



Análise da Concentração de Material Particulado (Mp_{2,5}) na Instalação e Operação do Corredor Viário Transolímpica

Diego Rafael dos Santos Peixoto¹; Simone Lorena Quitério de Souza²;

Paulo Sergio de Oliveira Cezario¹

✉ diegorafaelsp@gmail.com

1. Universidade do Estado do Rio de Janeiro - RJ.

2. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro - RJ

Histórico do Artigo:

Recebido em: 24 de março de 2020

Aceito em: 27 de abril de 2020

Publicado em: 30 de abril de 2020

Resumo: O material particulado fino (MP_{2,5}) é um dos principais poluentes que contribuem para a diminuição da qualidade do ar em áreas sob influência de rodovias. Devido ao seu tamanho, o MP_{2,5} pode penetrar nas camadas mais profundas do sistema respiratório causando problemas de saúde na população exposta ao poluente. Na Transolímpica, um corredor viário do Rio de Janeiro, o monitoramento de MP_{2,5} foi realizado durante a fase de instalação e operação da via por exigência do órgão ambiental fiscalizador, o Instituto Estadual do Ambiente (INEA). O presente trabalho analisou a concentração de MP_{2,5}, em duas estações de monitoramento da qualidade do ar próximas à Transolímpica, no período de outubro de 2014 a outubro de 2018, contemplando as fases de instalação e operação da via. Foi realizada a comparação da concentração de MP_{2,5} entre as fases de instalação e operação, com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 491/2018 e pela Organização Mundial da Saúde (OMS). Além disso, as variáveis meteorológicas foram correlacionadas com a concentração de MP_{2,5} obtida no período. Os resultados mostraram que o limite da Resolução CONAMA N° 491/2018 foi extrapolado três dias na fase de instalação e o limite recomendado pela OMS foi violado em 81 dias de amostragem. A comparação entre as fases de instalação e operação da Transolímpica mostrou que durante as obras a concentração de MP_{2,5} foi cerca de 24 % maior. E todas as variáveis meteorológicas se mostraram fracamente correlacionadas com a concentração de MP_{2,5}.
Palavras-chave: Material particulado fino, Qualidade do ar, Rodovias, MP_{2,5}.

Particulate Matter Concentration (Pm_{2,5}) Analysis in the Installation and Operation of the Transolímpica Road Corridor

Abstract: Fine particulate material (PM_{2,5}) is one of the main pollutants that contributes to the air quality decrease in the highways influence areas. Due to its size, PM_{2,5} can penetrate deeper in the respiratory system layers, causing health problems in the population exposed to the pollutant. At Transolímpica, a highway in Rio de Janeiro, PM_{2,5} monitoring was carried out during the road installation and operation, as required by the environmental agency, the Instituto Estadual do Ambiente (INEA). The present study analyzed PM_{2,5} concentration in two air quality monitoring stations near by Transolímpica, from October 2014 to October 2018, contemplating installation and operation road phases. PM_{2,5} concentration was compared between installation and operation phases, with Resolução CONAMA N° 491/2018 and the World Health Organization (WHO) standards. In addition, meteorological variables were correlated with PM_{2,5} concentration obtained in the period. The results showed that the Resolução CONAMA N° 491/2018 limit of was extrapolated three days in installation phase and the recommended WHO standard was violated in 81 days of sampling. The comparison between the Transolímpica installation and operation phases showed that during the construction PM_{2,5} concentration was about 24 % higher. And all variables were poorly correlated with PM_{2,5} concentration.

Keywords: Fine particulate matter, Air quality, Roads, PM_{2,5}.

Análisis de la Concentración de Material Particulado (MP_{2.5}) en la Instalación y Operación del Corredor de Carretera Transolímpico

Resumen: El material particulado fino (MP_{2.5}) es uno de los principales contaminantes que contribuyen a la disminución de la calidad del aire en áreas bajo la influencia de las carreteras. Debido a su tamaño, MP_{2.5} puede penetrar en las capas más profundas del sistema respiratorio causando problemas de salud en la población expuesta al contaminante. En Transolímpica, un corredor vial en Rio de Janeiro, el monitoreo de MP_{2.5} se llevó a cabo durante la fase de instalación y operación de la carretera, según lo requerido por el organismo de inspección ambiental, el Instituto Estadual do Ambiente (INEA). El presente trabajo analizó la concentración de MP_{2.5} en dos estaciones de monitoreo de la calidad del aire cerca de la Transolímpica, de octubre de 2014 a octubre de 2018, cubriendo las fases de instalación y operación de la carretera. Se realizó una comparación de la concentración de MP_{2.5} entre las fases de instalación y operación, con los límites establecidos por la Resolución CONAMA N° 491/2018 y por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Además, las variables meteorológicas se correlacionaron con la concentración de MP_{2.5} obtenida en el período. Los resultados mostraron que el límite de la Resolución CONAMA N° 491/2018 fue extrapolado tres días en la fase de instalación y el límite recomendado por la OMS fue violado en 81 días de muestreo. La comparación entre las fases de instalación y operación de Transolímpica mostró que durante los trabajos la concentración de MP_{2.5} fue aproximadamente un 24% mayor. Y todas las variables meteorológicas se correlacionaron débilmente con la concentración de MP_{2.5}.

Palabras clave: Partículas finas, Calidad del aire, Carreteras, MP_{2.5}.

INTRODUÇÃO

A alteração da qualidade do ar é um dos principais impactos ambientais decorrentes das fases de instalação e operação de rodovias (SÁNCHEZ, 2013). Dentre os diversos poluentes emitidos para atmosfera nessas fases, o material particulado fino aparece como um dos mais relevantes (MING *et al.*, 2017). O material particulado fino consiste em uma complexa mistura de partículas sólidas e líquidas na forma de aerossóis, poeira, metais, fuligem, entre outros, que possui diâmetro aerodinâmico de até 2,5 µm (BRASIL, 2018).

O MP_{2.5} tem sido alvo de grande preocupação devido a sua capacidade de penetrar nas vias respiratórias inferiores e causar, principalmente, doenças respiratórias e cardíacas (GUARIEIRO *et al.*, 2011). Segundos os estudos desenvolvidos por Jerret (2015) e Lelieveld *et al.* (2015), o material particulado fino foi responsável por mais de 3 milhões de mortes prematuras no ano de 2015.

