



Avaliação dos Efeitos das Medidas de Afastamento Social sobre a Qualidade do Ar na Região Grande Vitória



Junho - 2020



**GOVERNO DO ESTADO
DO ESPÍRITO SANTO**

Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA

Alaimar Ribeiro Rodrigues Fiuza

Diretor Presidente

Diretoria Técnica

Elias Alberto Morgan

Diretor

Coordenação de Qualidade do Ar, Áreas Contaminadas e Informações Ambientais – CQAI

Alex Barcellos Vieira

Coordenador

Equipe Técnica

Alex Barcellos Vieira

Me. em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável

Douglas Rios Lougon

Engenheiro Eletricista

Iris Teixeira Bortolotti Cola

Estatística

Pedro Ronchi

Me. Geografia

Nota:

As informações apresentadas nesse relatório são baseadas na Nota Técnica IEMA/CQAI-DT N.º 06/2020.

INTRODUÇÃO

Para enfrentamento da pandemia imposta pela **COVID-19**, doença provocada pelo novo coronavírus, o Governo do Estado do Espírito Santo vem adotando diversas medidas para conter a transmissão do vírus, dentre elas estão a suspensão das aulas nos estabelecimentos de ensino, suspensão de eventos que envolvam aglomeração de pessoas, suspensão do funcionamento de academias e centros comerciais, suspensão do funcionamento de estabelecimentos comerciais. Todas essas medidas tiveram seu início entre os dias 17 e 20 de março de 2020, impactando na circulação de pessoas e veículos em todo Estado do Espírito Santo.

Neste contexto, insere-se a **Região da Grande Vitória (RGV)**, com população total estimada de 1,8 milhões de habitantes, a qual corresponde a cerca de 46% da população do Estado do Espírito Santo, além de abrigar importantes empreendimentos industriais e de serviços (IBGE, 2020).



Na RGV, formada pelos municípios de Serra, Cariacica, Vitória e Vila Velha, o monitoramento da qualidade do ar é realizado por **Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar (RMQAr-RGV)**, de propriedade e gestão do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA). A RMQAr-RGV é formada por nove estações automáticas e 10 pontos de coleta manual, e foi construída com o objetivo de acompanhar os impactos das atividades antrópicas sob 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 (causas) às concentrações ambientais dos poluentes (efeitos)(Moreira e 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 relatório é avaliar os efeitos das medidas de afastamento social adotadas na qualidade do ar da Região da Grande Vitória.

MATERIAL DE MÉTODOS

Coleta de Dados e Período Avaliado

A avaliação dos efeitos das medidas de afastamento social adotadas sob a qualidade do ar na Região da Grande Vitória (RGV) será 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 relatório serão avaliadas as **concentrações horárias dos poluentes MP₁₀, SO₂, O₃, NO₂, NO e CO** registradas na estação de monitoramento Enseada do Suá, além dos dados meteorológicos registrados na estação Carapina. A estação Enseada do Suá localiza-se em ponto central da RGV, sendo diretamente impactada por fontes de emissão veiculares e industriais oriundas, principalmente, do complexo de tubarão. 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 meteorológicos.

A localização das estações de monitoramento pode ser visualizada na **Imagem 01**.

