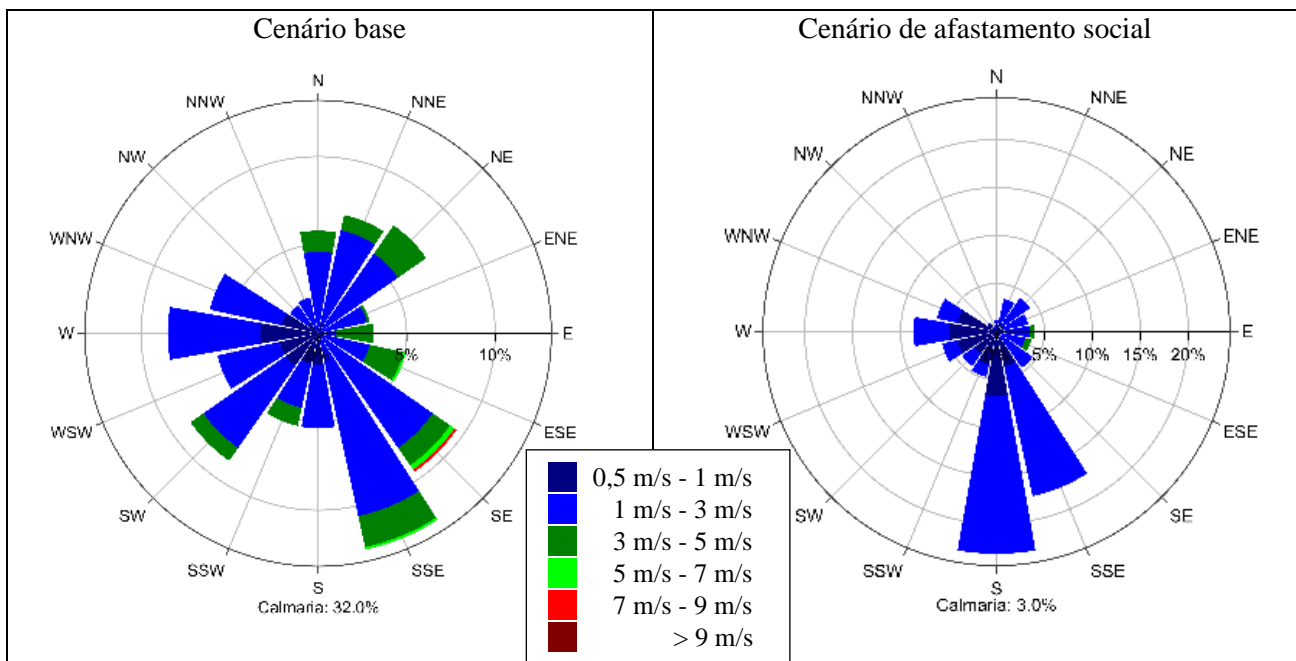
Ano	Temperatura		Precipitação		Umidade Relativa		Pressão Atmosférica		Velocidade dos Ventos	
	Média (°C)	Tamanho da Amostra	Média (mm/dia)	Total Acumulado (mm)	Média (%)	Tamanho da Amostra	Média (mbar)	Tamanho da Amostra	Média (km/h)	Tamanho da Amostra
2019	26,4 (±3,41)	910	0,1 (±0,7)	101	78 (±12,8)	910	1012,8 (±2,96)	907	6,84 (±3,67)	671
2020	23,5 (±3,39)	792	0,03 (±0,22)	24	80,3 (±13,7)	910	1017,6 (±2,96)	910	4,68 (±2,27)	912

Apesar da grande diferença entre o volume total de precipitação entre os cenários, verifica-se que a distribuição da chuva entre os dois períodos foi semelhante, sendo observados 14 dias com precipitação em 2019 e 13 dias com precipitação em 2020.

Para as variáveis temperatura, umidade relativa, pressão atmosférica e velocidade dos ventos, com base na estatística descritiva dos dados, não foram verificadas diferenças significativas entre os cenários avaliados.

A distribuição dos ventos para os cenários em análise, considerando as medições realizadas na estação Enseada do Suá constam na Figura 3.

Figura 3 – Rosa dos ventos para o período avaliado na estação Enseada do Suá.



