



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
INSTITUTO DO CORAÇÃO EDSON SAAD E
FACULDADE DE MEDICINA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM MEDICINA (CARDIOLOGIA)
CURSO DE MESTRADO

PAULO HENRIQUE DE MOURA

MORTALIDADE TOTAL E POR DOENÇAS DO APARELHO
CIRCULATÓRIO RELACIONADA À POLUIÇÃO DO AR E FATORES
SÓCIO ECONÔMICOS, NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO, DE 2001

A 2015

RIO DE JANEIRO

2021

**MORTALIDADE TOTAL E POR DOENÇAS DO APARELHO
CIRCULATÓRIO RELACIONADA À POLUIÇÃO DO AR E FATORES
SÓCIO ECONÔMICOS, NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO, DE 2001
A 2015**

Paulo Henrique De Moura

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Medicina (Cardiologia) da Faculdade de Medicina e do Instituto do Coração Edson Saad da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de mestre em ciências cardiovasculares.

Orientadores: Nelson Albuquerque de Souza e Silva

Luiz Francisco P. G. Maia

Paulo Henrique Godoy

RIO DE JANEIRO

2021

FICHA CATALOGRÁFICA

Moura, Paulo Henrique de

Mortalidade total e por doenças do aparelho circulatório relacionada à poluição do ar e fatores sócio econômicos, no município do Rio de Janeiro, de 2001 a 2015/ Paulo Henrique de Moura. Rio de Janeiro: UFRJ / Faculdade de Medicina, Instituto do Coração Edson Saad, 2021.

105 f.; 31 cm.

Orientadores: Nelson Albuquerque de Souza e Silva, Luiz Francisco P. G. Maia, Paulo Henrique Godoy.

Dissertação (Mestrado em Medicina - Cardiologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Medicina, Instituto do Coração Edson Saad, Pós-Graduação em Clínica Médica, 2021.

Referências bibliográficas: f. 91-102.

1. Doenças Cardiovasculares. 2. Poluição do Ar. 3. Fatores Socioeconômicos. 4. Mortalidade. 5. Estudos de Coortes. 6. Cardiologia - Tese. I. Souza e Silva, Nelson Albuquerque de. II. Maia, Luiz Francisco P. G. III. Godoy, Paulo Henrique. IV. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Medicina, Instituto do Coração Edson Saad, Pós-Graduação em Clínica Médica (Cardiologia). III. Título.

Paulo Henrique De Moura

**MORTALIDADE TOTAL E POR DOENÇAS DO APARELHO
CIRCULATORIO RELACIONADA À POLUIÇÃO DO AR E FATORES
SÓCIO ECONÔMICOS, NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO, DE 2001
A 2015**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em medicina (Cardiologia) da Faculdade de Medicina e do Instituto do Coração Edson Saad da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de mestre em ciências cardiovasculares.

Apresentado em _____ de _____ de 2021.

Presidente - Profº Emérito Basílio de Bragança Pereira

Profº Paolo Blanco Villela

Profª Renata Libonati dos Santos

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu pai (*em memória*), pelo grande exemplo de superação que demonstrou em toda sua vida, e por repetidos e inesquecíveis conselhos que forjaram o meu aprendizado.

A minha mãe, por sua força e empenho na minha educação e por estar presente nos melhores e piores momentos da minha vida.

Ao meu filho Davi e minha esposa Luciana, pelos momentos de ausência em que estive construindo este trabalho, e por serem meus alicerces para suportar e vencer tantos obstáculos na carreira e na vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida e constante força, tendo me sustentado em momentos onde não encontrava mais energia para continuar.

Aos meus orientadores,

Professor Nelson Albuquerque de Souza e Silva, que despertou meu interesse científico pela pesquisa, por ser o idealista deste projeto e pelo grande exemplo de mestre e referência acadêmica na minha vida;

Professor Paulo Henrique Godoy, pela paciência, sabedoria e amizade nos momentos mais difíceis e pela excelência na orientação científica;

Professor Luiz Francisco Pires. G. Maia, pela imensa disponibilidade, direção e ensinamentos nesta parceria de trabalho.

Aos colaboradores deste projeto,

Professora Lúcia Helena Alvares Salis, uma conselheira em momentos difíceis, defensora da ciência e uma grande moderadora nas reuniões para este projeto.

Professora Marina Paez que tanto agregou e colaborou na parte estatística, e ao aluno de estatística Daniel Barreto, que foi incansável em gerar, tratar e explicar os dados do projeto em incontáveis reuniões presenciais e virtuais.

A todos professores do programa de pós graduação em Cardiologia da UFRJ, que contribuíram com críticas e sugestões, em especial aos professores Glaucia Maria Moraes de Oliveira, Basílio de Bragança Pereira e Roberto Pedrosa.

Ao programa de pós graduação em cardiologia da UFRJ, que dividiu minha vida acadêmica em antes e depois do curso.

Aos amigos de turma, com quem convivi e muito aprendi, dividindo dúvidas e dificuldades, e que contribuíram muito com minha formação.

A todos, meus sinceros agradecimentos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Número de mortes mundiais por fator de risco em 2017	21
Figura 2- Número de mortes por poluição do ar em ambiente aberto em 2017	22
Figura 3- Percentual de mortes por causa no mundo e no Brasil de 2001 a 2015	23
Figura 4- Poluição do ar e Doenças do Aparelho Circulatório (DAC).....	28
Figura 5- Tamanho das partícula e composição do Material Particulado (MP)	30
Figura 6- Material particulado e os mecanismos de Doença do Aparelho Circulatório (DAC)	33
Figura 7a- Distribuição das concentrações de PTS nos bairros do município do Rio de Janeiro	62
Figura 7b- Distribuição das concentrações de PM ₁₀ nos bairros do município do Rio de Janeiro	62
Figura 7c- Distribuição das concentrações de PM _{2,5} nos bairros do município do Rio de Janeiro	63
Figura 8- Distribuição da taxa de mortalidade por Doença do Aparelho Circulatório (DAC) nos bairros do município do Rio de Janeiro entre os anos de 2001 a 2015.....	69
Figura 9- Distribuição do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) nos bairros do município do Rio de Janeiro	69

LISTA DE TABELAS

Quadro 1. Mecanismos fisiopatológicos para Doença do Aparelho Circulatório (DAC).....	31
Quadro 2 - Padrões de qualidade do ar e resolução Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 491/18	37
Quadro 3- Principais fontes geradoras de Material Particulado (MP)	40
Quadro 4- Bairros que monitoram Partículas Totais em Suspensão (PTS) e <i>Particulate Material</i> (PM ₁₀ , PM _{2,5}) no município do Rio de Janeiro	49
Quadro 5- Valor máximo em 24 horas, médias das médias anuais, concentração máxima e mínima anuais e mensais, data da ocorrência PM ₁₀ , PM _{2,5} e PTS, por bairro do município do Rio de Janeiro, entre 2001 e 2015	55
Quadro 6- Dados demográficos dos óbitos ≥ 20 anos por bairros do município do Rio de Janeiro em 15 anos.....	65
Quadro 7- Taxa de mortalidade anual por todas as causas nos bairros do município do Rio de Janeiro de 2001 a 2015	67
Quadro 8- Taxa de mortalidade anual por doenças do aparelho circulatório nos bairros do município do Rio de Janeiro de 2001 a 2015	68
Quadro 9- Variáveis sociodemográficas por tipo de óbito ≥ 20 anos	71

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1a- Média trimestral de PTS por bairro de 2001 a 2015	56
Gráfico 1b- Sazonalidade anual do PTS por bairro de 2001 a 2015	57
Gráfico 1c- Média nos dias da semana do PTS por bairro de 2001 a 2015	57
Gráfico 2a- Média trimestral do PM ₁₀ por bairro de 2001 a 2015	58
Gráfico 2b- Sazonalidade anual do PM ₁₀ por bairro de 2001 a 2015	58
Gráfico 2c- Média nos dias da semana do PM ₁₀ por bairro de 2001 a 2015	59
Gráfico 3a- Média trimestral do PM _{2,5} por bairro de 2009 a 2015	59
Gráfico 3b- Sazonalidade anual do PM _{2,5} por bairro de 2009 a 2015	60
Gráfico 3c- Média nos dias da semana do PM _{2,5} por bairro de 2009 a 2015	60
Gráfico 4- Concentrações médias de todos os anos de PTS, PM ₁₀ e PM _{2,5} em 15 anos	61
Gráfico 5a- Correlação entre poluição do ar e mortalidade por todas as causas.....	72
Gráfico 5b- Correlação entre poluição do ar e Doença do Aparelho Circulatório (DAC).....	74
Gráfico 6- Correlação entre Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e poluição do ar nos bairros do município do Rio de Janeiro.....	76
Gráfico 7- Correlação entre Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e mortalidade por todas as causas e Doenças do Aparelho Circulatório (DAC)	77
Gráfico 8- Dispersão de óbitos totais e óbitos por Doenças do Aparelho Circulatório (DAC) e concentração de PM _{2,5}	78

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

DAC	Doenças do Aparelho Circulatório
DIC	Doença Isquêmica do Coração
DCBV	Doença Cérebro Vascular
ERJ	Estado do Rio de Janeiro (ERJ)
MRJ	Município do Rio do janeiro
OMS	Organização Mundial da Saúde
GBD	Carga Global das Doenças
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
MP	Material Particulado
<i>PM</i>	<i>Particulate Material</i>
PTS	Partículas Totais em Suspensão
<i>ESCAPE</i>	<i>European Study of Cohorts for Air Pollution</i>
IDH	índice de Desenvolvimento Humano
PIB	Produto Interno Bruto
<i>APHEA</i>	<i>Agency for Public Health Education Accreditation</i>
PCR	Proteína C reativa (PCR)
IAM	Infarto Agudo do Miocárdio
SCA	Síndromes Coronarianas Agudas
IC	Insuficiência Cardíaca
MVE	Massa Ventricular Esquerda
<i>MESA</i>	<i>Multi Ethnic Study Atherosclerosis</i>
PTS	Partículas Totais em Suspensão
O ₂	Oxigênio
NO ₂	Óxido Nítrico
VFC	Variabilidade da Frequência Cardíaca
SNA	Sistema Nervoso Autônomo
<i>AHA</i>	<i>American Heart Association</i>
<i>USEPA</i>	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
PQAR	Padrão de Qualidade do Ar
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
<i>AQG</i>	<i>Air Quality Guidelines</i>
PI	Padrão Intermediário
PF	Padrão Final

NOx	Óxidos de Nitrogênio
SO2	Dióxido de Enxofre
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e estatística
PIB	Produto Interno Bruto
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
DO	Declarações de Óbito
SIM	Sistema de Informação de Mortalidade
CID	Classificação Internacional de Doenças
CEP	Comitê de Ética e Pesquisa

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1 Poluição do ar e mortalidade global	21
2.2 Poluição do ar e mortalidade por Doenças do Aparelho Circulatório (DAC)	23
2.3 Efeitos da poluição do ar a curto e a longo prazo sobre o aparelho circulatório	25
2.4 Fisiopatologia envolvendo poluição do ar e Doenças do Aparelho Circulatório (DAC)	29
2.5 Poluição atmosférica	34
2.5.1 Padrões de qualidade do ar	36
2.5.3 Material Particulado (MP).....	38
2.5.4 Fontes de poluição atmosférica	39
2.6 Relações complexas e adaptativas entre o ser humano e o ambiente	40
2.7 Fatores socioeconômicos e mortalidade por Doenças do Aparelho Circulatório (DAC)	42
2.8 Indicadores socioeconômicos	45
3. JUSTIFICATIVA	46
4- OBJETIVOS	47
4.1- Geral	47
4.2- Específicos	47
5. HIPÓTESE	48
6- METODOLOGIA	48
6.1 Delineamento do estudo	48
6.2 Base de dados	48
6.2.1 Base de dados de qualidade do ar	48
6.2.2 Base de dados das declarações de óbitos e população de estudo	49
6.2.3 Base de dados de Índice de Desenvolvimento Humano (IDH).....	50
6.3 Critérios de inclusão e exclusão	50

6.4	Análise estatística	51
6.5	Análise de regressão	52
7.	CONSIDERAÇÕES ÉTICAS	52
8.	RESULTADOS	53
8.1	Análise do Material Particulado (MP) nos bairros do município do Rio de Janeiro	53
8.2	Óbitos por bairro no município do Rio de Janeiro de 2001 a 2015	63
8.3	Taxa de mortalidade por todas as causas e por Doenças do Aparelho Circulatório (DAC) nos bairros do município do Rio de Janeiro de 2001 a 2015	66
8.4	Dados sociodemográficos dos óbitos no município do Rio de Janeiro de 2001 a 2015.....	70
8.5	Correlação entre poluição do ar e mortalidade por todas as causas e Doenças do Aparelho Circulatório (DAC)	72
8.6	Correlações entre Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e poluição do ar	74
8.7	Correlações entre Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e mortalidade por todas as causas e Doenças do Aparelho Circulatório (DAC)	76
8.1	Análise de regressão linear	78
9.	DISCUSSÃO	79
10.	CONCLUSÃO	89
11.	LIMITAÇÕES	90
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
	ANEXO	104

RESUMO

MOURA, Paulo Henrique. **Mortalidade total e por doenças do aparelho circulatório relacionada à poluição do ar e fatores sócio econômicos, no município do Rio de Janeiro, de 2001 a 2015.** Rio de Janeiro, 2021. Dissertação (Mestrado em Cardiologia) – Faculdade de Medicina, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

Introdução: No ano de 2019 as Doenças do Aparelho Circulatório (DAC) foram responsáveis por 17,9 milhões de mortes, representando 31% da mortalidade global com 3/4 dessas mortes ocorrendo em países de baixa e média renda. No Brasil a mortalidade por DAC aumentou 33% em 17 anos chegando a 388.268 mortes em 2017. As DAC são multifatoriais, com componentes endógenos, e exógenos, derivados do ambiente. Estudos sobre os fatores associados a DAC em países de alta renda são inumeráveis e o interesse pela associação com a poluição do ar vem aumentando, embora ainda escasso no Brasil. **Objetivos:** Descrever a variabilidade da qualidade do ar através da medida de diferentes frações de Material Particulado (MP) e correlacionar a poluição do ar com variáveis socioeconômicas medidas pelo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) com a mortalidade por todas as causas e por DAC em indivíduos \geq de 20 anos de idade moradores de bairros do Município do Rio de Janeiro (MRJ) no período de 2001 a 2015. **Métodos:** Estudo de séries temporais de coorte retrospectiva, descritivo e analítico. Foram utilizadas três bases de dados, a primeira de qualidade do ar, monitorada por estações que registram diferentes frações de MP (PTS, PM₁₀ e PM_{2,5}), com informação de 23 bairros do MRJ de 2001 a 2015; a segunda com dados das declarações de óbitos do DATASUS do Sistema de Informação de Mortalidade (SIM) no MRJ entre os anos de 2001 a 2015, incluindo os óbitos por todas as causas com Códigos Internacionais de Doenças (CID) de A-Z, e os óbitos por DAC com códigos do CID de (I00-I99). A última base incluiu os IDH dos 23 bairros. Foram calculadas as médias anuais de cada poluente por bairro e ano, os óbitos foram expressos em números absolutos e taxa de mortalidade total e por DAC, por bairro e ano. A mortalidade por todas as causas, DAC, qualidade do ar e IDH, foram estimadas através da correlação linear de Pearson. Utilizou-se os softwares SPSS 25 e o R Studio para as análises estatísticas e confecção gráfica. **Resultados:** As concentrações médias anuais e diárias de MP em todas as frações foram ultrapassadas em 83% dos bairros, violando os Padrões Finais (PF) estabelecidos pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Os bairros com as maiores concentrações médias de todos os anos de Partículas Totais em Suspensão (PTS) e *Particulate Material* (PM₁₀ e PM_{2,5}), foram Cidade de Deus, Bonsucesso, São Cristóvão e Centro, ultrapassando até 300% acima do PF anual para PM₁₀. A concentração média nos 15 anos esteve acima do padrão recomendado em 55% dos bairros que analisaram as (PTS), em 100% dos bairros que analisaram o PM₁₀ e PM_{2,5}. A correlação entre a poluição do ar por PTS, PM₁₀ e PM_{2,5} foi positiva moderada a forte ($r= 0,625$; $0,588$ e $0,636$) com os óbitos por DAC nos bairros do MRJ. Os óbitos por DAC totalizaram 45% dos óbitos totais, e Bonsucesso, São Cristóvão e Ramos foram os bairros com maior taxa de mortalidade por DAC (11,3; 8,4 e 7,3 por 1000 habitantes) em 15 anos. O IDH dos bairros demonstrou correlação inversa e moderada a forte ($r= -0,677$; $-0,684$ e $-0,745$) com o (PTS, PM₁₀ e PM_{2,5}). A média de idade dos óbitos por todas as causas foi cinco anos menor comparada à média de idade dos óbitos por DAC em indivíduos com idade \geq 20 anos em ambos os sexos. **Conclusão:** Houve grande variação das concentrações de MP entre os bairros do MRJ. Os bairros com as menores concentrações de PTS, PM₁₀ e PM_{2,5}, estão localizados na zona sul do

RJ e possuem os maiores IDH. A correlação entre a poluição do ar e a mortalidade por DAC, foi positiva e moderada. A correlação entre a poluição do ar e o IDH dos bairros foi inversa de moderada a forte.

Palavras Chave: Poluição do ar, Mortalidade, Doenças do aparelho circulatório, Indicadores socioeconômicos.

ABSTRACT

MOURA, Paulo Henrique. **Mortality and diseases of the circulatory system related to air pollution and socioeconomic factors, in the municipality of Rio de Janeiro, from 2001 to 2015.** Rio de Janeiro, 2021. Dissertation (Master in Cardiology) -Faculty of Medicine, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

Introduction: In 2019 Diseases of the Circulatory System (DCS) were responsible for 17.9 million deaths, representing 31% of global mortality with 3/4 of these deaths occurring in low and middle income countries. In Brazil, DCS mortality increased 33% in 17 years, reaching 388,268 deaths in 2017. DCS is multifactorial, with endogenous and exogenous components, derived from the environment. Studies on the factors associated with DCS in high-income countries are innumerable and interest in the association with air pollution has been increasing, although it is still scarce in Brazil. **Objectives:** To describe the variability of air quality by measuring different fractions of Particulate Matter (PM) and to correlate air pollution with socioeconomic variables measured by the Human Development Index (HDI) with all-cause mortality and DCS in individuals ≥ 20 years old living in neighborhoods in the city of Rio de Janeiro (MRJ) from 2001 to 2015. **Methods:** Study of retrospective, descriptive and analytical time series. Three databases were used, the first for air quality, monitored by stations that measure different PM fractions (TSP, PM₁₀ and PM_{2.5}), with information from 23 districts in the MRJ from 2001 to 2015; the second with data from the death certificates of the DATASUS of the Mortality Information System (MIS) in the MRJ between the years 2001 to 2015, including deaths from all causes with AZ's International Disease Codes (IDC), and deaths by DCS with IDC codes of (I00-I99). The last base included the HDI of the 23 neighborhoods. The annual averages of each pollutant were calculated by neighborhood and year, deaths were expressed in absolute numbers and total mortality rate and by DCS, by neighborhood and year. All-cause mortality, DCS, air quality and HDI were estimated using Pearson's linear correlation. The software SPSS 25 and R Studio were used for statistical analysis and graphic design. **Results:** The average annual and daily concentrations of PM in all fractions were exceeded in 83% of the neighborhoods, violating the Final Standards (FS) established by the National Environment Council (CONAMA). The neighborhoods with the highest average concentrations of Total Suspended Particles (TSP) and Particulate Material (PM₁₀ and PM_{2.5}) in all years were Cidade de Deus, Bonsucesso, São Cristóvão and Centro, exceeding up to 300% above the annual FS for PM₁₀. The average concentration in the 15 years was above the recommended standard in 55% of the neighborhoods that analyzed the (TSP), in 100% of the neighborhoods that analyzed the PM₁₀

and PM_{2.5}. The correlation between air pollution by TSP, PM₁₀ and PM_{2.5} was positive, moderate to strong ($r = 0.625$; 0.588 and 0.636) with deaths from DCS in the MRJ neighborhoods. Deaths due to DCS accounted for 45% of total deaths, and the Bonsucesso, São Cristóvão and Ramos were the neighborhoods with the highest mortality rate due to DCS (11.3; 8.4 and 7.3 per 1000 inhabitants) in 15 years. The HDI of the neighborhoods showed an inverse and moderate to strong correlation ($r = -0.677$; -0.684 and -0.745) with (TSP, PM₁₀ and PM_{2.5}). The average age of deaths from all causes was five years lower compared to the average age of deaths from DCS in individuals aged ≥ 20 years in both sexes. **Conclusion:** There was a wide variation in PM concentrations between MRJ neighborhoods. The neighborhoods with the lowest concentrations of TSP, PM₁₀ and PM_{2.5}, are located in the south of RJ and have the highest HDI. The correlation between air pollution and DCS mortality was positive and moderate. The correlation between air pollution and the HDI of the neighborhoods was reversed from moderate to strong.

Key words: Air pollution, Mortality, Disease of circulatory system, Socio-economic indicators.

1. INTRODUÇÃO

No ano de 2019 o número global de mortes foi de 55.4 milhões de indivíduos, as Doenças do Aparelho Circulatório (DAC) foram responsáveis por 17.9 milhões destas mortes, o que representa 31% da mortalidade global¹. Mais de três quartos dessas mortes ocorreram em países de baixa e média renda². A Doença Isquêmica do Coração (DIC) e a Doença Cérebro Vascular (DCBV) juntas, representam 85% das mortes por DAC, sendo 8.9 milhões causadas só por DIC.

No Brasil a mortalidade por DAC no ano 2000 foi de 291.586 indivíduos, esse número aumentou para 388.268 mortes em 2017, um acréscimo de 33% em 17 anos, destas, 115.000 foram por DIC, representando quase um terço destas mortes. A taxa de mortalidade por DAC no Brasil demonstra índices inferiores aos mundiais, com 178 mortes por 100.000 habitantes comparada as 233 mortes por 100.000 habitantes no mundo. Entre os anos de 2000 a 2017 ocorreu uma redução de 28,5 % da mortalidade por DAC, pois no ano de 2000 essa taxa era de 249 mortes por 100.000 habitantes^{2,3}.

No Estado do Rio de Janeiro (ERJ) o total de óbitos em 2018 foi de 140.504, destes, 38.076 (27%) foram causados por DAC, representando a maior causa de morte do estado, seguida pelas neoplasias 22.566 (16%) e doenças pulmonares 16.396 (12%) que juntas, representaram mais de 50% de todas as causas de óbitos do estado. Neste mesmo ano o Município do Rio do janeiro (MRJ) totalizou 17.117 mortes por DAC. Os óbitos por DAC representam, portanto a primeira causa de mortes notificadas e também são responsáveis pelo maior número de aposentadorias por doença e os maiores gastos no sistema de saúde, principalmente os gastos de alta complexidade, entender os múltiplos aspectos associados à sua ocorrência é uma necessidade em saúde pública^{4,5}.

As DAC pode ser desenvolvidas por múltiplas variáveis, como genéticas, comportamentais e sociais que podem surgir e também desaparecer ao longo da vida^{6,7}. O entendimento do conjunto dessas variáveis vem ajudando na compreensão do funcionamento dos sistemas complexos dinâmicos adaptativos⁸.

Recentemente o estudo dos fatores ambientais tem sido associado à ocorrência de DAC e outros estados de saúde⁹. Como consequência do desenvolvimento de nossa sociedade, a poluição ambiental, seja do ar, dos rios, do mar ou do solo, passou a ser identificada como um possível

importante fator associado a inúmeras doenças, sejam por DAC, sejam pulmonares ou câncer entre outras⁹.

A identificação dos fatores individuais e ambientais que precedem as DAC são importantes visto que, se identificados ou possivelmente removidos, podem reduzir o impacto negativo dessas doenças sobre os indivíduos, sobre a sociedade, a economia e o ambiente. Portanto, a maior atenção deve ser voltada para o conhecimento dos fatores exógenos e suas interações com o meio interno dos indivíduos, uma vez que estes fatores tem potencial desencadeador de DAC, especialmente da DIC¹⁰. Os estudos de fatores associados às DAC são inúmeros e abrangem aspectos que envolvem hábitos de vida, ingestão de alimentos e exposição ambiental ao longo dos anos. A exposição ambiental tem despertado grande interesse da ciência em relação as DAC, especialmente em países de alta renda, porém com escassa atenção no Brasil¹⁰.

O ambiente e o corpo humano são exemplos de sistemas complexos adaptativos, pois a “homeostase corporal” e o equilíbrio instável do organismo humano responde a fenômenos externos de acordo com a adaptação e diversidade de cada indivíduo^{11,12,13}.

As alterações na qualidade do ar ou nos sistemas fisiológicos dos seres vivos, são dinâmicas, podendo ser irreversíveis. Reparos financeiros ou intervenções de alta tecnologia jamais trarão de volta o sistema ao estado anterior, e podem levar o sistema a um novo estado de equilíbrio instável^{14,15,16}.

Nos últimos anos diversos agravos a saúde relacionados à qualidade do ar vem sendo amplamente descritos na literatura, com destaque para o aparelho circulatório que pode sofrer efeitos das exposições aos poluentes atmosféricos, a curto e a longo prazo de exposição¹⁷.

Estudos da Organização Mundial de Saúde (OMS) sobre exposição à poluição do ar demonstram aumento da mortalidade e morbidade com redução da expectativa de vida^{13,18}. O estudo sobre a Carga Global das Doenças (GBD) e os fatores de riscos realizado em 195 países no ano de 2015, atribuiu um ônus a 79 fatores de risco e identificou a poluição do ar como a principal causa global de doenças, principalmente em países de baixa renda, o que indica que a poluição do ar e os fatores socioeconômicos estão diretamente relacionados¹⁹.

Aproximadamente 80% da população brasileira vive no MRJ onde apenas 16% das pessoas vivem fora dos aglomerados urbanos¹⁰. De acordo com o Instituto Estadual do Ambiente (INEA), o Rio de Janeiro é a metrópole de maior densidade demográfica, com 2.285 hab/km², e

maior grau de urbanização, sendo responsável pela geração de cerca de 80% da renda interna do estado e de 13% da nacional. Também possui a segunda maior frota de veículos e indústrias responsáveis por emissões de poluentes do país^{20,21}. Neste contexto, a qualidade do ar tem sido um aspecto importante a ser estudado. Em 1981 Samuel Rozenberg realizou uma revisão sobre ambiente e DAC em nosso país, publicada nos Arquivos Brasileiros de Cardiologia em 2010, onde o autor apontava para os efeitos deletérios no sistema cardiovascular relacionado a inalação de poluentes²².

Dentre os diferentes poluentes na atmosfera urbana, está o Material Particulado (MP), ou PM de *Particulate Matter*, que pode ser identificado pelo seu diâmetro nas frações Partículas Totais em Suspensão (PTS), e partículas inaláveis PM₁₀ e PM_{2,5}, sendo classificadas pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), de acordo com a sua concentração no ar, padronizando valores de qualidade para o bem estar da saúde e do meio ambiente²⁰. Sabe-se que 70% de sua origem advêm do tráfego de veículos automotores²⁰.

É improvável que o risco associado à poluição do ar seja uniforme para a mortalidade em todas as causas cardíacas, possibilitando uma suspeita na diferença de risco para DIC e DCBV²³. Em uma das maiores metanálises realizadas através do estudo European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE) foram investigados os efeitos a longo prazo da exposição à poluição do ar em cinco países da Europa incluindo Finlândia, Suécia, Dinamarca, Alemanha e Itália, utilizando 11 coortes acompanhadas por um período de 11,5 anos entre 1997 a 2007, totalizando 100.166 participantes, destes, 5.157 sofreram um evento cardíaco, sendo estimado que a cada aumento de 5 µg/m³ na média anual de PM_{2,5} houve associação de 13% de maior risco de evento coronariano (RC 1,13 - IC de 0,98 a 1,30) e que um aumento de 10 µg/m³ na média anual estimada de PM₁₀ esteve associado a um risco aumentado de 12% de eventos coronarianos (RC 1,12- IC de 1,01 a 1,25), sem heterogeneidade entre as coortes. Essas associações positivas foram detectadas mesmo em concentrações abaixo do atual padrão intermediário anual europeu de 25µg/m³ para PM_{2,5} e de 40µg/m³ para PM₁₀²⁴.

Diante disso é possível associar que a poluição do ar tenha potencial suficiente para acelerar o desenvolvimento da DAC, reduzir a qualidade de vida e aumentar a mortalidade particularmente em portadores de doença isquêmica miocárdica preexistente^{25,26}.

Uma outra associação importante com mortalidade por DAC ocorre entre fatores socioeconômicos. Mesquita em 2018, destacou que fatores socioeconômicos contribuem para a

mortalidade por DIC, em localidades com alta taxa de analfabetismo e baixo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH). Os autores encontraram ainda uma relação inversa entre e o Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro e a mortalidade por DAC, além de menor mortalidade em cidades mais populosas e com maiores recursos financeiros²⁷.

Soares e colaboradores observaram que melhorias nos indicadores socioeconômicos foram seguidos de queda nas taxas de mortalidade por óbitos causados por DAC. Com base em seu estudo, não foi possível explicar as quedas nas taxas de mortalidade por DAC apenas pelo controle dos fatores de risco clássicos como hipertensão arterial, diabetes, obesidade e dislipidemia, pois nas últimas décadas a prevalência desses fatores aumentaram no Brasil, evidenciando que a melhoria nos indicadores socioeconômicos precedeu a redução dos óbitos por DAC. O estudo apresentou coeficiente de correlação próximo de $r=1$ quando relacionado melhora socioeconômica com queda da mortalidade por DAC²⁸.

Julgamos, fundamental compreender o impacto das DAC na sociedade não apenas pelas alterações fisiológicas ou fisiopatológicas em cada indivíduo, mas entende-la por um estado evolutivo de vida que reconhecemos como doença, pela complexa interação entre as múltiplas variáveis que entram e saem ao longo da vida. O indivíduo não carrega somente uma estrutura genética, que determinará sua doença, mas também é influenciado por uma interação dinâmica com variáveis da sociedade como valores culturais e morais, organização socioeconômica que nas últimas décadas, tem levado à uma inaceitável injustiça social, com 1% da população sendo detentora de toda riqueza. Esta forma de organização tem provocado a degradação do ambiente e ameaçando a própria subsistência da espécie.

Desta maneira, visamos contribuir e melhor entender esta complexidade, estudando as DAC, indicadores socioeconômicos e poluição ambiental dentro da base teórica dos sistemas complexos dinâmicos adaptativos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Poluição do ar e mortalidade global

Estimativas da OMS do ano de 2012 atribuem a poluição do ar aproximadamente sete milhões de mortes, representando mais de 10% de todas as causas de óbitos no mundo, dobrando as estimativas de anos anteriores²⁹. O mesmo relatório anual do GBD identificou a poluição atmosférica como um dos principais fatores de risco para doenças diversas³⁰. Mundialmente a poluição do ar é responsável por cerca de 9% das mortes por câncer de pulmão, 17% das doenças pulmonares obstrutivas, mais de 30% das doenças cardíacas isquêmicas e acidente vascular cerebral e 9% das infecções respiratórias. Em 2017 a mortalidade atribuída a poluição do ar ultrapassou oito milhões, quando somadas a poluição do ar em ambientes abertos e fechados, posicionando-a em 4º lugar dentre os maiores fatores de riscos mundiais (figura 1)³¹.

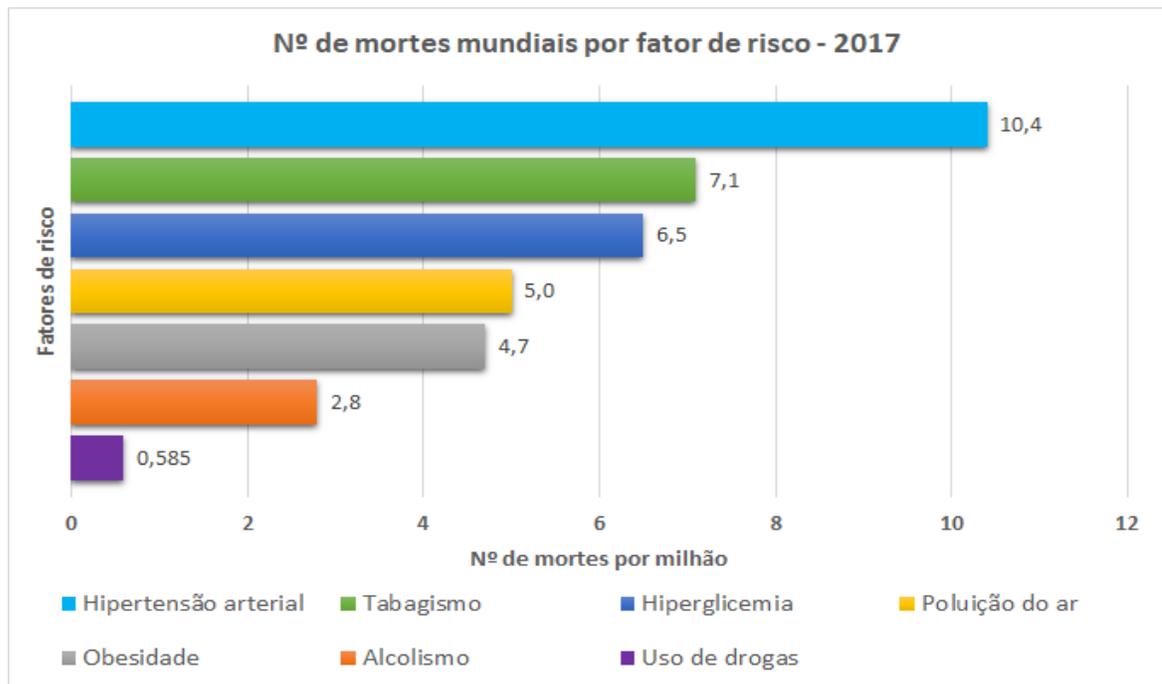


Figura 1. Número de mortes mundiais por fator de risco em 2017- Fonte: Global Burden of Disease. Número total anual de mortes por fator de risco, medido em todas as faixas etárias e ambos os sexos³².

Esse dados podem ser contextualizados comparando as mortes atribuídas a poluição do ar sendo três vezes maior que o número de mortos por HIV/AIDS e mais de oito vezes o número de homicídios mundiais³².

A literatura tem destacado que as populações vulneráveis mais acometidas são as gestantes, os recém-nascidos, crianças e idosos, assim como indivíduos de menor renda que residem em proximidades de rodovias^{33,34}. Estudos recentes demonstraram que a poluição do ar pode afetar o feto em desenvolvimento por exposição materna, resultando em prematuridade, baixo peso ao nascer e restrição de crescimento³⁵.

