

Artigo Técnico

Avaliação da poluição atmosférica na área do distrito industrial de Maracanaú (CE), Brasil

Assessment of air pollution in the industrial area of the Maracanaú district in Ceara state, Brazil

Jéssica Rocha Lima¹ , Bruno César Barroso Salgado² , Francisco Sales Ávila Cavalcante³ ,
Mona Lisa Moura Oliveira³ , Rinaldo Santos Araújo^{1*} 

RESUMO

A intensificação das atividades industriais e o aumento das emissões veiculares têm contribuído significativamente para o aumento da poluição atmosférica nos centros urbanos. Neste trabalho, avaliou-se a qualidade do ar na área do distrito industrial de Maracanaú, no estado do Ceará, importante área industrial da Região Nordeste do Brasil. As amostragens foram realizadas durante o período de novembro de 2015 a abril de 2016, totalizando 30 coletas com duração de 24 h cada. Realizaram-se coletas para poluentes, como o material particulado total (PTS) e inalável (MP₁₀), NO₂, SO₂, O₃ e metais pesados (Sb, Cd, Pb, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn) associados ao PTS e ao MP₁₀. O O₃ foi determinado por absorção no ultravioleta (254 nm), e estimaram-se as concentrações dos metais por espectroscopia de absorção atômica. Os valores médios observados para os poluentes foram de: 51,3 µg/m³ de PTS; 46,1 µg/m³ de MP₁₀; 8,9 µg/m³ de SO₂; 8,3 µg/m³ de NO₂; 38,5 µg/m³ para O₃ em 8 horas e 48,4 µg/m³ para O₃ em 1 hora. Para os metais, o Fe (14,9 µg/m³) foi o mais abundante em ambos os particulados. Todos os parâmetros encontram-se em conformidade com os valores estabelecidos pela legislação brasileira, e somente o MP₁₀ apresentou em 16,7% das amostras concentrações acima (média de 74,5 µg/m³) do recomendado pela Organização Mundial da Saúde. Em geral, a qualidade do ar na área industrial em estudo pode ser considerada boa, segundo os valores de índice de qualidade do ar (IQA) recomendado pela agência de proteção ambiental americana.

Palavras-chave: qualidade do ar; área industrial; material particulado; gases inorgânicos; metais pesados.

ABSTRACT

The intensification of industrial activities and the increase in vehicular emissions have contributed significantly to the increase in atmospheric pollution in urban centers. In this context, the present study aimed to monitor the air quality in the area of Maracanaú Industrial District, in the state of Ceará, an important industrial area in northeastern region of Brazil. Samples were collected during 24 h from November 2015 to April 2016 for pollutants such as total suspended (TSP) and inhalable particle materials (PM₁₀), NO₂, SO₂, O₃ and heavy metals (Sb, Cd, Pb, Cu, Fe, Mn, Ni, and Zn) associated with TSP and PM₁₀. Ozone (O₃) was determined by ultraviolet absorption (254 nm) and the concentration of heavy metals were estimated by atomic absorption spectroscopy. The mean values observed for the pollutant concentrations were: 51.3 µg/m³ for TSP; 46.1 µg/m³ for PM₁₀; 8.9 µg/m³ for SO₂; 8.3 µg/m³ for NO₂; 38.5 µg/m³ for O₃ in 8 hours and 48.4 µg/m³ for O₃ in 1 hour. Among metals, Fe (14.9 µg/m³) was the most abundant species in both particulates. All the parameters analyzed are in accordance with the values established by the Brazilian legislation and only PM₁₀ are above the recommended by the World Health Organization in 16.7 % of the samples (mean 74.5 µg/m³). In general, the air quality in the industrial area under study can be considered good, according to the estimates of the air quality index (AQI) recommended by the US Environmental Protection Agency.

Keywords: air quality; industrial area; particulate matter; inorganic gases; heavy metals.

INTRODUÇÃO

A qualidade do ar é uma questão ambiental e social complexa que inclui fatores como parâmetros meteorológicos, clima, condições socioeconômicas e principalmente fontes antropogênicas de emissões (EEA, 2016; ZHAO *et al.*, 2016).

Todos os dias, a população é exposta a poluentes atmosféricos, os quais, em concentrações excessivas na atmosfera, têm acarretado muitos danos à saúde humana. Associa-se a poluição do ar a males como asma, doença pulmonar obstrutiva crônica, doenças cardíacas e neurológicas, disfunções endócrinas, câncer, além de

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - Fortaleza (CE), Brasil.

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - Maracanaú (CE), Brasil.

³Universidade Estadual do Ceará - Fortaleza (CE), Brasil.

*Autor correspondente: rinaldoifce@gmail.com

Recebido: 02/02/2017 - Aceito: 05/04/2019 - Reg. ABES: 175292

mortes intrauterinas e prematuras (HIRABAYASHI; NOWAK, 2016; HEINRICH; SCHIKOWSKI, 2018).

Nesses termos, a poluição do ar tornou-se caso de saúde pública, o que aumenta a necessidade de estudos acerca dos principais poluentes e de ações para reduzir essas emissões, trazendo melhorias para as qualidades do ar e de vida da população (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo — CETESB, 2013; GHOZIKALI *et al.*, 2016; WHO, 2014).

De acordo com Lu *et al.* (2016), o desenvolvimento econômico baseado na industrialização e no incentivo à aquisição de automóveis tem agravado seriamente a qualidade do ar. As fontes fixas ainda têm grande responsabilidade nas emissões de dióxido de enxofre (SO₂), dióxido de nitrogênio (NO₂) e compostos orgânicos voláteis (SAKAMOTO *et al.*, 2018; SHAO *et al.*, 2016).

No estado do Ceará, pela descentralização industrial da zona oeste da cidade e pela busca por novos espaços para o desenvolvimento industrial, criou-se, na região metropolitana de Fortaleza (RMF), o distrito industrial de Maracanaú, responsável por um produto interno bruto (PIB) de 46,8%, maior que o da capital, que é de 19% (IPECE, 2016; MUNIZ, 2015).

Tanto na capital Fortaleza quanto na sua região metropolitana, onde está instalada a maioria das indústrias do estado, o monitoramento da qualidade do ar pelos órgãos públicos praticamente inexistente. As estações que faziam a medição da qualidade do ar nesses locais foram desativadas em 2001 (SILVA, 2010).

Silva (2010) relatou que a qualidade do ar no distrito industrial de Maracanaú, entre os anos de 1993 e 2000, para os particulados totais em suspensão (PTS) e para o SO₂, foi, respectivamente, boa e regular, conforme o índice de qualidade do ar (IQAr) da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA). Atualmente, mesmo após 18 anos de desenvolvimento industrial, a qualidade do ar do distrito é desconhecida.

Ante esse cenário, este trabalho tem como objetivo realizar o monitoramento atmosférico dos parâmetros de PTS, materiais particulados inaláveis (MP₁₀), SO₂, NO₂ e ozônio (O₃) e metais pesados (Sb, Cd, Pb, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn) associados ao material particulado na área do distrito industrial do município de Maracanaú (CE).

METODOLOGIA

Área de estudo

O município de Maracanaú localiza-se no estado do Ceará, na RMF e a 24 km de Fortaleza. Maracanaú tem população de 209.057 habitantes e uma área de 107 km², com um PIB de R\$ 6.259.288.000, sendo 46,81% provenientes do setor industrial, 53,10% do setor de serviços e 0,09% do setor agrícola. Entre os municípios da RMF, Maracanaú destaca-se por ser um dos mais ativos economicamente, com 1.981 indústrias em

pleno funcionamento e com atuação em vários setores industriais, como têxtil, metal-mecânico, papel e papelão, construção, material elétrico, químico etc. (IPECE, 2016).

