

Avaliação da qualidade do ar na cidade de São Gonçalo do Amarante sob influência do complexo industrial do Pecém/Ceará**Air quality assessment in the São Gonçalo do Amarante city under the influence of Pecém/Ceará industrial complex**

DOI:10.34117/bjdv6n8-698

Recebimento dos originais: 25/07/2020

Aceitação para publicação: 31/08/2020

Achilles Chaves Ferreira Júnior

Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Fortaleza
Avenida 13 de Maio, 2081, Benfica, Fortaleza – Ceará, CEP: 60040-531

E-mail: achilles@ifce.edu.br

Lukas Angelim Matos

Graduado em Tecnologia em Processos Químicos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Fortaleza
Avenida 13 de Maio, 2081, Benfica, Fortaleza – Ceará, CEP: 60040-531

E-mail: lukasangelim95@gmail.com

Lara do Nascimento Lopes

Graduada em Tecnologia em Processos Químicos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Fortaleza
Avenida 13 de Maio, 2081, Benfica, Fortaleza – Ceará, CEP: 60040-531

E-mail: lara_nl.lopes@yahoo.com.br

Rita Sannara Bandeira do Nascimento

Graduada em Tecnologia em Processos Químicos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Fortaleza
Avenida 13 de Maio, 2081, Benfica, Fortaleza – Ceará, CEP: 60040-531

E-mail: sannarabandeira@gmail.com

Jessica Rocha de Lima

Mestra em Tecnologia e Gestão Ambiental

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Fortaleza
Avenida 13 de Maio, 2081, Benfica, Fortaleza – Ceará, CEP: 60040-531

E-mail: jehrocha12@gmail.com

Jeanete Koch

Doutora em Engenharia Ambiental

Instituto Centro de Ensino Tecnológico do Ceará – CENTEC
Rua Silva Jardim, 315, José Bonifácio, Fortaleza – Ceará, CEP: 60040-260

E-mail: jeanetekoch@yahoo.com.br

Rinaldo dos Santos Araújo

Doutor em Química

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Fortaleza

Avenida 13 de Maio, 2081, Benfica, Fortaleza – Ceará, CEP: 60040-531

E-mail: rinaldo@ifce.edu.br

RESUMO

A queima de combustíveis fósseis e as atividades industriais são os principais responsáveis pela emissão de poluentes atmosféricos. Esses poluentes estão cada vez mais associados a efeitos negativos à saúde humana. Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade do ar no município de São Gonçalo do Amarante, Estado do Ceará, o qual possui 46,8% de seu território na área do Complexo Industrial do Pecém (CIP). Experimentalmente, foram realizadas coletas no período entre outubro e dezembro de 2015 para os parâmetros de: material particulado total em suspensão (PTS), NO₂, SO₂, O₃ e metais pesados (Fe, Ni, Cu e Pb) usando amostradores de grande volume (64 m³/h) para o PTS e de pequeno volume (0,20 L/min) para o SO₂ e NO₂. O O₃ foi determinado por absorção no ultravioleta (254 nm) e as concentrações dos metais pesados associados ao PTS foram estimadas por espectroscopia de absorção atômica. Os resultados mostraram níveis de PTS (24 h) entre 32,6 e 75,3 µg/m³ e de ozônio (1 h) entre 63,8 e 165,6 µg/m³. As concentrações de SO₂ e NO₂, por sua vez, apresentaram-se muito abaixo dos valores estabelecidos pela resolução CONAMA 491/2018. Entre os metais somente o ferro foi quantitativamente identificado, com níveis entre 3,6 e 19,9 µg/m³. Em geral, os valores obtidos mostraram que a qualidade do ar na área durante o período do estudo pode ser considerada boa para os poluentes ambientais analisados.

Palavras-chave: Qualidade do ar, Área industrial, PTS, NO₂, SO₂, O₃, Metais pesados**ABSTRACT**

The burning of fossil fuels and industrial activities are mainly responsible for the emission of air pollutants. These pollutants are increasingly associated with negative effects on human health. This work aimed to assess air quality in São Gonçalo do Amarante city, State of Ceará, which owns 46.8% of its territory in the area of the Pecém Industrial Complex (CIP). Experimentally, samples were carried out between October and December 2015 for the parameters: total suspended particulate (TSP), NO₂, SO₂, O₃ and heavy metals (Fe, Ni, Cu and Pb) using large volume samplers (64 m³/h) for TSP and small volume (0.20 L/min) for SO₂ and NO₂. The ozone was determined by absorption in the ultraviolet (254 nm) and the concentrations of heavy metals associated with TSP were estimated by atomic absorption spectroscopy. The results showed TSP levels (24 h) between 32.6 and 75.3 µg/m³ and ozone (1 h) between 63.8 and 165.6 µg/m³. The concentrations of SO₂ and NO₂, in turn, were lower than the values established by Brazilian legislation. Among metals, only iron was quantitatively identified, with levels between 3.6 and 19.9 µg/m³. In general, the values obtained showed that the air quality in the area during the study period can be considered as good for the environmental pollutants analyzed.

