



Universidade de Brasília
IG/ IB/ IQ/ FACE-ECO/ CDS
Curso de Ciências Ambientais

PRISCILLA COSTA CIODARO DE SOUZA

**MATERIAL PARTICULADO NA ATMOSFERA DO CONDOMÍNIO RURAL
RESIDENCIAL RK, DISTRITO FEDERAL:
Importância dos fatores espaciais e temporais nas concentrações de material
particulado no ar e seus possíveis impactos na qualidade de vida da
comunidade**

Brasília – DF
Julho/2018

PRISCILLA COSTA CIODARO DE SOUZA

**MATERIAL PARTICULADO NA ATMOSFERA DO CONDOMÍNIO RURAL
RESIDENCIAL RK, DISTRITO FEDERAL:
Importância dos fatores espaciais e temporais nas concentrações de material
particulado no ar e seus possíveis impactos na qualidade de vida da
comunidade**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Brasília como requisito parcial para obtenção de grau de bacharel em Ciências Ambientais, sob orientação do professor Dr. Carlos Henke de Oliveira.

Brasília – DF

Julho/2018

SOUZA, P. C. C.

Material particulado na atmosfera do Condomínio Rural Residencial RK, Distrito Federal: Importância dos fatores espaciais e temporais nas concentrações de material particulado no ar e seus possíveis impactos na qualidade de vida da comunidade

Orientação: Prof. Dr. Carlos Henke de Oliveira

81 páginas

Projeto final em ciências ambientais – Consórcio IG/ IB/ IQ/ FACE-ECO/ CDS – Universidade de Brasília

1. Material particulado – 2. Fatores espaciais e temporais – 3. Qualidade de vida – 4. Qualidade do ar – 5. Saúde ambiental

**MATERIAL PARTICULADO NA ATMOSFERA DO CONDOMÍNIO RURAL
RESIDENCIAL RK, DISTRITO FEDERAL:
Importância dos fatores espaciais e temporais nas concentrações de material
particulado no ar e seus possíveis impactos na qualidade de vida da
comunidade**

Priscilla Costa Ciodaro de Souza

Prof. Orientador: Dr. Carlos Henke de Oliveira

Brasília-DF, 13 de julho de 2018

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Carlos Henke de Oliveira (Orientador)

Instituto de Ciências Biológicas – UnB

Prof. Dr. Carlos José Sousa Passos (Avaliador)

Centro de Desenvolvimento Sustentável – UnB

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me ajudado e me dado força nessa caminhada longa e cheia de percalços que foi minha graduação, pois sem minha fé tenho certeza de que não teria chegado ao final desse ciclo.

Agradeço imensamente a toda a minha família, em especial meus pais, Adriana e Jorge, que me deram a vida e me ensinaram a nunca desistir dos meus sonhos. Aos meus avós, Ada, Marcondes, Nilcéa e Wilson, que foram extremamente importantes na minha criação e sempre incentivaram minha curiosidade pelo mundo. Agradeço também a minha querida Dindinha, que sempre esteve ao meu lado, principalmente nas horas mais difíceis dessa caminhada e nunca duvidou do meu sucesso.

Agradeço a minha noiva Andreza, por me proporcionar a tranquilidade necessária nessa fase de finalização do curso, estando sempre ao meu lado me incentivando e ajudando nas rotinas diárias da vida, além da paciência para entender as ausências e irritações, proporcionadas pela grande demanda nessa fase final do curso.

Agradeço a equipe do Centro de Estudos Ambientais do Condomínio RK por todo apoio durante a realização desse trabalho e pelo companheirismo de trabalho todos os dias.

Agradeço ao professor Dr. Carlos Henke de Oliveira pela grande oportunidade de realizar esse trabalho, por toda orientação, confiança e amizade.

Agradeço ao professor Dr. Carlos José Sousa Passos, pela disponibilidade e interesse em avaliar esse trabalho, contribuindo para a construção da ciência.

Agradeço a Elaine Souto, secretária do curso de Ciências Ambientais, que durante longos anos, muito me ajudou nas dificuldades enfrentadas durante o curso, sempre com muito respeito e dedicação aos alunos.

Por fim, agradeço a Universidade de Brasília, que me proporcionou anos muito intensos, de aprendizado e decepções, mas que ajudaram a construir uma percepção de vida diferente da que possuía antes de entrar na vida acadêmica.

RESUMO

A poluição atmosférica tem se destacado como grande problema nos principais centros urbanos, principalmente com o aumento dos processos de urbanização e industrialização. Seus efeitos geram danos ambientais, além de grandes riscos à saúde humana e qualidade de vida das populações. Um dos principais poluentes associado a poluição do ar é o material particulado (MP), que se destaca por possuir relação direta com doenças cardiovasculares e problemas respiratórios, além de possuir fonte de emissão típica de grandes cidades, como a frota veicular. Diante disso, esse estudo buscou analisar as concentrações de MP na atmosfera de um condomínio residencial do Distrito Federal, identificando fatores espaciais e temporais que possam ter influência nas variações dessas concentrações e seus possíveis impactos na qualidade de vida e saúde da comunidade. Para isso, foi utilizada a sonda móvel SAPHIRA 3 V4b, que possui sistema embarcado com sensores para medição de MP na atmosfera. A amostragem foi realizada no período de 14 a 20 de abril de 2018, sendo dividida entre coleta móvel e estática. Os resultados demonstram que as concentrações de MP na atmosfera do condomínio estão dentro dos níveis estabelecidos pelos padrões de qualidade do ar, tendo alguns picos, que apesar de estarem dentro dos padrões aceitáveis a exposição humana a longo prazo, pode causar riscos à qualidade de vida e a saúde da comunidade, principalmente aos trabalhadores que ficam expostos a grandes fluxos veiculares na portaria do condomínio. A velocidade do vento é um fator meteorológico que tem grande influência nas variações das concentrações de MP no ar, demonstrando uma relação inversamente proporcional entre essas variáveis. O vento influencia diretamente a dispersão desse poluente na atmosfera.

Palavras chaves: Material particulado; fatores espaciais e temporais; qualidade de vida; qualidade do ar; saúde ambiental.

ABSTRACT

Air pollution has been highlighted as a major problem in the main urban centers especially with urbanization and industrialization increasing processes. Their effects result in environmental damages, besides great risks to the human health and populations life's quality. One of the most significant pollutants associated with air pollution is particulate matter (PM), taking attention for having a direct relation with cardiovascular diseases and respiratory problems. In addition, it's considered a typical emission source in big cities, such as the vehicular traffic. Thus, this study aims to analyze the atmosphere particulate matter's concentrations in a residential condominium in the Federal District (DF, Brazil), identifying spatial and temporal factors that may influence the PM concentration and their potential impacts on human life quality and health's. We used a SAPHIRA 3 V4b, a mobile embedded system with sensors to measure atmosphere's PM. Sampling was carried out between April 14 and 20, 2018, having mobile and static data collection. The results demonstrate levels according to thus established by air quality standards. Nevertheless, we experienced some PM peaks, despite being within the standards. It can cause risks to human quality life and health for long term exposure, especially to workers whom are exposed to large vehicular flows in the condominium's entrance. Also, the wind speed is a meteorological factor that has a great influence on the PM concentrations, demonstrating an inversely proportional relation between these variables. Wind speed influences the dispersion of this atmospheric pollutant.

Keywords: Particulate matter; spatial and temporal factors; life quality; air quality; environmental health.

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Padrões de qualidade do ar nos EUA	19
Tabela 2: Padrões de qualidade do ar na União Europeia	20
Tabela 3: Estágio de implementação dos instrumentos de gestão da qualidade do ar no Brasil	22
Tabela 4: Padrões nacionais de qualidade do ar por poluentes e método de medição	24
Tabela 5: Critérios para episódios críticos de poluição atmosférica	25
Tabela 6: Índice de qualidade do ar e os efeitos à saúde	29
Tabela 7: Relação entre as principais fontes poluidoras e seus poluentes	31
Tabela 8: Poluentes considerados indicadores da qualidade do ar, suas características, origem e efeitos ao meio ambiente	32
Tabela 9: Índice de qualidade do ar e os efeitos na saúde de acordo com o poluente monitorado	35
Tabela 10: Classes de MP e seus efeitos	39
Tabela 11: Estados com monitoramento da qualidade do ar por região do país	40
Tabela 12: Classificação da qualidade do ar no DF por local e tipo de poluente	44
Tabela 13: Padrões de referência para MP	55
Tabela 14: Médias das concentrações diárias de MPT, por hora (com DP)	58
Tabela 15: Médias das concentrações diárias de MPT, por hora (com IC)	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Equação matemática para determinação do IQAR	28
Figura 2: Escala espacial e temporal dos principais poluentes presentes na atmosfera	33
Figura 3: Tamanho das partículas de MP	37
Figura 4: Faixas de tamanho dos materiais particulados e dos seus componentes principais	38
Figura 5: Mapa da distribuição de estações de monitoramento da qualidade do ar por município e densidade populacional estadual	41
Figura 6: Mapa da distribuição de estações de monitoramento da qualidade do ar no DF.....	43
Figura 07: Área do condomínio RK e sua divisão de conjuntos	46
Figura 08: Sonda SAPHIRA 3 – V4b	48
Figura 09: Sensor Nova PM SDS011	49
Figura 10: Sonda SAPHIRA acoplada em janela na portaria de saída de veículos ..	50
Figura 11: Sonda SAPHIRA acoplada na moto para realização das coletas móveis, diurna (esquerda) e noturna (direita)	51
Figura 12: Percurso determinado para coleta móvel de dados ao longo de toda “borda” do condomínio	52
Figura 13: Média das concentrações de MPT e velocidade do vento no dia 15.04.2018 (Domingo)	55
Figura 14: Média das concentrações de MPT e fluxo veicular no dia 15.04.2018 (Domingo)	56
Figura 15: Média das concentrações de MPT e velocidade do vento no dia 19.04.2018 (Quinta-feira)	57
Figura 16: Média das concentrações de MPT por hora, por dia de coleta	57

Figura 17: Média das concentrações de MPT e fluxo veicular no dia 19.04.2018 (Quinta-feira)	61
Figura 18: Média das concentrações de MPT por dia da semana	62
Figura 19: Concentrações médias de MPT e das frações fina e grossa de MP, por dia	63
Figura 20: Concentrações médias de MPT por turno, por dia da semana	63
Figura 21: Concentrações médias de MPT, comparando finais de semana com dias úteis	64
Figura 22: Concentrações médias de MPT e fluxo veicular, por dia da semana	65
Figura 23: Concentrações de MPT para a coleta móvel do dia 20.04.18 em todos os horários	67
Figura 24: Concentrações médias de MPT e velocidade do vento para a coleta móvel do dia 20.04.18	68
Figura 25: Concentrações médias de MPT e velocidade do vento para a coleta móvel do dia 15.04.18	69
Figura 26: Concentrações de MPT para a coleta móvel do dia 15.04.18 em todos os horários	69
Figura 27: Concentrações de MPT para a coleta móvel do dia 18.04.18 em todos os horários	70
Figura 28: Médias das concentrações diárias de MPT na coleta móvel, por turno ...	71
Figura 29: Concentrações médias de MPT e das frações fina e grossa de MP, por dia na coleta móvel	72
Figura 30: Concentrações médias de MPT por turno e hora na coleta móvel	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEA/EEA - Agência Europeia do Meio Ambiente

AVC - Acidente vascular cerebral

CCE - Centro Cultural e Esportivo do condomínio RK

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CF - Constituição Federal

CO - Monóxido de carbono

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DF - Distrito Federal

DP – Desvio Padrão

EIA - Estudo de Impacto Ambiental

EPA - US Environmental Protection Agency

EPGU - Estrada Parque Guará

EUA - Estados Unidos da América

FUNAM-DF - Fundo Único do Meio Ambiente do DF

GL – Graus de liberdade

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBRAM - Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal –
Brasília Ambiental

IC – Intervalo de confiança

IQAR - Índice de Qualidade do Ar

MMA - Ministério do Meio Ambiente

MP - Material particulado

MP10 - Partículas inaláveis grossas

MP2,5 - Partículas inaláveis finas

MPT - Material particulado total

OMS/WHO - Organização Mundial de Saúde

PI - Partículas inaláveis

PNMA - Política Nacional do Meio Ambiente

PQAr - Padrões de Qualidade do Ar

PROCONVE - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores

PROMOT - Programa de Controle da Poluição do Ar por Motocicletas

PRONAR - Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar

PTS - Partículas totais em suspensão

QGis - Quantum GIS

RIMA - Relatório de Impacto ao Meio Ambiente

RK - Condomínio Rural Residencial Rancho Karina

SAC - Serviço de atendimento ao condômino

SISNAMA - Sistema Nacional do Meio Ambiente

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	17
2.1. Objetivo Geral	17
2.2. Objetivos Específicos	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1. Breve histórico da legislação sobre qualidade do ar no mundo	18
3.2. Legislação brasileira sobre qualidade do ar	20
3.3. Qualidade do ar e a poluição atmosférica	27
3.4. A poluição do ar e os efeitos na saúde	34
3.4.1. O material particulado	36
3.5. O monitoramento da qualidade do ar no Brasil e no Distrito Federal	40
3.6. O monitoramento da qualidade do ar através da utilização de sensores de baixo custo	44
4. MATERIAIS E MÉTODOS	46
4.1. Caracterização da área de estudo	46
4.2. Instrumentos de coleta de dados	48
4.2.1. Sonda SAPHIRA.....	48
4.2.2. Sistema de fluxo de veículos do condomínio RK	49
4.3. Dinâmica da coleta de dados	50
4.4. Análise de dados.....	53
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
5.1. Variações das concentrações de material particulado na coleta estática	54
5.2. Variações das concentrações de material particulado na coleta móvel	67
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

1. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização e crescimento acelerado das cidades em todo o mundo nos últimos anos, tem aumentado significativamente a contaminação do meio ambiente, e dentre tantos problemas ambientais, a poluição do ar tem se destacado por atingir muitas populações, e causar efeitos diversos na qualidade de vida e saúde humana, principalmente em regiões menos desenvolvidas (CASTRO et al., 2003).

Debates acadêmicos sobre meio ambiente, dão destaque para a poluição atmosférica relacionada à introdução antropogênica, direta ou indireta, de substâncias no ar que refletem em prejuízos à saúde humana (REIS et al., 2014). Além da saúde, a poluição atmosférica também causa efeitos prejudiciais ao funcionamento dos ecossistemas, com o aumento da deposição ácida em solos e águas por exemplo, além de contribuir com as mudanças climáticas, principalmente com o a emissão dos gases de efeito estufa (DRISCOLL et al., 2001).

Com o número cada vez maior de veículos automotores, somado às fontes de poluição industrial, as cidades têm se tornado, cada vez mais, “vítimas” da poluição atmosférica. Segundo Motta e Mendes (1994), todo processo de urbanização, industrialização e ocupação do solo que tem ocorrido no Brasil de forma acelerada nos últimos anos, contribui continuamente para o aumento da poluição atmosférica, provocando graves problemas à saúde humana.

Os fenômenos meteorológicos, tais como direção e velocidade dos ventos, chuvas, dentre outros, também têm seu papel fundamental na poluição atmosférica, uma vez que devido a eles ocorrem o transporte e a dispersão dos poluentes, e são eles que determinam a frequência, concentração e duração às quais os receptores estarão expostos (MOTTA; MENDES, 1994; TORRES; MARTINS, 2005).

A Organização Mundial de Saúde (OMS), estima que aproximadamente 7 milhões de pessoas no mundo morreram no ano de 2016, devido à poluição do ar, e que 92% da população mundial vive em locais onde os níveis de qualidade do ar, ultrapassam os limites estabelecidos (WHO, 2017). No Brasil, a estimativa de mortes causadas pela poluição atmosférica segundo a OMS é de aproximadamente 20 mil óbitos por ano (ARBEX et al., 2012).

Diante desses cenários, é de fundamental importância o estabelecimento de padrões de controle de qualidade do ar para prevenção dos efeitos negativos que a poluição atmosférica pode causar. No Brasil, um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) (Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981, Art. 9º), é o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental, o que inclui a questão da qualidade do ar.

Baseando-se nisso, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), através da Resolução nº 05, de 15 de junho de 1989, institui o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR), que estabelece os limites máximos de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica e define ações de curto, médio e longo prazos para controle da poluição do ar, além de através da Resolução nº 03 de 28 de junho de 1990 estabelecer os Padrões de Qualidade do Ar (PQAr) e definir a responsabilidade do monitoramento desses padrões para os Estados e Distrito Federal.

Além disso, segundo Cavalcanti (2010), o Brasil foi o primeiro país da América do Sul a adotar medidas de controle sobre a emissão de poluentes por fontes automotivas. Dessa maneira surgem o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) e o Programa de Controle da Poluição do Ar por Motocicletas (PROMOT), instituídos através das resoluções CONAMA nº 18/1986 e nº 297/2002, respectivamente.

Mesmo com a legislação e programas em vigor, infelizmente o Brasil ainda apresenta um quadro pouco representativo do monitoramento da qualidade do ar, tendo em seu território apenas 40% de suas unidades federativas monitoradas, com 252 estações de coleta de dados, sendo que a Região Norte não possui monitoramento e 76% das estações estão presentes na região Sudeste. Além disso, nem todos os poluentes são monitorados em cada uma das estações, agravando ainda mais a falta de informações da qualidade do ar. (VORMITTAG et al., 2014)

O Distrito Federal (DF) é uma das unidades federativas monitoradas, possuindo o Programa de Monitoramento da Qualidade do Ar, que foi criado em 2005, e que é de responsabilidade do Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal – Brasília Ambiental (IBRAM). O programa possui uma rede de monitoramento que sofreu alterações ao longo dos anos, dando prioridade a locais

com grande circulação de pessoas e veículos ou a presença de emissores fixos de poluentes, tais como as fábricas de cimento (IBRAM, 2016).

Grande parte do monitoramento da qualidade do ar é composta por estações fixas, que demandam maior custo e logística de operação, além de apresentar resultados que podem não representar a realidade de áreas não monitoradas. Com isso, sensores de baixo custo, principalmente para monitoramento móvel, têm demonstrado capacidade de coletar dados em alta resolução espacial e temporal, além de outros parâmetros da qualidade do ar (SIVARAMAN et al., 2013; PATTINSON et al., 2014).

Diante do exposto, esse trabalho buscou realizar uma análise simples das concentrações de material particulado na atmosfera de um condomínio residencial do Distrito Federal, com a utilização de um sensor de baixo custo, móvel e de sistema embarcado, buscando compreender se a dinâmica espaço-temporal tem influência sobre as variações nas concentrações desse tipo de poluente, além de compreender os processos de exposição humana ao poluente na região e suas relações com a qualidade de vida da comunidade e conseqüentemente com a saúde pública.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Este trabalho teve como objetivo principal analisar as concentrações de material particulado no ar, na área que compreende o Condomínio Rural Residencial Rancho Karina (RK), localizado na Região dos Lagos em Sobradinho, Distrito Federal.

2.2. Objetivos Específicos

- Verificar se há importância relativa dos fatores espaciais e temporais interferindo nas concentrações de material particulado na atmosfera do condomínio;
- Analisar as concentrações de material particulado quanto aos riscos à saúde pública com base nas recomendações da OMS e demais padrões de qualidade do ar aplicados no Brasil;
- Compreender os mecanismos que interferem nos processos de aumento ou diminuição de material particulado na área do condomínio e suas influências em relação à qualidade de vida saúde humana.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Breve histórico da legislação sobre qualidade do ar no mundo

Não é de hoje que a preocupação com o meio ambiente vem se tornando cada vez mais importante no que diz respeito à qualidade de vida e à existência do ser humano. Dentre os inúmeros problemas ambientais que vêm afetando o planeta, a poluição atmosférica tem se destacado, devido ao grande número de mortes que tem provocado no mundo nos últimos anos.

As primeiras preocupações com a qualidade do ar começaram a surgir logo após a época da revolução industrial, quando a poluição passou a atingir grandes proporções, principalmente nas comunidades urbanas, tanto que o primeiro manual sobre Climatologia Urbana, surgiu em Londres, escrito por Luke Howard no ano de 1818 (DANNI-OLIVEIRA, 2008; ARBEX et al., 2012).

Com o avanço dos efeitos dos poluentes atmosféricos à saúde humana, gestores e governos mundiais passaram a se preocupar cada vez mais e a tentar desenvolver estratégias para mitigar esses efeitos. Com essa preocupação, surge em 1967, nos Estados Unidos da América (EUA), lei ambiental denominada *Clean Air Act*, que teve sua última alteração em 1990 (EPA,1990), onde exige que a *US Environmental Protection Agency* (USEPA), defina padrões de qualidade do ar para poluentes considerados prejudiciais à saúde pública e ao meio ambiente, onde especifica seis poluentes atmosféricos que deverão ser controlados, sendo eles: partículas totais, dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO₂), ozônio (O₃) e chumbo (Pb) (BRAGA et al., 2001; AGUIAR, 2014).

Tabela 1: Padrões de qualidade do ar nos EUA

Poluentes	Tempo de amostragem	Padrão	
		Primário	Secundário
Chumbo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Média móvel de 3 semanas	0,15	
Dióxido de Enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1h	196	-
	3h	-	1300
Dióxido de Nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1h	188	-
	Anual	100	
Material Particulado 2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Anual	12	-
	Anual	-	15
	24h	35	
Material Particulado 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24h	150	
Monóxido de Carbono (mg/m^3)	Maior Média diária de 8h	10	-
	1h	40	-
Ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Maior Média diária de 8h	147	

Fonte: Vormitag et al., 2009, página 14

Na Europa, as legislações ambientais voltadas para qualidade do ar foram inseridas por volta da década de 1970, com a criação dos primeiros padrões internacionais de qualidade do ar, pela Comissão do Parlamento Europeu. Não muito depois, a OMS introduz as diretrizes de qualidade do ar para a Europa, que vêm sendo revisadas desde o ano 2000, tendo sua mais nova versão entrado em vigor na União Europeia em 2008, baseando-se nas diretrizes do *Air Quality Guidelines Global Update 2005* (AGUIAR, 2014).

A Agência Europeia do Meio Ambiente (AEA, ou EEA, em inglês, *European Environment Agency*) estabeleceu em 2013, baseando-se na diretiva de 2008, que os poluentes monitorados são os presentes nas leis europeias: material particulado (MP2,5 e MP10), dióxido de enxofre (SO_2), dióxido de nitrogênio (NO_2), chumbo (Pb), monóxido de carbono (CO), ozônio (O_3), benzeno (C_6H_6), arsênio, níquel e hidrocarbonetos (VORMITTAG et al., 2014).

Tabela 2: Padrões de qualidade do ar na União Europeia

Poluentes	Tempo de Amostragem	Padrão
Chumbo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1 ano	0.5
Dióxido de Enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1h	350
Dióxido de Nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24h	125
	1h	200
MP 2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1 ano	25
MP 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24h	50
	1 ano	40
Monóxido de Carbono (mg/m^3)	Maior Média diária de 8h	10
Ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Maior Média diária de 8h	120

Fonte: Vormitag et al., 2009, página 16

As primeiras diretrizes da OMS que surgiram em 1987, tiveram revisão 10 anos depois em 1997, sendo publicadas em 2000 e sua versão mais recente data de 2005, onde desde então, recomenda que sejam adotadas políticas de controle e mitigação dos efeitos da poluição do ar, tais como a fixação de padrões de qualidade e seu monitoramento contínuo, com vistas a reduzir os efeitos da poluição atmosférica em todo o mundo, e o Brasil tem adotado esses padrões para controle em seu território.