A amostragem foi realizada na estação de monitoramento fixa (EMF) do Instituto Federal do Ceará, localizado na Avenida Parque Central, no Distrito Industrial I, com coordenadas geográficas de: 3°52'20"S e 38°36'40"W. A EMF encontra-se localizada a aproximadamente 200 m de distância da área residencial do bairro Conjunto Timbó e 500 m de distância de indústrias de metalurgia, tecido, alimento, papel e papelão e de produtos químicos para o setor agrícola. Além disso, a área de amostragem é circundada por avenidas que servem de percurso para ônibus metropolitanos e caminhões de carga que transportam matérias-primas e produtos das (e para as) indústrias locais. Segundo o Denatran (2018), a frota de Maracanaú é estimada em 70.989 automóveis, sendo 32.610 veículos, 2.316 caminhões e 450 ônibus. A Figura 1 apresenta a localização do município de Maracanaú.

Amostragem e análise dos poluentes

O monitoramento da qualidade do ar foi realizado de acordo com a legislação brasileira vigente, representada pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n° 003/1990 (BRASIL, 1990). Na EMF, efetuaram-se amostragens do ar durante seis meses (novembro/2015 a abril/2016) com uma frequência amostral de seis dias entre elas, visando contemplar todos os dias da semana. Cada coleta teve duração de 24 horas, totalizando 30 campanhas, sendo observado um valor de 5 campanhas a cada mês. Notadamente, novembro e dezembro correspondem a meses da estação seca, e janeiro a abril encontram-se na estação chuvosa, o que caracteriza o clima tropical semiárido do nordeste do Brasil.

Os parâmetros meteorológicos (temperatura, pressão, umidade relativa, precipitação pluviométrica, direção e velocidade dos ventos) foram medidos por uma estação meteorológica Davis Vantage Vue Wireless K6250.

Nas campanhas, monitoraram-se os parâmetros meteorológicos, os PTS e os MP₁₀ em 24 h, o O₃ em amostragens de 1 h e de 8 h, o SO₂ e o NO₂ em 24 h e os metais pesados associados aos particulados.

Na amostragem do MP₁₀, utilizou-se o amostrador de grande volume Hivol HVS 3000 da Empresa Ecotech, conforme a Norma Brasileira (NBR) 13.412/1995, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1995). Para o PTS, utilizou-se um amostrador Amotox da Empresa Energética, conforme NBR 9.547/1997, da ABNT (1997).

Os gases inorgânicos representados pelo SO₂ e NO₂ foram coletados com um amostrador de pequeno volume (Trigás) da Energética®. Para a determinação do SO₂, empregou-se o método da pararrosanilina, de acordo com USEPA EQS-0775-002/1975 (USEPA, 1975) e NBR 9.546/1986 (ABNT, 1986). Para a determinação do NO₂, utilizou-se o método do arsenito de sódio, conforme USEPA – n° EQN-1277-026

(USEPA, 1977). Para a determinação de O_3 , usou-se um analisador contínuo de ozônio modelo 202 da 2B Technologies, caracterizado como método equivalente pela EPA (FEM EQOA-0410-190).

Para determinação dos metais, fez-se inicialmente a digestão ácida ($HCl + HF + HNO_3$) do material particulado (PTS e MP_{10}) utilizando o sistema digestor por micro-ondas Ethos One da Milestone. A análise foi realizada em um espectrofotômetro de absorção atômica iCE 3000 da Thermo Scientific. Determinaram-se as concentrações pelas curvas de calibração de cada espécie usando padrões analíticos de cada metal. Os limites de detecção para cada metal foram de: 0,70 mg/L para o Sb; 0,15 mg/L para o Cd; 0,69 mg/L para o Pb; 0,13 mg/L para o Cu; 0,83 mg/L para o Fe; 0,08 mg/L para o Mn; 0,91 mg/L para o Ni e 0,08 mg/L para o Zn, com coeficientes de correlação (R^2) acima de 0,995.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dados meteorológicos

As Figuras 2 e 3 mostram, respectivamente, os dados de precipitação acumulada e o conjunto de dados meteorológicos coletados durante o estudo.

Os processos de deposição dos poluentes são mecanismos importantes para retirada dos poluentes da atmosfera, a precipitação e a umidade contribuem significativamente para esses processos. A precipitação

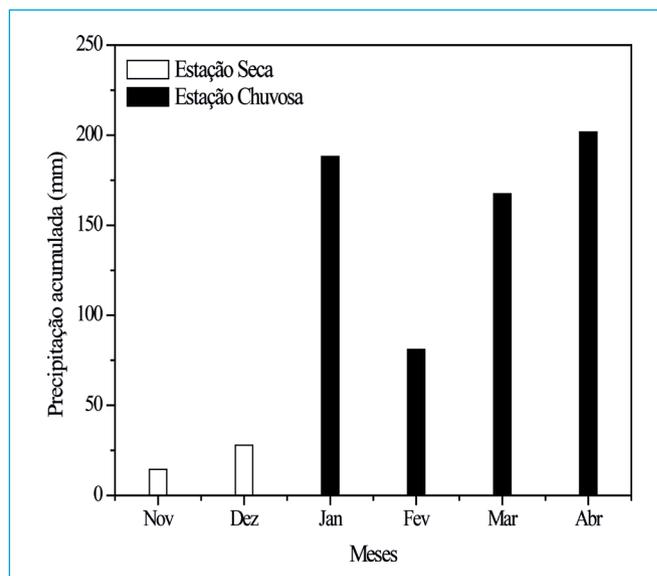


Figura 2 - Avaliação da precipitação acumulada nos meses de novembro de 2015 a abril de 2016 na área do distrito industrial de Maracanaú (CE).