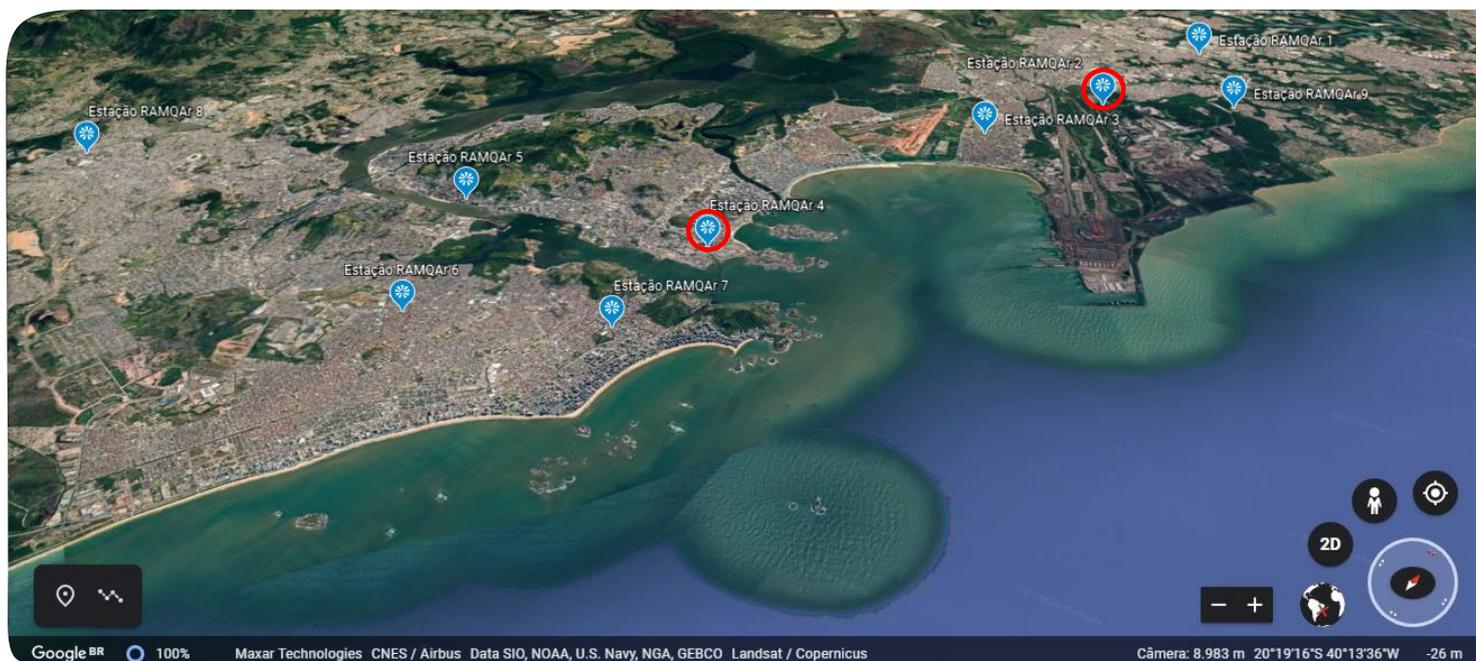


Imagem 01 – Localização das Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar. Em destaque (círculo vermelho) as estações utilizadas neste estudo. Fonte: Google Earth, 2020.

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.

Neste sentido para efeitos de comparação foram considerados dados registrados entre **24/03/2020 a 30/04/2020** e **24/03/2019 a 30/04/2019**, sendo definidos dois cenários comparativos:

CENÁRIO BASE	
PERÍODO DO REGISTRO 24/03/2019 a 30/04/2019	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.

CENÁRIO DE ISOLAMENTO	
PERÍODO DO REGISTRO 24/03/2020 a 30/04/2020	Considera os dados de monitoramento de qualidade do ar onde os efeitos das medidas de afastamento social, em função da COVID-19, estavam presentes.

Comparação dos Cenários de Qualidade do Ar

Para avaliação 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 dos dados registrados em dias úteis. Tal tratativa tem como objetivo melhor caracterizar 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 uma vez que 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.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Variáveis meteorológicas

Na **Tabela 01** 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.

Tabela 01 – 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)	Tamanho da Amostra	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	911	78(±2,8)	910	1012,8(±2,96)	907	6,84(±3,67)	671
2020	23,5(±3,39)	792	0,03(±0,22)	24	910	80,3(±3,7)	910	1017,6(±2,96)	910	4,68(±2,27)	912

Observa-se que o período avaliado em **2019 (cenário base)** apresentou maior precipitação pluviométrica, registrando um volume de precipitação pluviométrica acumulada superior a quatro vezes ao registrado para o ano de **2020 (cenário de isolamento)**. 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).

Apesar da grande diferença entre o volume total de precipitação entre os cenários avaliados, 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 e 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, pode ser visualizada na **Figura 1**.

