

# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA EM UMA ÁREA URBANA NA CIDADE DE FORTALEZA, CEARÁ, BRASIL

Cícero Janderson Tavares Neves<sup>1</sup>

Michael Lima Silva<sup>1</sup>

Jéssica Rocha de Lima<sup>1</sup>

Adeildo Cabral da Silva<sup>1</sup>

Adriana Guimarães Costa<sup>1</sup>

\* Rinaldo dos Santos Araújo<sup>2</sup>

## ASSESSMENT OF ATMOSPHERIC POLLUTION IN AN URBAN AREA OF FORTALEZA, CEARÁ, BRAZIL

Recibido el 19 de septiembre de 2022. Aceptado el 27 de junio de 2023

### Abstract

*The growing economic development associated with urban mobility has intensified the emission of pollutants into the atmosphere, which causes serious environmental and public health problems. Air quality assessment studies are important tools to support technical information that allow the establishment of public policies to mitigate air pollution damages. In this context, this study aimed to evaluate the air quality in an urban stretch in the city of Fortaleza, Ceará. The samplings were carried out between the months of September 2021 to March 2022, comprising the dry and rainy periods. The pollutants analyzed were the total suspended particulate (TSP), inhalable particulate (PM<sub>10</sub>), fine inhalable particulate (PM<sub>2.5</sub>), O<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub> and total volatile organic compounds (TVOC). The results showed mean concentrations of 37.9 µg/m<sup>3</sup> of TSP; 25.4 µg/m<sup>3</sup> of PM<sub>10</sub>; 19.9 µg/m<sup>3</sup> of PM<sub>2.5</sub> and 39.8 µg/m<sup>3</sup> of O<sub>3</sub> which are in accordance with the limits of the air quality standards recommended by Brazilian legislation. The CO<sub>2</sub> and TVOC levels observed were 564.5 ppm and 248.7 ppb, respectively. In general, the average concentrations of monitored pollutants reveal an urban environment with air quality classified as good.*

**Keywords:** air pollution, air quality, health, urban environmental.

<sup>1</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Fortaleza, CE, Brasil.

<sup>2</sup> Departamento de Química e Meio Ambiente. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Fortaleza, CE, Brasil.

\* *Autor correspondente:* Departamento de Química e Meio Ambiente. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. Avenida 13 de Maio, 2081, Benfica, Fortaleza, Ceará. 60040-531. Brasil. [rinaldo@ifce.edu.br](mailto:rinaldo@ifce.edu.br)

## Resumo

O crescente desenvolvimento econômico associado a mobilidade urbana tem intensificado a emissão de poluentes na atmosfera o que origina sérios problemas ambientais e de saúde pública. Estudos de avaliação da qualidade do ar se constituem em importantes ferramentas para subsidiar informações técnicas que permitam o estabelecimento de políticas públicas para mitigação dos danos da poluição do ar. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade do ar em um trecho urbano com intenso tráfego de veículos na cidade de Fortaleza, Ceará. Experimentalmente foram realizadas amostragens entre os meses de setembro de 2021 a março de 2022, compreendendo os períodos seco e chuvoso. Os poluentes analisados foram o particulado total em suspensão (PTS), o particulado inalável ( $MP_{10}$ ), o particulado inalável fino ( $MP_{2.5}$ ), o  $O_3$ , o  $CO_2$  e os compostos orgânicos voláteis totais (COVT). Os resultados mostraram concentrações médias de  $37.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de PTS;  $25.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $MP_{10}$ ;  $19.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $MP_{2.5}$  e  $39.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $O_3$ , as quais atendem aos limites dos padrões de qualidade do ar preconizados pela legislação brasileira. Os níveis de  $CO_2$  e COVT observados foram de 564.5 ppm e 248.7 ppb, respectivamente. Em geral as concentrações médias dos poluentes monitorados revelam um ambiente urbano com a qualidade do ar classificada como boa.

**Palavras-chave:** poluição do ar, qualidade do ar, saúde, ambiente urbano.

---

## Introdução

A degradação da qualidade do ar é um problema enfrentado principalmente nos grandes centros urbanos os quais detêm as maiores fontes de emissão de poluentes de origem veicular e industrial, resultando em prejuízos ao meio ambiente e a sociedade como um todo (O'Leary; Parr; El-Sayed, 2022).

Os veículos automotores representam uma importante fonte de poluição do ar, respondendo por uma quantidade expressiva da emissão de poluentes gasosos e partículas na atmosfera nas grandes cidades (Ferreira e Oliveira, 2016). Segundo a Secretaria Nacional de Trânsito a frota brasileira de veículos automotores cresceu em 2021 cerca de 3.2% em comparação ao quantitativo do ano anterior (Brasil, 2022). Notadamente, no Brasil a pandemia de COVID-19 determinou uma menor mobilidade urbana devido as restrições adotadas pelo governo para conter o aumento da transmissão viral do SARS-CoV-2.

Adam *et al.* (2021) em uma ampla revisão da literatura observaram que em diversos países houve reduções nos níveis de poluição do ar, devido a pandemia de COVID-19. No entanto, estes autores verificaram que os níveis de ozônio ( $O_3$ ) se elevaram ou se mantiveram estáveis no período pandêmico.

A poluição do ar ocasiona doenças agudas e crônicas, redução da expectativa de vida, prejuízos as funções respiratórias, nervosas e sensorial, além de aumentar os níveis de mortalidade resultantes da piora da qualidade do ar (Derisio, 2012). Markozannes *et al.* (2022) observaram

em seu estudo de revisão sistemática e meta-análise que os níveis de mortalidade decorrentes por acidente vascular cerebral e pneumonia e as hospitalizações ocasionadas por asma e hipertensão possuem forte relação com o grau de poluição do ar em ambiente urbano.

De acordo com os “Objetivos do Desenvolvimento Sustentável” (ODS), preconizados pela Organização das Nações Unidas (ONU), a redução dos impactos ambientais e sociais causados pela poluição do ar faz parte de um conjunto de 169 metas a nível global e 175 metas adequadas a realidade brasileira pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) para atingir o desenvolvimento sustentável até o ano de 2030 (IPEA, 2018; ONU, 2015).

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) os principais poluentes recomendados para fins de monitoramento em áreas urbanas são: o material particulado inalável ( $MP_{10}$ ) e inalável fino ( $MP_{2.5}$ ),  $O_3$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$  e  $CO$  (WHO, 2021). No entanto, as legislações, brasileira (CONAMA 491/18), europeia (*Directive* 2008/50/EC) e americana (EPA, 2015) acrescentam para fins de monitoramento os seguintes poluentes: partículas totais em suspensão (PTS), hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), Pb, As, Ni, Cd, fumaça e benzeno. No contexto da saúde ocupacional o monitoramento da poluição do ar se destaca como mecanismo fundamental para mensurar as concentrações de poluentes, estimando os níveis de poluição atmosférica e promovendo políticas públicas que visem a melhoria da qualidade de vida da população e a redução dos gastos públicos em saúde.

No Brasil a maior rede de monitoramento da qualidade do ar de natureza pública está localizada no estado de São Paulo, composta por 90 estações ativas (automáticas e manuais), sendo 41 na região metropolitana e 49 nas cidades do interior paulista (Vormittag, 2021). O estado do Ceará contempla apenas 2 estações de monitoramento, sendo um caráter móvel e outra fixa, a qual está localizada na Estação Ecológica do Pecém, no município de São Gonçalo do Amarante (SEMACE, 2020). Neste contexto é perceptível que o monitoramento da qualidade do ar no Brasil não possui uma abrangência territorial homogênea, o que compromete as ações que visem o acompanhamento e controle da poluição do ar em escala local e nacional.