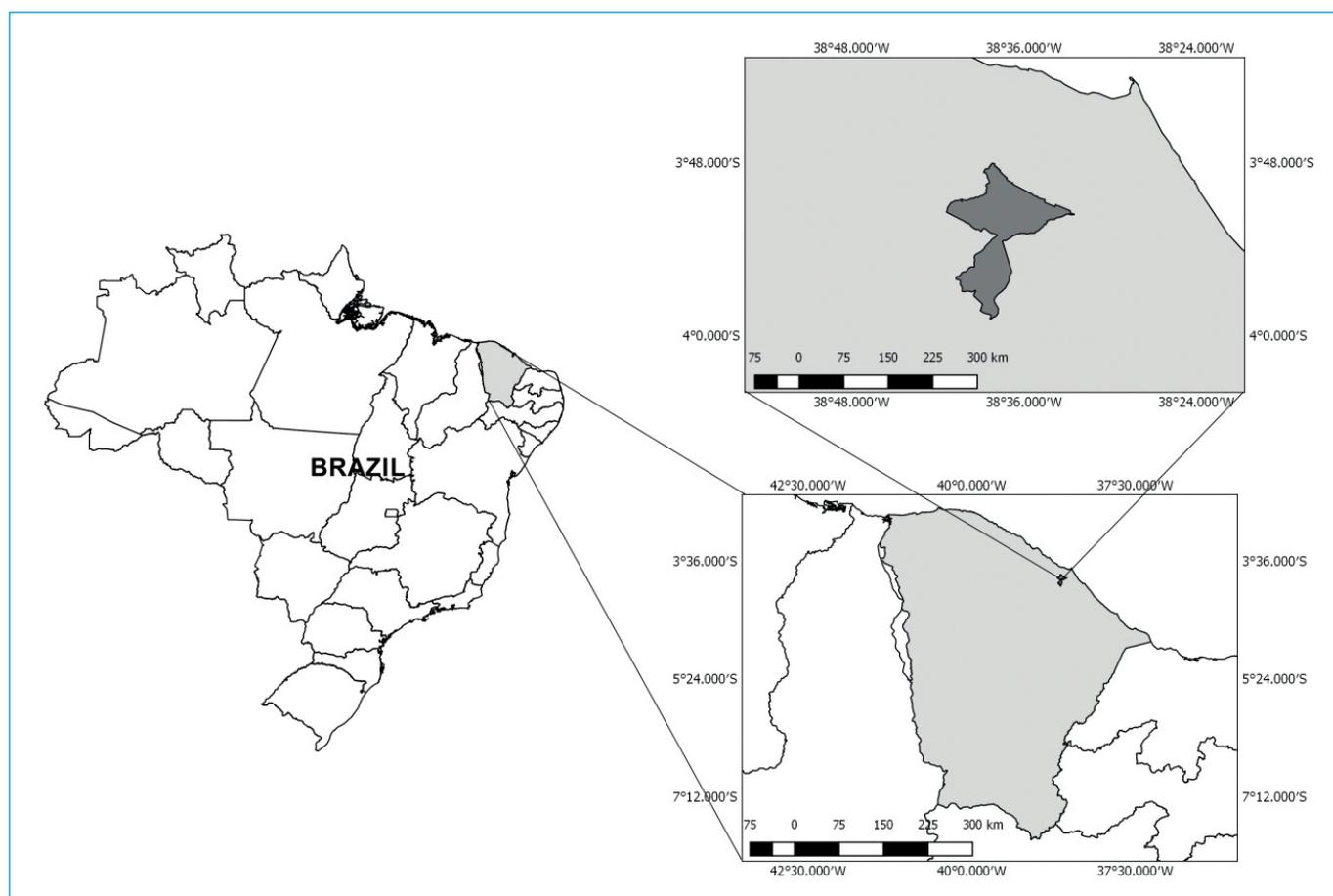


Figura 1 - Localização do município de Maracanaú no estado do Ceará, Brasil.

contribuiu para o processo de deposição úmida dos poluentes, por meio do arraste das partículas da atmosfera para a superfície terrestre (GUO *et al.*, 2014).

Na Figura 2, observa-se que a precipitação pluviométrica foi consideravelmente baixa durante os meses de novembro (14,4 mm) e dezembro (27,9 mm), correspondentes à estação seca. De janeiro a abril, obtiveram-se os maiores níveis pluviométricos, com o mês de abril apresentando a maior precipitação acumulada (201,7 mm). Em Maracanaú, a precipitação total em abril foi de 369 mm, conforme relatado pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2016).

De acordo com a Figura 3A, os valores médios de umidade relativa variaram entre 63,2 e 95,8%, mostrando tendência à elevação entre os meses de janeiro e abril de 2016, que correspondem ao período de pré-estação chuvosa (janeiro) e de estação chuvosa (fevereiro, março e abril) no estado do Ceará. A temperatura média observada durante as coletas, como pode ser visto na Figura 3B, variou entre 25,6 e 30,6°C, com amplitude alta, assim como as variações diárias, que mostraram

diferenças de até 12°C em curtos períodos do dia, como o início e o fim da manhã.

Na Figura 3C, nota-se que a média das velocidades dos ventos se manteve baixa em todo o período, com médias mínima de 0,7 m/s e máxima de 3,2 m/s, sendo observados os maiores valores durante as três últimas coletas do mês de abril (2,8, 2,9 e 3,2 m/s), um dos principais meses da quadra chuvosa do estado. A precipitação média obtida por dia de coleta, conforme a Figura 3D, manteve-se baixa, com valores sempre abaixo de 1 mm.

As variáveis meteorológicas podem influenciar nos níveis de poluentes atmosféricos pelo seu transporte ou difusão, enquanto a temperatura pode influenciar nos processos fotoquímicos, facilitando a formação de poluentes secundários (MELKONYAN; KUTTLER, 2012).

Os ventos são os principais responsáveis pela dispersão dos poluentes, transportando-os a áreas próximas ou distantes da fonte emissora (UNAL *et al.*, 2011). Em situações de calmaria, ocorre a estagnação do ar, gerando aumento nas concentrações dos poluentes; em casos de

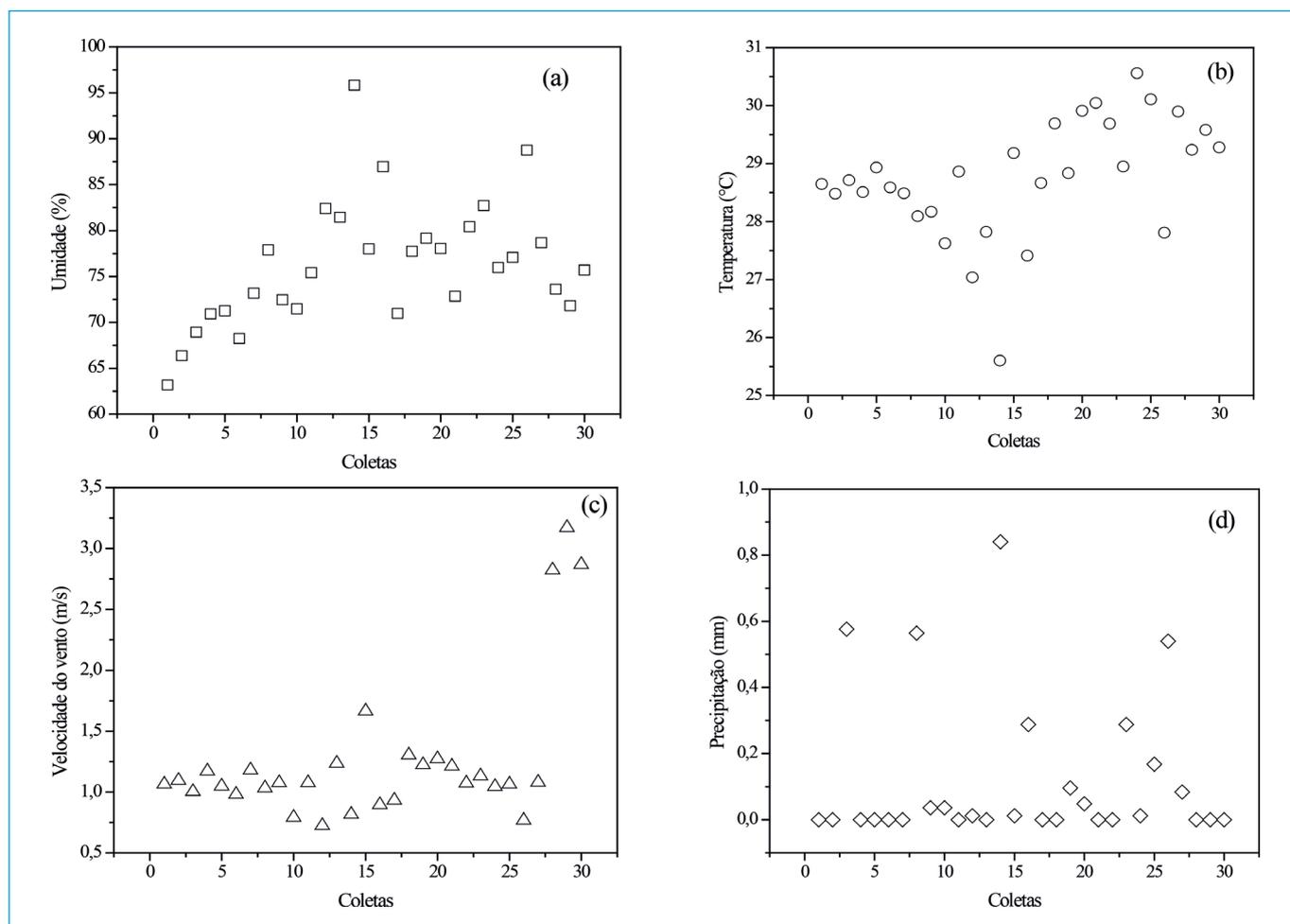


Figura 3 - Avaliação das variáveis meteorológicas (médias) analisadas nos meses de novembro de 2015 a abril de 2016 na área do distrito industrial de Maracanaú (CE).

maiores velocidades de vento, pode haver redução nessas concentrações (FREITAS; SOLCI, 2009; JONES; HARRISON; BAKER, 2010).