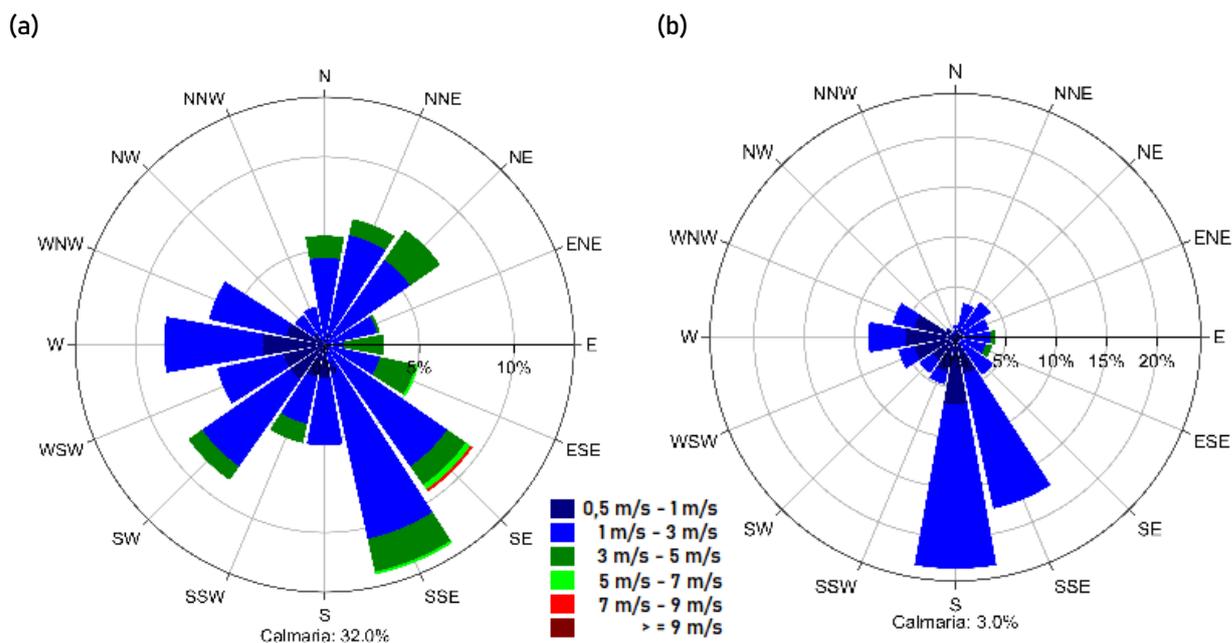


Figura 1 - Rosa dos Ventos registrados na Estação Enseada do Suá: (a) Cenário Base; (b) Cenário de Isolamento.

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 isolamento. 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 isolamento foram registrados 3%.

Comparação dos Dados de Qualidade do Ar

Nos cenários em estudo, após seleção dos dias úteis nos períodos avaliados, foram identificados **24 dias úteis no cenário base (2019)** e **23 dias úteis no cenário de isolamento (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 isolamento. As hipóteses consideradas na avaliação dos dados foram:

Hipótese Nula - H_0 : As distribuições nos dois períodos são iguais em tendência central;

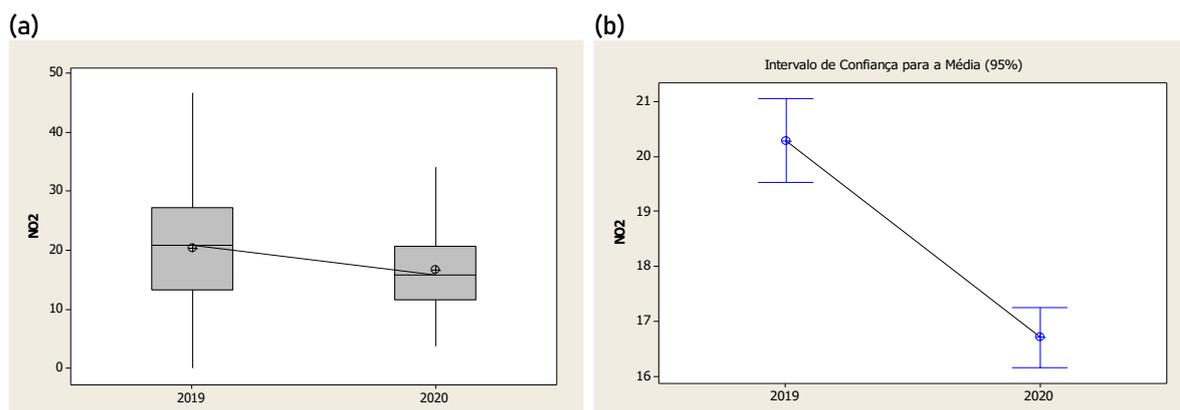
Hipótese Alternativa - H_1 : Existe diferença em tendência central.

