

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

LUCAS FIGUEIREDO DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA EVOLUÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DOS
PRINCIPAIS POLUENTES ATMOSFÉRICOS MONITORADOS NO
MUNICÍPIO DE CURITIBA - PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA
2015

LUCAS FIGUEIREDO DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA EVOLUÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DOS
PRINCIPAIS POLUENTES ATMOSFÉRICOS MONITORADOS NO
MUNICÍPIO DE CURITIBA - PR**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial, para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Joseane Debora Peruço Theodoro

LONDRINA

2015



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

AVALIAÇÃO DA EVOLUÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DOS PRINCIPAIS
POLUENTES ATMOSFÉRICOS MONITORADOS NO MUNICÍPIO DE CURITIBA - PR

por

LUCAS FIGUEIREDO DA SILVA

Monografia apresentada no dia 24 de junho de 2015 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira
(UTFPR)

Prof. Dr. Orlando de Crvalho Junior
(UTFPR)

Profa. Dra. Joseane Debora Peruço Theodoro
(UTFPR)
Orientadora

Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.”

Dedico este trabalho à memória de meu querido pai Paulo Marques da Silva, muito obrigado, Pai, por todos os ensinamentos, sei que neste momento o senhor esta muito feliz, pois sempre acreditou no meu potencial e sabe que esta vitória é apenas o começo de um grande sucesso. Saiba que sou inteiramente grato por todos os seus feitos, que tinham um único objetivo: a felicidade de sua família. Pai te amo.

Dedico a minha querida mãe por todo apoio emocional, financeiro, pelas noites em claro que passou ao meu lado, pelos exemplos de dedicação, força e superação, e por todos os ensinamentos que me orientam a ser sempre uma pessoa melhor. Mãe muito obrigado e te amo.

À toda minha família que me deu todo suporte para a conclusão da graduação, em especial minhas irmãs: Rosana Figueiredo Rodrigues de Souza, Rosângela Figueiredo Wandekoken e Rosicléa Figueiredo da Silva, às minhas sobrinhas lindas: Lorena Figueiredo Rodrigues de Souza e Lanna Figueiredo Rodrigues de Souza, e ao meu sobrinho lindo Daniel Figueiredo Wandekoken, e ao meu primo querido Diego Figueiredo da Silva, sem vocês nada teria sentido.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela dádiva da vida, pela minha família que tanto amo, por toda persistência, perseverança, saúde, alegrias, tristezas, força e fé que me concedestes para vencer mais esta etapa.

Agradeço especialmente a Profa. Dra. Joseane Debora Peruço Theodoro, por toda confiança, paciência, amizade e orientação deste trabalho.

Agradeço a todos os professores da graduação que em algum momento colaboram, de forma direta ou indireta, para a realização deste trabalho final de conclusão de curso, e, em especial à banca examinadora: Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira e Prof. Dr. Orlando de Cravalho Junior, muito obrigado pela contribuição na avaliação deste trabalho.

Agradeço a toda minha família pelo apoio, por acreditarem no meu potencial, por sempre estarem ao meu lado nos momentos de alegrias e principalmente nos momentos de adversidades. Esta etapa só pode ser concluída graças a vocês. Muito obrigado por tudo família amada.

Agradeço igualmente a todos os meus queridos amigos que fizeram e fazem parte desta caminhada, amigos que estavam presentes nas alegrias, tristezas, nas vitórias, enfim amigos que sempre estarão em meu coração. Assim sendo, é com muito carinho que agradeço, em especial, à: Mayra Curti, Érika Ivanagava, Márcia Rodrigues, Fernanda Mangili, Igor Polla, Mateus Mesquita, Lívia Bueno, Khamila Tondinelli, Anluizi Cejara, Mariana Lunardi, Laura De-Stefani, Gabriela Piccinini, Junio Luiz, Matheus Higino, Camila Pompei, Maria Sartor, Laís Duarte, Michel Iuri, Matheus Henrique, William Ferraz, Lucas Ramazotti e em memória de Allan Nishioka. Muito obrigado pela paciência, amizade e compreensão. O sentimento despertado jamais será apagado.