3.2. Legislação brasileira sobre qualidade do ar

No Brasil, a Constituição Federal (CF) de 1988, em seu Título VIII, Capítulo VI, Artigo 225, estabelece que:

“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (BRASIL, 1988).

Tomando por base esse artigo, fundamentam-se princípios do direito ambiental com vista a proteção da qualidade ambiental. Dessa maneira, torna-se constitucional

a preservação do meio ambiente, no que compete toda e qualquer ação que traga risco à vida e à qualidade ambiental e assim garante-se o direito à proteção da qualidade do ar, já que passa a ser um direito constitucional. (CAVALCANTI, 2010).

Anterior à CF, no ano de 1981, temos instituída a Lei nº 6.938, que estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), cujo objetivo principal é a melhoria da qualidade ambiental e proteção do meio ambiente, que inclui, dentro de seus instrumentos, a adoção de critérios e padrões de qualidade ambiental e normas de uso e manejo de recursos ambientais, que devem ser estabelecidas pelos órgão competentes (BRASIL, 1981). Isso demonstra que mesmo antes de se tornar um direito constitucional, já havia uma preocupação com a degradação ambiental e suas consequências, principalmente em relação à vida humana.

Dessa maneira, a PNMA, institui o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), que tem como seu órgão consultivo e deliberativo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), através do qual, passaram a ser elaboradas as diretrizes das políticas governamentais e normas compatíveis com a preservação do meio ambiente essenciais à qualidade de vida (BRASIL, 1981).

Mesmo com o estabelecimento da PNMA, a gestão da qualidade do ar só ganhou força com a criação do Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar (PRONAR), instituído pela resolução CONAMA nº 05/1989, como:

“um dos instrumentos básicos da gestão ambiental para proteção da saúde e bem-estar das populações e melhoria da qualidade de vida com o objetivo de permitir o desenvolvimento econômico e social do País de forma ambientalmente segura, pela limitação dos níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica, com vistas a: a) uma melhoria na qualidade do ar; b) o atendimento aos padrões estabelecidos; c) o não comprometimento da qualidade do ar em áreas consideradas não degradadas.” (CONAMA, 1989)

O PRONAR tem como estratégia principal, a definição dos limites máximos de emissão de poluentes no ar atmosférico, tais como, partículas totais em suspensão (PTS), partículas inaláveis (MP10 e MP2,5), fumaça, monóxido de carbono (CO), ozônio (O₃), dióxido de nitrogênio (NO₂) e dióxido de enxofre (SO₂). Definiu-se também a criação de uma Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade do Ar, com vistas a avaliar as ações de controle estabelecidas pelo PRONAR (VORMITTAG et al., 2014),

porém até pelo menos 2009 tal rede ainda não havia sido viabilizada, e alguns estados sequer possuíam informações sobre monitoramento, gestão e implementação de medidas de controle.

Tabela 3: Estágio de implementação dos instrumentos de gestão da qualidade do ar no Brasil

	NORTE				C. OESTE				NORDESTE				SUL		SUDESTE														
	PA	TO	AP	AM	RR	RO	AC	MT	MS	GO	DF	BA	SE	AL	PE	PB	RN	CE	PI	MA	RS	SC	PR	SP	MG	ES	RJ		
INSTITUCIONAL																													
cooperações interinstitucionais																													
LEGISLAÇÃO																													
para gestão																													
para aplicação de penalidades																													
para implantar o PRONAR																													
GESTÃO																													
planos e programas																													
cooperação internacional/financiamentos																													
PADRÕES DE QUALIDADE E LIMITES DE EMISSÃO																													
padrões mais restritivos que CONAMA 03/90																													
limites mais restritivos que os nacionais																													
MONITORAMENTO																													
programa																													
equipe técnica própria																													
feito por terceiros																													
exigência do licenciamento																													
ÁREAS CRÍTICAS DE POLUIÇÃO DO AR																													
enquadramento em áreas críticas																													
plano de emergência																													
fontes naturais																													
INVENTÁRIOS DE EMISSÕES																													
banco de dados sobre fontes																													
elaboração de inventários																													
CONTROLE E FISCALIZAÇÃO																													
interface licenciamento e monitoramento																													
amostragem de chaminés																													
acompanhamento dos programas dos EIA																													
SISTEMA DE INFORMAÇÕES																													
banco informatizado																													
validação de dados do monitoramento																													
aplicação de modelos de dispersão																													
comunicação de dados de qualidade do ar																													
incorporação de dados da rede privada																													
LEGENDA																													
	Sim	Não	Previsto	Sem Informação	Instrumento Implantado Parcialmente																								

Fonte: Vormitag et al., 2009, página 21

Nessa resolução também foram estabelecidas ações de curto, médio e longo prazo para implementação do PRONAR, para dar prioridade aos seus recursos que são finitos. Dessa maneira ficaram estabelecidas as seguintes ações:

- a) A curto prazo:
 - Definição dos limites de emissão para fontes poluidoras prioritárias
 - Definição dos padrões de qualidade do ar
 - Enquadramento das áreas na classificação de usos pretendidos

- Apoio a formulação dos Programas Estaduais de Controle de Poluição do Ar

- Capacitação Laboratorial
- Capacitação de Recursos Humanos

b) A médio prazo:

- Definição dos demais limites de emissão para fontes poluidoras;
- Implementação da Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade do Ar

Ar

- Criação do Inventário Nacional de Fontes e Emissões
- Capacitação Laboratorial (continuidade)
- Capacitação de Recursos Humanos (continuidade)

c) A longo prazo:

- Capacitação laboratorial (continuidade)
- Capacitação de Recursos Humanos (continuidade)
- Avaliação e Retro avaliação do PRONAR.

Complementando a resolução CONAMA nº 05/1989, surge a resolução CONAMA nº 03/1990, que estabelece os padrões nacionais de qualidade do ar (PQAr), ainda em vigor nos dias atuais, que são definidos como:

“concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.” (CONAMA, 1990)

Os padrões de qualidade do ar foram classificados em dois tipos, sendo eles:

I - Padrões Primários de Qualidade do Ar, que são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população.

II - Padrões Secundários de Qualidade do Ar, que são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Dessa maneira ficaram estabelecidos pelo CONAMA os padrões para os poluentes considerados de risco: CO, Fumaça, MP, NO₂, O₃, PTS e SO₂. A tabela 4,

mostra os valores máximos atribuídos para cada poluente, segundo os padrões primários e secundários e seus respectivos métodos de medição.

Tabela 4: Padrões nacionais de qualidade do ar por poluentes e método de medição

Poluente	Tempo de amostragem	Padrão primário (ug/m3)	Padrão Secundário (ug/m3)	Método de medição
CO	1h	40.000 (35 ppm)	40.000 (35 ppm)	Infravermelho não-dispersivo ou similar
	8h	10.000 (9 ppm)	10.000 (9 ppm)	
Fumaça	24h	150	100	Refletância ou similar
	MMA	60	40	
MP	24h	150	150	Separação inercial/ filtração ou similar
	MMA	50	50	
NO2	1h	320	190	Quimiluminescência ou similar
	MMA	100	100	
O3	1h	160	160	Quimiluminescência ou similar
PTS	24h	240	150	Amostrador de grandes volumes ou similar
	MGA	80	60	
SO2	24h	365	100	Pararosanilina ou similar
	MMA	80	40	

Fonte: Vormitag et al., 2009, página 19

A resolução estabelece ainda os critérios para criação de planos de emergência no caso de episódios críticos de poluição atmosférica., visando prevenir riscos iminentes à saúde humana (IBRAM, 2016). Importante ressaltar que além de atingir os níveis de Atenção, Alerta e Emergências como mostra a tabela 5, para declarar esses estados citados, se requer também análise das previsões de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes (CETESB, 2013).

Tabela 5: Critérios para episódios críticos de poluição atmosférica

Parâmetros	Atenção	Alerta	Emergência
partículas totais em suspensão ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 h	375	625	875
partículas inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 h	250	420	500
fumaça ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 h	250	420	500
dióxido de enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 h	800	1.600	2.100
SO ₂ X PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 h	65.000	261.000	393.000
dióxido de nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1 h	1.130	2.260	3.000
monóxido de carbono (ppm) - 8 h	15	30	40
ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1 h	400*	800	1.000

Fonte: Cetesb, 2014, página 22

A mesma resolução também prevê que a aplicação dos dois diferentes tipos de padrão de qualidade do ar depende que o território nacional seja dividido em classes conforme o uso pretendido (de acordo com classificação de áreas da resolução nº 05/1989, item 2, subitem 2.3), e enquanto os estados não definirem as áreas de cada classe em seu território, deverão ser adotados os padrões primários. São as classes definidas como:

“Classe I: Áreas de preservação, lazer e turismo, tais como Parques Nacionais e Estaduais, Reservas e Estações Ecológicas, Estâncias Hidrominerais e Hidrotermais. Nestas áreas deverá ser mantida a qualidade do ar em nível o mais próximo possível do verificado sem a intervenção antropogênica.

Classe II: Áreas onde o nível de deterioração da qualidade do ar seja limitado pelo padrão secundário de qualidade.

Classe III: Áreas de desenvolvimento onde o nível de deterioração da qualidade do ar seja limitado pelo padrão primário de qualidade.

Através de Resolução específica do CONAMA serão definidas as áreas Classe I e Classe III, sendo as demais consideradas Classe II.” (CONAMA, 1989)

Ainda segundo a OMS (2006), os padrões de qualidade do ar mudam de acordo com a viabilidade técnica, riscos à saúde, considerações econômicas e diversos outros fatores políticos e sociais, que geralmente dependem da capacidade nacional de gerenciar a qualidade do ar. As diretrizes recomendadas pela OMS ainda levam em conta que os governos devem necessariamente considerar suas características locais antes de formularem suas políticas e adotarem os valores propostos como padrões nacionais.

Mesmo o PRONAR sendo de responsabilidade do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), os estados passam a ter a atribuição de implementar programas de controle e monitoramento da qualidade do ar, sendo permitido que estabeleçam outros padrões de emissão, desde que sejam mais rígidos que os estabelecidos em âmbito nacional.

Com relação a fontes fixas de emissão, o CONAMA estabelece padrões de emissão de poluentes atmosféricos para tais fontes através da resolução nº08/1990, que foi complementada pela resolução de nº 382/2006, que estabelece limites específicos de emissão para vários combustíveis e instalações, tais como gás natural e derivados de madeira e usinas termelétricas, fábricas de celulose e papel e fábricas de cimento, dentre outros. Posteriormente, foi complementada pela resolução de nº 436/2011, que estabelece diretrizes para incorporação de novas tecnologia ambientalmente adequadas, diante dos novos combustíveis e possíveis fontes poluidoras. (JÚNIOR, 2007)

Sobre as fontes móveis, foi instituído pela resolução CONAMA nº 18/1986 o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE, que define os primeiros padrões de emissão para fontes veiculares. Essa resolução foi complementada pela resolução de nº 17/1993, que dispõe sobre a obrigatoriedade de licenciamento ambiental para comercialização, fabricação e distribuição de novos combustíveis. Além disso, também no ano de 1993, a lei nº 8.723 endossou a obrigatoriedade de reduzir os níveis de emissão dos poluentes de origem veicular, contribuindo para induzir o desenvolvimento tecnológico dos fabricantes de combustíveis, motores e autopeças, e permitindo que veículos nacionais e importados, passassem a atender aos limites estabelecidos (BRASIL, 1993).

Com o objetivo de complementar o PROCONVE, o CONAMA posteriormente instituiu, através da resolução nº 297/2002 o Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares – PROMOT, contribuindo ainda mais para a redução da poluição por fontes móveis no Brasil, visto o vertiginoso crescimento da utilização de motocicletas, devido principalmente ao aumento do número de demandas do setor de prestação de serviço de entregas no país nos últimos anos (MMA, 2018). Entretanto, apesar de tais medidas, a poluição atmosférica por veículos automotores ainda se caracteriza como uma das maiores causas da poluição do ar nas grandes cidades e segundo Vicentini et al. (2015) essa é uma das principais fontes de emissão de material particulado na atmosfera.

3.3. Qualidade do ar e a poluição atmosférica

O ar atmosférico é uma mistura complexa, composta basicamente de gases, como oxigênio e nitrogênio que são os mais representativos (aproximadamente 21% e 78% respectivamente), vapor de água e outros gases que representam o restante 1% da composição (ARAUJO, 2012). Qualquer alteração nessa dinâmica considerada natural pode caracterizar uma má qualidade do ar (GODISH et al., 2014).

Em termos gerais, a qualidade do ar pode ser conceituada como a interação de fatores em determinado espaço e tempo, que favorecem ou não a dispersão de poluentes no ar atmosférico, tais como condições meteorológicas, topografia e magnitude de emissões (MMA, 2017). A qualidade do ar pode ser determinada através da medição das concentrações, dos chamados “poluentes indicadores”, que são os que ocorrem com maior frequência e causam grandes danos ao meio ambiente. Sendo assim, o que determina o nível da qualidade do ar é a interação entre as fontes de poluição e a dinâmica atmosférica natural.

As áreas urbanas são mais suscetíveis a ter altas concentrações de poluentes devido à sua densidade urbanística, com construções que podem modificar o fluxo de ar e assim inibir a ventilação dos poluentes e seu fluxo veicular intenso, aumentado gradativamente nas últimas décadas (TOMLIN et al., 2009).

Dentre os problemas ambientais, os efeitos da má qualidade do ar não são tão visíveis quanto outros problemas ocasionados também por tipos de poluição, porém alguns estudos têm demonstrado a correlação entre a exposição humana a poluentes atmosféricos e efeitos de morbidade e mortalidade (MMA, 2017).

Para que se possa avaliar os efeitos da poluição na população, utiliza-se um indicador desenvolvido para auxiliar a tomada de decisão, já que através dele permite-se a avaliação dos locais que necessitam efetividade de intervenção e simplificar a divulgação dos dados. O Índice de Qualidade do Ar (IQAR) é a aplicação de uma equação matemática (figura 1) aos resultados de concentração de poluentes monitorados e, obtidos no local desejado, sendo possível sua classificação em boa, regular, inadequada, má, péssima, ou crítica qualidade (tabela 6) (IBRAM, 2016).

Figura 1: Equação matemática para determinação do IQAR

$$IQAR = \frac{I_{Sup} - I_{Inf}}{C_{Sup} - C_{Inf}} \times (C - C_{Inf}) + I_{Inf}$$

Onde:

I_{Sup} – valor crítico superior do índice
 I_{Inf} – valor crítico inferior do índice
 C_{Sup} – concentração do poluente que corresponde ao I_{Sup}
 C_{Inf} – concentração do poluente que corresponde ao C_{Inf}
 C – concentração medida para o poluente em questão.

Fonte: IBRAM, 2016, página 05

O índice é representado por um número adimensional, ou seja, não possui unidade, que se relaciona com a concentração de um dado poluente por meio de funções lineares segmentadas, de modo que entre valores críticos esta assume um comportamento linear (IBRAM, 2016). Esse número possibilita a comparação com os valores definidos nas leis brasileiras, facilitando a compreensão do público geral em relação aos níveis de poluição atmosférica.

Tabela 6: Índice de qualidade do ar e os efeitos à saúde

Qualidade	Índice	MP ₁₀ (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)	CO (ppm)	NO ₂ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)	Fumaça (µg/m ³)	PTS (µg/m ³)	Significado
Boa	0-50	0-50	0-80	0 - 4,5	0-100	0-80	0-60	0-80	Praticamente não há riscos à saúde.
Regular	51-100	>50-150	>80-160	>4,5 - 9	>100 - 320	>80- 365	>60-150	>80 - 240	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
Inadequada	101-199	>150 e <250	>160 e <200	>9 e <15	>320 e <1130	>365 e <800	>150 e <250	>240 e <375	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
Má	200-299	≥ 250 e <420	≥ 200 e <800	≥ 15 e <30	≥ 1130 e <2260	≥ 800 e <1600	≥ 250 e <420	≥ 375 e <625	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda apresentar falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com problemas cardiovasculares)
Péssima	≥ 300	≥ 420	≥ 800	≥ 30	≥ 2260	≥ 1600	≥ 420	≥ 625	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Fonte: CESTESB, 2013, página 23

De acordo com o CONAMA, poluente atmosférico é definido como “qualquer forma de matéria ou energia que tornem o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; inconveniente ao bem-estar público; danoso aos materiais, à fauna e flora e prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade” (CONAMA, 1990). Segundo essa lógica, são relevantes para os estudos sobre qualidade do ar as substâncias que causem danos à saúde humana, animal e ambiental, bem como as que estão relacionadas com incômodos à população (IEMA, 2009), mesmo sabendo que os estudos sobre os efeitos da poluição do ar na saúde humana são um desafio, devido a outros fatores que também influenciam o acometimento de doenças que são comumente relacionadas à poluição atmosférica, tais como o fumo, alimentação e exposição ao ar interno de má qualidade (BALDASANO et al., 2003)

A variação de poluentes presentes na atmosfera é muito grande, o que dificulta o estabelecimento de uma classificação padrão. Porém, a literatura em geral classifica os poluentes em dois tipos, de acordo com sua origem, sendo os poluentes primários aqueles emitidos por uma fonte identificável e que é possível medir as quantidades emitidas na própria fonte, e os secundários, formados por reações químicas causadas

pelos poluentes primários junto aos outros compostos naturais da atmosfera, destacando-se oxigênio e água (WHO, 2006; TAVARES, 2010).

Os poluentes são em maioria primários, gerados principalmente de forma antropogênica, pelas atividades industriais e queima de combustíveis fósseis, principalmente em países em desenvolvimento que possuem em sua maioria matriz energética não renovável. Dessa maneira, segundo Smith (1993) e Duarte e Bonatti (2013), a tendência é de que essas emissões aumentem gradativamente nesses países, principalmente em locais de intensa produção industrial, aumentando progressivamente o ritmo de emissão desses poluentes na atmosfera, sem que se tenha tempo suficiente para a dissipação pela dinâmica natural atmosférica, o que ocasiona a poluição do ar.

Além da classificação de poluentes, também são classificadas as fontes poluidoras. Fontes de poluição do ar podem ser classificadas como atividades, processos, dispositivos móveis ou imóveis ou meios de transporte, dentre outros, que causam ou possam causar poluição ao meio ambiente, seja direta ou indiretamente. Dessa maneira, os diferentes tipos de fontes poluidoras do ar são classificados como (LOUREIRO, 2005; BRAIT, 2008; CAVALCANTI, 2010):

- **Fontes naturais:** são definidas como aquelas que não são ocasionadas por atividades antropogênicas, tais como atividades vulcânicas, aerossóis marinhos, ações eólicas, poeira cósmica, liberação de hidrocarbonetos pelas plantas, dentre outros.
- **Fontes estacionárias ou fixas:** podem ser divididas em dois grupos: um que compreende as atividades pouco representativas em áreas urbanas, como as queimadas e queima de combustíveis em atividades consideradas como não industriais, tais como hotéis, lavanderias, padarias, dentre outros; outro que é representado por atividades individualmente significativas, levando em consideração a variedade ou intensidade de poluentes emitidos, tal como a poluição de processos industriais.

A tabela 7 apresenta a relação entre as fontes poluidoras e seus principais poluentes característicos:

Tabela 7: Relação entre as principais fontes poluidoras e seus poluentes.

Fontes		Poluentes
Classificação	Tipo	
Fontes Estacionárias	Combustão	Material particulado
		Dióxido de enxofre e trióxido de enxofre
		Monóxido de carbono
		Hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio
	Processo Industrial	Material particulado (fumos, poeiras e névoas)
		Gases: SO ₂ , SO ₃ , HCl e Hidrocarbonetos Mercaptans, HF, H ₂ S, NO _x
Queima de Resíduos Sólidos	Material particulado Gases: SO ₂ , SO ₃ , HCl, NO _x	
Outros	Hidrocarbonetos, material particulado	
Fontes Móveis	Veículos Automotores	Material particulado, monóxido de carbono, Óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos e óxidos de enxofre
	Aviões e Barcos	Óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio
	Locomotivas, etc.	Ácidos orgânicos, hidrocarbonetos e aldeídos
Fontes Naturais		Material particulado - poeiras Gases - SO ₂ , SO ₃ , HCl, NO _x , hidrocarbonetos
Reações Químicas		Poluentes secundários - O ₃ , aldeídos Ácidos orgânicos, nitratos orgânicos Aerossol fotoquímico, etc.

Fonte: Brait, 2008, página 05

Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB (2013):

“A determinação sistemática da qualidade do ar deve ser, por questões de ordem prática, limitada a um restrito número de poluentes, definidos em função de sua importância e dos recursos materiais e humanos disponíveis. De forma geral, o grupo de poluentes consagrados universalmente como indicadores mais abrangentes da qualidade do ar é composto pelos poluentes já citados, monóxido de carbono, dióxido de enxofre, material particulado e ozônio, mais o dióxido de nitrogênio. A razão da escolha desses parâmetros como indicadores de qualidade do ar está ligada à sua maior frequência de ocorrência e aos efeitos adversos que causam ao meio ambiente”.

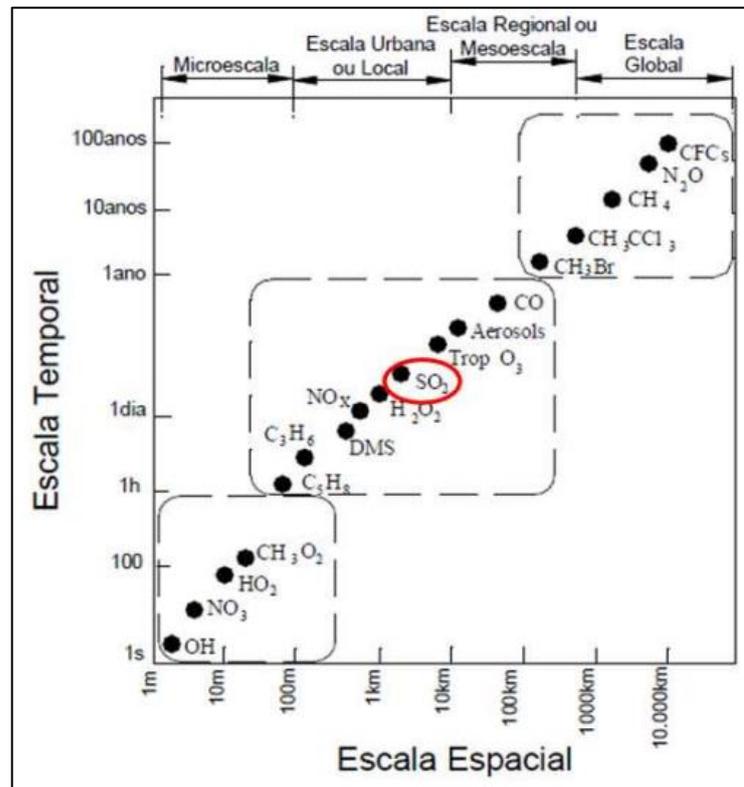
Tabela 8: Poluentes considerados indicadores da qualidade do ar, suas características, origem e efeitos ao meio ambiente

Poluente	Características	Fontes Principais	Efeitos Gerais ao Meio Ambiente
Partículas Inaláveis Finas (MP _{2,5})	Partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem etc, que podem permanecer no ar e percorrer longas distâncias. Faixa de tamanho < 2,5 micra.	Processos de combustão (industrial, veículos automotores), aerossol secundário (formado na atmosfera) como sulfato e nitrato, entre outros.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade, contaminação do solo e água.
Partículas Inaláveis (MP ₁₀) e Fumaça	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho < 10 micra.	Processos de combustão (indústria e veículos automotores), poeira ressuspensa, aerossol secundário (formado na atmosfera).	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e água.
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho < 50 micra.	Processos industriais, veículos motorizados (exaustão), poeira de rua ressuspensa, queima de biomassa. Fontes naturais: pólen, aerossol marinho e solo.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e água.
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	Gás incolor, com forte odor, semelhante ao gás produzido na queima de palitos de fósforos. Pode ser transformado a SO ₃ , que na presença de vapor de água, passa rapidamente a H ₂ SO ₄ . É um importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis.	Processos que utilizam queima de óleo combustível, refinaria de petróleo, veículos a diesel, produção de polpa e papel, fertilizantes.	Pode levar à formação de chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos à vegetação: folhas e colheitas.
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	Gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. Pode levar à formação de ácido nítrico, nitratos (o qual contribui para o aumento das partículas inaláveis na atmosfera) e compostos orgânicos tóxicos.	Processos de combustão envolvendo veículos automotores, processos industriais, usinas térmicas que utilizam óleo ou gás, incinerações.	Pode levar à formação de chuva ácida, danos à vegetação e à colheita.
Monóxido de Carbono (CO)	Gás incolor, inodoro e insípido.	Combustão incompleta em veículos automotores.	
Ozônio (O ₃)	Gás incolor, inodoro nas concentrações ambientais e o principal componente da névoa fotoquímica.	Não é emitido diretamente para a atmosfera. É produzido fotoquimicamente pela radiação solar sobre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis.	Danos às colheitas, à vegetação natural, plantações agrícolas; plantas ornamentais.