O Our World in Data tem acompanhado prospectivamente a poluição do ar mundial desde 1990. Os dados informam que em 2017 na América do Sul, o Brasil foi o país com maior número de mortes relacionadas à poluição do ar totalizando 54.860 mortes. Isto representa 3,6 vezes mais mortes comparado a Argentina, o segundo país nessa classificação (figura 2). Já em número de mortes por 100.000 habitantes, o Brasil ocupou a 7ª posição, estando atrás de países como a Venezuela, Bolívia e Argentina com 25.1 morte/ano por 100.000 habitantes. O Paraguai apresentou os menores números com 12.5 morte/ano por 100.000 habitantes³².

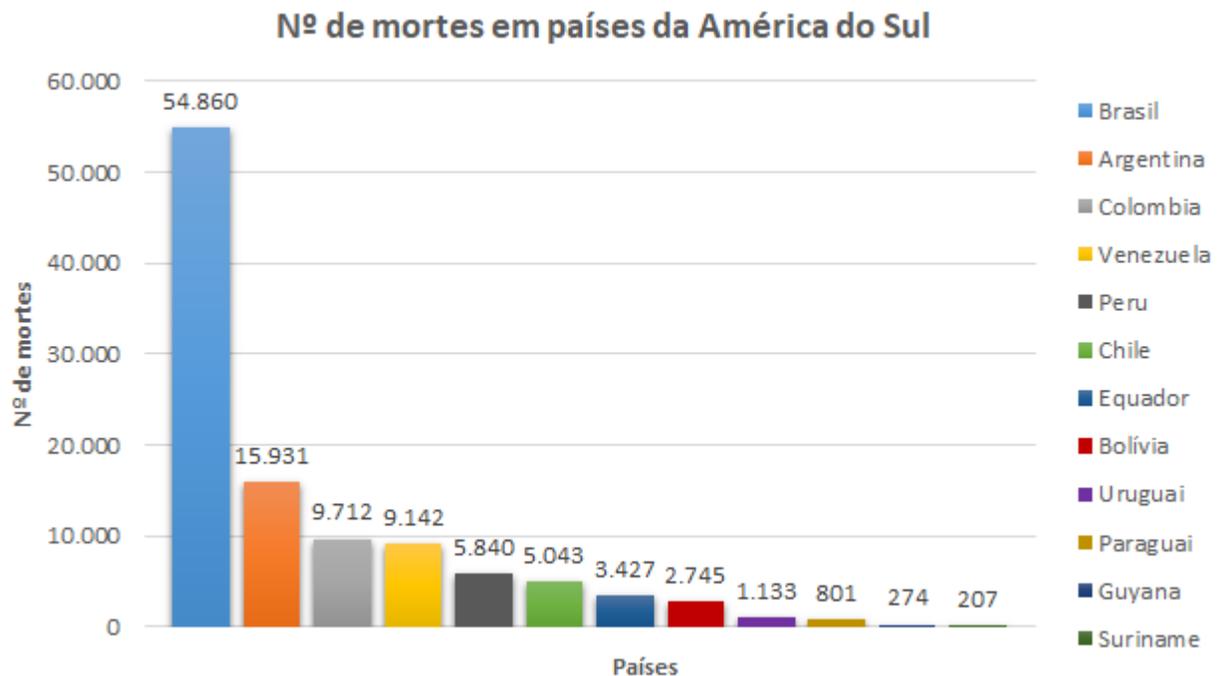


Figura 2- Número de mortes por poluição do ar em ambiente aberto em 2017- **Fonte:** Global Burden of Disease. Dados sobre o total de mortes e taxas de mortalidade por poluição atmosférica ao ar livre calculadas pelo Our World in Data³⁶.

2.2 Poluição do ar e mortalidade por doenças do aparelho circulatório

As DAC são a principal causa de morte no mundo, estima-se que 17.9 milhões de habitantes morreram por esta causa em 2017, representando 31% de todas as mortes globais. Desses óbitos, 7.4 milhões ocorreram devido às doenças isquêmicas consideradas prematuras em pessoas com menos de 70 anos e 82% delas ocorreram em países de baixa e média renda. A maioria destas mortes pode ser prevenida pelo combate a fatores comportamentais de risco clássicos como o uso de tabaco, dietas não saudáveis, obesidade, sedentarismo e uso nocivo do álcool, além destes, destaca-se também a poluição do ar que tem demonstrado importante impacto sobre a saúde mundial³⁷.

A mortalidade mundial por DAC em 2001 representou 27% de todas as mortes, elevando esse percentual para 31,2% em 2015. No Brasil esse percentual em 2001 era de 29% com pequena redução para 28% em 2015 (figuras 3)³.

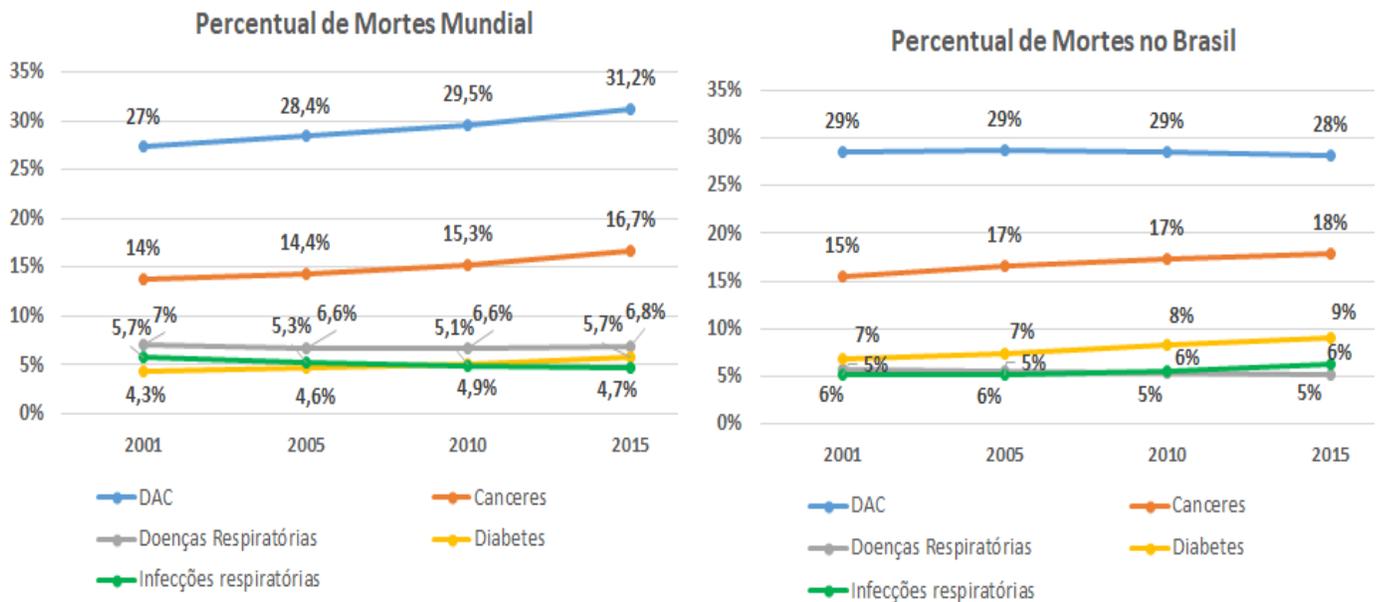


Figura 3- Percentual de mortes por causa no mundo e no Brasil de 2001 a 2015. **Fonte:** Global Burden of Disease. Dados sobre a causa específica da morte e distinção dos fatores de risco para a morte, como poluição do ar, dieta e outros fatores de estilo de vida³.

A poluição do ar tem sido reconhecida gradativamente como um importante fator de risco mundial para a saúde tendo contabilizando a maioria dos óbitos por DAC, devido a isso, no ano 2015 foi firmado um compromisso de prevenção das doenças não-transmissíveis com objetivo de

redução em 25% destas doenças até 2025, sendo proposto melhor compreensão dos mecanismos causadores da poluição do ar e seus efeitos sobre as DAC³⁰.

Nos últimos 10 anos, vem aumentando o número de evidências sobre os diferentes tamanhos das frações dos poluentes do ar e os efeitos no aparelho circulatório. Dentre esses efeitos são descritos: a elevação tensional aguda por exposição ao MP com impacto em hipertensos, aumento do risco cardiovascular em pacientes com pré-existência de doença aterosclerótica, e contribuição para ruptura da placa de ateroma cerebral ou vascular periférica, além de episódios de arritmia e insuficiência cardíaca em longo prazo^{30,38,39}. Pesquisas com diferentes métodos de delineamento, tem demonstrado que poluição do ar por MP está associada à DAC, causando não só aumento das hospitalizações como também da mortalidade.

Novos dados mundiais e nacionais estão revelando quais indivíduos apresentam maior risco^{40,41}. A associação entre poluição atmosférica e a mortalidade já esta estabelecida por mais de 200 estudos de séries temporais há algumas décadas envolvendo áreas geograficamente distintas. O projecto *Agency for Public Health Education Accreditation (APHEA)* tem dado suporte em grandes áreas de estudo e quantificado os efeitos da poluição do ar na saúde a curto prazo sendo desenvolvido em 15 cidades envolvendo uma população superior a 25 milhões de pessoas³⁴.

O estudo Harvard Six Cities, realizado por Dockery *et al.* utilizou uma coorte prospectiva entre seis cidades do Nordeste e do Meio-Oeste dos Estados Unidos a partir da década de 1970. Os investigadores recrutaram 8.111 indivíduos com idades entre 25 e 74 anos⁴². Neste estudo o total de partículas em suspensão e de partículas finas foram mensuradas por monitores aéreos centralizados em cada comunidade comparando as taxas de mortalidade entre as comunidades e correlacionando-as com a exposições aos poluentes. Os autores concluíram que as partículas inaláveis estiveram associados ao aumento do risco de morte a exposição a longo prazo para PM_{2.5} e houve correlação tanto com a mortalidade geral como para as DAC⁴². Um follow-up de oito anos deste estudo ainda encontrou associação entre as pessoas vivendo mais tempo em cidades que reduziram as taxas de MP, essa redução do risco ajustado para mortalidade por DAC foi de 0,73 (IC 95%: 0,57- 0,95) para diminuição de cada 10 µg/m³ de PM_{2.5}. As maiores quedas das taxas de mortalidade foram encontradas em cidades com maiores reduções da poluição atmosférica por partículas finas. Estimativas mostraram ainda que a diminuição da taxa de mortalidade resultaria em redução de 75.000 mortes por ano nos Estados Unidos^{42,43}.

2.3 Efeitos da poluição do ar a curto e a longo prazo sobre o aparelho circulatório

O impacto da inalação de poluentes ocorre pelo somatório de exposições prolongadas, altas concentrações dos poluentes e comorbidades preexistentes nos indivíduos. Embora, alguns efeitos crônicos da exposição não estejam ainda bem definidos, os efeitos agudos têm sido amplamente pesquisados experimentalmente em pessoas saudáveis, bem como observacionalmente em portadores de doença respiratória e cardiovascular crônica. Diversos autores tem associado o risco de mortalidade por DAC ao aumento de MP em aproximadamente 1% para cada aumento diário de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de particulado a curto prazo na concentração de $\text{PM}_{2.5}$. Apesar destes níveis de poluição do ar serem de baixo impacto sobre a taxa de mortalidade em indivíduos saudáveis, os indivíduos suscetíveis ou com doença subjacente são quase sempre clinicamente afetados²⁶.

Estudos demonstram aumento de morbidade por DAC para níveis mais altos de MP em eventos como infartos do miocárdio, isquemia cardíaca, insuficiência cardíaca, arritmias, morte súbita cardíaca, acidentes cerebrais vasculares, doença periférica arterial e aumento das hospitalizações por causas cardíacas mesmo com poucas horas de exposição ao $\text{PM}_{2.5}$. Um estudo realizado por Zanobetti relacionou o aumento da poluição do ar ao risco de infarto do miocárdio e demonstrou 48% de risco após a exposição por apenas 2 horas com elevação de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2.5}$ e 2,73 mais chance de ataque cardíaco em apenas 1 h após a exposição ao tráfego^{44,45,46}.

A exposição crônica ao MP demonstrou aumento do risco de DAC, indicando efeitos sinérgicos entre o sistema cardiopulmonar e desenvolvimento de aterosclerose causado pela exposição ao MP levando a um evento cardíaco dentro de poucas semanas, meses ou anos, isto é possível porque repetidas exposições em dias consecutivos em pessoas suscetíveis podem ser necessárias para desencadear um evento agudo. Também é possível que exposições ao longo de várias semanas possam alterar a estabilidade da placa ateromatosa e aumentar a trombogenicidade do sangue, levando a um evento naqueles indivíduos com doença arterial coronariana prévia, enquanto que a exposição de apenas um dia para indivíduos saudáveis seria insuficiente. Uma placa vulnerável pode ser rompida em até 1 h de exposição à MP, mas o evento clinicamente evidente poderia demorar dias ou semanas para se manifestar^{42,46}. A exposição crônica à poluição do ar de fato causa maiores efeitos adversos à saúde do que a exposição aguda ou subaguda. Além disso, a exposição à poluição do ar pode alterar a mortalidade pulmonar para

morte precoce por DAC, mesmo entre os indivíduos com maior risco de morrer por causas pulmonares como aqueles com doença pulmonar obstrutiva crônica^{42,46}.

Constituintes do MP como metais e compostos orgânicos podem atingir a circulação sistêmica causando reações de estresse pró-oxidantes dentro da vasculatura, levando ao catabolismo do óxido nítrico e à liberação de vasoconstritores. Estudos experimentais sugerem que exposição a MP pode aumentar a progressão e instabilidade da aterosclerose subjacente por mecanismos pró-inflamatórios, promovendo assim futuros processos isquêmicos⁴⁶.

A primeira evidência epidemiológica de uma associação entre aterosclerose e poluição atmosférica por PM_{2.5} em seres humanos foi realizada em Los Angeles por um estudo transversal que estimou um aumento de 5,9% na espessura íntima-média da carótida para cada aumento de 10 µg/m³ do nível de MP. Da mesma forma, o PM_{2.5} também acelerou a progressão da aterosclerose coronariana, avaliada pelos escores de calcificação coronariana num estudo prospectivo de coorte alemão⁴⁷.

Em indivíduos com doença arterial coronariana e infarto do miocárdio, o PM_{2.5} foi correlacionado com a inflamação circulatória, aumento dos marcadores Proteína C Reativa (PCR), IL-6 e fibrinogênio. Antes que uma redução significativa de PM_{2.5} possa ser alcançada em nosso ambiente, é necessário identificar um biomarcador que quantifique o impacto da inflamação induzida por PM_{2.5} em pacientes ateroscleróticos de alto risco, para os quais uma terapia anti-inflamatória pode ser utilizada para prevenir eventos agudos durante os dias de alta poluição⁴⁷.

O Infarto Agudo do Miocárdio (IAM) é um evento cardíaco severo que pode danificar o funcionamento do coração e induzir insuficiência cardíaca, sendo também uma das principais causas de mortalidade e morbidade em adultos em todo o mundo⁴⁸. Um número crescente de estudos examinaram a associação entre a exposição a curto prazo à poluição do ar ambiente e o risco de IAM. A melhora da qualidade do ar pode oferecer uma vantagem na prevenção primária de redução do impacto no IAM e melhora na perspectiva de saúde pública⁴⁸.

Estudos relacionados à poluição do ar demonstram a correlação entre elevadas concentrações de poluentes atmosféricos e o risco de angina instável e infarto do miocárdio. A exposição a curto prazo a elevados níveis de PM_{2.5} em 10 µg/m³, contribui para as Síndromes Coronarianas Agudas (SCA), especialmente entre os pacientes com doença arterial coronariana subjacente. Da mesma forma, o risco de infarto agudo do miocárdio é maior após longa

exposição ao trânsito⁴⁸. É possível que uma placa vulnerável possa ser rompida até mesmo uma hora após a exposição à MP, mas o evento clinicamente evidente pode não ser aparente até dias ou semanas após exposição. De fato, exposições repetidas semanalmente são necessárias para alterar a estabilidade da placa e aumentar a trombogenicidade do sangue, desencadeando um evento agudo em indivíduos com doença arterial coronariana prévia, enquanto a exposição de apenas um dia pode ser insuficiente^{41,48}.

Um grande estudo que avaliou mais de 300.000 eventos de IAM, extraídos dos registros do *Medicare* em 21 cidades dos EUA, associou o PM₁₀ ao maior risco de infarto do miocárdio. Outro estudo com de 772 pacientes da área de Boston confirmou a relação entre os IAM e elevadas concentrações de MP associadas a exposições de poucas horas, um dia após a essa exposição. Houve também maior efeito da poluição do ar para indivíduos com mais de 65 anos com hipertensão arterial. O estudo de Rosenthal realizado em Indianápolis, demonstrou que as paradas cardíacas fora de hospitais estiveram relacionadas ao aumento do PM_{2.5} durante algumas horas antes do evento^{49,50}.

Outra importante DAC engloba a Insuficiência Cardíaca (IC), que é um problema crescente de saúde pública que afeta mais de 23 milhões de pessoas em todo o mundo, com alta prevalência em idosos e recorrência de hospitalização, representando 5% de todos os diagnósticos gerias com um taxa de 2% de hospitalização mundial e 30% de mortalidade em um ano⁵¹.

Os efeitos da poluição do ar na IC aguda descompensada é um assunto pouco descrito na literatura. A inalação de MP tem sido associado a remodelação ventricular e piora da fibrose miocárdica com efeitos prejudiciais na função cardíaca. Os mecanismos biológicos que precipitam a descompensação em pacientes com IC diferem daqueles envolvidos no desencadeamento do IAM. A falência cardíaca aguda pode ser causada pelo aumento da demanda no coração, com o aumento da frequência cardíaca, da pressão arterial e comprometimento adicional do desempenho cardíaco, como contratilidade reduzida e prejuízo do miocárdio. A exposição à poluição do ar por MP tem sido associada ao aumento da pressão arterial sistêmica com vasoconstrição, tanto pulmonar quanto das pressões de preenchimento ventricular diastólica direita. As arritmias associadas à poluição do ar são potencialmente prejudiciais na descompensação aguda⁵¹.

Dada a associação entre MP, hipertensão e doença isquêmica a atenção volta-se para o efeito sobre o músculo cardíaco. Um estudo de associação da Massa Ventricular Esquerda

(MVE) mensurada pela ressonância magnética cardíaca e poluição do ar comparou os participantes do estudo *Multi-Ethnic Study Of Atherosclerosis (MESA)* que residiam a 50 metros de uma rodovia, com aqueles que residiam a mais de 150 metros de distância das rodovias. Os indivíduos que residiam perto de grandes rodovias apresentaram um índice MVE de 1,4 g/m² (IC 95%, 0,3-2,5) superior quando comparado aqueles com residências mais distantes de rodovias⁵².

Uma metanálise que observou 35 estudos englobando 4 milhões de indivíduos com eventos cardíacos, associou a poluição do ar a IC com diferentes partículas apontando um risco relativo de PM_{2,5} (2,12%- IC 1,42–2,82) e PM₁₀ (1,63%- IC 1,20–2,07) positivamente à mortalidade por IC. Estima-se que a redução da poluição do ar impediria 7.978 internações por IC e uma economia aproximada de US\$ 307 milhões por ano⁵¹. A figura 4 destaca os diversos mecanismos pelo qual a poluição do ar pode desencadear as DAC.

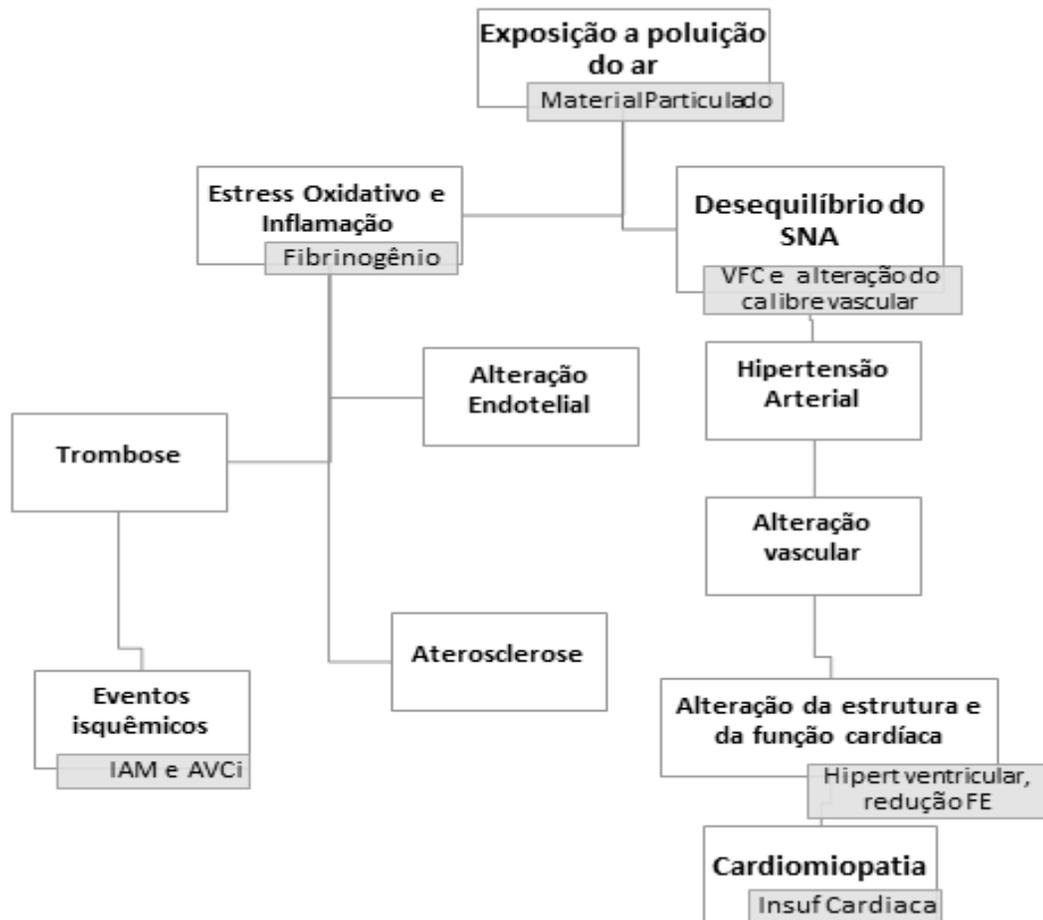


Figura 4 - Poluição do ar e doenças do aparelho circulatório- **Fonte:** Edward A. Gill, MD, Professor, Cynthia L. Curl, MS et. Al. Air Pollution and Cardiovascular Disease in the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA). *Prog Cardiovasc Dis.* 2011; 53(5): 353–360. Physiological pathways by which air pollution may impact cardiovascular disease⁵³.

2.4 Fisiopatologia envolvendo poluição do ar e doenças do aparelho circulatório

Para tornar mais claro o entendimento dos diferentes tamanhos de MP, foram comparados poluentes a agentes infecciosos e células, mostrando que as PTS possuem dimensões que variam desde a espessura de um fio de cabelo até o tamanho de uma célula, ou seja, abaixo do limiar da visão (entre 5 e 10 μm); já o PM_{2,5} é comparável ao tamanho das bactérias (1 μm), enquanto que as partículas ultrafinas têm dimensões próximas as dos vírus (0,1 μm), ou mesmo, moléculas (0,01 μm). Devido à complexidade de sua química e a natureza mutável dos compostos no ar ambiente, o MP é amplamente categorizado e regulado pelo diâmetro aerodinâmico em (μm) (figura 5). É possível, que uma classificação baseado em sua composição química, número de partículas ou toxicidade seja mais indicativo dos riscos a saúde⁵⁴.

Os tipos e tamanhos de poluentes inalados também podem determinar sua toxicidade e a importância relativa dos caminhos. O MP grosseiro não pode ser transportado para a circulação, sendo assim sua resposta pró-inflamatória ocorre a nível pulmonar, enquanto MP ultrafino pode entrar diretamente na corrente sanguínea. Uma mistura de MP rica em partículas de combustão como derivados de carbono e metais podem desencadear respostas de uma forma mais rápida diferente das partículas menos tóxicas. Essas mediações agem sozinhas ou em conjunto para instigar vários tipos de doenças do aparelho circulatório⁴⁶.

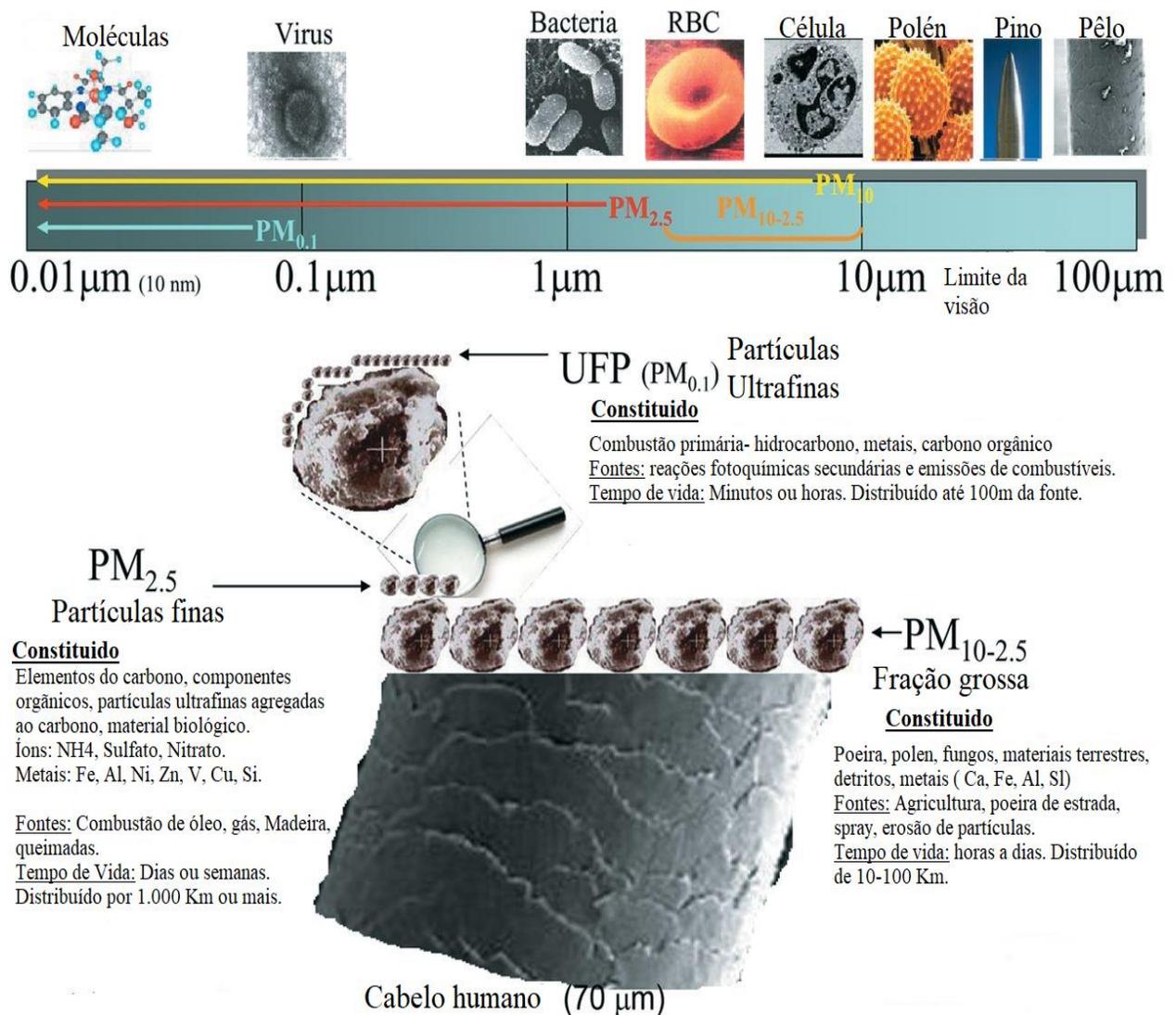


Figura 5- Tamanho das partículas e composição do material particulado (MP). BROOK, R. D. Cardiovascular effects of air pollution. *Clin Sci (Lond)*, v. 115, n. 6, p. 175-87, Sep 2008. (RBC, red blood cell; SVOC, semi-volatile organic carbons; UFP, ultra-fine particles; VOC, volatile organic carbons)⁴⁶.

A literatura destaca três mecanismos pela qual a poluição por partículas tem implicação na patogênese das DAC que incluem inflamação e disfunção do endotélio, disfunção autonômica e translocação direta, descritas no quadro 1 e ilustrada na figura 6. Há também o processo de trombose vascular decorrente do mecanismo inflamatório causado pelo agente químico.

Quadro 1. Mecanismos fisiopatológicos para doenças do aparelho circulatório

1 – Inflamação, estresse oxidativo e disfunção endotelial

As partículas inaladas induzem inflamação pulmonar local diretamente através da geração de radicais livres de oxigênio (O₂) e consequente aumento do stress oxidativo. Estes fenômenos iniciam-se nos macrófagos e células do epitélio brônquio e se estendem até os alvéolos induzindo não só inflamação local como sistêmica. A cascata inflamatória é decorrente do aumento do PCR de alta sensibilidade, do fibrinogênio, da viscosidade plasmática causado pelos leucócitos e neutrófilos polímorfonucleares e pela ativação das plaquetas e fatores pró-coagulantes. Nos vasos a disfunção endotelial diminui ou inibe o Oxido Nítrico (NO) e aumenta a produção de endotelina 1, angiotensina II e tromboxano A₂. Todas estas alterações contribuem para o desenvolvimento e progressão da aterosclerose com consequente quebra das placas de ateroma favorecendo a isquemia e estados pró-trombóticos⁴⁶.

Na realidade exposições agudas ao MP estão associadas a rápida elevação de marcadores sanguíneos de oxidação aguda lipídica e proteica. Vários trabalhos relacionaram mais a composição química da sua superfície das partículas inaláveis aos mecanismos inflamatórios do que com a massa ou volume⁵⁴. As partículas ultrafinas (nano partículas) têm maior superfície por unidade de massa, maior toxicidade comparada a outras partículas, dando a ela maior capacidade oxidativa. A presença de determinados metais de transição (ferro, vanádio, crômio, níquel,) na sua composição, bem como de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos parece ser determinante para maior indução de estresse oxidativo⁵⁵.

2 – Disfunção do sistema nervoso autônomo

Tem sido referida a disfunção autonômica secundária a estimulação de receptores nervosos pulmonares, quer diretamente pelas próprias partículas ou através do stress oxidativo e inflamação de diferentes locais pulmonares com aumento reflexo da frequência cardíaca por hiperatividade simpática e diminuição da atividade parassimpática com diminuição da variabilidade da frequência cardíaca e aumento de arritmias. O MP demonstrou ter ação arritmogênica com efeitos diretos nos canais iônicos⁵⁴. A Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC) é um marcador de normalidade do sistema cardiovascular. A redução da VFC está associada ao desequilíbrio do Sistema Nervoso Autônomo (SNA) observado em pacientes com diabetes, síndrome metabólica e doença arterial coronariana. O mecanismo de redução da VFC

parece estar relacionado aos miócitos e suas diversas conexões. Um grande número de pesquisas tem demonstrado a relação entre a exposição ao MP e a diminuição da VFC²⁶.

3 – Translocação direta das partículas ultrafinas para a circulação sistêmica

Foi descrito por Brooks a interação direta entre a partícula ultrafina inalada e sua repercussão no aparelho circulatório conforme figura 3. O caminho da partícula inalada até sua via final de transporte para geração da inflamação sistêmica ou local pode ocorrer sem exigir a geração primária da inflamação pulmonar⁴⁶. Estudos demonstraram que as partículas ultrafinas e componentes solúveis de outras partículas, podem atingir a circulação sistêmica diretamente e provocar stresse oxidativo e inflamação a nível cardíaco e arterial com a consequente disfunção endotelial, sem mediação da inflamação pulmonar⁴⁷.

A trombose é outro mecanismo que acomete o sistema vascular e leva a diversos problemas do aparelho circulatório. A inalação de MP pode indizar a trombose arterial e coagulação, a vulnerabilidade da placa aterosclerótica e o ambiente pró-trombótico pode desencadear eventos isquêmicos. Estudos sugerem que após exposição à poluição do ar ocorre aumento do fibrinogênio, da viscosidade sanguínea, da PCR, com alteração de fatores de coagulação como a histamina e ativação do plasminogênio tecidual⁵⁶.

A trombose é a patologia que desencadeia dois distúrbios do aparelho circulatório: doença coronariana e acidente vascular cerebral. Embora muitos mecanismos biológicos ligados entre a poluição do ar e DAC permaneçam incertos, uma revisão da American Heart Association (AHA) concluiu que os mecanismos envolvendo à poluição do ar estavam associados a eventos cardiovasculares⁴⁸.

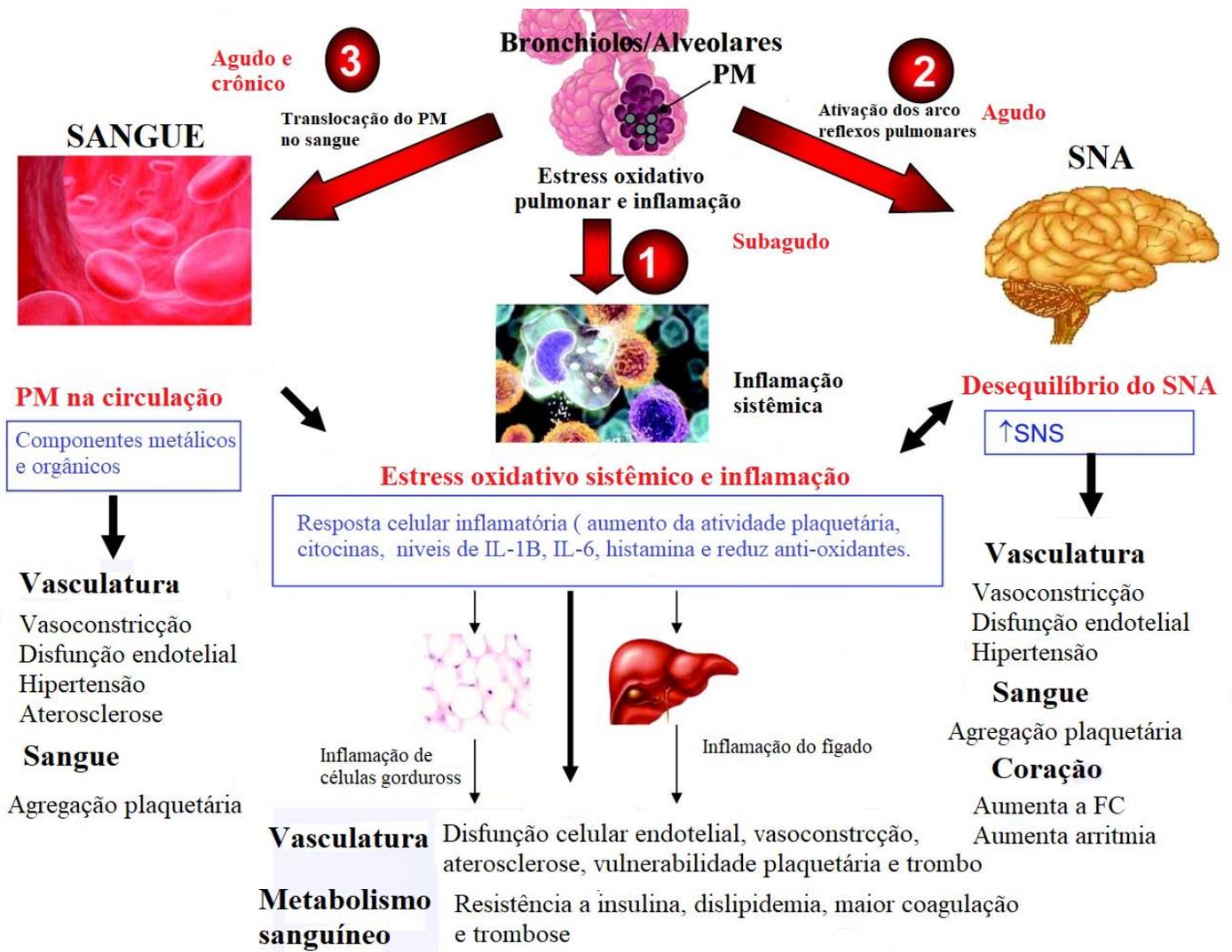


Figura 6- Material Particulado e os mecanismos de doença do aparelho circulatório- **Fonte:** BROOK, R. D. *et al.* Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. **Circulation**, v. 121, n. 21, p. 2331-78, Jun 1 2010⁵⁷.