Por fim agradeço a todos que colaboraram direta ou indiretamente com a conclusão de mais uma etapa e no mais fica meu agradecimento a todos que torcem pelo meu sucesso.

“One can only achieve great success when remains faithful to oneself.”

(Friedrich Nietzsche).

“Só se pode alcançar um grande êxito quando nos mantemos fiéis a nós mesmos.”

(Friedrich Nietzsche).

DA SILVA, Lucas Figueiredo. **AVALIAÇÃO DA EVOLUÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DOS PRINCIPAIS POLUENTES ATMOSFÉRICOS MONITORADOS NO MUNICÍPIO DE CURITIBA – PR**. 2015. 74 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental). – Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Londrina, 2015.

RESUMO

O desenvolvimento social e urbano tem causado um aumento crescente da emissão de poluentes atmosféricos em todo o mundo. Este aumento pode afetar a saúde e o bem-estar da população, a vegetação, a fauna e os materiais em geral. Como forma de evitar esses efeitos, a União estabeleceu a Resolução CONAMA n° 03/90, que dita os padrões nacionais da qualidade do ar, além de classificar os poluentes. O estado do Paraná segue os padrões nacionais, além da Resolução SEMA n° 016/2014, que define os critérios para o controle da qualidade do ar. Como forma de controle da poluição do ar, o Instituto Ambiental do Paraná (IAP), realiza o monitoramento da qualidade do ar no município de Curitiba, avaliando as concentrações de Dióxido de Enxofre (SO₂), Monóxido de Carbono (CO), Ozônio (O₃), Dióxido de Nitrogênio (NO₂), Partículas Inaláveis (PI) e Partículas Totais em Suspensão (PTS). O presente trabalho teve como objetivo avaliar a evolução das concentrações dos principais poluentes atmosféricos no município de Curitiba no período de 2002 a 2012. Para a obtenção de dados fez-se um levantamento a respeito dos relatórios da qualidade do ar para o município de Curitiba, no período de 2002 a 2012, tendo como foco a comparação de duas estações automáticas, uma localizada na Cidade Industrial de Curitiba (CIC) e a outra na Praça Ouvidor Pardini (PAR). A evolução desses poluentes foi relacionada de acordo com os dados climatológicos obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e ao Instituto Tecnológico SIMEPAR. Foi possível inferir que houve desconformidade com o padrão estabelecido pela legislação nos poluentes O₃, NO₂ e CO quanto às concentrações das médias anuais. Os poluentes O₃ e NO₂ foram os que apresentaram maiores ultrapassagens, deixando de atender os padrões estabelecidos 11 vezes. Constatou-se também que, na maior parte do tempo, a qualidade do ar nas redes de monitoramento atendeu às Resoluções CONAMA e SEMA, porém, investimentos em controle e fiscalização não devem ser interrompidos, uma vez que sempre há potencial para melhorias.

Palavras-chaves: Qualidade do ar. Poluentes atmosféricos. Processos Meteorológicos. Poluição atmosférica.

DA SILVA, Lucas Figueiredo. **DEVELOPMENT ASSESSMENT OF CONCENTRATIONS OF THE MAIN AIR POLLUTANTS MONITORED IN THE CITY OF CURITIBA – PR.** 2015. 74 p. Course Conclusion Work (Bachelor of Environmental Engineering). – Environmental Engineering Graduation, Federal Technological University of Paraná (UTFPR). Londrina, 2015.