Os resultados das análises descritivas realizadas podem ser visualizados no Apêndice I deste relatório.

Dióxido de Nitrogênio (NO₂) e Monóxido de Nitrogênio (NO)

A análise descritiva dos dados de NO₂ 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 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.

As Figuras 2(a) e 2(b) representam a estatística descritiva do parâmetro avaliado no formato de *bloxplot* e o intervalo de confiança para média considerando o nível de confiança de 95%, respectivamente.



Figuras 2 – (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 NO₂ no cenário base foi de 20,9 µg/m³, enquanto que no cenário de isolamento foi de 15,9 µg/m³, ou seja, houve uma redução aproximada de 24%.

Tal redução pode ter sido ocasionada pela 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.

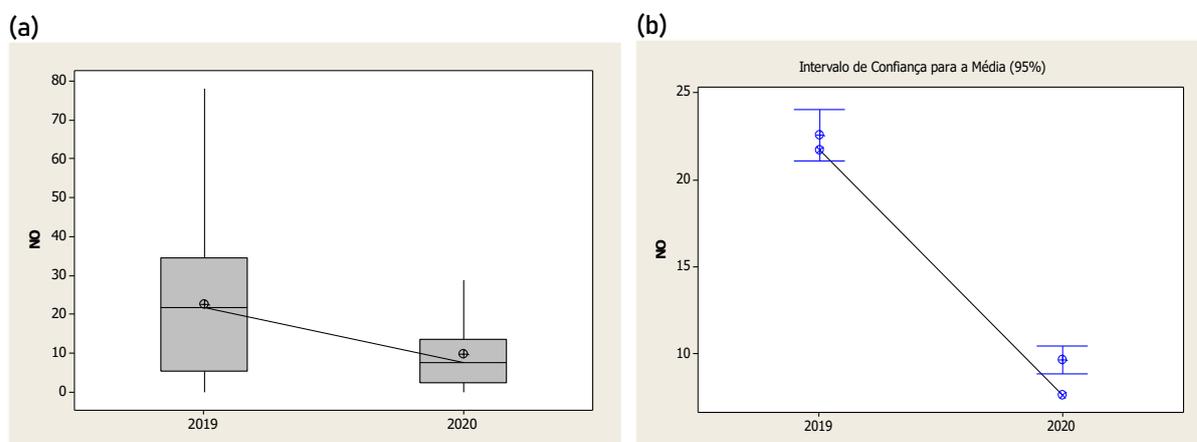
O tráfego veicular é uma das principais fontes de emissão de Óxidos de Nitrogênio (NO_x = NO₂ + NO), sendo usualmente aceito que, no momento da emissão, a parcela de NO₂ (NO₂/NO_x ratio) varia entre 2 a 10% (Soltic e Weilenmann, 2003).

A variabilidade menor observada para o cenário de isolamento 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.

O teste de hipóteses aplicado rejeita a hipótese nula de igualdade entre as medianas dos cenários, ou seja, ao nível de confiança de 95%, foi verificada diferença entre cenários avaliados.

As **Figuras 3(a) e 2(b)** representam a estatística descritiva do parâmetro avaliado no formato de *bloxplot* e o intervalo de confiança para média considerando o nível de confiança de 95%, respectivamente.



Figuras 3 – (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 µg/m³, enquanto que no cenário de isolamento foi de 7,6 µg/m³, ou seja, houve uma redução aproximada de 65%.

Considerando a redução experimentada no tráfego de veículos, de cerca de 50%, a redução mais significativa nas concentrações de NO era esperada, uma vez que, a maior parcela dos óxidos de nitrogênio (NO_x) emitidos pelos veículos automotores está na forma de monóxido de nitrogênio (NO) (Ban-Weiss *et al.*, 2008).

Importante destacar que as concentrações de NO₂ e NO registradas na estação Enseada do Suá também são influenciadas por fontes industriais, especialmente daquelas situadas no complexo de tubarão. Cerca de 73% das emissões de óxidos de nitrogênio (NO_x) 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 óxidos de nitrogênio, conforme apresentado na **Tabela 2**.