A coagulação excessiva, em pacientes com DAC preexistente, pode bloquear grandes artérias levando a perda do fluxo sanguíneo, desencadeando eventos como ataque cardíaco, acidente vascular cerebral isquêmico e morte⁵⁸.

Estudos controlados em humanos controlados forneceram meios de investigar mecanismos biológicos, isolando poluentes com menores variáveis de confusão, sendo difícil negar que não haja relação entre eles. Uma série de estudos de exposição humana controlada demonstraram aumento da fibrinólise após a exposição a veículos a diesel sob baixa velocidade em motores de marcha lenta ($250 \mu\text{g} / \text{m}^3$ - 1 h). Em estudos que avaliaram formação de trombo

usando a câmara que imita as condições de fluxo dentro da circulação coronária os valores de MP chegaram a (320–350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) com duração da exposição entre 1 e 2 h em voluntários saudáveis^{58,59}. A natureza química das partículas parece ter papel importante na exposição ao MP de fontes não relacionadas ao tráfego. Além disso, as nanopartícula de carbono puro, sozinhas não tiveram efeitos na coagulação sanguínea e fibrinólise em voluntários saudáveis.

Os estudos de exposições controladas em humanos apoiam a noção de que a exposição à poluição do ar por MP favorece um estado pró-trombótico. Estas exposições são aguda (1–2 h) e as concentrações de particulados são altas, e simulam o exato ambiente urbano com tráfego de veículos intenso em períodos do dia⁵⁸. Diferentes mecanismos tem sido postulados para mediar as ações trombogênicas da poluição do ar por MP. Indiscutivelmente, a hipótese mais forte para o perfil trombótico em resposta à exposição tem sido o aumento na ativação plaquetária. A Inflamação e stresse oxidativo continuam implicados como mecanismos secundários aos efeitos pró-trombóticos induzidos pela poluição. A maioria das investigações utilizou indivíduos jovens e saudáveis, o que levanta a pergunta sobre o impacto em indivíduos idosos ou predispostos a DAC já existentes⁵⁸.

2.5 Poluição atmosférica

No século V a.C., Hipócrates observou o efeito do clima nas doenças escrevendo o livro intitulado: ar, água e lugares, onde falava da importância do clima, das diferentes propriedades e qualidades do ar em função de diferentes ventos sobre a saúde⁶⁰.

As emissões de origem antrópica foram intensificadas a partir da revolução industrial com o aumento da demanda de fontes energéticas e uso de combustíveis fósseis. A ausência de políticas de controle das emissões e despreocupação com os impactos dos poluentes sobre a sociedade, culminou com o surgimento de diversos problemas locais relativos a poluição atmosférica⁶¹.

Diversos episódios foram registrados como no Vale de Meuse, Bélgica em 1930, numa região com grande concentração de indústrias, e carvoarias, associada a ausência de ventos, impediram a dispersão dos poluentes sobre a região, causando 60 mortes em dois dias e diversos agravos respiratórios na população⁶². O episódio de poluição do ar mais grave ocorreu em

Londres durante o inverno de 1952, causado por uma inversão térmica que impediu a dispersão de poluentes gerados por indústrias e aquecedores domiciliares a carvão. Nessa ocasião uma nuvem composta por material particulado e enxofre (em concentrações até nove vezes maiores do que a média de ambos), permaneceu estacionada sobre a cidade por três dias, levando a quatro mil mortes por causas respiratórias e cardíacas, deixando claro a partir de então que, pulmão e coração são sistemas bruscamente afetados pela poluição do ar^{63,64}.

Ações de controle ambiental ainda não eram a pauta de discussão até aquele momento. Somente no início da década de 60, foi criado um programa federal de poluição atmosférica, ligado ao departamento de saúde, educação e bem-estar social dos Estados Unidos⁶⁴. Neste período foram estabelecidos padrões de qualidade do ar, especificando os seis principais poluentes atmosféricos que seriam controlados. Esse controle foi efetivado em 1990 pela *United States Environmental Protection Agency (USEPA)* criando medidas que restringisse as fontes de emissão móveis e estacionárias⁷⁰.

Desde então, nos países de alta renda o número de estudos sobre poluição atmosférica e os efeitos deletérios à saúde vem crescendo ao longo das últimas décadas tendo influenciado as políticas públicas de controle ambiental⁶⁵.

A poluição atmosférica é qualquer forma de matéria ou energia com intensidade em quantidade, concentração, tempo ou característica em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem o ar:

I - Impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;

II - Inconveniente ao bem-estar público;

III - Danoso aos materiais, à fauna e flora.

IV - Prejudicial à segurança e ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Para segurança da saúde e do meio ambiente foram instituídos os Padrões de Qualidade do Ar (PQAR), que normatizam as 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 geral⁶⁶.

2.5.1 Padrões de qualidade do ar

A prevenção dos efeitos nocivos da poluição atmosférica requer a identificação dos principais poluentes e os níveis minimamente seguros de proteção das condições de saúde para população. Estes níveis são referências básicas para o estabelecimento de PQAR⁶⁶.

Segundo a orientação geral da OMS os PQAR estabelecem referências quantitativas dos níveis máximos de concentração que devem ser atendidos por meio de força legal com os riscos assumidos aceitáveis para proteção da saúde e do ambiente¹³. Os PQAR são baseados em estudos dos efeitos produzidos por poluentes específicos e são fixados em níveis que possam propiciar uma margem de segurança adequada⁶⁶.

No Brasil, os PQAR foram estabelecidos inicialmente pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 03/90, contemplando naquela data somente os parâmetros: Partículas Totais em Suspensão (PTS) e Partículas Inaláveis (PM₁₀), adotando padrões primários das concentrações de poluentes que uma vez ultrapassadas, poderiam afetar a saúde da população e os Padrões Secundários que dizem respeito às concentrações de poluentes atmosféricos, abaixo das quais se previa o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente⁶⁶.

Em 2005, a OMS publicou novas diretrizes para a qualidade do ar pela *Air Quality Guidelines (AQG)*, baseadas em evidências acumuladas sobre os efeitos causados na saúde pela poluição do ar, bem como as concentrações intermediárias estabelecidas como metas a serem alcançadas a longo prazo. Tais diretrizes não configuram padrões de qualidade do ar e sim um alerta de concentrações a serem tomadas como referência¹³.

Em 19/11/2018, a Resolução CONAMA Nº 491, publicada no Diário Oficial da União de 20/11/18, revogou a Resolução CONAMA nº 03/90, estabelecendo novos PQAR. A nova Resolução tomou como referência os valores de qualidade do ar recomendados pela OMS em 2005. A nova Resolução CONAMA nº 491/18 adotou os seguintes padrões⁶⁷:

- a) *Padrões Intermediários de Qualidade do Ar - PI*: padrões estabelecidos como valores temporários a serem cumpridos em etapas;
- b) *Padrão Final de Qualidade do Ar - PF*: valores guias definidos pela OMS em 2005;

De acordo com o Artigo 4º da Resolução CONAMA nº 491/18, os PQAR foram definidos nesta resolução sequencialmente etapas, a saber: a primeira etapa, que entrou em vigor a partir da

publicação da Resolução de 20/11/18, compreende os PQAR Intermediários PI-1, PI-2 e PI-3. Os PI-2 e PI-3 são padrões intermediários que estabelecem decréscimos das concentrações ao longo dos anos, até alcançar o PF. A segunda etapa, PQAR Final - serão adotados ao longo do tempo padrões finais, levando em consideração os Planos de Controle de Emissões Atmosféricas e os Relatórios de Avaliação da Qualidade do Ar, elaborados pelos órgãos estaduais e distrital de meio ambiente. O Quadro 2 apresenta os valores dos PQAR estabelecidos pelo Resolução CONAMA nº 491/18.

Quadro 2 - Padrões de Qualidade do Ar (PQAR)- Resolução CONAMA nº 491/18.

Poluente	Período de Referência	PI-1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PF ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Material Particulado (MP ₁₀ ou PM ₁₀)	24 horas	120	50
	Anual	40	20
Material Particulado (MP _{2,5} ou PM _{2,5})	24 horas	60	25
	Anual	20	10
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	24 horas	-	240
	Anual	-	80

Fonte: Ministério do Meio Ambiente – Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA)⁶⁷.

As frações de PM_{2.5} anteriores ao dia 20/11/18 mantiveram-se referenciados ao padrão que fora estabelecido pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). A partir 20/11/18, as amostragens levarão em conta os PI e os PF, estabelecido pela Resolução CONAMA nº 491/18⁶⁷.

A OMS enfatiza que muito embora suas recomendações tenham aplicação global, cabe a cada país estabelecer seus próprios padrões de qualidade do ar em função de suas especificidades e que os governos ao formular políticas devem considerar suas próprias circunstâncias ao invés de empregar diretamente as diretrizes como padrões. Variações podem decorrer em função do nível de desenvolvimento do país, dos riscos existentes à saúde, da viabilidade tecnológica e de considerações econômicas assim como fatores sociais e políticos¹³.

2.5.2 Material particulado

Na atmosfera urbana o Material Particulado (MP) ou *Particulate Matter* (PM) é separado em três categorias de acordo com o tamanho das partículas, diferença de origem, composição química e características físicas⁶⁶. São eles:

- *Particulado Total em Suspensão (PTS)*: representa o conjunto dos diversos materiais particulados, frequentemente ultrapassando 10 μm de diâmetro, podendo atingir até 100 μm de diâmetro.

- *Particulado Grosso (respirável)*: partículas com diâmetro aerodinâmico de 2,5 a 10 μm . São produzidas mecanicamente pela quebra de partículas maiores durante a atividade industrial; em rodovias, provenientes do solo (pó de estrada, freio e pó de pneu); escombros de construções; material biológico, como pólen e bactérias; processos agrícolas.

- *Particulado Fino*: com diâmetro aerodinâmico inferior a 2,5 μm . Geralmente, formado a partir do processo de combustão, incluindo veículos a motor, queima de madeira, queimada de plantações ou florestas, e alguns processos industriais. Os principais gases precursores são o dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x), amônia (NH_3) e compostos orgânicos voláteis⁶³. Devido ao número de partículas por volume de ar (várias ordens de magnitude maior do que $\text{PM}_{2,5}$), representam uma grande área de superfície para o transporte de materiais tóxicos para a árvore pulmonar⁴⁶.

- *Partículas Ultrafinas*: com diâmetro aerodinâmico inferior a 0,1 μm . Produzidas pela condensação de metais ou compostos orgânicos vaporizados a altas temperaturas pela combustão de produtos fósseis. Geralmente, são constituídas por nitrato, sulfato, carbono, amônia e traços de metais⁶³. As nano partículas dentro $\text{PM}_{0,1}$ são de curta duração e amplamente encontrados dentro de alguns metros de suas fontes (por exemplo, perto de estradas). Devido ao seu tamanho diminuto, partículas ultrafinas são capazes de translocar na circulação sistêmica e, interagir diretamente com múltiplos sistemas orgânicos dentro de minutos de exposição⁴⁶.

As partículas presentes no ar inalado depositam-se seletivamente no trato respiratório, de acordo com o seu tamanho, de tal forma que as frações abaixo de (PM_{10}) apresentam capacidade de penetrar nas vias aéreas superiores, enquanto que a penetração até os alvéolos pulmonares, somente é possível ao particulado fino ($\text{PM}_{2,5}$) e ultrafino⁶³.

Finalmente, o MP raramente existe por si só dentro da poluição do ar ambiente. As partículas mudam constantemente e interagem com compostos gasosos (NO_x, SO₂ e ozônio), compostos semi-voláteis e voláteis (aldeídos e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos). Muitos desses compostos em fase de vapor anexam à superfície do MP ou formam partículas secundárias de aerossol⁴⁶.

2.5.3 Fontes de poluição atmosférica

As ações antrópicas têm modificado a qualidade do ar desde a descoberta do fogo. As emissões de origem antrópica foram intensificadas a partir da revolução industrial, com o aumento da demanda por fontes energéticas e o uso de combustíveis fósseis.

A poluição atmosférica é basicamente originada do tráfego veicular e as concentrações mais altas são observadas nas proximidades de vias com grande movimento de veículos sendo decrescente com seu distanciamento⁶⁸. Num estudo publicado no *Journal of Public Health* os autores informaram que os carros particulares compartilhavam muitas características com o tabaco, sendo considerados como o arquétipo de risco ecológico. Assim como o tabaco, os carros prejudicam a saúde dos usuários, de outros indivíduos e também a sustentabilidade global. Fumar cigarro e usar automóvel é visto como uma escolha individual e as respostas para limitá-los encontram grande resistência por parte das poderosas indústrias lobistas⁶⁸.

A poluição atmosférica em grandes cidades são responsáveis por mais de 1 milhão de mortes anuais por DAC. As rodovias representam cerca de 30% das emissões PM_{2,5} e 50% do PM_{0,1} e os níveis de poluentes são maiores nas grandes cidades com baixa renda comparado as cidades de alta renda⁶⁹.

Uma outra grande fonte de poluição do ar são as indústrias que incineram seus resíduos sólidos indo contra a política nacional de resíduos, visto que muitos resíduos com alto potencial de reciclagem acabam não sendo reintroduzidos na cadeia do produto. Este processo é ultrapassado e seus resultados são insatisfatórios, além de serem grande fonte de impacto ambiental. A queima de resíduos sólidos urbanos geram diversos poluentes e particulados⁷⁰.

Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) os efeitos desses gases são gradativos, com aumento dos sintomas de doenças respiratórias e por DAC e

agravamento de doenças como infarto do miocárdio e risco de morte prematura⁷⁰. As características químicas e o processo de difusão e dispersão está relacionado diretamente à sua fonte de emissão (quadro 3)⁷⁰.

Quadro 3- Principais fontes geradoras de material particulado

Poluente	Características	Fontes principais
Partículas PM_{2.5}	Partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem etc. Permanecem no ar e percorrem longas distâncias.	Processos de combustão (industrial, veículos automotores, aerossol secundários da atmosfera)
Partículas PM₁₀	Partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, poeira, fuligem, neblina, aerossol, fumaça, fuligem etc.	Processos de combustão (industrial, veículos automotores, aerossol secundários da atmosfera)
Partículas Totais em Suspensão	Partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, poeira, fuligem, neblina, aerossol, fumaça, fuligem etc.	Processos industriais, veículos motorizados (exaustão) poeira de rua ressuspensa, queima de biomassa. Polén, aerossol marinho e solo.

Fonte: Relatório do ar da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) de 2016 (São Paulo)⁷¹.

2.6 Relações complexas e adaptativas entre o ser humano e o ambiente

A interferência no ambiente e a exploração dos recursos naturais têm modificado as condições de vida e impactado no ecossistema gerando prejuízos na atmosfera⁷². A atmosfera é apenas uma parte do ecossistema e funciona como um superorganismo sendo distinto de outros sistemas em seu entorno por uma fronteira imaginária que interage tanto em si própria como também com outros sistemas ao redor. A identificação de um sistema torna possível a descrição das suas interações dentro de um ambiente¹¹. Entende-se como ambiente o conjunto de elementos naturais que vivem em equilíbrio e são constituídos pelo solo, água, ar atmosférico, flora e principalmente pela interação recíproca com os seres vivos^{72,73}.

Um sistema pode apresentar mecanismos complexos como adaptação e interação entre os agentes num mesmo ambiente. Esses mecanismos nem sempre obedecem a uma autoridade

central, e ao contrário do que se acredita podem interagir de forma dinâmica e não linear. Essas ações têm potenciais de desencadear fenômenos emergentes observáveis em diferentes escalas com regras simples de adaptação e evolução. Um sistema complexo adaptativo pressupõe um grande número de interações entre as partes, funcionando como uma rede e comportando-se de forma auto organizável com potencial para modificar todo sistema^{16,74}.

Um exemplo de sistema complexo adaptativo pode ser visto pela relação existente entre o corpo humano e o ambiente através de sua constante interação, uma vez que todo indivíduo encontra-se inserido no ambiente¹². Uma das lacunas ainda não respondida pela ciência ambiental diz respeito as modificações causados ao ambiente e a magnitude dessa resposta sobre a saúde, sendo possível que haja melhor adaptação em certos indivíduos do que em outros, mesmo em condições desfavoráveis como em locais de elevados níveis de poluição do ar¹³.

O corpo humano não é uma máquina, seus agravos não podem ser analisados isoladamente pela quebra do sistema em microcomponentes. Apesar disso, causa e efeito tem sido a modelagem que tem sustentado grande parte da resolução de problemas em saúde; isso talvez explique por que haja demora em encontrar respostas. Sistemas biológicos são complexos, então não é surpresa que poucas doenças tenham uma única causa ou cura¹⁴.

O corpo humano é composto por múltiplos sistemas fisiológicos auto-reguladores, incluindo loops de feedback bioquímicos e neuroendócrinos, que determinam parcialmente um conjunto interno de regras baseadas em experiências passadas e respostas únicas, adaptativas aos novos estímulos do ambiente. Uma pequena mudança numa parte da rede de interação pode desencadear uma mudança amplificada em outras partes. Existem várias razões que justificam que nem a doença nem o indivíduo tem comportamento previsível que consiga ser modelados por um simples sistema de causa e efeito. Quase tudo que conhecemos é feito de partes, as análises reducionistas separam as partes e tentam entender o todo, esse pensamento limita o entendimento do todo pelo exame único das partes. A relação entre as partes é mais interessante que as partes isoladas¹⁴.

A poluição do ar pode ter origem de fenômenos combinados pela fusão de partículas sólidas e gasosas, essas partes podem se conectar e formar um todo, potencializando ou mesmo anulando efeitos sobre a saúde¹³.

Do ponto de vista químico o ar atmosférico possui a utilidade básica de manter a vida dos seres vivos. Para isso, é necessário que suas características estejam em conformidade com os

padrões de qualidade. Se sua pureza for gravemente comprometida, a função vital da perecerá. Os efeitos degradadores têm produzido prejuízos invisíveis ao ar a curto prazo, porém catastróficos a longo prazo¹⁴. Uma vez poluído, o ar altera sua composição, sendo quase impossível retornar ao seu estado natural, esse dano é irreparável a saúde humana, biota e economia e não pode ser medido financeiramente^{15,16}.

Os impactos a saúde podem ocorrer em cascata e são importantes tópicos para futuros estudos utilizando novos modelos interativos complexos e não lineares com múltiplos estressores que relacionam a poluição do ar e doenças pré-existentes¹⁶, mas para que isso ocorra é necessário um planejamento coordenado entre órgãos ambientais e vigilância em saúde⁷⁵.

A degradação da atmosfera representa um importante ameaça à saúde humana, especialmente nos centros urbanos onde há associação do agravamento de doenças respiratórias com hiper-reatividade brônquica em crianças e distúrbios cardiovasculares, neurológicos, metabólicos e diferentes tipos de câncer em idosos⁷⁶.

2.7 Fatores socioeconômicos e mortalidade por doenças do aparelho circulatório

As condições de vida sofrem mudanças ao longo do tempo e apresentam-se desiguais em diferentes países. Essas desigualdades podem determinar a qualidade de saúde o nível de escolaridade e a riqueza da população mesmo em microrregiões como municípios de uma mesma cidade. Alguns destes fatores não são controláveis como por exemplo o local de nascimento, idade ou envelhecimento que tem grande relevância sob a perspectiva ao longo da vida. Essas diferenças são conhecidas como desigualdades socioeconômicas e englobam questões demográficas como etnia, sexo, escolaridade e renda que impactam na saúde da população⁷⁷.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e estatística (IBGE) em 2010, a maioria dos habitantes do MRJ residiam em aglomerados subnormais sobre os morros, aterramentos ou favelas, onde as condições de moradia, saúde, educação e segurança são extremamente precárias. Um dos aspectos dessas moradias é a proximidade geográfica aos bairros mais valorizados da cidade, simbolizando uma forte desigualdade social. Nestas áreas o ensino público e o sistema de saúde deficitários estão ligados a injustiça social e a pobreza⁷⁸. Segundo Najjar e colaboradores a melhora na qualidade de vida só é possível quando toda sociedade e a economia que a envolve

desfrutam igualmente e não apenas em uma única classe social, pois o progresso socioeconômico sobrevém na sociedade e não sobre os indivíduos⁷⁸.

O estudo global econômico de renda realizado pelo Our World in Data, demonstrou que crianças nascidas na África têm 60 vezes mais chance de morrer comparada as crianças nascidas em países europeus com melhores sistemas de saúde, lá uma em cada dez crianças nascidas morrerá antes dos cinco anos de idade, já em países da Europa apenas 1 em cada 250 crianças morrem antes dos 5 anos de idade.

Em países europeus e da América do Norte que possuem melhor acesso à educação, as crianças em idade escolar recebem entre 15 a 20 anos de educação formal, na Austrália a expectativa de vida escolar é de 22,9 anos, já em países africanos as crianças que ingressam na escola recebem apenas 5 anos de educação.

O PIB per capita em países ricos como o Qatar é de aproximadamente US\$ 117.000 comparado ao de países mais pobres como a República Centro-Africana que tem PIB de US\$ 661,00 uma diferença de 177 vezes. Os EUA têm um PIB per capita de US\$ 54.225 e a Suíça de US\$ 57.410 dólares, isso significa que os suíços podem gastar em 1 mês o que as pessoas na República Centro-Africana podem gastar em 7 anos⁷⁷.

A OMS tem alertado que a pobreza está diretamente relacionada ao aumento e precocidade da mortalidade por doenças crônicas e que existe uma relação inversa entre mortalidade cardíaca e condição socioeconômica⁷⁹.

No Brasil apesar do desenvolvimento econômico, a desigualdade social ainda persiste, e com ela a escassez de estudos que investiguem a relação entre desigualdade e mortalidade. Nas duas últimas décadas não houve redução significativa dos fatores de risco que pudesse explicar a redução na mortalidade por DAC, algumas das novas evidências indicam que fatores regionais, demográficos e socioeconômicos podem ter grande relevância⁸⁰.

Indivíduos com menores níveis socioeconômicos têm vida menos saudável e maiores fatores de risco aterogênicos associado a menor acesso a programas de prevenção e tratamento de saúde. Para Marmot, as disparidades da saúde entre as populações, comunidades ou países levam em conta determinantes sociais como trabalho, desemprego, alimentação, transporte, fatores psicossociais, stress e exclusão social⁸¹.

Os riscos para algumas doenças em grupos socioeconômicos específicos ocorrem pela diferença de exposição a fatores de riscos que causam ou previnem doenças. A exposição a

fatores de riscos está inversamente relacionada com a posição social, ou seja, quanto mais baixa a posição social, maior a exposição aos riscos à saúde e quanto maior o acesso a recursos maior prevenção de doenças e morte. Portanto, a exposição a fatores de risco deve ser analisada em diferentes grupos socioeconômicos⁸². Os fatores socioeconômicos podem também atuar como modificadores dos efeitos a exposição ao MP, em geral existem duas observações sobre a população com pior condição de vida. A primeira é que, a população com menor nível socioeconômico está mais exposta a poluição ambiental sendo mais afetada por problemas de saúde. A segunda é que essa população é mais suscetível, devido a precariedade das condições de vida e dificuldade de acesso à saúde⁸³. O estudo de Rodrigues *et al.* destacou que populações com baixo status socioeconômico tendem a residir em proximidades de rodovias com grande fluxo de veículos e pior qualidade do ar⁸⁴. Outro contraste citado pelo autor, é que os indivíduos com piores condições de vida e menor exposição a poluição do ar, apresentam maior probabilidade de adoecimento e mortalidade comparando os indivíduos de maior renda e escolaridade mesmo estando mais expostos à poluição proveniente do tráfego⁸⁵.

Segundo Lessa, no Brasil as diferenças geográficas podem influenciar a distribuição da mortalidade por DAC sendo explicada pelas diferenças socioeconômicas entre as regiões do país. Estados como o RJ, apresentam IDH, semelhantes ao de países de alta renda, já em outros estados a distribuição da mortalidade mostra-se diferente, com maiores taxas nos grupos sociais de menor IDH⁸⁶.

Tura e colaboradores demonstraram que o crescimento econômico a partir de 1950 teve influência na redução da mortalidade por DIC no ERJ entre 1980 e 2002. A associação favorável ocorreu com intervalo temporal maior que 20 anos entre o aumento do produto interno bruto (PIB) per capita e a redução na mortalidade por DIC⁸⁷. O mapeamento geográfico é outro método de correlacionar a localidade, o desenvolvimento econômico e a DAC. O georreferenciamento dos casos é importante para as políticas de saúde pública e para compreensão dos fatores de risco, visando investimentos ambientais e socioculturais. O método de georreferenciamento enfatiza a doença da população e não a doença do indivíduo, a incidência deve ser comparada em diferentes grupos populacionais e em diferentes áreas, só assim os padrões de mortalidade podem considerar os grupos, o espaço e o tempo. Este método de análise espacial também auxilia no monitoramento ambiental dos poluentes maléficos a saúde⁸⁸.

2.8 Indicadores socioeconômicos

Os indicadores socioeconômicos são úteis para avaliar as condições de países de alta, média e baixa renda. O IDH foi concebido com poucas dimensões para que fosse simplificado e possibilitasse uma comparação entre diferentes países do mundo e em diversas localidades⁸⁹.

No Brasil, um dos índices utilizados é o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), calculado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) elaborado a partir das informações do IBGE. Este índice mensura e compara as condições de vida da população, sendo um contraponto ao PIB, que é um indicador estritamente econômico⁸⁹.

No estado do Rio de Janeiro, foram analisados os anos de 2010, 2000 e 1991 ajustando o IDH ao contexto brasileiro, buscando indicadores mais adequados para avaliar as condições de diferentes núcleos sociais, como regiões metropolitanas, unidades da federação, municípios e até mesmo agregações menores⁸⁹.

O índice varia entre 0 (valor mínimo) e 1 (valor máximo), quanto mais próximo de 1, mais desenvolvida a localidade. A escala classifica o IDH em cinco faixas: muito alto (0,800 a 1,000); alto (0,700 a 0,799); médio (0,600 a 0,699); baixo (0,500 a 0,599) e muito baixo (0 a 0,499)⁹⁰. A composição do índice utiliza três indicadores, que abrangem longevidade (expectativa de vida ao nascer), renda (renda média dos residentes de determinada localidade) e educação (escolaridade e fluxo escolar da população)⁸⁹.

A educação e a renda são consideradas “instrumentos” ou “meios”, enquanto a saúde se constitui em um fim. As dimensões “meios” são aquelas em que os indivíduos utilizam para alcançar determinados fins em suas vidas. Foi demonstrado que o nível de educação dos indivíduos também influencia na renda dos mesmos⁸⁹.

Esse índice é útil pois o estado do RJ possui uma área de 43.766,6 km² que concentra 8,4% da população do país, sendo o estado com maior densidade demográfica do Brasil e o terceiro mais populoso, totalizando em 2010 no município 6.320.446 habitantes^{91,92}. A cidade possui grandes contrastes econômicos e sociais, com disparidades entre ricos e pobres, enquanto alguns bairros ostentam IDH correspondente ao de países nórdicos como (Gávea: 0,970; Leblon: 0,967; Ipanema: 0,962; Barra da Tijuca: 0,959), em outros, observam-se níveis inferiores à média

municipal, como no Complexo do Alemão (0,711) e na Rocinha (0,732)⁹³. Mesmo assim O IDH no Rio de Janeiro foi o quarto mais elevado do Brasil.

Em 2010 o IDH do RJ foi considerado "alto" pelo PNUD, cujo valor, foi de 0,799, posicionando-o como segundo maior do estado, abaixo apenas de Niterói, e o 45º a nível nacional. Os índices considerados foram longevidade (0,845), renda (0,840) e educação (0,719)⁹⁰.

3. JUSTIFICATIVA

A manutenção da qualidade do ar é um dos requisitos básicos de bem estar e saúde, no entanto, essa exposição é uni presente e contínua na sociedade moderna, nove em cada 10 indivíduos que vivem em áreas urbanas estão expostos a poluição do ar, e indivíduos que residem em localidades de baixa e média renda, ou em cerca de 500 metros de rodovias, estão cronicamente expostas a elevadas concentrações de poluentes.

O conhecimento dos impactos da poluição do ar em indivíduos suscetíveis como crianças, idosos, pessoas com doenças pulmonares e cardiovasculares ou aqueles que trabalham em atividades ao ar livre faz-se necessário⁹⁴. Pesquisas nacionais projetaram a mortalidade associada ao MP até 2050, e demonstraram que a taxa de mortalidade por poluição do ar pode aumentar de 5 mortes por 10.000 habitantes em 2010 (2 milhões de mortes), para 7 mortes por 10.000 habitantes, em 2050 (cerca de 4,3 milhões de mortes)⁹⁵.

Em países de média renda a emissão de poluentes atmosféricos tem aumentado 6% nos últimos anos, acredita-se que dobrem em 60 anos^{69,94}. Em contraste, em áreas metropolitanas dos EUA de alta renda, houve redução dos níveis de (PM_{2,5}) em 1/3, desde o início dos anos 90, decorrente de avanços tecnológicos e energia sustentável⁹⁶. A redução de PM_{2,5} num período de 08 anos, foi associado a significativa redução da mortalidade por DAC em cidades americanas, o que demonstra a importância do controle de MP a longo prazo⁴².

A exposição ao tráfego tem grande efeito sobre a população, pois as pessoas estão constantemente expostas a poluição do ar, enquanto que os riscos para outros fatores são dicotômicos. Uma das grandes justificativas deste estudo se dá pela escassez de dados do MRJ, associando a poluição do ar com fatores socioeconômicos e mortes por DAC, numa população representativa nos bairros do MRJ.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo geral

Descrever a variabilidade da qualidade do ar através da medida das concentrações de diferentes frações de MP nos bairros do município do Rio de Janeiro e estimar sua correlação com o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e com a mortalidade por todas as causas e Doenças do Aparelho Circulatório (DAC), em indivíduos na população adulta (\geq de 20 anos de idade) moradores de bairros do município do Rio de Janeiro no período de 2001 a 2015.

4.2 Objetivos específicos

- a) Descrever a variabilidade da qualidade do ar, através da medida das concentrações em 24 h, mensal e anual das partículas inaláveis (PTS), (PM_{10}) e ($PM_{2,5}$) coletadas em estações semiautomáticas localizadas em bairros do município do Rio de Janeiro;
- b) Descrever o número total de óbitos e a taxa de mortalidade por habitantes, por todas as causas e por DAC na população adulta (\geq de 20 anos de idade) residente nos bairros do Rio de Janeiro, e estratificar por sexo, escolaridade, estado civil e faixas de idade;
- c) Relacionar as concentrações médias, de todos os anos estudados, das concentrações médias anuais de PTS, PM_{10} e $PM_{2,5}$ dos bairros com as taxas de mortalidade por todas as causas e por DAC, na população adulta (\geq de 20 anos de idade) e com o IDH;
- d) Relacionar o IDH dos bairros com a taxa de mortalidade por todas as causas e por DAC, na população adulta desses bairros (\geq 20 anos de idade).

5. HIPÓTESE

H0= A mortalidade por DAC em diferentes bairros do município do Rio de Janeiro não tem relação com a poluição do ar por Material Particulado e IDH no período estudado.

H1= A mortalidade por DAC em diferentes bairros do município do Rio de Janeiro tem relação com a poluição do ar por Material Particulado e IDH no período estudado.

6. METODOLOGIA

6.1 Delineamento do estudo

Estudo de séries temporais de coorte retrospectiva, descritivo e analítico.

6.2 Bases de dados

6.2.1 Base de dados de qualidade do ar

As informações referentes à qualidade do ar foram extraídas das bases de dados públicas do Instituto Estadual do Ambiente (INEA), que registram dados das estações semiautomáticas localizadas em 23 bairros do MRJ, referentes ao período de 2001 a 2015.

O poluente analisado foi MP, nas frações: Partículas Totais em Suspensão (PTS), com diâmetros iguais ou inferiores a 100 μ m, Partículas Inaláveis, com diâmetros até 10 μ m (PM₁₀), e Partículas Finas ou Respiráveis, com diâmetros até 2,5 μ m (PM_{2.5}). Tais frações são obtidas por registros das estações fixas semiautomáticas, que realizam amostragens durante 24 horas, a cada 6 dias. As amostragens de 6 em 6 dias possibilitam a varredura anual de todos os dias da semana⁹⁷.

As estações semiautomáticas são visitadas semanalmente por técnicos do INEA onde fazem as trocas dos filtros e posteriores programações para as próximas amostragens. Os filtros são posteriormente pesados em laboratório, determinando-se as concentrações médias de 24

horas, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Os resultados das amostragens de PTS, PM_{10} e $\text{PM}_{2.5}$ são inseridos no banco de dados da rede do INEA⁹⁷.

A escolha dos bairros e o local de instalação das estações são estratégicos, sendo identificadas previamente pelo INEA as regiões prioritárias que apresentam no seu entorno alto volume de tráfego veicular e indústrias. Os bairros estão descritos no quadro 4 e as estações agrupadas, para análise, de acordo com a fração de MP medida ao longo do tempo, do seguinte modo: 10 bairros que analisaram PTS num período de 15 anos; 11 bairros que analisaram PM_{10} , também por 15 anos e; 11 bairros que avaliaram $\text{PM}_{2.5}$ num período de 06 anos.