Entretanto, apenas no ano de 2018 foi regulamentada no Brasil a primeira legislação estabelecendo padrões limites de emissão de MP_{2.5} para a atmosfera em nível federal. A Resolução CONAMA N° 491/2018 está sendo implementada em etapas, por isso, o padrão intermediário que vigora, provisoriamente, é de 60 µg m⁻³ para o período de 24 horas e de 20 µg m⁻³ considerando a média de concentração anual. Como padrão final está previsto a adoção dos

valores recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), de 25 µg m⁻³ d⁻¹ e 10 µg m⁻³ a⁻¹ (BRASIL, 2018).

A Transolímpica é um corredor viário de 26 km de extensão que liga os bairros de Deodoro a Barra da Tijuca. Essa via expressa, que começou a ser construída em 2012 e a operar no ano de 2016, teve seu processo de licenciamento ambiental conduzido pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA), órgão ambiental licenciador no estado do Rio de Janeiro.

Durante o licenciamento foi exigido pelo INEA ações de monitoramento da qualidade do ar com a operação de amostradores de grande volume de partículas em suspensão (HI-VOL). Para MP_{2,5} foram instalados HI-VOL em dois locais, Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar (EMQA) Bosque da Boiuna e Rio Grande que operaram desde a fase de obras até a operação da Transolímpica (INEA, 2013).

Este trabalho tem como objetivo analisar e comparar as concentrações de MP_{2,5} obtidas durante a fase de instalação e operação da Transolímpica nas EMQA Bosque da Boiuna e Rio Grande. E, além disso, correlacionar os dados de concentração de MP_{2,5} com variáveis meteorológicas visando avaliar a influência dessas variáveis na concentração de material particulado.

MATERIAL E MÉTODOS

O local de estudo se encontra na Bacia Aérea II que compreende os bairros de Jacarepaguá e Barra da Tijuca, localizados no município do Rio de Janeiro – RJ, e possui uma área de, aproximadamente, 182 km² (MARTINS *et al.*, 2014).

Os dados de concentração de MP_{2,5} foram obtidos de duas estações semiautomáticas de monitoramento operadas pela empresa responsável pela gestão ambiental da Transolímpica, de acordo com a Resolução CONAMA N° 03/1990 vigente a época, durante o período de 14 de outubro de 2014 a 28 de outubro de 2018. A Estação de Monitoramento da Qualidade do Ar (EMQA) Bosque da Boiuna está localizada, no bairro da Taquara, no interior do condomínio de mesmo nome, a cerca de 400 metros da Transolímpica (22°54'50.35"S 43°23'45.08"O). Enquanto que a EMQA Rio Grande está localizada a cerca de 100 metros da Transolímpica, na estrada do Rio Grande, no bairro de Jacarepaguá, em frente ao condomínio *Golden Dreams* (22°55'10.67"S 43°23'55.61"O). A localização das EMQA pode ser observada na Figura 1.

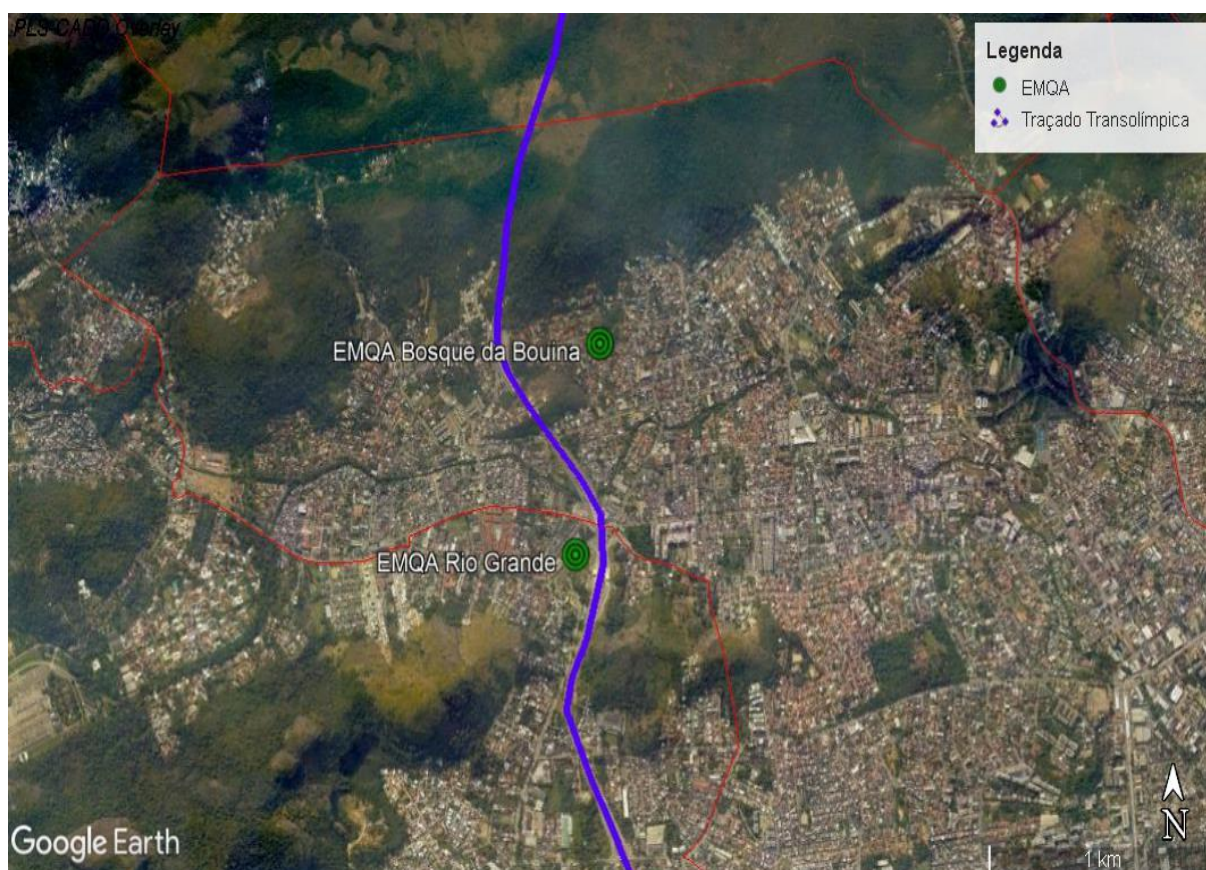


Figura 1 – Localização das Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar (EMQA) Bosque da Bouina e Rio Grande em relação ao traçado da Transolímpica.