Para os dois cenários avaliados verifica-se a predominância dos ventos no quadrante S – E, sendo que no cenário base foram registrados ventos mais intensos e melhor distribuídos em todas as direções, resultando em uma velocidade média de ventos superior ao cenário de afastamento social. Apesar de apresentar ventos com maior intensidade, no cenário base foram registrados 32% de dados considerados como “calmarias”, ou seja, ventos com velocidade menor do que 0,5 m/s, enquanto que no cenário de afastamento social foram registrados 3%.

3.2 Comparação dos dados de qualidade do ar

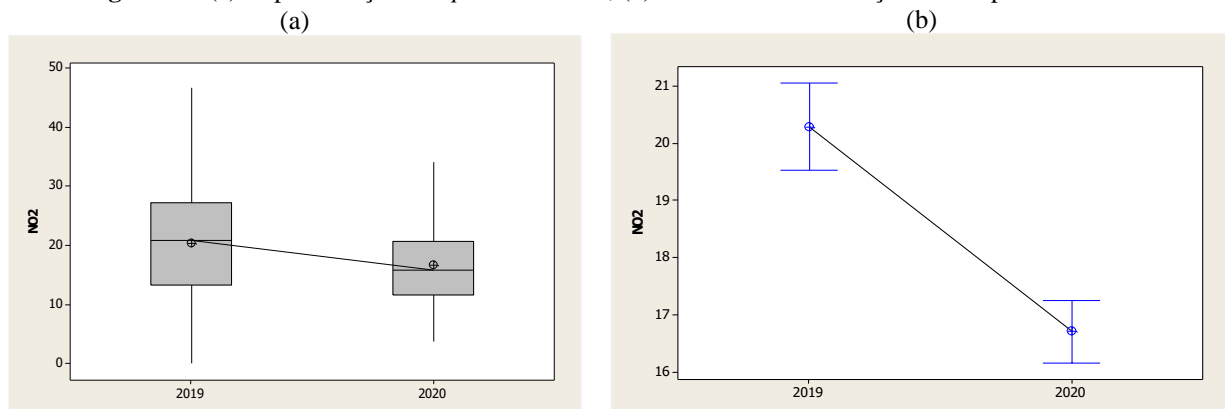
Foram identificados 24 dias úteis no cenário base (2019) e 23 dias úteis no cenário de afastamento social (2020). Para cada poluente em avaliação são apresentados as análises descritivas e os resultados do Teste de Kruskal-Wallis, ao nível de confiança de 95%, da comparação entre os dados registrados nos cenários base e de afastamento social. As hipóteses consideradas na avaliação dos dados foram:

- Hipótese Nula - H_0 : As distribuições nos dois períodos são iguais em tendência central;
- Hipótese Alternativa - H_1 : Existe diferença em tendência central.

3.3 Dióxido de Nitrogênio (NO_2) e Monóxido de Nitrogênio (NO)

A análise dos dados de NO_2 registrados indicou diferenças entre os cenários avaliados tanto em localização, com média e mediana superiores nos cenários base, quanto na variabilidade dos dados. O teste de hipóteses aplicado corroborou a indicação da estatística descritiva, rejeitando a hipótese nula de igualdade entre as medianas dos cenários, ou seja, ao nível de confiança de 95%, foi verificada diferença entre cenários avaliados conforme representado na Figura 4.

Figura 4 – (a) Representação *boxplot* dos dados; (b) Intervalo de confiança de 95% para as médias.