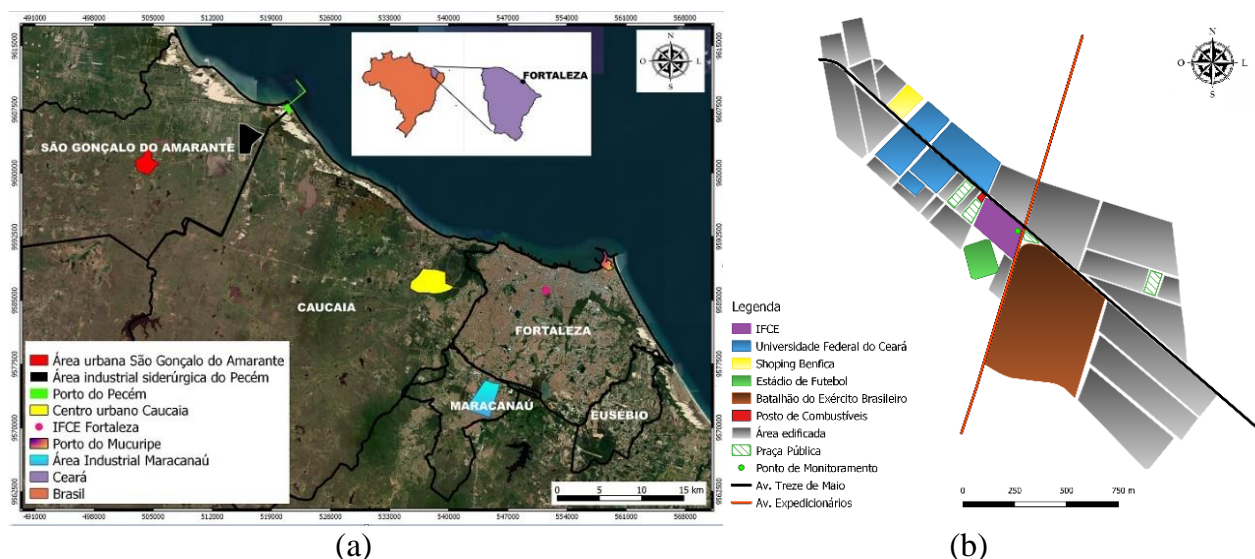
Particularmente, na cidade de Fortaleza, uma das 5 principais capitais do Brasil em população e desenvolvimento urbano, Lima (2015) realizou no ano de 2014 em um trecho da Avenida 13 de Maio caracterizado como uma área urbana de intenso tráfego veicular, um monitoramento detalhado de poluentes atmosféricos, representados pelos materiais particulados (PTS,  $MP_{10}$ ,  $MP_{2.5}$ ), fumaça, carbono negro (*black carbon*) e gases inorgânicos ( $SO_2$ ,  $NO_2$  e  $NH_3$ ). Em geral, a qualidade do ar foi considerada “boa” na maioria das campanhas realizadas por este autor.

Assim, o presente estudo visa monitorar poluentes atmosféricos e avaliar a qualidade do ar na cidade de Fortaleza notadamente em um período de retorno das atividades urbanas ainda sob influência de um cenário de pandemia viral representada pela COVID-19.

## Metodologia

### Área de estudo

Fortaleza é uma cidade litorânea banhada pelo Oceano Atlântico que está localizada no nordeste brasileiro. O índice de desenvolvimento humano (IDH) é de 0.754. A cidade possui clima tropical quente sub-úmido com uma área territorial absoluta de 314.9 km<sup>2</sup> que abriga cerca de 2,452,185.00 habitantes, conforme o último censo realizado em 2010 (IPECE, 2018). A Figura 1a destaca as regiões urbanas e industriais que exercem influência sobre a área de monitoramento da qualidade do ar, com destaque para as indústrias portuárias, petroquímicas e alimentícias na zona leste da cidade; o distrito industrial na zona sul e a área industrial e portuária na zona oeste (Rocha *et al.*, 2022).



**Figura 1.** Mapa da cidade de Fortaleza (a) e representação gráfica do trecho urbano em estudo (b). *Fonte: Elaboração própria.*

A Figura 1b ressalta a área de amostragem urbana localizada nas dependências do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) *Campus* de Fortaleza. A estação fixa de monitoramento da qualidade do ar foi instalada a cerca de 35 m do cruzamento entre as avenidas Treze de Maio e Expedicionários, sob coordenadas geográficas de latitude 3° 44' 41" S e longitude 38° 32' 07" W. Segundo relatório divulgado pela Autarquia Municipal de Trânsito e Cidadania (AMC) da cidade de Fortaleza no ano de 2022, a Avenida Treze de Maio é a sétima avenida mais movimentada da cidade de Fortaleza, com média diária de 43,950.00 veículos motorizados (Portal G1, 2022).

### Monitoramento dos poluentes

Os parâmetros meteorológicos representados pela temperatura do ar ( $T_{Ar}$ ), umidade relativa do ar (UR), precipitação pluviométrica (Prec.) e direção e velocidade dos ventos (Vv.) foram mensurados usando uma estação meteorológica *Davis Vantage Vue Wireless K6250* a uma altura de 2 m. Os dados foram registrados de forma contínua em intervalos de 30 min durante os seis meses de experimento.

O monitoramento das concentrações dos poluentes foi realizado conforme as diretrizes da legislação brasileira vigente (Resolução CONAMA N° 491/2018) compreendendo 31 coletas realizadas em um intervalo de seis meses, entre setembro de 2021 e março de 2022, abordando as quadras climatológicas seca e chuvosa. De acordo com Moura *et al.* (2015), o município de Fortaleza possui período chuvoso ocorrendo no intervalo semestral de janeiro a junho e uma estação seca compreendendo os meses de julho a dezembro, tendo em média os meses de abril e novembro como o mais chuvoso e seco, respectivamente.

A frequência amostral utilizada foi de 1 coleta a cada 6 dias a fim de abranger todos os dias da semana (Lima, 2017). Os poluentes: partículas totais em suspensão (PTS), material particulado inalável ( $MP_{10}$ ) e material particulado inalável fino ( $MP_{2.5}$ ) foram amostrados em um período de 24 h e  $O_3$  em tempos de 8 h (das 9 h às 17 h) com registros de concentração a cada 1 h. Com relação ao  $CO_2$  e os compostos orgânicos voláteis totais (COVT) foi adotado um período de coleta de dados de 24 h com registro de medições a cada 30 min.

As medições de PTS,  $MP_{10}$ ,  $MP_{2.5}$  foram executadas em amostradores de grande volume Hivol HVS 3000® da Ecotech em acordo com as normas técnicas brasileiras NBR 13412/1995 e NBR 9547/1997, sendo a concentração de cada particulado determinada gravimetricamente em uma balança analítica Shimadzu AUW220D. Para a mensuração dos níveis de  $O_3$  foi utilizado um monitor de ozônio Modelo 202 da 2B Technologies posicionado a uma altura de 1.5 m do solo. Os poluentes  $CO_2$  e COVT foram determinados usando um instrumento registrador de dados HOBO U12-013 *data logger* com dois canais externos para sensores tipo TEL-7001 de  $CO_2$  (0 - 2500 ppm) e T-ION-TVOC para compostos orgânicos voláteis totais (0 - 10 ppm) também disposto a uma altura de 1.5 m do solo. Todos os equipamentos foram dispostos conforme a altura de referência para coleta de particulados indicada pela Resolução N° 09 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Brasil (ANVISA, 2003).

A fim de comparar as concentrações dos poluentes mensurados (PTS,  $MP_{10}$ ,  $MP_{2.5}$  e  $O_3$ ) e avaliar seus impactos foram utilizadas a legislação nacional do CONAMA (2018) e as legislações internacionais da *Directive 2008/50/EC*, NAAQS (EPA, 2015) e OMS (WHO, 2021). Com relação ao  $CO_2$  e os compostos orgânicos voláteis totais (COVT) não há legislação nacional para monitoramento em ambientes externos.