A Figura 4 apresenta o perfil de velocidade e a direção dos ventos na EMF durante os meses de monitoramento.

A rosa dos ventos mostra uma maior frequência de ventos nas direções Leste e Sudeste, com aumento na frequência dos ventos na direção nordeste, que foi observado principalmente nos meses de abril e março. O município de Maracanaú não tem estação meteorológica fixa, há apenas um posto pluviométrico da FUNCEME. A inexistência desses dados impossibilita a comparação dos parâmetros meteorológicos encontrados neste estudo.

Concentração dos poluentes

As concentrações dos poluentes analisados no período de monitoramento estão apresentadas na Tabela 1.

Os resultados para as concentrações de PTS e a comparação com a legislação brasileira estão na Figura 5.

Comparativamente, observa-se, para o período seco no Nordeste do Brasil (coletas 1 a 10), uma média de $64,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o PTS e, no período chuvoso (coletas 11 a 20), uma média de $44,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PTS, o que indica, mesmo sob baixa incidência de chuvas, um efeito de

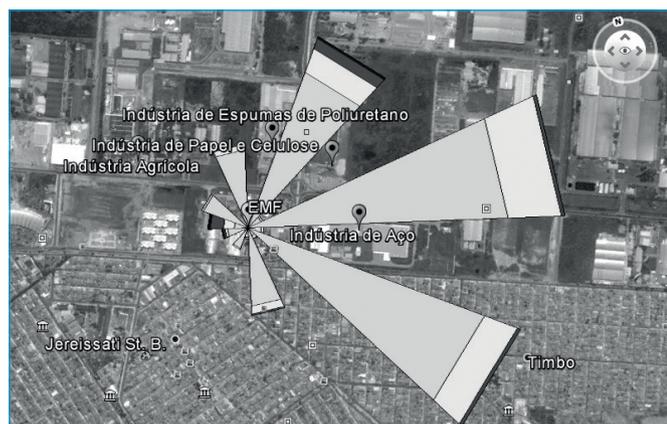


Figura 4 - Perfil de velocidade e direção dos ventos na estação de monitoramento fixa (EMF) durante os meses de novembro de 2015 a abril de 2016 na área do distrito industrial de Maracanaú (CE).

Tabela 1 - Concentrações dos poluentes no período de novembro de 2015 a abril de 2016 na área do distrito industrial de Maracanaú (CE).

| Poluentes | N | χ | Máximo | Mínimo | σ |
|---|----|--------|--------|--------|----------|
| PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 30 | 51,3 | 85,9 | 13,7 | 17,7 |
| MP ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 30 | 42,8 | 100,1 | 17,2 | 19,5 |
| SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 30 | 8,91 | 23,9 | 0,00 | 6,52 |
| NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 30 | 8,31 | 16,7 | 3,62 | 3,13 |
| O ₃ (8 h) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 30 | 38,5 | 48,8 | 27,9 | 4,12 |
| O ₃ (1 h) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 30 | 48,4 | 57,2 | 32,8 | 5,71 |

N: número de amostras; χ : média; σ : desvio padrão.

redução (~ 13%) da concentração desse poluente. As concentrações de PTS não ultrapassaram os limites estabelecidos pelos padrões primário ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e secundário ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) da Resolução n° 003/1990 do CONAMA (BRASIL, 1990).

Na região metropolitana de São Paulo, que inclui áreas industriais e urbanas, no ano de 2017 não houve ultrapassagem nas amostragens de PTS para um período de 24 h ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$) em nenhuma das 152 estações de monitoramento automáticas e manuais utilizadas pela CETESB. Na estação Cubatão-Vila Parisi, observaram-se 10 ultrapassagens do padrão diário, apresentando máximo de $371 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (CETESB, 2018).

Comparando as concentrações médias obtidas por Silva (2010), de 1993 a 2000 (de $46,13$ a $74,93 \mu\text{g}/\text{m}^3$), com a concentração média do município de Maracanaú ($51,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$), nota-se que, mesmo após quase 16 anos de crescimento das atividades industriais, a qualidade do ar da região em relação ao PTS não sofreu alterações significativas.

Ferreira Júnior (2016), em estudos realizados em São Gonçalo do Amarante na área do complexo industrial do Pecém (segundo distrito industrial do estado do Ceará), encontrou resultados similares aos observados neste estudo. Fang *et al.* (2014), em Taiwan, e Miranda (2011), em Salvador (BA, Brasil), depararam com valores acima dos obtidos neste monitoramento.

Para as partículas inaláveis (MP₁₀), poluente abrangido pelas legislações brasileira, americana e europeia, as concentrações observadas neste estudo variaram entre $17,2$ e $100,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, com valor médio de $42,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. As concentrações do poluente ultrapassaram os limites adotados pela Organização Mundial da Saúde (WHO) e pela União Europeia em cinco coletas (entre $54,9$ e $100,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, média das ultrapassagens de $74,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Para as demais legislações, não se verificaram ultrapassagens, conforme Figura 6.

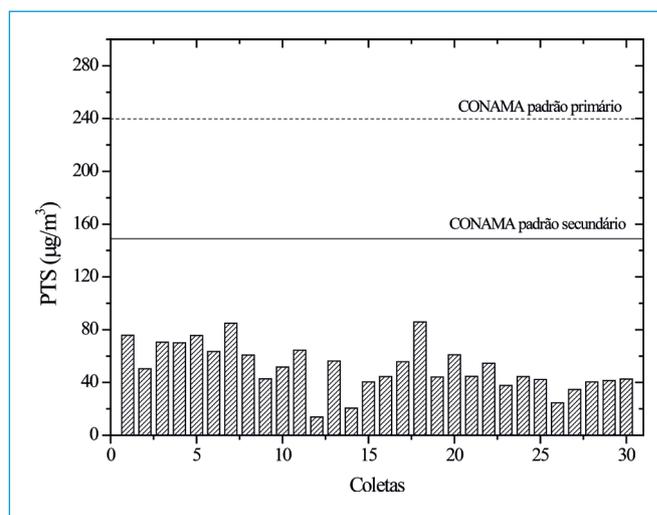


Figura 5 - Concentrações médias de particulados totais em suspensão (PTS) (24 h) observadas nos meses de novembro de 2015 a abril de 2016 na área do distrito industrial de Maracanaú (CE).

Na comparação entre a média do período chuvoso (coletas 11 a 20) e a média global, houve redução de 14%, o que demonstra a importância dos processos de deposição úmida para a diminuição dos particulados atmosféricos.

Na região metropolitana do Rio de Janeiro, no ano de 2015, nas 11 estações de monitoramento da qualidade do ar, apresentou-se concentração máxima de $143 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e mínima de $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} . Não houve ultrapassagem da concentração média diária de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ desse particulado (INEA, 2016).

Médias mensais determinadas por Carvalho *et al.* (2015) para as concentrações de MP_{10} durante os anos de 1996 a 2009 na região metropolitana de São Paulo mostraram valores entre 35 e $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para os meses de janeiro a abril. As médias encontradas por esses autores aproximaram-se das médias mensais deste trabalho.