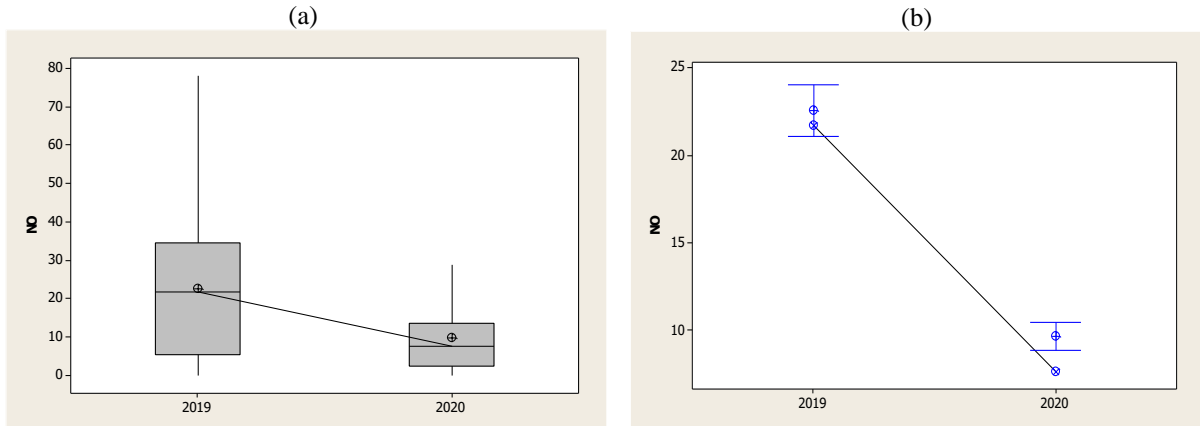


Verifica-se que as medidas de afastamento social implicaram na redução das concentrações atmosféricas do poluente avaliado. A mediana das concentrações horárias de NO_2 no cenário base foi de $20,9 \mu g/m^3$, enquanto que no cenário de afastamento social foi de $15,9 \mu g/m^3$, ou seja, houve uma redução aproximada de 24%. Este decréscimo pode estar associado a redução no tráfego de veículos, especialmente na terceira ponte, uma vez que impacta diretamente nas medições desse poluente na estação Enseada do Suá. Segundo dados da Rodosol, concessionária que administra os serviços na terceira ponte, entre os períodos avaliados, considerando apenas os dias úteis, foi registrada uma redução aproximada de 50% na contagem de veículos na praça de pedágio da ponte. De acordo com a concessionária, em um período normal passam pela ponte cerca de 88 mil veículos diariamente.

O tráfego veicular é uma das principais fontes de emissão de Óxidos de Nitrogênio ($NO_x = NO_2 + NO$), sendo usualmente aceito que, no momento da emissão, a parcela de NO_2 (NO_2/NO_x ratio) varia entre 2% a 5% (Soltic e Weilenmann, 2003). A menor variabilidade observada no período de afastamento social em 2020 pode ser explicada pela diminuição de valores extremos de concentração provocados pela grande circulação de veículos em horários de pico.

O comportamento do monóxido de nitrogênio segue a mesma tendência do dióxido de nitrogênio, no entanto, a diferença entre cenários avaliados é mais evidente, sendo rejeitada hipótese de igualdade entre as medianas, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 – (a) Representação *bloxplot* dos dados; (b) Intervalo de confiança de 95% para as médias.



Verifica-se que as medidas de afastamento social implicaram na redução das concentrações atmosféricas do poluente avaliado. A mediana das concentrações horárias de NO no cenário base foi de 21,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, enquanto que no cenário de afastamento social foi de 7,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ou seja, houve uma redução aproximada de 65%. A redução mais significativa verificada nas concentrações de NO pode estar associada a redução no tráfego de veículos, uma vez que a maior parcela do Óxido de Nitrogênio (NO_x) emitidos por estas fontes estão na forma de Monóxido de Nitrogênio (NO) (Ban-Weiss et al., 2008). Importante destacar que as concentrações de NO_2 e NO registradas na estação Enseada do Suá também são influenciadas por fontes industriais, especialmente daquelas situadas no complexo de tubarão, que respondem por cerca de 73% das emissões industriais deste poluente na Região da Grande Vitória (IEMA, 2020b). Para estas fontes, considerando os dados de produção para os meses de março e abril de 2019 e 2020, segundo dados informados pelas empresas do complexo de tubarão, verificou-se a redução na produção das unidades industriais conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Variação da produção das principais fontes industriais de emissão de NO_x - março e abril de 2019 e 2020.