Keywords: Air quality, Industrial area, TSP, NO₂, SO₂, O₃, Heavy metals**1 INTRODUÇÃO**

A qualidade do ar em áreas urbanas está fortemente relacionada a uma interação complexa de diversos fatores, os quais incluem os parâmetros meteorológicos, o clima, as condições sociais

de demanda de bens e consumo e principalmente de fontes antropogênicas de emissões (BAGIENSKI, 2015; ZHAO *et al.*, 2019).

Vários estudos demonstram que os poluentes atmosféricos geram sérios problemas à saúde humana, como: decréscimo da função pulmonar, alterações no sistema imunológico, danos ao trato respiratório, desde irritações até câncer, asma, bronquites e alergias, além de provocar mortes intrauterina e neonatal (CARVALHO *et al.*, 2015; NG; GORDON, 2015; ROVIRA; DOMINGO; SCHUHMACHER, 2020; SHAO *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2014; SOUSA *et al.*, 2012; YANG; PENG; HUANG, 2012).

Muitos países enfrentam problemas relacionados à poluição industrial causada por substâncias orgânicas (VOC, BTEX, PAH, aldeídos e cetonas, etc.), SO₂, NO_x, material particulado, entre outros (CRUZ *et al.*, 2020; DASSONVILLE; MANDIN; KIRCHNER, 2014; FERETTI *et al.*, 2019).

Segundo Rama Krishna *et al.* (2005), a deterioração do ar em áreas urbanas é ainda mais rápida em função da contínua industrialização e do crescimento do tráfego automotivo, principalmente de veículos pesados que utilizam diesel como combustível e emitem quantidades expressivas de gases e aerossóis. Indústrias ligadas a geração de eletricidade, gás natural, óleo cru e petroquímica, carvão, fundamentais ao desenvolvimento da sociedade, são, por outro lado, fortemente associadas a impactos negativos ao meio ambiente, principalmente, aqueles ligados ao aumento do aquecimento global e formação do ozônio troposférico (LI *et al.*, 2020; VEGA *et al.*, 2011, MOLINA *et al.* 2007).

A cidade de São Gonçalo do Amarante é um município brasileiro do estado do Ceará, pertencente à Região Metropolitana de Fortaleza. São Gonçalo do Amarante está localizada a cerca de 60 quilômetros de distância da capital cearense, limitando-se com as cidades de Caucaia, Pentecoste, São Luiz do Curu, Trairi, Paraipaba, Paracuru e com o Oceano Atlântico.

O clima do município é classificado como Tropical Quente Semiárido Brando, com chuvas de janeiro a maio. Segundo os dados disponibilizados pelo IPECE (2017), as condições climáticas de São Gonçalo do Amarante são definidas por temperaturas médias entre 26°C e 28°C e uma precipitação de chuvas em torno de 1026 mm anuais.

O município de São Gonçalo do Amarante possui em seu território 47% da área do Complexo Industrial do Pecém, o qual foi projetado tecnicamente para abrigar um conjunto de indústrias do tipo: siderúrgica, termelétrica, refinaria entre outras, compreendendo uma área de 13.000 ha. Essas indústrias utilizam diversas matrizes energéticas e processos de combustão que deverão emitir gases e partículas na bacia aérea local. O termo “bacia aérea” utilizado no presente

estudo, se refere ao volume de ar restringido pelos limites geográficos e meteorológicos dentro dos quais as atividades industriais deverão ou não emitir cargas poluentes.

O Complexo Industrial do Pecém, juntamente com o Complexo Portuário do Pecém, forma o Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP), um empreendimento do Governo do Estado do Ceará que remonta à década de 1990, quando da sua inserção nos programas Brasil em Ação e Avança Brasil, do Governo Federal. O Complexo Portuário do Pecém foi inaugurado em 2002, após a liberação de sua Licença de Operação pelo IBAMA, operando desde então.