Tabela 2 – Variação da produção das principais fontes industriais de emissão de NO_x considerando os meses de março e abril dos anos de 2019 e 2020.

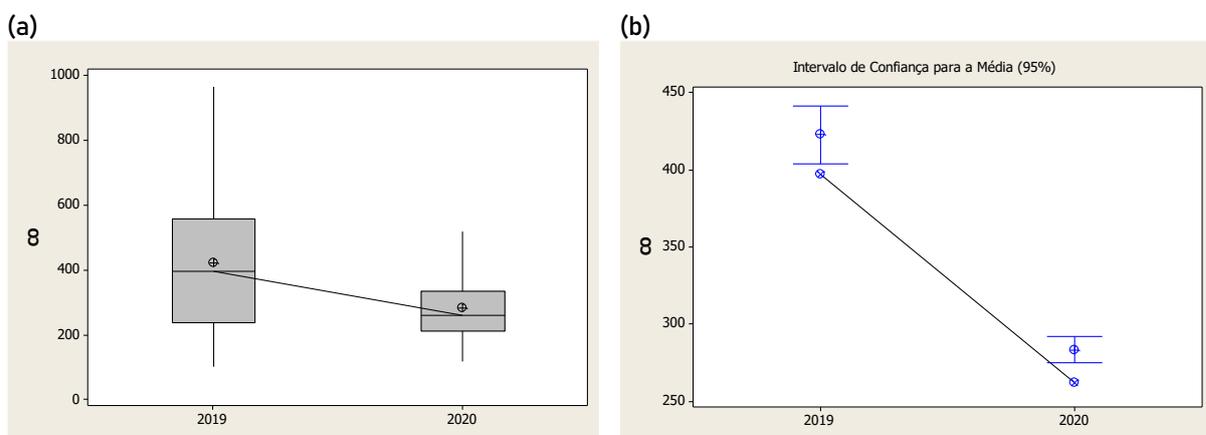
Fonte de Emissão	% de redução na produção
Coquearias (Heat Recovery + Convencional)	9
Sinterização	21
Centrais Termelétricas	12
Usinas de Pelotização	23

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

Monóxido de Carbono – CO

A análise descritiva 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.

As Figuras 4(a) e 4(b) representam a estatística descritiva do parâmetro avaliado no formato de *bloxplot* e o intervalo de confiança para média considerando o nível de confiança de 95%, respectivamente.



Figuras 4 - (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 µg/m³, enquanto que no cenário de isolamento foi de 262,32 µg/m³, ou seja, houve uma redução aproximada de 34%.

A redução no tráfego de veículos, de cerca de 50%, pode ter impactado nas concentrações de CO avaliadas, uma vez que, os veículos automotores são fontes significativas de emissão deste poluente (CETESB, 2020).

A variabilidade menor observada para o cenário de isolamento social em 2020 pode ser explicada pela **diminuição de valores extremos de concentração provocados pela grande circulação de veículos** em horários de pico.

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 3**.

Tabela 3 – Variação da produção das principais fontes industriais de emissão de CO considerando os meses de março e abril dos anos de 2019 e 2020.

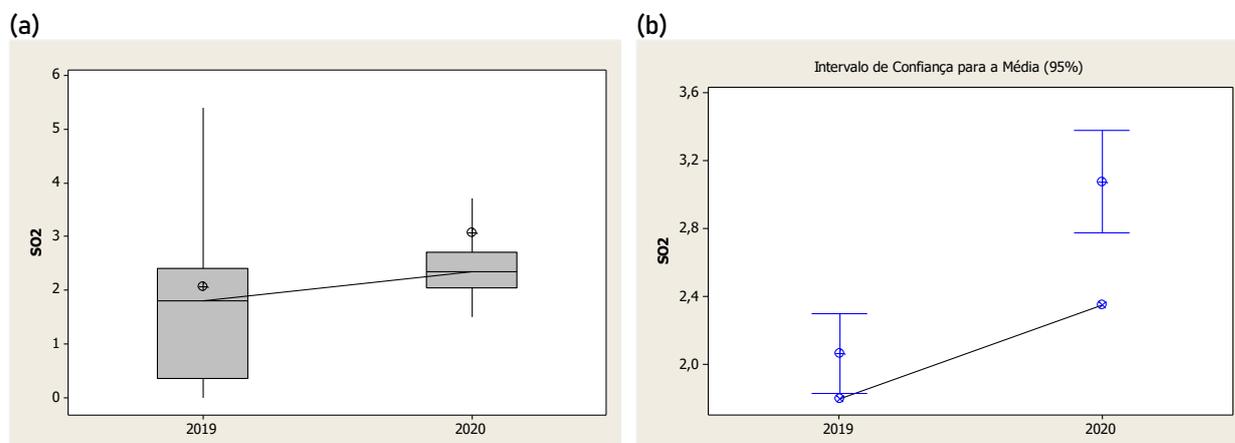
Fonte de Emissão	% de redução na produção
Coquerias (Heat Recovery + Convencional)	9
Sinterização	21