Fonte: CETESB, 2013, página 20

Cada um dos poluentes possui um tempo de residência e dispersão diferentes na atmosfera, que podem ser medidos dentro de uma escala espacial e temporal, através da qual é possível talvez mensurar os efeitos que poderá gerar tanto na saúde como no meio ambiente.

Figura 2: Escala espacial e temporal dos principais poluentes presentes na atmosfera



Fonte: Araujo, 2012, página 23

Os poluentes além de causar prejuízos à composição química da atmosfera, geram outros danos ao meio ambiente, principalmente devido ao fato de que a atmosfera terrestre é um ambiente oxidante, ou seja, quase todos os gases que são liberados no ar, sejam naturais ou poluentes, são totalmente oxidados e depositados ao longo do tempo na superfície terrestre. Os locais onde essas substâncias desaparecem, são chamados de sumidouros, que podem ser solos, corpos hídricos, vegetação, dentre outros elementos dos ecossistemas naturais, então apesar de ser fundamental o processo de oxidação para retirada dos poluentes do ar, eles podem de qualquer maneira, gerar outros danos ao meio ambiente, devido à deposição no meio ambiente. (LOUREIRO, 2005; CAVALCANTI, 2010).

3.4. A poluição do ar e os efeitos na saúde

Os efeitos danosos à saúde gerados pela exposição à poluição do ar têm sido vivenciados pelas populações humanas desde que ocorreram episódios de altas concentrações de poluentes nas cidades, como o caso ocorrido em Londres nos anos 1950. A partir desses fenômenos, estudos e pesquisas epidemiológicas sobre os efeitos da poluição atmosférica na saúde humana ganharam força, demonstrando associações significativas entre a exposição aos poluentes do ar e efeitos adversos à saúde (GOUVEIA et al., 2003; CARMO; HACON, 2013).

Segundo a OMS, aproximadamente 7 milhões de pessoas no mundo morreram no ano de 2016, devido à poluição do ar (WHO, 2017). No Brasil, a estimativa de mortes é de aproximadamente 20 mil óbitos por ano (ARBEX et al., 2012).

Estudos relacionados às práticas que proporcionam um ar mais limpo, principalmente nos países mais desenvolvidos têm surgido ao longo das últimas décadas, porém ainda tem se observado que os níveis atuais de poluição atmosférica ainda podem ser considerados de risco, já que mesmo quando os poluentes estão abaixo dos níveis determinados na legislação, ainda assim podem provocar danos à saúde (DAPPER et al., 2016). Alguns dos estudos epidemiológicos nessa área, mostram que existe um aumento significativo de morbidade em ambientes com concentrações mínimas de poluentes, causando agravos principalmente em idosos e crianças (CASTRO et al, 2003). Dessa maneira, parâmetros de morbidade podem ser uma espécie de marcador dos efeitos da Poluição atmosférica na qualidade de vida e saúde das populações, já que pessoas que por ventura sejam levadas a morte após episódios de morbidade devem ter apresentado toda uma história clínica de alterações que podem ter sido geradas em decorrência dessa poluição (AMARAL; PIUBELI, 2003).

Efeitos fisiológicos correlacionados com a poluição do ar ocorrem em episódios críticos, porém muitos problemas de saúde não são identificáveis por não serem associados a algum episódio crítico, uma vez que pode ocorrer exposição diária a diversos poluentes atmosféricos e dessa maneira a saúde se degradar gradativamente, sem causa aparente (CAVALCANTI, 2010).

Os poluentes gasosos e o material particulado inalável apresentam efeitos diretos sobre o sistema respiratório, que têm sido medidos principalmente através de avaliação no número de atendimentos emergenciais, internações hospitalares e mortalidade por doenças respiratórias. Os efeitos nas doenças cardiovasculares, principalmente relacionados ao material particulado fino, apresentam algumas características peculiares, já que atingem predominantemente adultos e idosos, e têm magnitude inferior ao observado para as doenças respiratórias e efeito mais agudo (CANÇADO et al., 2006; BRAGA et al., 2007; MACHIN; NASCIMENTO, 2018).

Baseando-se no índice de qualidade do ar, a CETESB apresenta uma classificação dos efeitos à saúde que cada poluente atmosférico pode causar:

Tabela 9: Índice de qualidade do ar e os efeitos na saúde de acordo com o poluente monitorado

Qualidade	Índice	MP ₁₀ (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)	CO (ppm)	NO ₂ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)
Boa	0-50	0-50 Efeitos desprezíveis	0-80 Efeitos desprezíveis	0-4,5 Efeitos desprezíveis	0-100 Efeitos desprezíveis	0-80 Efeitos desprezíveis
Regular	51-100	>50 - 150 Pessoas com doenças respiratórias podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço	>80 - 160 Pessoas com doenças respiratórias podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço	>4,5 - 9 Pessoas com doenças cardíacas podem apresentar sintomas como cansaço e dor no peito	>100 - 320 Pessoas com doenças respiratórias podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço	>80 - 365 Pessoas com doenças respiratórias podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço
Inadequada	101-150	>150 e ≤200 Pessoas com doenças respiratórias ou cardíacas, idosos e crianças têm os sintomas agravados. População em geral pode apresentar sintomas como ardor nos olhos, nariz e garganta, tosse seca e cansaço	>160 e ≤180 Pessoas com doenças respiratórias, como asma, e crianças têm os sintomas agravados. População em geral pode apresentar sintomas como ardor nos olhos, nariz e garganta, tosse seca e cansaço	>9 e ≤12 População em geral pode apresentar sintomas como cansaço. Pessoas com doenças cardíacas têm os sintomas como cansaço e dor no peito agravados	>320 e ≤720 População em geral pode apresentar sintomas como ardor nos olhos, nariz e garganta, tosse seca e cansaço. Pessoas com doenças respiratórias e crianças têm os sintomas agravados	>365 e ≤576 População em geral pode apresentar sintomas como ardor nos olhos, nariz e garganta, tosse seca e cansaço. Pessoas com doenças respiratórias ou cardíacas, idosos e crianças têm os sintomas agravados
	151-199	>200 e <250 Aumento dos sintomas em crianças e pessoas com doenças pulmonares e cardiovasculares. Aumento de sintomas respiratórios na população em geral	>180 e <200 Aumento dos sintomas respiratórios em crianças e pessoas com doenças pulmonares, como asma. Aumento de sintomas respiratórios na população em geral	>12 e <15 Aumento de sintomas em pessoas cardíacas. Aumento de sintomas cardiovasculares na população em geral	>720 e <1130 Aumento dos sintomas respiratórios em crianças e pessoas com doenças pulmonares, como asma. Aumento de sintomas respiratórios na população em geral	>576 e <800 Aumento dos sintomas em crianças e pessoas com doenças pulmonares e cardiovasculares. Aumento de sintomas respiratórios na população em geral
Má	200-250	≥250 e ≤350 Agravamento dos sintomas respiratórios. Agravamento de doenças pulmonares, como asma, e cardiovasculares, como infarto do miocárdio	≥200 e ≤400 Agravamento de sintomas respiratórios. Agravamento de doenças pulmonares, como asma, e doença pulmonar obstrutiva crônica	≥15 e ≤22 Agravamento das doenças cardiovasculares, como infarto do miocárdio e insuficiência cardíaca congestiva	≥1130 e ≤1690 Agravamento de sintomas respiratórios. Agravamento de doenças pulmonares, como asma, e doença pulmonar obstrutiva crônica	≥800 e ≤1200 Agravamento dos sintomas respiratórios. Agravamento de doenças pulmonares, como asma, e cardiovasculares, como infarto do miocárdio
	251-299	>350 e <420 Agravamento significativo dos sintomas cardiovasculares e respiratórios, como tosse, cansaço, falta de ar e respiração ofegante na população em geral. Risco de mortes prematuras de pessoas com doenças respiratórias e cardiovasculares. Risco de agravos à gestação	>400 e <800 Agravamento significativo dos sintomas respiratórios e dificuldade de respirar na população em geral. Risco de mortes prematuras de pessoas com doenças respiratórias	>22 e <30 Agravamento significativo dos sintomas cardiovasculares, como dores no peito, na população em geral. Risco de mortes prematuras de pessoas com doenças cardiovasculares.	>1690 e <2260 Agravamento significativo dos sintomas respiratórios e dificuldade de respirar na população em geral. Risco de mortes prematuras de pessoas com doenças respiratórias	>1200 e <1600 Agravamento significativo dos sintomas respiratórios e cardiovasculares, como tosse, cansaço, falta de ar e respiração ofegante na população em geral. Risco de mortes prematuras de pessoas com doenças respiratórias e cardiovasculares
Péssima	≥300	≥420 Sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas com doenças cardiovasculares e respiratórias	≥800 Sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias. Aumento de mortes prematuras de pessoas com doenças respiratórias	≥30 Sérios riscos de manifestações de doenças cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras de pessoas com doenças cardiovasculares	≥2260 Sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias. Aumento de mortes prematuras de pessoas com doenças respiratórias	≥1600 Sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas com doenças cardiovasculares e respiratórias

Os mecanismos pelos quais a poluição do ar interfere na saúde das pessoas ainda não são totalmente conhecidos. Dessa maneira, estudos epidemiológicos que analisam essas questões são de extrema importância, considerando-se os diversos efeitos negativos que determinados poluentes são capazes de causar na qualidade de vida das populações (DAPPER et al., 2016).

Como citado anteriormente, os veículos automotores são grandes responsáveis por aumentar a poluição por CO e principalmente de MP nas grandes cidades. Associado a isso, estudos têm demonstrado a influência desses poluentes na saúde humana em termos dos efeitos principalmente relacionados ao sistema respiratório. Nesse trabalho será abordado o material particulado e serão avaliadas suas concentrações, a fim de se entender se os níveis encontrados no estudo podem ser considerados de risco à saúde humana.

3.4.1. O material particulado

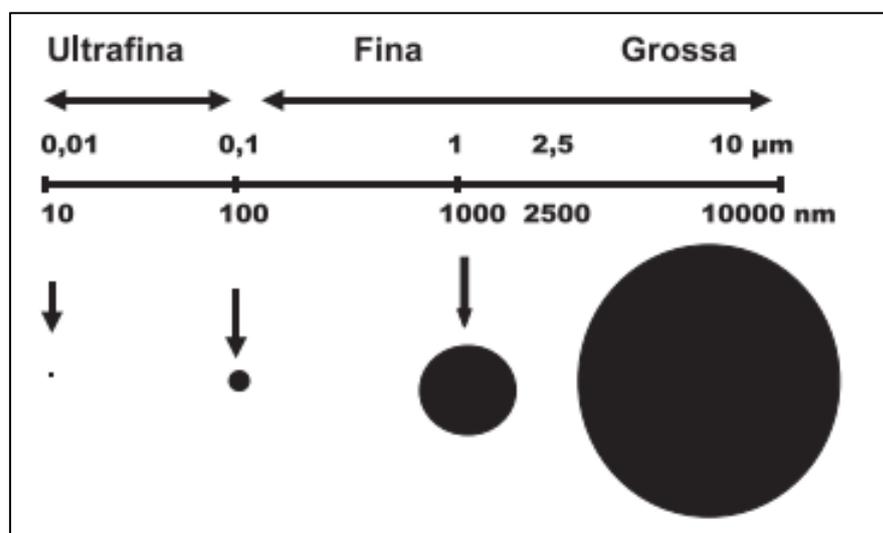
O material particulado (MP) atmosférico pode ser caracterizado como uma mistura de partículas sólidas e líquidas (aerossóis), em suspensão no ar. É o poluente mais estudado e pode ter origem primária ou secundária. O MP varia em número, tamanho, formato, área de superfície e composição química, dependendo do local de sua produção e da fonte emissora. Como dito anteriormente, essas partículas podem ser lançadas na atmosfera por diversas fontes emissoras, tais como veículos automotores, queima de biomassa, ou podem ser formadas por reações químicas na atmosfera, constituindo, respectivamente, as chamadas partículas primárias (fração grossa do MP) e secundárias (fração fina do MP) (SOUZA et al., 2010; ARBEX et al., 2012).

O MP pode afetar diretamente o clima do planeta através da dispersão e absorção da radiação solar, bem como pode afetar indiretamente nos processos de formação das nuvens. Além disso, é caracterizado como poluente mais estudado devido a seus diversos efeitos negativos à saúde humana. (FREITAS; SOLCI, 2009). O tamanho do MP está diretamente relacionado ao seu potencial de danos à saúde, e é medido considerando seu tamanho aerodinâmico médio, definido como o diâmetro

de uma esfera densa que tem a mesma velocidade de sedimentação que a partícula em questão (BRAGA et al., 2001).

As partículas inaláveis (PI) são aquelas capazes de entrar no sistema respiratório. As partículas inaláveis grossas (MP_{2,5-10}) são as que possuem o diâmetro aerodinâmico médio no intervalo de 2,5 a 10 µm e as partículas finas ou respiráveis (MP_{2,5}) são as inferiores a 2,5 µm, sendo que estudos mais recentes destacam partículas em escala de tamanho nano. Os MP inferiores a 2,5 µm são denominados de partículas *quasi*-ultrafinas (MP_{0,25}) e ultrafinas (MP_{0,1}) (FREITAS; SOLCI, 2009; SOUZA et al., 2010). A importância do material particulado fino é que ele pode se manter mais tempo em suspensão, podendo assim ser dispersado a longas distâncias da sua origem, e devido a seu menor diâmetro, atingir porções mais profundas do aparelho respiratório (MACHIN; NASCIMENTO, 2018).

Figura 3: Tamanho das partículas de MP

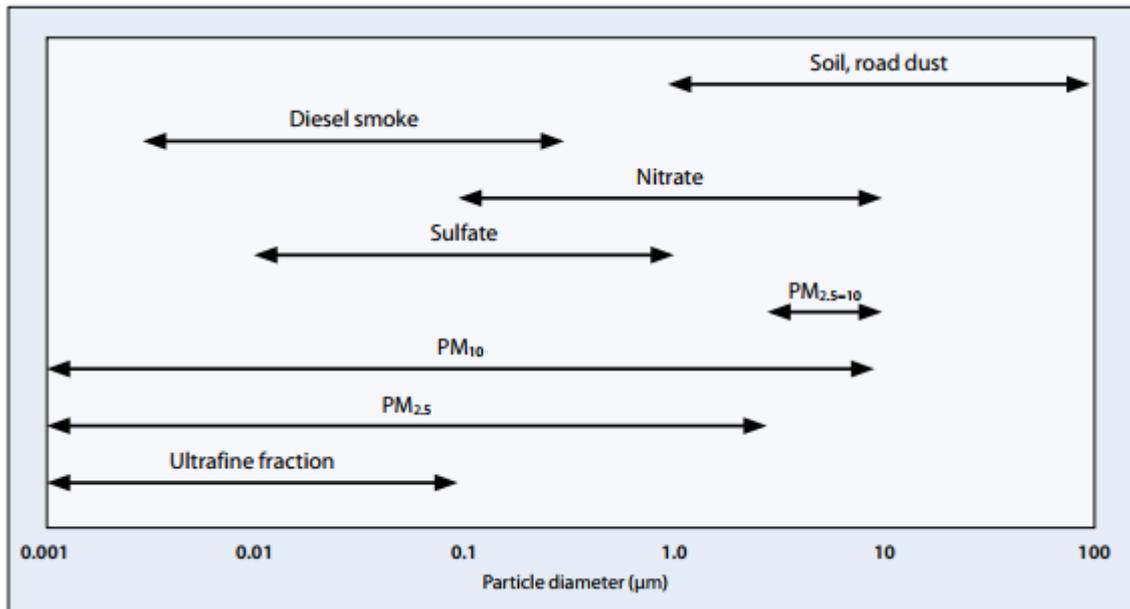


Fonte: Arbex et al., 2004, página 162

As partículas inaláveis grossas têm origem principalmente nos processos mecânicos, de fragmentação de partículas maiores e são levadas à atmosfera através da suspensão de poeira de solo, dos fragmentos de folhas, das cinzas de combustão e das emissões naturais. As finas podem ser geradas por processos de combustão dos veículos automotores e processos industriais além dos processos de formação secundários provenientes de reações atmosféricas (SOUZA et al., 2010).

O tempo de permanência das partículas em suspensão varia em função de seu tamanho e das condições meteorológicas, destacando-se principalmente a ação dos ventos, levando os efeitos a serem considerados em escalas locais, regionais e até globais (MAGALHÃES, 2005; SULLIVAN; PRYOR, 2014).

Figura 4: Faixas de tamanho dos materiais particulados e dos seus componentes principais



Fonte: WHO, 2006, página 11

Diversos estudos têm mostrado que a exposição humana ao material particulado também está associada a diversas doenças respiratórias e cardiovasculares, assim como ocorre com o CO. As partículas ultrafinas provenientes da queima de combustíveis, principalmente do óleo diesel, são fatores responsáveis pela maior incidência de asma brônquica e outras doenças alérgicas, assim como outros estudos mostram que a mortalidade cardiovascular prematura tem forte associação com a exposição a materiais particulados finos (menores que 2,5 µm) (BELO; TOFOLI, 2011; DAPPER et al., 2016).

Segundo Magalhães (2005), o controle do material particulado, em sua maioria é feito pelo monitoramento das partículas totais em suspensão, a fumaça e o material particulado. A tabela a seguir, mostra as principais classes monitoradas e seus possíveis efeitos ao meio ambiente e à saúde humana:

Tabela 10: Classes de MP e seus efeitos

Classes de Material Particulado	Descrição	Possíveis efeitos
Fumaça	Termo utilizado para as partículas suspensas na atmosfera proveniente dos processos de combustão.	Pode ocasionar redução da visibilidade nas cidades, causar irritação nos olhos e sintomas agudos quando exposto em alta concentração em curto tempo.
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	Aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 100µm.	Pode causar problemas à saúde, outra parte pode afetar desfavoravelmente a qualidade de vida da população, interferindo nas condições estéticas do ambiente e prejudicando as atividades normais da comunidade
Partículas inaláveis (MP10)	Aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 10µm.	Podem ficar retidas na parte superior do sistema respiratório ou penetrar mais profundamente, alcançando os alvéolos pulmonares.
Partículas Inaláveis Finas (MP2,5)	Aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 2,5µm.	Devido ao seu tamanho diminuto, penetram profundamente no sistema respiratório, podendo atingir os alvéolos pulmonares.
Partículas Ultra Finas	Aquelas menores que 0.1µm.	Tem a capacidade de penetrar o tecido e pulmonar, ou pode ser diretamente absorvida pela corrente sanguínea, ocasionando inflamações

Fonte: Nascimento, 2014, página 24

Mesmo com inúmeros esforços empreendidos nos últimos anos para reduzir as emissões, tem-se observado um agravamento na relação entre a poluição do ar e a saúde pública. Dessa maneira, o monitoramento das concentrações de material particulado é de extrema importância para a tomada de decisões, visando melhorar tanto a qualidade ambiental quanto a minimizar os efeitos nocivos à saúde humana.

3.5. O monitoramento da qualidade do ar no Brasil e no Distrito Federal

O monitoramento da qualidade do ar é dedicado a medir e quantificar as concentrações dos poluentes atmosféricos que podem afetar a saúde humana, animal e ambiental. Para realizar esse monitoramento, é necessária a implantação de redes de monitoramento atmosférico, que são caracterizadas por duas ou mais estações em uma determinada região geográfica, onde medidas de concentração de poluentes e de parâmetros meteorológicos são aferidas periódica e regularmente, para determinar a extensão da poluição do ar e estabelecer tendências de concentrações de poluentes ao longo do tempo (FRONDIZI, 2008).

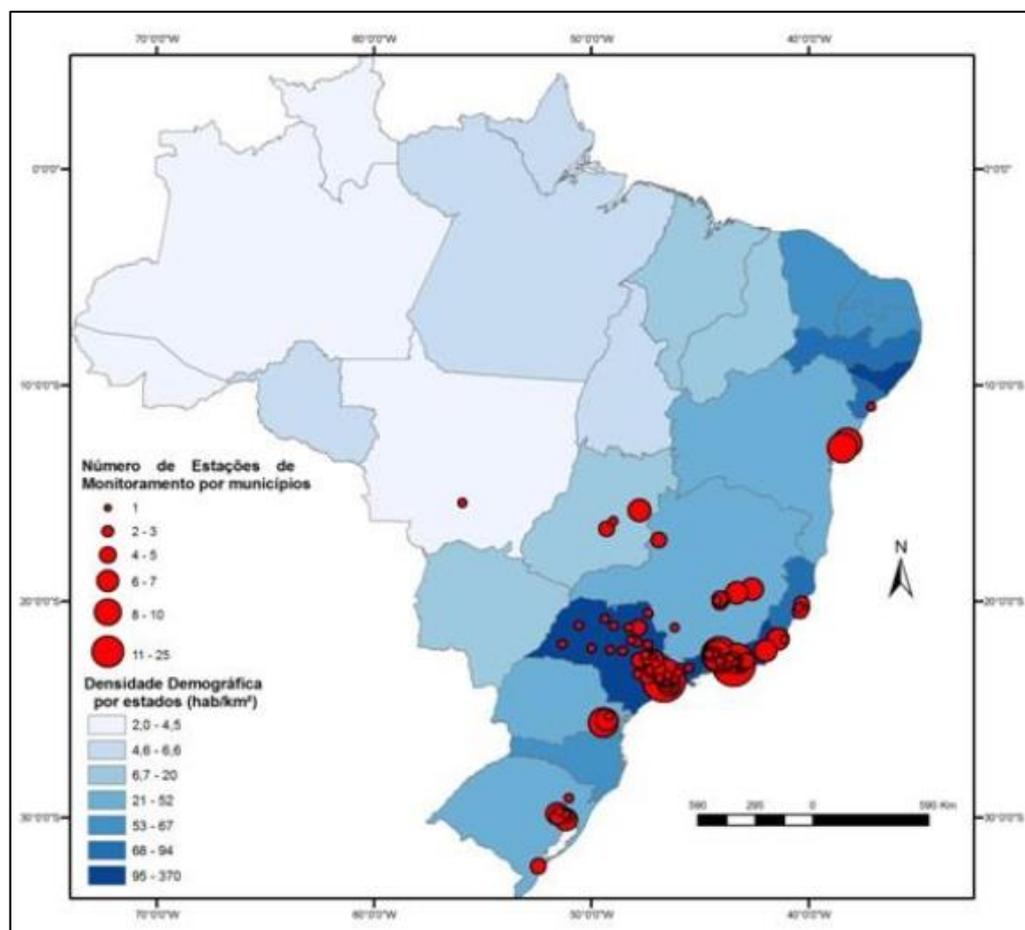
De acordo com as legislações brasileiras, os Estados e o DF em seus territórios, têm a responsabilidade de realizar o controle da qualidade do ar e seu monitoramento, através de seus respectivos órgãos ambientais, porém no Brasil, a realidade desse monitoramento não é muito favorável. Segundo o Relatório de Monitoramento da Qualidade do Ar no Brasil, disponibilizado em 2014, dos 27 estados somente em 11 já existe algum tipo de monitoramento de qualidade do ar, o que representa somente 40% do total das unidades federativas do país. Além disso, ainda se destaca que a Região Norte não possui nenhuma forma de monitoramento da qualidade do ar, e a Região Sudeste representa 78% de todos os municípios monitorados no Brasil e 76% das estações instaladas no país (Figura 5), enquanto que as Regiões Centro-Oeste e Nordeste apresentam enorme carência no monitoramento da qualidade do ar em seus territórios (VORMITTAG et al., 2014).