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a qualidade do ar no município de São Gonçalo do Amarante, Estado do Ceará, para os parâmetros de: partículas totais em suspensão (PTS), SO₂, NO₂ e O₃ durante o período de outubro a dezembro de 2015, referenciando-os aos limites estabelecidos pela legislação vigente como premissa de manutenção da sustentabilidade, prevenção, melhoria do meio ambiente e gestão ambiental integrada das áreas envolvidas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As amostragens foram realizadas segundo a legislação brasileira vigente tomando como diretriz a Resolução CONAMA 003/1990, revogada em 2018 pela resolução CONAMA 491/2018 (BRASIL, 2018). O monitoramento foi executado em um período de três meses, entre outubro e dezembro de 2015. As coletas, 15 em sua totalidade, apresentaram duração de 24 horas com frequência de seis dias entre elas. Dessa forma o dia de coleta varia obrigatoriamente a cada semana, contemplando todos os dias, tornando as amostragens mais representativas (EPA, 1987). Os equipamentos foram dispostos considerando as recomendações das distâncias mínima e máxima entre cada um, de forma a evitar interferências entre eles (LIMA, 2015).

A coleta dos parâmetros meteorológicos de temperatura, umidade relativa, precipitação, pressão, velocidade e direção do vento foram realizadas simultaneamente, utilizando estação meteorológica da marca Instrutemp modelo ITWH1080. Para a análise dos materiais particulados totais (PTS) foi utilizado um amostrador de grande volume (Hivol HVS 3000) da Ecotech. Para retenção dos particulados foram usados filtros de fibra de vidro da marca *Sartorius Stedim* com dimensões de 203 mm de largura e 254 mm de comprimento e 52 g/m² de gramatura. Para análise de SO₂ e NO₂ utilizou-se um amostrador de pequeno volume designado sistema Trigás[®] da empresa Energética. O SO₂ foi determinado segundo o método da pararrosanilina de acordo com US-EPA EQS-0775-002/1975 (EPA, 1975) e NBR 9546/1986 (ABNT, 1986) e o NO₂ foi determinado com base no método do arsenito de sódio conforme US-EPA- EQN-1277-026 (EPA, 1977).

Para a determinação de O₃ foi utilizado um analisador de ozônio modelo 202 da 2B Technologies. Para a análise dos metais foi efetuada a digestão dos filtros de particulados (PTS) em solução ácida via micro-ondas utilizando um forno digestor micro-ondas Milestone através do método HPR-GE-72, disponível no Cook Book da Milestone.

Os metais ferro (Fe), cobre (Cu), níquel (Ni) e chumbo (Pb) foram analisados em um espectrofotômetro de absorção atômica iCE 3300 da Thermo Fisher Scientific. As concentrações foram determinadas a partir das curvas de calibração obtidas utilizando padrões analíticos de cada metal.

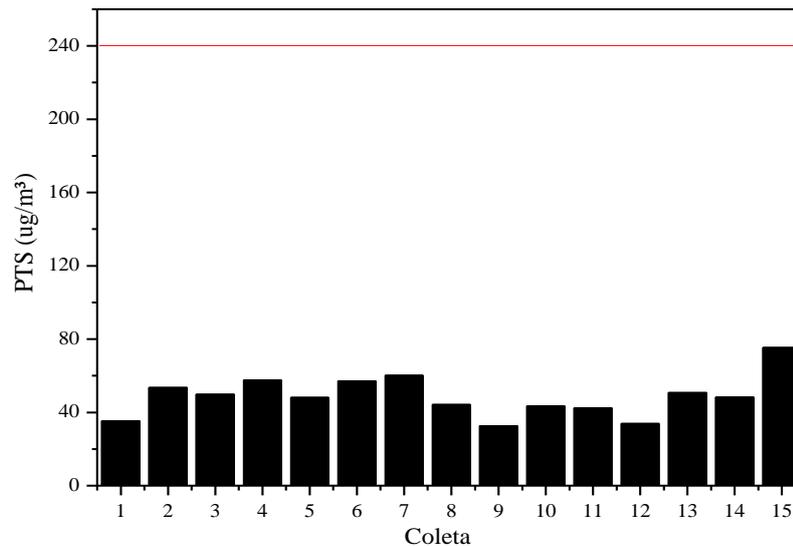
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura média diária durante o monitoramento apresentou baixa amplitude, variando entre 28 e 29°C (média de 29°C) durante o período de amostragem. Diferentemente, as variações diárias foram elevadas, podendo atingir diferenças de até 10°C quando comparados os períodos da madrugada e da tarde.

A umidade relativa registrada variou entre 67% e 80%, sendo observado um incremento nas últimas coletas. O período estudado foi caracterizado ainda pela ausência de chuvas. A análise das rosas dos ventos no período estudado mostrou maior frequência dos ventos nos setores leste e sudeste, havendo também leve predominância na direção sul nos meses de outubro, novembro e dezembro, totalizando 66% dos ventos nos meses de outubro e novembro e 68% dos ventos no mês de dezembro. Tal característica reflete o perfil do comportamento das massas de ar no litoral cearense, onde predominam os ventos de nordeste, sudeste e, sobretudo, leste, tal como foi verificado nos estudos de Lima (2015), Azevedo (2014), Leite e Frota (2010) e Silva *et al.* (2010).