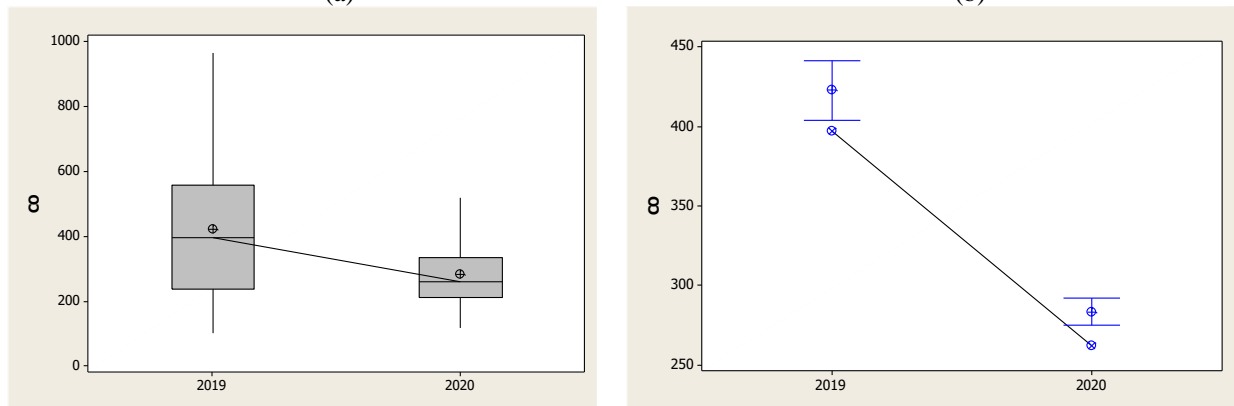
Fonte de Emissão	Redução na Produção
Coquearias (Heat Recovery + Convencional)	9%
Centrais Termelétricas	12%
Sinterização	21%
Usinas de Pelotização	23%

A operação das Usinas de Pelotização é responsável por aproximadamente 69% das emissões de óxidos de nitrogênio no complexo de tubarão (IEMA, 2020b).

3.4 Monóxido de Carbono (CO)

A análise dos dados de CO registrados indicou diferenças entre os cenários avaliados tanto em localização, com média e mediana superiores no cenário base, quanto na variabilidade dos dados. O teste de hipóteses aplicado corroborou com a indicação da estatística descritiva, rejeitando a hipótese nula de igualdade entre as medianas dos cenários, ou seja, ao nível de confiança de 95%, foi verificada diferença entre cenários avaliados, conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6 – (a) Representação *bloxplot* dos dados; (b) Intervalo de confiança de 95% para as médias.



Verifica-se que as medidas de afastamento social implicaram na redução das concentrações atmosféricas do poluente avaliado. A mediana das concentrações horárias de CO no cenário base foi de 397,13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, enquanto que no cenário de afastamento social foi de 262,32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ou seja, houve uma redução aproximada de 34%.

Além de impactar diretamente nas emissões de monóxido de carbono (CETESB,2020), a menor circulação de veículos, principalmente nos horários de pico, pode ter contribuído para maior uniformidade dos dados de concentração registradas para este poluente para o cenário do ano de 2020.

Importante destacar que as concentrações de CO registradas na estação Enseada do Suá também são influenciadas por fontes industriais, especialmente daquelas situadas no complexo de tubarão. Cerca de 96% das emissões de Monóxido de Carbono (CO) na Região da Grande Vitória têm origem nas fontes localizadas no complexo de tubarão (IEMA, 2020b).

Considerando a produção dos meses de março e abril de 2019 e 2020, segundo dados informados pelas empresas do complexo de tubarão, verificou-se a redução na produção de unidades com significativa emissão de monóxido de carbono, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Variação da produção das principais fontes industriais de emissão de CO – março e abril de 2019 e 2020.

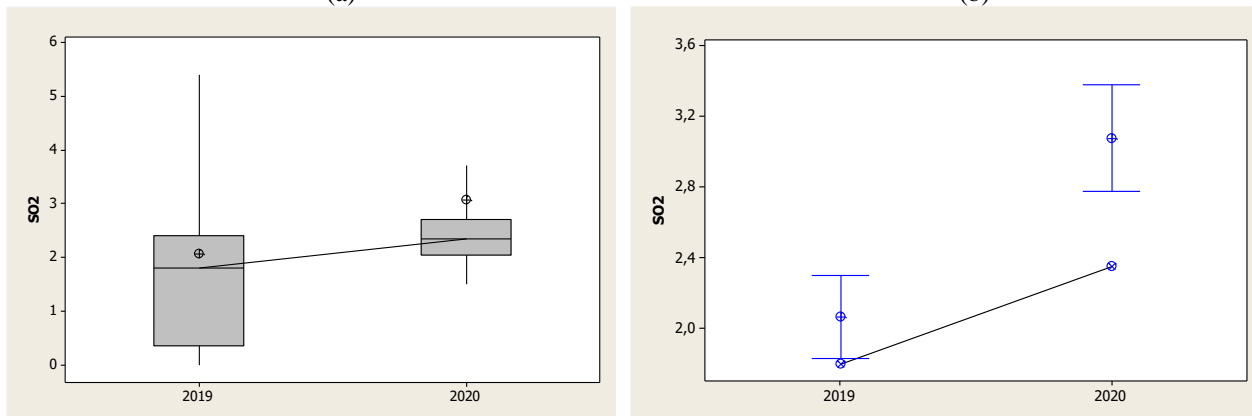
Fonte de Emissão	Redução na Produção
Coquerias (Heat Recovery + Convencional)	9%
Sinterização	21%