Tabela 11: Estados com monitoramento da qualidade do ar por região do país

	Sem monitoramento da qualidade do ar	Com monitoramento da qualidade do ar
Centro-Oeste	Mato Grosso do Sul	Goiás, Mato Grosso e Distrito Federal
Nordeste	Alagoas, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte	Bahia, Sergipe
Norte	Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins	
Sudeste		Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo
Sul	Santa Catarina	Paraná, Rio Grande do Sul

Fonte: Vormittag et al., 2014, página 27

Figura 5: Mapa da distribuição de estações de monitoramento da qualidade do ar por município e densidade populacional estadual



Fonte: Vormittag et al., 2014, página 36

Em comparação com outros países, o Brasil demonstra fragilidade na cobertura do monitoramento da qualidade do ar e além disso não possui o monitoramento de todos os parâmetros recomendados pelo CONAMA em todas as suas estações. Alguns diagnósticos realizados demonstram que a gestão da qualidade do ar no país está defasada, não somente pela baixa rede de monitoramento, mas também pela desatualização dos padrões adotados na legislação vigente, diante dos novos conhecimentos científicos dos últimos anos (SANTANA et al., 2012).

No Distrito Federal, o monitoramento da qualidade do ar passou a ser realizado no ano de 2005, sob a responsabilidade do IBRAM, sendo realizado de maneira pontual em locais priorizados em função da grande circulação de pessoas e veículos

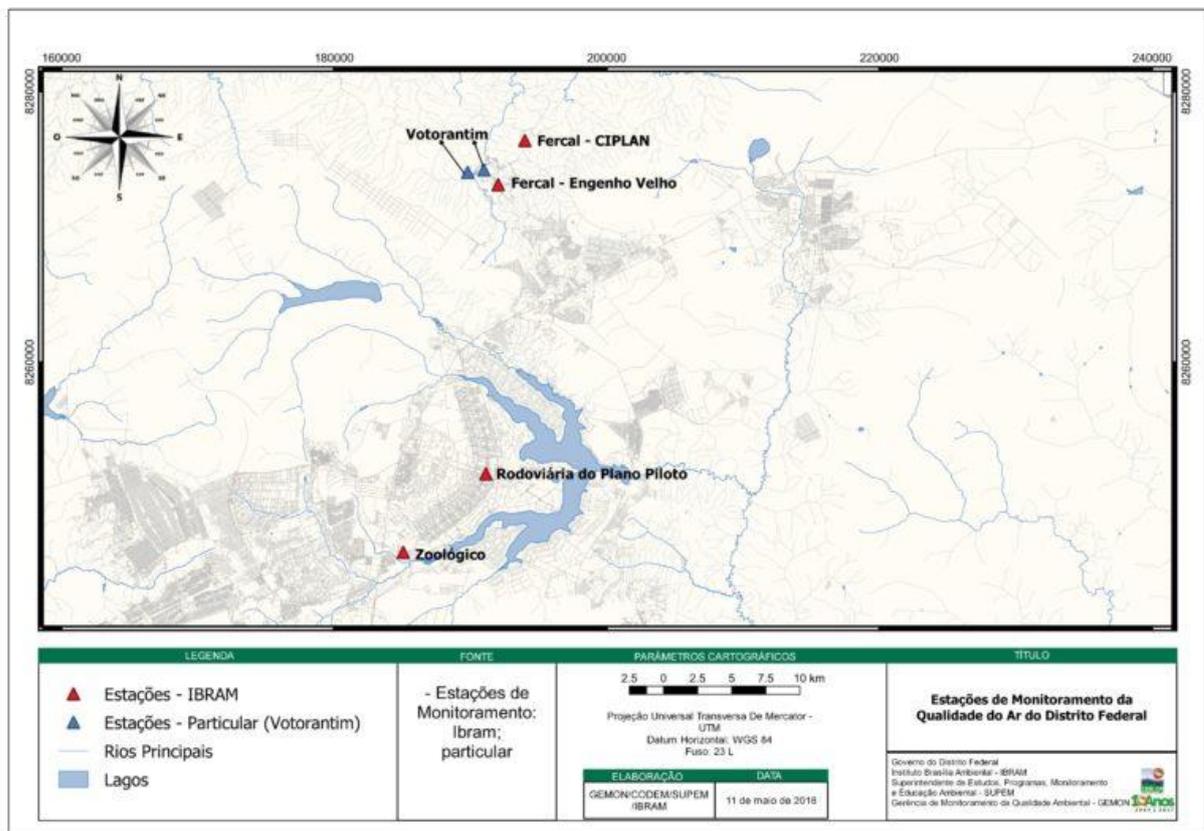
ou da presença de emissores fixos de poluentes, tais como as fábricas de cimento (IBRAM, 2016). As informações sobre o monitoramento podem ser acessadas no *website* do órgão, onde são divulgados relatórios mensais e anuais de acesso público.

A rede de monitoramento no DF tem sofrido modificações ao longo dos anos, e apesar de atualmente possuir 9 estações de monitoramento, somente 4 estão em funcionamento, e não possuem monitoramento para todos os parâmetros estabelecidos pelo PRONAR, sendo as estações:

- **Estação Rodoviária:** localizada na plataforma inferior da rodoviária do Plano Piloto, próxima aos pontos de embarque e desembarque das diversas linhas de ônibus. A Rodoviária representa o ponto de encontro das principais vias que ligam Brasília nos sentidos norte-sul e Leste-Oeste (eixos rodoviários e monumentais, respectivamente). Conta com duas estações manuais para os poluentes fumaça e material particulado total (PTS/MPT), uma estação meteorológica e uma estação automática modelo AQM60 que aguarda manutenção para realizar amostragens.
- **Estação Zoológico:** inaugurada no final de 2017, localiza-se dentro da Fundação Jardim Zoológico, ao lado do estacionamento de carros pequenos, às margens da EPGU. Conta com duas estações manuais para os poluentes fumaça e material particulado respirável (PM10) e uma estação meteorológica.
- **Estação Fercal:** localizada às margens da Rodovia DF-150 e próxima ao posto da PMDF. Conta com dois equipamentos manuais para monitoramento de material particulado total (PTS/MPT) e material particulado inalável (PM10).
- **Estação CIPLAN:** localizada dentro da unidade fabril Cimentos Planalto S.A. CIPLAN, na região administrativa da Fercal. Conta com dois equipamentos manuais para monitoramento de material particulado total e fumaça.

A estação de Taguatinga, na Praça do Relógio, também considerada uma região importante para o monitoramento, foi retirada depois de ser danificada em um acidente de carro no ano de 2016. Foram desativadas também as estações localizadas na L2 Norte, na W3 Sul, Fercal II e em Queima Lençol.

Figura 6: Mapa da distribuição de estações de monitoramento da qualidade do ar no DF



Fonte: IBRAM, 2018

Os equipamentos funcionam com base na utilização de motores ou bombas peristálticas que forçam o ar a passar por filtros, dentro de um período de amostragem que é de 24h. Posteriormente é realizada a pesagem das partículas coletadas, no caso do material particulado, e é aferido o grau de escurecimento do filtro por refletância no caso da fumaça, sendo que a concentração média por volume de ar é determinada pela razão desses valores e o total de ar amostrado (IBRAM, 2016). O IBRAM afirma em seu último relatório que tenta realizar pelo menos uma amostragem semanal, mas devido à falta de recursos humanos no órgão, nem sempre é possível a realização.

Os resultados do relatório de 2016 apresentam a seguinte classificação de acordo com o IQAR, para as estações do DF:

Tabela 12: Classificação da qualidade do ar no DF por local e tipo de poluente

Qualidade do ar por local e poluente em 2016				
Poluente/Local	Rodoviária	Setor Comercial Sul	Fercal	CIPLAN
Material particulado total	Regular	Boa	Regular	Má
Fumaça preta	Boa	Boa	Boa	Boa

Fonte: IBRAM, 2016

Apesar da desativação de estações, e das dificuldades enfrentadas nos últimos anos para realizar as medições, o IBRAM afirma que tem buscado modernizar e aumentar os pontos de monitoramento da qualidade do ar do Distrito Federal, inclusive com aprovação recente de recursos através do Fundo Único do Meio Ambiente do DF (FUNAM-DF) para aquisição de estações mais modernas, que permitam o monitoramento de outros parâmetros estabelecidos pelo CONAMA, tais como O₃, SO₂ e NO_x (IBRAM, 2018).

3.6. O monitoramento da qualidade do ar através da utilização de sensores de baixo custo

Atualmente a poluição atmosférica é monitorada por redes de estações fixas de medição, operadas e controladas pelos órgãos governamentais responsáveis pelo meio ambiente, que possuem alta capacidade e precisão ao medir os poluentes atmosféricos, gerando dados muito confiáveis através da utilização de instrumentos analíticos tradicionais, como por exemplo cromatógrafos à gás e espectrômetros de massa. Porém, essas estações possuem a desvantagem de apresentarem alto custo de operação e manutenção além de seu grande tamanho que inviabiliza a sua instalação em diversos locais, o que pode prejudicar na qualidade dos dados devido às grandes distâncias entre essas estações, gerando a falta de informação para regiões não monitoradas (HASENFRATZ *et al.*, 2012).

De acordo com Bukowiecki *et al.* (2002), a utilização de medições móveis demonstrou ser muito eficiente para avaliar as variações espaciais e temporais dos

poluentes atmosféricos, e permite realizar investigações que não são viáveis através de dados gerados em estações fixas.

Os sensores de baixo custo têm principalmente a vantagem de poder realizar medições móveis, graças à sua capacidade de trabalhar com redes sem fio que permitem a criação de redes de compartilhamento de informações em tempo real, mas é importante ressaltar que sua funcionalidade depende da aplicação de diversas áreas do conhecimento, uma vez que esses sensores são nada mais que periféricos conectados a diversos outros componentes que requerem um mínimo de conhecimento em programação e eletrônica. Além disso, os sensores devem ser calibrados e monitorados com o máximo de acurácia, até mesmo utilizando outros equipamentos como referência, visando obter resultados de confiança (AGUIAR, 2014).

Apesar da dificuldade de aplicação de sistemas que utilizem sensores de baixo custo no monitoramento da qualidade do ar pelos órgãos ambientais, devido principalmente à falta de normatização para utilização dos mesmos, ainda assim se apresentam como uma alternativa mais rápida e barata para obtenção de dados, principalmente em locais que não possuem nenhum tipo de monitoramento, devido principalmente à falta de recursos para aquisição de equipamentos ou locais de difícil acesso.

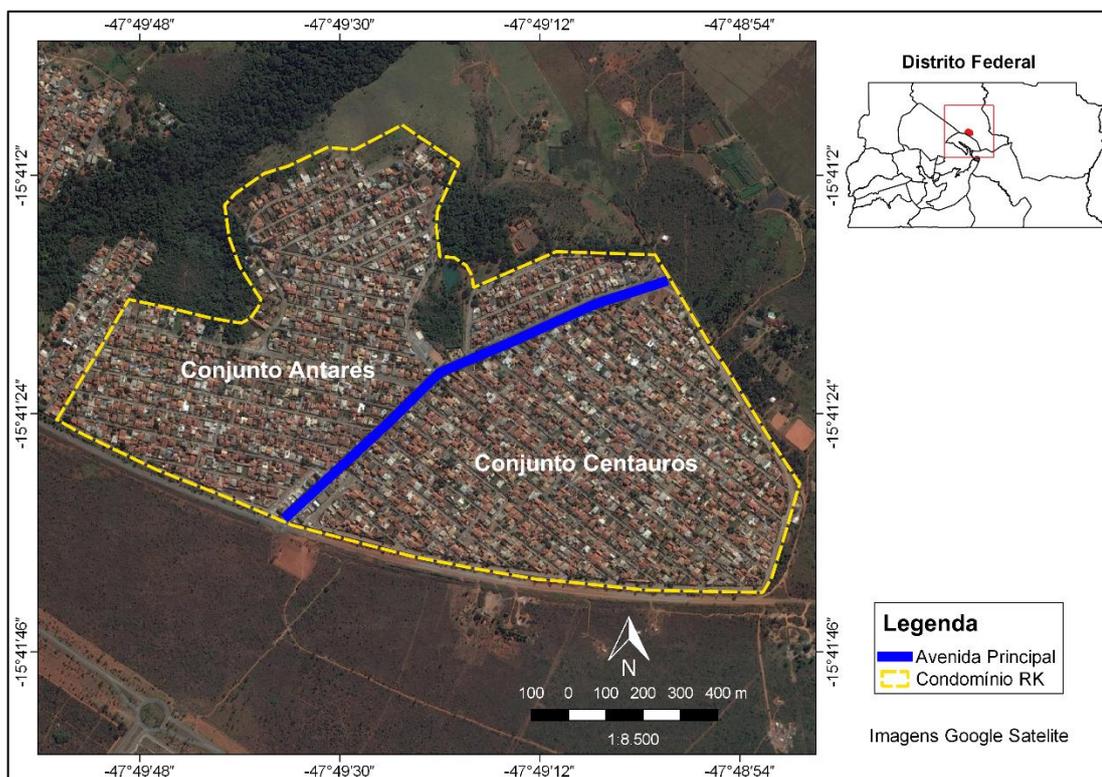
4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área de estudo

O trabalho foi desenvolvido no Condomínio Rural Residencial Rancho Karina (RK), localizado na porção central do Distrito Federal, na Região Administrativa de Sobradinho – RA V, às margens da rodovia DF-440. Tem em seu entorno, a norte e leste o Centro Hípico Bela Vista, ao Sul a rodovia citada e à oeste o Condomínio Residencial Império dos Nobres.

O condomínio foi criado no ano de 1992 e possui atualmente cerca de 170 hectares, o equivalente a 1.700.000 mil m² de área e aproximadamente 9.000 habitantes, de acordo com levantamentos realizados no próprio condomínio. O RK é dividido em dois grandes conjuntos, Centauros e Antares, como demonstrado na figura 7, que possuem cerca de 2.000 lotes residenciais e uma área comercial, com prédios de lojas e apartamentos.

Figura 07: Área do condomínio RK e sua divisão de conjuntos



Fonte: Própria (2018)

É um condomínio ainda em situação de irregularidade fundiária, e devido a isso, desenvolve trabalhos voltados para a área ambiental, que são pré-requisitos para regularização, principalmente desde a criação do Centro de Estudos Ambientais RK (CEA-RK), no ano de 2014, que atua principalmente nas áreas de saúde ambiental e saúde pública.

Do ponto de vista ambiental, a área encontra-se inserida na Área de Proteção Ambiental - APA do Rio São Bartolomeu, que teve seu rezoneamento aprovado pela Lei nº 1.149/96. Segundo esse rezoneamento, o RK apresenta grande parcela em Zona de Uso Intensivo 1 – ZUI 1, onde é permitido o parcelamento para fins urbanos, e uma pequena parte em Zona de Uso Agropecuário 2 – ZUA 2, que se caracteriza como área de sensibilidade ambiental. Dentro da área do condomínio foram localizadas duas Áreas de Preservação Permanente (APP), em torno de duas nascentes, onde a primeira encontra-se na porção oeste e a segunda na porção norte, inserida em área de grande declividade e de vegetação nativa (figura 7).

Sobre o clima, em condições gerais, é típico da região do Distrito Federal, sendo tropical de altitude, característico de planaltos e serras. A temperatura média anual varia de 18º a 22º C, sendo os meses de setembro e outubro os mais quentes e o mês de julho o mais frio. A umidade relativa do ar em épocas não secas chega a aproximadamente 70%, enquanto que em períodos secos pode cair até cerca de 12% (INPE, 2015).

De acordo com o Relatório de Impacto do Meio Ambiente do condomínio (GEOLÓGICA, 2004), devido à pouca influência de indústrias na região, à pouca dinâmica populacional e à não existência de obstáculos naturais, possivelmente a região não apresenta problemas que contribuam para a poluição do ar, porém, atualmente com o aumento da população local em relação à época da elaboração do relatório e conseqüentemente o aumento do fluxo veicular e da urbanização local, além de mudanças na configuração da paisagem este trabalho busca verificar se existe influência desses fatores na atual qualidade do ar na região.

4.2. Instrumentos de coleta de dados

4.2.1. Sonda SAPHIRA

Para realizar a coleta de dados da qualidade do ar no condomínio, foi utilizada a sonda SAPHIRA 3 (Sistema de Aquisição, Processamento, Hospedagem e Integração de Informações sobre Recursos Ambientais), em sua versão 4b, que foi desenvolvida pelo Prof. Dr. Carlos Henke de Oliveira, orientador desse trabalho, para ser aplicada como sistema embarcado, ou seja, um sistema com capacidade computacional dentro de um circuito integrado, de acordo com os interesses dos projetos em que for aplicada.

Figura 08: Sonda SAPHIRA 3 – V4b



Fonte: Própria (2018)

A sonda SAPHIRA pode ser definida como:

“dispositivo eletrônico composto por um microprocessador Raspberry Pi, com registro de dado automatizado a cada 2 segundos, uma câmara fotográfica, cartão mini SD para armazenamento de dados, um receptor de sinal GPS para registro da localização e georreferenciamento, e um conjunto de sensores que medem alguns parâmetros atmosféricos como temperatura,

umidade, concentração de monóxido de carbono, material particulado e pressão, além de sensores que medem aceleração e velocidade” (NASCIMENTO, 2016).

Para realizar as medidas de concentrações de material particulado, a sonda possui um sensor “Nova PM SDS011”. É um sensor do tipo ótico, que funciona através do princípio de espalhamento de *lasers*, onde a luz espalhada se transforma em sinais elétricos que são processados, podendo assim, realizar a medição com base no cálculo da atenuação da intensidade de um feixe de luz pela absorção e dispersão das partículas sólidas (NASCIMENTO, 2016). Esses sensores são capazes de medir as frações de material particulado de 2,5µm e 10µm e possuem valores de confiança, já que não recebem influência das variações de temperatura e umidade, além de já serem calibrados pelo fabricante e não necessitarem de constante calibração.

Figura 09: Sensor Nova PM SDS011



Fonte: <http://www.inovafitness.com>

4.2.2. Sistema de fluxo de veículos do condomínio RK

Para realizar a análise do fluxo veicular, foi utilizado o sistema de gerenciamento de acesso que o Condomínio RK utiliza atualmente. Esse sistema, nomeado APROXIMA – Sistema de Controle de Acesso, cujo desenvolvimento é feito especificamente para o condomínio, controla todo e qualquer acesso de pessoas e

veículos por meio de liberação de sistemas de bloqueio como portas, catracas e cancelas. O sistema é capaz de gerar um banco de dados com data e horário de entrada e saída de veículos em todas as 5 catracas (3 na entrada e 2 na saída) da portaria do condomínio, podendo com isso gerar a informação de fluxo veicular diário, mensal e anual. Para fins desse trabalho, o fluxo de veículos será considerado como sendo o total de veículos que passam nas catracas de entrada e saída do condomínio por hora.

4.3. Dinâmica da coleta de dados

A coleta de dados das concentrações de material particulado na atmosfera do condomínio foi realizada no período de 14 a 20 de abril de 2018, sendo dividida em dois tipos de coleta: móvel e estática. Para a coleta estática, a sonda SAPHIRA ficou acoplada em uma janela da portaria do condomínio, no sentido de saída de veículos (figura 10). Para a coleta móvel, a sonda foi acoplada na parte frontal de uma moto (figura 11), para realização do percurso descrito (figura 12).