Na Figura 1 observa-se que as concentrações de material particulado (PTS) amostrado (média de 48,8 µg/m³) não excederam em nenhuma coleta o valor diário de 240 µg/m³ estabelecido pela Resolução CONAMA 491/2018.

Figura 1 – Concentrações médias de PTS (24 h) observadas durante o período de outubro a dezembro de 2015 na área em estudo no município de São Gonçalo do Amarante.



Segundo Lima (2015), a maior frequência de ventos em Fortaleza/CE no mês de outubro de 2014 foi na faixa de 5,7 m/s a 8,8 m/s, correspondente à temporada dos ventos mais intensos no estado (FUNCEME, 2014). Este fenômeno pode favorecer a dispersão do PTS, contribuindo no declínio das concentrações dos particulados. No mesmo mês, Lima (2015) detectou ainda níveis de PTS entre 60 e 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (média de 81,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) em Fortaleza, concentrações relativamente superiores às observadas neste estudo.

Particularmente, todas as coletas apresentaram concentrações de PTS menores que os valores diários definidos pela Resolução CONAMA 491/2018. Estes resultados indicam que a qualidade do ar na área de estudo é considerada boa, apesar da proximidade da estação de coleta à rodovia CE 085, que possui intensa circulação de veículos automotores, sendo a principal via de acesso às praias do litoral oeste do Estado do Ceará.

Na Tabela 1 observa-se que as concentrações encontradas nesta pesquisa foram superiores as observadas nos estudos anteriores disponibilizados pela SEMACE para os anos de 2011 a 2014 na área em estudo, considerando o provável impacto das emissões poluentes provenientes do Complexo Industrial do Pecém. Em geral, os valores encontrados de particulados podem estar associados às alterações das condições climáticas e aumento das edificações na área, bem como as obras de duplicação e recapeamento na entrada da cidade, que ocorreram durante o período do estudo.

Tabela 1 – Concentrações médias anuais de PTS no município de São Gonçalo do Amarante disponibilizadas pela SEMACE e a observada nesta pesquisa (outubro a dezembro de 2015)

	SEMACE 2011	SEMACE 2012	SEMACE 2013	SEMACE 2014	Este estudo
PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	28	34	36	31	48,8

Com relação aos gases inorgânicos SO_2 e NO_2 os valores encontrados permaneceram bem abaixo dos limites diários estabelecidos pela Resolução CONAMA 491/2018 e pela US EPA, Comunidade Europeia e CETESB. Os dados mostram um aumento das concentrações de SO_2 nos anos de 2011 a 2014, os quais coincidem com o período de início dos testes pré-operacionais da Termelétrica Energia Pecém, a qual utiliza como matriz energética o carvão mineral e com as obras de duplicação e repavimentação da rodovia CE 085.

Particularmente, neste estudo os resultados encontrados no período de monitoramento foram considerados ainda menores que os relatados pela SEMACE, indicando que a qualidade do ar na área de estudo é boa para os parâmetros de SO_2 e NO_2 . As coletas de NO_2 , assim como os outros poluentes, foram executadas para períodos de 24 horas, sendo os valores de referência estabelecidos em legislação considerados em medidas de 1 hora ou anual, inviabilizando a comparação dos resultados com a legislação. Porém, vale salientar que em todas as quinze coletas foram encontradas concentrações abaixo do limite de detecção.

A análise comparativa dos dados do automonitoramento ambiental disponibilizado pela SEMACE com esta pesquisa está apresentada na Tabela 2.