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

Dióxido de Enxofre – SO₂

A **análise descritiva dos dados de SO₂ registrados indicou diferenças entre os cenários avaliados** tanto em localização, com média e mediana superiores no cenário de isolamento, 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.

As **Figuras 5(a)** e **5(b)** representam a estatística descritiva do parâmetro avaliado no formato de *bloxplot* e o intervalo de confiança para média considerando o nível de confiança de 95%, respectivamente.



Figuras 5 - (a) representação *bloxplot* dos dados; (b) Intervalo de confiança de 95% para as médias.

Ao contrário dos outros poluentes primários gasosos, para o Dióxido de Enxofre, verificou-se um aumento da concentração atmosférica na comparação entre os cenários. A mediana da concentração horária no cenário base foi de 1,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ enquanto que no cenário de isolamento foi de 2,35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ou seja, houve um aumento aproximado de 31%.

Para 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 SO₂ de origem industrial (IEMA,2020b).

Mesmo com a redução de importantes fontes industriais de SO₂, conforme apresentado na **Tabela 4**, 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 baixas, sendo influenciada por eventos de pico horários, podendo esta variabilidade ser verificada na **Figura 5 (a)**. Nota-se que apesar de apresentar maiores valores, em termos de mediana, os dados no cenário de isolamento têm menor variabilidade indicando a existência de menos episódios de “picos” de concentração tipicamente associados a fontes industriais.

Tabela 4 - Variação da produção das principais fontes industriais de emissão de SO₂ considerando os meses de março e abril dos anos de 2019 e 2020.

Fonte de Emissão	% de redução na produção
Coquerias (Heat Recovery + Convencional)	9
Sinterização	21
Centrais Termelétricas	12
Usinas de Pelotização	3

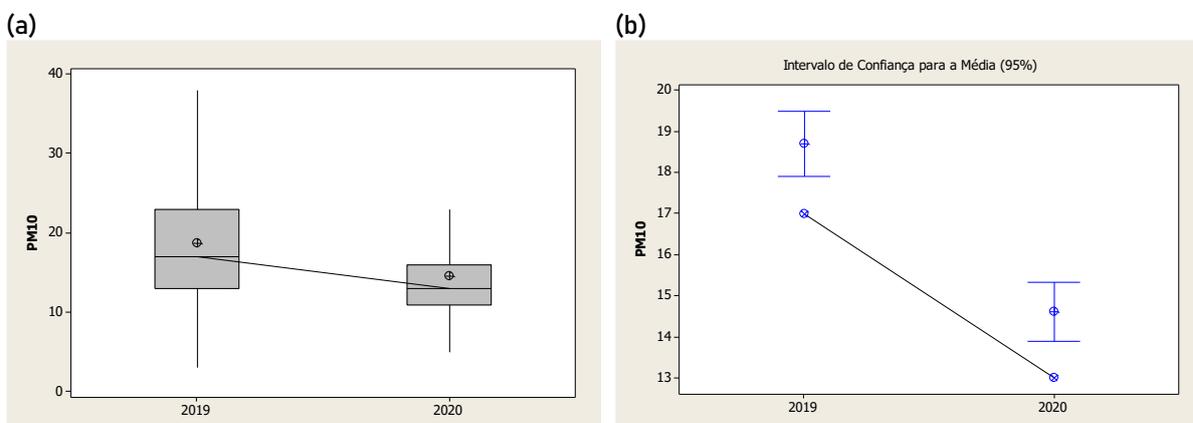
Outro fato que deve ser levado em consideração é a incerteza associada a medição do poluente, que segundo informações do fabricante do analisador de dióxidos de enxofre pode ser de até $2,66 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Isto posto, sob aspecto operacional da medição, não foi possível verificar diferenças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

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

Partículas Inaláveis – MP_{10}

A análise descritiva dos dados de MP_{10} 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.