ABSTRACT

Social and urban development have caused an increasing growth of air pollutants emission worldwide. This growth can affect the health and well-being of the population, the vegetation, fauna and materials in general. In order to avoid these effects, the Union has established the CONAMA Resolution n° 03/90, which dictates national air quality standards in addition to classifying the pollutants. The state of Paraná follows the national standards as well as the SEMA Resolution n° 016/2014, which establishes the criteria for the air quality control. As a way to control air pollution, the Environmental Institute of Paraná (IAP), conducts the air quality monitoring in the city of Curitiba, evaluating the concentrations of Sulfur Dioxide (SO₂), Carbon Monoxide (CO), Ozone (O₃), Nitrogen Dioxide (NO₂), Inhalable Particles (IP) and Total Suspended Particles (TSP). The objective of this study was to evaluate the development of the concentrations of the main air pollutants in the city of Curitiba from 2002 to 2012. To obtain data, it was made a survey regarding the air quality reports for the city of Curitiba from 2002 to 2012, focusing on the comparison of two automatic stations, one located in the Industrial City of Curitiba (CIC) and the other in the Ouvidor Pardiniho Square (PAR). The evolution of these pollutants was related according to the climate data obtained from the National Institute of Meteorology (INMET) and from the SIMEPAR Technological Institute. When analyzing the pollutants O₃, NO₂ and CO, it was possible to infer that there was disagreement with the standard set by law in relation to the annual mean concentrations. The O₃ and NO₂ pollutants showed the greatest violations, failing to meet the set standards 11 times. It was also found that, most of the time, air quality in the monitoring networks was in accordance with the Resolutions CONAMA and SEMA, however, control and inspection cannot be interrupted, once there is always potential for improvement.

Keywords: Air quality. Air pollutants. Meteorological processes. Air pollution.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Evolução dos veículos automotores em Curitiba no período de 2002 a 2014.	15
Gráfico 2 - Normais climatológicas (temperaturas) da cidade de Curitiba, período de 1961 a 1990.	43
Gráfico 3 - Temperaturas na cidade de Curitiba, período de 2011 a 2014.....	43
Gráfico 4 - Normais climatológicas (precipitação) da cidade de Curitiba, período de 1961 a 1990.	45
Gráfico 5 - Precipitação na cidade de Curitiba – pr, período de 2011 a 2014.	45
Gráfico 6 - Frequência das direções dos ventos nas estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar no ano de 2012.	47
Gráfico 7 - Médias anuais para PTS no período de 2002 a 2012 nas estações CIC e PAR.	48
Gráfico 8 - Médias diárias para PTS no período de 2002 a 2012 nas estações CIC e PAR.	49
Gráfico 9 - Média anual para PI no período de 2002 a 2012 nas estações CIC e PAR.	50
Gráfico 10 - Média diária para PI no período de 2002 a 2012 nas estações CIC e PAR.	51
Gráfico 11 - Média anual para SO ₂ no período de 2002 a 2012 nas estações CIC e PAR.	52
Gráfico 12: Médias diárias para SO ₂ no período de 2002 a 2012 nas estações CIC e PAR.	53
Gráfico 13 - Médias máximas horárias, 8 horas, para CO no período de 2002 a 2012 nas estações CIC e PAR.	54
Gráfico 14 - Classificação das médias de 8 horas para CO na estação praça ouvidor pardinho no período de 2002 a 2012.	55
Gráfico 15 - Médias anuais das concentrações máximas diárias(médias de 1 hora) para O ₃ no período de 2002 a 2012 nas estações CIC e PAR.	56
Gráfico 16 - Média anual para NO ₂ no período de 2002 a 2012 nas estações CIC e PAR.	57
Gráfico 17 - Médias máximas horárias, 1 hora, para NO ₂ no período de 2002 a 2012 nas estações CIC e PAR.	58

Gráfico 18 - Classificação iqar para SO ₂ na estação de monitoramento CIC, período de 2002 a 2012.	59
Gráfico 19 - Classificação iqar para SO ₂ na estação de monitoramento PAR, período de 2002 a 2012.	60
Gráfico 20 - Classificação iqar para NO ₂ na estação de monitoramento CIC, período de 2002 a 2012.	61
Gráfico 21 - Classificação iqar para NO ₂ na estação de monitoramento PAR, período de 2002 a 2012.	61
Gráfico 22 - Classificação iqar para O ₃ na estação de monitoramento CIC, período de 2002 a 2012.	62
Gráfico 23 - Classificação iqar para O ₃ na estação de monitoramento PAR, período de 2002 a 2012.	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Padrões primários e secundários de poluentes atmosféricos no Paraná (Resolução CONAMA n° 03/90, SEMA n° 016/2014).....	27
Tabela 2 – Critérios para episódios agudos de poluição do ar (Resolução CONAMA n° 03/90, SEMA n° 016/2014).....	29
Tabela 3 – Relação de poluentes monitorados, períodos amostrados e estações de coleta.....	39