Fonte: Google Earth Pro (2018).

A seleção dos dados foi realizada considerando a frequência de amostragem de seis em seis dias durante todo o período analisado. Entretanto, algumas medições, referentes aos dias em que os equipamentos amostradores apresentaram falhas técnicas, foram desconsideradas. Dessa forma, para este estudo foram considerados os dados de 106 dias amostrados durante a fase de instalação e 140 dias amostrados durante a fase de operação, em ambas as EMQA.

Todo o monitoramento foi realizado utilizando o amostrador de grande volume (AGV MP_{2,5}), fabricado pela empresa Energética Qualidade do Ar, e a metodologia seguiu o recomendado pela ABNT NBR 13412/1995 (DIAS, 2017).

Os dados meteorológicos diários, foram obtidos, durante todo o período em que ocorreram as atividades de monitoramento, da Estação Meteorológica do Aeroporto de Jacarepaguá – Roberto Marinho, considerando os seguintes parâmetros: temperatura média (°C), umidade relativa média (%), precipitação total (mm), pressão média no nível da estação (hPa) e velocidade do vento máximo (Kt).

Inicialmente os valores de concentração diária de MP_{2,5} foram comparados com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 491/2018 e recomendados pela Organização

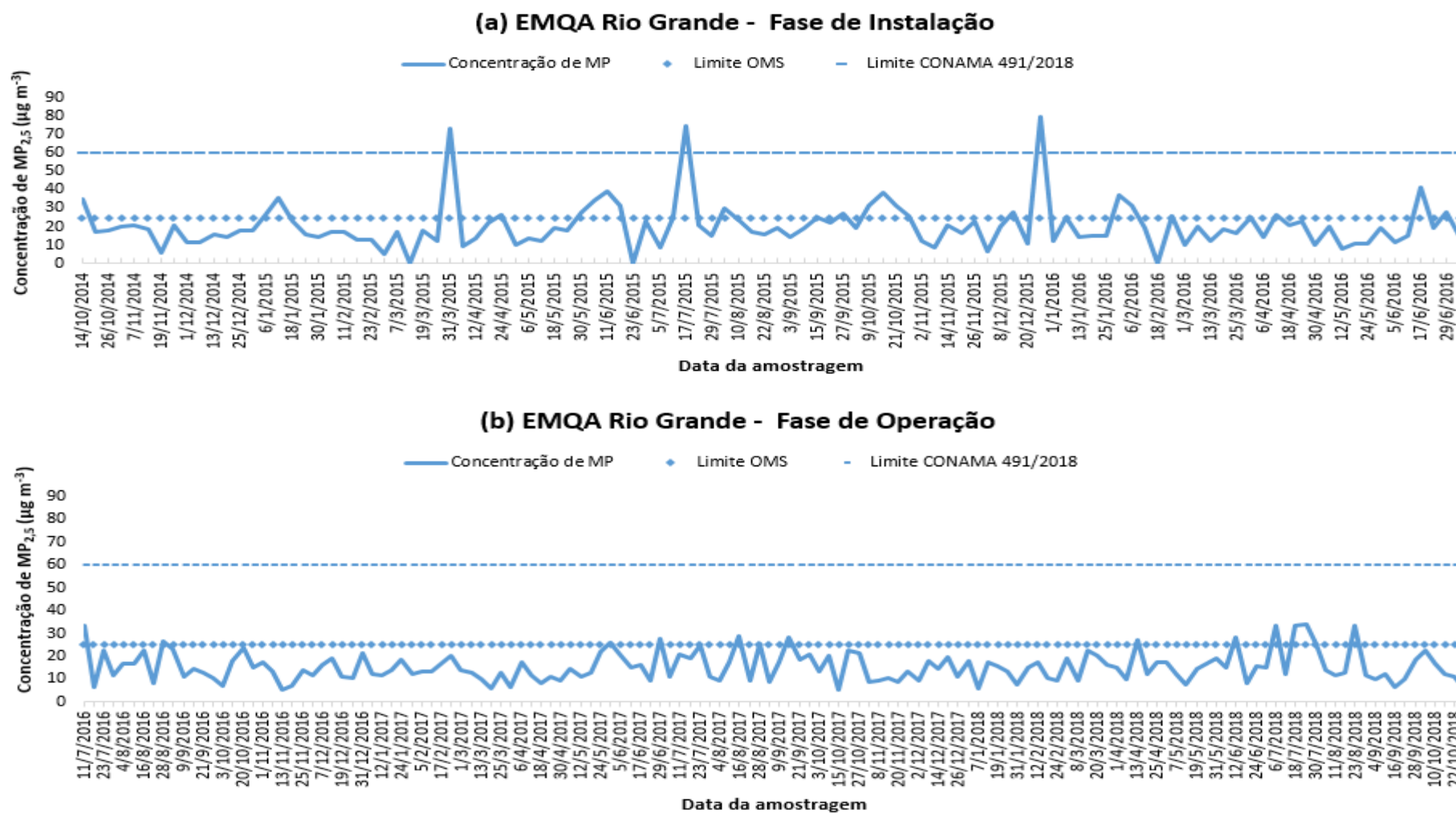
Mundial da Saúde (OMS). Para verificar se houve diferença na concentração de MP_{2,5} entre as fases de instalação e operação da Transolímpica foi aplicado o teste *Mann-Whitney* nos dados de cada EMQA. E a correlação de *Spearman* foi usada para verificar a correlação entre o MP_{2,5} e as variáveis meteorológicas. Todas as análises estatísticas, descritiva e multivariada, foram realizadas por meio do *software R Studio*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comparando as concentrações de MP_{2,5} com o padrão intermediário estipulado pela Resolução CONAMA Nº 491/2018 e com o padrão recomendado pela OMS para o período de 24 horas foi possível observar que na fase de instalação o limite da Resolução CONAMA Nº 491/2018 (60 µg m⁻³) foi violado apenas na EMQA Rio Grande (Gráfico 1(a)), em três dos 106 dias amostrados. Entretanto, o valor de 25 µg m⁻³, recomendado pela OMS, foi ultrapassado em 25 dias na EMQA Rio Grande e em 24 dias na EMQA Bosque da Boiuna (Gráfico 2(a)).