As concentrações médias de todos os anos nos bairros, tomaram como referência o PF recomendado pelo CONAMA na última resolução em 2018.

Quadro 4. Bairros que monitoram (PTS, PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$) no município do Rio de Janeiro.

1. Bangu	7. Centro	13. Lagoa	19. Santa Teresa
2. Bonsucesso	8. Cidade de Deus	14. Leblon	20. São Cristóvão
3. Benfica	9. Copacabana	15. Maracanã	21. Sumaré
4. Botafogo	10. Deodoro	16. Ramos	22. Tijuca
5. Caju	11. Engenho de Dentro	17. Realengo	23. Urca
6. Campo dos Afonsos	12. Gamboa	18. Recreio	

6.2.2 Bases de dados das declarações de óbitos e população de estudo

As bases de dados das Declarações de óbito (DO) do DATASUS foram obtidas dos bancos de dados do Sistema de Informação de Mortalidade (SIM) do Ministério da Saúde (DATA-SUS) no estado do RJ, incluindo os anos entre 2001 e 2015.

Foram analisados os óbitos por todas as causas e por DAC nos 23 bairros descritos no quadro 4.

As DAC foram definidas como causa da morte sendo utilizado menções (causas múltiplas- linhas A, B, C e D) e causa básica de óbito, excluindo a linha II, segundo as regras do Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM) registradas nas DO, padronizada em todo o território nacional. Foram utilizados os códigos e as terminologias conforme a 10^a Conferência de Revisão da Classificação Internacional de Doenças (CID-10) de 1995³⁴ e considerados os grupos de diagnósticos que incluem o capítulo I00-I99 referente as Doenças do Aparelho Circulatório.

Os óbitos foram georreferenciados por 3 etapas. A primeira etapa, partiu do banco de dados do DATASUS-SIM no respectivo ano pesquisado, utilizando o código (CODMUNRJ) para captação de todos os óbitos no MRJ. A segunda etapa filtrou todos os bairros descritos no quadro 4 pelo código (BAIRES) através da busca nominal de cada bairro. A terceira etapa, captou os óbitos totais (óbitos incluindo todos os códigos contidos no CID X) e óbitos por DAC utilizando os códigos contidos no capítulo I00-I99, em cada bairro e ano correspondente.

6.2.3 Base de dados de Índice de Desenvolvimento Humano

Os dados de IDH dos 23 bairros foram obtidos das bases do IPEA elaborado a partir das informações do Censo Demográfico, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), referente ao ano de 2010. O IDH foi separado em três faixas que variaram de 0,700 a 0,799; 0,800 a 0,899 e 0,900 a 0,999.

Os bairros se constituem em subdivisões das regiões administrativas do MRJ. Os IDH dos bairros estão descritos no quadro 6.

6.3 Critérios de inclusão e exclusão

Critérios de Inclusão: 23 Bairros do MRJ com estações semiautomáticas, que monitoram partículas PTS, PM₁₀ e PM_{2,5}, conforme bancos de dados do INEA entre 2001 a 2015.

Óbitos por todas as causas e por DAC de indivíduos de ambos os sexos que residiram nos 23 bairros do MRJ com idade ≥ 20 anos entre os anos de 2001 a 2015.

IDH dos bairros com medida de poluição do ar por material particulado.

Critérios de exclusão: Bairros com dados incompletos (menor que 50% de registros) sobre partículas PTS, PM₁₀ e PM_{2,5} para análise.

Óbitos com código de causa morte inexistente ou local de residência com dados insuficientes. Óbitos por DAC ocorridos no MRJ, mas com locais de residência fora do MRJ.

6.4 Análise estatística

Os dados de qualidade do ar foram descritos por bairro, com medidas da média de todos os anos e valores de dispersão (desvio padrão e intervalo de confiança). Também foram descritas as médias máximas e mínimas de concentrações mensais e anuais com datas, e a máxima concentração alcançada em 24 horas em cada bairro durante os períodos medidos.

Os óbitos por todas as causas e por $DAC \geq 20$ anos foram calculados em números absolutos pela taxa de mortalidade por 1000 habitantes em cada bairro e ano.

As variáveis idade, sexo, escolaridade e estado civil foram obtidas a partir dos dados dos óbitos contidos nas DO no SIM. Os óbitos totais e por DAC foram divididos pelas variáveis sociodemográficas de sexo, escolaridade e estado civil e expressos em números absolutos e percentuais, distribuídos por faixa etária. O estado civil foi dividido em solteiro, união estável ou viúvo e faixa etária entre 20 a 49 anos, 50 a 69 anos e acima de 70 anos. A escolaridade foi dividida em nenhuma, 1 a 7 anos de estudo, 8 a 11 anos de estudo e 12 anos ou mais de estudo.

A taxa de mortalidade por todas as causas e por DAC de 2001 a 2015 nos 23 bairros correspondem ao número de óbitos pelo tipo de causa em cada bairro e ano, dividido pela população estimada no bairro anualmente, multiplicado por 1000. A estimação da população por bairro tomou como referência os anos censitários de 2000 e 2010, sendo realizado estimação intercensitária entre os anos.

As correlações entre as variáveis poluição do ar e óbitos por todas as causas e por DAC utilizou a média das médias anuais dos três diferentes poluentes (PTS, PM_{10} , $PM_{2,5}$) e a taxa de mortalidade por todas as causas e DAC no respectivo bairro, tomando como referência a taxa média de mortalidade em todos os anos.

As correlações entre as variáveis poluição do ar e IDH utilizou a média das médias anuais dos três diferentes poluentes (PTS, PM_{10} , $PM_{2,5}$) e o IDH correspondentes de cada bairros.

As correlações entre as variáveis óbitos por todas as causas e DAC e IDH utilizou a taxa de mortalidade por todas as causas e DAC no respectivo bairro, tomando como referência a taxa média de mortalidade em todos os anos e o IDH correspondentes dos bairros. As correlações foram expressas através de índices de correlação linear de Pearson.

Foram utilizados os softwares SPSS 25 para cálculo de variáveis descritivas e o R Studio para as análises estatísticas e confecção gráfica.

6.5 Análise de regressão

Utilizou-se o modelo de regressão linear simples normal sem intercepto para estimar as concentrações médias de PTS, a partir das interseções das estações existente entre os bairros que mensuram também o PM_{10} . A partir das médias estimadas de PTS e PM_{10} foi ajustado outro modelo de regressão linear simples normal sem intercepto para estimar a concentração média de $PM_{2.5}$, nos bairros sem mensuração direta deste particulado.

O modelo de regressão linear simples normal estimou as concentrações de $PM_{2.5}$, em função das evidências científicas demonstrarem maior potencial de comorbidades e mortalidade relacionado a esta fração de particulado.

A variável regressora foi a concentração média de $PM_{2.5}$ estimada, e a variável resposta foi taxa de mortalidade por 1.000 habitantes para os óbitos por todas as causas e por DAC.

7. CONSIDERAÇÕES ÉTICAS

Foram resguardados o sigilo e a confidencialidade das informações individuais contidas nas DO, de acordo com os preceitos da Resolução Conselho Nacional de Saúde (CNS) nº 466 de 2012 do Ministério da saúde, que estabelecem diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos. Os instrumentos de coleta estiveram sob a guarda e a responsabilidade do pesquisador responsável por este projeto, como também a garantia de preservação e sigilo e da confidencialidade das informações. O presente projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa (CEP) com o **CAAE: 86518218.4.0000.5257**.

8. RESULTADOS

8.1 Análise do material particulado nos bairros do município do Rio de Janeiro

As análises das três frações de particulados (PTS, PM₁₀ e PM_{2,5}), nos 23 bairros do MRJ, de 2001 a 2015, mostrou diferença das concentrações médias anuais e diárias entre os bairros e ao longo dos anos. O quadro 5 mostra as médias de todos os anos estudados, desvio padrão e intervalo de confiança das diferentes partículas e as concentrações máximas e mínimas atingidas.

Os bairros de Centro, Cidade de Deus e Maracanã foram os que monitoraram as três frações de MP. Bonsucesso, Benfica, Centro, Cidade de Deus, Realengo, Santa Tereza, São Cristóvão, Sumaré, Tijuca e Maracanã monitoraram a qualidade do ar por partículas PTS e PM₁₀ por mais de 10 anos. Campo dos Afonsos, Deodoro, Engenho de Dentro, Gamboa, Lagoa, Leblon e Urca iniciaram monitorização das partículas de PM_{2,5} a partir de 2009, totalizando em alguns bairros, 6 anos de monitorização (quadro 5).

O PF anual de PTS foi ultrapassado entre 7% a 78% o padrão preconizado pelo CONAMA (80 µg/m³). Este particulado apresentou concentrações acima de 100 µg/m³ em Cidade de Deus, Bonsucesso e São Cristóvão (142,5; 138,0 e 109,0 µg/m³, respectivamente). Realengo, Centro e Benfica apresentaram níveis entre 80 e 99 µg/m³ (96,7; 93,0 e 89,0 µg/m³, respectivamente). Todos esses bairros, portanto, ultrapassaram os PF anuais de PTS estipulados pelo CONAMA.

Tijuca e Maracanã apresentaram níveis “intermediários” (72,9 e 64,4 µg/m³, respectivamente) e Santa Teresa, Sumaré tiveram as menores concentrações médias de todos os anos de PTS (47,0 e 34,4 e µg/m³ respectivamente), o que corresponde a uma redução relativa da concentração de média de PTS de 203% a 314% quando comparado com a concentração média de Cidade de Deus.

As concentrações máximas de PTS em 24 horas foram ultrapassadas em São Cristóvão, Realengo, Maracanã, Centro, Cidade de Deus, Benfica e Bonsucesso (410; 387; 345,0; 332; 307; 304 e 271 µg/m³) uma violação de 13% a 71% o PF de 24h (240 µg/m³).

As maiores médias mensais máximas de PTS foram encontradas nos bairros de Castelo, Cidade de Deus, Realengo e São Cristóvão, todas acima de 200 µg/m³. Concentrações médias mensais máximas abaixo de 100 µg/m³ foram encontradas apenas no Sumaré (66,4 µg/m³).

Todos os bairros que mediram PM_{10} apresentaram níveis acima do PF anual preconizado pelo CONAMA ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Cidade de Deus, Bonsucesso e São Cristóvão tiveram médias de concentrações de todos os anos de 79,7; 75,6 e $61,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, ultrapassando em 204% a 299% o PF. Os Bairros de Botafogo, Centro e Maracanã apresentaram concentrações entre 41,6 a $46,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mesmo assim, 98% a 129% acima do PF. No Sumaré, Campo dos Afonsos, Leblon, e Deodoro foram observadas as menores concentrações médias de todos os anos de PM_{10} (23,3; 28,6; 28,8 e $34,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mas ainda entre 16,5 % a 73% acima do PF.

Ressalte-se que, os moradores de Cidade de Deus foram expostos a uma concentração média de todos os anos de PM_{10} , 3,2 vezes maior comparado aos moradores de Sumaré.

Todos os bairros apresentaram concentração máxima de PM_{10} acima do PF em 24 h ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Cidade de Deus, Botafogo, Bonsucesso, São Cristóvão, Maracanã e Castelo alcançaram concentrações máximas de PM_{10} em 24 horas de 314; 294; 263; 191; 137 e 131 e $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Estes níveis estão entre 214% a 528% acima do PF recomendado em 24h.

As maiores médias mensais máximas das concentrações de PM_{10} ocorreram em Cidade de Deus, Bonsucesso, Maracanã e São Cristóvão (159,0; 128,0; 122,0 e $117,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente). A menor média mensal máxima foi encontrada em Sumaré ($45,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

As concentrações médias de todos os anos de $PM_{2.5}$ se mostraram acima do PF anual ($10,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) entre 03% e 100% do PF anual em todos os bairros medidos. Em Cidade de Deus, Centro e Engenho de Dentro e Caju, se observou as maiores concentrações anuais desse poluente (20,0; 17,0, 15,3 e $15,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente). Valores entre $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $14,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ foram encontrados nos bairros, Maracanã, Ramos, Bangu, Recreio, Copacabana, Urca e Lagoa (14,7; 14,4 ;13,3; 11,0; 11,4; 11,5; 11,0; 10,5 e $10,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente). Embora todos os bairros estejam acima do PF anual, os valores desse poluente na Cidade de Deus são 2,0 vezes maiores do que na Lagoa.

As concentrações máximas em 24 h de $PM_{2.5}$ também foram ultrapassadas em todos os bairros de acordo com o PF ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$). As maiores concentrações foram registradas em Cidade de Deus, Engenho de Dentro, Copacabana, Bangu e Ramos (89; 87; 81; 68 e $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente), ultrapassando em até 256% o PF limite diário.

As maiores médias mensais máximas das concentrações de $PM_{2.5}$ foram observadas em Bangu, Cidade de Deus e Caju e (62,6; 46,0 e $36,0; \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente), e as menores médias mensais máximas em Lagoa e Urca ($20,5$ e $21,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Quadro 5- Valor máximo em 24 horas, médias das médias anuais, concentração máxima e mínima anuais e mensais, data da ocorrência PM₁₀, PM_{2,5} e PTS, por bairro do Município do Rio de Janeiro, entre 2001 e 2015.

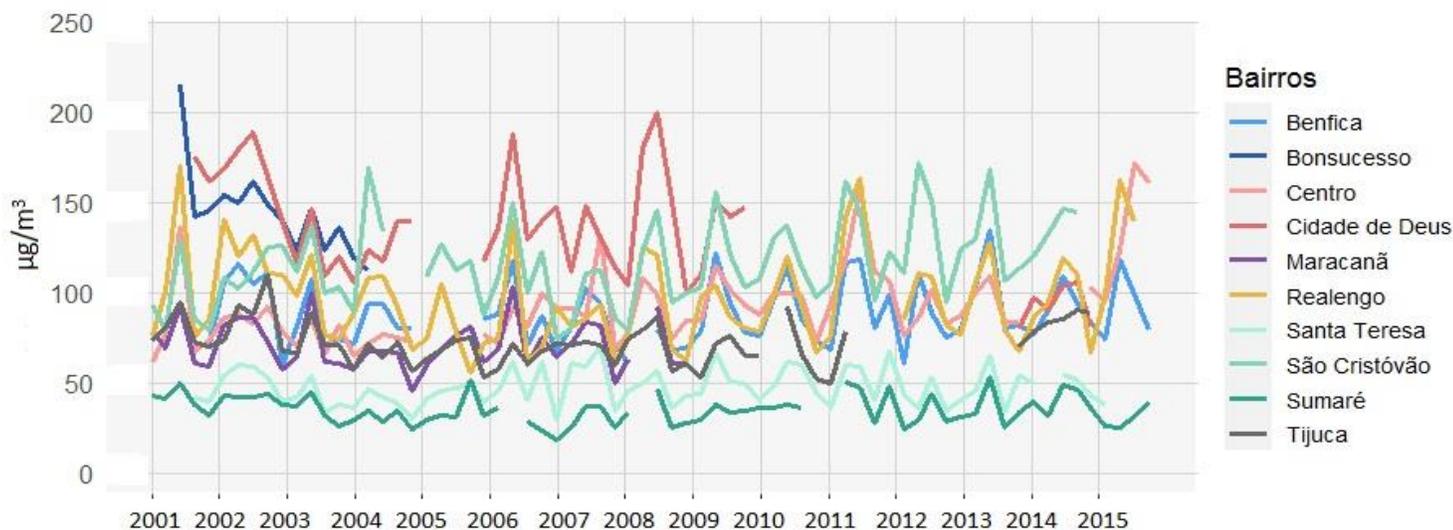
Bairros	Fração de MP	Nº Anos (meses)	Valor Máximo 24 h	Média mensal mín (µg/m ³)	Média mensal máx (µg/m ³)	Média anual mín (µg/m ³)	Média anual máx (µg/m ³)	Média todos anos (µg/m ³) (DP±)	IC
Bangu	PM _{2,5}	4 (42)	68 (24/03/15)	5,0 (05/12)	62,6 (03/15)	12,9 (2012)	14,1 (2015)	13,3±0,5	10,4-16,3
Bonsucesso	PTS	4 (34)	271 (14/12/01)	78,0 (06/04)	196,0 (10/02)	110,0 (2004)	156,9 (2001)	138,0±21,0	104,6-171,7
	PM ₁₀	14 (150)	263 (20/07/13)	27,7 (12/13)	128,0 (07/08)	52,8 (2015)	93,8 (2001)	75,6±12,1	68,6-82,7
Benfica	PTS	13 (146)	304 (27/06/06)	47,0 (03/11)	160,0 (07/06)	69,1 (2008)	103,4 (2002)	89,0±8,3	84,0-94,1
Botafogo	PM ₁₀	14 (156)	294 (23/05/01)	18,0 (04/14)	89,0 (07/06)	33,0 (2014)	52,2 (2001)	41,6±5,7	38,3-44,9
Caju	PM _{2,5}	4 (34)	57 (13/08/13)	6,0 (11/12)	36,0 (03/11)	10,8 (2012)	18,9 (2011)	15,0±3,3	12,2-17,0
CampoAfonso	PM ₁₀	3 (19)	92 (27/06/14)	13,0 (08/15)	62,2 (08/14)	21,1 (2013)	34,5 (2014)	28,1±6,7	11,4-44,7
Copacabana	PM _{2,5}	6 (55)	81 (07/12/07)	4,5 (03/15)	21,1 (08/13)	8,6 (2012)	14,2 (2010)	11,0±4,2	9,8-12,1
Centro	PTS	14 (150)	332 (17/09/11)	42,0 (04/03)	235,0 (09/11)	70,9 (2004)	131,4 (2015)	93,0±16,2	83,5-102,3
	PM ₁₀	14 (149)	131 (28/08/01)	22,0 (12/14)	83,0 (08/01)	36,8 (2004)	52,3 (2001)	44,0±4,8	41,2-46,8
	PM _{2,5}	6 (66)	58 (15/05/13)	8,6 (08/12)	29,0 (06/11)	14,7 (2012)	20,2 (2010)	17,0±4,6	15,7-18,0
Cidade de Deus	PTS	8 (80)	307 (27/07/06)	81,3 (01/08)	233,2 (08/02)	121,0 (2004)	176,0 (2001)	142,5±20,5	125,3-159,6
	PM ₁₀	13 (138)	314 (04/09/10)	19,0 (07/07)	159,0 (01/01)	56,5 (2014)	106,7 (2001)	79,7±16,1	69,9-89,5
	PM _{2,5}	6 (65)	89 (03/10/09)	8,0 (04/15)	46,0 (06/11)	11,5 (2015)	31,5 (2011)	20,0±8,4	17,7-21,9
Deodoro	PM ₁₀	3 (27)	93 (27/06/14)	17,0 (09/13)	64,0 (10/15)	22,9 (2013)	44,1 (2015)	36,2±11,5	7,4-65,9
Eng. Dentro	PM _{2,5}	3 (27)	87 (27/06/14)	7,2 (10/13)	31,8 (06/14)	8,9 (2013)	19,2 (2014)	15,3±5,1	12,7-18,0
Gamboa	PM ₁₀	3 (24)	153 (13/08/13)	10,6 (12/15)	78,0 (05/13)	39,1 (2015)	54,2 (2013)	47,2±7,6	28,3-66,1
Lagoa	PM _{2,5}	3 (31)	32 (17/01/15)	4,4 (09/13)	18,0 (05/14)	9,5 (2013)	11,3 (2014)	10,3±0,9	9,0-11,5
Leblon	PM ₁₀	3 (27)	96 (19/10/14)	16,0 (01/14)	62,3 (10/14)	24,5 (2013)	32,6 (2014)	29,1±4,2	18,7-39,5
Ramos	PM _{2,5}	5 (52)	65 (13/08/13)	6,0 (08/12)	32,0 (08/13)	10,1 (2015)	17,6 (2014)	14,4±3,6	12,8-16,0
Realengo	PTS	15 (149)	387 (28/08/01)	46,6 (12/10)	205,0 (07/15)	81,0 (2005)	128,1 (2015)	96,7±13,4	89,3-104,1
Recreio	PM _{2,5}	6 (66)	52 (05/10/12)	3,2 (10/13)	28,0 (06/11)	9,8 (2013)	12,7 (2011)	11,4±1,1	10,2-12,7
Santa Teresa	PTS	15 (151)	170 (10/06/07)	23,0 (02/05)	153,0 (09/10)	38,7 (2004)	55,5 (2010)	47,0±5,0	44,0-49,7
São Cristóvão	PTS	14 (142)	410 (30/08/04)	43,0 (04/06)	204,5 (08/14)	64,3 (2006)	137,5 (2014)	109,0±22,6	95,7-121,9
	PM ₁₀	15 (144)	191 (30/08/14)	26,0 (04/14)	117,0 (07/06)	36,0 (2015)	70,4 (2001)	61,0±8,3	56,2-65,5
Sumaré	PTS	15 (147)	167 (13/08/13)	16,0 (03/09)	66,4 (08/14)	22,5 (2006)	41,5 (2002)	34,4±4,9	31,6-37,1
	PM ₁₀	15 (147)	79 (14/05/04)	6,0 (04/14)	45,0 (06/11)	19,1 (2013)	30,0 (2001)	23,0±3,0	21,3-24,5
Tijuca	PTS	13 (124)	181 (14/09/01)	36,0 (03/11)	118,4 (10/02)	62,1 (2006)	88,5 (2015)	72,8±9,5	67,1-78,6
Maracanã	PTS	10 (102)	345 (25/07/03)	26,0 (12/12)	121,5 (07/03)	40,5 (2012)	80,3 (2002)	64,4±13,4	54,7-74,0
	PM ₁₀	15 (149)	137 (25/07/03)	16,6 (12/15)	122,0 (10/02)	32 (2015)	80,3 (2002)	46,2±13,7	38,5-53,8
	PM _{2,5}	6 (62)	53 (13/06/11)	6,0 (12/15)	29 (06/11)	8,7 (2015)	15,1 (2011)	14,7±2,4	11,5-17,8
Urca	PM _{2,5}	3 (31)	44 (13/08/13)	4,0 (04/15)	21,1 (08/13)	8,4 (2015)	11,8 (2014)	10,5±1,8	8,9-12,1

As diferentes cores separam as frações de MP mensuradas por cada bairro. Nº Anos e (meses)= número total de anos e meses aferidos. Valor máximo em 24 horas= máxima concentração atingida em 24 horas. Média mensal mín = Menor valor das médias mensais. Média mensal máx = Maior valor das médias mensais. Média anual mín= valor mínimo das médias anuais; Média anual máx= valor máximo das médias anuais; Média de todos os anos = Média das médias anuais de todos os anos. DP= Desvio Padrão (±); (µg/m³) =micrograma por metro cúbico; IC= Intervalo de Confiança. Padrão

Final (PF) preconizado pelo CONAMA: (anual) PTS <80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; PM_{10} <20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; $\text{PM}_{2,5}$ <10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Valor diários (24h): PTS <240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; PM_{10} <50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; $\text{PM}_{2,5}$ <25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.²²

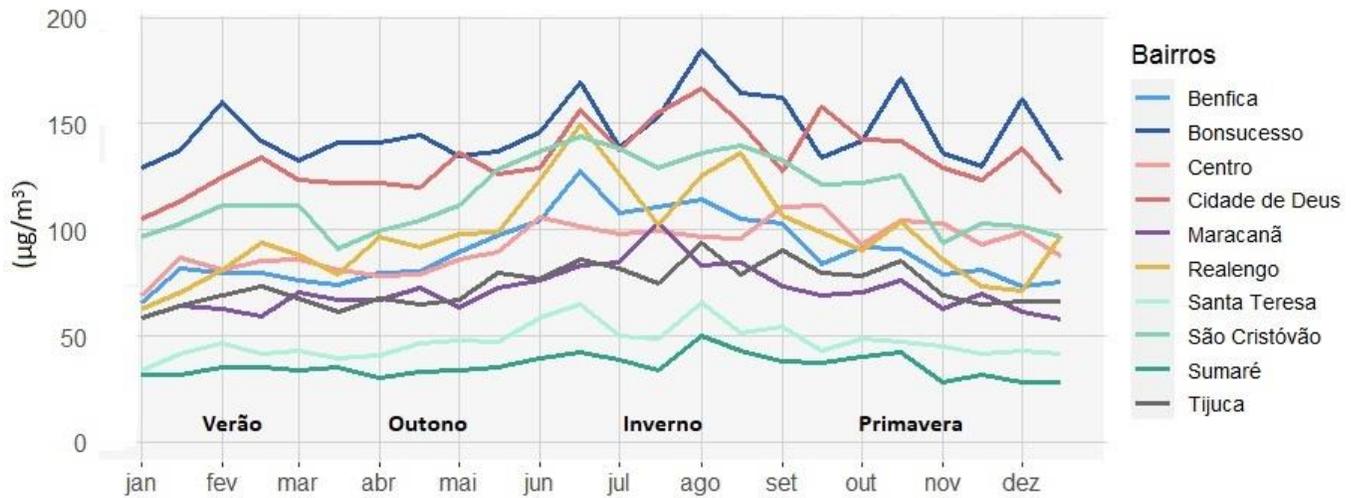
O gráfico 1a mostra as variações das concentrações médias de PTS trimestrais entre os anos, nos bairros ao longo dos 15 anos, observa-se alta variabilidade, com destaque para Cidade de Deus, Bonsucesso e São Cristóvão que apresentaram as maiores concentrações medias anuais, ultrapassando os PF preconizados. Todos os outros bairros ultrapassaram os padrões anuais recomendado para PTS. Somente Sumaré, Santa Teresa, Maracanã e Tijuca permaneceram dentro dos níveis recomendados para os PF e mantiveram menor variabilidade das concentrações de PTS.

Gráfico 1a- Média trimestral do PTS por bairro de 2001 a 2015



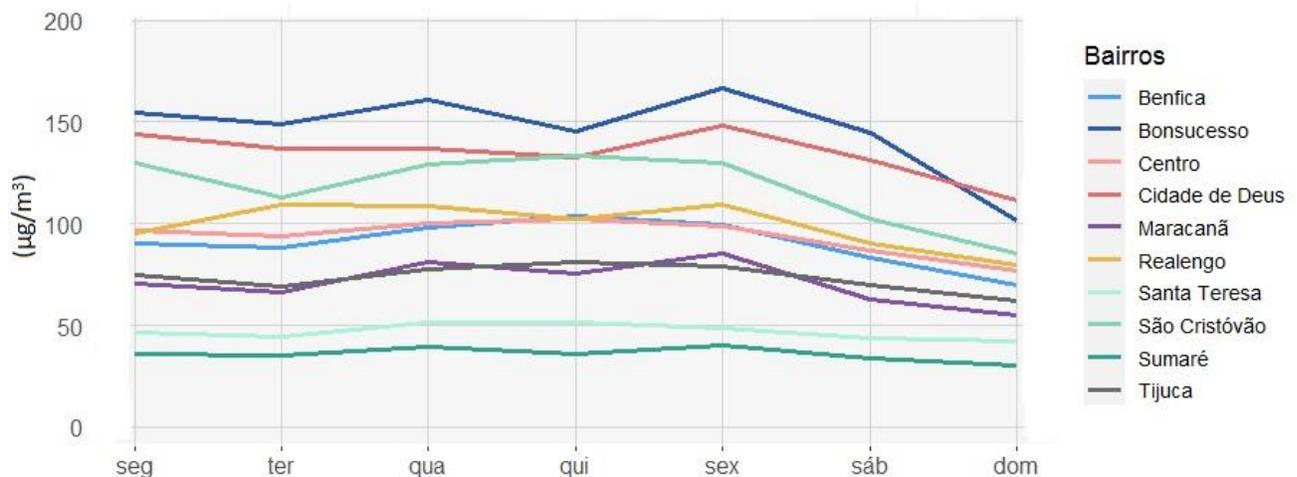
A sazonalidade anual de PTS, demonstrou aumento das concentrações entre os meses de junho a novembro, contemplando a estação do inverno e o início da primavera, já entre os meses de dezembro a maio essas concentrações foram menores (gráfico 1b).

Gráfico 1b- Sazonalidade anual do PTS por bairro de 2001 a 2015



As concentrações de PTS diárias, demonstram aumento as quartas e sextas feiras e reduções nos sábados e domingos. Sumaré e Santa Tereza apresentaram as menores concentrações de PTS como também menores oscilações ao longo da semana (gráfico 1c).

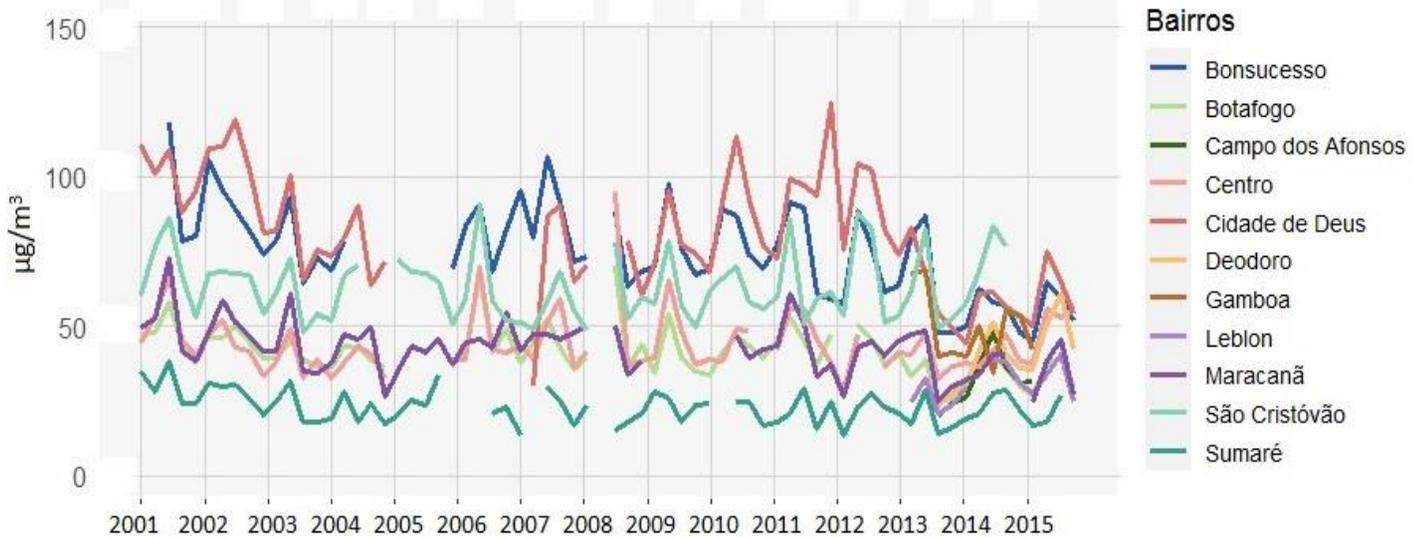
Gráfico 1c- Médias nos dias da semana do PTS por bairro de 2001 a 2015



As concentrações médias trimestrais de PM_{10} entre os anos, nos bairros em 15 anos não diferiu do PTS, demonstrando alta variabilidade e altas concentrações novamente em Cidade de Deus, Bonsucesso e São Cristóvão. Todos os bairros violaram as concentrações de PF anual de PM_{10} . Sumaré e Botafogo foram os bairros com menores concentrações (gráfico 2a). Houve

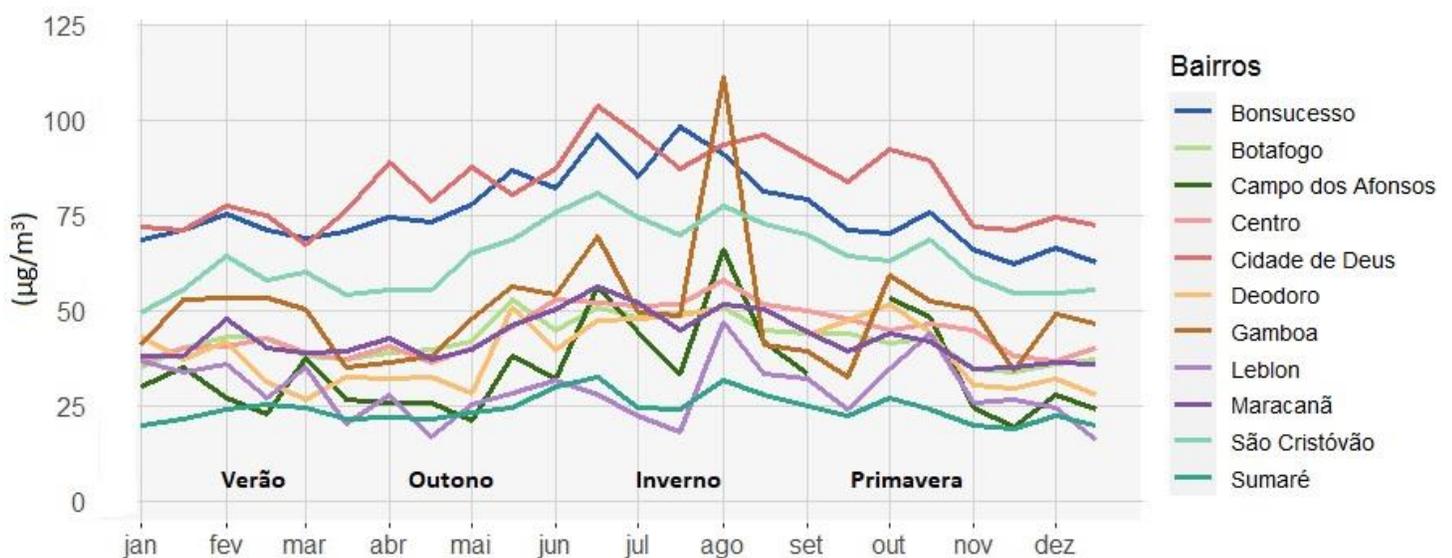
queda das concentrações de PM_{10} ao longo dos anos, mesmo assim as concentrações ainda permanecem acima dos PF preconizados.