A operação da unidade de Sinterização é responsável por aproximadamente 55% das emissões de monóxido de carbono no complexo de tubarão (IEMA, 2020b).

3.5 Dióxido de Enxofre (SO_2)

Ao contrário dos outros poluentes primários gasosos, para o dióxido de enxofre verificou-se um aumento da concentração atmosférica na comparação entre os cenários conforme pode ser visualizado na Figura 7.

Figura 7 – (a) Representação *bloxplot* dos dados; (b) Intervalo de confiança de 95% para as médias.



Verificou-se a diferença entre as medianas, sendo no cenário base de $1,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ enquanto que no cenário de afastamento social de $2,35 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ou seja, houve um aumento aproximado de 31%.

Para a Região da Grande Vitória, as fontes industriais são a principal fonte de emissão de dióxido de enxofre na atmosfera. As fontes localizadas no complexo de tubarão são responsáveis por 88% das emissões de SO_2 de origem industrial (IEMA, 2020b). Apesar da redução de importantes fontes industriais de SO_2 , conforme apresentado na Tabela 5, não foi possível verificar grandes alterações em termos de concentração do poluente na atmosfera. As concentrações de dióxido de enxofre registradas na estação Enseada do Suá são tipicamente muito baixas, sendo influenciada por eventos pontuais que resultam em grandes valores de concentração em determinadas horas, podendo esta variabilidade ser verificada nas Figuras 7 (a) e (b). Nota-se que, apesar de apresentar maiores valores em termos de mediana, os dados no cenário de afastamento social têm menor variabilidade indicando a existência de menos episódios de “picos” de concentração tipicamente associados a fontes industriais.

Tabela 5 – Variação da produção das principais fontes industriais de emissão de NO_x – março e abril de 2019 e 2020.

Fonte de Emissão	Redução na Produção
Usinas de Pelotização	3%
Coqueiras (Heat Recovery + Convencional)	9%
Centrais Termelétricas	12%
Sinterização	21%

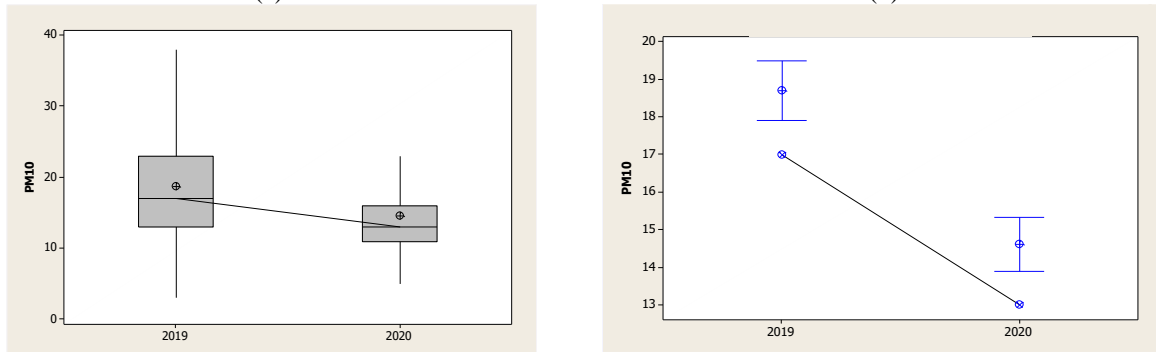
Outro fato que deve ser levado em consideração é a incerteza associada a medição do poluente, que segundo informações do fabricante do analisador de dióxido de enxofre pode ser de até $2,66 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Isto posto, sob aspecto operacional da medição, não foi possível verificar diferenças nas concentrações deste poluente para os cenários avaliados.