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	9
2.OBJETIVOS.....	11
2.1.OBJETIVO GERAL.....	11
2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
3.REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
3.1.INDUSTRIALIZAÇÃO.....	12
3.2.FROTA DE VEÍCULOS.....	14
3.3.POLUIÇÃO DO AR.....	16
3.3.1. <i>Classificação dos Poluentes Atmosféricos</i>	19
3.3.2. <i>Principais Poluentes Atmosféricos</i>	20
3.4.IMPACTOS AO MEIO AMBIENTE E À SAÚDE PÚBLICA.....	22
3.5.LEGISLAÇÃO APLICADA A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA.....	25
3.6.ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR (IQAR)	26
3.7.MEDIDAS DE CONTROLE.....	31
4.MATERIAIS E MÉTODOS	35
4.1.LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	35
4.2.MÉTODOS PARA OBTENÇÃO DOS DADOS.....	37
4.3.ANÁLISE DOS DADOS	39
5.RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
5.1.CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS	42
5.1.1. <i>Temperatura</i>	42
5.1.2. <i>Precipitações Pluviométricas</i>	44
5.1.3. <i>Frequência da direção dos ventos</i>	46
5.2.PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO (PTS).....	48
5.3.PARTÍCULAS INALÁVEIS (PI)	50
5.4.DIÓXIDO DE ENXOFRE (SO ₂)	52
5.5.MONÓXIDO DE CARBONO (CO).....	54
5.6.OZÔNIO (O ₃).....	56
5.7.DIÓXIDO DE NITROGÊNIO (NO ₂).....	57
5.8.AVALIAÇÃO DOS IQAR DAS ESTAÇÕES DE ESTUDOS.....	59
5.8.1. <i>Análise IQAR SO₂</i>	59
5.8.2. <i>Análise IQAr NO₂</i>	60
5.8.3. <i>Análise IQAr O₃</i>	62
5.9.MEDIDAS MITIGADORAS	63
6.CONCLUSÃO	65
7.SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	67
REFERÊNCIAS.....	68

1. INTRODUÇÃO

No Brasil o fenômeno industrial teve início na segunda metade do século XIX e passou por períodos de extensão e de retração até os dias atuais. No entanto, é a partir da Revolução de 1930 que este fenômeno se torna mais intenso, acarretando fortes transformações na estrutura socioeconômica brasileira (CARA e FRANÇA, 2009).

Na década de 80, o crescimento urbano brasileiro atingiu a marca de 68,9%, neste mesmo período, o crescimento populacional da região metropolitana de Curitiba foi de 5,8% ao ano, bem maior que outras metrópoles brasileiras. Embora este crescimento populacional tenha diminuído na década seguinte (3% ao ano), a cidade de Curitiba não saiu ileso desse processo, isto pode ser percebido atualmente através de diversos fatores, sendo um deles a qualidade do ar e sua possível repercussão nas doenças respiratórias (BAKONYI et al., 2004).

As fontes de emissões atmosféricas, que contaminam o ar, podem ser fixas (indústrias) e móveis (veículos automotores), estas impactam diretamente a qualidade do ar local, regional e global e afetam a saúde pública. No ano de 2012 a Organização Mundial da Saúde (OMS) estimou que cerca de sete milhões de mortes no mundo seriam decorrentes da poluição do ar a partir de fontes urbanas e rurais (MIRAGLIA e GOUVEIA, 2014).

Até a década de 80 no Brasil, a principal fonte de emissões de poluentes atmosféricos nas capitais brasileiras eram as indústrias. Já na década de 90 muitas empresas migraram para o interior, assim, os veículos automotores passaram a ser a principal fonte de poluentes em centros urbanos nos últimos anos (MIRAGLIA e GOUVEIA, 2014).

De acordo com Habermann, Medeiros e Gouveia (2011), os resultados obtidos, através de estudos, mostram que o aumento no número de internações hospitalares, o aumento da mortalidade, a diminuição da expectativa de vida, entre outros, estão relacionados à exposição das pessoas aos poluentes atmosféricos. Geralmente estes estudos são realizados em áreas urbanas onde a principal fonte de poluição do ar são os veículos automotores.