A avaliação da qualidade do ar na área em estudo foi realizada a partir da estimativa dos Índice de Qualidade do Ar (*IQAr*) de alguns poluentes monitorados. Para o cálculo do *IQAr* foi utilizado a Equação 1 que converte as concentrações dos poluentes ( $MP_{10}$  24 h,  $MP_{2.5}$  24 h,  $O_3$  8 h,  $CO$  8 h,  $NO_2$  1 h e  $SO_2$  24 h) em um número adimensional, correspondente a um índice que está relacionado a um nível de qualidade do ar representado por uma cor (EPA, 2006).

$$IQAr = I_{ini} + \left( \frac{I_{fin} - I_{ini}}{C_{fin} - C_{ini}} \right) * (C - C_{ini}) \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde

$I_{ini}$ : valor do índice que corresponde à concentração inicial da faixa;

$I_{fin}$ : valor do índice que corresponde à concentração final da faixa;

$C_{ini}$ : concentração inicial da faixa em que se localiza a concentração medida;

$C_{fin}$ : concentração final da faixa em que se localiza a concentração medida;

$C$ : concentração medida do poluente.

Na identificação utilizada pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) usa-se o seguinte padrão de análise: coloração verde (qualidade do ar é “Boa”, *IQAr*: 0-40), cor amarela (qualidade do ar é “Moderada”, *IQAr*: 41-80), cor alaranjada (qualidade do ar é “Ruim”, *IQAr*: 81-120), coloração vermelha (qualidade do ar é “Muito Ruim”, *IQAr*: 121-200) e coloração violeta (qualidade do ar é “Péssima”, *IQAr* > 200) (CETESB, 2013).

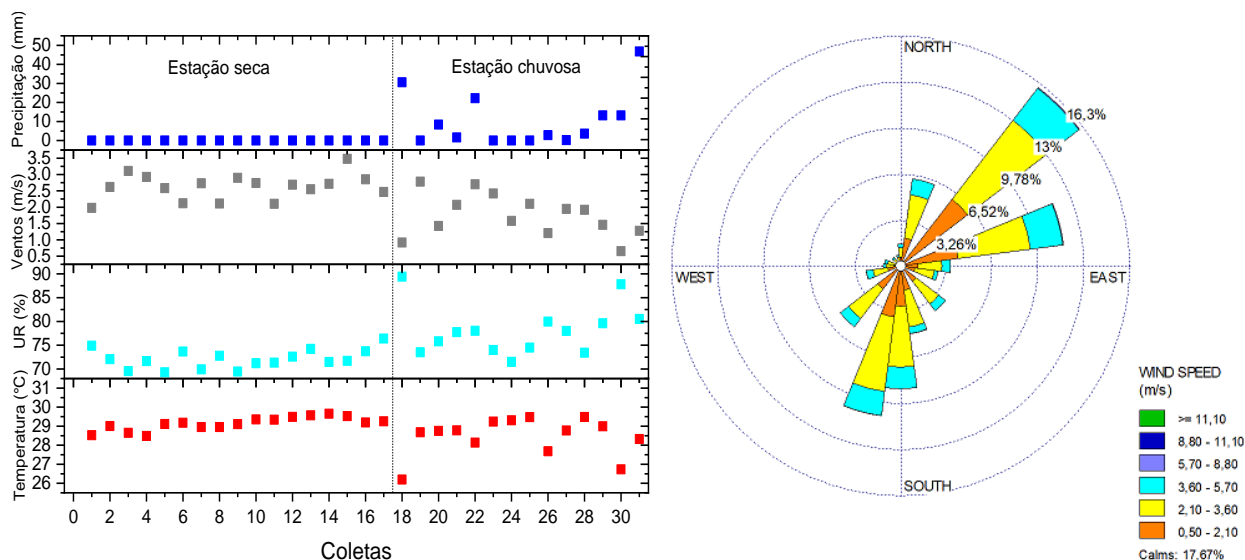
### Análise estatística dos dados

A análise estatística dos poluentes foi realizada para os parâmetros de média, desvio padrão, valores máximos e mínimos e coeficiente de variação. Além dessas estatísticas foi aplicado o teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e a partir do tipo de distribuição amostral encontrada foram estimadas as correlações de Pearson (normal) ou Spearman (não-normal) a fim de verificar as associações entre os poluentes e as variáveis meteorológicas na área em estudo.

## **Resultados e discussão**

### Parâmetros meteorológicos

Os valores das variáveis meteorológicas na área urbana estão mostrados na Figura 2. A figura apresenta o comportamento das variáveis meteorológicas na área em estudo, ressaltando que a temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade dos ventos alcançaram valores médios de 28.8 °C, 75% e 2.2 m/s, respectivamente. Com relação a precipitação pluviométrica tem-se um acumulado de 142.6 mm durante o experimento, com valor máximo atingindo 46.8 mm no dia 21 de março de 2022. Considerando a dinâmica dos ventos neste trecho urbano, tem-se que a área em análise prevalece as direções nordeste, leste-nordeste, sul e sul-sudoeste com 17.7% correspondendo a ventos calmos e 38.6% dos ventos com velocidades entre 2.1 e 3.6 m/s. Vale salientar que na estação chuvosa, observou-se reduções na intensidade dos ventos e na carga térmica no trecho urbano em estudo.



**Figura 2.** Parâmetros meteorológicos observados na área de estudo durante o período de setembro de 2021 a março de 2022.

Segundo Moreira *et al.* (2008) os parâmetros meteorológicos exercem influência na qualidade do ar urbano, devido a sua contribuição nos processos de dispersão e deposição de poluentes. Han *et al.* (2021) descrevem que uma menor intensidade de ventos pode comprometer a dispersão de poluentes, enquanto o aumento de temperatura do ar pode proporcionar maior formação de O<sub>3</sub>. Ademais, também vale ressaltar que uma maior radiação solar tende a propiciar elevação dos níveis de O<sub>3</sub> (Tao *et al.*, 2018).

### Concentração dos poluentes

As concentrações médias dos poluentes atmosféricos monitorados na área em estudo no período de 6 meses estão dispostas na Tabela 1.