Mesmo assim é recomendável um estudo mais aprofundado sobre a dinâmica deste poluente na atmosfera para a região.

3.6 Material Particulado (MP_{10})

Para este poluente verificou-se a diferença entre as concentrações horárias nos cenários avaliados, tendo menores valores para o cenário de isolamento social, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 – (a) Representação *bloxplot* dos dados; (b) Intervalo de confiança de 95% para as médias.



A mediana das concentrações horárias de MP_{10} no cenário base foi de $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$, enquanto que no cenário de afastamento social foi de $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ou seja, houve uma redução aproximada de 23%.

As concentrações de MP_{10} registradas na estação Enseada do Suá também são influenciadas por fontes industriais, especialmente daquelas situadas no complexo de tubarão. Cerca de 68% das emissões industriais de partículas inaláveis (MP_{10}) na Região da Grande Vitória têm origem nas fontes localizadas no complexo de tubarão (IEMA, 2020b).

Mesmo com a redução de importantes fontes industriais de partículas inaláveis, conforme apresentado na Tabela 3, e a redução no tráfego de veículos, não foi possível verificar grandes alterações em termos de concentração deste poluente na atmosfera. Ao considerar a incerteza na medição associada ao equipamento, que pode ser de até $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, não foi possível, sob o aspecto operacional, verificar a diferença entre os cenários.

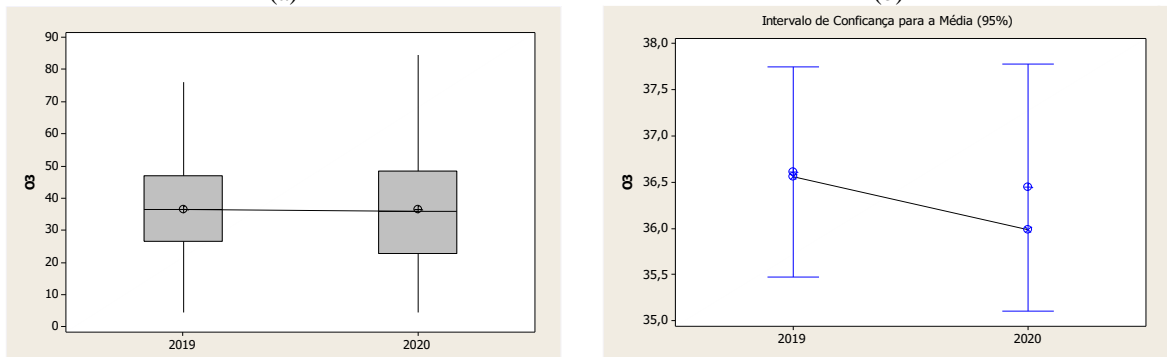
Mesmo não sendo tão nítida a redução nas concentrações atmosféricas do poluente, foi verificado uma menor variabilidade nos registros para o ano de 2020.

3.7 Ozônio (O_3)

A análise dos dados de O_3 registrados não indicou diferenças significativas entre os cenários avaliados tanto em localização, com média e mediana com valores muito próximos, quanto na variabilidade dos dados. O teste de hipóteses aplicado corroborou com a indicação da estatística descritiva, onde não foi possível a rejeição da hipótese nula de igualdade entre as medianas dos cenários, ou seja, ao nível de confiança de 95%, foi não verificada diferença entre cenários avaliados.

A Figura 9 representa a estatística descritiva do parâmetro avaliado no formato de *bloxpot* e o intervalo de confiança para média considerando o nível de confiança de 95%, respectivamente.

Figura 9 – (a) Representação *bloxplot* dos dados; (b) Intervalo de confiança de 95% para as médias.



A mediana das concentrações horárias de O₃ no cenário base foi de 36,56 µg/m³, enquanto que no cenário de afastamento social foi de 35,99 µg/m³.

Sob aspecto operacional, considerando a incerteza associada ao equipamento (de até 1 µg/m³) não foi possível verificar diferenças nas concentrações deste poluente.