A região metropolitana de Curitiba conta hoje com uma população estimada de 1.864.416 habitantes, com um total de 5.083 indústrias e com frota de 1.406.046 automóveis (IPARDES, 2015), as indústrias são de vários ramos de atividades e proporcionam muitos benefícios a região, principalmente no campo econômico. Entretanto este desenvolvimento industrial e urbano tem causado um aumento crescente da emissão de poluentes atmosféricos.

A fim de evitar os efeitos da poluição atmosférica à população, as únicas formas de se ter um controle do material que esta sendo emitido é quantificando, prevendo ou sabendo o quanto reduzir destas emissões, então, faz-se necessário um monitoramento da qualidade do ar das cidades.

Souza e Pavei (2010) avaliaram os resultados das concentrações dos principais poluentes atmosféricos monitorados na região sul de Santa Catarina, assim, conseguiram identificar as áreas mais críticas quanto à emissão de poluentes atmosféricos e concluíram que a qualidade do ar na região apresenta maiores concentrações relacionadas às partículas totais em suspensão (PTS).

O Instituto Ambiental do Paraná (IAP) realiza o monitoramento da qualidade do ar da região metropolitana de Curitiba desde 1985 e com base nestes relatórios, o presente trabalho visa realizar uma comparação entre a evolução das concentrações dos poluentes no período de 2002 a 2012 de duas estações automáticas, uma localizada na área industrial e outra localizada na região central da cidade de Curitiba.

Espera-se com este trabalho, constituir um aumento de conhecimento sobre o monitoramento da qualidade do ar e propor medidas mitigadoras para os impactos ambientais gerados pela emissão de poluentes atmosféricos no município de Curitiba.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Este trabalho teve como objetivo geral avaliar a evolução das concentrações dos principais poluentes atmosféricos no município de Curitiba-PR no período de 2002 a 2012.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i) Avaliar os dados meteorológicos da Cidade de Curitiba;
- ii) Fazer uma comparação dos poluentes gerados nas estações de monitoramento de Curitiba no período de 2002 a 2012;
- iii) Avaliar o IQAr das estações Ouvidor Pardinho e Cidade Industrial de Curitiba no período de 2002 a 2012.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Este referencial teórico foi dividido em sete etapas, sendo elas: 3.1 Industrialização no município de Curitiba; 3.2 Frota de veículos no município de Curitiba; 3.3 Poluição do ar; 3.4 Impactos ao meio ambiente e à saúde pública; 3.5 Legislação aplicada a poluição atmosférica; 3.6 Índice de qualidade do ar e 3.7 Medidas de controle.

3.1. INDUSTRIALIZAÇÃO

A Revolução Industrial surgiu na Inglaterra no Séc. XVIII e expandiu-se pelo mundo a partir do Séc. XIX. Sua meta era promover um crescimento econômico e com isso uma melhor qualidade de vida para a população. A Revolução Industrial trouxe alguns benefícios sociais como o conforto, o aumento da esperança média de vida, a evolução dos meios de comunicação, transporte e alimentação. Entretanto, os meios utilizados para proporcionar estes benefícios apresentaram consequências devastadoras, como o consumo excessivo de recursos naturais, a poluição do ar, da água e do solo, além da concentração populacional e dos problemas sociais oriundos dela (PEREIRA, 2008).

O marco do desenvolvimento da indústria brasileira foi a Revolução de 1930, que promoveu grandes alterações na estrutura socioeconômica brasileira e criou as condições necessárias e suficientes para o estabelecimento das relações capitalistas de produção que já vinham sendo desenvolvidas desde as últimas décadas do século XIX, propiciando a formação de um centro econômico capitalista no país (CARA e FRANÇA, 2009).

Segundo estudos realizados por Barcellos et al. (2009), a industrialização no Brasil foi responsável, por um duplo movimento que atingiu diretamente o meio ambiente. Por um lado à depleção dos recursos naturais, de outro, a contaminação dos recursos ar, água e solo através de emissões de gases poluentes e resíduos industriais.