Gráfico 2a- Média trimestral do PM_{10} por bairro de 2001 a 2015



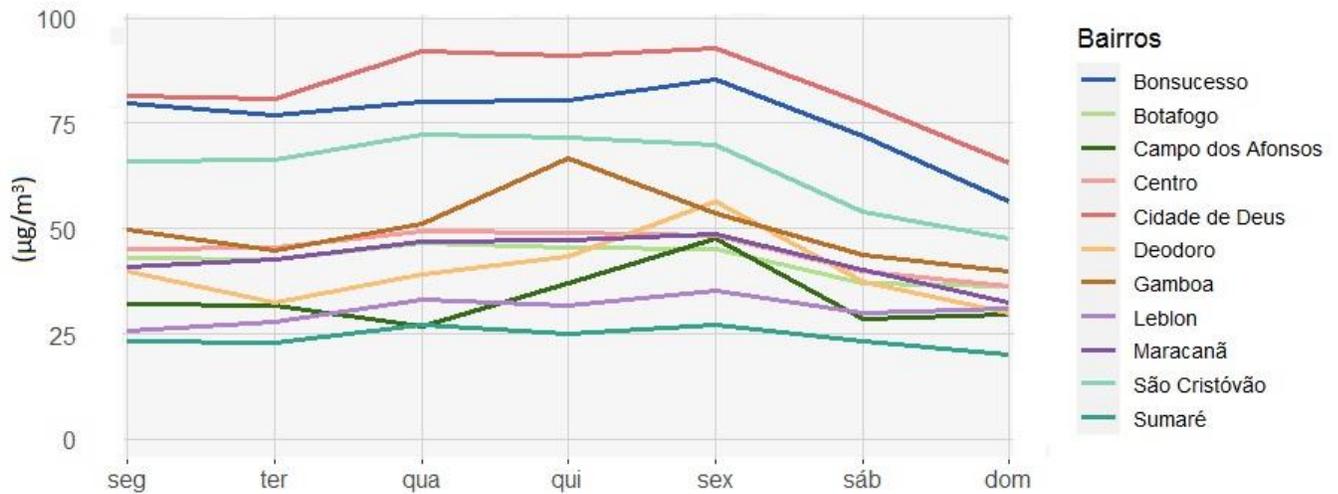
A sazonalidade anual das concentrações de PM_{10} demonstram um padrão idêntico ao PTS com elevação entre os meses de junho a novembro e redução entre dezembro e março (gráfico 2b).

Gráfico 2b- Sazonalidade anual do PM_{10} por bairro de 2001 a 2015



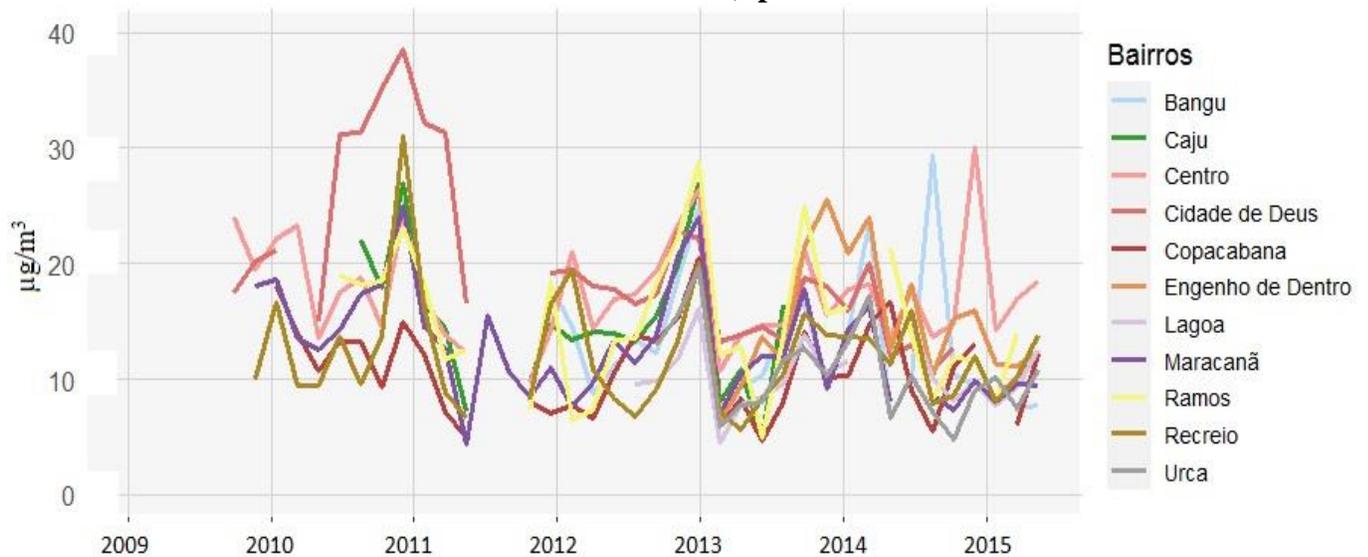
As concentrações médias nos dias de semana do PM_{10} também foram maiores as quartas e sextas feiras e menor aos sábados e domingo (gráfico 2c).

Gráfico 2c- Médias dos dias da semana do PM_{10} por bairro de 2001 a 2015



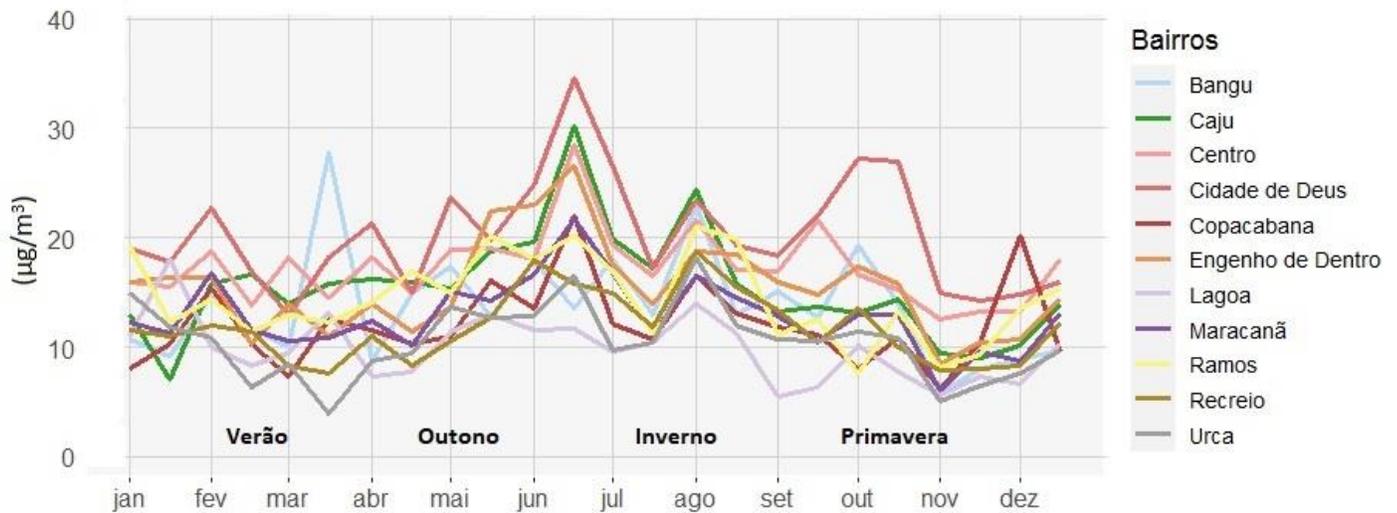
As concentrações médias trimestrais de $PM_{2,5}$ entre os anos, nos bairros em 15 anos, também demonstraram alta variabilidade, com aumento das concentrações em Cidade Deus, Bangu e Centro. A maioria dos bairros permaneceram acima dos PF anuais deste particulado (gráfico 3a).

Gráfico 3a- Média trimestral do $PM_{2,5}$ por bairro de 2009 a 2015



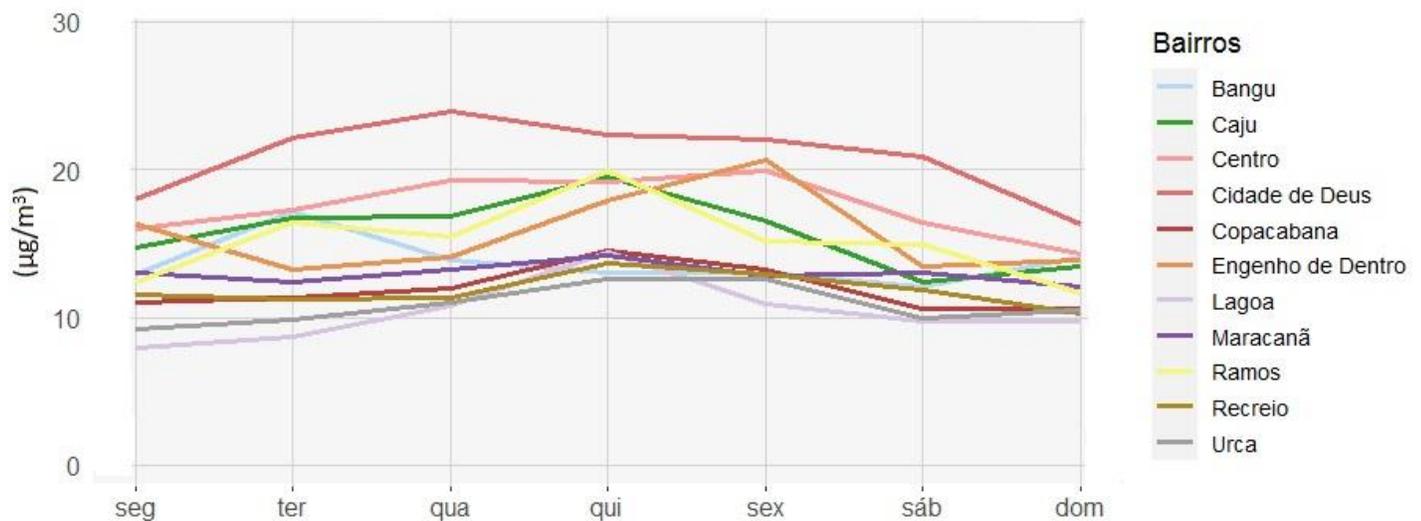
Diferentes das frações de particulados o $PM_{2.5}$ variou mais a sazonalidade com aumento das concentrações em dois momentos diferentes, entre junho e julho, setembro a novembro. Já os meses entre dezembro a maio foram vistas as menores concentrações (gráfico 3b).

Gráfico 3b- Sazonalidade anual do $PM_{2.5}$ por bairro de 2009 a 2015



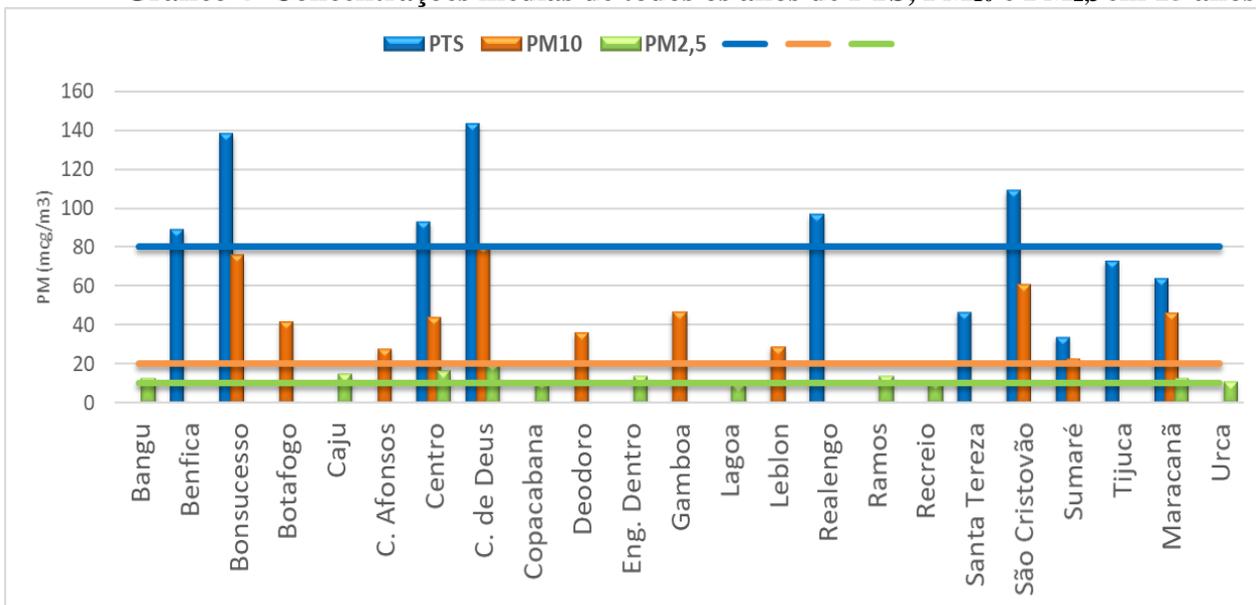
Quarta feira foi o dia da semana com maior concentração de $PM_{2.5}$, e domingo e segunda feira foram observadas as menores concentrações (gráfico 3c).

Gráfico 3c- Médias dos dias da semana do $PM_{2.5}$ por bairro de 2009 a 2015



O gráfico 4 mostra a média das médias das concentrações de PTS, PM₁₀ e PM_{2,5} nos 15 anos, por bairros. As linhas horizontais representadas por suas respectivas cores, mostram os limites das concentrações estipulados pelo CONAMA de 2018. Dos 23 bairros analisados, todos violaram os padrões de qualidade do ar para PM₁₀ e PM_{2,5}, ficando evidente a ultrapassagem dos PF estabelecidos pelo CONAMA, apenas para a fração de PTS em 04 bairros (Santa Teresa, Sumaré, Tijuca e Maracanã) mantiveram as concentrações medias de todos os anos abaixo do PF anual.

Gráfico 4- Concentrações médias de todos os anos de PTS, PM₁₀ e PM_{2,5} em 15 anos



As figuras 7a, 7b e 7c representam geograficamente a distribuição dos bairros pesquisados no MRJ, de acordo com a média das concentrações de todos os anos nas diferentes frações monitoradas (PTS, PM₁₀ e PM_{2,5}) em cada bairro.

Figura 7a- Distribuição das concentrações de PTS nos bairros do município do Rio de Janeiro

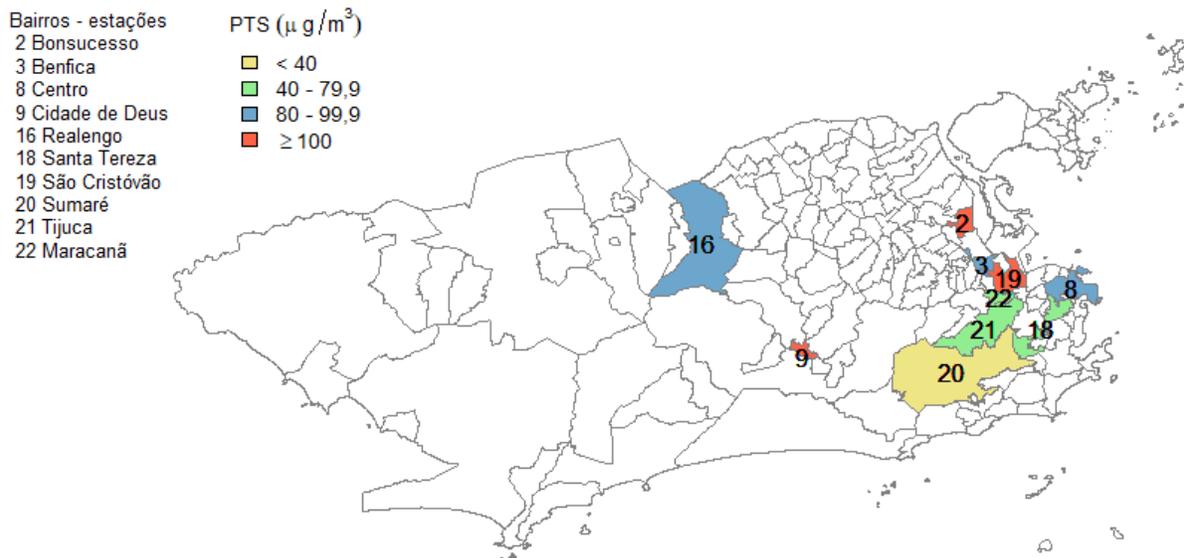


Figura 7b- Distribuição das concentrações de PM₁₀ nos bairros do município do Rio de Janeiro

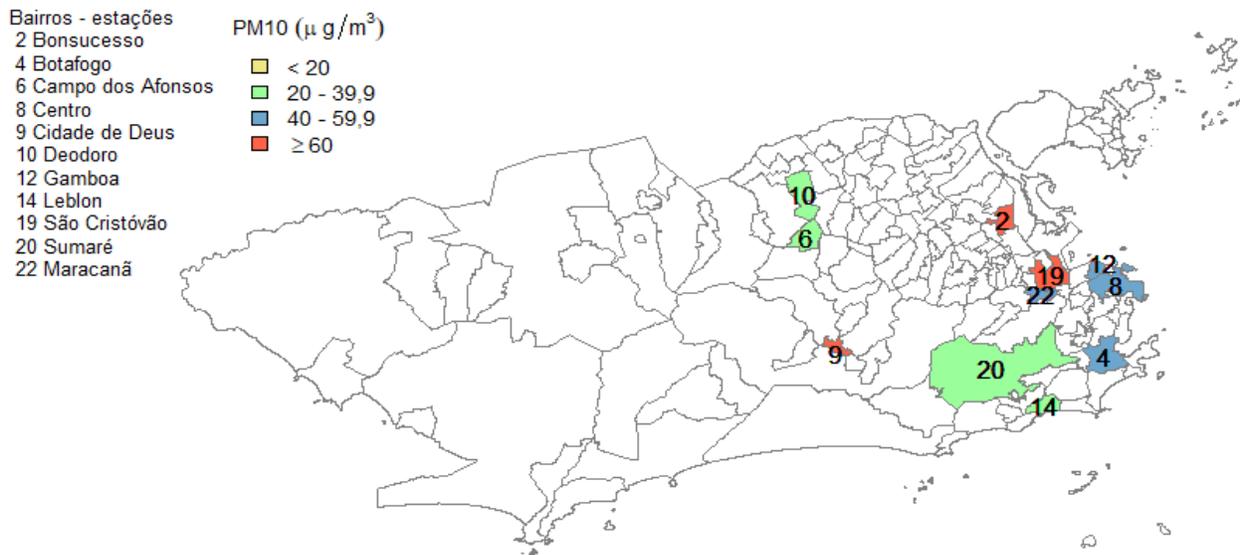
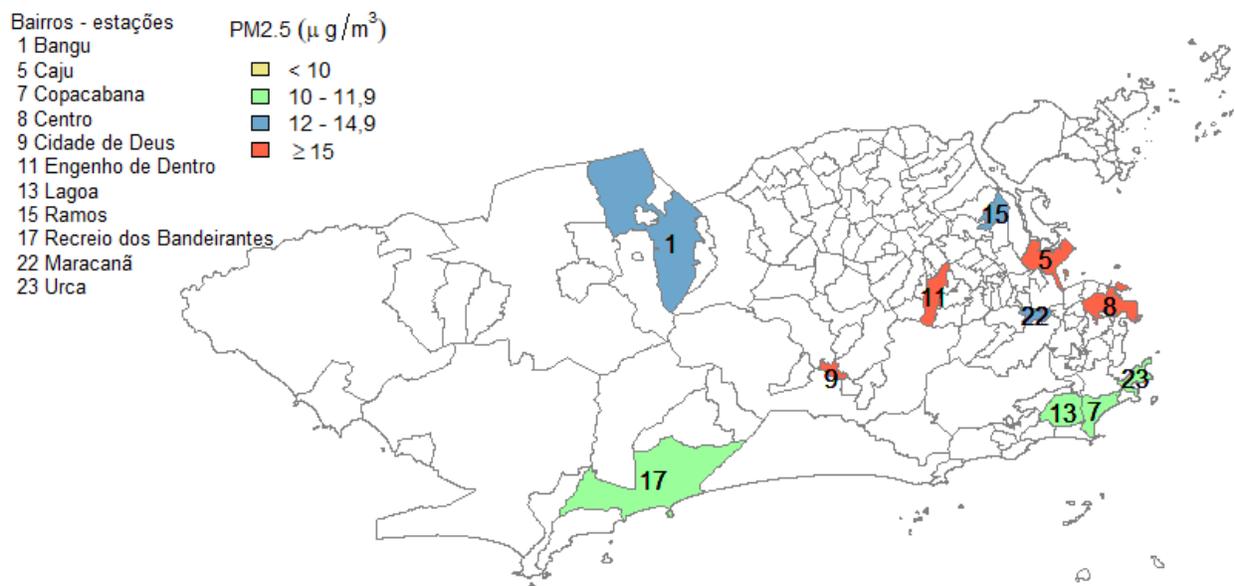


Figura 7c- Distribuição das concentrações de PM_{2,5} nos bairros do município do Rio de Janeiro



8.2 Óbitos por bairro no município do Rio de Janeiro de 2001 a 2015

A população total estimada ≥ 20 anos nos 23 bairros em 15 anos, foi de 1.009.794 habitantes, com ocupação de 543.063 domicílios. A mediana da população por bairro foi de 24.025 habitantes, e 12.285 domicílios por bairro. Bangu, Tijuca, Realengo e Copacabana foram os bairros com maior número de habitantes e domicílios (170.855/ 83.068; 132.931/ 67.183; 128.265/ 64.978 e 126.512/ 81.188). O menor foi Campo dos Afonsos (860/468)

O número de óbitos por todas as causas em 15 anos nos 23 bairros do MRJ foi de 181.507 mortes, representando 18% de óbitos no período. Os bairros com maior número de óbitos por todas as causas sem ajuste da população, foram respectivamente Tijuca (28.712), Bangu (26.606), Copacabana (26.158) e Botafogo (10.061). Na Urca (694 óbitos), Gamboa (688 óbitos) e Campo dos Afonsos (72 óbitos), o número de óbitos em 15 anos foi inferior a 1000, os outros bairros apresentaram óbitos na faixa entre 1.000 e 10.000 óbitos conforme quadro 6.

A mediana de óbitos por todas as causas por bairro foi de 4.763. A taxa de mortalidade por 1000 habitantes por todas as causas nos bairros ≥ 20 anos em 15 anos, foi de 33,3 em Bonsucesso, seguido de São Cristóvão com 18,5 e Ramos com 16,9. Campo dos Afonsos, Gamboa e Maracanã tiveram as menores taxas (4,6 a 5,4) respectivamente.

O número de óbitos por DAC em 15 anos na população ≥ 20 anos, nos 23 bairros do MRJ foi de 81.599, representando 45% dos óbitos por todas as causas. A taxa de mortalidade por 1000 habitantes por DAC foi maior em Bonsucesso com 13,3, São Cristóvão 10,3%, Ramos 7,4%. Gamboa, Campo dos Afonsos, Recreio e Urca apresentaram as menores taxas de mortalidade por DAC. A mediana de óbitos por bairro para DAC ≥ 20 anos em 15 anos foi de 2.037 (quadro 6).

A média de idade dos óbitos por todas as causas foi de 69,6 anos comparada a idade dos óbitos por DAC com 73,4 anos. As maiores médias de idade dos óbitos foram observadas nos bairros da Lagoa e Leblon (80,3 e 80,1 anos) respectivamente, e as menores nos bairros de Cidade de Deus com 67,7 anos.

A proporção da mortalidade ≥ 20 anos por DAC em 15 anos variou de 0,385 no bairro de Campo dos Afonsos a 0,492 no Maracanã.

Quadro 6- Dados demográficos dos óbitos ≥ 20 anos por bairros do Município do RJ em 15 anos

Demografia dos bairros				Óbitos por todas as causas			Óbitos por DAC			
Bairro	População	Nº de Dom.	IDH	Nº óbitos 15 anos	Taxa mort	Idade média	Nº óbitos 15 anos	Taxa mort.	Idade média	Mort. Prop
Benfica	18.112	8.482	0,825	3.431	13,5	62,8	1.446	5,6	68,5	0,420
Bonsucesso	14.581	7.133	0,861	7.224	33,3	64,2	2.907	13,3	69,8	0,415
Botafogo	68.967	33.165	0,952	10.061	9,9	75,0	4.723	4,6	77,8	0,470
Caju	13.732	6.957	0,753	2.223	11,2	67,3	951	4,8	72,2	0,426
C. dos Afonsos	860	468	0,856	72	5,4	68,1	30	2,2	70,2	0,385
Centro	34.815	22.646	0,894	7.360	14,5	68,7	3.146	6,1	72,8	0,427
Cidade de Deus	24.025	12.285	0,751	4.587	12,7	61,8	1.999	5,5	67,7	0,436
Copacabana	126.512	81.188	0,956	26.158	13,8	76,9	12.753	6,7	79,2	0,487
Bangu	170.855	83.068	0,794	26.606	10,4	64,7	10.946	4,3	69,1	0,409
Eng. Dentro	35.008	18.381	0,857	6.260	11,9	70,4	2.952	5,6	73,3	0,471
Gamboa	8.985	4.626	0,792	688	5,1	63,9	276	2,0	67,9	0,409
Deodoro	17.603	3.526	0,856	3.282	12,5	66,5	1.461	5,5	70,8	0,443
Recreio	61.368	38.705	0,894	4.763	5,8	68,3	2.037	2,5	73,1	0,428
Lagoa	17.422	9.361	0,959	1.549	6,1	76,5	705	2,7	80,3	0,454
Leblon	38.884	22.259	0,967	6.032	10,3	77,9	2.888	4,9	80,1	0,479
Ramos	30.949	15.012	0,857	7.632	16,9	66,9	3.330	7,3	71,5	0,442
Realengo	128.265	64.978	0,845	21.125	11,1	65,8	8.911	4,7	70,0	0,421
Santa Teresa	31.163	16.671	0,878	4.176	9,0	67,8	1.823	3,9	73,0	0,437
São Cristóvão	20.483	9.991	0,833	6.063	18,5	67,5	2.743	8,4	72,2	0,453
Sumaré	6.946	3.234	0,926	1.345	13,3	69,5	609	6,0	72,8	0,452
Tijuca	132.931	67.183	0,926	28.712	14,5	75,7	13.929	7,0	77,9	0,485
Maracanã	21.119	10.902	0,944	1.464	4,6	76,2	721	2,2	78,1	0,492
Urca	5.520	2.842	0,952	694	8,5	77,4	313	3,8	79,4	0,450
Total	1.009.794	543.063		181.507			81.599			
Mediana	24.025	12.285		4.763		68	2.037		73	
Media	44.744	23.611		7.892		69,6	3.548		73,4	

Fonte: Demografia dos bairros: IBGE 2010- Censo demográfico.

Nº Dom.= Número de domicílios por bairro. Taxa Mort. = Média da taxa de mortalidade em 15 anos. População: média da população por bairro ≥ 20 anos tomando como referência o censo 2000 e 2010. Nº óbitos= número total de óbitos por todas as causas e óbitos por DAC em 15 anos. Mort. prop.= Mortalidade proporcional (nº de óbitos por DAC dividido pelo nº total de óbitos por todas as causas em 15 anos).

8.3 Taxa de mortalidade por todas as causas e por doenças do aparelho circulatório nos bairros do município do Rio de Janeiro de 2001 a 2015

A taxa de mortalidade por todas as causas ≥ 20 anos variou entre 4,6 a 18,5 óbitos por 1000 habitantes nos bairros do MRJ nos 15 anos, com exceção de Bonsucesso, que foi o bairro com maior média de mortalidade da série iniciado em 2001 com 61,8 óbitos por 1000 habitantes, decaindo até 2015 para 19,0 óbitos por 1000 habitantes, ou seja, a razão de óbitos neste bairro caiu 3 vezes comparado ao início da série, aproximando a taxa de mortalidade com os outros bairros. São Cristóvão apresentou aumento da mortalidade por todas as causas a partir de 2007, permanecendo na faixa de 22 óbitos por 1000 habitantes até 2014, quando sofreu queda para 14,1 em 2015. Os bairros com menor taxa média de mortalidade por todas as causas foram Maracanã, Gamboa e Campo dos Afonsos, que ficaram na faixa de 4,6 a 5,4 óbitos por 1000 habitantes (Quadro 6).

A taxa de mortalidade anual por todas as causas ≥ 20 anos nos bairros do MRJ, está descrita no quadro 7.

Quadro 7- Taxa de mortalidade anual por todas as causas nos bairros do município do Rio de janeiro de 2001 a 2015

Bairro	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Benfica	17,6	15,1	12,9	15,1	14,7	12,9	13,3	13,2	13,2	12,8	12,8	12,0	11,8	14,2	11,0
Bonsucesso	61,8	44,3	42,7	44,5	49,7	33,7	35,3	29,5	24,8	24,1	21,3	24,6	21,5	22,8	19,0
Botafogo	11,1	11,0	10,4	10,2	10,1	10,4	10,1	9,5	9,4	9,3	9,9	8,7	10,3	9,7	9,5
Caju	10,1	15,3	13,8	14,0	11,9	12,5	10,7	10,3	9,9	11,8	10,2	8,9	9,7	9,3	10,9
C. Afonsos	6,5	6,5	7,7	3,3	5,6	6,8	5,7	1,1	6,9	3,5	3,5	3,5	7,2	8,4	6,1
Centro	17,4	16,2	16,5	15,6	14,6	16,5	14,3	15,7	13,7	15,3	13,0	12,8	12,5	12,0	11,5
Cidade de Deus	12,0	14,1	12,3	12,1	13,1	12,8	12,6	13,9	13,0	12,8	11,7	11,8	13,5	12,2	13,7
Copacabana	14,1	14,8	14,0	14,4	14,0	14,3	13,6	14,3	14,0	14,8	13,5	13,0	13,3	13,3	12,9
Bangu	10,0	10,2	10,2	10,1	10,0	10,3	10,4	10,1	10,7	11,1	11,1	10,8	10,3	11,2	10,8
Eng. Dentro	12,0	11,1	11,5	11,3	11,0	13,4	12,0	11,7	12,0	12,5	11,9	12,1	14,0	11,4	11,9
Gamboa	1,7	2,5	2,1	3,7	4,4	4,8	3,5	6,7	4,7	7,7	6,8	7,2	6,2	5,8	9,5
Deodoro	13,1	13,0	11,4	12,2	11,2	13,0	11,4	14,6	14,1	13,6	12,1	12,3	11,4	12,6	13,1
Recreio	5,4	6,4	5,9	5,7	6,1	5,5	5,9	5,4	5,9	5,8	6,1	6,0	6,4	5,5	5,9
Lagoa	6,5	6,5	5,0	5,8	5,8	5,9	5,5	6,5	6,1	6,6	5,8	6,0	6,3	6,6	6,8
Leblon	11,2	10,6	11,0	10,8	10,4	10,2	9,9	10,8	10,2	9,8	10,5	10,0	10,5	10,8	9,3
Ramos	21,4	23,4	21,8	20,2	19,3	18,0	8,0	14,7	15,2	13,8	17,3	17,6	15,4	15,0	12,7
Realengo	11,8	11,2	11,4	10,9	10,8	11,2	11,4	11,4	11,7	11,2	11,2	10,7	10,7	11,0	11,1
Santa Teresa	9,4	9,4	9,4	9,3	9,5	9,5	8,9	7,6	8,7	9,9	8,6	8,2	8,7	8,4	10,3
São Cristóvão	16,6	17,5	16,2	16,3	17,6	18,0	22,0	19,4	20,8	20,8	20,7	16,7	19,6	21,9	14,1
Sumaré	16,9	14,6	14,4	10,9	11,8	15,9	10,8	12,4	13,6	13,0	11,5	13,6	13,8	12,7	14,0
Tijuca	15,7	16,2	15,7	15,3	14,8	15,5	14,8	14,8	14,5	15,3	14,0	13,5	14,1	12,8	12,1
Maracanã	1,9	4,4	5,1	5,6	4,3	3,8	4,6	4,6	5,2	5,8	4,4	3,6	4,3	4,7	7,1
Urca	9,3	9,4	8,7	7,5	10,3	10,2	9,9	7,4	8,4	7,1	7,2	8,0	7,1	10,5	7,6

A taxa de mortalidade por DAC \geq 20 anos variou entre 2,0 a 8,4 óbitos por 1000 habitantes nos bairros do MRJ em 15 anos, exceto em Bonsucesso, que foi o bairro com maior média de mortalidade da série, com 22,8 óbitos por 1000 habitantes em 2001, sofrendo queda ao longo dos anos até 2015, onde manteve-se com 8,7 óbitos por 1000 habitantes. São Cristóvão teve aumento da mortalidade em 2007 mantendo-se na faixa de 10,4 óbitos por 1000 habitantes até 2014, e reduzindo para 6,5 óbitos por 1000 habitantes em 2015. Gamboa, Campo dos Afonsos, Maracanã, Recreio, Lagoa e Urca foram os bairros com menor taxa de mortalidade por DAC, variando entre 2,0 a 3,8 óbitos por 1000 habitantes (Quadro 6).

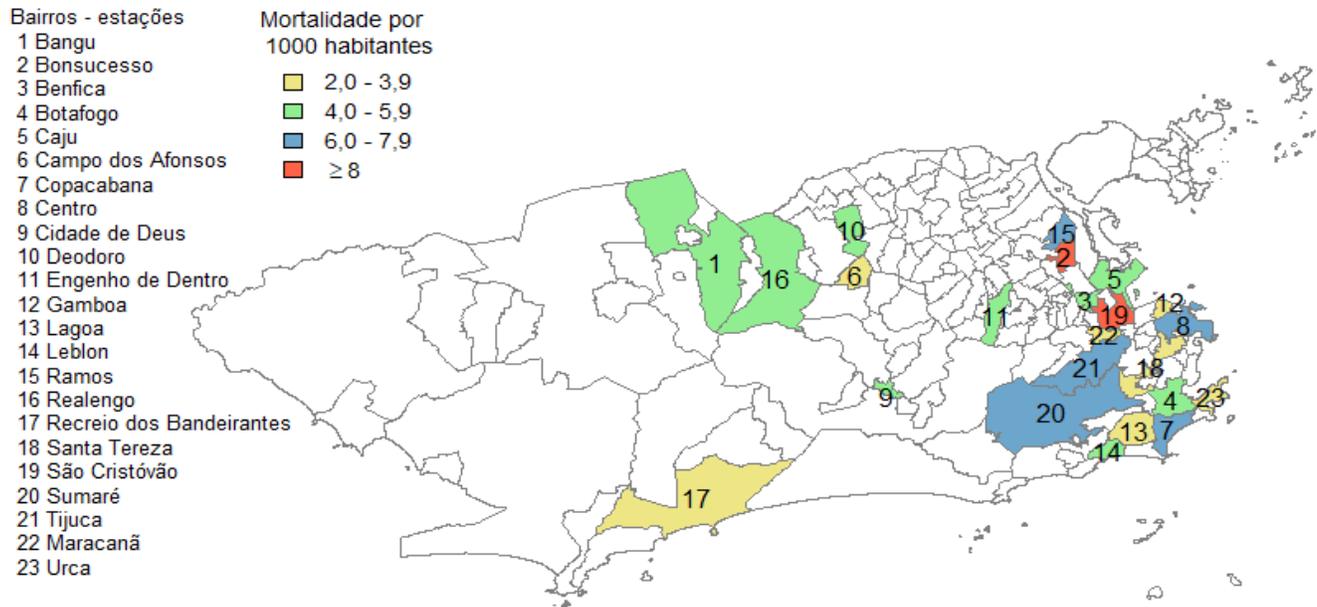
A taxa de mortalidade anual por DAC \geq 20 anos nos bairros do MRJ, esta apresentada no quadro 8.