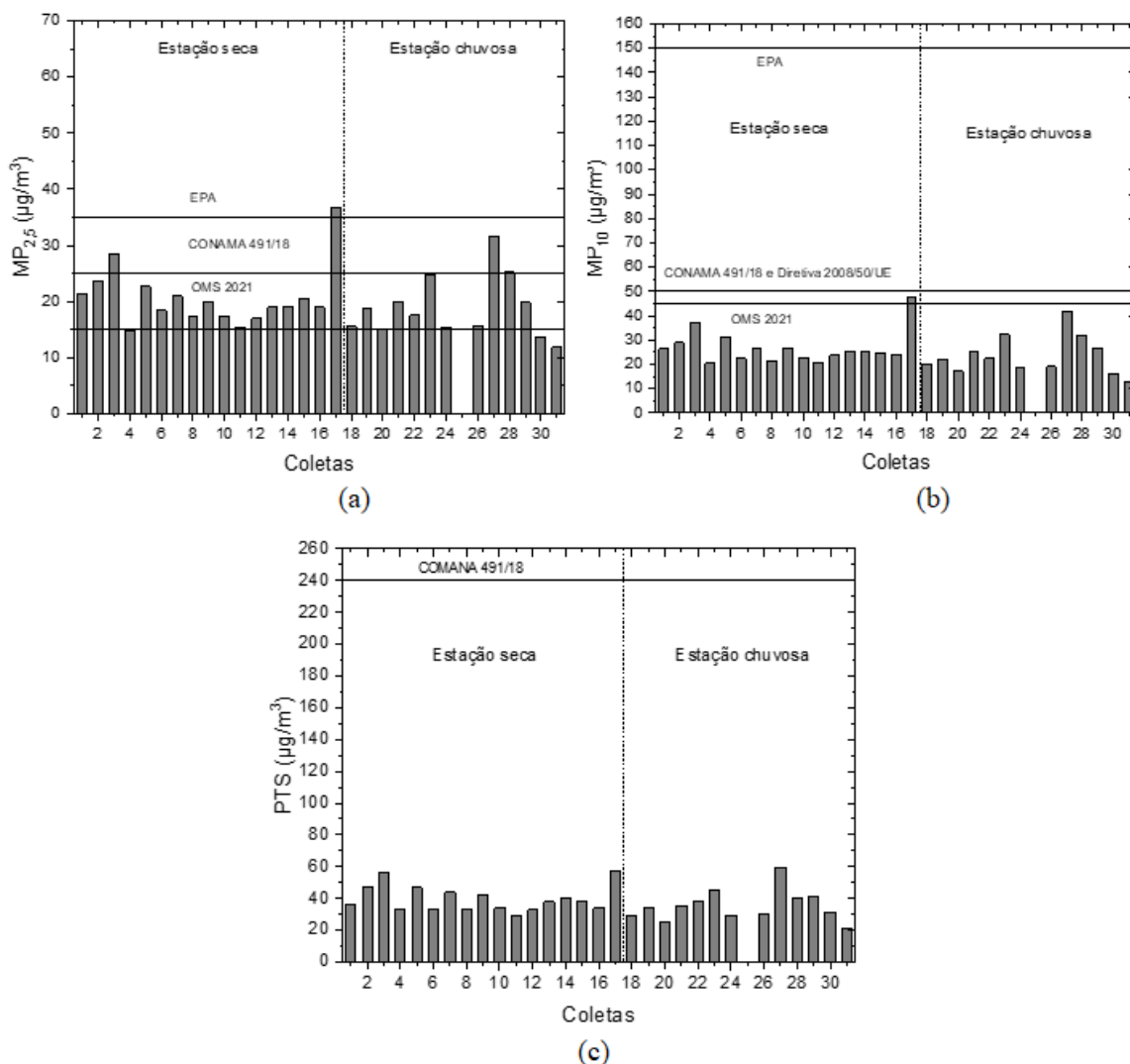
**Tabela 1.** Concentração média dos poluentes no período de setembro de 2021 a março de 2022 na área urbana em estudo.

Poluente	Estatística					
	N*	$\bar{x}$	s	CV (%)	Valor mínimo	Valor máximo
MP <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	30	19.9	5.36	26.9	11.8	36.7
MP <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	30	25.4	7.34	28.9	12.7	47.6
PTS (µg/m <sup>3</sup> )	30	37.9	9.05	23.9	20.9	59.3
O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>	30	39.8	1.14	2.9	37.0	41.5
COVT (ppb)	30	248.7	201.6	81.1	34.3	719.7
CO <sub>2</sub> (ppm)	30	564.5	61.1	10.8	457.5	657.1

\*A coleta 25 foi desconsiderada em função de uma atividade antrópica atípica que ocorreu próxima a área de estudo. <sup>1</sup>Medições de 8 h. N: Número de amostras,  $\bar{x}$ : média, s: desvio padrão e CV: coeficiente de variação.

Em geral, os valores médios para o PTS, MP<sub>10</sub>, MP<sub>2.5</sub> e O<sub>3</sub> (Tabela 1) permaneceram com níveis abaixo dos limites determinados pela legislação nacional e internacional (CONAMA 491/18, *Directive 2008/50/EC* e NAAQS). No entanto, para os padrões recomendados pela OMS observa-se que o MP<sub>2.5</sub> atingiu concentração média superior a 15 µg/m<sup>3</sup>. Ademais, não há normas estabelecendo limites para o monitoramento de COVT e CO<sub>2</sub> em ambientes externos.

A Figura 3 apresenta os valores das concentrações dos materiais particulados no período de monitoramento na área urbana selecionada.



**Figura 3.** Concentração (24 h) de materiais particulados na área em estudo durante o período de setembro de 2021 a março de 2022. a) MP<sub>2.5</sub>, b) MP<sub>10</sub> e c) PTS.



As concentrações de  $MP_{2.5}$  variaram entre  $11.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $36.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , observando-se que em 27 campanhas (90% das amostras) os valores ultrapassaram os limites preconizados pela OMS, no entanto, caso seja considerada a legislação brasileira tem-se que em apenas 4 campanhas as concentrações de  $MP_{2.5}$  ficaram acima do recomendado. O nível médio de  $MP_{2.5}$  atingiu  $19.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , sendo que concentrações em período seco e chuvoso foram de  $20.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $18.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, o que indica um decréscimo de 8.7% dos níveis de partículas inaláveis finas no período de chuvas (Figura 3a).

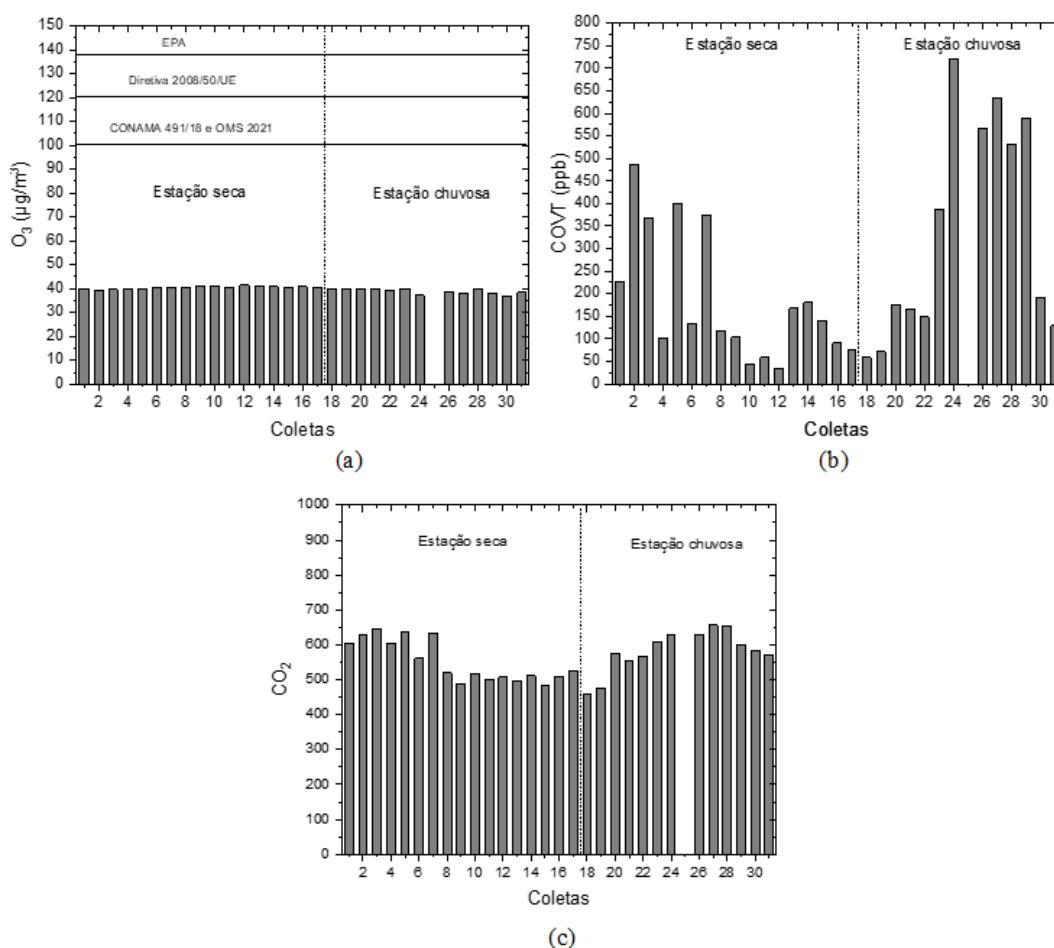
As partículas inaláveis ( $MP_{10}$ ) apresentaram níveis mínimo de  $12.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e máximo de  $47.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , com valor médio de  $25.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Figura 3b), no entanto, para as estações seca e chuvosa as concentrações médias foram de  $26.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $23.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. A redução dos níveis de  $MP_{10}$  foram da ordem de 12.3% na quadra chuvosa. Os níveis de partículas totais em suspensão, PTS, (Figura 3c) estão dentro dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA 491/18, com valor médio de  $37.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e variação entre  $20.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $59.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Quando se comparam as diferentes estações climáticas as concentrações médias de PTS foram  $39.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  na estação seca e  $35.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  na estação chuvosa, resultando em um decréscimo de 11% deste poluente no período das chuvas.