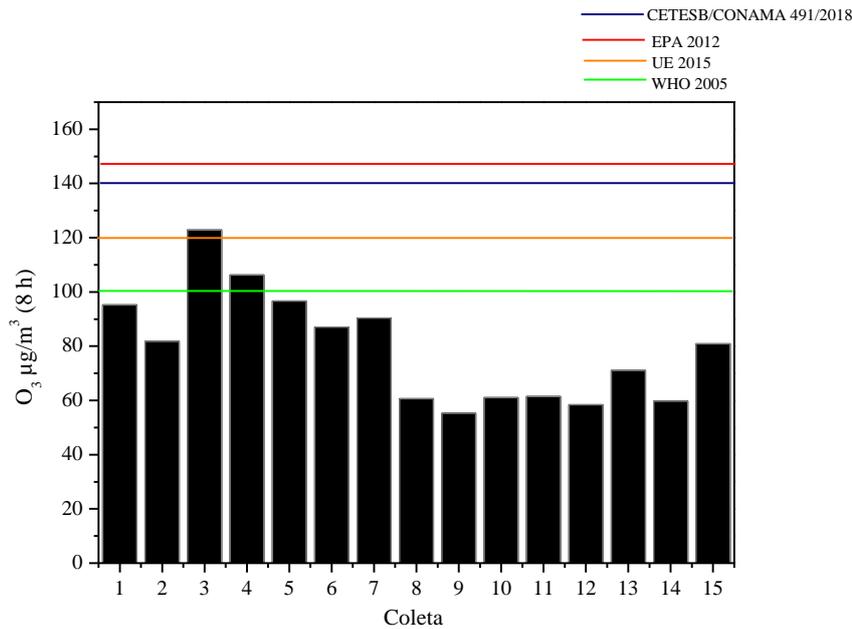
Tabela 2 – Concentrações médias anuais de SO_2 e NO_2 no município de São Gonçalo do Amarante disponibilizadas pela SEMACE e as observadas nesta pesquisa (outubro a dezembro de 2015)

	SEMACE 2011	SEMACE 2012	SEMACE 2013	SEMACE 2014	Este estudo
SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3,0	6,0	13	26	2,83
NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	37	11	28	32	< 9 (LMD) ^a

^aLMD = Limite mínimo de detecção.

A Figura 2 apresenta a comparação entre as concentrações de ozônio para coletas de 8 horas (09:00 às 17:00 h) encontradas nesse estudo, os padrões nacionais representados pela CETESB e CONAMA e os internacionais referenciados pelas Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), União Europeia (UE) e World Health Organization (WHO).

Figura 2 – Concentrações de O₃ (8 h) observadas durante o período de outubro a dezembro de 2015 na área em estudo no município de São Gonçalo do Amarante



A concentração média de ozônio para as coletas entre 9 da manhã e 5 da tarde foi de 79,2 µg/m³, com valores mínimos de 55,2 µg/m³ e máximo de 122,8 µg/m³. O perfil diurno de ozônio mostrou altos valores de concentração do meio dia para o fim da tarde, horário com maior incidência de radiação solar, concordando com o que tipicamente se espera pelas reações fotoquímicas combinadas com os perfis de emissão diurna em áreas urbanas (TOHID *et al.*, 2019; VO *et al.*, 2018).

A Resolução CONAMA 491/2018 estabelece uma concentração máxima de ozônio para 8 h de 140 µg/m³, idêntico ao estabelecido pela CETESB, assim, observou-se que não houve nenhuma ultrapassagem aos padrões nacionais vigentes. Em contraponto, a coleta número 3 ultrapassou os dois padrões internacionais utilizados como comparação e a coleta número 4 ultrapassou a concentração estabelecida pela World Health Organization.

Embora apenas duas coletas tenham ultrapassado os padrões internacionais, é possível perceber que mesmo a legislação brasileira tendo sido atualizada recentemente, ainda é insuficiente quando comparada com legislações internacionais, sendo muito permissiva. Em geral, para o O₃ (8 h) a qualidade do ar foi considerada boa durante o monitoramento.

Em relação aos metais (Tabela 3) observa-se que apenas o ferro foi detectado em todas as amostras, apresentando concentrações mais elevadas, com média de 9,1 µg/m³ e valor máximo de 19,9 µg/m³, enquanto os maiores valores encontrados para os demais elementos foram: Cu de 0,044 µg/m³, Pb de 0,067 µg/m³ e Ni de 0,009 µg/m³.

Tabela 3 – Concentrações de metais pesados associados ao material particulado total (PTS) durante o período de outubro a dezembro de 2015 no município de São Gonçalo do Amarante.

Coleta	Metal			
	Fe ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Pb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ni ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	19,9	0,044	0,066	0,009
2	7,41	ND	0,034	ND
3	8,81	ND	0,05	ND
4	13,6	ND	ND	ND
5	9,12	ND	ND	ND
6	10,2	ND	0,014	ND
7	10,4	ND	ND	ND
8	19,1	ND	ND	ND
9	6,22	ND	ND	ND
10	6,81	ND	ND	ND
11	5,63	ND	ND	ND
12	3,64	ND	0,008	ND
13	5,81	0,005	0,067	ND
14	4,52	ND	ND	ND
15	5,31	ND	ND	ND
χ	9,13	0,025	0,038	0,009
σ	4,97	0,028	0,025	NA
CV	54,7	112,6	67,4	NA
Mínimo	3,62	0,005	0,014	0,009
Máximo	19,9	0,044	0,067	0,009

χ : média, σ : desvio padrão, CV: Coeficiente de variação.

ND: Não detectado. NA: Não se aplica.