Figura 10: Sonda SAPHIRA acoplada em janela na portaria de saída de veículos



Fonte: Própria (2018)

Figura 11: Sonda SAPHIRA acoplada na moto para realização das coletas móveis, diurna (esquerda) e noturna (direita)



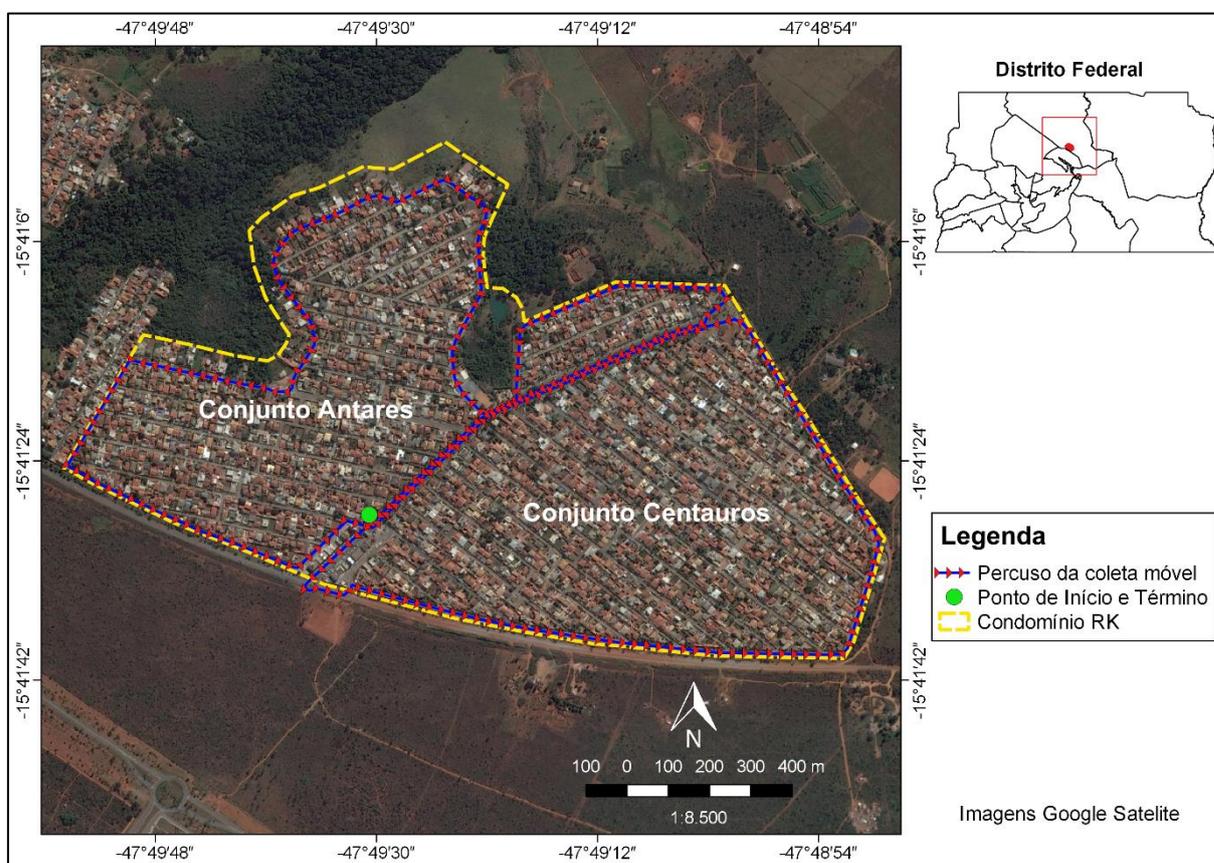
Fonte: Própria (2018)

A sonda SAPHIRA foi acoplada na portaria do condomínio e iniciou a coleta de dados no dia 12 de abril de 2018 e foi retirada no dia 21 de abril de 2018, mas para fins do trabalho, as amostragens da coleta estática foram iniciadas no dia 14 de abril de 2018, às 00h01min e tiveram encerramento no dia 20 de abril de 2018, às 23h59min. A amostragem estática foi complementada pela amostragem móvel, que ocorreu nos dias 14, 15, 18 e 20 de abril de 2018 (sábado, domingo, quarta-feira e sexta-feira, respectivamente), nos horários aproximados de 01h00min, 07h00min, 13h00min e 19h00min, com exceção dos dias 15 e 20, onde não houve coleta móvel nos horários de 13h00min e 01h00min, respectivamente. Para realização da coleta móvel foi utilizada a mesma sonda, sendo ela retirada da portaria e acoplada na moto nos horários citados, e no final do percurso, sendo devolvida ao local na portaria.

Em todos os horários foi traçado o mesmo percurso, iniciando o trajeto no estacionamento do SAC, saindo pela portaria, passando pela área comercial, entrando pela portaria de caminhões e seguindo pela Rua do Lazer até o final do conjunto Centauros. Depois passando para o conjunto Antares através do chamado

“quadradão”, passando pela Rua da Mata, saindo ao lado do CCE e passando pelas ruas do Mirante e Buritis através da área de chácaras. Em seguida, subindo a rua da Passagem que faz divisa com o muro do condomínio Império dos Nobres e passando pela rua do Passeio até chegar atrás da área comercial do conjunto Antares e em frente à saída do estacionamento do SAC. Para finalizar o percurso, foi realizada descida e subida pela rua principal até finalizar o percurso, ao estacionar no ponto de partida (Figura 12).

Figura 12: Percurso determinado para coleta móvel de dados ao longo de toda “borda” do condomínio



Fonte: Própria (2018)

4.4. Análise de dados

Os dados coletados pela sonda, foram transferidos ao computador, após retirados da mesma por meio de *pen-drives*, onde foi criado um banco de dados em planilha do Microsoft Excel. Esse banco de dados foi acrescentado das informações de dados meteorológicos, disponibilizados publicamente pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, e dados de fluxo de veículos na entrada e saída do condomínio, disponibilizados pela Administração do RK.

As análises estatísticas e criação de gráficos foi realizada por meio do Microsoft Excel. O georreferenciamento e a confecção de mapas, tanto de localização e percurso como de concentrações de material particulado, foram feitos através da utilização do *software* livre Quantum GIS (QGis), com a utilização de imagens de satélite do Google e com as tabelas de atributos importadas do banco de dados geral.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após análise dos resultados obtidos com a sonda SAPHIRA, identificou-se que a mesma teve um desempenho muito satisfatório, resultando em menos de 0,1% de perda de dados, devido a falhas de GPS. O banco de dados gerado durante o período de coleta que perdurou 7 dias, obteve aproximadamente 312 mil registros de onde foram extraídas as informações em função do tempo, sendo que para coleta estática foi utilizado o padrão de horas e para a coleta móvel o padrão de minutos. Durante a coleta móvel foram percorridos aproximadamente 119 km, tendo como média 8,5 km por percurso realizado. O tempo total de realização da coleta móvel foi de aproximadamente 5h36min, com média de 24min por percurso realizado. Na coleta estática, a sonda permaneceu coletando dados por um total de aproximadamente 162h.

Serão apresentados os resultados da coleta estática e móvel separados, a fim de demonstrar os fatores em cada tipo de coleta que tiveram influência na variação das concentrações de MP encontradas.

5.1. Variações das concentrações de material particulado na coleta estática

Durante a coleta estática, as médias de concentrações mínimas de **material particulado total (MPT)**, que para este trabalho significa a somatória das frações de 2,5 μm (MP2,5) e 10 μm (MP10), respectivamente as frações de MP fino e MP grosso, foram registradas no dia 15 de abril de 2018, um domingo, tendo sido 7.76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a maior média de concentração por hora registrada nesse dia, às 5 horas da manhã (Figura 13). A média diária foi de 4.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valor bem abaixo do padrão delimitado pela legislação brasileira para média diária, que é de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tabela 13).

Tabela 13: Padrões de referência para MP

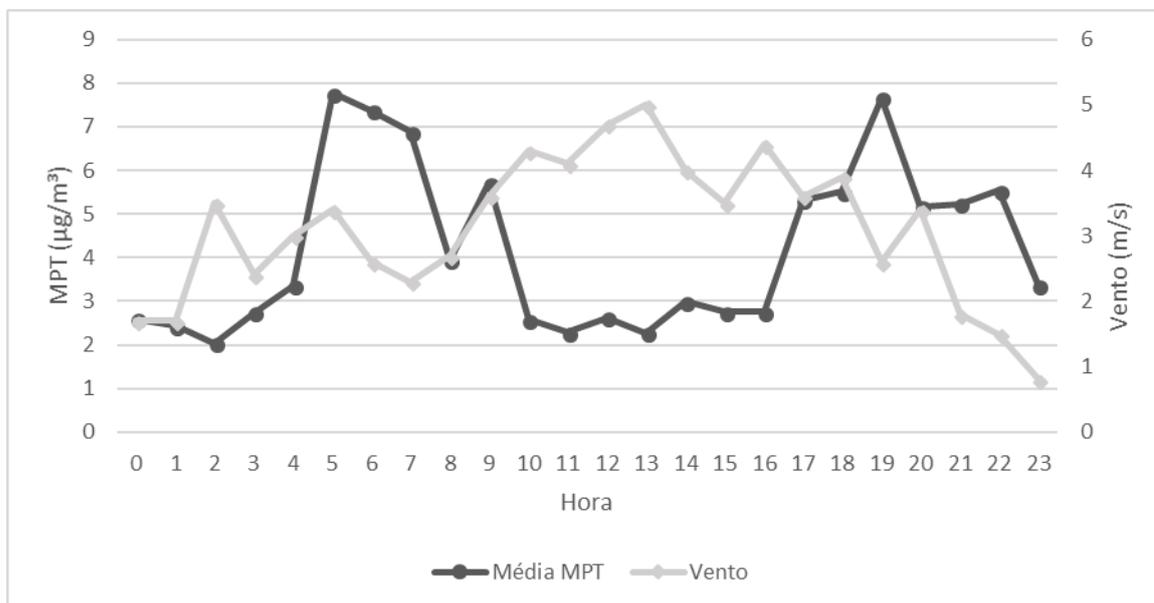
Poluente	Tempo médio de amostragem	Máximo Permitido ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
		Padrão primário	Padrão secundário
PTS (Conama)	24h	240	150
	Anual	80	60
MP10 (Conama)	24h	150	150
	Anual	50	50
MP2,5 (EPA)	24h	35	35
	Anual	15	15

Fonte: Nascimento (2016)

Importante ressaltar que o CONAMA não apresenta padrões de referência para a fração de $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dessa maneira, os valores de referência para essa fração neste trabalho, utilizará como base os padrões preconizados nos Estados Unidos pela EPA (Tabela 1).

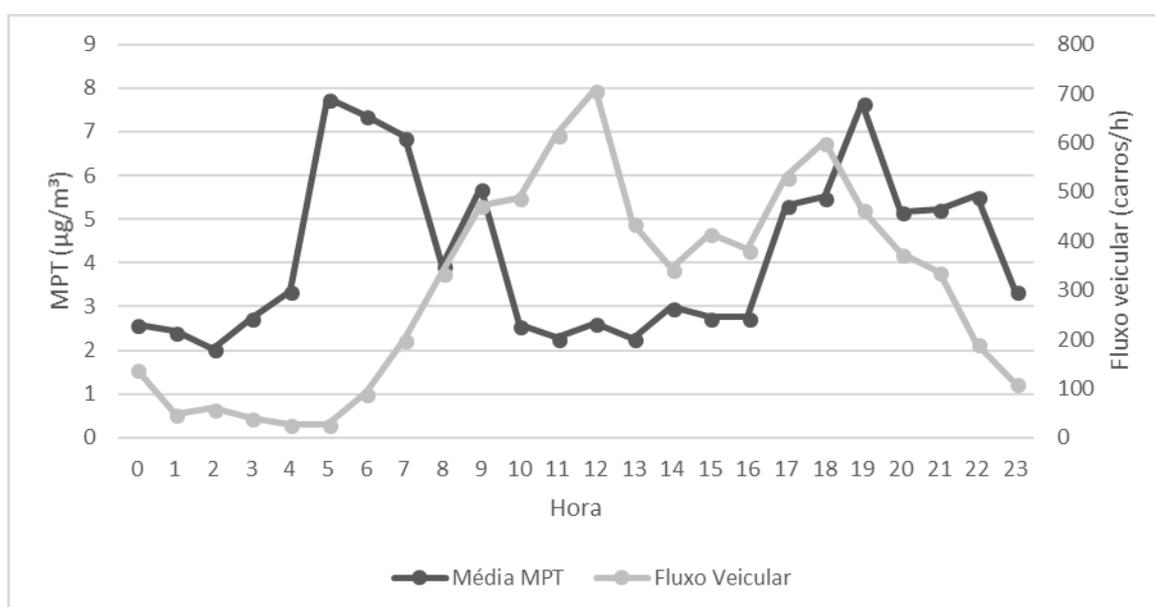
Observa-se que os horários de maior concentração de MPT nesse dia, coincidem com os momentos de menor velocidade do vento, situação essa que se inverte em parte do dia, principalmente no período da tarde, demonstrando que esse fator pode exercer influência no aumento e diminuição das concentrações de MP na atmosfera do condomínio (Figura 13).

Figura 13: Média das concentrações de MPT e velocidade do vento no dia 15.04.2018 (Domingo).



Em relação a influência do fluxo veicular para aumento das concentrações de MPT no dia 15 de abril, percebe-se baixa ligação entre o aumento na média de MPT e o aumento do fluxo veicular, já que no momento de maior concentração (5 horas da manhã) o fluxo veicular é relativamente baixo (27 carros/hora), comparado com outros períodos de maior intensidade, como no início da manhã (entre 7 e 9 horas -), horário de grande saída de veículos e início da noite (entre 18 e 20 horas), horário de grande entrada de veículos do condomínio (Figura 14).

Figura 14: Média das concentrações de MPT e fluxo veicular no dia 15.04.2018 (Domingo).

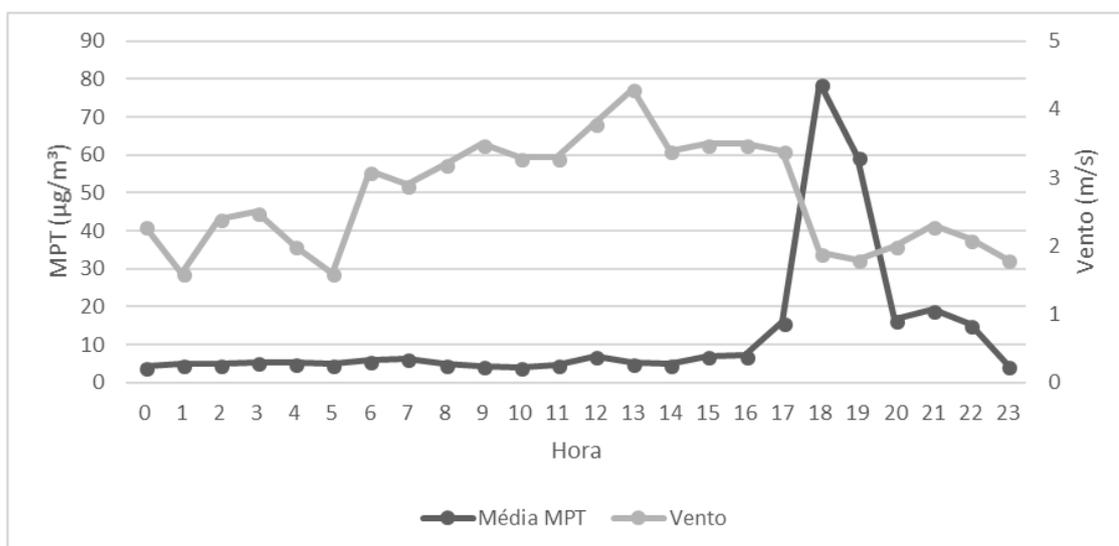


Dessa maneira, as concentrações de MPT podem ou não ser influenciadas pelo fluxo veicular, já que essa relação nem sempre será linear, devido a aspectos qualitativos, tais como composição da frota, fator de emissão e tipo de combustível. Além disso, o comportamento do MP na atmosfera após emissão também dependerá da sua concentração, composição química e tamanho e da variação dos fatores temporais, espaciais e meteorológicos (MANAHAN, 2013).

As concentrações máximas de MPT foram registradas no dia 19 de abril de 2018 (quinta-feira), com a média diária de 12.91 µg/m³, valor também abaixo do preconizado na legislação (Figura 15). Observando a velocidade do vento nesse dia, percebe-se que há um padrão bem definido de influência do aumento de ventos e

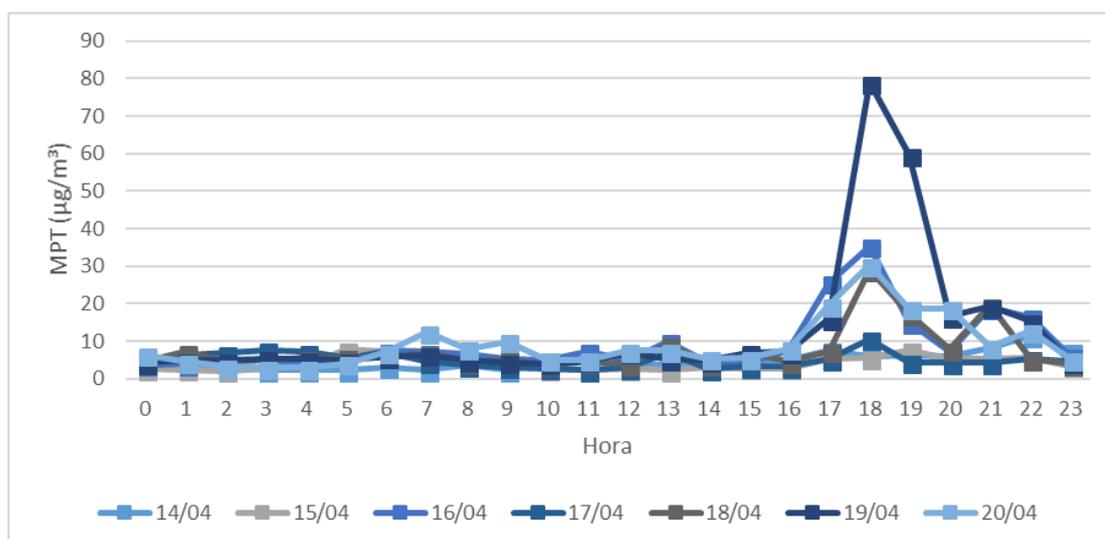
diminuição das concentrações de MPT, diferente do apresentado no dia 12 de abril, que teve maior oscilação nas concentrações de MPT e de velocidade de vento.

Figura 15: Média das concentrações de MPT e velocidade do vento no dia 19.04.2018 (quinta-feira).



Apesar da média diária estar abaixo do padrão, foi registrada uma média de 78.93 µg/m³ às 18 horas, valor mais alto de todas as médias de concentrações horárias obtidas na coleta, se comparado ao mesmo horário nos outros dias da semana (Figura 16), valor esse bem elevado em relação às médias gerais (Tabela 14).

Figura 16: Média das concentrações de MPT por hora, por dia de coleta.



No geral, o desvio padrão (DP) para as médias de concentrações de MPT foi relativamente elevado em diferentes arranjos de dados. Dados diários mostram grande variação interna aos dias, com DP entre 10.81 e 31.17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Igualmente, variações para o mesmo horário em diferentes dias mostraram DP altos, atingindo 47.93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, porém destacam-se os maiores valores para os horários entre 15 e 21 horas, sendo que no período da madrugada, os valores oscilam entre 1.76 e 6.35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, apresentando as menores médias de concentrações horárias, sendo que esse padrão pode ser observado em todos os dias amostrados (Tabela 14).

Tabela 14: Médias das concentrações diárias de MPT, por hora (DP = Desvio Padrão).

Hora	Média das concentrações de MPT ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (\pm DP)							
	14/04 (sábado)	15/04 (domingo)	16/04 (segunda-feira)	17/04 (terça-feira)	18/04 (quarta-feira)	19/04 (quinta-feira)	20/04 (sexta-feira)	Total
0	3.05 (\pm 0.93)	2.6 (\pm 2.01)	3.75 (\pm 0.73)	5.1 (\pm 1.22)	4.66 (\pm 1.07)	4.22 (\pm 1.47)	6.38 (\pm 4.24)	4.26 (\pm2.34)
1	4.09 (\pm 1.46)	2.44 (\pm 1.7)	3.9 (\pm 0.98)	6.37 (\pm 0.7)	7.24 (\pm 4.75)	4.91 (\pm 1.38)	4.55 (\pm 3.79)	4.8 (\pm2.94)
2	3.21 (\pm 0.82)	2.03 (\pm 0.61)	4.35 (\pm 1.24)	6.76 (\pm 0.69)	4.74 (\pm 1.09)	4.87 (\pm 1.15)	3.19 (\pm 1.13)	4.17 (\pm1.73)
3	2.35 (\pm 1.19)	2.75 (\pm 0.47)	5.13 (\pm 2.38)	7.67 (\pm 0.68)	5.11 (\pm 1.03)	5.4 (\pm 1.37)	2.95 (\pm 0.89)	4.48 (\pm2.18)
4	2.35 (\pm 0.71)	3.36 (\pm 0.9)	3.71 (\pm 6.72)	7.2 (\pm 0.82)	5.55 (\pm 4.22)	5.15 (\pm 1.18)	2.89 (\pm 0.94)	4.32 (\pm3.46)
5	2.27 (\pm 0.55)	7.76 (\pm 6.61)	5.31 (\pm 8.53)	5.66 (\pm 0.71)	5.74 (\pm 1.99)	4.83 (\pm 11.63)	4.08 (\pm 3.07)	5.1 (\pm6.35)
6	3.08 (\pm 4.87)	7.37 (\pm 4.76)	7.42 (\pm 5.53)	6.86 (\pm 5.09)	5.66 (\pm 3.07)	5.8 (\pm 4.93)	7.22 (\pm 5.18)	6.21 (\pm5.04)
7	2.24 (\pm 1.26)	6.89 (\pm 39.07)	7.2 (\pm 7.05)	4.56 (\pm 3)	6.85 (\pm 5.67)	6.42 (\pm 2.78)	12.44 (\pm 5.98)	6.64 (\pm15.41)
8	3.57 (\pm 2.96)	3.94 (\pm 6.69)	6.65 (\pm 4.85)	3.64 (\pm 3.99)	4.58 (\pm 4.57)	4.82 (\pm 2.82)	8.04 (\pm 43.27)	5.06 (\pm17.24)
9	2.19 (\pm 1.6)	5.71 (\pm 47.5)	5.21 (\pm 3.49)	3.03 (\pm 1.96)	5.1 (\pm 11.72)	4.42 (\pm 2.84)	10 (\pm 35.64)	5.1 (\pm23.11)
10	4.42 (\pm 2.7)	2.59 (\pm 1.23)	4.98 (\pm 3.02)	2.83 (\pm 1.9)	3.79 (\pm 1.29)	4.12 (\pm 1.37)	5.07 (\pm 1.92)	3.97 (\pm2.23)
11	4.85 (\pm 3.51)	2.29 (\pm 1.21)	7.27 (\pm 18.88)	2.24 (\pm 1.63)	4.62 (\pm 6.35)	4.72 (\pm 3.07)	5.03 (\pm 3.57)	4.45 (\pm8.11)
12	3.17 (\pm 1.35)	2.63 (\pm 1.69)	4.95 (\pm 2.69)	2.93 (\pm 1.65)	3.88 (\pm 2.46)	6.96 (\pm 14.19)	7.47 (\pm 11)	4.59 (\pm7.28)
13	3.83 (\pm 5.34)	2.27 (\pm 1.03)	9.89 (\pm 64.5)	6.9 (\pm 61.63)	9.14 (\pm 26.92)	5.22 (\pm 2.7)	7.56 (\pm 14.43)	6.4 (\pm36.31)
14	3.51 (\pm 1.86)	2.99 (\pm 2.49)	4.19 (\pm 1.77)	2.67 (\pm 1.74)	3.92 (\pm 2.13)	4.93 (\pm 2.9)	5.3 (\pm 7.1)	3.95 (\pm3.52)
15	4.49 (\pm 9.16)	2.76 (\pm 7.2)	4.43 (\pm 4.53)	3.27 (\pm 1.78)	6.82 (\pm 26.24)	7.01 (\pm 39.93)	5.58 (\pm 2.29)	4.94 (\pm18.97)

Hora	14/04 (sábado)	15/04 (domingo)	16/04 (segunda-feira)	17/04 (terça-feira)	18/04 (quarta-feira)	19/04 (quinta-feira)	20/04 (sexta-feira)	Total
16	5.03 (±20.61)	2.76 (±2.71)	7.63 (±50.03)	3.33 (±1.87)	4.5 (±2.8)	7.17 (±12.35)	7.93 (±4.82)	5.51 (±21.25)
17	7.6 (±37.82)	5.32 (±3.01)	25.57 (±29)	5.13 (±6.69)	7.39 (±3.58)	15.99 (±10.66)	19.62 (±8.5)	12.52 (±20.52)
18	5.96 (±5.7)	5.51 (±2.79)	35.41 (±52.88)	10.57 (±19.93)	29.02 (±31.07)	78.93 (±84.47)	30.36 (±22.5)	28.18 (±47.86)
19	6.13 (±5.35)	7.66 (±16.58)	14.93 (±26.06)	4.43 (±2.18)	17.34 (±44.62)	59.65 (±66.98)	18.72 (±14.28)	18.8 (±37.87)
20	5.96 (±10.09)	5.18 (±2.62)	7.23 (±4.59)	4.17 (±2.01)	7.89 (±6.88)	16.6 (±9.03)	18.78 (±15.86)	9.36 (±10.1)
21	8.15 (±10.65)	5.24 (±5.93)	18.92 (±17.81)	4.29 (±1.67)	19.56 (±27.79)	19.3 (±7.27)	8.47 (±3.6)	11.95 (±15.08)
22	11.47 (±13.67)	5.54 (±7.28)	16.46 (±16.44)	5.3 (±1.62)	5.28 (±5.75)	15.25 (±13.94)	12.65 (±18.7)	10.24 (±13.23)
23	7.54 (±9.41)	3.36 (±1.23)	6.09 (±11.47)	4.58 (±1.18)	3.91 (±1.32)	4.53 (±1.71)	5.18 (±1.83)	5.03 (±5.87)
Total Geral	4.61 (±10.81)	4.21 (±13.47)	9.32 (±24.5)	4.96 (±13.82)	7.63 (±16.39)	12.91 (±31.17)	9.23 (±15.98)	7.58 (±19.48)

Apesar dos altos valores de DP, os Intervalos de Confiança (IC_(0.05)) são notoriamente baixos, apresentando valores que variam entre 0.03 e 0.1 µg/m³ para as médias diárias e entre 0.01 e 0.5 µg/m³ para médias horárias, destacando-se os maiores valores também entre as 15 e 21 horas, e tendo o período da madrugada como de menor variação, apresentando valores entre 0.01 e 0.07 µg/m³ (Tabela 15).