Ademais, vale ressaltar que as concentrações médias nos dias da semana (coletas 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 27, 28, 29, 30 e 31) apresentaram valores de  $39.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PTS;  $26.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $MP_{10}$  e  $20.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $MP_{2.5}$ , os quais são superiores as médias observadas nos fins de semana (coletas 4, 5, 11, 12, 18, 19 e 26) que foram de  $33.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PTS;  $22.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $MP_{10}$  e  $17.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $MP_{2.5}$ . Por comparação observam-se reduções de 14%, 14.4% e 17.4% dos poluentes PTS,  $MP_{10}$  e  $MP_{2.5}$  nos fins de semana, o que pode ser justificado pelo menor volume de emissões decorrentes do tráfego veicular na área em estudo.

No mesmo sítio urbano de monitoramento da qualidade do ar deste estudo, Lima (2015) no ano de 2014 encontrou concentrações médias de PTS,  $MP_{10}$  e  $MP_{2.5}$  de  $73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $31.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $21.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Para fins de avaliação os resultados deste estudo foram comparados aos encontrados no período desta investigação (2021-2022) usando o teste não-paramétrico de Mann-Whitney (Nachar, 2008). A análise estatística mostrou que as concentrações de PTS e de  $MP_{10}$  apresentaram diferenças significativas entre os períodos de monitoramentos, enquanto para o  $MP_{2.5}$  não foram observadas diferenças significativas entre os valores. As diferenças entre as concentrações encontradas em 2014 para os dois anos de 2021-2021 podem ser atribuídas às ações governamentais de restrição da mobilidade urbana como forma de contenção aos efeitos da pandemia de COVID-19. Rocha *et al.* (2022) relatam que na cidade de Fortaleza, Ceará, houve um decréscimo das concentrações de  $MP_{10}$  e  $MP_{2.5}$  de 34.3% e 50.5%, respectivamente, durante o bloqueio parcial realizado devido a pandemia de COVID-19 no ano de 2020.

Rudke *et al.* (2022) observaram que os níveis de particulados no estado de São Paulo após 30 dias da aplicação de medidas de restrições de mobilidade com o propósito de conter a disseminação do vírus SARS-CoV-2 apresentaram decréscimos de 13.9% de MP<sub>10</sub> e 20.4% de MP<sub>2.5</sub> em relação ao período monitorado de 2015 a 2019. Han *et al.* (2021) monitoraram a qualidade do ar em cinco locais na metrópole chinesa de Xi'na e verificaram que no período de *lockdown* os níveis de MP<sub>10</sub> e MP<sub>2.5</sub> foram reduzidos em 20.7% e 22.4%, respectivamente, em relação ao período de pré-confinamento.

As variações das concentrações dos gases poluentes: O<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub> e COVT estão apresentadas na Figura 4. Em relação ao ozônio (Figura 4a) observa-se uma variação praticamente insignificante das concentrações diárias de O<sub>3</sub>. Os valores médio, mínimo e máximo alcançados foram de 39.8 µg/m<sup>3</sup>; 37.0 µg/m<sup>3</sup> e 41.5 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente.



**Figura 4.** Concentração dos poluentes: a) O<sub>3</sub> (8 h), b) COVT (24 h) e c) CO<sub>2</sub> (24 h) na área em estudo durante o período de setembro de 2021 a março de 2022.

Lima (2017) realizou monitoramento da qualidade do ar no distrito industrial de Maracanaú e observou uma concentração média de  $O_3$  de  $38.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , próxima a observada neste estudo, sendo verificado uma elevação dos níveis diários de  $O_3$  no período da tarde. Rocha *et al.* (2022) em período de bloqueio total ocorrido no ano de 2020 em Fortaleza, Ceará, visando conter a propagação viral do SARS-CoV-2 relatam um acréscimo nos níveis de  $O_3$  de 3% em relação ao período pré-pandêmico.

He *et al.* (2021) analisaram a qualidade do ar de 380 cidades em nível global durante o intervalo de março a maio de 2020 e verificaram um acréscimo na concentração de  $O_3$  de 5.4%, sugerindo uma tendência mundial no aumento deste poluente no período pandêmico.

Em relação aos compostos orgânicos voláteis totais (Figura 4b) observa-se que as concentrações médias de COVT alcançaram 248.7 ppb com elevado coeficiente de variação (81.1%), para valores médios mínimo de 34.3 ppb e máximo de 719.7 ppb. Com relação aos níveis de  $CO_2$  relata-se um valor médio de 564.5 ppm com médias de concentração mínima de 457.5 ppm e máxima de 657.1 ppm (Figura 4c). Nos fins de semana há uma redução de 4.5% e 31.5% nas concentrações médias de  $CO_2$  e COVT em relação ao período compreendendo os dias da semana. As reduções de COVT foram as mais significantes e assim como observado para os materiais particulados ratificam o menor impacto das emissões veiculares em dia de baixo tráfego.

Al-Haija *et al.* (2019) relatam que os níveis de COVT em meio urbano incrementam com a intensidade do tráfego veicular e maior presença de vegetação. Adicionalmente, Becerra *et al.* (2020), Chamseddine *et al.* (2019) e Jia *et al.* (2019) sugerem que ambientes internos são mais suscetíveis a maiores concentrações de  $CO_2$  e COVT que em áreas externas.

Becerra *et al.* (2020) observaram na cidade de Ronda, Espanha, concentrações de  $CO_2$  e COVT de 448.7 ppm e 128.8 ppb, respectivamente, as quais são inferiores as encontradas neste estudo. Le e Linh (2020) efetuaram um estudo de qualidade do ar em Hanoi, Vietnam, no ano de 2013 e verificaram sob influência de tráfego veicular concentrações de  $CO_2$  e COVT de 427.6 ppm e 925.2 ppb, respectivamente. Este valor de  $CO_2$  é inferior ao observado nesta pesquisa, enquanto os COVT foram cerca de 3.7 vezes superiores às encontradas na área em estudo.

Krecl *et al.* (2020) realizaram um monitoramento da qualidade do ar no ano de 2016 em uma região central na cidade de Curitiba, Paraná e observaram níveis de COVT com valor médio de 361 ppb e valor máximo alcançando de 2,176 ppb, os quais são superiores ao desse estudo.

Gomes *et al.* (2019) realizaram monitoramento atmosférico em um trecho urbano da Avenida Treze de Maio e encontraram no mês de junho de 2017 uma concentração média

de CO<sub>2</sub> de 716 ppm, com variações entre 447 ppm e 996 ppm. Em comparação com o atual estudo pode-se observar um decréscimo de 21.2% nos níveis médios de CO<sub>2</sub> do ano de 2017 para os anos de 2021 e 2022.

As correlações entre as concentrações dos poluentes atmosféricos e os valores dos parâmetros meteorológicos usando o teste de normalidade Shapiro-Wilk estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Matriz de correlação para os poluentes atmosféricos e parâmetros meteorológicos durante o monitoramento da qualidade do ar na área urbana em estudo.