As Figuras 6(a) e 2(b) representam a estatística descritiva do parâmetro avaliado no formato de *boxplot* e o intervalo de confiança para média considerando o nível de confiança de 95%, respectivamente.



Figuras 6 - (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 MP_{10} no cenário base foi de $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$, enquanto que no cenário de isolamento foi de $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ou seja, houve uma redução aproximada de 23%.

Esta redução pode estar associada a redução no fluxo de veículos na região onde a estação está instalada.

As concentrações de MP₁₀ 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 (MP₁₀) 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 4**, e a **redução no tráfego de veículos, não foi possível verificar grandes alterações em termos de concentração do poluente na atmosfera.**

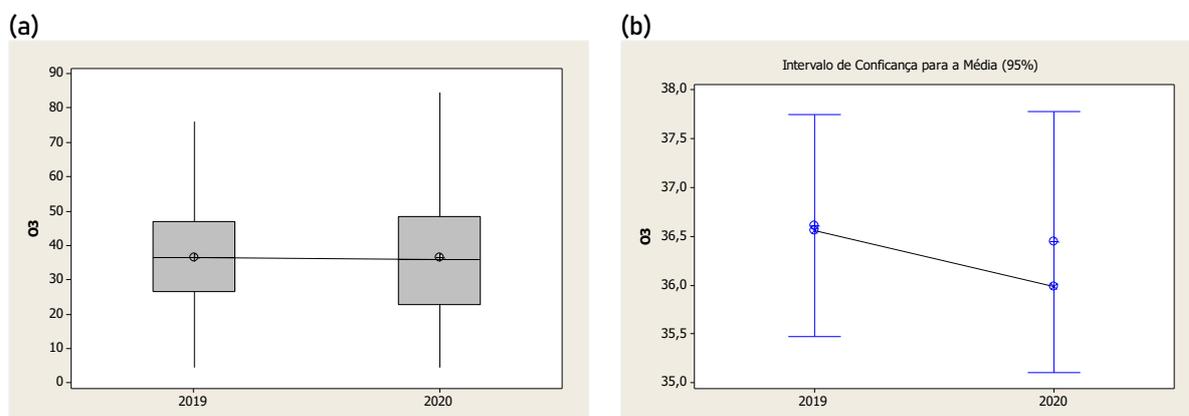
Outro fato que deve ser levado em consideração é a incerteza associada a medição do poluente, que segundo informações do fabricante do analisador de MP₁₀ pode ser de até 2 µg/m³. Isto posto, sob aspecto operacional da medição, não foi possível verificar diferenças nas concentrações deste poluente para os cenários avaliados.

Um resultado importante verificado foi uma **menor variabilidade dos dados para o cenário de isolamento**, demonstrando que a diminuição na circulação de veículos resultou em menos eventos de concentração de pico associados a horários onde o trânsito é mais intenso.

Ozônio – O₃

A análise descritiva dos dados de O₃ 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%, não foi verificada diferença entre cenários avaliados.

As **Figuras 7(a) e 7(b)** representam a estatística descritiva do parâmetro avaliado no formato de *bloxplot* e o intervalo de confiança para média considerando o nível de confiança de 95%, respectivamente.



Figuras 7 - (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 isolamento foi de 35,99 µg/m³.

Outro fato que deve ser levado em consideração é **a incerteza associada a medição do poluente**, que segundo informações do fabricante do analisador de O₃ pode ser de até 1 µg/m³. Isto posto, sob aspecto operacional da medição, não foi possível verificar diferenças nas concentrações deste poluente para os cenários avaliados.

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 transformação fotoquímica de poluentes percussores 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).

CONCLUSÃO

As medidas de isolamento social impostas em função da pandemia de COVID-19 tiveram impacto na qualidade do ar na Região da Grande Vitória, mesmo não sendo estabelecidas para esta finalidade.

A diminuição da circulação de pessoas, veículos e, em alguns casos, da produção industrial impactam diretamente na quantidade de poluentes que são lançados na atmosfera.