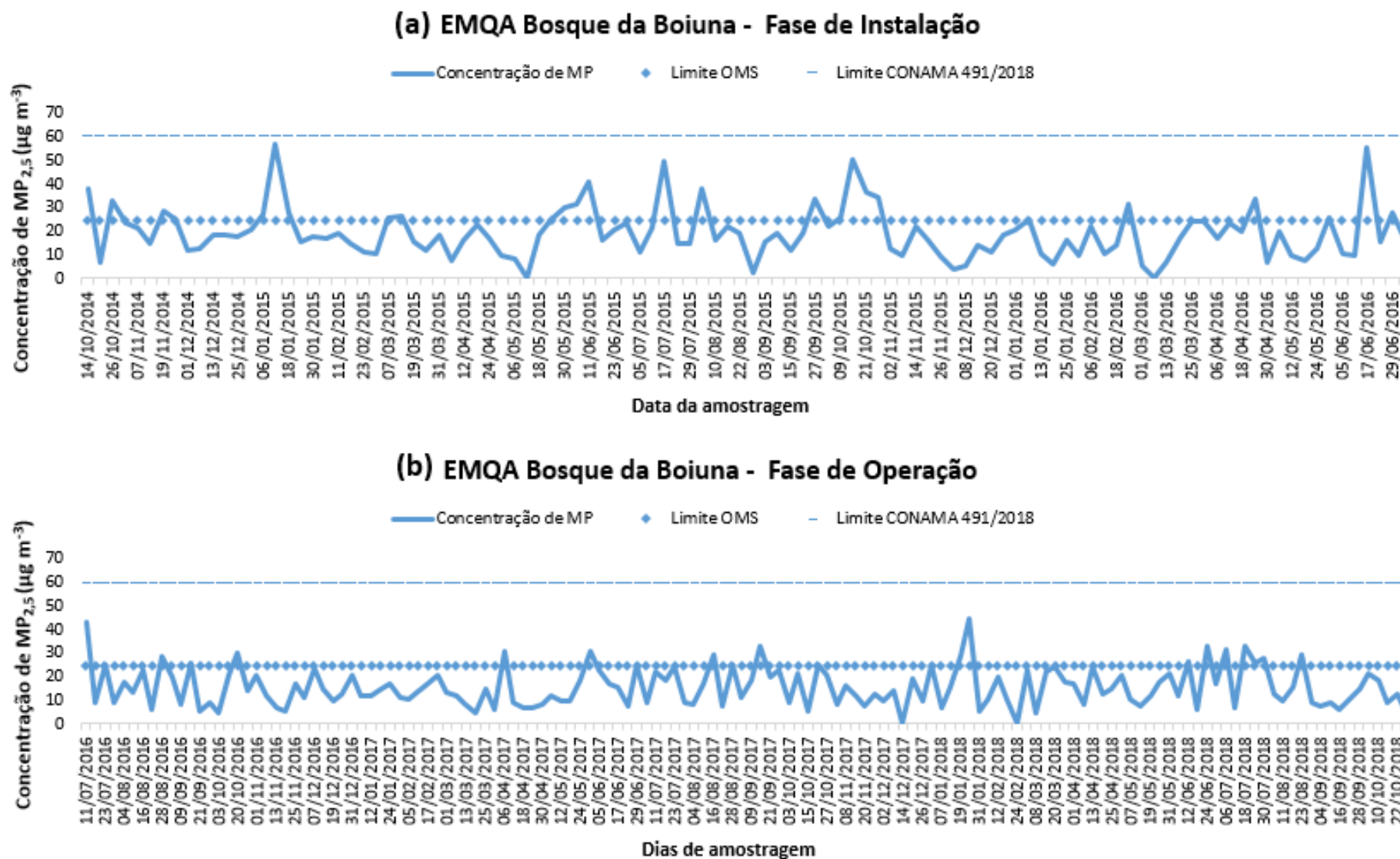
Na fase de operação, ambas as EMQA apresentaram concentrações de MP_{2,5} abaixo de 60 µg m⁻³ (Resolução CONAMA Nº 491/2018), porém em 14 dos 140 dias em que ocorreu amostragem foi ultrapassado o limite recomendado pela OMS na EMQA Rio Grande (Gráfico 1(b)) e na EMQA Bosque da Boiuna a concentração de 25 µg m⁻³ foi ultrapassada em 18 dias (Gráfico 2(b)).

As concentrações diárias de MP_{2,5} obtidas durante a fase de operação são semelhantes as encontradas durante o monitoramento realizado em 2016 nos bairros Recreio dos Bandeirantes (2 a 36 µg m⁻³), Copacabana (3 a 29 µg m⁻³), Urca (3 a 23 µg m⁻³) e Lagoa (1 a 28 µg m⁻³) conforme mostra o estudo realizado por Ventura *et al.* (2019).

Gráfico 1 - Comparação da concentração de $MP_{2,5}$ na EMQA Rio Grande

Fonte: Os Autores.

Gráfico 2 - Comparação da concentração de MP_{2,5} na EMQA Bosque da Boiuna



Fonte: Os Autores.

A Tabela 1 mostra o resumo da estatística descritiva dos dados da concentração de $MP_{2,5}$, nas fases de instalação e operação, tanto na EMQA Rio Grande quanto na EMQA Bosque da Boiuna. Observa-se que a maior concentração de $MP_{2,5}$ foi obtida na EMQA Rio Grande, durante a fase de instalação, e a menor na EMQA Bosque da Boiuna, também na fase de instalação da Transolímpica. A média acompanhou o mesmo padrão, apresentando maiores valores na fase instalação, sendo o maior na EMQA Rio Grande e menores valores nas fases de operação.

Essa diferença observada entre as EMQA, especialmente na fase de instalação, era esperada, uma vez que a EMQA Rio Grande está localizada mais próxima ao local de obras para a construção da Transolímpica quando comparada a EMQA Bosque da Boiuna que está inserida dentro de um condomínio, mais afastada de pontos de intervenção da obra (Tabela 1).

Tabela 1 – Estatística descritiva dos dados

Estatística Descritiva	EMQA Bosque da Boiuna Instalação	EMQA Bosque da Boiuna Operação	EMQA Rio Grande Instalação	EMQA Rio Grande Operação
Concentração mínima ($\mu\text{g m}^{-3}$)	2,58	4,34	5,44	5,22
Concentração média ($\mu\text{g m}^{-3}$)	19,3	15,6	20,4	15,5
Concentração máxima ($\mu\text{g m}^{-3}$)	56,82	44,93	79,98	33,76

Fonte: Os Autores.