Estudos realizados em regiões industriais da China e da Índia apresentaram, respectivamente, para o MP_{10} , concentrações médias de $136,2$ e $169,91 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (HU *et al.*, 2014; PIPAL; SATSANGI, 2015). Os valores encontrados foram consideravelmente mais elevados em relação aos deste estudo, o que reafirma a importância da constante avaliação dos particulados em áreas industriais.

Para a avaliação do SO_2 em coletas de 24 h, com exceção da coleta 22 ($23,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$), que ultrapassou o limite de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ estabelecido pela WHO para coletas de 24 h, todas as demais coletas permaneceram nos limites indicados pelas legislações usadas como parâmetro para esse poluente, conforme a Figura 7.

Segundo os dados do relatório 2018 da CETESB, no ano de 2017 na região metropolitana de São Paulo, as concentrações médias de SO_2 não ultrapassaram os valores indicados pelas legislações de São Paulo ($60 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e do CONAMA 03/1990 ($365 \mu\text{g}/\text{m}^3$), observando-se uma concentração máxima de $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e mínima de $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Na região metropolitana do Rio de Janeiro no ano de 2015, as concentrações não ultrapassaram os valores estabelecidos pela legislação nacional, observando-se a maior concentração ($86 \mu\text{g}/\text{m}^3$) no município de Duque de Caxias, que sofre influência das fontes emissoras industriais ligadas ao polo petroquímico de Campos Elíseos e ao tráfego de veículos pesados movidos a *diesel* na Rodovia Washington Luiz (INEA, 2016).

O NO_2 , assim como os demais gases, foi medido durante 24 h, porém os valores de referência vigentes nas legislações brasileira, americana e europeia, assim como os padrões indicados pela WHO, consideram períodos de 1 h ou anual, o que impossibilita a comparação dos resultados para esse poluente. Na Índia, contudo, o padrão de qualidade do ar para o NO_2 é referenciado para coletas de 24 h. Neste estudo, houve uma variação entre $3,6$ – $16,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o NO_2 , verificando-se que em nenhuma das coletas a concentração do poluente chegou a ultrapassar o valor indicado ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) pela legislação indiana, conforme a Figura 8.

Silva (2010) apresentou os dados de SO_2 obtidos pela Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE) nos anos de 1993 a 2000 no município de Maracanaú e encontrou concentrações mais elevadas que as obtidas neste trabalho. O autor relatou médias geométricas anuais em 1999 de $16,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e em 1996 de $98,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Neste estudo, obteve-se média geométrica semestral de $8,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Portanto, com o passar dos anos, as concentrações de SO_2 em Maracanaú vêm diminuindo. Esse fato pode estar relacionado às novas tecnologias aplicadas aos combustíveis e aos sistemas de filtração das chaminés industriais.

Sheng e Tang (2016) realizaram um estudo na área industrial e urbana de Pequim para avaliar as concentrações de SO_2 e NO_2 na atmosfera local e relataram valores de SO_2 entre 30 – $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e de NO_2 entre 36 – $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ambos superiores aos observados neste trabalho.

Na cidade de São Gonçalo do Amarante, segundo parque industrial do estado do Ceará, Ferreira Júnior (2016) analisou as concentrações

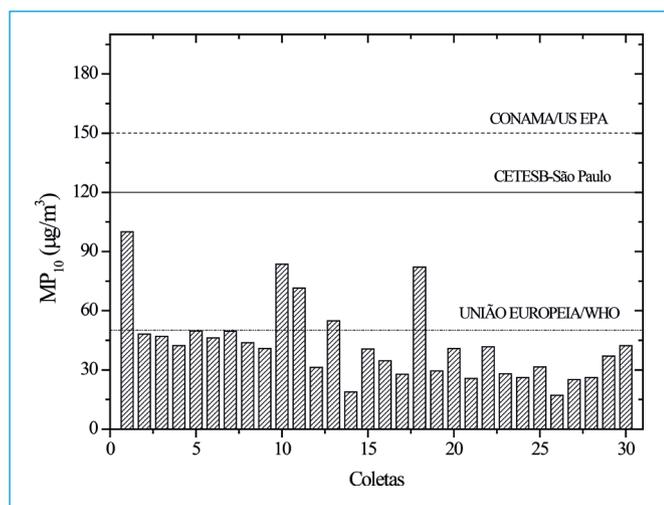


Figura 6 - Concentrações médias de MP_{10} (24 h) observadas nos meses de novembro de 2015 a abril de 2016 na área do distrito industrial de Maracanaú (CE).

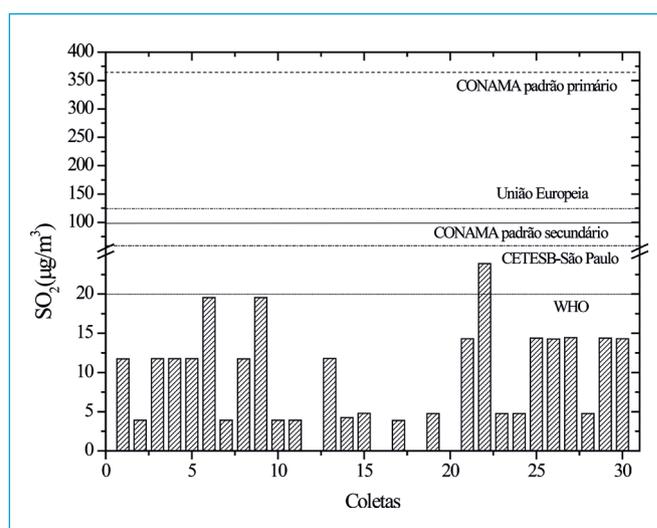


Figura 7 - Concentrações de SO_2 (24 h) no período de novembro de 2015 a abril de 2016 na área do distrito industrial de Maracanaú (CE).

médias para os gases SO_2 e NO_2 e encontrou, para o SO_2 , valores similares ao deste estudo ($6,87\text{--}28,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), enquanto as concentrações para o NO_2 se mostraram abaixo do limite de detecção do método. Estudos realizados no Brasil e em outros países para determinar SO_2 e NO_2 em áreas industriais mostraram concentrações relativamente acima das encontradas neste trabalho (ARAÚJO, 2011; BEHERA *et al.*, 2015; CETESB, 2015; CIVAN *et al.*, 2015; LUVSAN *et al.*, 2012).

As concentrações máximas de O_3 (1 h) e médias de O_3 (8 h) comparadas a diversos padrões nacionais (CONAMA, CETESB) e internacionais (USEPA, EEA, WHO) estão apresentadas na Figura 9.

Para o O_3 , a concentração média observada para períodos de 8 h (9 às 16 h) foi de $38,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, com valores máximo de $48,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e mínimo de $27,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Já para as coletas de 1 h, os valores máximo e mínimo de concentração foram de $57,2$ e $32,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente,

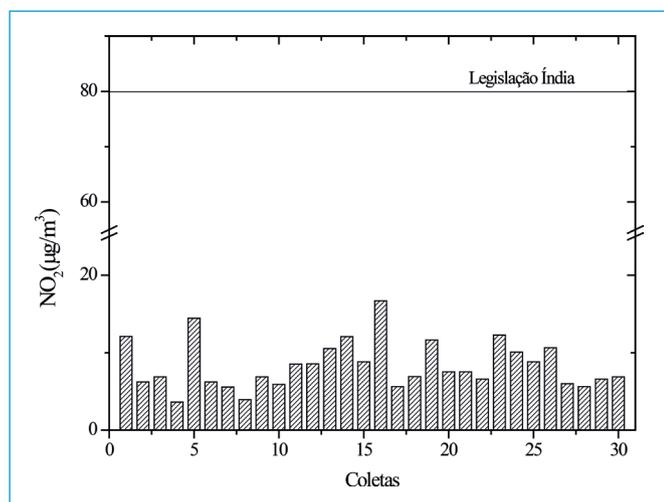


Figura 8 - Concentrações de NO_2 (24 h) no período de novembro de 2015 a abril de 2016 na área do distrito industrial de Maracanaú (CE).