No Brasil, como em outros países do mundo, não há legislação para os metais Fe, Cu e Zn atmosféricos. Particularmente para o chumbo, a CETESB (2020), a CONAMA 491/2018 e a WHO (2000) adotam um valor de referência de $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para a média anual em amostras de PTS, enquanto a EPA (1999) recomenda uma concentração de $0,15 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{ano}$.

A presença de chumbo na atmosfera é preocupante quando relacionada à saúde da população, já que é um metal pesado de alta toxicidade e um provável carcinógeno humano, podendo causar anemia, danos renais, cerebrais e até morte (LIU *et al.*, 2019; ZHANG *et al.*, 2018). Neste trabalho a média de Pb para o período em estudo foi de $0,038 \mu\text{g}/\text{m}^3$, bem abaixo do referenciado pela CETESB. Na prática observa-se que nenhuma das amostras ultrapassou o valor estabelecido por estas legislações.

Segundo Pant e Harrison (2013), a presença de Fe pode estar associada a ressuspensão do solo. Assim, as concentrações de Fe encontradas na área em estudo podem estar relacionadas às obras de duplicação da rodovia de acesso ao município de São Gonçalo do Amarante ocorridas no

período, que necessitaram de terraplanagem e pavimentação com intensa movimentação do solo, o que gera maior dispersão de material particulado.

4 CONCLUSÕES

Neste estudo foi observado que a concentração dos poluentes monitorados se manteve dentro dos limites estabelecidos pelas resoluções CETESB (2020), EPA (2012), UE (2015) e WHO (2005) em praticamente todo o período amostrado. Os parâmetros meteorológicos como temperatura e umidade relativa do ar tem influência direta nas concentrações de ozônio encontradas no período analisado.

As concentrações SO_2 e NO_2 apresentaram-se consideravelmente abaixo dos valores de referência apresentados pela resolução CONAMA 491/2018, utilizada para comparação. Os períodos de maior radiação solar ultravioleta contribuem fortemente para a elevação das concentrações de ozônio, contudo os padrões nacionais não foram ultrapassados e apenas duas coletas ultrapassaram legislações internacionais.

Não foi verificada relação das concentrações dos gases analisados com os dias da semana coletados, o que pode demonstrar a influência do tempo de permanência de cada composto na atmosfera.

As concentrações de metais associados ao material particulado analisados apresentaram níveis baixos para áreas urbanas e próximas a Complexos Industriais, sendo as concentrações máximas encontradas de: $19,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o Fe; $0,009 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o Ni e $0,044 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o Cu.

O Pb apresentou concentrações entre $0,067$ e $0,014 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sendo estes valores inferiores ao nível estabelecido pela CETESB ($1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) em período de um trimestre. Segundo os parâmetros estabelecidos pelo Índice da Qualidade do Ar da CETESB a qualidade do ar na região pode ser considerada boa.

De modo geral, a qualidade do ar da área avaliada no trimestre de outubro a dezembro de 2015 pode ser considerada boa para os parâmetros analisados, porém é relevante ressaltar a importância de um monitoramento contínuo para a região, para que seja criada uma base de dados que contribuam para uma melhor avaliação periódica, destacando os impactos decorrentes das atividades industriais ao longo dos anos.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9546**: Dióxido de enxofre no ar ambiente determinação da concentração pelo método da pararrosanilina. Rio de Janeiro, 1986.

AZEVEDO, J. A. H. **Monitoramento atmosférico de material particulado, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e metais em um trecho urbano da cidade de Fortaleza**. 2014. 99 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, 2014.

BAGIEŃSKI, Z. Traffic air quality index. **Science of the Total Environment**, v. 505, p. 606-614, 2015.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 491, de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. **Diário Oficial da União**. Poder Executivo, de 21 nov. 2018. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>. Acesso em: 01 jul. 2020.

CARVALHO, V. S. B.; FREITAS, E. D.; MARTINS, L. D.; MARTINS, J. A.; MAZZOLI, C. R.; ANDRADE, M. F. (2015) Air quality status and trends over the Metropolitan Area of São Paulo, Brazil as a result of emission control policies. **Environmental Science & Policy**, v. 47, p. 68-79.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade do ar no estado de São Paulo 2019**. São Paulo: CETESB, 2020. 228 p. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2020/07/Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-do-Ar-2019.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2020.

CRUZ, L. P. S.; SANTOS, D. F.; DOS SANTOS, I. F.; GOMES, I. V. S.; SANTOS, A. V. S.; SOUZA, K. S. P. P. Exploratory analysis of the atmospheric levels of BTEX, criteria air pollutants and meteorological parameters in a tropical urban area in Northeastern Brazil. **Microchemical Journal**, v. 152, p. 104265-104274, 2020.