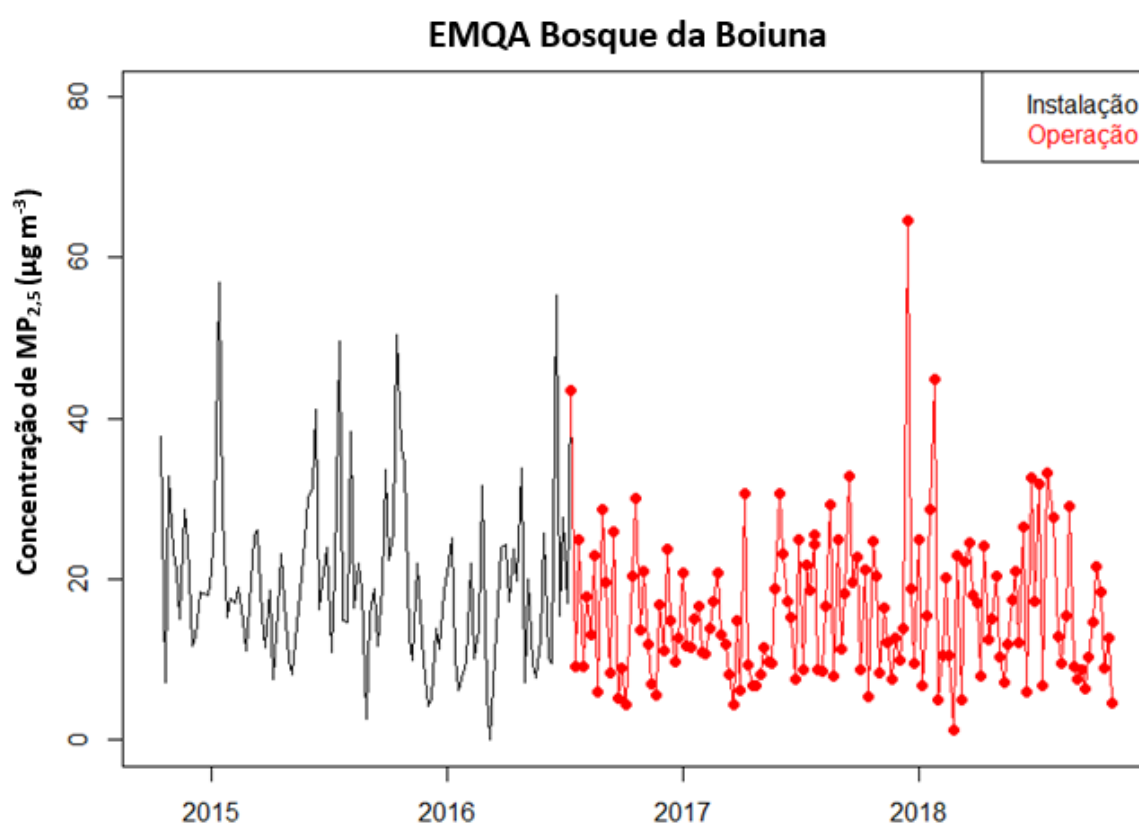
Ao comparar a concentração de $MP_{2,5}$ da fase de instalação (Gráfico 3) com a da fase de operação (Gráfico 4) verifica-se que a concentração na instalação é cerca de 24% maior do que na operação, além disso, os picos de maiores valores de $MP_{2,5}$ também foram mais altos na fase de instalação. Essa diferença se mostrou estatisticamente significativa ($p < 0,05$) para a EMQA Rio Grande ($w = 9479$ e $p - \text{valor} = 1,369e^{-05}$) e para a EMQA Bosque da Boiuna ($w = 8777$ e $p - \text{valor} = 0,003816$), após a aplicação do teste de *Mann-Whitney*, que permite a comparação de dois conjuntos de dados que não apresentam distribuição normal.

Apesar da fase de obras gerar notadamente mais material particulado grosso, com diâmetro aerodinâmico de até $10 \mu\text{m}$ (MP_{10}), devido à movimentação de terra, ao carreamento de lama para vias públicas e à ressuspensão de poeira, a diferença observada na concentração de $MP_{2,5}$ indica que as atividades de construção civil também alteram a concentração local de

Análise da Concentração de Material Particulado (Mp2,5) na Instalação e Operação do Corredor Viário Transolímpica

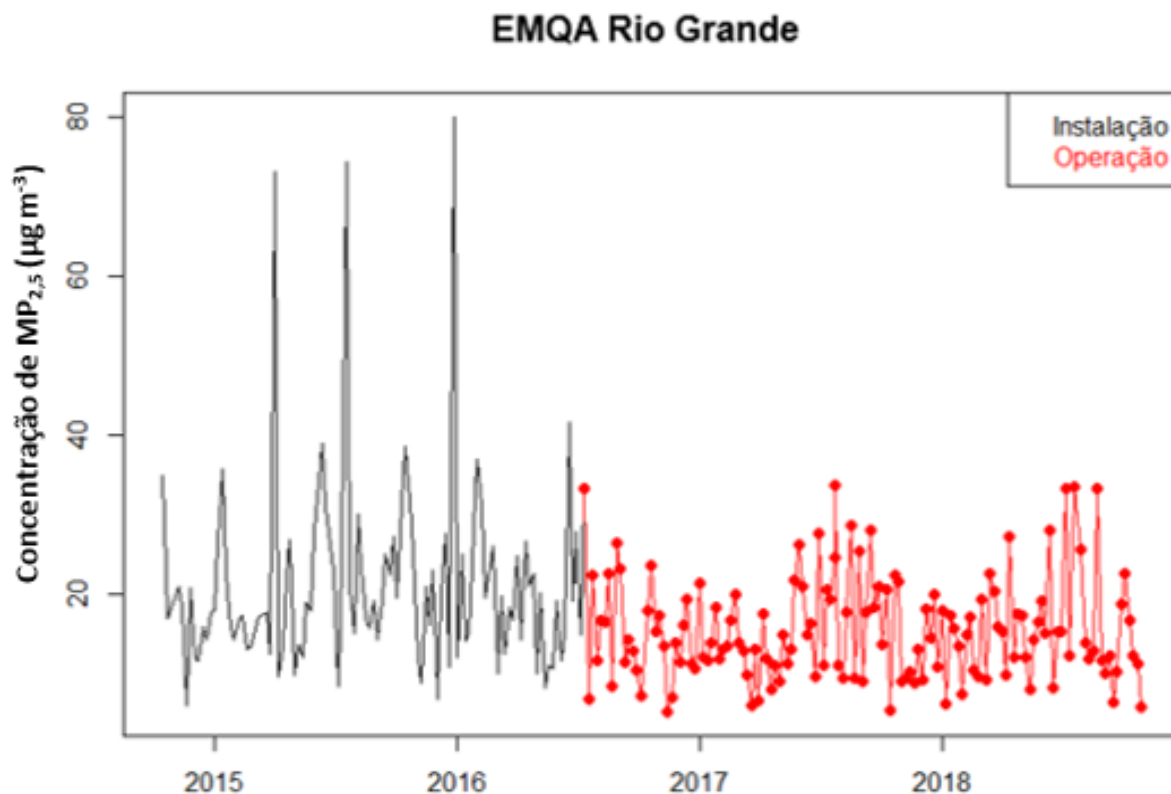
material particulado fino em suspensão (CHOWDHURI; GUPTA, 2017; KINSEY *et al.*, 2004). A principal hipótese para explicar isso é que durante a fase de instalação o fluxo de veículos, principalmente pesados, como caminhões e máquinas, é muito maior em comparação com a fase de operação e tais veículos tendem a emitir partículas de MP_{2,5} por seus escapamentos (JUDAREZLER; REIZER; OUDINET, 2011; LIU *et al.*, 2017). Segundo Godoy *et al.* (2018), no Rio de Janeiro, as emissões veiculares contribuem com 60% da concentração de MP_{2,5}.