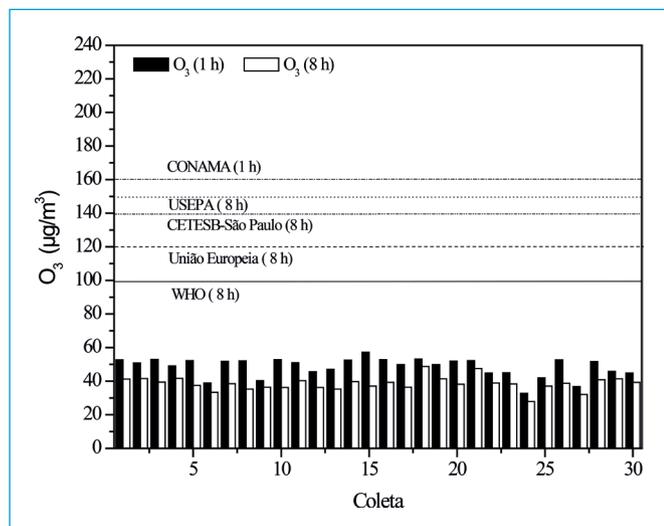


Figura 9 - Concentrações de O_3 1 h (máxima) e 8 h (média) no período de novembro de 2015 a abril de 2016 na área do distrito industrial de Maracanaú (CE).

com média de $48,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. As concentrações obtidas neste estudo, tanto para períodos de 1 h quanto de 8 h, foram baixas, permanecendo em conformidade com a legislação nacional vigente, bem como com as demais legislações internacionais comparadas.

Os valores obtidos mostram que o O_3 mantém um perfil estável, porém com um leve aumento na concentração nos horários entre 8 e 17 h. Segundo Tyagi *et al.* (2016), esse crescimento gradual das concentrações de O_3 nos inícios da manhã podem ser atribuídos ao aumento da radiação solar, como observado em Deli (Índia), onde a maior concentração de O_3 ocorria por volta das 15 h ($51,7 \text{ ppb}$) e, após esse horário, decrescia e se mantinha baixa durante toda noite pela falta de luz solar.

Demais estudos realizados em áreas industriais no Brasil e na Turquia apresentaram valores médios maiores do que os encontrados neste trabalho (CIVAN *et al.*, 2015; FERREIRA JÚNIOR, 2016). As concentrações dos metais associados ao PTS e ao MP_{10} estão indicadas nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

Para os metais associados às 30 amostras de PTS, apenas o Sb e o Ni não foram detectados. Para os demais metais, o Fe e o Zn tiveram

Tabela 2 - Concentrações de metais associados aos particulados totais em suspensão (PTS) coletadas no período de novembro de 2015 a abril de 2016 na área do distrito industrial de Maracanaú (CE).

| Metais PTS (ng/m ³) | N | Quantidade de ocorrências | χ | Máximo | Mínimo | σ |
|---------------------------------|----|---------------------------|--------|--------|--------|----------|
| Sb | 30 | 0 | ND | ND | ND | ND |
| Cd | 30 | 29 | 2,82 | 16,4 | 0,22 | 4,13 |
| Pb | 30 | 19 | 2,88 | 24,9 | 0,12 | 5,57 |
| Cu | 30 | 26 | 11,4 | 23,1 | 1,92 | 5,54 |
| Fe | 30 | 18 | 14,9 | 19,7 | 6,88 | 3,69 |
| Mn | 30 | 24 | 4,07 | 24,0 | 0,18 | 5,69 |
| Ni | 30 | 0 | ND | ND | ND | ND |
| Zn | 30 | 3 | 0,75 | 1,57 | 0,26 | 0,71 |

ND: não detectado; N: número de amostras; σ : desvio padrão; χ : média.

Tabela 3 - Concentrações de metais associados ao MP_{10} coletado no período de novembro de 2015 a abril de 2016 na área do distrito industrial de Maracanaú (CE).

| Metais MP_{10} (Ng/M ³) | N | Quantidade De Ocorrências | χ | Máximo | Mínimo | σ |
|--|----|---------------------------|--------|--------|--------|----------|
| Sb | 30 | 0 | Nd | Nd | Nd | Nd |
| Cd | 30 | 17 | 0,80 | 4,88 | 0,17 | 1,12 |
| Pb | 30 | 0 | Nd | Nd | Nd | Nd |
| Cu | 30 | 18 | 3,18 | 12,6 | 0,06 | 3,58 |
| Fe | 30 | 19 | 11,2 | 18,5 | 1,33 | 5,01 |
| Mn | 30 | 29 | 5,37 | 20,1 | 0,32 | 5,08 |
| Ni | 30 | 5 | 4,93 | 10,8 | 0,17 | 4,49 |
| Zn | 30 | 12 | 0,40 | 0,99 | 0,05 | 0,30 |

ND: não detectado; N: número de amostras; σ : desvio padrão; χ : média.

a maior e a menor concentração média, com valores de 14,9 e 0,75 ng/m³, respectivamente. Para o MP₁₀, o Sb e o Pb não foram detectados, e verificou-se comportamento semelhante quanto aos níveis de Fe e Zn, sendo os valores encontrados de 11,2 e 0,40 ng/m³, respectivamente.

Os maiores níveis de Fe na área em estudo podem estar relacionados à influência das emissões de uma indústria de aço, localizada à leste da estação de monitoramento, de onde são provenientes os ventos predominantes, conforme a rosa dos ventos da Figura 4. Fato semelhante foi constatado por Carvalho, Jablonski e Teixeira (2000) no município de Charqueadas (RS), onde se atribuíram as altas concentrações de Fe (3,17 µg/m³) no PTS às emissões de uma siderúrgica situada na direção de predominância dos ventos. Nesse trabalho, os autores identificaram níveis de Cd de 2 ng/m³, Cu de 114 ng/m³, Ni de 19 ng/m³, Mn de 20 ng/m³ e Pb de 9 ng/m³. No estudo em Charqueadas, os altos níveis de metais, principalmente Fe, foram atribuídos à falta de sistema de controle das emissões da fonte industrial.

Em relação ao Cu, os valores observados são de mesma magnitude que os relatados por Di Vaio *et al.* (2018) em estudo realizado em uma área urbana-industrial da Itália, sugerindo que o Cu é predominantemente emitido por fontes antropogênicas, e uma das principais fontes são as fornalhas de fundição, o que mostra mais uma vez a influência das emissões da indústria de aço localizada próxima ao local de coleta.

A identificação das prováveis fontes de emissão de poluentes tem se tornado cada vez mais viável por meio de estudos de caracterização química dos elementos associados aos materiais particulados. No município de São Gonçalo do Amarante, onde se localiza o complexo industrial do Pecém, Ferreira Júnior (2016) investigou as concentrações de Pb, Cu, Fe e Ni associadas ao particulado total em suspensão e constatou valores médios de 16,1; 3,33; 9,08; e 0,62 ng/m³.

Em estudo realizado na cidade de Natal (RN), Albuquerque (2013) determinou as concentrações de Cd, Pb, Cu, Ni e Mn associados ao MP₁₀ e observou para cada metal as seguintes médias, respectivamente: 0,03; 5,34; 2,34; 0,45; e 0,48 ng/m³.