Quadro 8- Taxa de mortalidade anual por DAC nos bairros do município do Rio de Janeiro de 2001 a 2015

Bairros	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Benfica	7,3	6,8	4,1	6,4	5,6	5,6	4,8	5,0	6,4	5,6	6,0	6,0	5,1	5,8	4,5
Bonsucesso	22,8	15,8	16,0	15,5	19,3	13,8	14,3	11,8	10,9	11,4	10,1	10,6	9,9	10,1	8,7
Botafogo	5,5	5,3	4,7	4,9	4,7	4,8	4,5	4,8	4,7	4,5	4,6	3,9	4,8	4,5	4,2
Caju	4,2	6,8	5,6	6,2	4,5	6,0	3,7	4,7	3,5	5,6	4,0	4,2	4,2	4,2	4,9
C. Afonsos	3,2	3,3	3,3	1,1	3,4	4,5	2,3	0,0	3,5	1,2	1,2	1,2	1,2	2,4	2,4
Centro	7,2	7,0	6,6	6,4	6,0	7,2	6,2	7,6	6,1	6,4	6,1	5,4	5,0	4,9	4,9
Cidade de Deus	4,6	6,3	6,0	5,1	5,2	4,9	4,8	6,0	6,6	6,3	5,5	5,4	5,4	5,3	6,1
Copacabana	7,2	7,7	6,9	7,2	7,3	7,0	6,5	6,9	6,9	7,0	6,4	6,0	6,2	6,1	6,1
Bangu	3,3	3,7	3,7	3,8	3,7	3,9	3,8	4,4	5,0	5,0	5,4	4,5	4,6	5,0	4,8
Eng. Dentro	5,6	5,3	5,3	5,6	4,8	6,2	5,4	5,8	6,0	6,4	5,1	5,6	6,9	4,9	6,0
Gamboa	0,7	1,0	0,9	1,3	2,3	2,3	1,2	2,6	2,4	4,1	2,7	1,9	2,7	1,7	3,4
Deodoro	4,6	5,6	4,9	5,3	4,3	5,4	4,1	6,0	7,8	6,2	5,9	5,6	5,6	6,0	6,5
Recreio	2,3	2,7	2,7	2,4	2,3	2,3	2,6	2,5	2,7	2,6	2,6	2,7	2,5	2,3	2,4
Lagoa	2,7	2,8	2,3	2,6	2,8	2,8	2,2	2,6	3,2	3,3	2,8	2,6	2,6	3,0	3,4
Leblon	6,0	5,0	5,4	4,8	4,8	4,6	4,8	5,1	5,0	5,1	5,3	4,8	5,3	4,3	4,3
Ramos	9,1	8,8	8,3	8,1	7,7	7,7	3,6	7,0	7,0	7,4	7,4	7,6	8,0	6,7	6,0
Realengo	4,4	4,2	4,5	4,3	4,0	4,3	4,2	5,1	5,6	5,3	5,0	4,8	5,2	4,5	5,0
Santa Teresa	4,2	3,8	4,1	4,1	4,5	4,2	3,5	3,4	3,8	4,3	4,1	3,5	3,9	3,7	4,3
São Cristóvão	7,5	7,6	7,3	6,7	7,8	7,9	10,4	9,5	9,1	10,3	9,5	8,1	8,2	9,9	6,5
Sumaré	7,6	6,0	5,8	4,7	6,2	7,5	4,4	5,6	6,1	6,5	4,7	6,0	7,2	5,6	6,4
Tijuca	8,0	8,2	7,7	7,5	7,1	7,7	7,1	7,3	6,9	7,3	6,5	6,4	7,1	5,9	5,7
Maracanã	0,8	2,6	2,4	2,6	2,0	1,8	2,4	2,6	2,4	2,9	2,1	2,0	1,9	2,4	3,2
Urca	3,2	4,7	4,5	3,3	4,9	4,7	4,3	3,7	3,3	2,5	3,1	3,2	4,2	5,1	3,3

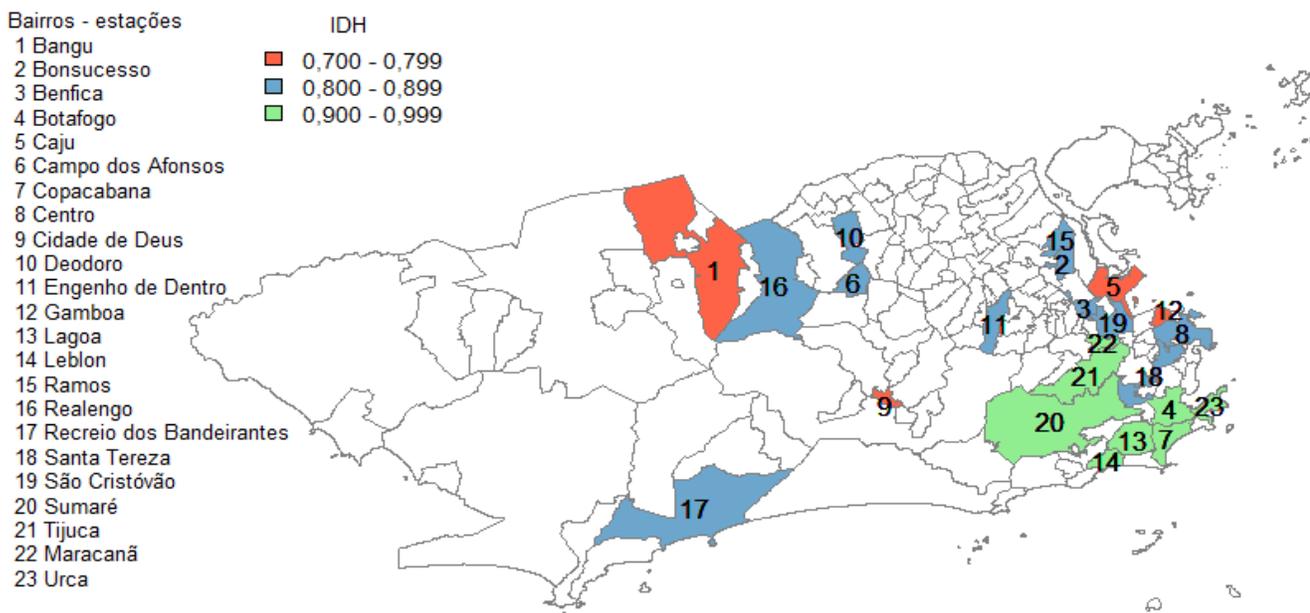
A figura 8 apresenta a distribuição da taxa de mortalidade por DAC na população \geq 20 anos, por 1000 habitantes nos bairros do MRJ, observa-se que Bonsucesso e São Cristóvão possuem a maior taxa de mortalidade em 15 anos.

Figura 8- Distribuição da taxa de mortalidade por doenças do aparelho circulatório nos bairros do município do Rio de Janeiro entre os anos de 2001 a 2015



A figura 9 apresenta a distribuição do IDH dos bairros no MRJ, evidenciando que os bairros com IDH acima de 0,900 ficam localizados na zona sul na cidade.

Figura 9- Distribuição do índice de desenvolvimento humano nos bairros do município do Rio de Janeiro



8.4 Dados sociodemográficos dos óbitos no município do Rio de Janeiro de 2001 a 2015

Os óbitos ≥ 20 anos ocorridos nos bairros do MRJ em 15 anos foram descritos socio demograficamente por todas as causas e por DAC, dividido por sexo, estado civil e escolaridade entre as faixas etárias de 20 a 49 anos, 50 a 69 anos e ≥ 70 anos (quadro 9).

O estado civil com maior número de óbitos foi a união estável com 61.560. A razão de óbitos por todas as causas para o estado civil na faixa etária ≥ 70 foi 4,5 vezes maior (106.496), comparado aos indivíduos na faixa etária entre 20 a 49 anos (23.518). Observa-se um grande contraste sociodemográfico nos óbitos totais em solteiros do sexo masculino na faixa etária entre 20 a 49 anos (53%) comparado a mulheres solteiras (22,1%) na mesma faixa etária. Os solteiros na faixa etária de 20 a 49 do sexo masculino tem aproximadamente o dobro do número de óbitos (12.473) da faixa etária ≥ 70 anos também do sexo masculino (7.893)

O número de óbitos por todas as causas foi 2,5 vezes maior em indivíduos com escolaridade entre 1 a 7 anos (79.670) comparado aos indivíduos com escolaridade ≥ 12 anos. A escolaridade com maior número de óbitos por todas as causas foi no grupo entre 1 a 7 anos de escolaridade, sendo maior nos homens na faixa etária entre 20 a 49 anos de 8.342 (39,3%) e nas mulheres na faixa etária ≥ 70 anos 28.488 (30%). O sexo feminino representou 51% dos óbitos por todas as causas.

Para os óbitos por DAC, a faixa etária de maior representatividade por estado civil foi ≥ 70 anos com (54.487), com a razão de óbitos entre os indivíduos ≥ 70 anos, de 11,3 vezes maior comparada aos indivíduos entre 20 a 49 anos (4.819). OS viúvos foram o estado civil de maior predominância (28.991), comparado aos solteiros com (22.711). O maior percentual de óbitos foi entre as viúvas do sexo feminino ≥ 70 anos (37,8%) e os solteiros do sexo masculino entre 20 a 49 anos (37,3%). O maior número de óbitos por DAC por escolaridade foi observado naqueles com 1 a 7 anos de estudo (35.206), com predomínio no sexo feminino na faixa etária ≥ 70 anos (30,8%) e masculino na faixa etária de 20 a 49 anos (30,2%). O sexo feminino representou 54% dos óbitos por DAC (quadro 9).

Quadro 9- Variáveis sociodemográficas por tipo de óbito ≥ 20 anos em 15 anos

ÓBITOS TOTAIS							
Estado Civil	20 a 49 anos		50 a 69 anos		≥ 70 anos		Total
	Masc n° (%)	Fem n° (%)	Masc n° (%)	Fem n° (%)	Masc n° (%)	Fem n° (%)	
Solteiro	12473 (53,1)	5201 (22,1)	11428 (23,4)	9116 (18,7)	7893 (7,4)	14562 (13,7)	60673
União	3277 (13,9)	2147 (9,1)	14759 (30,2)	7296 (14,9)	25346 (23,8)	8735 (8,2)	61560
Estável							
Viúvo	133 (0,6)	287 (1,2)	1803 (3,7)	4437 (9,1)	10449 (9,8)	39511 (37,1)	56620
Total	23.518		48.839		106.496		
Escolaridade							
Nenhuma	498 (2,3)	310 (1,5)	940 (2,1)	1359 (3,1)	1643 (1,7)	5330 (5,7)	10080
1 a 7 anos	8342 (39,3)	3530 (16,6)	12616 (28,8)	9939 (22,7)	16755 (17,8)	28488 (30,2)	79670
8 a 11 anos	3551 (16,7)	1764 (8,3)	5774 (13,2)	3981 (9,1)	8616 (9,1)	13108 (13,9)	36794
≥ 12 anos	1937 (9,1)	1303 (6,1)	5729 (13,1)	3399 (7,8)	11988 (12,7)	8323 (8,8)	32679
Total	21.235		43.737		94.251		
ÓBITOS DAC							
Estado Civil	20 a 49 anos		50 a 69 anos		≥ 70 anos		Total
	Masc n° (%)	Fem n° (%)	Masc n° (%)	Fem n° (%)	Masc n° (%)	Fem n° (%)	
Solteiro	1796 (37,3)	1392 (28,9)	4691 (22,1)	3803 (17,9)	3726 (6,8)	7303 (13,4)	22711
União	847 (17,6)	650 (13,5)	6666 (31,4)	3154 (14,9)	12986 (23,8)	4540 (8,3)	28843
Estável							
Viúvo	36 (0,7)	98 (2,0)	836 (3,9)	2089 (9,8)	5310 (9,7)	20622 (37,8)	28991
Total	4.819		21.239		54.487		
Escolaridade							
Nenhuma	60 (1,4)	69 (1,6)	367 (1,9)	609 (3,2)	764 (1,6)	2721 (5,6)	4590
1 a 7 anos	1286 (30,2)	1034 (24,3)	5294 (28,1)	4576 (24,3)	8173 (17,0)	14843 (30,8)	35206
8 a 11 anos	593 (13,9)	479 (11,3)	2602 (13,8)	1637 (8,7)	4445 (9,2)	6702 (13,9)	16458
≥ 12 anos	414 (9,7)	322 (7,6)	2573 (13,7)	1187 (6,3)	6273 (13,0)	4256 (8,8)	15025
Total	4.257		18.845		48.177		

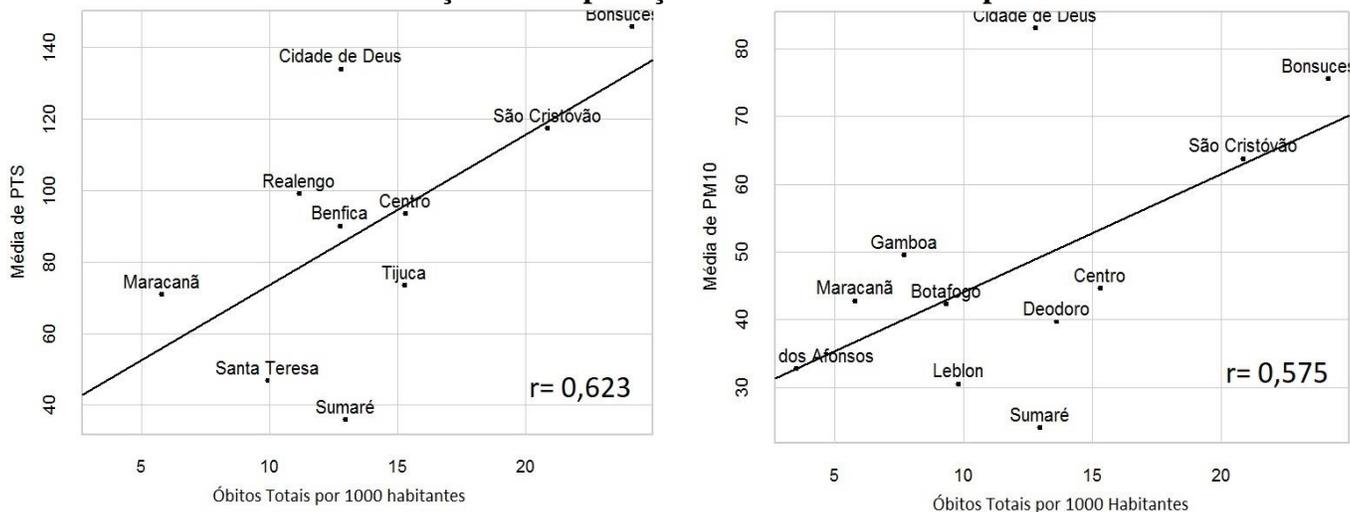
8.5 Correlação entre poluição do ar e mortalidade por todas as causas e doenças do aparelho circulatório nos bairros do município do Rio de Janeiro

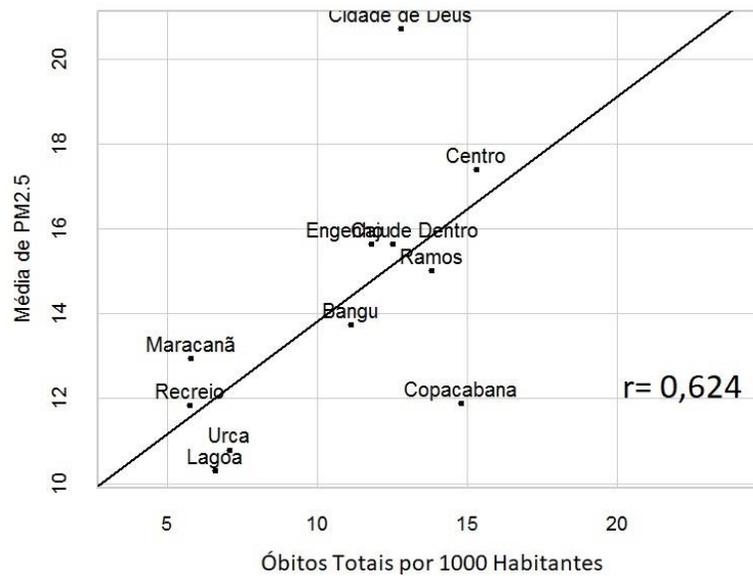
O gráfico 5a apresenta as correlações entre cada uma das frações de PTS, PM₁₀ e PM_{2,5} e a mortalidade por todas as causas. Observa-se que, nos bairros com maiores concentrações de particulados, houve maior mortalidade por todas as causas. A correlação positiva mais forte foi entre a mortalidade por toda as causas e as frações de PM_{2,5} ($r= 0,624$). As frações de PTS e PM₁₀ tiveram correlação positiva e moderada com a mortalidade por todas as causas ($r= 0,623$, $0,575$,) respectivamente.

Os bairros de Bonsucesso e São Cristóvão, demonstraram as maiores concentrações de PTS e PM₁₀, estando acima de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente, e também os maiores números de óbitos (acima de 20 por 1000 habitantes). Nos bairros com menores concentrações de PTS e PM₁₀, vistos no Maracanã, Botafogo, Leblon, Santa Tereza e Campo dos Afonsos, o número de óbitos ficou abaixo de 10 por 1000 habitantes. Nos bairros de Cidade de Deus, Centro, Ramos, Bangu, Copacabana e Engenho de Dentro, a mortalidade por todas as causas foi de 10 a 15 óbitos por 1000 habitantes.

Cidade de Deus foi o bairro com maior concentração de PM_{2,5} (acima de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e mortalidade por todas as causas acima de 10 por 1000 habitantes. Maracanã, Recreio, Urca e Leblon apresentaram as menores concentrações de PM_{2,5} e menor mortalidade (entre 5 a 10 óbitos por 1000 habitantes) conforme gráfico 5a.

Gráfico 5a- Correlações entre poluição do ar e mortalidade por todas as causas





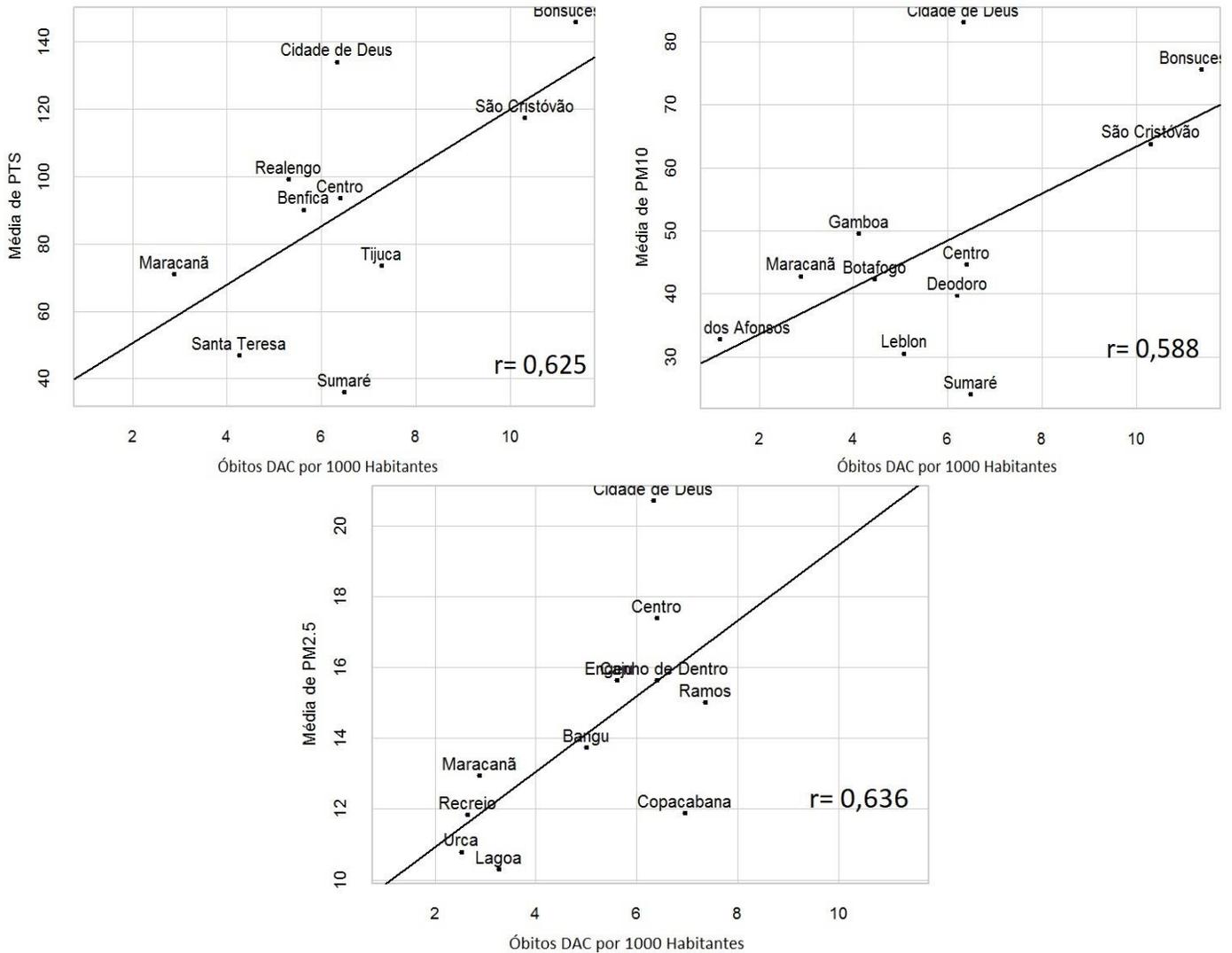
O gráfico 5b apresenta as correlações entre cada uma das frações de PTS, PM₁₀ e PM_{2,5} e a mortalidade por DAC. O PM_{2,5} foi o poluente que demonstrou correlação mais forte com a mortalidade por DAC.

As correlações entre os poluentes PTS, PM₁₀ e PM_{2,5} e a mortalidade por DAC, foram positivas média e média forte ($r = 0,625$; $0,588$ e $0,636$), respectivamente.

Os bairros de Bonsucesso e São Cristóvão, demonstraram as maiores concentrações de PTS e PM₁₀, estando acima de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente e número de óbitos acima de 10 por 1000 habitantes. Nos bairros com menores concentrações de PTS e PM₁₀, como Botafogo, Leblon, Sumaré, Santa Tereza, Gamboa, Benfica, Realengo e Campo dos Afonsos, o número de óbitos por DAC ficou entre 4 a 8 por 1000 habitantes. Maracanã e Campo dos Afonsos tiveram as menores concentrações de PTS e PM₁₀ ($< \text{que } 40$ e $< \text{que } 60 \mu\text{g}/\text{m}^3$), e mortalidade por DAC abaixo de 4 óbitos por 1000 habitantes.

Nos bairros de Cidade de Deus, Centro, Ramos, Copacabana e Engenho de Dentro a mortalidade por DAC foi de 6 a 8 óbitos por 1000 habitantes, e as concentrações de PM_{2,5} variaram de 12 a $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Maracanã, Recreio, Urca e Lagoa apresentaram os menores números de óbitos (< 4 óbitos por 1000 habitantes) e níveis de PM_{2,5} entre 10 a $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (gráfico 5b).

Gráfico 5b- Correlações entre poluição do ar e mortalidade por doenças do aparelho circulatório



8.6 Correlação entre o índice de desenvolvimento humano e a poluição do ar nos bairros do município do Rio de Janeiro

A distribuição do IDH nos bairros pode ser identificada por três grupos diferentes numa divisão ordinal e espacial do conjunto de variáveis que incluem renda, educação e expectativa de vida. O primeiro grupo é formado por oito bairros com $IDH \geq 0,900$: Sumaré, Tijuca, Maracanã, Botafogo, Urca, Copacabana, Lagoa e Leblon.

O segundo grupo, com IDH entre 0,800 e 0,899 é formado por 11 bairros: Benfica, São Cristóvão, Realengo, Tijuca, Campo dos Afonsos, Deodoro, Engenho de Dentro, Ramos, Bonsucesso, Santa Teresa, Centro e Recreio.

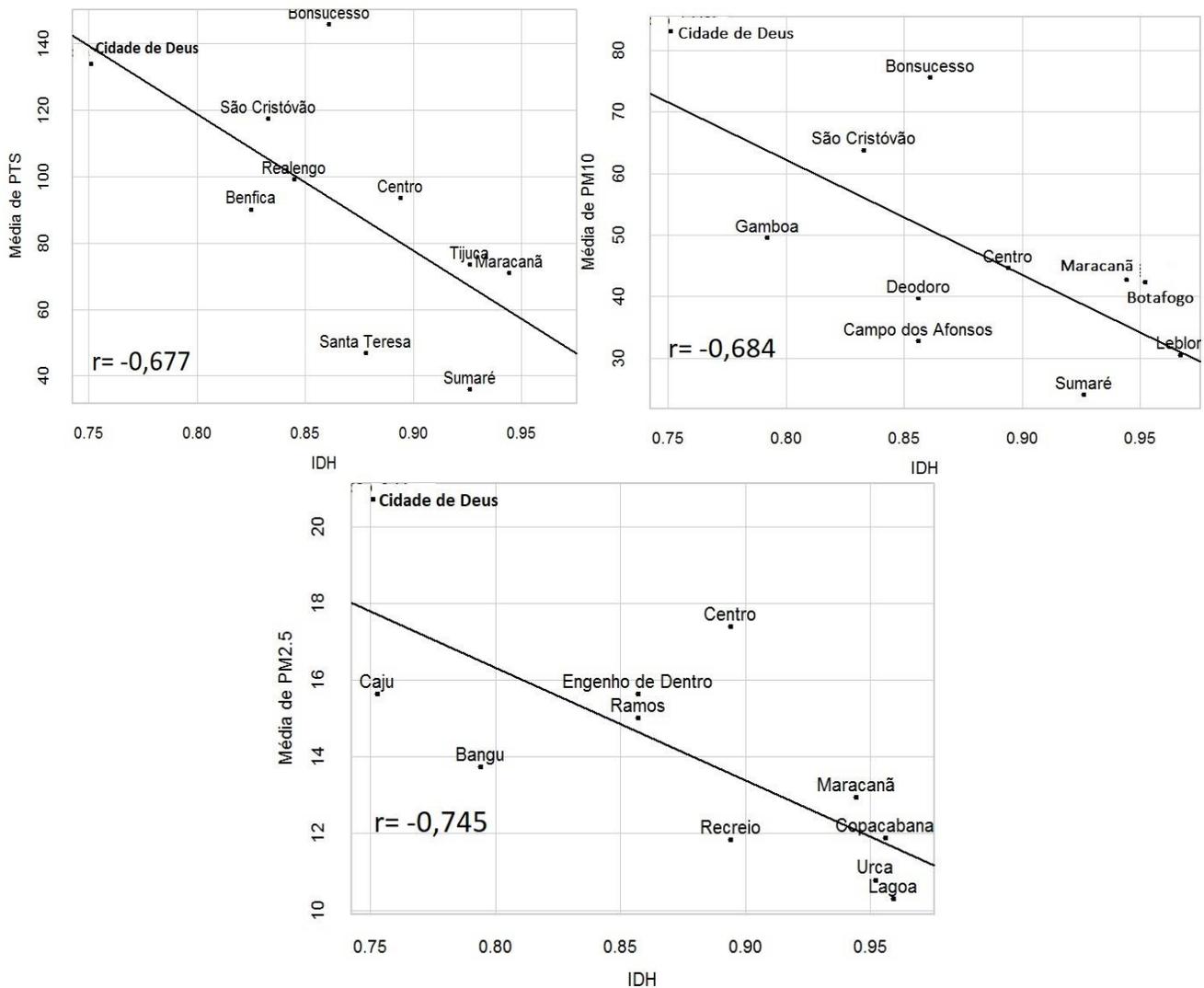
O terceiro grupo é formado por 04 bairros com IDH menor 0,799: Cidade de Deus, Caju Gamboa e Bangu.

A correlação entre o IDH e a poluição dos bairros foi inversa, e média para as partículas (PTS, PM₁₀) e forte para PM_{2,5}. Nos bairros com maior IDH as médias das concentrações das diferentes frações de particulados foram menores. A correlação entre o IDH e as frações de PTS, PM₁₀, PM_{2,5} dos bairros foi ($r = -0,677$; $-0,684$; e $-0,745$), respectivamente.

OS bairros de Cidade de Deus e São Cristóvão apresentaram altas concentrações médias anuais de PTS e PM₁₀ e baixos IDH. Botafogo, Leblon e Sumaré demonstraram baixas concentrações destes particulados e IDH acima 0,900.

O PM_{2,5} foi o particulado de correlação inversa mais forte com IDH dos bairros, na Lagoa, Copacabana, Urca e Maracanã foram demonstradas concentrações abaixo de 14 µg/m³ e IDH superiores 0,950. Cidade de Deus, Caju e Bangu demonstram concentrações acima de 14 µg/m³ e IDH abaixo de 0,800 (gráfico 6).

Gráfico 6- Correlações entre índice de desenvolvimento humano e a poluição do ar nos bairros do município do Rio de Janeiro



8.7 Correlação entre índice de desenvolvimento humano e a mortalidade por todas as causas e doenças do aparelho circulatório

As correlações entre o IDH e mortalidade por todas as causas, e por DAC nos bairros do MRJ na população ≥ 20 anos foram inversas e fracas ($r = -0,203$ e $-0,212$), respectivamente. Observa-se que, quanto menor o IDH do bairro, maior a mortalidade por todas as causas e por DAC (gráfico 7).

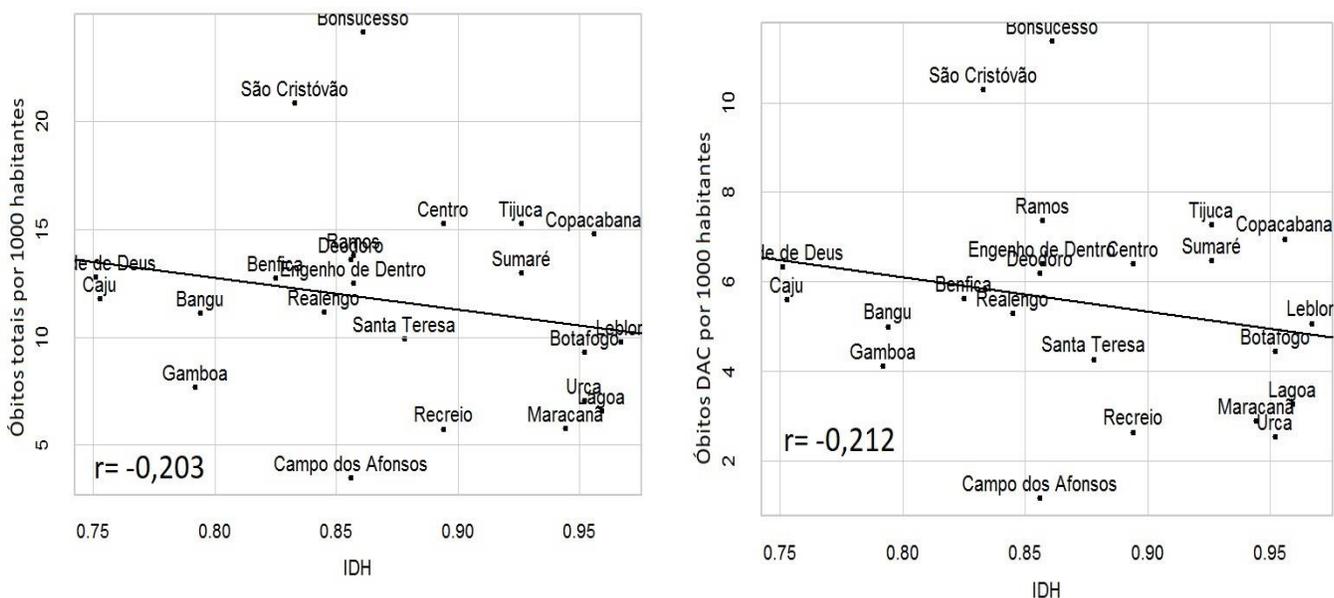
Bonsucesso e São Cristóvão tem IDH na faixa de 0,833 a 0,861, nestes bairros foram encontrados mortalidade por todas as causas superior a 20 óbitos por 1000 habitantes e acima de 10 óbitos por 1000 habitantes por DAC.

Cidade de Deus, Caju, Bangu e Gamboa possuem IDH inferior a 0,800 e mortalidade por todas as causas entre 10 a 15 por 1000 habitantes. Botafogo, Leblon, Urca, Lagoa e Maracanã possuem IDH superior a 0,900 e mortalidade inferior a 10 por 1000 habitantes.

A mortalidade por DAC manteve uma faixa entre 2 a 8 óbitos por 1000 habitantes, com exceção de Bonsucesso e São Cristóvão que tiveram mortalidade superior a 10 óbitos por 1000 habitantes com IDH entre 0,861 a 0,833.

Cidade de Deus, Caju e Bangu são bairros com IDH inferior a 0,800, e mortalidade por DAC entre 4 a 7 óbitos por 1000 habitantes. Botafogo, Leblon, Urca, Lagoa e Maracanã foram os bairros com maior IDH e mortalidade por DAC inferior a 5 óbitos por 1000 habitantes

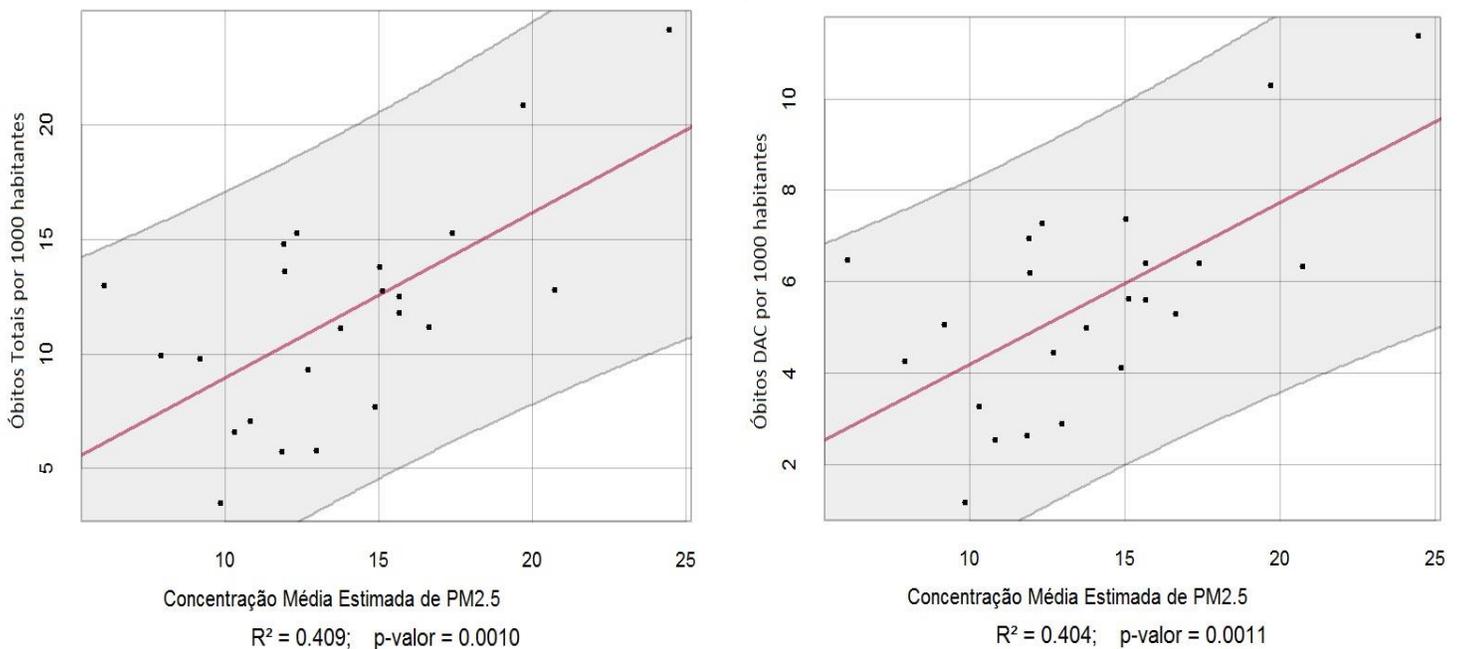
Gráfico 7- Correlações entre índice de desenvolvimento humano e a mortalidade por todas as causas e doenças do aparelho circulatório



8.8 Análise de Regressão linear

Foi utilizada estimativas de concentrações de $PM_{2.5}$ para os óbitos por todas as causas e por DAC por 1.000 habitantes para cada bairro observado. O modelo utilizou análise de regressão linear simples normal, a reta vermelha representa o ajuste do modelo e a região em cinza o intervalo de 95% de confiança. Observa-se que o aumento das concentrações de $PM_{2.5}$ eleva o número de óbitos para todas as causas e também para DAC. O coeficiente de determinação (R^2) das variáveis resposta explica 40,9% dos óbitos por todas as causas e 40,4% dos óbitos por DAC, como tendo relação com a partícula $PM_{2.5}$. A significância da regressão mostrou em ambos os ajustes significância ao nível de 5% (gráfico 8).