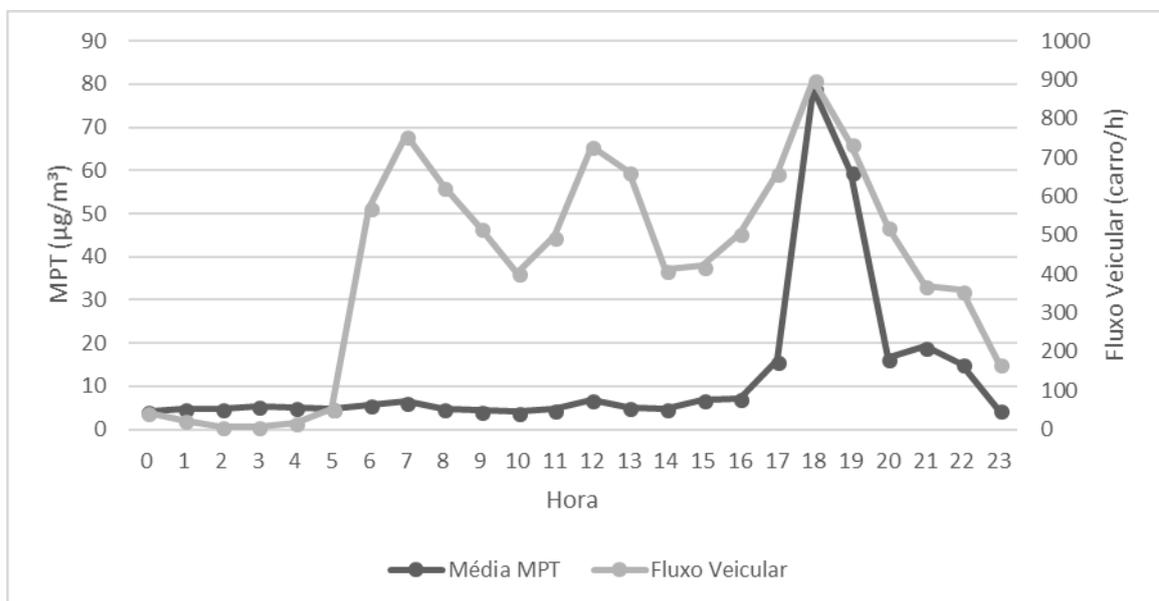
Os IC que em sua maioria foram menores que 1 µg/m³ são consequência do grande esforço amostral no tempo (coleta a cada 2 segundos aproximadamente) que permite graus de liberdade (GL) consideravelmente maiores. Sendo assim, apesar grande variação dia a dia e entre horários (altos DP), os dados obtidos para os dias analisados, o que está além da identificação de uma normal estatística multitemporal, nos fornece confiança para a estimação de parâmetros, como média, bem como testes estatísticos inferenciais, o que poderá ser feito oportunamente em outros estudos.

Tabela 15: Médias das concentrações diárias de MPT, por hora (com IC_(0.05) = Intervalo de Confiança para $\alpha = 0.005$).

Hora	Média das concentrações de MPT ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (\pm DP)							
	14/04 (sábado)	15/04 (domingo)	16/04 (segunda-feira)	17/04 (terça-feira)	18/04 (quarta-feira)	19/04 (quinta-feira)	20/04 (sexta-feira)	Total
0	3.05 (\pm 0.12)	2.6 (\pm 0.1)	3.75 (\pm 0.14)	5.1 (\pm 0.2)	4.66 (\pm 0.18)	4.22 (\pm 0.16)	6.38 (\pm 0.25)	4.26 (\pm0.01)
1	4.09 (\pm 0.16)	2.44 (\pm 0.09)	3.9 (\pm 0.15)	6.37 (\pm 0.25)	7.24 (\pm 0.28)	4.91 (\pm 0.19)	4.55 (\pm 0.18)	4.8 (\pm0.02)
2	3.21 (\pm 0.12)	2.03 (\pm 0.08)	4.35 (\pm 0.17)	6.76 (\pm 0.26)	4.74 (\pm 0.18)	4.87 (\pm 0.19)	3.19 (\pm 0.12)	4.17 (\pm0.01)
3	2.35 (\pm 0.09)	2.75 (\pm 0.11)	5.13 (\pm 0.2)	7.67 (\pm 0.3)	5.11 (\pm 0.2)	5.4 (\pm 0.21)	2.95 (\pm 0.11)	4.48 (\pm0.02)
4	2.35 (\pm 0.09)	3.36 (\pm 0.13)	3.71 (\pm 0.14)	7.2 (\pm 0.28)	5.55 (\pm 0.21)	5.15 (\pm 0.2)	2.89 (\pm 0.11)	4.32 (\pm0.01)
5	2.27 (\pm 0.09)	7.76 (\pm 0.3)	5.31 (\pm 0.21)	5.66 (\pm 0.22)	5.74 (\pm 0.22)	4.83 (\pm 0.19)	4.08 (\pm 0.16)	5.1 (\pm0.01)
6	3.08 (\pm 0.12)	7.37 (\pm 0.28)	7.42 (\pm 0.29)	6.86 (\pm 0.27)	5.66 (\pm 0.22)	5.8 (\pm 0.22)	7.22 (\pm 0.28)	6.21 (\pm0.07)
7	2.24 (\pm 0.09)	6.89 (\pm 0.27)	7.2 (\pm 0.28)	4.56 (\pm 0.18)	6.85 (\pm 0.26)	6.42 (\pm 0.25)	12.44 (\pm 0.48)	6.64 (\pm0.02)
8	3.57 (\pm 0.14)	3.94 (\pm 0.15)	6.65 (\pm 0.26)	3.64 (\pm 0.14)	4.58 (\pm 0.18)	4.82 (\pm 0.19)	8.04 (\pm 0.31)	5.06 (\pm0.04)
9	2.19 (\pm 0.08)	5.71 (\pm 0.22)	5.21 (\pm 0.2)	3.03 (\pm 0.12)	5.1 (\pm 0.2)	4.42 (\pm 0.17)	10 (\pm 0.39)	5.1 (\pm0.02)
10	4.42 (\pm 0.17)	2.59 (\pm 0.1)	4.98 (\pm 0.19)	2.83 (\pm 0.11)	3.79 (\pm 0.15)	4.12 (\pm 0.16)	5.07 (\pm 0.2)	3.97 (\pm0.04)
11	4.85 (\pm 0.19)	2.29 (\pm 0.09)	7.27 (\pm 0.28)	2.24 (\pm 0.09)	4.62 (\pm 0.18)	4.72 (\pm 0.18)	5.03 (\pm 0.19)	4.45 (\pm0.05)
12	3.17 (\pm 0.12)	2.63 (\pm 0.1)	4.95 (\pm 0.19)	2.93 (\pm 0.11)	3.88 (\pm 0.15)	6.96 (\pm 0.27)	7.47 (\pm 0.29)	4.59 (\pm0.02)
13	3.83 (\pm 0.15)	2.27 (\pm 0.09)	9.89 (\pm 0.38)	6.9 (\pm 0.27)	9.14 (\pm 0.35)	5.22 (\pm 0.2)	7.56 (\pm 0.29)	6.4 (\pm0.08)
14	3.51 (\pm 0.14)	2.99 (\pm 0.12)	4.19 (\pm 0.16)	2.67 (\pm 0.1)	3.92 (\pm 0.15)	4.93 (\pm 0.19)	5.3 (\pm 0.2)	3.95 (\pm0.03)
15	4.49 (\pm 0.17)	2.76 (\pm 0.11)	4.43 (\pm 0.17)	3.27 (\pm 0.13)	6.82 (\pm 0.26)	7.01 (\pm 0.27)	5.58 (\pm 0.22)	4.94 (\pm0.13)
16	5.03 (\pm 0.19)	2.76 (\pm 0.11)	7.63 (\pm 0.3)	3.33 (\pm 0.13)	4.5 (\pm 0.17)	7.17 (\pm 0.28)	7.93 (\pm 0.31)	5.51 (\pm0.3)
17	7.6 (\pm 0.29)	5.32 (\pm 0.21)	25.57 (\pm 0.99)	5.13 (\pm 0.2)	7.39 (\pm 0.29)	15.99 (\pm 0.62)	19.62 (\pm 0.76)	12.52 (\pm0.55)
18	5.96 (\pm 0.23)	5.51 (\pm 0.21)	35.41 (\pm 1.37)	10.57 (\pm 0.41)	29.02 (\pm 1.12)	78.93 (\pm 3.05)	30.36 (\pm 1.17)	28.18 (\pm0.08)
19	6.13 (\pm 0.24)	7.66 (\pm 0.3)	14.93 (\pm 0.58)	4.43 (\pm 0.17)	17.34 (\pm 0.67)	59.65 (\pm 2.31)	18.72 (\pm 0.72)	18.8 (\pm0.08)
20	5.96 (\pm 0.23)	5.18 (\pm 0.2)	7.23 (\pm 0.28)	4.17 (\pm 0.16)	7.89 (\pm 0.31)	16.6 (\pm 0.64)	18.78 (\pm 0.73)	9.36 (\pm0.15)
21	8.15 (\pm 0.31)	5.24 (\pm 0.2)	18.92 (\pm 0.73)	4.29 (\pm 0.17)	19.56 (\pm 0.76)	19.3 (\pm 0.75)	8.47 (\pm 0.33)	11.95 (\pm0.16)
22	11.47 (\pm 0.44)	5.54 (\pm 0.21)	16.46 (\pm 0.64)	5.3 (\pm 0.2)	5.28 (\pm 0.2)	15.25 (\pm 0.59)	12.65 (\pm 0.49)	10.24 (\pm0.2)
23	7.54 (\pm 0.29)	3.36 (\pm 0.13)	6.09 (\pm 0.24)	4.58 (\pm 0.18)	3.91 (\pm 0.15)	4.53 (\pm 0.18)	5.18 (\pm 0.2)	5.03 (\pm0.14)
Total Geral	4.61 (\pm0.04)	4.21 (\pm0.03)	9.32 (\pm0.07)	4.96 (\pm0.04)	7.63 (\pm0.06)	12.91 (\pm0.1)	9.23 (\pm0.07)	7.58 (\pm0.03)

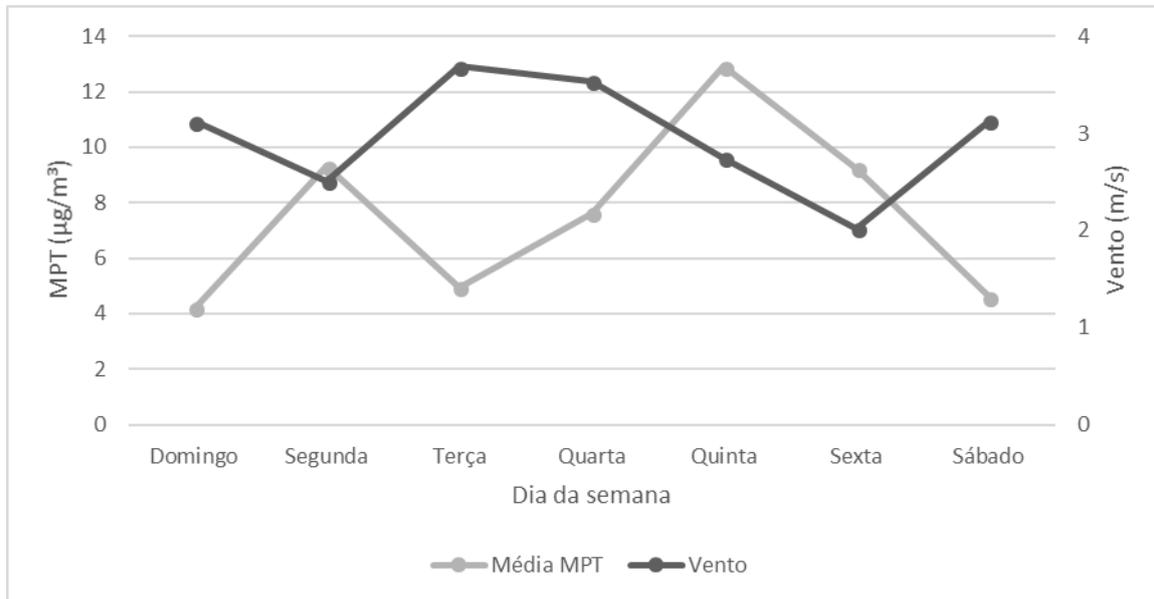
Analisando o fluxo veicular para o dia 19 de abril, percebe-se que nesse caso, o horário de maior fluxo veicular, foi também o de maior concentração média de MPT, destacando que no período entre 6 e 17 horas, os fluxos veiculares foram bem elevados e variaram consideravelmente, enquanto que as médias de concentração de MPT, foram em sua maioria abaixo de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mostrando que nesses horários, aparentemente não houve grande influência do fluxo de veículos no aumento das concentrações de MPT (Figura 17).

Figura 17: Média das concentrações de MPT e fluxo veicular no dia 19.04.2018 (Quinta-feira).



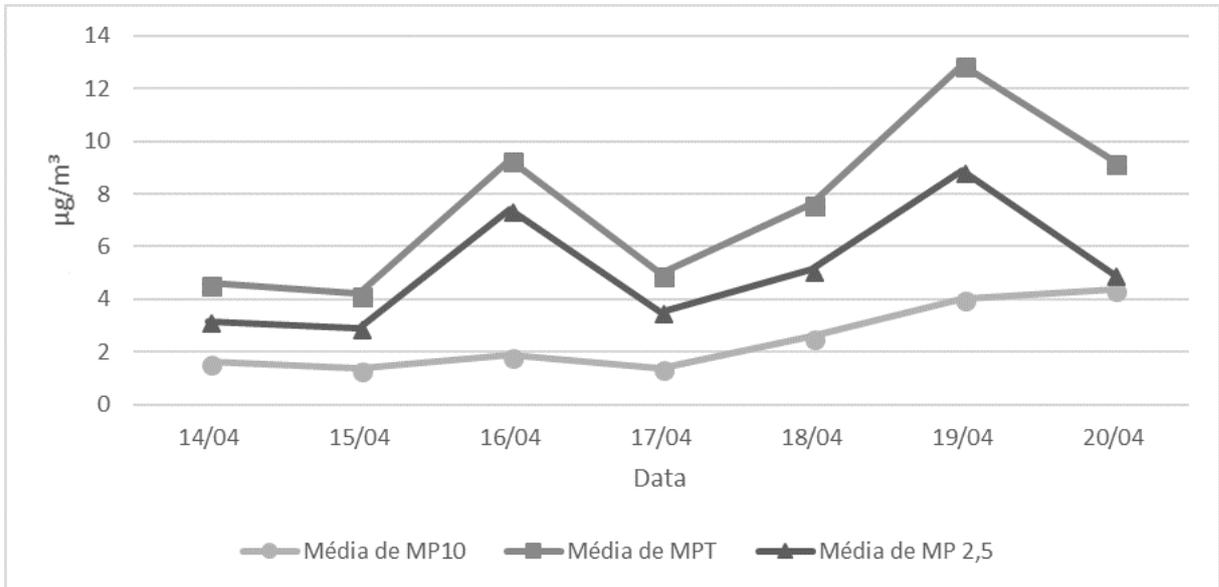
Comparando as médias diárias com a velocidade do vento, observa-se que a relação é inversamente proporcional, tendo os dias com menores concentrações, maior velocidade de ventos. Vale destacar a influência desse fator meteorológico citado, nos dias 15.04.18 19.04.18, respectivamente os de menor e maior média diária de concentrações (Figura 18).

Figura 18: Média das concentrações de MPT por dia da semana



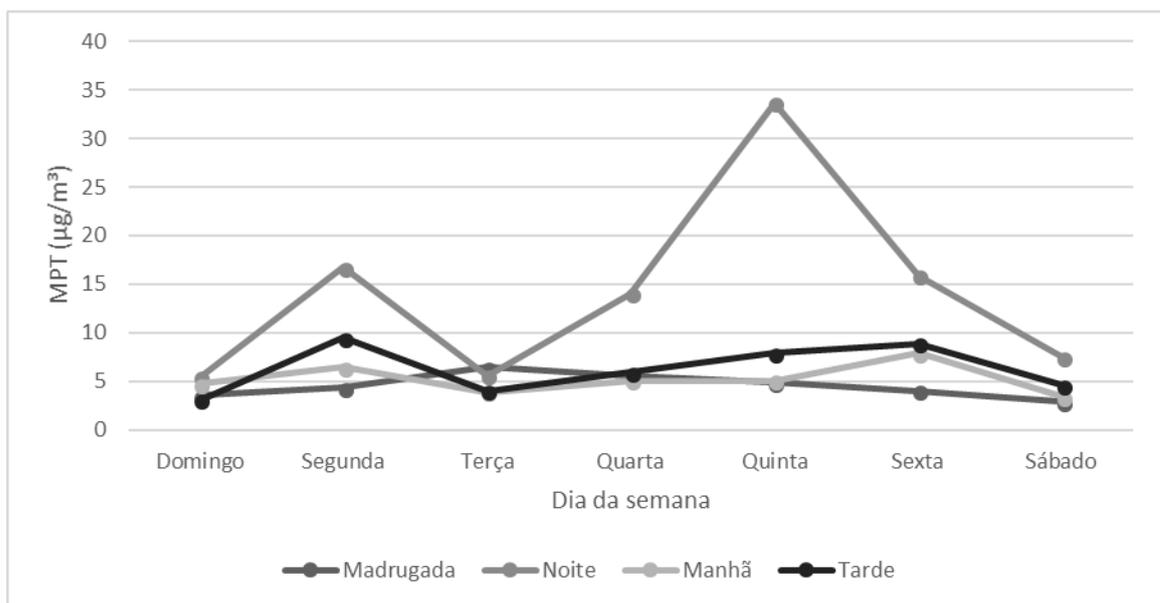
Em relação às médias das frações fina e grossa de material particulado, foi possível observar que, para todos os dias, as concentrações de MP_{2,5} foram maiores que as de MP₁₀, sendo que também sofreram maior variação ao longo dos dias (Figura 19). Destaca-se que no dia 19 de abril, foram registradas as maiores concentrações da fração MP_{2,5}, 8.88 µg/m³, o que já podia ser esperado, dado que foi o dia de registro das maiores concentrações de MPT, porém a maior concentração de MP₁₀, 4.38 µg/m³, foi registrada no dia 20 de abril de 2018 (sexta-feira). Observa-se também, como segundo pico de concentração, o dia 16 de abril de 2018 (segunda-feira), que apresentou valores de 7.40 µg/m³ para MP_{2,5} e 9.32 para MPT.

Figura 19: Concentrações médias de MPT e das frações fina e grossa de MP, por dia.



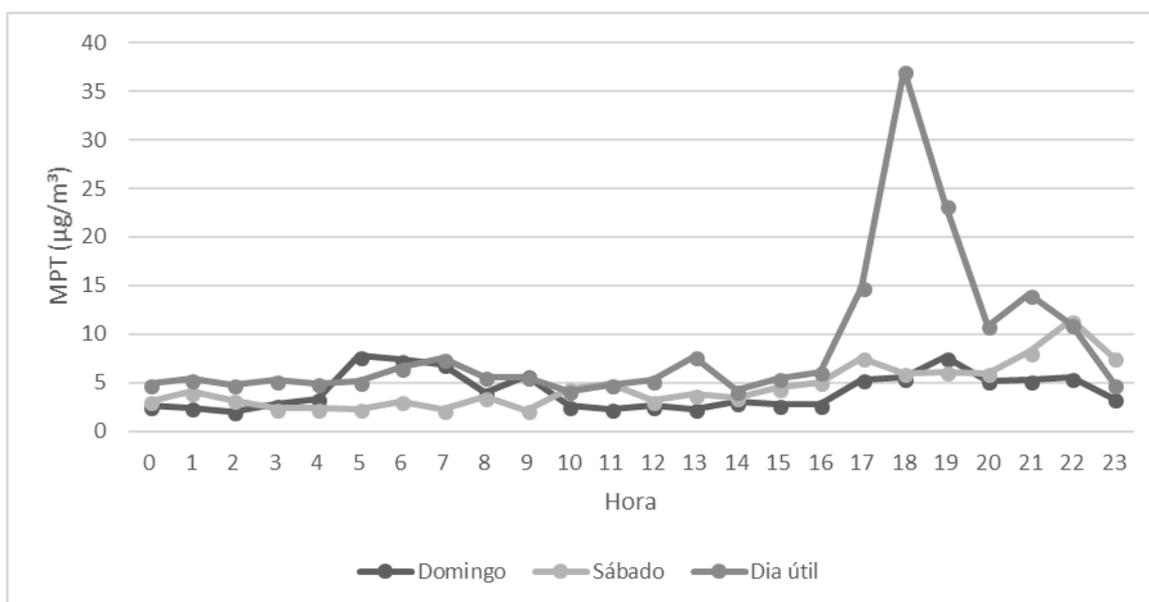
Ao comparar as médias de concentrações por turno, observa-se que todos os dias, as maiores médias foram registradas a noite e em maioria dos dias ficando acima de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, enquanto que para os outros turnos, as médias foram inferiores a esse valor em todos os dias da semana (Figura 20).

Figura 20: Concentrações médias de MPT por turno, por dia da semana.



Comparando finais de semana com dias úteis, observa-se que as médias de concentrações de MPT mais elevadas, são registradas em dias úteis, no turno noturno, com valor mais alto de 37.17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ às 18 horas, seguindo o que foi apresentado para o dia de maior concentração (19.04.18 – Quinta-feira), que apresentou valor superior a 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Para os finais de semana (sábado e domingo), as maiores médias são observadas também no turno da noite para o sábado, com valor de 11.47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ às 22 horas, porém no domingo, o maior valor registrado foi no turno da manhã, sendo 7.76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, como citado anteriormente, já que foi o dia de menores concentrações médias apresentadas (Figura 21).