De modo geral, as concentrações encontradas por Ferreira Júnior (2016) e Albuquerque (2013) apresentaram médias abaixo das indicadas neste estudo, com exceção do Pb. Albuquerque (2013) afirma ainda que a ressuspensão de poeiras do solo contribui fortemente para a emissão de metais-traço de fontes naturais, representando mais de 50% das emissões de Mn e mais de 20% das emissões de Cu, Ni, Pb, Sb e Zn.

No Brasil, não há legislação para os metais determinados neste estudo, contudo o estado de São Paulo, por meio do Decreto nº 59.113 de 2013, estabeleceu apenas para o Pb um padrão final para concentrações médias aritméticas anuais de 0,5 µg/m³ (500 ng/m³) (SÃO PAULO, 2013). Pelo caráter tóxico, WHO e EPA também estabeleceram

valores-alvo para esse metal de 0,5 (500 ng/m³) e 0,15 µg/m³ (150 ng/m³), respectivamente.

De modo geral, as concentrações de metais associados aos particulados encontradas por Enamorado-Baéz *et al.* (2015) em Sevilha, na Espanha, (2,0 ng/m³ de Sb; 0,3 ng/m³ de Cd; 23,0 ng/m³ de Pb; 17,0 ng/m³ de Cu; 1.112,0 ng/m³ de Fe; 19,0 ng/m³ de Mn; 4,0 ng/m³ de Ni; 63,0 ng/m³ de Zn) foram superiores às deste estudo.

As concentrações observadas por Dai *et al.* (2015) em Hangzhou, China, (180,0 ng/m³ de Mn; 5.542,7 ng/m³ de Fe; 10,7 ng/m³ de Ni; 154,0 ng/m³ de Cu; 1.018,6 ng/m³ de Zn; 4,0 ng/m³ de Cd e 195,2 ng/m³ de Pb) são ainda maiores dado o alto grau de industrialização da cidade.

CONCLUSÕES

Em praticamente todas as coletas realizadas pelo período de seis meses, as concentrações dos poluentes analisados, PTS, MP₁₀, SO₂, NO₂ e O₃, mantiveram-se abaixo dos limites estabelecidos por CONAMA, CETESB, USEPA e União Europeia. O MP₁₀ também apresentou concentrações relativamente baixas, ultrapassando os limites estabelecidos pela União Europeia e pela WHO em apenas 16,7% das coletas (com valores entre 54,9 e 100,1 µg/m³ e média de excedência de 74,5 µg/m³).

Os gases inorgânicos SO₂, NO₂ e O₃, quando comparados às legislações CONAMA, CETESB, EPA e EEA, mantiveram-se bem abaixo dos limites estabelecidos. O SO₂, porém, teve uma coleta com concentração acima do limite estabelecido pela WHO (média de 23,9 µg/m³). O NO₂ (24 h), não abrangido pelas legislações usadas como referência neste trabalho, foi comparado à legislação indiana e mostrou níveis bem inferiores ao limite de 80 µg/m³ estabelecido para esse gás.

As concentrações médias dos metais pesados (Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Sb, Pb e Zn) associados ao PTS variaram entre 0,75 e 14,40 ng/m³, enquanto, para os MP₁₀, as variações foram de 0,40 a 11,20 ng/m³, caracterizando uma magnitude semelhante de ocorrência dessas espécies.

Para os metais, o Fe apresentou as maiores concentrações em ambos os particulados. O Pb não foi encontrado no MP₁₀, contudo, quando associado ao PTS, as concentrações variaram de 0,12 a 24,90 ng/m³, inferior ao estabelecido nas legislações EPA, WHO e no Decreto nº 59.113/2013 da cidade de São Paulo.

Pela escassez de dados referentes ao monitoramento da qualidade do ar no estado do Ceará, principalmente nas áreas industrializadas, é notória a necessidade da implantação de uma rede de monitoramento na capital e na sua região metropolitana.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, M.H.O. (2013) *Determinação da concentração de metais no material particulado (MP₁₀ e MP₂₅) do ar atmosférico em uma área urbana da cidade de Natal-RN*. 113f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- ARAÚJO, V.M.R. (2011) *Monitoramento da qualidade do ar na região do Vale do Aço-MG: municípios de Coronel Fabriciano e Ipatinga*. 169f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Centro Universitário do Leste de Minas Gerais, Coronel Fabriciano.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (1986) *NBR 9546: Dióxido de enxofre no ar ambiente determinação da concentração pelo método da pararrosanilina*. Rio de Janeiro: ABNT.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (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: ABNT.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (1997) *NBR 9547: Material particulado em suspensão no ar ambiente - Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume*. Rio de Janeiro: ABNT.
- BEHERA, S.N.; SHARMA M.; MISHRA P.K.; NAYAK P.; DAMEZ-FONTAINE B.; TAHON, R. (2015) Passive measurement of NO₂ and application of GIS to generate spatially-distributed air monitoring network in urban environment. *Urban Climate*, v. 14, p. 396-413. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.12.003>
- BRASIL. (1990) Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 003, de 28 de junho de 1990. Estabelece padrões de qualidade do ar para concentração de poluentes atmosféricos, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, 28 ago. 1990.
- CARVALHO, F.G.; JABLONSKI, A.; TEIXEIRA, E.C. (2000) Estudo das partículas totais em suspensão e metais associados em áreas urbanas. *Química Nova*, v. 23, n. 5, p. 614-617. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422000000500008>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.11.001>
- CIVAN, M.Y.; ELBIR, T.; SEYFIOGLU, R.; KUNTASAL, O.O.; BAYRAM, A.; DOGAN, G.; YURDAKUL, S.; ANDIÇ, O.; MÜEZZINOGLU, A.; SOFUOGLU, S.C.; PEKEY, H.; PEKEY, B.; BOZLAKER, A.; ODABASI, M.; TUNCEL, G. (2015) Spatial and temporal variations in atmospheric VOCs, NO₂, SO₂, and O₃ concentrations at a heavily industrialized region in Western Turkey, and assessment of the carcinogenic risk levels of benzene. *Atmospheric Environment*, v. 103, p. 102-113. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.12.031>
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DE SÃO PAULO (CETESB). (2013) *Qualidade do ar no Estado de São Paulo*. São Paulo: CETESB. (Série Relatórios.)
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DE SÃO PAULO (CETESB). (2015) *Qualidade do ar no Estado de São Paulo*. São Paulo: CETESB. (Série Relatórios.)
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DE SÃO PAULO (CETESB). (2018) *Qualidade do ar no Estado de São Paulo*. São Paulo: CETESB. (Série Relatórios.)
- DAI, Q.; BI, X.; WU, J.; ZHANG, Y.; WANG, J.; XU, H.; YAO, L.; JIAO, L.; FENG, Y. (2015) Characterization and source identification of heavy metals in ambient PM₁₀ and PM_{2.5} in an integrated iron and steel industry zone compared with a background site. *Aerosol and Air Quality Research*, v. 15, n. 3, p. 875-887. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2014.09.0226>
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (DENATRAN). (2018) *Frota de veículos*. DENATRAN. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/estatistica/635-frota-2018>>. Acesso em: 1º nov. 2018.
- DI VAIO, P.; MAGLI, E.; CALIENDO, G.; CORVINO, A.; FIORINO, F.; FRECENTESE, F.; SACCONI, I.; SANTAGADA, V.; SEVERINO, B.; ONORATI, G.; DONOFRIO FREDA, G.; MANZO, C.; PERISSUTTI, A.D. (2018) Heavy Metals Size Distribution in PM10 and Environmental-Sanitary Risk Analysis in Acerra (Italy). *Atmosphere*, v. 9, n. 2, p. 58. <http://doi.org/10.3390/atmos9020058>
- ENAMORADO-BAÉZ, S.M.; GÓMEZ-GUZMÁN, J.M.; CHAMIZO, E.; ABRIL, J.M. (2015) Levels of 25 trace elements in high-volume air filter samples from Seville (2001-2002): Sources, enrichment factors and temporal variations. *Atmospheric Research*, v. 155, p. 118-129. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.12.005>
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). (2016) *Air quality in Europe*. EEA. Disponível em: <<http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2016#tab-figures-used>>. Acesso em: 10 dez. 2016.
- FANG, G.C.; CHANG, S.C.; CHEN, Y.C.; ZHUANG, Y.J. (2014) Measuring metallic elements of total suspended particulates (TSPs), dry deposition flux, and dry deposition velocity for seasonal variation in central Taiwan. *Atmospheric Research*, v. 143, p. 107-117. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.02.002>
- FERREIRA JÚNIOR, A.C. (2016) *Avaliação da qualidade do ar no município de São Gonçalo do Amarante*. 81f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza.
- FREITAS, A.M.; SOLCI, M.C. (2009) Caracterização do MP₁₀ e MP₂₅ e distribuição por tamanho de cloreto, nitrato e sulfato em atmosfera urbana e rural de Londrina. *Química Nova*, v. 32, n. 7, p. 1750-1754. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000700013>
- FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS (FUNCEME). (2016) *Calendário das Chuvas no Estado do Ceará*. Funceme. Disponível em: <<http://www.funceme.br/app/calendario/produto/municipios/maxima/diario>>. Acesso em: 1º jul. 2016.
- GHOZIKALI, M.G.; HEIBATI, B.; NADDAFI, K.; KLOOG, I.; CONTI, G.O.; POLOSA, R.; FERRANTE, M. (2016) Evaluation of Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) attributed to atmospheric O₃, NO₂, and SO₂ using AirQModel (2011-2012year). *Environmental Research*, v. 144, p. 99-105. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.10.030>