Gráfico 8- Dispersão de óbitos totais e óbitos por doenças do aparelho circulatório x concentração de $PM_{2.5}$



9. DISCUSSÃO

A monitoração dos poluentes no meio urbano é uma forma de avaliar a qualidade do ar, a fixação das estações de monitoramento leva em consideração as regiões da cidade com fontes variadas de poluição, como automóveis, indústrias e construções, desta forma as políticas de gestão podem ser direcionadas ao controle ambiental nos bairros⁹⁸. A rede de estações tem sido ampliada ao longo dos anos de acordo com o crescimento e as mudanças nas características dos bairros⁹⁹.

A distribuição espacial dessas estações em diferentes bairros do MRJ amplia o conhecimento sobre as concentrações de MP no ar, especialmente nos bairros que contrastam em topografia, clima e dinâmica urbana, como observado em São Cristóvão na zona central da cidade, caracterizada como área comercial-industrial e Sumaré na zona norte com característica serrana. Os relatórios da prefeitura do RJ vem informando sobre grandes variações de concentrações de particulados em diferentes regiões da cidade, corroborando com nossos achados⁹⁹.

A qualidade do ar demonstrou alta variabilidade, com oscilações das concentrações anuais, mensais e diárias das diferentes frações de MP nos diferentes bairros do MRJ ao longo dos 15 anos. Essas variações são atribuídas a fatores meteorológicos e climáticos, alternância entre as estações do ano, assim como influências ambientais no entorno de cada bairro, podendo ser bem contrastado com o que ocorre entre os bairros de Cidade de Deus, cercado por intenso tráfego veicular em seu entorno e ruas ainda sem pavimentação, com Sumaré, localizado exclusivamente na floresta da Tijuca a 700 metros de altitude com baixo fluxo veicular⁹⁷.

As concentrações médias anuais e diárias de MP em todas as frações foram ultrapassadas em quase todos os bairros, violando os PF estabelecidos pelo CONAMA, com exceção do PTS anual em Santa Tereza, Sumaré, Tijuca e Maracanã. Os bairros com as maiores concentrações médias de todos os anos para qualquer dos particulados foram Cidade de Deus, Bonsucesso, São Cristóvão e Centro, chegando a alcançar concentrações até 300% acima do PF anual para PM₁₀. As concentrações máximas alcançadas em 24h em Cidade de Deus ultrapassaram em 28%, 256 % e 528% os PF diários para PTS, PM_{2.5}, e PM₁₀, respectivamente.

A concentração média nos 15 anos esteve acima do padrão anual recomendado em 55% dos bairros que analisaram o PTS, e em 100% dos bairros que analisaram o PM₁₀ e o PM_{2.5}. Isto

representa uma elevada soma de carga de poluição do ar por MP ao longo de 15 anos na população dos bairros. De acordo com o CONAMA, os índices de qualidade do ar que ultrapassam os níveis do PI, podem desencadear efeitos em indivíduos suscetíveis como idosos, crianças, pneumopatas e cardiopatas¹⁸. Portanto, ao longo de 15 anos, os habitantes do MRJ têm convivido com qualidade do ar incompatível com a saúde, já que a constituição de 1988 estabeleceu que a saúde é um “bem público” e direito de todos com acesso universal¹⁰⁰.

Os padrões de qualidade do ar preconizados pelo Conama desde 2018, já eram praticados em países da Europa e países de alta renda desde 2005, quando OMS instituiu novos valores de referência para qualidade do ar⁷². No Brasil, havia-se o conhecimento dos novos padrões, porém sem resolução para adequação dos novos padrões internacionais. Essa defasagem temporal permitiu por muitos anos, concentrações de MP prejudiciais à saúde da população do MRJ.

Desde de 1989 a Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA), alertava para a má qualidade do ar no RJ, revelando violações de 71% dos bairros monitorados no estado¹⁰¹. Nesta época as estações de Bonsucesso e São Cristóvão já mostravam violações das concentrações de particulados, indicando um problema antigo e recorrente até os dias atuais¹⁰¹.

As altas concentrações de MP nestes bairros, pode ser explicada pelo dinamismo urbano causado pelo grande número de estabelecimentos comerciais e principalmente o intenso fluxo de veículos particulares e coletivos, e principalmente por veículos pesados movidos a diesel que contribuem para alta carga de partículas em suspensão nestes bairros⁹⁸.

Segundo a FEEMA, a menor concentração de MP foi encontrada em Santa Teresa, corroborando com nossos achados, já que Sumaré com a menor concentração de poluentes, ainda não era monitorado¹⁰¹.

Apesar do grande número de descumprimentos quanto às concentrações dos particulados nos bairros, 78% deles demonstraram reduções das concentrações de poluentes ao longo dos anos. As quedas mais expressivas ocorreram para o PM₁₀, seguida do PTS. De acordo com Russo essas reduções são decorrentes de planos urbanísticos e reformulações de áreas onde foram observadas outrora reduções de poluentes⁹⁸. Segundo Rodrigues *et al.* a redistribuição da malha viária urbana, a inserção de área verde nos bairros e a melhoria socioeconômica da população acarretou redução dos poluentes no meio urbano ao longo dos anos no MRJ⁸³.

As menores concentrações de PM_{2,5} especialmente em bairros da zona sul do Rio de Janeiro, como Copacabana, Lagoa e Urca, pode ser explicada pela menor circulação de veículos

a diesel e pela frota veicular mais moderna nos bairros da zona sul, comparado com o grupo das estações localizadas em bairros ao longo de rodovias como avenida Brasil e linha vermelha, uma vez que este poluente relaciona-se diretamente com a proximidade de vias de grande circulação⁹⁸. A série histórica de PM_{2.5} foi a de menor tempo (2010 a 2015), devido ao Brasil adotar equipamento de monitorização deste particulado recentemente em 2009¹⁰².

A sazonalidade mensal demonstrou que as concentrações de MP nos bairros sofrem influência das estações do ano, no período do inverno as concentrações de MP nas três diferentes frações aumentam em relação as outras estações do ano. Esses achados corroboram com o estudo de Santos *et al.* que também encontrou aumento das concentrações de PM₁₀ no inverno numa série histórica na cidade de São Paulo¹⁰³.

Observando as concentrações de MP pelo dia da semana, ficou evidente que as quarta-feira e sexta-feira foram os dias mais poluídos. Segunda-feira foi o dia da semana com menores concentrações de MP. Nos dias de final de semana (sábado e domingo) foram encontradas as menores concentrações de particulados, sendo o domingo o dia de menor concentração. Esse comportamento foi observado nas três frações de poluentes analisados e de acordo com Fernandes, o aumento das concentrações dos poluentes nos dias da semana, seguem o comportamento da quantidade de veículos que transitam no local, e os dias de maior poluição correspondem aos dias de maior intensidade de fluxo de veículos, há também o comportamento de utilizar veículos próprios para deslocamento para o trabalho, em vez do transporte coletivo em dias próximos ao final de semana¹⁰⁴.

Em relação aos óbitos nos bairros do MRJ em 15 anos, observa-se que a distribuição populacional não é uniforme, os bairros com maior área geográfica apresentam maior densidade populacional, conforme verificado em Bangu, Tijuca, Realengo e Copacabana com populações que variaram de 170.855 a 126.512 habitantes. Nestes bairros o número de óbitos totais e por DAC foi de até 4,7 e 5,0 vezes maiores, respectivamente, comparado aos bairros com densidades populacionais intermediárias, como em Ramos, Bonsucesso e São Cristóvão com populações que variaram de 30.949 a 14.581 habitantes. Desta maneira, o número de óbitos por bairro foi taxado para mortalidade por 1000 habitantes, sendo utilizado o número de óbitos anual do bairro dividido pela população do respectivo bairro.

As taxas de mortalidade por todas as causas e por DAC nos bairros de Ramos, Bonsucesso e São Cristóvão comparada com a dos bairros de maiores densidades populacionais

como Bangu, Tijuca e Realengo e Copacabana, demonstraram que, no primeiro grupo as taxas de mortalidade foram 2,2 vezes maiores por óbitos por todas as causas e, 3,0 vezes maiores por óbitos por DAC, mesmo com a densidade populacional deste grupo de bairros sendo menor.

Os óbitos por DAC em 15 anos representaram 45% dos óbitos totais nos 23 bairros do Rio de Janeiro, posicionando as DAC como a maior causa de óbitos¹⁰⁵.

Nos bairros de Campo dos Afonsos, Gamboa e Urca foram encontrados os menores números de óbitos por todas as causas e por DAC. Nestes bairros, também se observam as menores densidades populacionais, com variação de 860 a 8.985 habitantes.

A queda da mortalidade total e por DAC por 1000 habitantes foi discreta nos bairros pesquisados em 15 anos, este achado corrobora com outros estudos estaduais e nacionais onde foram encontrados importantes reduções do número de óbitos nas regiões Sudeste e Sul, e também em países de alta renda³⁰. A queda da mortalidade por DAC no Brasil já vem sendo relatada por Mansu *et al.* desde 1990 e reflete transição epidemiológica, o que também foi observado neste estudo em menor proporção para o número de indivíduos e pela microlocalização utilizando bairros do MRJ¹⁰⁶.

Em parte, essa queda ao longo dos anos é reflexo da melhoria na qualidade dos serviços de assistência à saúde com cobertura assistencial, expansão das equipes de saúde da família nos bairros e também melhor escolaridade da população. A junção destes fatores, mesmo havendo aumento da exposição à poluição do ar, pode reduzir o risco de mortalidade por DAC¹⁰⁷.

A idade é uma outra variável que ajuda a explicar o menor número de óbitos e a maior longevidade em bairros de maior IDH, conforme observa-se em bairros com IDH superior a 0,900. Nestes bairros a média de idade dos óbitos ocorreu na faixa etária de 75 anos, já nos bairros com IDH inferior a 0,800 a faixa etária média dos óbitos foi de 65 anos, uma diferença de 10 anos de sobrevida. Esse achado converge com um estudo europeu que observou países como Portugal, Espanha e Itália, em regiões com menor nível socio econômico, a sobrevida em idosos foi menor, comparada com as regiões com melhor nível socioeconômico¹⁰⁸.

A média da idade dos óbitos por todas as causas foi 4,0 anos menor, comparado aos óbitos por DAC, uma explicação para esse achado, é que nos óbitos ocorridos por todas as causas, estão contidas as mortes por todos os tipos de causas como: violência, acidentes e outras, o que abrevia o tempo de vida. Segundo Rivero, a análise de óbitos que incluem todas as causas, reduz a expectativa de vida destes grupos, já que o número de homicídios no RJ, só pode ser

comparado às mortes causadas por guerras em diferentes épocas e países do mundo. A pobreza e a desigualdade social são fatores que levam os indivíduos a residirem em moradias precárias, que associam-se com aumento do número de mortes violentas, de acordo com análise de georreferenciamento de vítimas de homicídios¹⁰⁹.

Segundo Gomes *et al.*, acredita-se que o estado civil também tenha relação na determinação da mortalidade, o exame dos fatores associados à longevidade e mortalidade em subgrupos da população ≥ 20 anos é uma importante investigação¹¹⁰. O número total de óbitos por estado civil não demonstrou diferenças por todas as causas e por DAC, porém, na faixa etária ≥ 70 anos, o número de óbitos por todas as causas foi 2,1 vezes superior a faixa etária de 50 a 69 anos, e 4,5 maior que da faixa etária de 20 a 49 anos. Nos óbitos por DAC essa diferença foi ainda maior, na faixa etária ≥ 70 anos, o número de óbitos foi 2,5 vezes superior a faixa etária de 50 a 69 anos, e 11,3 vezes maior que a faixa etária de 20 a 49 anos. Na faixa etária ≥ 70 anos os óbitos em viúvos em ambos os sexos foi 15% superior aos óbitos na mesma etária em indivíduos de união estável. Os óbitos em mulheres viúvas ≥ 70 anos foi 13% maior em relação as mulheres de união estável.

Em países de alta renda, os indivíduos de união estável apresentam maior longevidade quando comparados aos solteiros e viúvos, essas diferenças são maiores entre os homens e menores com o avançar da idade. A proteção relacionada a união estável pode ser explicada por um conjunto de fatores que levam a melhorias da vida em união, como: ambientes frequentados, maior renda, aspectos sociais e psicológicos, contribuindo para que o indivíduo de união estável tenha maior longevidade do que indivíduos viúvos ou solteiros. Socialmente a união estável é um processo seletivo, que elege os indivíduos mais saudáveis tanto física quanto psicologicamente a algum tipo de união¹¹⁰.

A mortalidade por todas as causas em idosos viúvos na faixa etária ≥ 70 anos foi 24% maior comparada a faixa etária de 20 a 49 anos de união estável, o que corrobora com o estudo de Gomes *et al.* que mostrou que os idosos viúvos apresentam taxas de mortalidade 72,6% maiores comparados aos não idosos casados, e que ser viúvo é um fator independente associado à mortalidade, mesmo após serem incluídas as variáveis que representam condições de saúde, aspectos econômicos e sociais e de estilo de vida¹¹⁰.

Até o século passado a escolaridade era uma dimensão socioeconômica pouca relacionada a mortalidade na população adulta. Hoje, sabe-se que o maior tempo de escolaridade proporciona

maior renda, melhor acesso aos serviços de saúde, melhor qualidade de alimentação, maiores espaços residências com melhor localização de moradia e áreas menos poluídas^{111,112}.

Sobre a escolaridade, o grupo com 1 a 7 anos de estudo foi o que concentrou o maior número de óbitos por todas as causas e por DAC, demonstrando que, menos tempo de escolaridade está associado a menor expectativa de vida. Os óbitos por todas as causas e por DAC em indivíduos com escolaridade entre 8 a 11 anos e \geq de 12 anos em ambos os sexos, mesmo somados (36.794 e 32.679) e (16.458 e 15.025), foram menores que o número de óbitos nos indivíduos de escolaridade entre 1 a 7 anos (79.670) e (35.206). Esses achados corroboram com dois estudos, sendo o primeiro americano, que descreve um crescimento da mortalidade em grupos populacionais menos escolarizados \geq 25 anos, e em contrapartida, aumento da expectativa de vida em indivíduos com maior escolaridade. Um segundo estudo realizado em 11 países europeus de alta renda, revelou diferença na mortalidade masculina por nível de educação, em países como a Dinamarca e Áustria a taxa de mortalidade do grupo com menor educação foi 37% e 86%, respectivamente maior que o grupo mais escolarizado.

O número de óbitos levando em consideração a escolaridade por sexo mostrou que, o sexo masculino teve maior número de óbitos com escolaridade $<$ a 7 anos de estudo, a exceção ocorreu apenas na faixa etária \geq 70 anos no sexo feminino. O estudo de Silva *et al.* (2016) também investigou essas diferenças na mortalidade por escolaridade, e conclui que o sexo masculino sem instrução ou apenas com ensino fundamental incompleto teve uma probabilidade de morte 2,48 maior que aqueles com ensino superior¹¹³.

A mortalidade em mulheres com escolaridade $<$ de 8 anos de estudo foi 22,6% superior as mulheres com mais anos de escolaridade. O estudo brasileiro de Perez em 2010, mostrou diferenças de mortalidade ainda maiores, com 70% de mortalidade em mulheres com escolaridade entre 1 e 8 anos¹¹⁴. Segundo, Ribeiro em países em desenvolvimento, um ano adicional de escolaridade está associado a 5% de redução no risco de morte por qualquer causa¹¹².

A relação entre os óbitos por todas as causas com as frações de MP mostrou que, nos bairros de maiores concentrações dos particulados PTS e PM₁₀ o número de mortes foi superior a 20 óbitos por 1000 habitantes, com destaque para São Cristóvão e Bonsucesso. O mesmo ocorre entre a relação dos MP e as DAC, com número de óbitos acima de 10 por 1000 habitantes. As altas concentrações de MP nestes bairros, pode ser explicada pelo dinamismo urbano causado

pelo grande número de estabelecimentos comerciais e principalmente o intenso fluxo de veículos particulares e coletivos, e também por veículos pesados movidos a diesel que contribuem para alta carga de partículas em suspensão nestes bairros¹⁰³.

O oposto é visto em bairros com características geográficas particulares aos demais bairros, como em Santa Teresa, Sumaré e Campo dos Afonsos, onde se observa menor tráfego de veículos pesados e maior preenchimento de área verde; também na zona sul, os bairros da Urca e Lagoa, e no Recreio foram encontradas as menores concentrações de MP e um número de óbitos inferior a 4 por 1000 habitantes. O tráfego de veículos, segundo Peters e Tofler é uma grande preocupação em áreas urbanas como fator de risco potencial para DAC, sendo demonstrado risco de morte duas vezes maior entre pessoas que vivem perto de ruas com alto tráfego ou rodovia, comparado a indivíduos que vivem mais distante, mesmo ajustando fatores de risco como idade, sexo e tabagismo^{115,116}.

As evidências sugerem que indivíduos com fatores de risco cardiovascular pré-existente e os idosos tem associações mais fortes com os MP¹¹⁷. A magnitude da resposta inflamatória causada pela composição química das partículas, duração e intensidade da exposição e suscetibilidade de cada indivíduos devem ser consideradas^{118,119,120}, porém essas determinantes não foram alvo da pesquisa. Mesmo assim, as políticas de saúde e órgãos ambientais devem buscar soluções para reduções imediatas dos poluentes do ar.

Berg e Silveira propõe duas soluções para redução de poluentes e melhora da qualidade de vida. A primeira recomenda a implantação de espaços verdes em meio urbano, já que a distribuição no MRJ é desigual entre os bairros, com 72% de arborização no município, ocupando a 12ª posição entre as capitais brasileiras, atrás de São Paulo na 10ª posição, com 75% de distribuição de árvores^{130,121}. Silveira destaca em seu estudo, que o efeito protetor na redução da mortalidade foi de 8,6% em residentes dos setores mais verdes, mesmo com baixo desenvolvimento social¹¹⁸. A segunda solução diz respeito a prática de atividades físicas em parques, praças e ruas em espaços arborizados, que influenciam diretamente a saúde cardiovascular e mental, assim como redução da morbimortalidade geral^{130,122}.

Mesmo assim, os ambientalistas levantam dúvidas sobre quais concentrações de particulados são realmente “seguros” à saúde, e qual seria o tamanho do benefício para o meio ambiente se os poluentes do ar estivessem ausentes nos dias atuais¹²³. Zhao e colaboradores em seu estudo na Lancet, propuseram normas de segurança ainda mais rígidas, especialmente para o

PM_{2.5}, que tem mostrado respostas agudas na saúde³³. A poluição do ar é um fator de risco que se apresenta de forma intermitente e as vezes contínua, dependendo do local de moradia, profissão ou condições socioeconômicas do indivíduo. Mensurar a exposição ambiental de forma particular ou coletiva requer equipamento individual ou uma nova tecnologia de monitorização de poluentes distribuída por todos os bairros, o que requer alto investimento em saúde e meio ambiente.

A OMS tem recomendado que os padrões de qualidade do ar possam ser definidos de acordo com a realidade social, política e econômica de cada país ou região, o que evidencia infelizmente que a prioridade socioeconômica de países de baixa renda está acima da saúde⁶. Esse posicionamento político nos parece inaceitável. Devemos ressaltar que a Constituição Federal de 1988 comunica que a proteção do meio ambiente é constitucional, e está diretamente associada à defesa do direito fundamental à qualidade de vida, o que implica também na manutenção das condições necessárias à proteção da saúde humana²². Desta maneira, o estabelecimento dos padrões de qualidade do ar, não deve ser regulado pela capacidade de avanço econômico do território, e sim focado na avaliação dos riscos à saúde humana, na proteção à vida e do meio ambiente.

O MRJ apresenta grande contraste na área, na densidade populacional e na distribuição socioeconômica entre os bairros. Essas diferenças podem ser observadas em bairros como Bangu, com 45,7 km² comparado a Cidade de Deus com 1,2 Km², uma diferença de 38 vezes o tamanho. Bangu e Tijuca possuem uma população de 170.855 e 132.931 habitantes respectivamente (sendo 31 a 154 vezes) maior, em comparação a Campo dos Afonsos e Urca com 860 e 5.520 habitantes. Cidade de Deus tem um IDH de 0,751 e o Leblon 0,967, isso demonstra uma superioridade de 0,216 de um bairro sobre o outro no quesito, escolaridade, renda e longevidade¹²⁴.

Dos bairros analisados apenas 34% deles tem o IDH acima de 0,900, separando-os da maior parcela da população com experiência muito distante da realidade do MRJ. Nos bairros com altos IDH a qualidade do ar demonstrou menores concentrações de MP em 15 anos e também relação inversa dessas variáveis.

Cidade de Deus, Bonsucesso, São Cristóvão, Benfica, Realengo, Ramos, Bangu e Caju foram bairros com as maiores concentrações de MP e com IDH inferior a 0,861. Silveira vem destacando a grande influência que o local de moradia tem sobre a qualidade de vida, exposição ambiental e mortalidade¹²⁵. Nestes bairros também pode ser observado, uma proximidade do

tráfego veicular e uma tendência de crescimento da população, com previsão de 80% de ocupação urbana¹⁰⁵. Cidade de Deus, Bonsucesso e São Cristóvão são bairros com altas concentrações de MP e IDH mais baixos, indicando relação inversa do fator socioeconômico com a qualidade do ar. A proximidade de destes bairros de grandes rodovias como, avenida Brasil, linha vermelha e linha amarela é menor que 50 metros. Corroborando com os achados de Deguem, que relatou que indivíduos com pior status socioeconômico tendem a residir em proximidades de grande fluxo de veículos e pior qualidade do ar⁸⁴.

Rodrigues ao analisar a estrutura socioeconômica e qualidade do ar nos bairros, verificou que, em áreas onde há desigualdade de renda, exclusão social e favelamento, as condições ambientais são piores, a exposição individual é maior, assim como o acesso a saúde é desfavorável, levando ao desenvolvimento de doenças⁸⁷. Apesar da melhora social ao longo dos anos no MRJ, 20% das pessoas ainda vivem em extrema pobreza e 6% da população reside em condições precárias de moradia, com segregação residencial e diferentes níveis de exposição à qualidade do ar, corroborando para uma sobreposição de fatores de risco^{126,129}.

Nos bairros da Lagoa, Urca e Copacabana com os maiores IDH, a qualidade do ar apresentou as menores concentrações, especialmente por PM_{2,5}, que tem como fonte de poluição veículos pesados. Denguem nos informa que indivíduos com maior renda e melhor escolaridade, possuem vantagens quando comparado aos indivíduos com piores condições de vida e maior probabilidade de adoecimento e morte, indicando que a condição socioeconômica pode sobrepor o fator de exposição⁸⁴.

Silveira destaca o efeito protetor com redução da mortalidade de 8,6% em residentes dos setores mais verdes, mesmo com baixo Índice socio econômico¹²⁵. O incentivo para redução da poluição do ar, maior renda e criação de espaços verdes nos bairros pode ser uma importante saída para redução da poluição do ar e um fator de proteção a saúde, conforme estudos ecológicos americanos e canadenses que constataram uma redução do risco de mortalidade por DAC em bairros que promoveram essas iniciativas^{127,128}.

O conhecimento dos bairros no MRJ medido pelo IDH, ajuda a identificar a realidade social por microlocalização. O IDH funciona como um marcador situacional e socioeconômico da população, e tem sido um importante determinante de sobrevivência e saúde nos grupos de melhor poder aquisitivo, Forestieri *et al.*, verificou existência de maior mortalidade por DAC relacionada ao PM₁₀ em grupos com menor renda e pior status socioeconômico que residiam em áreas de

maior exposição ao tráfego veicular¹²⁹. Esse achado pode ser visto justamente nos bairros próximos a rodovias como São Cristóvão, Bonsucesso e Cidade Deus com menores IDH e maior exposição às altas concentrações de MP. O estudo de Rodrigues apontou aumento do risco de 4,6% para mortalidade por DAC em indivíduos residindo em até 150m de proximidade do tráfego veicular e risco de 3,9% em áreas residenciais com baixo status socioeconômico⁸³.

A desigualdade de renda, está diretamente relacionada com a mortalidade e deterioração da saúde, principalmente pelo menor acesso a serviços em grupos vulneráveis, como os idosos e os de baixa escolaridade e renda¹²⁹.

Conhecer o desenvolvimento de um bairro é importante para as políticas públicas, principalmente as relacionadas à saúde, quando consideramos o impacto social e econômico causado pela mortalidade por DAC¹³⁰. Associando a poluição do ar, status socioeconômico e os efeitos sobre a saúde, Rodrigues mostrou uma redução do Risco Relativo (RR) de -5,8% na mortalidade, em bairros com status socioeconômico alto, caracterizando um efeito protetor, assim como distância do tráfego veicular abaixo de 150m para os efeitos nocivos do PM_{2,5}⁸⁷. O mesmo estudo também apontou aumento do RR de 4,60% (IC95% 0,78-8,56) para mortalidade por DAC em residências com até 150m de proximidade do tráfego veicular e RR de 3,95% em áreas residenciais com baixo status socioeconômico⁸⁷.

O IDH mesmo incluindo dados de renda, escolaridade e expectativa de vida, representa uma visão parcial do *status* socioeconômico de uma região, não sendo específico para avaliar a qualidade de vida e a redução da mortalidade. Entretanto, permite comparar em algumas dimensões os bairros do MRJ.

10. CONCLUSÃO

10.1 A variabilidade da qualidade do ar por MP nos bairros do MRJ demonstrou grandes diferenças das concentrações entre os bairros e graves violações ao longo de 15 anos do PF anual e diário recomendado pelo CONAMA.

10.2 A pequena redução dos níveis de MP em 78% dos bairros ao longo dos 15 anos, é, portanto, insatisfatória.

10.3 Os bairros com as menores concentrações de MP, embora em níveis não aceitáveis, estão localizados na zona sul da cidade do RJ (Lagoa, Urca, Copacabana, Leblon) e o Sumaré na Floresta da Tijuca, e possuem os maiores IDH do grupo de bairros estudados.

10.4 Os bairros de maior poluição foram também os que apresentam menor IDH, demonstrando relação inversa de moderada a forte com o IDH dos bairros do MRJ.

10.5 Os óbitos por DAC totalizaram 45% dos óbitos totais da população acima de 20 anos de idade. A média de idade dos óbitos por todas as causas foi inferior em 4 anos à média de idade dos óbitos por DAC em indivíduos com idade ≥ 20 anos em ambos os sexos.

10.6 Bonsucesso e São Cristóvão foram os bairros com as maiores taxa de mortalidade por DAC, e as maiores concentrações de MP. A relação entre a taxa de mortalidade por óbitos totais e por DAC com a poluição do ar foi positiva de moderada a forte, sendo o $PM_{2,5}$ a fração de particulado de correlação mais forte.

10.7 A relação entre os óbitos por todas causas e por DAC \geq de 20 anos de idade com o IDH dos bairros foi inversa.

As elevadas concentrações dos particulados em níveis superiores ao preconizado pelo CONAMA e mantidos por 15 anos no MRJ, indica sérias preocupações quanto à ocorrência de doenças evitáveis e mortes precoces associadas às condições socioeconômicas que caracterizam grande injustiça social.

Cabe a sociedade exigir dos governantes medidas rápidas e duradouras para restauração da qualidade do ar no Rio de Janeiro associado a medidas que reduzam a desigualdade social.

As políticas de saúde necessitam ser desenvolvidas com base no entendimento que a saúde das pessoas depende da complexa interação entre o indivíduo, suas formas de organização socioeconômica e o ambiente. Sem justiça social não há democracia e nem saúde. “Medicina é uma ciência social e política, e medicina em larga escala” (Rudolph Virchow – 1821-1902).

11. LIMITAÇÕES

As concentrações de poluentes do ar variam quanto a geografia do bairro, tempo de permanência no ar, padrões climáticos, horas do dia, estações do ano e combinação com outros poluentes. É difícil isolar individualmente cada um dos poluentes, especialmente em área urbana.

A distribuição das estações medidoras de qualidade do ar ao longo dos anos, acompanha a dinâmica urbana dos bairros, por isso alguns apresentam maior série histórica e maior número de poluentes mensurados do que outros. As estações medidoras estão sujeitas a fenômenos meteorológicos e logísticos, como a falta de insumos e manutenção, que causam a perda de registros em alguns dias, meses e até anos.

A qualidade dos resultados dos dados de óbitos é afetada pelo grau de abrangência de notificação, de completude e organização das informações nas bases utilizadas nas Declarações de Óbitos. O estudo avaliou diretamente a causas básicas de óbito, que depende do preenchimento adequado da DO. A incompletude das declarações ocorre por erro do declarante que podem ter interferências nas estatísticas oficiais, entretanto, o erro é de caráter sistêmico, afetando todas as causas de óbito.

O IDH utilizou dados dos bairros a partir das subdivisões das regiões administrativas do MRJ, já que a defasagem do IDH leva em consideração as bases estatísticas de dados do ano de 2000, de acordo com alguns autores a mudanças perceptível de IDH leva em torno de 15 a 20 anos para que sofra mudança perceptível.

Estudos observacionais exibem limitações por medir associação entre duas variáveis, sendo a variável preditora, a poluição do ar e o IDH e a variável de desfecho, óbitos. As características coletivas, como doenças preexistentes, o uso de tabaco e acesso a saúde não foram medidas. Desta maneira, são necessárias mais pesquisas com diferentes delineamentos que mensuram fatores causais, olhando outras variáveis ambientais com diversas doenças que não apenas as DAC.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A poluição atmosférica isoladamente não é a única causadora de doenças, mas com certeza é um importante fator adjuvante, ao lado de outros, como a desnutrição, pobreza e comorbidades⁸³. Pesquisas que avaliam a qualidade do ar e apontam seus impactos sobre a sociedade podem fornecer melhor entendimento a respeito dos problemas da precariedade da população nos bairros¹²¹.

Estudos estimam que reduções nos níveis dos poluentes poderão diminuir os casos de mortes em grandes cidades do mundo, para isso a política de privilégios para o transporte individual deve mudar radicalmente, implementando um sistema público moderno, limpo e eficiente. Uma frota de ônibus com veículos novos, com motores elétricos e que apresentem mecanismos de redução de emissão de poluentes, afastamento de caminhões das cidades e controle ainda mais rigoroso da fumaça emitida por veículos e indústrias.

A implementação de dessas medidas terá um custo, tanto financeiro quanto social. O banco mundial estimou um custo anual de 15 milhões de dólares com doenças relacionadas à poluição do ar, resta compromisso das autoridades públicas em priorizar a saúde e coragem de enfrentar os elos da cadeia geradora de poluição, desde o dono da indústria de automóveis até o proprietário do veículo.

Num futuro próximo, é preciso definir qual é o *ranking* da poluição do ar dentre os fatores de risco, e o quanto ela acrescenta ao risco de DAC tanto de forma individual, como coletiva, por diferenças regionais e tempo de exposição.

A Injustiça Social e poluição ambiental deveriam ser incluídas no Código Internacional de Doenças pois claramente contribuem para a morte precoce.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 WHO. World Health Organization. **Cardiovascular diseases**. 2021.
- 2 RITCHIE, H.; ROSER, M. Causes of Death. **Our World in Data**, 2018. Disponível em: < <https://ourworldindata.org/causes-of-death> >.
- 3 ROSER, M.; RITCHIE, H. Burden of Disease. **Our World in Data**, 2020. Disponível em: < <https://ourworldindata.org/burden-of-disease> >.
- 4 MINISTÉRIO DA SAÚDE. Sistema de Informações sobre Mortalidade - SIM. Mortalidade do Rio de Janeiro. 2020. Disponível em: < <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sim/cnv/obt10rj.def> >.
- 5 MINISTÉRIO DA SAÚDE. Sistema de Informações sobre Mortalidade - SIM. Mortalidade em São Paulo., 2020. Disponível em: < <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sim/cnv/obt10sp.def> >.
- 6 LUIZ, R. R.; STRUCHINER, C. J. **Inferência causal em epidemiologia: o modelo de respostas potenciais**. FIOCRUZ, E.: 112 p. 2002.
- 7 SANTOS, D. A. D.; ARBIGAUS, L. P. **Base da fisiologia e patologia**. Fisiopatologia Geral. INDAIAL. 1: 233 p. 2019.
- 8 SIMÃO, A. *et al.* I Diretriz Brasileira de Prevenção Cardiovascular. **Arq. Bras. Cardiol.**, v. 101, n. 6, p. 1-63, 12/2013 2013. ISSN 0066-782X. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0066782X2013004500001&lng=en&nrm=iso&tlng=pt >
- 9 MINISTÉRIO DA SAÚDE . Uma análise da situação de saúde e das doenças e agravos crônicos: desafios e perspectivas. Brasília: 424 p. 2019.
- 10 IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2019. Disponível em: < https://ww2.ibge.gov.br/home/mapa_site/mapa_site.php#população >.
- 11 MACAU, E. E. N. Sistemas Complexos. Laboratório de Integração e Testes - LITInstituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE 2019.
 12 <https://www.youtube.com/watch?v=vjC3oqxLZgg&list=PLY3xJBjGnL6jp3BtjRb8OnUbJ2RGjr-b>.
- 13 WHO. World Health Organization. Air quality guidelines - global update 2005. **WHO**, 2011-10-11 15:52:14 2011. Disponível em: < https://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/outdoorair_aqg/en/ >.