	MP <sub>2.5</sub>	MP <sub>10</sub>	PTS	O <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	COVT	T <sub>Ar</sub>	UR	Prec.	Vv.
MP <sub>2.5</sub>	1									
MP <sub>10</sub>	<u>0.957</u>	1								
PTS	<u>0.917</u>	<u>0.943</u>	1							
O <sub>3</sub>	0.051	0.115	0.014	1						
CO <sub>2</sub>	0.344	0.330	0.352	<u>-0.628</u>	1					
COVT	0.368	0.330	0.391	<u>-0.661</u>	<u>0.804</u>	1				
T <sub>Ar</sub>	0.280	0.363	0.231	<u>0.617</u>	-0.245	-0.079	1			
UR	-0.220	-0.284	-0.289	-0.514	-0.026	0.071	-0.490	1		
Prec.	-0.312	-0.333	-0.307	<u>-0.633</u>	0.146	0.188	-0.571	<u>0.753</u>	1	
Vv.	0.319	0.353	0.441	<u>0.616</u>	-0.198	-0.337	0.334	<u>-0.696</u>	<u>-0.677</u>	1
Distribuição normal	não	não	sim	não	sim	Não	não	não	Não	sim

*As correlações de Pearson (normal) e Spearman (não-normal) foram utilizadas de acordo com os resultados dos testes de normalidade Shapiro-Wilk. Neste estudo foi adotado a classificação de Callegari-Jacques (2009) para as faixas de correlação de r (normal) e r(s) (não-normal): 0 = sem relação; 0 < r, r(s) ≤ |0.3| (fraco); |0.3| < r, r(s) ≤ |0.6| (moderado); |0.6| < r, r(s) ≤ |0.9| (forte); |0.9| < r, r(s) < |1| (muito forte) e ± 1 (correlação perfeita). O sinal de (+) ou (-) significa correlação ascendente (positiva) ou descendente (negativa), respectivamente*

Na Tabela 2 destaca-se que entre os particulados (PTS, MP<sub>10</sub> e MP<sub>2.5</sub>) há uma elevada correlação ( $0.9 < r, r(s) < 1$ ) indicando uma correspondência muito forte e positiva entre estes poluentes. As concentrações de O<sub>3</sub> apresentam uma associação forte e positiva ( $r, r(s) = +0.617$ ) com a temperatura do ar e negativa com a precipitação pluvial ( $r, r(s) = -0.633$ ), o que pode ser justificado pela redução da radiação solar devido ao maior nível de nebulosidade. Oportunamente também se constata uma dependência forte e positiva entre as emissões de CO<sub>2</sub> e COVT ( $r, r(s) = +0.804$ ), provavelmente associada as fontes automotivas locais. Entre as variáveis meteorológicas relata-se a associação forte e positiva entre precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar ( $r, r(s) = +0.753$ ) e forte e negativa entre a velocidade dos ventos e a precipitação pluviométrica ( $r, r(s) = -0.677$ ).

Lima (2017) em seus estudos de monitoramento da qualidade do ar na no distrito industrial de Maracanaú, Ceará observou correlações de  $r = -0.2967$  e  $r = -0.3298$  entre a precipitação pluviométrica e o PTS e  $MP_{10}$ , respectivamente, os quais são similares aos desta pesquisa.

Wu *et al.* (2021) verificaram em Xangai, China, entre e janeiro e abril de 2020 a existência de correlação entre seis poluentes do ar a partir dos dados de uma estação de monitoramento rodoviária. Os autores destacaram uma associação de  $r = +0.660$  entre os níveis de  $MP_{10}$  e o  $MP_{2.5}$ . Lee *et al.* (2020) verificaram a existência de correlação negativa ( $r = -0.335$ ) entre  $CO_2$  e a intensidade dos ventos em medições realizada em área contendo lotes comerciais e a Universidade Sunway, esta associação foi semelhante a encontrada neste trabalho.

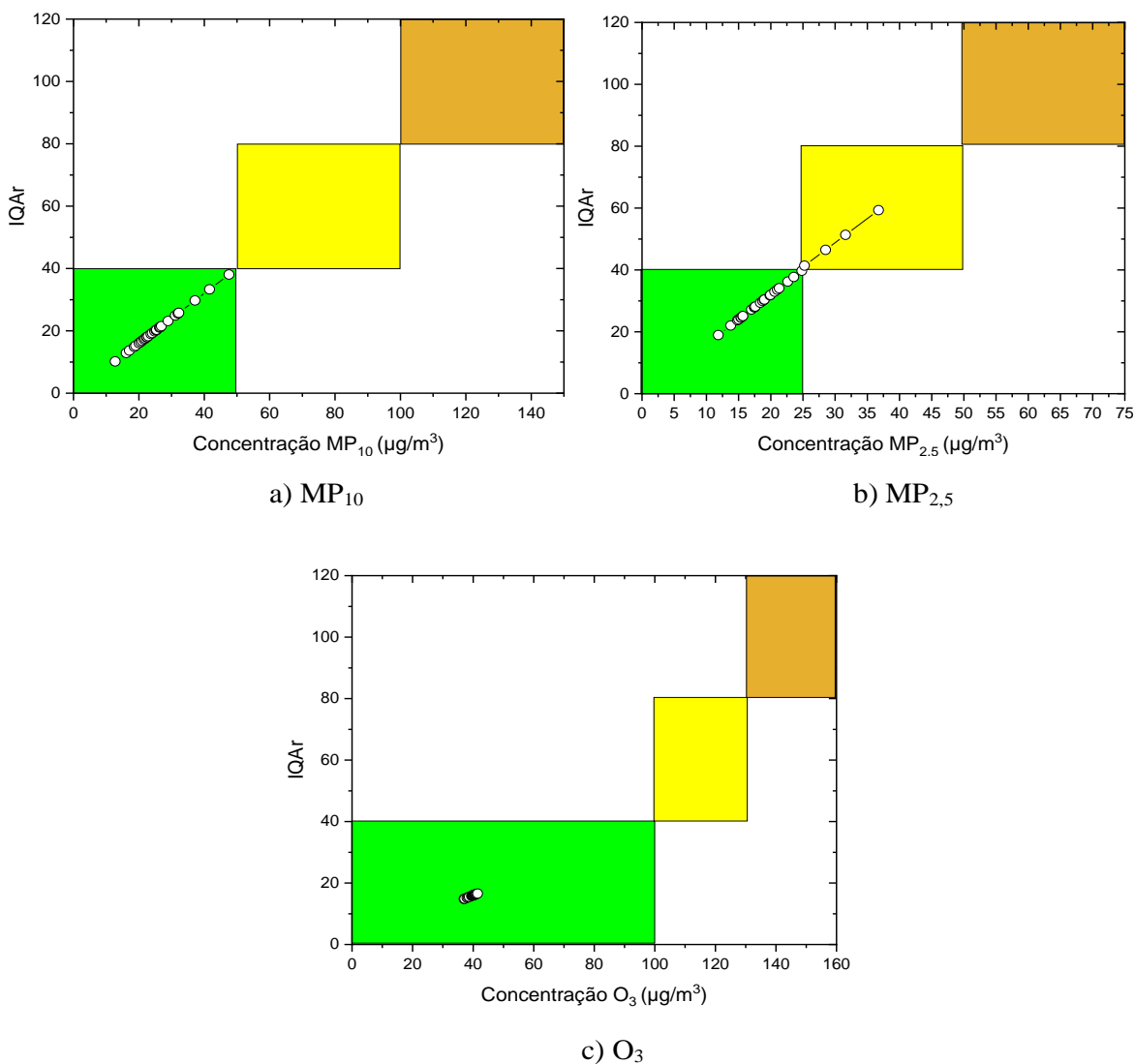
Sulaymon *et al.* (2021) observaram na cidade de Wuhan, China em período de *lockdown* que há uma associação com  $r = +0.474$  entre a temperatura do ar e a formação de  $O_3$ , enquanto, Saxena e Raj (2021) em período de restrição de mobilidade verificaram na cidade de Agra, Índia, uma correlação de  $r = +0.730$  entre o  $O_3$  e a variável meteorológica citada, corroborando com o valor encontrado neste trabalho.

#### Qualidade do ar

A Figura 5 mostra os perfis de qualidade do ar para os poluentes legislados e monitorados a partir das estimativas dos índices de qualidade do ar (*IQAr*) durante o período do estudo.