- GUO, L.C.; BAO, L.J.; SHE, J.W.; ZENG, E.Y. (2014) Significance of wet deposition to removal of atmospheric particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbons: A case study in Guangzhou, China. *Atmospheric Environment*, v. 83, p. 136-144. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.11.012>
- HEINRICH, J.; SCHIKOWSKI, T. (2018) COPD Patients as vulnerable subpopulation for exposure to ambient air pollution. *Current Environmental Health Reports*, v. 5, n. 1, p. 70-76. <https://doi.org/10.1007/s40572-018-0178-z>
- HIRABAYASHI, S.; NOWAK, D.J. (2016) Comprehensive national database of tree effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, v. 215, p. 48-57. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.04.068>
- HU, J.; WANG, Y.; YING, Q.; ZHANG, H. (2014) Spatial and temporal variability of PM_{2.5} and PM₁₀ over the North China Plain and the Yangtze River Delta, China. *Atmospheric Environment*, v. 95, p. 598-609. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.07.019>
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). (2016) *Perfil Básico Municipal de Maracanaú*. Ceará: IPECE.
- INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). (2016) *Relatório da Qualidade do Ar do Estado do Rio de Janeiro - Ano Base 2015*. Rio de Janeiro: INEA.
- JONES, A.M.; HARRISON, R.M.; BAKER, J. (2010) The wind speed dependence of the concentrations of airborne particulate matter and NO_x. *Atmospheric Environment*, v. 44, n. 13, p. 1682-1690. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.01.007>
- LU, X.; YAO, T.; FUNG, C.H.J.; LIN, C. (2016) Estimation of health and economic costs of air pollution over the Pearl River Delta region in China. *Science of the Total Environment*, v. 566-567, p. 134-143. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.060>
- LUVSAN, M.; SHIE, R.; PUREVDORJ, T.; BADARCH, L.; BALDORJ, CHAN, C. (2012) The influence of emission sources and meteorological conditions on SO₂ pollution in Mongolia. *Atmospheric Environment*, v. 61, p. 542-549. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.07.044>
- MELKONYAN, A.; KUTTLER, W. (2012) Long-term analysis of NO, NO₂ and O₃ concentrations in North Rhine-Westphalia Germany. *Atmospheric Environment*, v. 60, p. 316-326. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.06.048>
- MIRANDA, J.P. (2011) *Material particulado inorgânico atmosférico total e fracionado por tamanho em áreas de influência industrial no recôncavo baiano*. 144f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- MUNIZ, A.M.V. (2015) Produção do espaço metropolitano de Fortaleza e a dinâmica industrial. *Mercator*, v. 14, n. 3, p. 61-74. <https://doi.org/10.4215/RM20151403.0004>
- PIPAL, A.S.; SATSANGI, P.G. (2015) Study of carbonaceous species, morphology and sources of fine (PM_{2.5}) and coarse (PM₁₀) particles along with climatic nature in India. *Atmospheric Research*, v. 154, p. 103-115.
- SAKAMOTO, Y.; SHOJI, K.; BUI, M.T.; PHAM, T.H.; VU, T.A.; LY, B.T.; KAJII, Y. (2018) Air quality study in Hanoi, Vietnam in 2015-2016 based on a one-year observation of NO_x, O₃, CO and a one-week observation of VOCs. *Atmospheric Pollution Research*, v. 9, n. 3, p. 544-551. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2017.12.001>
- SÃO PAULO. (2013) Decreto Estadual nº 59113, de 23 de abril de 2013. Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas. *Diário Oficial do Estado de São Paulo*.
- SHAO, P.; AN, J.; XIN, J.; WU, F.; WANG, J.; JI, D.; WANG, Y. (2016) Source apportionment of VOCs and the contribution to photochemical ozone formation during summer in the typical industrial area in the Yangtze River Delta, China. *Atmospheric Research*, v. 176-177, p. 64-74. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.02.015>
- SHENG, N.; TANG, U.W. (2016) The first official city ranking by air quality in China - A review and analysis. *Cities*, v. 51, p. 139-149. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2015.08.012>
- SILVA, J.A. (2010) *Um estudo da qualidade do ar na cidade de Fortaleza*. 112f. Dissertação (Mestrado em Ciências Físicas Aplicadas) - Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza.
- TYAGI, S.; TIWARI, S.; MISHRA, A.; HOPKE, P.K.; ATTRI, S.D.; SRIVASTAVA, A.K.; BISHT, D.S. (2016) Spatial variability of concentrations of gaseous pollutants across the National Capital Region of Delhi, India. *Atmospheric Pollution Research*, v. 7, n. 5, p. 808-816. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2016.04.008>
- UNAL, Y.S.; TOROS, H.; DENIZ, A.; INCECIK, S. (2011) Influence of meteorological factors and emission sources on spatial and temporal variations of PM₁₀ concentrations in Istanbul metropolitan area. *Atmospheric Environment*, v. 45, n. 31, p. 5504-5513.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). (1975) *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.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). (1977) *Sodium arsenite method for determination of nitrogen in the atmosphere*. EPA designated equivalent method nº. EQN-1277-026. Research Triangle Park.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). (2014) *Ambient (outdoor) air quality and health*. WHO. Disponível em: <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>>. Acesso em: 09 dez. 2016.
- ZHAO, S.; YU, Y.; YIN, D.; HE, J.; LIU, N.; QU, J.; XIAO, J. (2016) Annual and diurnal variations of gaseous and particulate pollutants in 31 provincial capital cities based on in situ air quality monitoring data from China National Environmental Monitoring Center. *Environment International*, v. 86, p. 92-106. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.11.003>