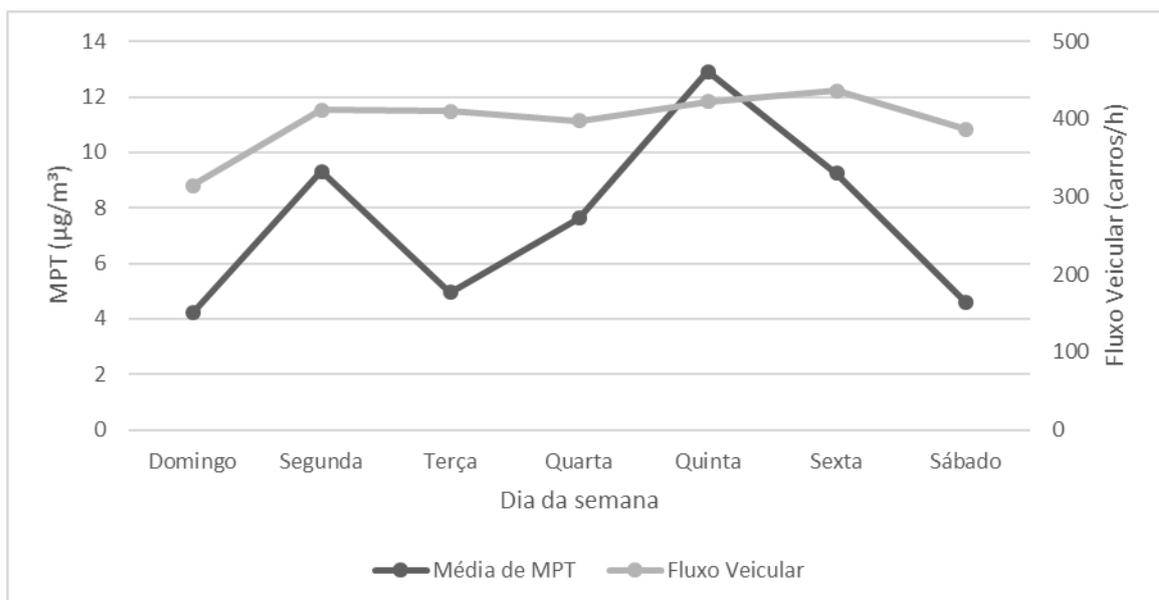
Figura 21: Concentrações médias de MPT, comparando finais de semana com dias úteis



Em relação à influência do fluxo veicular nas concentrações de MP, de acordo com o 1º inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores, os fatores de emissão de material particulado na atmosfera por veículos movidos à gasolina chegam a um valor máximo de 0,0024 g/km, enquanto que veículos movidos à diesel podem alcançar 0,823 g/km. Esse relatório apresenta uma estimativa de que 70% das emissões anuais de MP no Brasil, são oriundas de veículos pesados movidos à diesel, tais como caminhões e ônibus (MMA, 2011).

Podemos observar que o fluxo veicular durante todos os dias não teve grandes variações, mantendo uma média de 397 veículos por dia. Já as médias de concentrações diárias de MPT tiveram bastante variação, com valores entre 4.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 12.91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, independente do fluxo de veículos. Isso pode ser em decorrência da frota veicular que trafega pelo condomínio, ser composta em sua maioria por veículos movidos à gasolina, e que como citado anteriormente, contribuem relativamente pouco para o aumento das emissões. Isso não significa que a qualidade do ar não dependa do tráfego, em específico. Porém, sinaliza que o vento possa ser um modulador importante do efeito do tráfego de veículos sobre a qualidade do ar. É razoável, assim, que na ocorrência de ventos mais brandos, o efeito do tráfego ganhe mais destaque. Considera-se que futuros esforços de pesquisa poderão elucidar este aspecto.

Figura 22: Concentrações médias de MPT e fluxo veicular, por dia da semana.



A metodologia utilizada nesse trabalho é diferente da utilizada pelos órgãos governamentais para medição das concentrações de MP em 24h, porém os valores médios das concentrações obtidos nesse estudo, com base nos padrões de qualidade do ar preconizados no país, indicam baixo risco ao ambiente e a qualidade de vida da população do condomínio.

No geral, as concentrações médias encontradas, tanto para MPT, como para MP2,5 e MP10 durante a coleta estática, estão abaixo dos padrões estabelecidos, porém, cabe ressaltar que, alguns valores encontrados são elevados e devem ser observadas medidas para evitar que extrapolem o que é preconizado como “seguro” para a qualidade de vida da comunidade e principalmente dos trabalhadores que passam o dia na portaria do condomínio, que podem ser expostos a longos períodos de emissões.

5.2. Variações das concentrações de material particulado na coleta móvel

Para fins da coleta móvel, foram realizados 14 percursos em diferentes horários, 4 dias da semana, sendo eles 14, 15, 18 e 20 de abril de 2018, respectivamente sábado, domingo, quarta-feira e sexta-feira. Os horários foram escolhidos de maneira a obter parâmetros dentro dos 4 turnos diários (madrugada, manhã, tarde e noite).

Enquanto que para a coleta estática, as maiores concentrações foram registradas no dia 19 de abril de 2018, quinta-feira, para a coleta móvel, as concentrações máximas de MPT foram registradas no dia 20 de abril de 2018, sexta-feira, tendo entre $55.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $61.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como valores máximos, principalmente na entrada do condomínio (Figura 23), entre o comércio e a portaria, coincidindo com o horário de maior fluxo veicular para o dia (847 carros/h), fator esse que pode ter influenciado esse aumento das concentrações, já que observando a velocidade do vento para o mesmo horário (Figura 24), aparentemente esse fator não exerceu tanta influência, tendo tido baixa variação entre o horário da coleta anterior as 18 horas.

Figura 23: Concentrações de MPT para a coleta móvel do dia 20.04.18 em todos os horários.

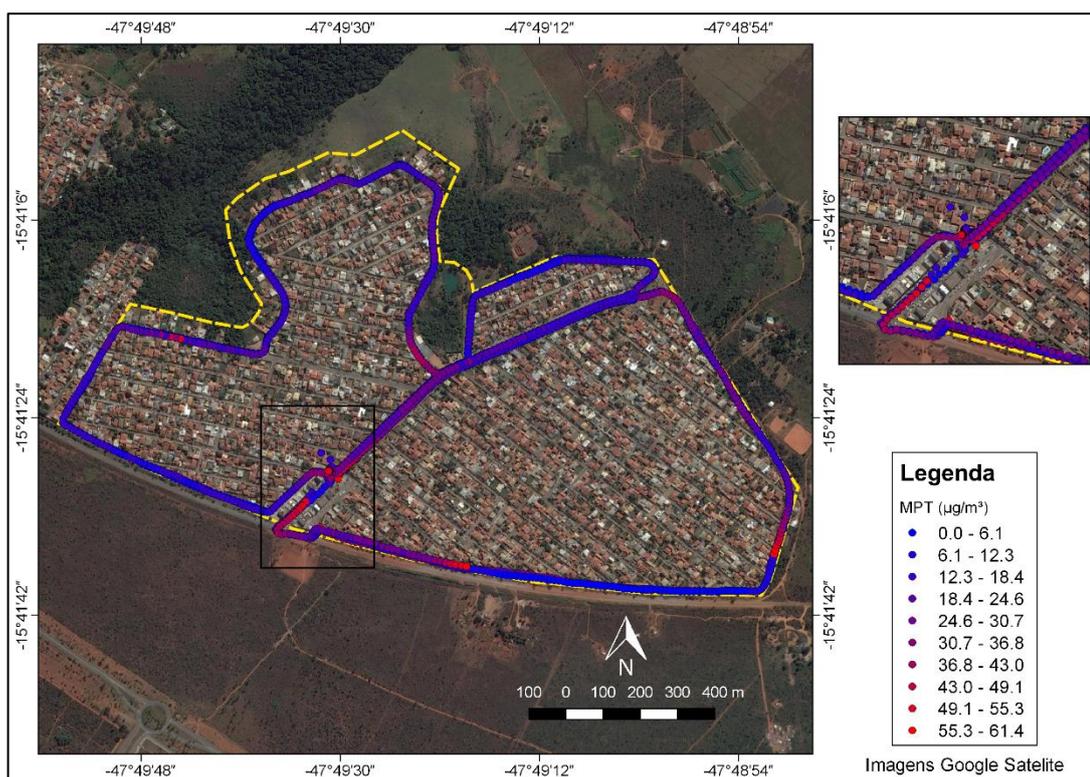
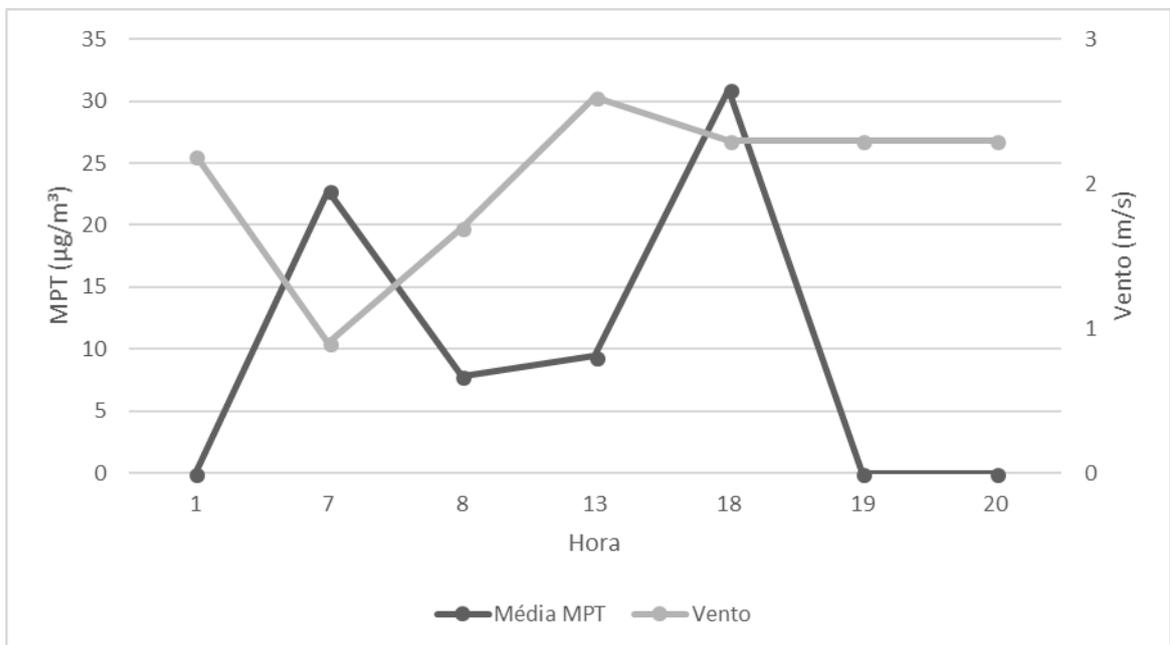


Figura 24: Concentrações médias de MPT e velocidade do vento para a coleta móvel do dia 20.04.18.

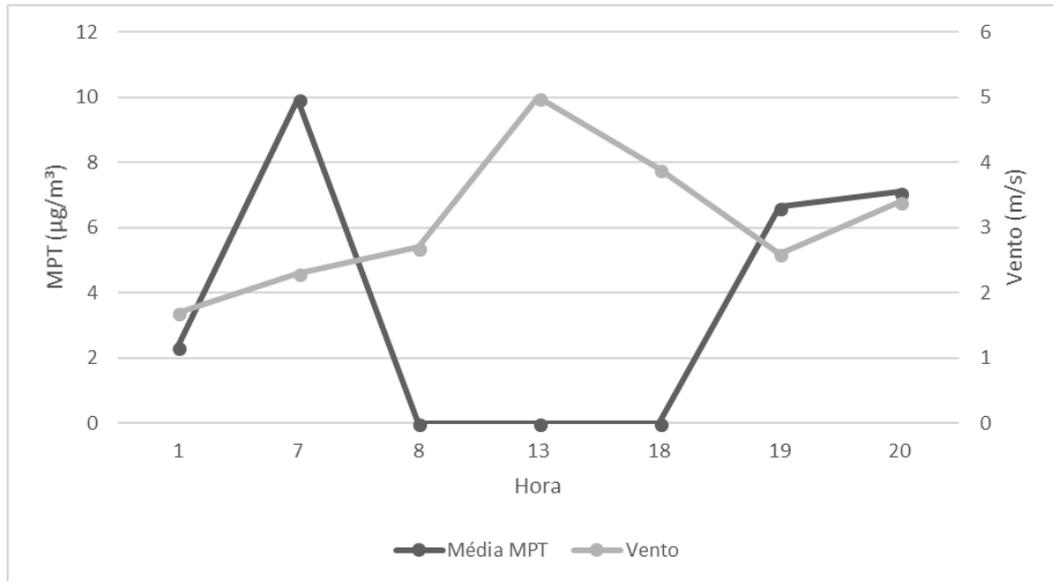


Observação: não houve coleta nas horas 1, 19 e 20 no dia 20.04.2018

As concentrações mínimas para a coleta móvel, assim como na coleta estática, também foram registradas no dia 15 de abril de 2018, domingo, com seu maior pico às 7 horas, que pode ter sido influenciado pela baixa velocidade dos ventos registrada nesse horário (Figura 25). Nesse caso, o fluxo veicular não se mostrou elevado para o horário em comparação aos outros dias no mesmo horário.

Destaca-se que os valores máximos de concentração registrados nesse dia foram entre $24.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $30.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na área da Rua do Lazer, próximo ao muro do condomínio que faz divisa com a Rodovia DF440 (Figura 26), num local onde a mesma ainda não está asfaltada, o que pode contribuir para o aumento das concentrações no local, que também foi observado em outros dias de coleta (Figura 27).

Figura 25: Concentrações médias de MPT e velocidade do vento para a coleta móvel do dia 15.04.18.



Observação: não houve coleta nas horas 8, 13 e 18 no dia 15.04.2018

Figura 26: Concentrações de MPT para a coleta móvel do dia 15.04.18 em todos os horários.

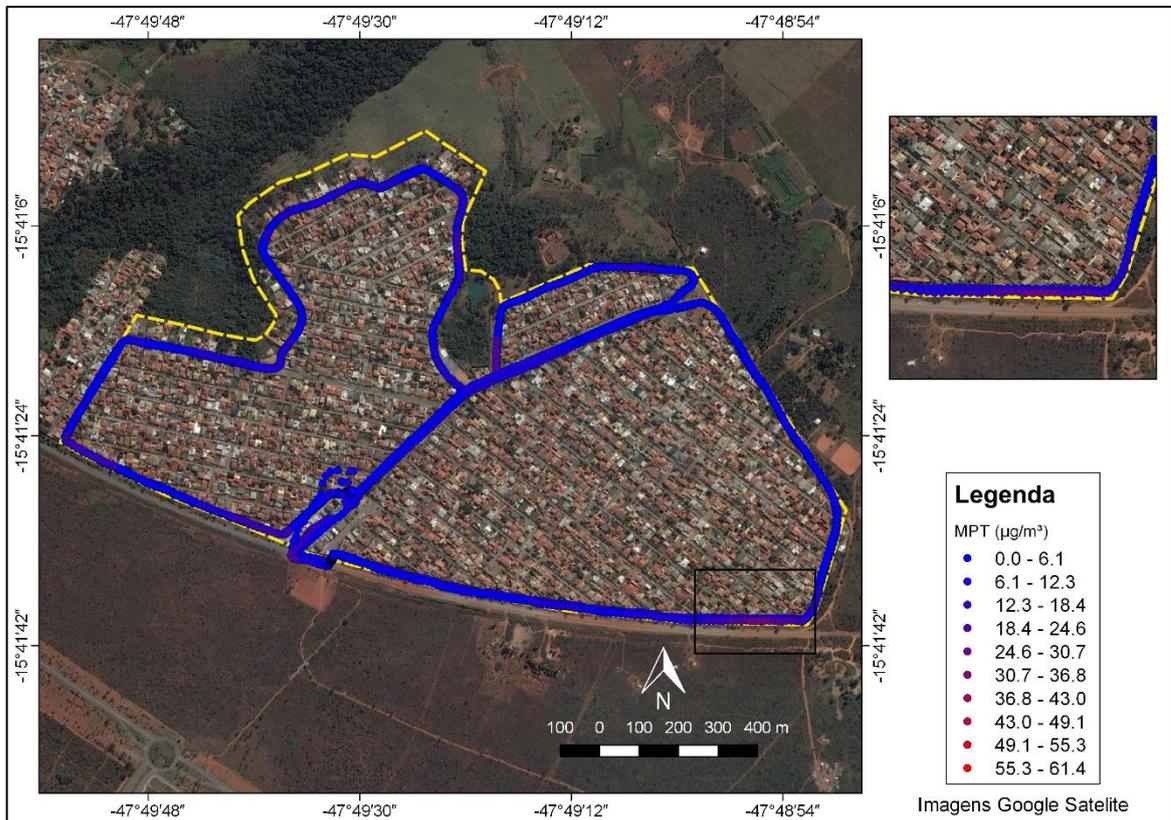
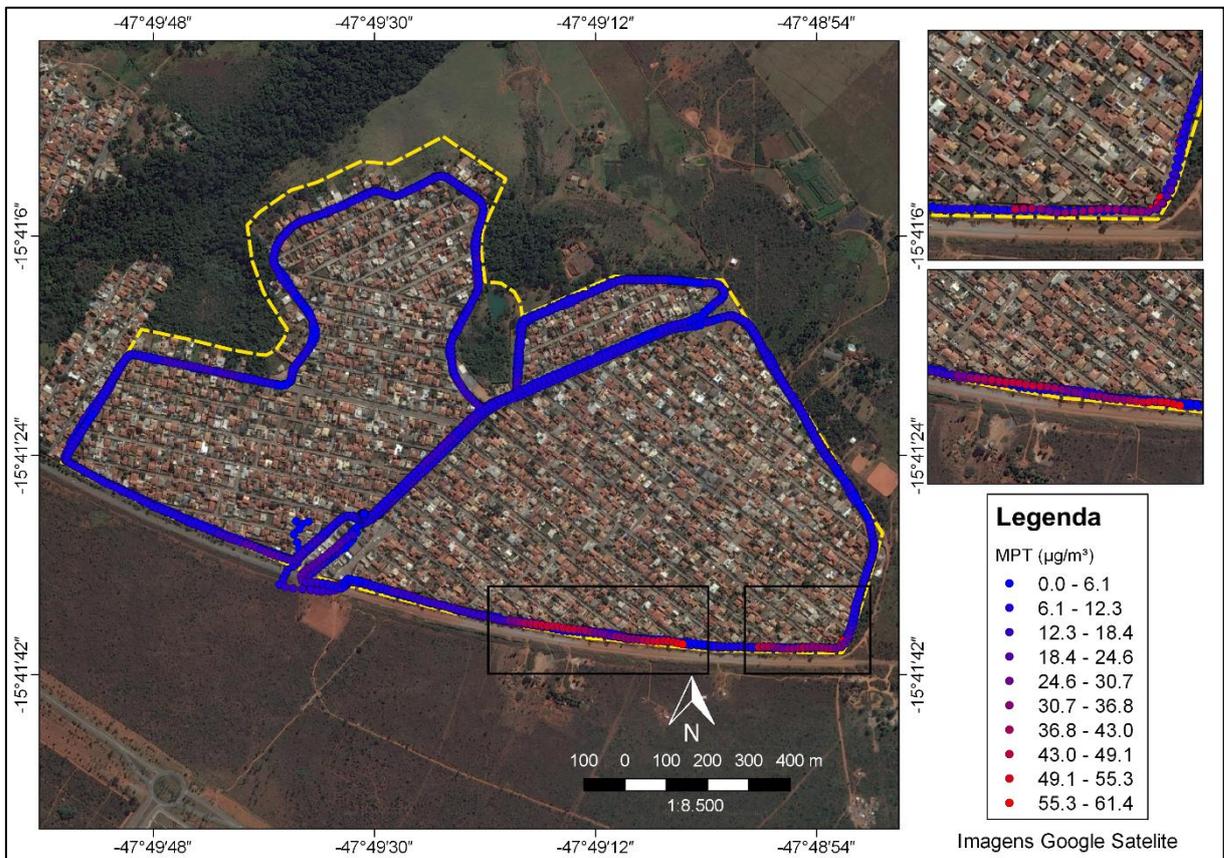
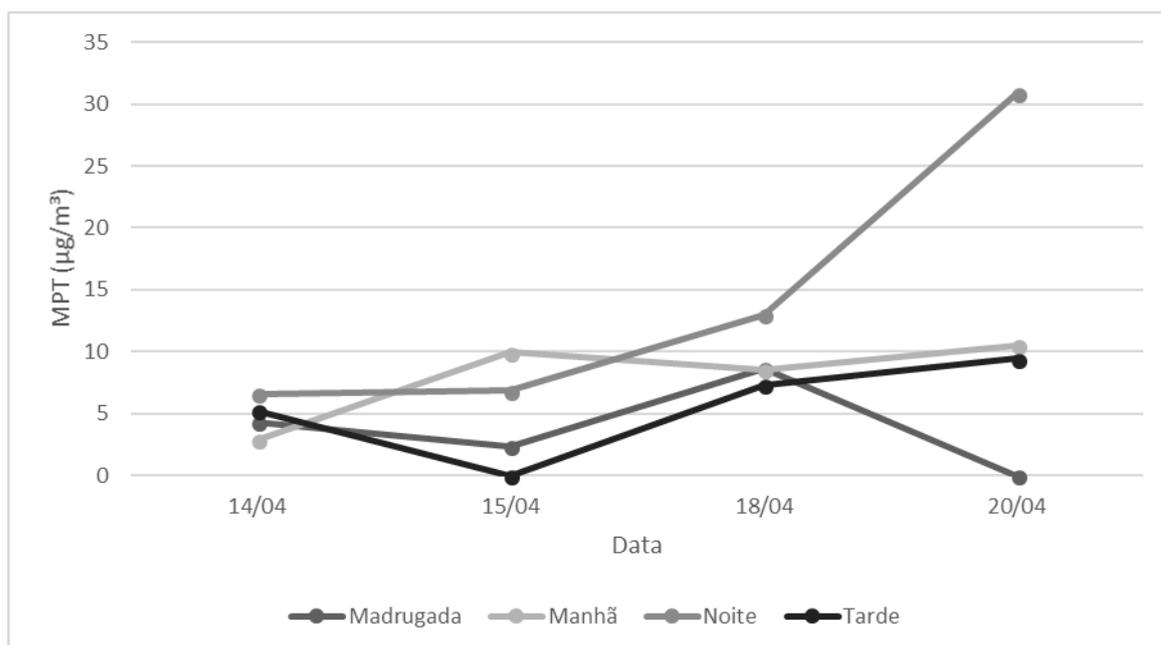


Figura 27: Concentrações de MPT para a coleta móvel do dia 18.04.18 em todos os horários.



Em relação as médias de concentrações por turno, observa-se que assim como na coleta estática, o turno da noite apresenta maiores valores, chegando a média de $30.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no dia 20 de abril, com exceção para o dia 15 de abril, que apresenta maior média, $9.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$, no turno da manhã (Figura 28). Possivelmente esse aumento das concentrações no turno da noite pode ser devido a diminuição da temperatura atmosférica, que também é outro fator meteorológico que influencia nas concentrações desse poluente no ar, porém, não é possível afirmar, já que é necessário um estudo mais aprofundado comparando as concentrações com esse fator.