Gráfico 3 – Concentração de MP_{2,5} durante as fases de instalação e de operação na EMQA Bosque da Boiuna



Fonte: Os Autores.

Gráfico 4 – Concentração de $MP_{2,5}$ durante as fases de instalação e de operação na EMQA Rio Grande.



Fonte: Os Autores

O Gráfico 5 mostra a concentração média anual de $MP_{2,5}$ durante as fases de instalação (IN) e operação (OP) da Transolímpica nas EMQA Rio Grande e Bosque da Boiuna. Considerando os dois anos completos durante o período analisado, 2015 para a fase de instalação e 2017 para a fase de operação, verifica-se que o limite recomendado pela OMS, de $10 \mu\text{g m}^{-3}$, foi ultrapassado em ambas as fases nas duas EMQA. Enquanto o limite anual estabelecido pela Resolução CONAMA N° 491/2018 ($20 \mu\text{g m}^{-3}$), foi violado em ambas as EMQA apenas na fase de instalação (Gráfico 5).

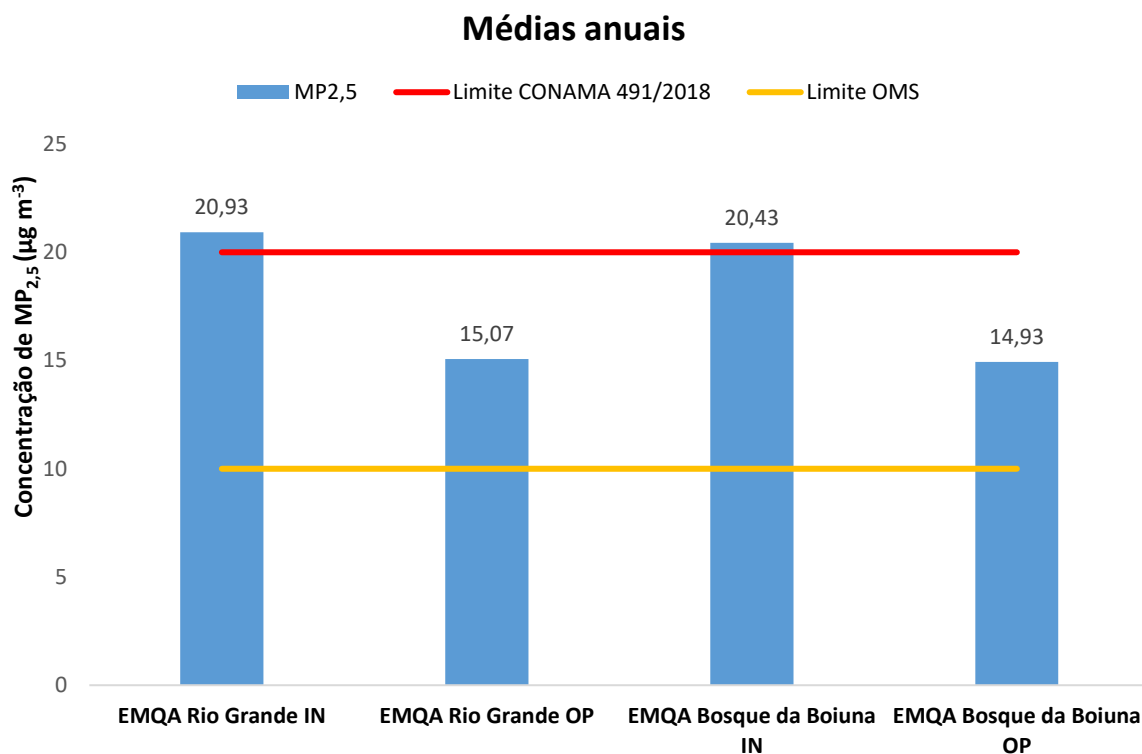
Nota-se a redução substancial da concentração anual de $MP_{2,5}$ na fase de operação da Transolímpica, o que corrobora o entendimento de que as atividades de construção civil também contribuem para aumentar a quantidade de partículas de material particulado fino em suspensão na atmosfera.

Apesar dessa diminuição na concentração anual de $MP_{2,5}$, ressalta-se que segundo a OMS, não há valor limite que ao ser atingido forneça total proteção à saúde humana. Dessa forma, além de continuar o monitoramento, é importante que sejam adotadas políticas públicas de

Análise da Concentração de Material Particulado (Mp2,5) na Instalação e Operação do Corredor Viário Transolímpica

redução das emissões de poluentes atmosféricos, como o incentivo ao uso de veículos com tecnologias menos poluentes.

Gráfico 5 – Concentração média anual de MP_{2,5}



Fonte: Os Autores.

A Figura 2 mostra a correlação entre a concentração de MP_{2,5} (MP25) e as variáveis meteorológicas nas EMQA Rio Grande e Bosque da Boiuna durante as fases de instalação e de operação da Transolímpica, onde valores negativos representam uma correlação negativa, enquanto valores positivos representam uma correlação positiva. E quanto mais próximo de 1 ou -1 maior é a correlação.