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), estatisticamente, foi verificado um aumento nas concentrações do poluente considerando os cenários avaliados. No entanto, deve-se ressaltar que as concentrações registradas estão muito próximas e dentro da incerteza admitida para operação do analisador de SO₂. Outro resultado importante verificado para este poluente foi a atenuação dos picos horários registrados para SO₂ durante o cenário de isolamento, provavelmente causado pela redução das atividades industriais.

Para as Partículas Inaláveis (MP₁₀) estatisticamente, foi verificado uma redução de 23% nas concentrações do poluente considerando os cenários avaliados. No entanto,

deve-se ressaltar que as concentrações registradas estão muito próximas e dentro da incerteza admitida para operação do analisador de MP₁₀. Outro resultado importante verificado para este poluente foi a atenuação dos picos horários registrados para MP₁₀ durante o cenário de isolamento, provavelmente causado pela redução na circulação de veículos.

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.

REFERENCIAS

BAN-WEISS, G. A. *et al.* Carbonyl and nitrogen dioxide emissions from gasoline- and diesel-powered motor vehicles. **Environmental Science and Technology**, v. 42, n. 11, p. 3944–3950, 2008.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Emissão Veicular**. Disponível em <<https://cetesb.sp.gov.br/veicular>>. Acesso em: 15 mai. 2020.

ELPERIN, T. *et al.* **Effect of rain scavenging on altitudinal distribution of soluble gaseous pollutants in the atmosphere** *Atmospheric Environment*, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA (IBGE). **Brasil em Síntese- Cidades**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 15 mai. 2020.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HIDRICOS (IEMA). **Relatório da Qualidade do Ar na Grande Vitória 2019**. Disponível em: <<https://iema.es.gov.br/qualidadedoar/relatorios>>. Acesso em: 15 mai. 2020a.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HIDRICOS (IEMA). **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.

LEIRIÃO, L. F. L. *et al.* 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, n. 6, p. 24–31, 2020.

MOREIRA, D.; TIRABASSI, T. Modelo matemático de dispersão de poluentes na atmosfera: um instrumento técnico para a gestão ambiental. **Ambiente & Sociedade**, v. 7, n. 2, p. 159–172, 2004.

PANDIS, S. N.; SEINFELD, J. H. **Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change**. 2nd. ed. New York: Wiley – Interscience Publication, 2006.

PRICE, H. U. *et al.* Photochemistry, ozone production, and dilution during long-range transport episodes from Eurasia to the northwest United States. **Journal of Geophysical Research D: Atmospheres**, v. 109, n. 23, p. 1–10, 2004.

SILVA, C. B. P. DA *et al.* Evaluation of the air quality benefits of the subway system in São Paulo, Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 101, p. 191–196, 2012.

SOLTIC, P.; WEILENMANN, M. NO₂/NO emissions of gasoline passenger cars and light-duty trucks with Euro-2 emission standard. **Atmospheric Environment**, v. 37, n. 37, p. 5207–5216, 2003.

APENDICE I – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS AVALIADOS E RESULTADOS DOS TESTES DE HIPÓTESES (*p*-valor)

NO ₂	Estatísticas	2019	2020	Kruskal-Wallis p-valor
	Média	20,29	16,71	0,000
	Desvio Padrão	9,42	6,77	
	Mediana	20,9	15,88	
NO	Estatísticas	2019	2020	Kruskal-Wallis p-valor
	Média	22,56	9,65	0,000
	Desvio Padrão	18,57	9,84	
	Mediana	21,7	7,64	
SO ₂	Estatísticas	2019	2020	Kruskal-Wallis p-valor
	Média	2,06	3,08	0,000
	Desvio Padrão	2,92	3,76	
	Mediana	1,8	2,35	
MP ₁₀	Estatísticas	2019	2020	Kruskal-Wallis p-valor
	Média	18,695	14,614	0,000
	Desvio Padrão	8,61	8,934	
	Mediana	17	13	
O ₃	Estatísticas	2019	2020	Kruskal-Wallis p-valor
	Média	36,612	36,442	0,555
	Desvio Padrão	14,118	16,672	
	Mediana	36,56	35,99	
CO	Estatísticas	2019	2020	Kruskal-Wallis p-valor
	Média	422,73	283,4	0,000
	Desvio Padrão	231,7	107,06	
	Mediana	397,13	262,32	