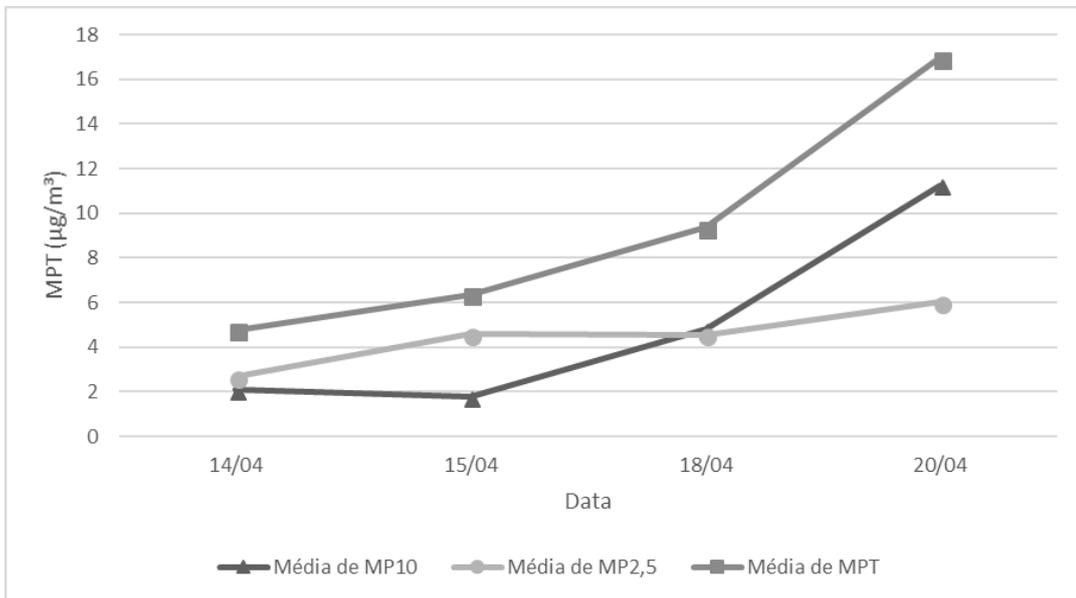
Figura 28: Médias das concentrações diárias de MPT na coleta móvel, por turno.



Observação: não houve coleta no turno da tarde para o dia 15.04.18 e no turno da madrugada para o dia 20.04.18

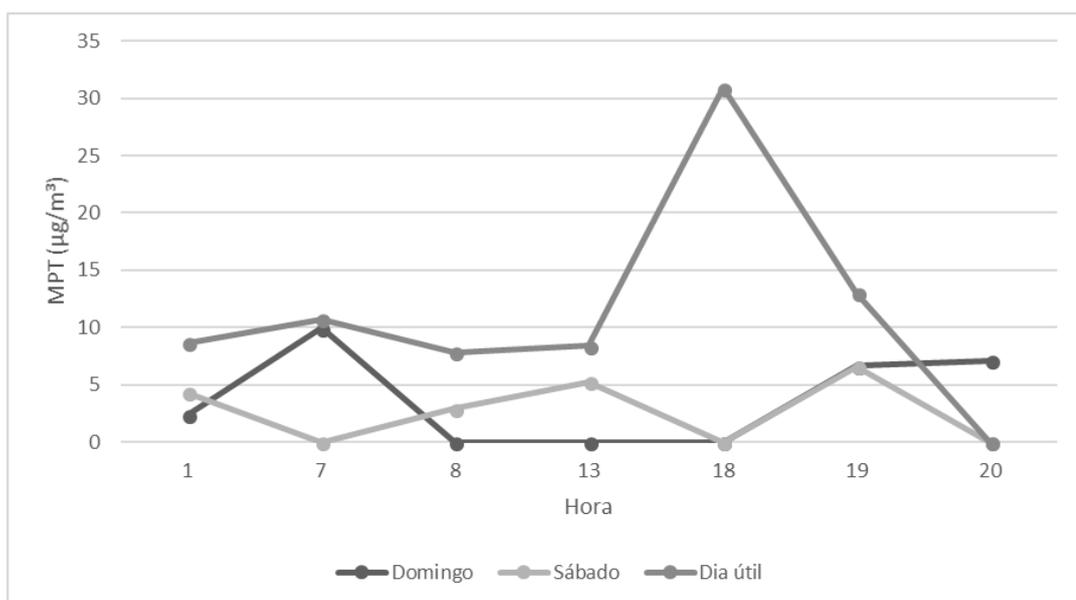
Comparando as frações de MP, observa-se que a fração MP10 tem significativo aumento em relação a fração MP2,5 entre o dia 18 e o dia 20 de abril, apresentando valores de 11.26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para MP10 e 6.01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para MP2,5, maiores registros da coleta móvel. Era esperado que os valores do dia 20 fossem altos, já que foi o dia de maiores concentrações registradas, porém, diferentemente do que ocorreu na coleta estática, houve o aumento do MP10 em relação ao MP2,5, o que não era esperado, já que na coleta estática, as concentrações de MP10 não superaram as de MP2,5 em nenhum momento (Figura 29).

Figura 29: Concentrações médias de MPT e das frações fina e grossa de MP, por dia na coleta móvel.



Comparando finais de semana com dias úteis, assim como na coleta estática, os finais de semana apresentaram médias de concentrações de MPT menores que em dias úteis. Destaca-se novamente as 18 horas, que foi o momento de maior média também na coleta estática, apresentando valor de $30,90 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figura 30: Concentrações médias de MPT por turno e hora na coleta móvel.



No geral, as concentrações médias encontradas, tanto para MPT, como para MP2,5 e MP10 durante a coleta móvel, estão abaixo dos padrões estabelecidos pela legislação brasileira, porém, cabe ressaltar que, alguns valores encontrados são elevados e devem ser observadas medidas para evitar que extrapolem o que é preconizado como “seguro” para a qualidade de vida da comunidade, principalmente nas áreas onde foram apresentados os maiores valores de concentrações, como na entrada do condomínio e na Rua do Lazer próximo ao muro, em locais onde possivelmente exista a influência da falta de asfalto da Rodovia DF440.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As concentrações de material particulado na atmosfera do condomínio RK, apresentam valores médios dentro dos limites aceitáveis estabelecidos pela legislação brasileira, o que sugere um baixo risco à saúde ambiental e humana na comunidade, apesar de existirem alguns picos de emissão, que não extrapolam os padrões, mas podem ser prejudiciais a longo prazo, se permanecerem os valores obtidos nesse estudo ao longo do tempo.

Durante a coleta estática, foi observado que as médias de concentrações de MP2,5 são relativamente maiores que as de MP10, porém ambas estão abaixo dos padrões de emissões nacionais, no caso do MP10, e dos padrões internacionais no caso de MP2,5, já que o Brasil não tem um padrão estabelecido para essa fração de MP. Já para a coleta móvel, foi possível observar que os valores de MP10 foram maiores que de MP2,5.

Foi possível observar que o vento foi o principal fator meteorológico de influência para aumento e diminuição das médias de concentrações de material particulado ao longo dos dias, apresentando relação inversamente proporcional, com picos de emissão em momentos de menor registro da velocidade do vento. O fluxo veicular aparentemente não apresentou tanta influência nas variações das médias de concentrações, já que de acordo com os dados, não houve relação diretamente proporcional entre essas variáveis e o fluxo veicular diário se manteve ao longo dos dias e horas, mesmo nos momentos que houver menor média de concentrações de MP, o que pode ter ocorrido devido a influência de outros fatores meteorológicos, tais como a direção do vento, que não foi analisada nesse trabalho, porém poderia explicar essa não relação diretamente proporcional esperada para esses dois parâmetros, já que se nos momentos de medição a direção do vento pode ter ajudado a afastar mais rapidamente os poluentes na atmosfera dos locais de coleta, principalmente na portaria, local de maior fluxo veicular ao longo dos dias. Além disso a frota veicular do condomínio é composta basicamente por veículos movidos à gasolina, o que segundo o 1º inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores, representa menor porcentagem na emissão de MP na atmosfera em relação a veículos movidos à óleo diesel.

O efeito do vento pode também ter influência direta no tempo de residência de MP na atmosfera do condomínio, já que foi observado que em momentos onde houve aumento da concentração, pouco mais de 2 ou 3 horas depois, com o aumento da velocidade dos ventos, teve redução significativa nas médias de concentrações de MP, que principalmente no turno da madrugada e manhã, tiveram valores relativamente baixos. Durante os finais de semana, foi possível observar que os níveis de emissão, se mantêm abaixo dos valores obtidos para dias úteis, tanto na coleta estática, quanto na coleta móvel, onde foram medidas as maiores médias de concentrações do estudo.

Outro fator que demonstrou potencial influência para aumento das concentrações de material particulado na atmosfera do condomínio, foi a falta de asfaltamento na Rodovia DF440, que pode ter influenciado o aumento das concentrações de MPT durante a coleta móvel em alguns trechos próximos a rodovia.

No geral, os resultados desse estudo, indicaram alguns fatores espaciais e temporais que influenciam na variação das concentrações de MP na atmosfera do condomínio RK, porém, diante da complexidade do tema e do grande número de dados coletados, deverão ser realizados outros estudos, com vistas a analisar outros fatores espaço-temporais que também influenciam na dinâmica desse poluente na atmosfera, tais como precipitação, sazonalidade, dentre outros, além de também ser possível explorar outros poluentes atmosféricos, tais como o monóxido de carbono, que também possuem influência na qualidade de vida e saúde da comunidade.

A sonda SAPHIRA 3 V4b, demonstrou ter alto potencial de utilização para monitoramento de baixo custo para qualidade do ar, devido a sua alta qualidade de informações e baixa perda de dados. Sua utilização permite obter informações espaciais e temporais mais precisas, já que é possível a realização de coleta móvel, possibilitando assim uma maior expansão da rede de monitoramento e análises mais elaboradas de acordo com o local estudado.

Como sugestão à Administração do condomínio, é importante a realização do monitoramento das concentrações de MP e também de outros poluentes atmosféricos ao longo do tempo, visto que, apesar de apresentar níveis dentro dos padrões estabelecidos, a exposição a longo prazo às concentrações de MP na atmosfera do condomínio, podem gerar riscos, principalmente a pessoas com predisposição a

doenças cardiovasculares e respiratórias, que segundo diversos estudos, possuem influência direta da poluição atmosférica, principalmente do material particulado.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, E. F. K. Calibração de sensores de baixo custo para monitoramento da qualidade do ar no Distrito Federal. **Dissertação (mestrado) - Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas**, 16 dez. 2014. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/17380>>. Acesso em: 30 maio. 2018.

AMARAL, D. M.; PIUBELI, F. A. A poluição atmosférica interferindo na qualidade de vida da sociedade. p. 10, 2003.

ARAUJO, I. R. S. Simulação da dispersão de poluentes atmosféricos e avaliação da qualidade do ar na área de abrangência do Distrito Industrial de Barcarena-PA. **Dissertação (mestrado em ciências ambientais) - Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emilio Goeldi e EMBRAPA, Instituto de Geociências, Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Belém, 2012**, p. 98, 2012.

ARBEX, M. A.; SANTOS, U. de P.; MARTINS, L. C.; SALDIVA, P. H. N.; PEREIRA, L. A. A.; BRAGA, A. L. F. A poluição do ar e o sistema respiratório. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 38, n. 5, p. 643–655, out. 2012.

BALDASANO, J.; VALERA, E.; JIMENEZ, P. Air Quality Data from Large Cities. **The Science of The Total Environment**, v. 307, n. 1–3, p. 141–165, 20 maio 2003.

BANGGOOD. **Sensor Nova PM SDS011 Sensor de Sensor de Detecção de Qualidade de Ar PM2.5 de Alta Precisão**. Disponível em: <https://www.banggood.com/pt/Nova-PM-Sensor-SDS011-High-Precision-Laser-PM2_5-Air-Quality-Detection-Sensor-Module-p-1144246.html?stayold=1&cur_warehouse=CN>. Acesso em: 12 jun. 2018.

BELO, P. I. D.; TOFOLI, R. Quantificação dos Níveis de Partículas Finas (MP_{2,5}) No Município de Vitória. **Projeto de graduação apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo**, p. 73, 2011.

BRAGA, A. L. F.; PEREIRA, L. A. A.; PROCÓPIO, M.; ANDRÉ, P. A. de; SALDIVA, P. H. do N. Associação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias e cardiovasculares na cidade de Itabira, Minas Gerais, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 23, p. S570–S578, 2007.

BRAGA, A.; PEREIRA, L. A. A.; BÖHM, G. M.; SALDIVA, P. Poluição atmosférica e saúde humana. **Revista USP**, v. 0, n. 51, p. 58, 30 nov. 2001.

BRAIT, C. H. H. Monitoramento ambiental de metais utilizando biomonitores e sistema passivo de coleta de poluentes. **Tese (doutorado) – UFG/Programa de Doutorado em Ciências Ambientais, 2008**, p. 109, 2008.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 - “Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá**

outras providências.” Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm. Acesso em: 3 jun. 2018.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. p. 496, 1988.

BRASIL. **Lei nº 8.723, de 28 de outubro de 1993 - “Dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores e dá outras providências.”** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8723.htm. Acesso em: 6 jun. 2018.

BUKOWIECKI, N.; DOMMEN, J.; PRÉVÔT, A. S. H.; RICHTER, R.; WEINGARTNER, E.; BALTENSBERGER, U. A Mobile Pollutant Measurement Laboratory—Measuring Gas Phase and Aerosol Ambient Concentrations with High Spatial and Temporal Resolution. **Atmospheric Environment**, v. 36, n. 36–37, p. 5569–5579, dez. 2002.

CANÇADO, J. D.; BRAGA, A.; PEREIRA, L. A. A.; ARBEX, M. A.; SALDIVA, P. H. N.; SANTOS, U. de P. Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica. **J Bras Pneumol.**, v. 32, p. 7, 2006.

CARMO, C. N. do; HACON, S. de S. Estudos de séries temporais de poluição atmosférica por queimadas e saúde humana. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 18, p. 3245–3258, nov. 2013.

CASTRO, H. A. de; GOUVEIA, N.; ESCAMILLA-CEJUDO, J. A. Questões metodológicas para a investigação dos efeitos da poluição do ar na saúde. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 6, p. 135–149, jun. 2003.

CAVALCANTI, P. M. P. S. Modelo de gestão da qualidade do ar - Abordagem preventiva e corretiva. **Tese (doutorado) – UFRJ/COPPE/Programa de Planejamento Energético, 2010**, p. 269, 2010.

CETESB. **Qualidade do ar no Estado de São Paulo 2012**. São Paulo: CETESB, 2013. .

CONAMA. **Resolução CONAMA Nº 005/1989 - “Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar - PRONAR”**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=81>. Acesso em: 6 jun. 2018.

CONAMA. **Resolução CONAMA Nº 003/1990 - “Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR”**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>. Acesso em: 6 jun. 2018.

DANNI-OLIVEIRA, I. M. Poluição do ar como causa de morbidade e mortalidade da população urbana. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 15, 30 jun. 2008. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/raega/article/view/14249>. Acesso em: 2 jun. 2018.

DAPPER, S. N.; SPOHR, C.; ZANINI, R. R.; DAPPER, S. N.; SPOHR, C.; ZANINI, R. R. Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, v. 30, n. 86, p. 83–97, abr. 2016.

DRISCOLL, C. T.; LAWRENCE, G. B.; BULGER, A. J.; BUTLER, T. J.; CRONAN, C. S.; EAGAR, C.; LAMBERT, K. F.; LIKENS, G. E.; STODDARD, J. L.; WEATHERS, K. C. Acidic Deposition in the Northeastern United States: Sources and Inputs, Ecosystem Effects, and Management Strategies. **BioScience**, v. 51, n. 3, p. 180, 2001.

DUARTE, M. X.; BONATTI, J. Acompanhamento da variação do índice de qualidade do ar: análise do município de Cuiabá-MT (2011/2012). **IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental - Salvador/BA**, p. 7, 2013.

FREITAS, A. de M.; SOLCI, M. C. Characterization of PM10 and PM2.5 and size distribution of chloride, nitrate and sulphate in urban and rural atmospheres of Londrina. **Química Nova**, v. 32, n. 7, p. 1750–1754, 2009.

FRONDIZI, C. A. **Monitoramento da Qualidade do Ar: Teoria e Prática**. Rio de Janeiro: Editora E-papers, 2008.

GEOLÓGICA. Relatório de Impacto do Meio Ambiente - RIMA, Condomínio Rural Residencial RK. **RIMA**, p. 253, 2004.

GODISH, T.; DAVIS, W. T.; FU, J. S. **Air Quality, Fifth Edition**. [s.l.] CRC Press, 2014.

GOUVEIA, N.; MENDONÇA, G. A. e S.; LEON, A. P. de; CORREIA, J. E. de M.; JUNGER, W. L.; FREITAS, C. U. de; DAUMAS, R. P.; MARTINS, L. C.; GIUSSEPE, L.; CONCEIÇÃO, G. M. S.; MANERICH, A.; CUNHA-CRUZ, J. Poluição do ar e efeitos na saúde nas populações de duas grandes metrópoles brasileiras. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 12, n. 1, p. 29–40, mar. 2003.

HASENFRATZ, D.; SAUKH, O.; THIELE, L. On-the-Fly Calibration of Low-Cost Gas Sensors. In: **Wireless Sensor Networks**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012. 7158p. 228–244.

IBRAM. **Relatório Anual de Monitoramento da Qualidade do Ar no Distrito Federal**. Brasília: Instituto Brasília Ambiental, 2016. .

IBRAM. **Programa de Monitoramento da Qualidade do Ar do DF – Instituto Brasília Ambiental**. Disponível em: <<http://www.ibram.df.gov.br/programa-de-monitoramento-da-qualidade-do-ar-do-df/>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

IEMA. **Relatório da Qualidade do Ar - Grande Vitória**. [s.l.] Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2009. .

INPE. **SONDA - Estação de Brasília**. Disponível em: <http://sonda.ccst.inpe.br/estacoes/brasilia_clima.html>. Acesso em: 4 jun. 2018.

JÚNIOR, J. de S. P. Legislação Brasileira sobre Poluição do Ar. **Consultoria Legislativa - Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados**, p. 11, 2007.

LOUREIRO, L. N. Panorâmica sobre emissões atmosféricas estudo de caso: avaliação do inventário emissões atmosféricas da Região Metropolitana do Rio de

Janeiro para fontes móveis. **Tese (mestrado) - COOPE/UFRJ - Planejamento Energético, 2005**, p. 171, 2005.

MACHIN, A. B.; NASCIMENTO, L. F. C. Efeitos da exposição a poluentes do ar na saúde das crianças de Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 34, n. 3, 8 mar. 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2018000305008&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 11 jun. 2018.

MAGALHÃES, L. C. Estudo do material particulado atmosférico e metais associados às partículas totais em suspensão na cidade de Ouro Preto, MG. **Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos.**, p. 81, 2005.

MANAHAN, S. E. **Química Ambiental**. 9ª ed. Tradução Wilson de Figueiredo Jardim: Editora Bookman, 2013.

MMA. 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários. n. Relatório Final, p. 114, 2011.

MMA. **Qualidade do Ar**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar>>. Acesso em: 1 jun. 2018.

MMA. **PROMOT - Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_arquivos/promot_163.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2018.

MOTTA, R. S. da; MENDES, A. P. F. Custos de saúde associados à poluição do ar no Brasil / Health costs associated with Brazilian air pollution. **IPEA. Textos para Discussão**, v. 332, n. Fevereiro, p. 32, 1994.

NASCIMENTO, A. R. P. Monóxido de Carbono e Material Particulado na Atmosfera do Distrito Federal: Mapeamento espaço-temporal e processos de geração/atenuação. **Projeto final em ciências ambientais – Consórcio IG/ IB/ IQ/ FACE-ECO/ CDS – Universidade de Brasília.**, p. 77, 2016.

PATTINSON, W.; LONGLEY, I.; KINGHAM, S. Using Mobile Monitoring to Visualise Diurnal Variation of Traffic Pollutants across Two Near-Highway Neighbourhoods. **Atmospheric Environment**, v. 94, p. 782–792, set. 2014.

REIS, E. L. A.; FILGUEIRAS, G. C.; LOPES, M. L. B. A poluição do ar sob uma visão econômica com aspectos de seguridade e sustentabilidade. **Cadernos CEPEC**, v. 3, n. 6, p. 26, jun. 2014.

SANTANA, E.; CUNHA, K. B. da; FERREIRA, A. L.; ZAMBONI, A. Padrões de qualidade do ar - Experiência comparada Brasil, EUA e União Europeia. **Instituto de Energia e Meio Ambiente**, p. 41, 2012.

SIVARAMAN, V.; CARRAPETTA, J.; HU, K.; LUXAN, B. G. HazeWatch: A participatory sensor system for monitoring air pollution in Sydney. In: **Anais...IEEE**,

out. 2013. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6758498/>>. Acesso em: 2 jun. 2018.

SMITH, K. R. Fuel Combustion, Air Pollution Exposure, and Health: The Situation in Developing Countries. **Annual Review of Energy and the Environment**, p. 38, 1993.

SOUZA, P. A. de; MELLO, W. Z. de; MARIANI, R. L.; SELLA, S. M. Characterization of fine and coarse particulate matter and composition of the water-soluble inorganic fraction in São José dos Campos (SP). **Química Nova**, v. 33, n. 6, p. 1247–1253, 2010.

SULLIVAN, R. C.; PRYOR, S. C. Quantifying Spatiotemporal Variability of Fine Particles in an Urban Environment Using Combined Fixed and Mobile Measurements. **Atmospheric Environment**, v. 89, p. 664–671, jun. 2014.

TAVARES, F. V. F. **Avaliação da influência dos poluentes atmosféricos na qualidade do ar do município de Vespasiano por simulação numérica**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. .

TOMLIN, A. S.; SMALLEY, R. J.; TATE, J. E.; BARLOW, J. F.; BELCHER, S. E.; ARNOLD, S. J.; DOBRE, A.; ROBINS, A. A Field Study of Factors Influencing the Concentrations of a Traffic-Related Pollutant in the Vicinity of a Complex Urban Junction. **Atmospheric Environment**, v. 43, n. 32, p. 5027–5037, out. 2009.

TORRES, F. T. P.; MARTINS, L. A. Fatores que influenciam na concentração do material particulado inalável na cidade de Juiz de Fora (MG). **Caminhos de Geografia**, p. 17, 2005.

VICENTINI, P. C.; MELO, T. C. C. de; LOUREIRO, L. N.; MOREIRA, M. F.; ALVES, N. da S. Influência dos combustíveis automotivos no material particulado atmosférico de São Paulo e Rio de Janeiro. In: **Anais...** Editora Edgard Blücher, set. 2015. Disponível em: <<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/20175>>. Acesso em: 31 maio. 2018.

VORMITTAG, E. M. P. A. de A.; COSTA, R. R. da; BRAGA, A. A.; MIRANDA, M.; NASCIMENTO, N. C. do; SALDIVA, P. H. N. S. Monitoramento da qualidade do ar no Brasil. **Instituto Saúde e Sustentabilidade**, p. 99, 2014.

WHO (ed.). **Air quality guidelines: global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide**. Copenhagen, Denmark: World Health Organization, 2006.

WHO (ed.). **Monitoring health for the SDGs: sustainable development goals**. Geneva: World Health Organization, 2017.