A análise da influência de variáveis meteorológicas na concentração de MP_{2,5} mostrou, a partir dos valores do coeficiente de correlação de *Spearman*, que todas as variáveis consideradas apresentaram um padrão de correlação fraca com o MP_{2,5} (MP25) tanto na fase de instalação quanto na fase de operação nas duas EMQA (Figura 2).

A precipitação atmosférica (Chuva) foi a variável que apresentou maior coeficiente de correlação com a concentração de MP_{2,5} (MP25). A correlação entre MP25 e Chuva apresentou um padrão inverso, ou seja, a concentração de MP_{2,5} tende a diminuir com o aumento dos valores de precipitação em ambas as fases e EMQA. O maior valor de coeficiente de correlação de

Spearman encontrado foi na EMQA Rio Grande na fase da instalação, indicando que nessa fase a concentração de $MP_{2,5}$ apresentou maior associação com a precipitação pluviométrica. A temperatura (Temp) apresentou um padrão de correlação positiva com MP_{25} nas fases de instalação e operação tanto na EMQA Bosque da Boiuna quanto na EMQA Rio Grande. Já umidade relativa (Ur) exibiu um padrão de correlação negativa com MP_{25} , em ambas as EMQA nas fases de instalação e operação, o mesmo aconteceu com a pressão atmosférica (Press). Apenas a velocidade do vento (Vel) não apresentou um padrão comum a todas EMQA nas fases de instalação e operação da via.

Mesmo com coeficientes fracos de correlação duas das variáveis meteorológicas analisadas (Ur e Chuva) apresentaram padrões condizentes com o que a literatura relata (GUERRA *et al.*, 2011). Em geral, o aumento da umidade do ar contribui para a formação de nuvens e com isso para a ocorrência de precipitação pluviométrica. Além disso, o aumento da velocidade do vento e da temperatura elevam movimentos verticais ascendentes de convecção. Esses fenômenos tendem a dispersar e diluir os poluentes e, conseqüentemente, diminuir suas concentrações na atmosfera (VENTURA, 2015; MONTE *et al.*, 2016).

Uma hipótese para explicar a fraca correlação entre a concentração de $MP_{2,5}$ e as variáveis meteorológicas pode ser a distância entre a estação meteorológica do Aeroporto de Jacarepaguá, cujos dados foram obtidos, e as EMQA. Essa distância, de cerca de 8 km, diminui a probabilidade de registro das variações climáticas locais nos pontos onde ocorreu o monitoramento.

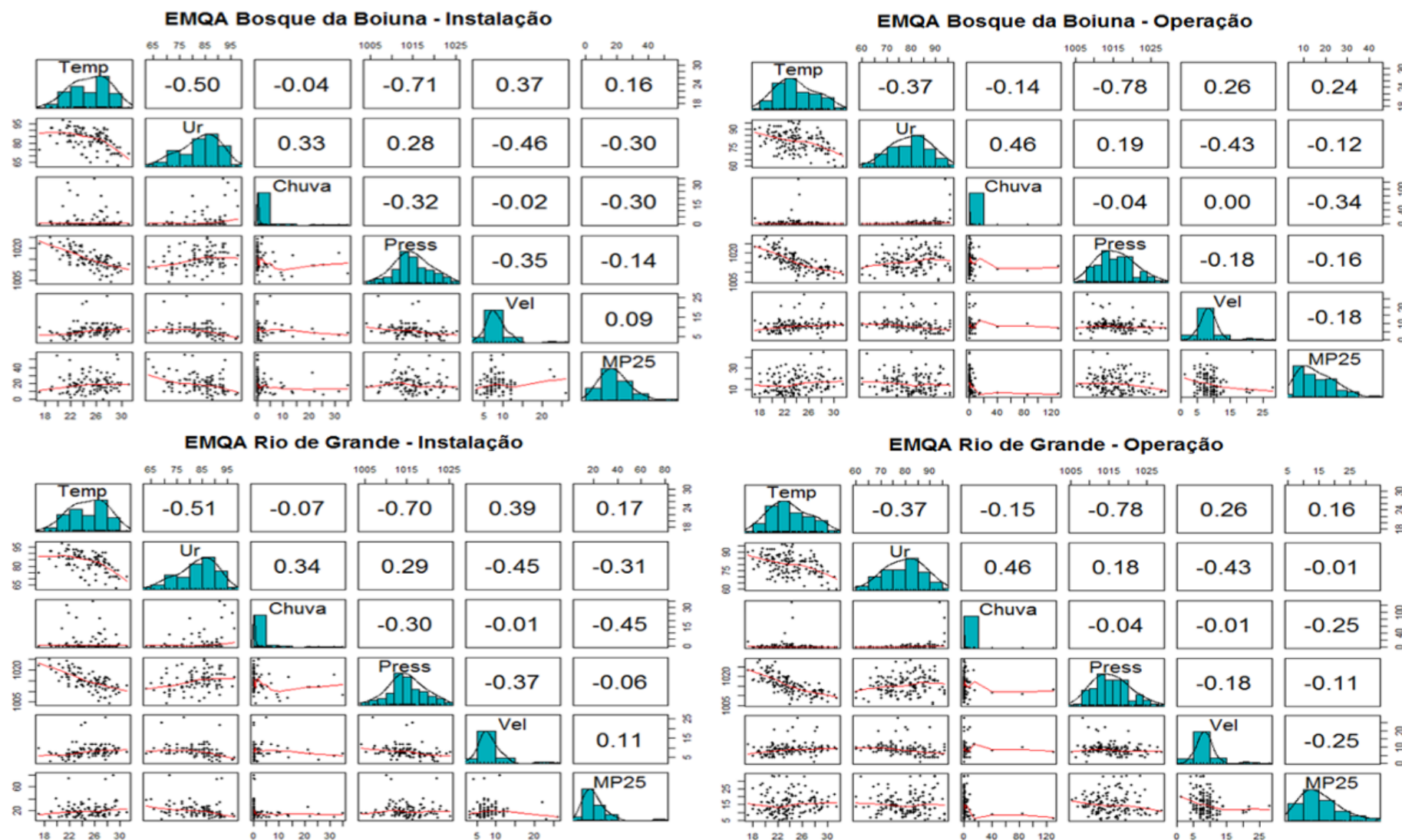


Figura 2 - Correlação entre a concentração de MP_{2,5} (MP25) e as variáveis meteorológicas nas EMQA.

Fonte: Os Autores.