- 14 AYALA, P. A. **Direito e incerteza: a proteção jurídica das futuras gerações no Estado de direito ambiental**. 2002. 394p Departamento de Direito, Universidade Federal de Santa Catarina.
- 15 WILSON, T.; HOLT, T.; GREENHALGH, T. Complexity science: complexity and clinical care. **Bmj**, v. 323, n. 7314, p. 685-8, Sep 22 2001. ISSN 0959-8138. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1136/bmj.323.7314.685> >.
- 16 MACIEL; M. A., V. M. D. **O direito internacional ambiental como sistema complexo: características, metodologias e instrumentos de análise**. 2016.
- 17 NUVOLONE, D. *et al.* Short-Term Association Between Ambient Air Pollution and Risk of Hospitalization for Acute Myocardial Infarction: Results of the Cardiovascular Risk and Air Pollution in Tuscany (RISCAT) Study. **American Journal of Epidemiology**, v. 174, n. 1, p. 63-71, 2019. ISSN 0002-9262. Disponível em: < <https://academic.oup.com/aje/article-pdf/174/1/63/17339066/kwr046.pdf> >.
- 18 USEPA. United States Environmental Protection Agency. National center for environmental assessment, R. T. P. N., ENVIRONMENTAL MEDIA ASSESSMENT GROUP; SACKS, J. Integrated Science Assessment (ISA) for Particulate Matter (Final Report, Dec 2009). 2017. Disponível em: < <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=216546> >.
- 19 GLOBAL BURDEN DISEASE. Regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. In: (Ed.). **Lancet**, v.388, 2016. p.1659-724. ISBN 0140-6736.
- 20 INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE – INEA. 2019. Disponível em: < <http://www.inea.rj.gov.br/fma/qualidade-ar.asp#regiaometropolitana> >.
- 21 XU, M. *et al.* Spatiotemporal analysis of particulate air pollution and ischemic heart disease mortality in Beijing, China. **Environmental Health**, v. 13, n. 1, p. 109, 2014-12-12 2014. ISSN 1476-069X. Disponível em: < <https://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1476-069X-13-109> >.
- 22 ROZENBERG S. Meio ambiente e doença cardioovascular. Arq. Bras. Cardiol. arquivos brasileiros de cardiologia 1981. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**. Disponível em https://www.google.com.br/search?biw=1440&bih=764&ei=sMyXXPOFIbSN0Aa62pOIDA&q=arquivos+brasileiros+de+cardiologia+1981&oq=arquivos+brasileiros+de+cardiologia+1981&gs_l=psyab.12...0.0..29015...0.0..0.0.0.....0.....gswiz.cqjOc8JH8s >.
- 23 BEELEN, R. *et al.* Long-term exposure to air pollution and cardiovascular mortality: an analysis of 22 European cohorts. **Epidemiology**, v. 25, n. 3, p. 368-78, May 2014. ISSN 1044-3983. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1097/ede.0000000000000076> >.

- 24 CESARONI, G. *et al.* Long term exposure to ambient air pollution and incidence of acute coronary events: prospective cohort study and meta-analysis in 11 European cohorts from the ESCAPE Project. **Bmj**, v. 348, p. f7412, Jan 21 2014. ISSN 0959-8138. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1136/bmj.f7412> >.
- 25 KÜNZLI, N. *et al.* Ambient Air Pollution and the Progression of Atherosclerosis in Adults. In: (Ed.). **PLoS One**, v.5, 2010. ISBN 1932-6203 (Electronic).
- 26 ADAR, S. D. *et al.* Air Pollution and the Microvasculature: A Cross-Sectional Assessment of In Vivo Retinal Images in the Population-Based Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA). In: (Ed.). **PLoS Med**, v.7, 2010. ISBN 1549-1277 (Print)1549-1676 (Electronic).
- 27 MESQUITA, C. T. Relação entre Fatores Sociais e Doenças Cardiovascula. **Int. J Cardiovasc SciENCE**, v. 31, p. 87-89, 2018. ISSN 2177-7772. Disponível em: < http://www.scielo.br/pdf/ijcs/v31n2/pt_2359-4802-ijcs-31-02-0087.pdf >.
- 28 SOARES, G. P. E. A. Evolução de indicadores socioeconômicos e da mortalidade cardiovascular em três estados do Brasil. **Arq. Bras. Cardiol. [online]**, v. 100, p. 147-156, 2013. ISSN 0066-782X. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/abc/v100n2/v100n2a07.pdf> >.
- 29 7 million deaths annually linked to air pollution. **Cent Eur J Public Health**, v. 22, n. 1, p. 53, 59, Mar 2014. ISSN 1210-7778. Disponível em: < <http://dx.doi.org/> >.
- 30 COHEN, A. J. *et al.* Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. **Lancet**, v. 389, n. 10082, p. 1907-1918, May 13 2017. ISSN 0140-6736. Disponível em: < [http://dx.doi.org/10.1016/s0140-6736\(17\)30505-6](http://dx.doi.org/10.1016/s0140-6736(17)30505-6) >.
- 31 GLOBAL, Regional, and National Comparative Risk Assessment of 84 Behavioural, Environmental and Occupational, and Metabolic Risks or Clusters of Risks for 195 Countries and Territories, 1990-2017: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. **Lancet**, v. 392, n. 10159, 11/10/2018 2018. ISSN 1474-547X. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30496105> >.
- 32 RITCHIE, H.; ROSER, M. Air Pollution. **Our World in Data**, 2020. Disponível em: < <https://ourworldindata.org/air-pollution> >.
- 33 CASTRO A H. Questões metodológicas para a investigação dos efeitos da poluição do ar na saúde. **Rev. Bras. Epidemiol.** 2003.
- 34 AYRES, J. Air pollution and the heart. **Occupational Medicine**, v. 5:439–447, 2005. Disponível em: < https://www.academia.edu/22175785/Air_pollution_and_the_heart >.

- 35 MANNUCCI, P. M.; FRANCHINI, M. Health Effects of Ambient Air Pollution in Developing Countries. **Int J Environ Res Public Health**, v. 14, n. 9, Sep 12 2017. ISSN 1660-4601. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph14091048> >.
- 36 RITCHIE, H.; ROSER, M. Outdoor Air Pollution. **Our World in Data**, 2020. Disponível em: < <https://ourworldindata.org/outdoor-air-pollution> >.
- 37 BASTOS, L. F. C. S. OPAS/OMS Brasil. Doenças cardiovasculares. 19:29:01 2016. Disponível em: < https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5253:doencas-cardiovasculares&Itemid=1096 >.
- 38 NOGUEIRA, J. B. Poluição Atmosférica e Doenças cardiovasculares. p. v. 28, p. 715-33, 2009.
- 39 BROOK, R. D. *et al.* The relationship between diabetes mellitus and traffic-related air pollution. **J Occup Environ Med**, v. 50, n. 1, p. 32-8, Jan 2008. ISSN 1076-2752 (Print)1076-2752. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1097/JOM.0b013e31815dba70> >.
- 40 DOUGLAS W. DOCKERY, S. D., AND PETER H. S. Cardiovascular Risks from Fine Particulate Air Pollution | NEJM. **N Engl J Med**, v. February 1, 2007 2007;, p. 356:511-513, 2007. Disponível em: < <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMe068274> >.
- 41 CHEN, T. M. *et al.* Outdoor air pollution: particulate matter health effects. **Am J Med Sci**, v. 333, n. 4, p. 235-43, Apr 2007.. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1097/MAJ.0b013e31803b8dcc> >.
- 42 LADEN, F. *et al.* Reduction in fine particulate air pollution and mortality: Extended follow-up of the Harvard Six Cities study. **Am J Respir Crit Care Med**, v. 173, n. 6, p. 667-72, Mar 15 2006. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1164/rccm.200503-443OC> >.
- 43 SANIDAS, E. *et al.* Air pollution and arterial hypertension. A new risk factor is in the air. **J Am Soc Hypertens**, v. 11, n. 11, p. 709-715, Nov 2017. ISSN 1878-7436. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.jash.2017.09.008> >.
- 44 ZANOBETTI, A.; SCHWARTZ, J. The Effect of Particulate Air Pollution on Emergency Admissions for Myocardial Infarction: A Multicity Case-Crossover Analysis. In: (Ed.). **Environ Health Perspect**, v.113, 2005. p.978-82.
- 45 PETERS, A. *et al.* Exposure to Traffic and the Onset of Myocardial Infarction. 2009-10-08 2009. Disponível em: < <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/nejmoa040203> >.
- 46 BROOK, R. D. Cardiovascular effects of air pollution. **Clin Sci (Lond)**, v. 115, n. 6, p. 175-87, Sep 2008. ISSN 0143-5221. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1042/cs20070444> >.

- 47 LEE, H. C.; LIN, T. H. Air Pollution Particular Matter and Atherosclerosis. **Acta Cardiol Sin**, v. 33, n. 6, p. 646-647, Nov 2017. ISSN 1011-6842. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.6515/acs20170615a> >.
- 48 POPE, C. A., 3RD *et al.* Ischemic heart disease events triggered by short-term exposure to fine particulate air pollution. **Circulation**, v. 114, n. 23, p. 2443-8, Dec 5 2006. ISSN 0009-7322. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1161/circulationaha.106.636977> >.
- 49 ROSENTHAL, F. S.; CARNEY, OLINGER, M. L. Out-of-hospital cardiac arrest and airborne fine particulate matter: a case-crossover analysis of emergency medical services data in Indianapolis, Indiana. **Environ Health Perspect**, v. 116, n. 5, p. 631-6, May 2008. ISSN 0091-6765. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.10757> >.
- 50 LINK, M. S.; DOCKERY, D. W. Air pollution and the triggering of cardiac arrhythmias. **Curr Opin Cardiol**, v. 25, n. 1, p. 16-22, Jan 2010. ISSN 0268-4705. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1097/HCO.0b013e32833358cd> >.
- 51 ANOOP S.; HARISH N., DAVID A MCALLISTER, AMANDA L HUNTER, PROF KEN DONALDSON,. Global association of air pollution and heart failure: a systematic review and meta-analysis - The Lancet. **The lancet**, v. 382, n. 9897, p. 1039-1048, 2013. Disponível em: < [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(13\)60898-3/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(13)60898-3/fulltext) >.
- 52 VAN HEE, V. C. *et al.* Exposure to Traffic and Left Ventricular Mass and Function: The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. In: (Ed.). **Am J Respir Crit Care Med**, v.179, 2009. p.827-34. ISBN 1073-449X.
- 53 GILL, E. A. *et al.* Air Pollution and Cardiovascular Disease in the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA). **Prog Cardiovasc Dis**, v. 53, n. 5, p. 353-60, Mar-Apr 2011. ISSN 0033-0620. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.pcad.2011.02.001> >.
- 54 BROOK, R. D. *et al.* Air pollution and cardiovascular disease: a statement for healthcare professionals from the Expert Panel on Population and Prevention Science of the American Heart Association. **Circulation**, v. 109, n. 21, p. 2655-71, Jun 1 2004. ISSN 0009-7322. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1161/01.cir.0000128587.30041.c8> >.
- 55 NEL, A. Atmosphere. Air pollution-related illness: effects of particles. **Science**, v. 308, n. 5723, p. 804-6, May 6 2005. ISSN 0036-8075. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1126/science.1108752> >.
- 56 BACCARELLI, A. *et al.* Effects of exposure to air pollution on blood coagulation. **J.Thromb Haemost**, v. 5, n. 2, p. 252-60, Feb 2007. ISSN 1538-7933. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/j.1538-7836.2007.02300.x> >.
- 57 BROOK, R. D. *et al.* Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. **Circulation**, v.

- 121, n. 21, p. 2331-78, Jun 1 2010. ISSN 0009-7322. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1161/CIR.0b013e3181dbeece1> >.
- 58 ROBERTSON, S.; MILLER, M. R. Ambient air pollution and thrombosis. **Part Fibre Toxicol**, v. 15, n. 1, p. 1, Jan 3 2018. ISSN 1743-8977. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1186/s12989-017-0237-x> >.
- 59 LUCKING, A. J. *et al.* Particle traps prevent adverse vascular and prothrombotic effects of diesel engine exhaust inhalation in men. **Circulation**, v. 123, n. 16, p. 1721-8, Apr 26 2011. ISSN 0009-7322. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1161/circulationaha.110.987263> >.
- 60 HISTORY OF MEDICINE. History & Facts. 2019. Disponível em: < <https://www.britannica.com/science/history-of-medicine> >.
- 61 MACHADO, P. L. **Carbono do Solo e a Mitigação da Mudança Climática**. Química Nova. n 2, 329-334. Vol. 28, 2005.
- 62 POPE, C. A.; DOCKERY, D. W.; SCHWARTZ, J. Review of Epidemiological Evidence of Health Effects of Particulate Air Pollution. <http://dx.doi.org/10.3109/08958379509014267>, 27 Sep 2008 2008. Disponível em: < <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3109/08958379509014267> >.
- 63 COLOMBINI, M. P. **Air pollution and its impact on the cardiovascular system**. 6(2):221-6. einstein. 2008 2007.
- 64 EPA. Environmental Protection Agency. **Quality of Air Mean Quality of Life. Revisions to the National Ambient Air. 06-8477** Quality Standards for Particle Pollution (Particulate Matter). [cited 2006 Sep 21].
- 65 BRAGA, A. S., P. BOHM, M., G. Poluição atmosférica e saúde humana . **Revista USP**. São Paulo. 51: 58-71 p. 2001.
- 66 RESOLUÇÃO CONAMA /N.º 003 de 28 de junho de 1990. Publicada no D.O.U, de 22/08/90, Seção I, Págs. 15.937 a 15.939. Brasil 1990.
- 67 RESOLUÇÃO CONAMA nº 491/18 de 20/11/18. Brasil 2018.
- 68 DOUGLAS, M. J. *et al.* Are cars the new tobacco? **Journal of Public Health**, v. 33, n. 2, p. 160-169, 2019. ISSN 1741-3842. Disponível em: < <https://academic.oup.com/jpubhealth/article-pdf/33/2/160/4513901/fdr032.pdf> >.
- 69 WHO. World Health Organization. Health effects of transport-related air pollution.200 (NLM Classification : WA 754 2005.

- 70 CAMPO, R. F. F. D. Análise do impacto ambiental pela dispersão de poluentes atmosféricos, através da queima de resíduos. **Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 12 no 1, 2017. ISSN 1980-0894.
- 71 PAULO, C. S. relatori ar 2016. **Título. II. Série.**, 2017. ISSN 0103-4103. Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2017/09/relatorio-ar-2016.pdf> >.
- 72 CARVALHO, M. B. F. **poluição atmosférica e mudanças climáticas**. 2019. Tese de Doutorado. Departamento de Direito, PUC-RIO
- 73 CRUZ; F., A. P. **A Tutela Ambiental do Ar Atmosférico**. 1a edição. 2002.
- 74 LEVIN, S. A. Ecosystems and the Biosphere as Complex Adaptive Systems - Levin_Ecosys-Biosphere-ComplexAdaptSys_1998.pdf. **1**, 1988. Disponível em: < https://www.esf.edu/cue/documents/Levin_Ecosys-BiosphereComplexAdaptSys_1998.pdf >.
- 75 KINNEY, P. L. Interactions of Climate Change, Air Pollution, and Human Health. **Curr Environ Health Rep**, v. 5, n. 1, p. 179-186, 2018. ISSN 2196-5412. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s40572-018-0188-x> >.
- 76 AMBIENTE. Padrões de qualidade do ar: experiência comparada Brasil, EUA e União Européia. 2012. ISSN 978-85-63187-08-6. Disponível em: < <https://iema-site-staging.s3.amazonaws.com/padroes-final01.pdf> >.
- 77 ROSER, M. Global Economic Inequality. **Our World in Data**, 2020. Disponível em: < <https://ourworldindata.org/global-economic-inequality> >.
- 78 NAJAR, A. L. *et al.* Desigualdades sociais no Município do Rio de Janeiro: uma comparação entre os censos 1991 e 1996. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 18, 2002. ISSN 1678-4464. Disponível em: < https://www.scielo.org/article/ssm/content/raw/?resource_ssm_path=/media/assets/csp/v18s0/13796.pdf >.
- 79 GEORGE, KAPLAN, A. K. Socioeconomic factors and cardiovascular disease: a review of the literature. - 01.CIR.88.4.1973. **Circulation**, v. 88, p. 1973-1988, 1993. Disponível em: < <https://www.ahajournals.org/doi/pdf/10.1161/01.CIR.88.4.1973> >.
- 80 LOSLIER, J. *et al.* Myocardial infarction in Quebec rural and urban populations between 1995 and 1997. **Can J Rural Med**, v. 12, n. 2, p. 95-102, Spring 2007. ISSN 1203-7796. Disponível em: < <http://dx.doi.org/> >.
- 81 MARMOT, M. Social determinants of health inequalities. **Lancet**, v. 365, n. 9464, p. 1099-104, 2005. ISSN 0140-6736. Disponível em: < [http://dx.doi.org/10.1016/s0140-6736\(05\)71146-6](http://dx.doi.org/10.1016/s0140-6736(05)71146-6) >.

- 82 FILHO, A. P. Determinantes Sociais da Saúde e Determinantes Sociais das Iniquidades em Saúde: a mesma coisa? 2011. Disponível em: < <http://dssbr.org/site/opinioes/determinantes-sociais-da-saude-e-determinantes-sociais-das-iniquidades-em-saude-a-mesma-coisa/> >.
- 83 RODRIGUES, P. C. O. E.; HACON S. S. Fatores socioeconômicos aumentam os efeitos nocivos da poluição atmosférica e da temperatura na mortalidade. **Rev. bras. epidemiol**, v. 22, p. 1-11, 2020. ISSN 1980-5497. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbepid/v22/1980-5497-rbepid-22-e190011.pdf> >.
- 84 DEGUEN, S.; ZMIROU-NAVIER, D. Social inequalities resulting from health risks related to ambient air quality--A European review. **Eur J Public Health**, v. 20, n. 1, p. 27-35, Feb 2010. ISSN 1101-1262. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1093/eurpub/ckp220> >.
- 85 FISCELLA, K.; TANCREDI, D. Socioeconomic Status and Coronary Heart Disease Risk Prediction. **JAMA**, v. 300, n. 22, p. 2666-8, Dec 10 2008. ISSN 0098-7484. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1001/jama.2008.792> >.
- 86 LESSA, I.; SILVA, M. R. B. B. Doenças cerebrovasculares como causa múltipla de morte em Salvador: magnitude e diferenças espaciais da mortalidade omitida nas estatísticas oficiais. **Arq. Neuro-Psiquiatr.**, v. 51, 2020. ISSN 0004-282X. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-282X1993000300004 >.
- 87 TURA, B. R.; SILVA, N. A. D. S. E.; PEREIRA, B. D. B. Association between per capita income and mortality by cardiovascular disease. **Ver. SOCERJ**.2006. Disponível em: < <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-437129> >.
- 88 CARVALHO MS, S.-S. R. Análise de dados espaciais em saúde pública:métodos, problemas, perspectivas. **Cad. Saúde Pública**, v. 21, p. 361-378, 2005. ISSN 0102-311X. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/csp/v21n2/03.pdf> >.
- 89 CABALLERO, B. **Índice de Desenvolvimento Humano Municipal: análise para a Cidade do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Instituto Pereira Passos. v32. 2015.
- 90 PNUD. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Ranking decrescente do IDH-M dos municípios do Brasil» (PDF). 2013. Disponível em: < <http://atlasbrasil.org.br/2013/pt/ranking/> >.
- 91 FUNDAÇÃO CEPERJ- Centro Estadual de Estatísticas, Centro Estadual de estatísticos, pesquisas e formação de servidores públicos do rio de janeiro. 2020. Disponível em: < <http://www.ceperj.rj.gov.br/Conteudo.asp?ident=85> >.
- 92 IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades - ,Rio de Janeiro| Panorama. 2019. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/rio-de-janeiro/panorama> >.

- 93 PASSOS, D. R.I. P. Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH), por ordem de IDH, segundo as Regiões Administrativas - 1991 e 2000. 2000. Disponível em: < <http://www.data.rio/datasets/58186e41a2ad410f9099af99e46366fd> >.
- 94 GUILLERM, N.; CESARI, G. Fighting ambient air pollution and its impact on health: from human rights to the right to a clean environment. **Int J Tuberc Lung Dis**, v. 19, n. 8, p. 887-97, Aug 2015. ISSN 1027-3719. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.5588/ijtld.14.0660> >.
- 95 CRISTINA G., RODRIGUES, E., CAVALCANTE, J., SALDIVA, PHN. Projeção da mortalidade e internações hospitalares na rede pública de saúde atribuíveis à poluição atmosférica no Estado de São Paulo entre 2012 e 2030. **Rev. bras. estud. popul.**, v. vol.32, n.3, p. pp.489-509, 2015. ISSN ISSN 0102-3098.
- 96 POPE, C. A. I.; EZZATI, M.; DOCKERY, D. W. Fine-Particulate Air Pollution and Life Expectancy in the United States. 2009-12-10 2009. Disponível em: < <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMsa0805646> >.
- 97 Relatório de qualidade do ar do estado do Rio de Janeiro. Ano base de 2015. **Instituto estadual do ambiente (INEA)- Gerencia de qualidade do ar (GEAR)**. 2015.
- 98 RUSSO, P. R. A qualidade do ar no município do Rio de Janeiro: Análise espaço-temporal de partículas em suspensão na atmosfera. **Revista de C. Humanas**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p.78-93, jan./jun. 2010.
- 99 RIO. **Qualidade do ar na cidade do rio de Janeiro**: 91 p. 2011-2012.
- 100 BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília. 1988.
- 101 FEEMA. **Relatório anual da qualidade do ar 2008**.
- 102 FAPERJ *et al.* Concentrações de poluentes atmosféricos no Rio de Janeiro em relação a normas nacionais e internacionais. **7**, p. 32-48, 2017-07-18 2017. Disponível em: < <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/ric/article/view/25799> >.
- 103 SANTOS, T. C. D. *et al.* Investigação da Relação entre Variáveis Atmosféricas e a Concentração de MP10 E O3 no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 4, p. 631-645, 2018. ISSN 0102-7786. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S010277862018000400631&lng=en&nrm=iso&tlng=pt >
- 104 FERNANDES, M. C. **Estimativa das emissões veiculares para CO, HC e NOX na avenida Beira Mar Norte em Florianópolis/SC**. 2014. 112. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC., RI-UFSC.

- 105 SOARES, G. P. *et al.* Evolução da Mortalidade por Doenças do Aparelho Circulatório e do Produto Interno Bruto per Capita nos Municípios do Estado do Rio de Janeiro. **Int. J. Cardiovasc. Sci.**, v. 31, n. 2, p. 123-132, 04/2018 2018. ISSN 2359-5647. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S235956472018000200123&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>
- 106 MANSUR, A. D. P. *et al.* Transição epidemiológica da mortalidade por doenças circulatórias no Brasil. **Arq. Bras. Cardiol.**, v. 93, n. 5, p. 506-510, 11/2009 2009. ISSN 0066-782X. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0066782X2009001100011&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>
- 107 BURDEN OF DISEASE IN BRAZIL, 1990-2016: a systematic subnational analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. **Lancet**, v. 392, n. 10149, 09/01/2018 2018. ISSN 1474-547X. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30037735>>.
- 108 RIBEIRO AI, K. E., CARVALHO MS, ET AL. Where do people live longer and shorter lives? An ecological study of old-age survival across small areas from 18 European countries. **J Epidemiol Community**, v. 0, p. 1-8, 2016. Disponível em: <https://observatorio.campus-virtual.org/uploads/34156_Ribeiro-et-al_JECH2016_People.pdf>.
- 109 RIVERO, P. S. Segregação urbana e distribuição da violência: Homicídios georreferenciados no município do Rio de Janeiro. **Revista de Estudos de Conflito e Controle Social**, v. 3, p. 117-142, 2010. Disponível em: <<https://revistas.ufrj.br/index.php/dilemas/article/viewFile/7179/5758>>.
- 110 GOMES, M. M. F. Associação entre mortalidade e estado marital: uma análise para idosos residentes no Município de São Paulo, Brasil, Estudo SABE, 2000 e 2006. **Cad. Saúde Pública**, v. 29, n. 3, p. 566-578. 2013. ISSN 0102-311X. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0102311X2013000300014&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>
- 111 GROSSMAN, M. The Relationship between Health and Schooling. **Eastern Economic Journal**, v. 34, n. 3, p. 281-292, 2008. ISSN 00945056. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/20642426>>. Acesso em: 2020/12/17/.
- 112 RIBEIRO, M. M. **Mortalidade adulta por níveis de escolaridade no estado e no município de São Paulo: uma proposta de estimação a partir do Censo Demográfico de 2010.** 137, UFMG- Belo Horizonte
- 113 SILVA, L. E. D. *et al.* Diferenciais de mortalidade por escolaridade da população adulta brasileira, em 2010. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 32, n. 4, 00/2016 2016. ISSN 0102-311X. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0102-311X2016000400709&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>

- 114 PREZ, E. R. **Estimativas de mortalidade adulta feminina por nível de escolaridade no Brasil**. 2010. 146 Tese de Doutorado Centro de Desenvolvimento e Planejamento regional., UFMG- Minas Gerais
- 115 PETERS, A. *et al.* Cardiopulmonary mortality and air pollution. **The Lancet**, v. 360, n. 9341, p. 1184-1185, 2002/10/19 2002. ISSN 1474-547X. Disponível em: < <http://www.thelancet.com/article/S014067360211289X/abstract> >
- 116 TOFLER, G. H.; MULLER, J. E. Triggering of acute cardiovascular disease and potential preventive strategies. **Circulation**, v. 114, n. 17, p. 1863-72, Oct 24 2006. ISSN 0009-7322. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1161/circulationaha.105.596189> >.
- 117 ZANOBETTI, A.; SCHWARTZ, J. Are diabetics more susceptible to the health effects of airborne particles? **Am J Respir Crit Care Med**, v. 164, n. 5, p. 831-3, Sep 1 2001. ISSN 1073-449X. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1164/ajrccm.164.5.2012039> >.
- 118 ZEKA, A. *et al.* Inflammatory markers and particulate air pollution: characterizing the pathway to disease. **Int J Epidemiol**, v. 35, n. 5, p. 1347-54, 2006. ISSN 0300-5771. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1093/ije/dyl132> >.
- 119 CHEN, J. C.; SCHWARTZ, J. Metabolic Syndrome and Inflammatory Responses to Long-Term Particulate Air Pollutants. **Environ Health Perspect**, v.116, 2008. p.612-7. ISBN 0091-6765.
- 120 POPE, C. A., *et al.* Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease. **Circulation**, v. 109, n. 1, p. 71-7, Jan 6 2004. ISSN 0009-7322. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1161/01.cir.0000108927.80044.7f> >.
- 121 PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. Plano diretor de Arborização Urbana da Cidade do Rio de Janeiro., 2015. Disponível em: < <http://www.rio.rj.gov.br/web/fpj/plano-diretorde-arborizacao-urbana> >.
- 122 BERG M, POPPEL M, KEMPER H, MECHELEN W, MAAS J. Health benefits of green spaces in the living environment: A systematic review of epidemiological studies | RIVM. **Urban For Urban Green**, v. 14, p. 806-816, 2016. Disponível em: < <https://www.rivm.nl/publicaties/health-benefits-of-green-spaces-in-living-environment-a-systematic-review-of> >.
- 123 ZHAO B, SALIMI, F. KURABAYASHI M, NEGISHI K. Short-term exposure to ambient fine particulate matter and out-of-hospital cardiac arrest: a nationwide case-crossover study in Japan. **The Lancet**, v. 4, p. 15-22, 2020. Disponível em: < <https://www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S2542-5196%2819%2930262-1> >.
- 124 IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Características da população e domicílios, 2010**. MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO: 270 p. 2011.

- 125 SILVEIRA, I. H. D. *et al.* Green spaces and mortality due to cardiovascular diseases in the city of Rio de Janeiro. **Revista de Saúde Pública**, v. 52, 2018. ISSN 0034-8910. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0034-89102018000100241&lng=en&nrm=iso&tlng=en >
- 126 IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico de 2010. População residente, por grupos de idade e sexo, segundo as Áreas de Planejamento, Regiões Administrativas (RA) e Bairros - Município do Rio de Janeiro 2010.
- 127 Z, H.; J, L.; KR, R. Linking stroke mortality with air pollution, income, and greenness in northwest Florida: an ecological geographical study. **International journal of health geographics**, v. 7, 05/01/2008 2008. ISSN 1476-072X. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18452609> >.
- 128 PJ, V. *et al.* A cohort study relating urban green space with mortality in Ontario, Canada. **Environmental research**, v. 115, 2012 May 2012. ISSN 1096-0953. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22483437> >.
- 129 MALTA, D. C. *et al.* Mortalidade por doenças crônicas não transmissíveis no Brasil e suas regiões, 2000 a 2011. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 23, n. 4, p. 599-608, 12/2014 2014. ISSN 2237-9622. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S223796222014000400599&lng=en&nrm=iso&tlng=pt >
- 130 MOONESINGHE, R.; BOUYE, K.; PENMAN-AGUILAR, A. Difference in Health Inequity between Two Population Groups due to a Social Determinant of Health. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 11, n. 12, p. 13074-13083, 2014-12-16 2014. Disponível em: < <https://www.mdpi.com/1660-4601/11/12/13074/htm> >.

ANEXO A- ENDEREÇO DAS ESTAÇÕES MEDIDORAS DE POLUIÇÃO DO AR

Localização das Estações Semiautomáticas de Monitoramento da Qualidade do Ar- PTS

BAIRRO	REGIÃO ADMINISTRATIVA	ENDEREÇO DAS ESTAÇÕES
BONSUCESSO	10 (Ramos)	Local: Eloy de Andrade Endereço: Praça Eloi de Andrade, s/nº
BENFICA	7 (São Cristóvão)	Local: CEDAE Endereço: Av. Pref Olímpio de Melo, nº 1742
CENTRO	2 (Centro)	Local: Centro/ Ministério da Fazenda Endereço: Av. Antonio Carlos, s/nº
CIDADE DE DEUS	33 (Cidade de Deus)	Local: Posto de Saúde Hamilton Land Endereço: R. Edgar Werneck, nº 1601
REALENGO	32 (Realengo)	Local: Realengo CIEP Mal Henrique Lott Endereço: Av. Brasil, s/nº
SANTA TEREZA	23 (Santa Tereza)	Local: Santa Tereza/ CEDAE Endereço: Largo do França, nº 8
SÃO CRISTOVÃO	7 (São Cristóvão)	Local: São Cristóvão/ CEDAE Endereço: Av. Pedro II, nº 67
SUMARÉ	3 (Rio Comprido)	Local: Casa do Bispo Centro de Estudo Sumaré Endereço: Estrada do Sumaré, nº 400
TIJUCA	8 (Tijuca)	Local: Tijuca / CIEP Samuel Wainer Endereço: Av. Heitor Beltrão, s/n
MARACANÃ	9 (Vila Isabel)	Local: UERJ Endereço: Av. Presid Castelo Branco, s/ nº

Localização das Estações Semiautomáticas de Monitoramento da Qualidade do Ar- PM₁₀

BAIRRO	REGIÃO ADMINISTRATIVA	ENDEREÇO DAS ESTAÇÕES
BONSUCESSO	10 (Ramos)	Localidade: Eloy de Andrade Endereço: Praça Eloy de Andrade, s/nº
BOTAFOGO	4 (Botafogo)	Localidade: Hospital Pinel Endereço: Av. Venceslau Braz, nº 101
C. DOS AFONSOS	32 (Realengo)	Localidade: Deodoro- Vila Militar Endereço: Avenida Marechal Fontenelle, no. 755
CENTRO	2 (Centro)	Localidade: Centro/ Ministério da Fazenda Endereço: Av. Antonio Carlos, s/nº
CIDADE DE DEUS	33 (Cidade de Deus)	Localidade: Posto de Saúde Hamilton Land Endereço: R. Edgar Werneck, nº 1601
GAMBOA	1 (Portuária)	Localidade: Vila Olímpica Endereço: Rua Gamboa, s/n
DEODORO	17 (Bangú)	Localidade: Mag Bastos/ Estande de Tiro do Exército Endereço: Av. Pedro Alcântara, nº2856
LEBLON	6 Lagoa	Localidade: CIEP Nação Rubro Endereço: Praça Nossa Senhora Auxiliadora
SÃO CRISTOVÃO	7 (São Cristóvão)	Localidade: São Cristóvão/ CEDAE Endereço: Av. Pedro II, nº 67
SUMARÉ	3 (Rio Comprido)	Localidade: Casa do Bispo Centro de Estudo Sumaré/ Endereço: Estrada do Sumaré, nº 400
MARACANÃ	9 (Vila Isabel)	Localidade: UERJ Endereço: Av. Presidente Castelo Branco, s/ nº

Localização das Estações Semiautomáticas de Monitoramento da Qualidade do Ar- PM_{2,5}

BAIRRO	REGIÃO ADMINISTRATIVA	ENDEREÇO DAS ESTAÇÕES
CAJÚ	1 (Portuária)	Local: Escola Mun. Marechal Esperidião Rosas Endereço: R. Duque de Caxias, nº 5
CENTRO	2 (Centro)	Local: Centro/ Ministério da Fazenda Endereço: Av. Antonio Carlos, s/nº
CIDADE DE DEUS	33 (Cidade de Deus)	Local: Posto de Saúde Hamilton Land Endereço: R. Edgar Werneck, nº 1601
COPACABANA	5 (Copacabana)	Local: Estação do Metrô Endereço: Siqueira Campos R. Tonelero, s/nº
BANGU	17 (Bangu)	Local: Bangu/ Estação SMAC Endereço: R. Magnólia, s/nº
ENGENHO DE DENTRO	13 (Méier)	Local: Eng de Dentro/ Est Olímpico J Havelange Endereço: Rua José dos Reis, s/n
RECREIO	24 (Barra da Tijuca)	Local: Recreio Endereço: Av. Salvador Allende, nº 5500
LAGOA	6 (Lagoa)	Local: Heliponto da Lagoa R de Freitas Endereço: Av. Borges de Medeiros, nº 1444
RAMOS	10 (Ramos)	Local: Ramos/ CIEP Endereço: Av. Brasil, s/nº
MARACANÃ	9 (Vila Isabel)	Local: UERJ Endereço: Av. Presidente Castelo Branco, s/ nº
URCA	4 (Botafogo)	Local: UFRJ Endereço: Av. Pasteur, nº 250