DASSONVILLE, C.; MANDIN, C.; KIRCHNER, S. Pollutions à l'intérieur des espaces clos: sources, niveaux et impact sanitaire. Volet 2: polluants chimiques. **Archives des Maladies Professionnelles et de l' Environnement**, v. 75, n. 6, p. 594-606, 2014.

EPA. United States Environmental Protection Agency. **Code of Federal Regulation** – CFR 40. Part 53 to 60. Whashington: US Government Printing Office, 1987. Disponível em: <http://www.epa.gov/laws-regulations/regulations>. Acesso em: 21 fev. 2016.

EPA. United States Environmental Protection Agency. Compendium method IO-2.1 – Sampling of ambient air for total suspended particulate matter (SPM) and PM₁₀ using high volume (HV) sampler. *In*: EPA. **Compendium of methods for the determination of inorganic compounds in ambient air**. EPA/625/R-96/010a. Cincinnati, 1999. Disponível em: <http://www3.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/inorganic/mthd-2-1.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2016.

EPA. United States Environmental Protection Agency. **Pararosaniline method for the determination of sulfur dioxide in the atmosphere** – technicon II automated analysis system. Epa designated equivalent method nº. EQS-0775-002. Research Triangle Park, 1975.

EPA. United States Environmental Protection Agency. **Sodium arsenite method for determination of nitrogen in the atmosphere**. EPA designated equivalent method n°. EQN-1277-026. Research Triangle Park, 1977.

EPA. United States Environment Protection Agency. **NAAQS Table**. 2012. Disponível em: <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>. Acesso em: 20 jul. 2020.

FERETTI, D.; PEDRAZZANI, R.; CERETTI, E.; DAL GRANDE, M.; ZERBINI, I.; VIOLA, G. C. V.; GELATTI, U.; DONATO, F.; ZANI, C. “Risk is in the air”: Polycyclic aromatic hydrocarbons, metals and mutagenicity of atmospheric particulate matter in a town of Northern Italy (Respira study). **Mutat Res Gen Tox En**, v. 842, p. 35-49, 2019.

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Chuvas na quadra chuvosa de 2014 ficaram 24% abaixo da média**. Funceme, 27/06/2014. Disponível em: <http://www.funceme.br/index.php/comunicacao/noticias/604-chuvas-na-quadra-chuvosa-de-2014-ficaram-24-abaixo-da-m%C3%83%C2%A9dia>. Acesso em: 27 jan. 2015.

IPECE. INSTITUTO DE PESQUISA E ATIVIDADE ECONÔMICA DO CEARÁ. **Perfil Municipal 2017**: São Gonçalo do Amarante. Fortaleza: IPECE, 2018. 18 p. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Sao_Goncalo_do_Amarante_2017.pdf. Acesso em: 29 jul. 2020.

LEITE, R. C. V.; FROTA, A. B. Análise da influência da verticalização sobre a ventilação natural através de aplicativo de dinâmica dos fluidos computadorizada - Estudo de caso em Fortaleza, Ceará. *In*: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE ARQUITETURA, URBANISMO E DESIGN, 8., 2010, São Paulo. **Anais[...]**. São Paulo: USP, 2010.

LI, Y.; YIN, S.; YU, S.; YUAN, M.; DONG, Z.; ZHANG, D.; YANG, L.; ZHANG, R. Characteristics, source apportionment and health risks of ambient VOCs during high ozone period at an urban site in central plain, China. **Chemosphere**, v. 250, p. 126283-126292, 2020.

LIMA, R.M. **Avaliação da Qualidade do Ar em um trecho urbano da Cidade de Fortaleza – Ceará**. 2015. 105 f. Dissertação. (Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, 2015.

LIU, X.; OUYANG, W.; SHU, Y.; TIAN, Y.; FENG, Y.; ZHANG, T.; CHEN, W. Incorporating bioaccessibility into health risk assessment of heavy metals in particulate matter originated from different sources of atmospheric pollution. **Environmental Pollution**, v. 254, p. 113113-113125, 2019.

MOLINA, L.T.; KOLB, C.E.; DE FOY, B.; LAMB, B.K.; BRUNE, W.H.; JIMENEZ, J.L. Air quality in North America’s most populous city – overview of the MCMA-2003 campaign. **Atmospheric Chemistry Physics**, v. 7, p. 2447-2473, 2007.

NG, S.; GORDON, A. Influenza burden and transmission in the tropics. **Curr. Epidemiol. Rep.**, v. 2, n. 2, p. 89-100, 2015.

PANT, P.; HARRISON, R. M. Estimation of the contribution of road traffic emissions to particulate matter concentrations from field measurements: A review. **Atmospheric Environment**, v. 77, p. 78-97, 2013.