Na área em estudo, a qualidade do ar estabelecida para o  $MP_{10}$  e  $O_3$  foi avaliada como “boa” em 100% das coletas (Figuras 15a e 15c), enquanto o  $MP_{2.5}$  (Figura 15b) mostra um *IQAr* bom em 87% das coletas e moderado em 13%. De acordo com Lima (2015), no ano de 2014 o nível da qualidade do ar realizado no mesmo sítio da atual mostrou para o  $MP_{10}$  uma classificação boa em 97% do período analisado, enquanto o  $MP_{2.5}$  apresentou qualidades do ar do classificadas como “boa”, “moderada” e “ruim” em 84%, 13% e 3% das coletas, respectivamente.

Lima (2017) em seu monitoramento na cidade de Maracanaú, na região metropolitana de Fortaleza e sob impacto de atividades industriais relatou *IQAr* para o  $MP_{10}$  como “bom” em 83% das coletas realizadas, sendo que o  $O_3$  foi classificado como “bom” em todo o seu estudo. Estes resultados mostram concordância com o observado nesta pesquisa para estes poluentes.



**Figura 5.** *IQAr* na área em estudo durante o período de setembro de 2021 a março de 2022: a)  $\text{MP}_{2.5}$  (24 h), b)  $\text{MP}_{10}$  (24 h) e c)  $\text{O}_3$  (8 h). Cor verde: qualidade do ar é boa, amarela: qualidade é moderada e marrom: qualidade é ruim.

## Conclusões

Os níveis materiais particulados e  $\text{O}_3$  permaneceram abaixo dos valores limites adotados pela legislação brasileira (CONAMA 491/18) em 100% das amostras de ar durante o período do estudo para o  $\text{PTS}$  e  $\text{MP}_{10}$ , entretanto as concentrações de  $\text{MP}_{2.5}$  ultrapassaram em 13% esta legislação e em 90% das coletas o limite de  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  recomendado pela OMS. Em geral, o *IQAr* no ambiente urbano em estudo foi classificado como bom, considerado o padrão nacional de qualidade do ar.

As variáveis meteorológicas apresentaram efeito relevante nos níveis de poluentes presentes na atmosfera da área urbana em estudo, principalmente para os materiais particulados onde o processo de deposição úmida no período chuvoso contribuiu para a redução das concentrações destes contaminantes.

Embora não haja padrão de qualidade do ar em áreas externas para CO<sub>2</sub> e COVT, quando se consideram os padrões de qualidade do ar em ambientes internos da Resolução 09 da ANVISA de 1000 ppm para CO<sub>2</sub> (ANVISA, 2003) e a recomendação da Agência Ambiental Federal Alemã de 1 mg/m<sup>3</sup> (436 ppb de isobutileno) para COVT (UBA, 2007), os valores médios encontrados neste estudo para CO<sub>2</sub> (564.5 ppm) e COVT (248.7 ppb) podem ser caracterizados como adequados para atender os limites de saúde e bem-estar humanos na área urbana investigada.

### Agradecimentos

*Os autores agradecem a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pelo apoio financeiro concedido para a realização desta pesquisa.*

### Referências bibliográficas

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997) *NBR 9547: Material particulado em suspensão no ar ambiente - Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume*. Rio de Janeiro, 1997, 14 pp.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas (1995) *NBR 13412: Material em suspensão na atmosfera - Determinação da concentração de partículas inaláveis pelo método do amostrador de grande volume acoplado a um separador inercial de partículas*. Rio de Janeiro, 1995, 8 pp.
- Adam, M. G., Tran, P. T. M., Balasubramanian, R. (2021). Air quality changes in cities during the COVID-19 lockdown: A critical review, *Atmospheric Research*, **264**, 01-17. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105823>
- AL-Haija, Q. A., Alfarran, I., Alabdullah, A., Aldhafeeri, O., Alkhaldi, M. (2019). The development of wireless sensor network for air quality monitoring using buck-boost converter, *JITCE (Journal of Information Technology and Computer Engineering)*, **3**(02), 54-59. Disponível em: <https://doi.org/10.25077/jitce.3.02.54-59.2019>
- ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (2003) *Resolução nº 9 de 16 de janeiro de 2003: Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior, em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo*. Ministério da Saúde, Brasil. Disponível em: [https://bvsmis.saude.gov.br/bvsmis/saudelegis/anvisa/2003/rdc0009\\_16\\_01\\_2003.html](https://bvsmis.saude.gov.br/bvsmis/saudelegis/anvisa/2003/rdc0009_16_01_2003.html).
- Becerra, J. A., Lizana, J., Gil, M., Barrios-Padura, A., Blondeau, P., Chacartegui, R. (2020). Identification of potential indoor air pollutants in schools, *Journal of Cleaner Production*, **242**, 01-19. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118420>
- Brasil (2022) *Frota de Veículos – 2020 e 2021*. Ministério da Infraestrutura, Brasil. Acesso em: 12 de julho de 2022, disponível em: [https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran?b\\_start:int=20](https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran?b_start:int=20)
- CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente (2018) *Resolução nº 491. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar*. Ministério do Meio Ambiente, Brasil. Acesso em: 11 de julho de 2022, disponível em: [https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895/do1-2018-11-21-resolucao-n-491-de-19-de-novembro-de-2018-51058603](https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895/do1-2018-11-21-resolucao-n-491-de-19-de-novembro-de-2018-51058603)

- Callegari-Jacques, S. M. (2009). *Bioestatística: princípios e aplicações*, Artmed Editora, Porto Alegre, 253 pp.
- CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo (2013) *Padrões de Qualidade do Ar*. São Paulo. Acesso em: 16 de agosto de 2022, disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/padroes-de-qualidade-do-ar/>
- Chamseddine, A., Alameddine, I., Hatzopoulou, M., El-Fadel, M. (2019). Seasonal variation of air quality in hospitals with indoor–outdoor correlations, *Building and Environment*, **148**, 689-700. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.11.034>
- Derisio, J. C. (2012). *Introdução ao controle de poluição ambiental*, 4ª ed., Oficina de Textos, São Paulo, 228 pp.
- EC, European Commission (2008) *Directive 2008/50/EC*. 44 pp. Acesso em: 17 de agosto de 2022, disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008L0050>
- EPA, United States Environmental Protection Agency (2006) *Guidelines for the reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI)*. EUA. Acesso em: 17 de agosto de 2022, disponível em: <https://www3.epa.gov/ttn/caaa/t1/memoranda/rg701.pdf>
- EPA, United States Environmental Protection Agency (2015) *National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)*. EUA. Acesso em: 17 de agosto de 2022, disponível em: <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>
- Ferreira, C. C. M., Oliveira, D. E. (2016). Estimativa da poluição veicular e qualidade do ar nas principais vias do sistema viário da região central da cidade de Juiz de Fora-MG, *Revista do Departamento de Geografia*, 98-114. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/rdg.v0ispe.117682>
- Gomes, C., Silva, M. L., Silva, A. C. (2019). Monitoramento da qualidade do ar e conforto ambiental urbano da avenida treze de maio em Fortaleza, Ceará, *Brazilian Journal of Development*, **5**(10), 22589-22602. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv5n10-373>
- Han, L., Zhao, J., Gu, Z. (2021). Assessing air quality changes in heavily polluted cities during the COVID-19 pandemic: A case study in Xi'an, China, *Sustainable Cities and Society*, **70**, 01-18. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102934>
- He, C., Hong, S., Zhang, L., Mu, H., Xin, A., Zhou, Y., Liu, J., Liu, N., Su, Y., Tian, Y., Ke, B., Wang, Y., Yang, L. (2021). Global, continental, and national variation in PM<sub>2.5</sub>, O<sub>3</sub>, and NO<sub>2</sub> concentrations during the early 2020 COVID-19 lockdown, *Atmospheric pollution research*, **12**(3), 136-145. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apr.2021.02.002>
- IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2018) *Agenda 2030, Objetivos do Desenvolvimento Sustentável: proposta de metas Brasileiras*. Brasília, 546 pp. Acesso em: 12 de julho de 2022, disponível em: [https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/180801\\_ods\\_metas\\_nac\\_dos\\_obj\\_de\\_desenv\\_susten\\_propos\\_de\\_adequa.pdf](https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/180801_ods_metas_nac_dos_obj_de_desenv_susten_propos_de_adequa.pdf)
- IPECE, Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (2018) *Perfil Municipal 2017, Fortaleza*. Ceará, 18 pp. Acesso em: 18 de julho de 2022, disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/perfil-municipal-2017/>
- Jia, C., Cao, K., Valaulikar, R., Fu, X., Sorin, A. B. (2019). Variability of total volatile organic compounds (TVOC) in the indoor air of retail stores, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **16**(23), 01-09. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph16234622>
- Krecl, P., Cipoli, Y. A., Targino, A. C., Castro, L. B., Gidhagen, L., Malucelli, F., Wolf, A. (2020) Cyclists' exposure to air pollution under different traffic management strategies, *Science of The Total Environment*, **723**, 01-11. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138043>
- Le, H. A., Linh, V. T. Q. (2020) Investigation of indoor and outdoor air quality at elementary schools in Hanoi, Vietnam, *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*, **36**(01), 30-37. Disponível em: <https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4550>