O ozônio é um poluente secundário, formado na atmosfera pela reação de outros poluentes atmosféricos. A formação de ozônio na estratosfera envolve complexas reações fotoquímicas, onde poluentes precursores, principalmente Orgânicos Voláteis e Óxidos de Nitrogênio, sob luz solar e condições meteorológicas específicas resultam na produção de ozônio (Pandis e Seinfeld, 2006). As concentrações de ozônio monitoradas da estação Enseada do Suá podem estar associadas a transformação fotoquímica de poluentes precursores emitidos por fontes localizadas a centenas, ou até mesmo milhares, de quilômetros da Região da Grande Vitória conferindo o poluente uma característica de escala de longo alcance (Price et al., 2004).

4. Conclusão

As medidas de afastamento social impostas em função da pandemia de coronavírus, tiveram impacto na qualidade do ar na Região da Grande Vitória, mesmo não sendo estabelecidas para esta finalidade.

Para os cenários avaliados neste estudo foi possível verificar que as medidas de afastamento social resultaram na redução da concentração atmosférica dos poluentes Dióxido de Nitrogênio (NO₂), Monóxido de Nitrogênio (NO) e Monóxido de Carbono (CO) em percentuais de, respectivamente, 24%, 65% e 34%.

Para o Dióxido de Enxofre (SO₂) foi verificado um aumento 31% nas concentrações avaliadas, enquanto que para o material particulado (MP₁₀) foi constada uma redução de 23%. Apesar da diferença numérica nas medianas avaliadas para estes poluentes, estas medições estão dentro da incerteza admitida para os analisadores utilizados na medição. Tanto para o MP₁₀ quanto para o SO₂ a redução no tráfego de veículo e atividades industriais, respectivamente, resultaram numa menor variabilidade no registro das concentrações.

Para o poluente ozônio não foi possível verificar diferença entre os cenários avaliados.

Os resultados apresentados indicam que a redução das atividades sociais e econômicas imposta pelas medidas de afastamento social impactaram na qualidade do ar da Região da Grande Vitória, no entanto, tal impacto não acontece de forma linear e proporcional. Sendo assim, a gestão da qualidade do ar em determinada região deve ser realizada utilizando as ferramentas disponíveis tais como os Inventários de Fontes Atmosféricas, a Modelagem Matemática da Dispersão de Poluentes, o Monitoramento Contínuo da Qualidade do Ar e as Ações de Controle em Fontes Poluidoras, de forma complementar e sistemática.

As conclusões deste estudo devem ser utilizadas observando os pressupostos assumidos na metodologia utilizada. Sendo assim, apontamos como limitação na utilização direta dos resultados deste estudo as variáveis meteorológicas utilizadas nos cenários avaliados que, mesmo buscando utilizar períodos com variáveis semelhantes, não foi possível afirmar que os cenários avaliados nesta pesquisa tiveram a mesma condição meteorológica de dispersão dos poluentes.

5. Referências

Ban-Weiss G. A., McLaughlin J. P., Harley, R. A., Kean, A. J., Grosjean, E., Grosjean, D. (2008). Carbonyl and nitrogen dioxide emissions from gasoline and diesel powered motor vehicles. **Environmental Science and Technology**. 42(11), 3944-3950.

Elperin, T., Fominykh, A., Krasovitev, B., Vikhansky, A. (2011). Effect of rain scavenging on altitudinal distribution of soluble gaseous pollutants in the atmosphere. **Atmospheric Environment**. 45(14) 2427-2433.

Leirião, L. F. L., Debone, D., Pauliquevis, T., Rosário, N. M. E., Miraglia, S. G. E. K. (2020). 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**. 11(6), 24-31.

Moreira, D., Tirabassi, T. (2004). Modelo matemático de dispersão de poluentes na atmosfera: um instrumento técnico para a gestão ambiental. **Ambiente & Sociedade**. 7(2), 159-172.

Price, H. U., Jaffe, D. A., Cooper, O. R., Doskey, P. V. (2004). Photochemistry, ozone production, and dilution during long-range transport episodes from Eurasia to the northwest United States. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**. 109(23), 1-10.

Silva, C. B. P., Saldiva, P. H. N., Amato-Lourenço, L. F., Rodrigues-Silva, F., Miraglia, S. G. E. K. (2012). Evaluation of the air quality benefits of the subway system in São Paulo, Brazil. **Journal of Environmental Management**. 101, 191-196.