RAMA KRISHNA, T. V. B. P. S.; REDDY, M. K.; REDDY, R. C.; SINGH, R. N. Impact of an industrial complex on the ambient air quality: Case study using a dispersion model. **Atmospheric Environment**, v.39, p. 5395-5407, 2005.

ROVIRA, J.; DOMINGO, J. L.; SCHUHMACHER, M. Air quality, health impacts and burden of disease due to air pollution (PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂ and O₃): Application of AirQ+ model to the Camp de Tarragona County (Catalonia, Spain). **Science of the Total Environment**, v. 703, p. 135538-135550, 2020.

SHAO, X.; CHENG, H.; ZHOU, J.; ZHANG, J.; ZHU, Y.; YANG, C.; DI NARZO, A.; YU, J.; SHEN, Y.; LI, Y.; XU, S.; ZHANG, Z.; CHEN, J.; CHENG, J.; HAO, K. Prenatal exposure to ambient air multi-pollutants significantly impairs intrauterine fetal development trajectory. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 201, p. 110726-110734, 2020.

SILVA, A. B.; ARAGÃO, M. R. S.; CORREIA, M. F.; SILVA, P. K. O. Caracterização da variabilidade do vento no Aeroporto Internacional de Fortaleza, Ceará. Parte 1: Análise da direção. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém. **Anais[...]**. Rio de Janeiro: SBMet, 2010.

SILVA, D. R., VIANA, V. P., MÜLLER, A. M., LIVI, F. P., DALCIN, P. T. Respiratory viral infections and effects of meteorological parameters and air pollution in adults with respiratory symptoms admitted to the emergency room. **Influenza Other Respir. Viruses**, v. 8, n. 1, p. 42-52, 2014.

SOUSA, S. I. V.; PIRES, J. C. M.; MARTINS, E. M.; FORTES, J. D. N.; ALVIM-FERRAZ, M. C. M.; MARTINS, F. G. Short-term effects of air pollution on respiratory morbidity at Rio de Janeiro – PART 1: Air Pollution Assessment. **Environment International**, v. 44, p. 18-25, 2012.

TOHID, L.; SABETI, Z.; SARBAKSH, P.; BENIS, K. Z.; SHAKERKHATIBI, M.; RASOULZADEH, Y.; RAHIMIAN, R.; DARVISHALI, S. Spatiotemporal variation, ozone formation potential and health risk assessment of ambient air VOCs in an industrialized city in Iran. **Atmospheric Pollution Research**, v. 10, p. 556-563, 2019.

UE. União Europeia. **Air Quality Standards. European Commission**. 2015. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>. Acesso em: 21 fev. 2016.

VEGA, E.; SÁNCHEZ-REYNA, G.; MORA-PERDOMO, V.; IGLESIAS, G. S.; ARRIAGA, J. L.; LIMÓN-SÁNCHEZ, T.; ESCALONA-SEGURA, S.; GONZALES-AVALOS, E. Air quality assessment in a highly industrialized area of Mexico: concentrations and sources of volatile organic compounds. **Fuel**, v. 90, p. 3509-3520, 2011.

VO, T.; LIN, C.; ERHWENG, C.; YUAN, C.; LEE, C.; HUNG, C.; BUI, X.; LO, K.; LIN, J. Vertical stratification of volatile organic compounds and their photochemical product formation potential in an industrial urban area. **Journal of Environmental Management**, v. 217, p. 327-336, 2018.

WHO. World Health Organization. **Air guidelines for Europe**. 2. ed. European Series N°. 91. Copenhagen: WHO Regional Publication, 2000. 273 p.

WHO. World Health Organization. **Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide**. Global update 2005. Geneva: WHO, 2005. 20 p.

YANG, C.; PENG, X.; HUANG, W. A time-stratified case-crossover study of fine particulate matter air pollution and mortality in Guangzhou, China. **Int. Arch. Occup. Environ. Health**, v. 85, p. 579-585, 2012.

ZHANG, K.; CHAI, F.; ZHENG, Z.; YANG, Q.; ZHONG, X.; FOMBA, K. W.; ZHOU, G. Size distribution and source of heavy metals in particulate matter on the lead and zinc smelting affected area. **Journal of Environmental Sciences**, v. 71, p. 188-196, 2018.

ZHAO, P.; TUYGUN, G. T.; BOLAN, L.; LIU, J.; YUAN, L.; LUO, Y.; XIAO, H.; ZHOU, Y. The effect of environmental regulations on air quality: A long-term trend analysis of SO₂ and NO₂ in the largest urban agglomeration in southwest China. **Atmospheric Pollution Research**, v. 10, p. 2030-2039, 2019.