- Lee C. C., Tran, M., Choo, C. W., Tan, C. P., Chiew, Y. S. (2020). Evaluation of air quality in Sunway City, Selangor, Malaysia from a mobile monitoring campaign using air pollution micro-sensors, *Environmental Pollution*, **265**, 01-11. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115058>
- Lima, J. R. (2017) *Avaliação da Poluição Atmosférica na área do distrito industrial de Maracanaú, Ceará, Brasil, nos anos de 2015-2016*, Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental), Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, 109 pp. Acesso em 15 de agosto de 2022, disponível em: [http://www.biblioteca.ifce.edu.br/asp/download.asp?codigo=2783&tipo\\_midia=2&iIndexSrv=1&iUsuario=0&obra=76842&tipo=1&iBanner=0&iIdioma=0](http://www.biblioteca.ifce.edu.br/asp/download.asp?codigo=2783&tipo_midia=2&iIndexSrv=1&iUsuario=0&obra=76842&tipo=1&iBanner=0&iIdioma=0)
- Lima, R. M. (2015), *Avaliação da qualidade do ar em um trecho urbano da cidade de Fortaleza – Ceará*, Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental), Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, 109 pp. Acesso em 15 de agosto de 2022, disponível em: [http://www.biblioteca.ifce.edu.br/asp/download.asp?codigo=2731&tipo\\_midia=2&iIndexSrv=1&iUsuario=0&obra=48998&tipo=1&iBanner=0&iIdioma=0](http://www.biblioteca.ifce.edu.br/asp/download.asp?codigo=2731&tipo_midia=2&iIndexSrv=1&iUsuario=0&obra=48998&tipo=1&iBanner=0&iIdioma=0)
- Markozannes, G., Pantavou, K., Rizos, E. C., Sindosi, O. A., Tagkas, C., Seyfried, M., Saldanha, I. J., Hatzianastassiou, N., Nikolopoulos, G. K., Ntzani, E. (2022). Outdoor air quality and human health: An overview of reviews of observational studies, *Environmental Pollution*, **306**, 01-14. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119309>
- Moreira, D. M., Tirabassi, T., Moraes, M. R. (2008). Meteorologia e poluição atmosférica, *Ambiente & Sociedade*, **11**, 01-13, Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2008000100002>
- Moura, Í. J. M., Santos, D. F., Pinheiro, F. G. M., Oliveira, C. J. (2015). Caracterização dos períodos seco e chuvoso da cidade de Fortaleza (CE), *Ciência e Natura*, **37**, 03-07. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2179460X16206>
- Nachar, N. (2008). The Mann-Whitney U: A test for assessing whether two independent samples come from the same distribution. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*, **4**, 13-20. Disponível em: <https://doi.org/10.20982/tqmp.04.1.p013>
- O'leary, H., Parr, S., El-Sayed, M. MH, (2022). The breathing human infrastructure: Integrating air quality, traffic, and social media indicators, *Science of the Total Environment*, **827**, 01-09. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154209>
- ONU, Organização das Nações Unidas (2015) *Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. 41 pp. Acesso em: 12 de julho de 2022, disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication>
- Portal G1 (2022) *Osório de Paiva, Raul Barbosa e Aguanambi são as avenidas com o maior fluxo de veículos em Fortaleza*. Acesso em: 12 de setembro de 2022, disponível em: <https://g1.globo.com/ce/ceara/noticia/2022/08/04/osorio-de-paiva-raul-barbosa-e-aguanambi-sao-as-avenidas-com-o-maior-fluxo-de-veiculos-em-fortaleza.ghtml>
- Rocha, C. A., Marques, E. V., Santos, R. P., Santiago, Í. S., Cavalcante, C. L., Cassiano, D. R., Ribeiro, J. P., Bertocini, B. V., Nobre, J. S., Freitas, J. V. B., Ferreira, A. G., Cavalcante, R. M. (2022). A better understanding of air quality resulting from the effects of the 2020 pandemic in a city in the equatorial region (Fortaleza, Brazil), *Environmental Science and Pollution Research*, **29**(14), 20921-20938. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16697-y>
- Rudke, A. P., Almeida, D. S., Alves, R. A., Beal, A., Martins, L. D., Martins, J. A., Hallak, R., Albuquerque, T. T. A. (2022). Impacts of strategic mobility restrictions policies during 2020 COVID-19 outbreak on Brazil's regional air quality, *Aerosol and Air Quality Research*, **22**(04), 01-16. Disponível em: <https://doi.org/10.4209/aaqr.210351>
- Saxena, A., Raj, S. (2021). Impact of lockdown during COVID-19 pandemic on the air quality of North Indian cities, *Urban Climate*, **35**, 01-13. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100754>

- SEMACE, Superintendência Estadual do Meio Ambiente (2020) *Relatório de desempenho da gestão 2020*. 106 pp. Acesso em: 21 de julho de 2022, disponível em: <https://www.semace.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/46/2021/05/Relatorio-de-Desempenho-da-Gestao-2020.pdf>
- Sulaymon, I. D., Zhang, Y., Hopke, P. K., Zhang, Y., Hua, J., Mei, X. (2021). COVID-19 pandemic in Wuhan: Ambient air quality and the relationships between criteria air pollutants and meteorological variables before, during, and after lockdown, *Atmospheric research*, **250**, 01-12. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105362>
- Tao, H., Xing, J., Zhou, H., Chang, X., Li, G., Chen, L., Li, J. (2018). Impacts of land use and land cover change on regional meteorology and air quality over the Beijing-Tianjin-Hebei region, China, *Atmospheric Environment*, **189**, 09-21. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.06.033>
- UBA, German Federal Environmental Agency (Deutsches Umweltbundesamt) (2007) *Indoor air guide values for TVOC in indoor air*. Acesso em: 29 de agosto de 2022, disponível em: <https://www.umweltbundesamt.de/en/image/indoor-air-guide-values-for-tvoc-in-indoor-air>
- Vormittag, E. M. P. A. A., Cirqueira, S. S. R., Wicher Neto, H., Saldiva, P. H. N. (2021) Análise do monitoramento da qualidade do ar no Brasil, *Estudos Avançados*, **35**(102), 07-30. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2021.35102.002>
- WHO, World Health Organization (2021) *WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. 300 pp. Acesso em: 11 de agosto de 2022, disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>
- Wu, C. L., Wang, H. W., Cai, W. J., He, H. D., Ni, A. N., Peng, Z. R. (2021). Impact of the COVID-19 lockdown on roadside traffic-related air pollution in Shanghai, China, *Building and environment*, **194**, 01-10. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107718>