CONCLUSÃO

A análise dos dados de monitoramento da concentração de $MP_{2.5}$ em duas EMQA próximas ao corredor viário Transolímpica, durante o período de 14 de outubro de 2014 a 28 de outubro de 2018, mostrou que em três dos 106 dias amostrados foi violado o valor limite para $MP_{2.5}$ estabelecido pela Resolução CONAMA N° 491/2018, de $60 \mu g m^{-3}$. Isso aconteceu apenas na EMQA Rio Grande, durante a fase de instalação. Entretanto, o padrão estabelecido pela OMS foi extrapolado em 81 dias de amostragem de um total de 246 dias, considerando as fases de instalação e operação da Transolímpica nas EMQA Rio Grande e Bosque da Boiuna.

A concentração de $MP_{2.5}$ na fase de instalação apresentou diferença estatisticamente significativa quando comparada com a fase de operação da Transolímpica. Para ambas as EMQA avaliadas a concentração de $MP_{2.5}$ foi maior na fase obras. A principal hipótese para explicar esse resultado é que apesar das obras gerarem mais MP_{10} o fluxo de veículos, em especial os movidos a diesel, que emite mais $MP_{2.5}$, é muito maior na fase de obras do que na fase de operação da via.

A correlação entre a concentração de $MP_{2.5}$ e as variáveis meteorológicas se mostrou fraca de forma geral, sendo a precipitação pluviométrica a variável com maior valor de coeficiente de correlação de *Spearman* e, conseqüentemente, maior associação com o $MP_{2.5}$. Precipitação pluviométrica, umidade relativa do ar e pressão atmosférica apresentaram correlação negativa com a concentração de $MP_{2.5}$. Enquanto a temperatura exibiu correlação positiva com a concentração de $MP_{2.5}$, a velocidade do vento não apresentou um padrão comum de correlação com $MP_{2.5}$.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 491 de 19 de novembro de 2018**. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Brasília (DF), 2018. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>>. Acessado em março/2019. 2018.

CHOWDHURI, A.; GUPTA, C. K. Assessment of particulate matter (PM) concentrations at a typical construction site in Bangalore, India. **International Research Journal of Environment Sciences**, v. 6, n. 2, 2017, p. 14-18.

DIAS, J. W. C. **Manual de Operação do Amostrador de Grande Volume (AGV) para partículas de até $2,5 \mu m$ ($MP_{2.5}$)**. Energética Qualidade do Ar, 2017, 117 p. Disponível em: http://www.energetica.ind.br/wp/envl/wp-content/uploads/2016/01/envl_manual-mp25_rev_06.pdf. Acesso em: 26 jan. 2018.

GUARIEIRO, L. L. N.; VASCONCELLOS, P. C.; SOLCI, M. C. Air Pollutants from the Burning of Fossil Fuels and Biofuels: A Brief Review. **Revista Virtual de Química**, v. 3, n. 5, 2011, p. 434-445.

Análise da Concentração de Material Particulado (Mp2,5) na Instalação e Operação do Corredor Viário Transolímpica

GUERRA, F.P.; MIRANDA, R.M. (2011) **Influência da meteorologia na concentração do poluente atmosférico PM_{2,5} na RMRJ e na RMSP**. In: II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Londrina. Anais. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2011/IV-007.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2018.

GODOY, M. L. D. P., ALMEIDA, A. C., TONIETTO, G. B., & GODOY, J. M. (2018). Fine and coarse aerosol at Rio de Janeiro prior to the Olympic Games: chemical composition and source apportionment. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 29, n. 3, p. 499–508.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. Diretoria de Licenciamento Ambiental. **Parecer Técnico de Licença de Instalação N° 18/13**, 2013, 30 p.

JERRET, M. Atmospheric science: the death toll from air-pollution sources. **Nature**, n. 525, 2015, p. 330–331.

JUDA-REZLER, K.; REIZER, M.; OUDINET, J. P. Determination and analysis of PM₁₀ source apportionment during episodes of air pollution in Central Eastern European urban areas: The case of wintertime 2006. **Atmospheric Environment**, v. 45, n. 36, 2011, p. 6557–6566.

KINSEY, J. S.; LINNA, K. J.; SQUIER, W. C.; MULESKI, G. E.; COWHERD JR, C. Characterization of the fugitive particulate emissions from construction mud/dirt carryout. **Journal of the Air and Waste Management Association**, v. 54, n. 11, 2004, p. 1394–1404.

LELIEVELD, J.; EVANS, J.S.; FNAIS, M.; GIANNADAKI, D.; POZZER, A. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. **Nature**, n. 525, 2015, 367–371.

LIU, Z.; HU, B.; ZHANG, J.; XIN, J.; WU, F.; GAO, W.; WANG, M.; WANG, Y. Characterization of fine particles during the 2014 Asia-Pacific economic cooperation summit: Number concentration, size distribution and sources. **Tellus, Series B: Chemical and Physical Meteorology**, v. 69, n. 1, 2017.

MARTINS, E. M.; FORTES, J. D. N.; RIBEIRO, G. P.; PEREIRA, M. F. M. Utilização de Sistema de Informação Geográfica como ferramenta para gestão do monitoramento da qualidade do ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 19, n. spe, 2014, p. 43–50.

MING, L.; JIN, L.; LI, JUN.; FU, P.; YANG, W.; LIU, D.; ZHANG, G.; WANG, Z.; LI, X. PM_{2.5} in the Yangtze River Delta, China: Chemical compositions, seasonal variations, and regional pollution events. **Environmental Pollution**, v. 223, 2017, p. 200–212.

MONTE, E. Z.; ALBUQUERQUE, T. T. A.; REISEN, V. A.; Impactos das Variáveis Meteorológicas na Qualidade do Ar da Região da Grande Vitória, Espírito Santo, Brasil Impacts of Meteorological Variables on Air Quality in The Region of. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 2016, p. 546–554.

SÁNCHEZ, L.E. **Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos**, 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013, 583 p.

VENTURA, L. M. B. **Avaliação quimiométrica do comportamento do material particulado fino na atmosfera no estado do Rio de Janeiro**. Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Química, 2015, p.149 – 223.

VENTURA, L. M. B.; RAMOS, M. B.; GIODA, A.; FRANÇA, B. B.; DE OLIVEIRA GODOY, J. M. Air quality monitoring assessment during the 2016 Olympic Games in Rio de Janeiro, Brazil. **Environmental monitoring and assessment**, v. 191, p. 369–205, 2019.