Soltic, P., Weilenmann, M. (2003). NO₂/NO emissions of gasoline passenger cars and light-duty trucks with Euro-2 emission standard. **Atmospheric Environment**. 37(37), 5207-5216.

Pandis, S. N., Seinfeld, J. H. (2006). **Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change**. New York: Wiley. 1152p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Brasil em Síntese: Cidades**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 15 mai. 2020.

IJSN – Instituto Jones dos Santos Neves. **Mapas**. Disponível em: <http://www.ijsn.es.gov.br/mapas/>. Acesso em: 20 mai. 2020.

Google. **Google Earth**. Disponível em: <https://earth.google.com/web/@-20.2861738,-40.31149678,14.92792784a,25263.64560354d,30y,-50.62696001h,69.49977376t,0r>. Acesso em: 20 mai. 2020.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Emissão Veicular**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular>. Acesso em: 15 mai. 2020.

IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Relatório da Qualidade do Ar na Grande Vitória - 2019**. Disponível em: <https://iema.es.gov.br/qualidadedoar/relatorios>. Acesso em: 15 mai. 2020a.

IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Inventário de Emissões Atmosféricas Região da Grande Vitória - Ano base 2015**. Disponível em: <https://iema.es.gov.br/qualidadedoar/inventariodefuentes>. Acesso em: 15 mai. 2020b.

ESPÍRITO SANTO. **Decreto Nº 4597-R, de 16 de março de 2020, que dispõe sobre as medidas para enfrentamento da emergência de saúde pública decorrente do coronavírus (COVID-19) na área da educação, e dá outras providências**. Diário Oficial do Espírito Santo, 17 de mar. Disponível em: <http://dio.es.gov.br/>. Acessado em março/2020. 2020.

ESPÍRITO SANTO. **Decreto Nº 4599-R, de 17 de março de 2020, que dispõe sobre as medidas para enfrentamento da emergência de saúde pública decorrente do coronavírus (COVID-19) em diferentes**

áreas, e dá outras providências. Diário Oficial do Espírito Santo, 18 de mar. Disponível em: <http://dio.es.gov.br/>. Acessado em março/2020. 2020.

ESPÍRITO SANTO. Decreto Nº 4600-R, de 18 de março de 2020, que dispõe sobre medidas para enfrentamento da emergência de saúde pública decorrente do coronavírus (COVID-19), e dá outras providências. Diário Oficial do Espírito Santo, 19 de mar. Disponível em: <http://dio.es.gov.br/>. Acessado em março/2020. 2020.

ESPÍRITO SANTO. Decreto Nº 4601-R, de 18 de março de 2020, que dispõe sobre as medidas para enfrentamento da emergência de saúde pública decorrente do coronavírus (COVID-19) de prevenção e de redução de circulação e aglomeração de pessoas nos órgãos e entidades do Poder Executivo Estadual e dá outras providências. Diário Oficial do Espírito Santo, 19 de mar. Disponível em: <http://dio.es.gov.br/>. Acessado em março/2020. 2020.

ESPÍRITO SANTO. Decreto Nº 4604-R, de 19 de março de 2020, que dispõe sobre medidas para enfrentamento da emergência de saúde pública decorrente do novo coronavírus (COVID-19), e dá outras providências. Diário Oficial do Espírito Santo, 20 de mar. Disponível em: <http://dio.es.gov.br/>. Acessado em março/2020. 2020.

ESPÍRITO SANTO. Decreto Nº 4605-R, de 20 de março de 2020, que dispõe sobre medidas para enfrentamento da emergência de saúde pública decorrente do novo coronavírus (COVID-19), e dá outras providências. Diário Oficial do Espírito Santo, 20 de mar, Edição Extra. Disponível em: <http://dio.es.gov.br/>. Acessado em março/2020. 2020.



Direitos do Autor. A Revista Brasileira de Meio Ambiente utiliza a licença Creative Commons - CC Atribuição Não Comercial 4.0 CC-BY-NC (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>), no qual, os artigos podem ser compartilhados desde que o devido crédito seja aplicado de forma integral ao autor (es) e não seja usado para fins comerciais.