De acordo com Benn e McAuliffe (1981), as principais fontes industriais de poluição do ar são as usinas termelétricas (que usam óleo e carvão), usinas de ferro e aço, de gás, caieiras, fábricas de cerâmicas, ácidos sulfúricos e nítricos, fertilizantes, metalurgia do alumínio, fornos de cobre e muitos outros processos industriais em menores escalas.

Nas últimas décadas, devido à obrigatoriedade do licenciamento ambiental, observa-se uma tendência à modernização das instalações industriais, com o objetivo de diminuir e controlar as emissões atmosféricas (LEAL et al., 2008).

No Paraná no início dos anos 70 ocorreram fortes geadas em consequência houve uma grande leva de migrantes que deixaram as lavouras de café e partiram em direção a outras regiões do país, como também em direção às cidades paranaenses, um exemplo foi a população de Curitiba que se elevou de seiscentos mil habitantes para mais de um milhão entre 1970 e 1980. Foi nesta década que se deu início a industrialização da cidade de Curitiba, com a criação da cidade industrial, isso fez com que grandes empresas multinacionais, predominantemente do segmento metal-mecânico, se atraíssem pela cidade (COMEC, 2006).

Nos anos 90, no município de Curitiba, houve uma alteração na composição original da estrutura industrial, incorporando novos segmentos, juntamente com a política estadual de atração de novos investimentos, reforço do espaço metropolitano, ofertas de infraestrutura em termos de energia, telecomunicações, aeroporto internacional e rodovias, dentre outros fatores que se somaram à concessão de incentivos fiscais e financeiros (COMEC, 2006).

Sabe-se que o desenvolvimento industrial e urbano tem causado em todo o mundo um aumento crescente da emissão de poluentes atmosféricos. O acréscimo das concentrações atmosféricas destas substâncias, a sua deposição no solo, nos vegetais e nos materiais é responsável pela diminuição da produção agrícola, danos nas florestas, degradação de construções e obras de arte, e de uma forma geral, origina desequilíbrios nos ecossistemas (LEAL et al., 2008).

O município de Curitiba conta com um polo industrial diversificado, com predominância de indústrias relacionadas à mecânica, materiais elétricos e de comunicação, produtos alimentares, material de transportes, madeira, metalúrgica,

papel, papelão e química, ou seja, Curitiba conta com um grande número de indústrias de elevado potencial poluidor. (COMEC, 2006).

3.2. FROTA DE VEÍCULOS

O desenvolvimento dos meios de transportes tem sido um dos principais propulsores do crescimento econômico, isso vem ocorrendo através do tempo, por exemplo, desde a domesticação dos animais para a monta ou tração, passando pela invenção da roda, os sistemas de rodovia do império romano, o domínio da navegação em alto mar, e chegando às ferrovias e ao motor à explosão no século XIX, e à aviação no início do século passado. No entanto, no final do século XX, a crença de que a expansão da oferta de transporte e o aumento da mobilidade é um bem incontestável começa a ser questionada. Pois o aumento da oferta de meios de transporte fez com que aumentasse o custo de deslocamento e a crescente demanda de viagens produziu congestionamentos, poluição e acidentes (CASTRO, 2012).

O número de automóveis passou de pouco mais de 24,5 milhões, em 2001, para 50,2 milhões em 2012. A quantidade de automóveis dobrou, durante este período, apresentando um crescimento de 104,5%. O ano de 2012 apresentou um aumento de 3,5 milhões de automóveis, assim de todo o crescimento ocorrido nos últimos 10 anos, 14,6% ocorreram apenas em 2012 (INCT, 2013).

De acordo com o DENATRAN-PR (2014), a frota motorizada no Paraná contou no ano de 2014 com 6.489.289 veículos, o que significa um aumento de 5,08% em relação ao ano de 2013. Curitiba no ano de 2014 contou com um total de 1.406.049 veículos motorizados, chegando a quase 75 veículos por 100 habitantes, o que corresponde a um aumento de 3,9% em relação ao ano de 2013. No Gráfico 1, podemos verificar a evolução dos veículos automotores na cidade de Curitiba.

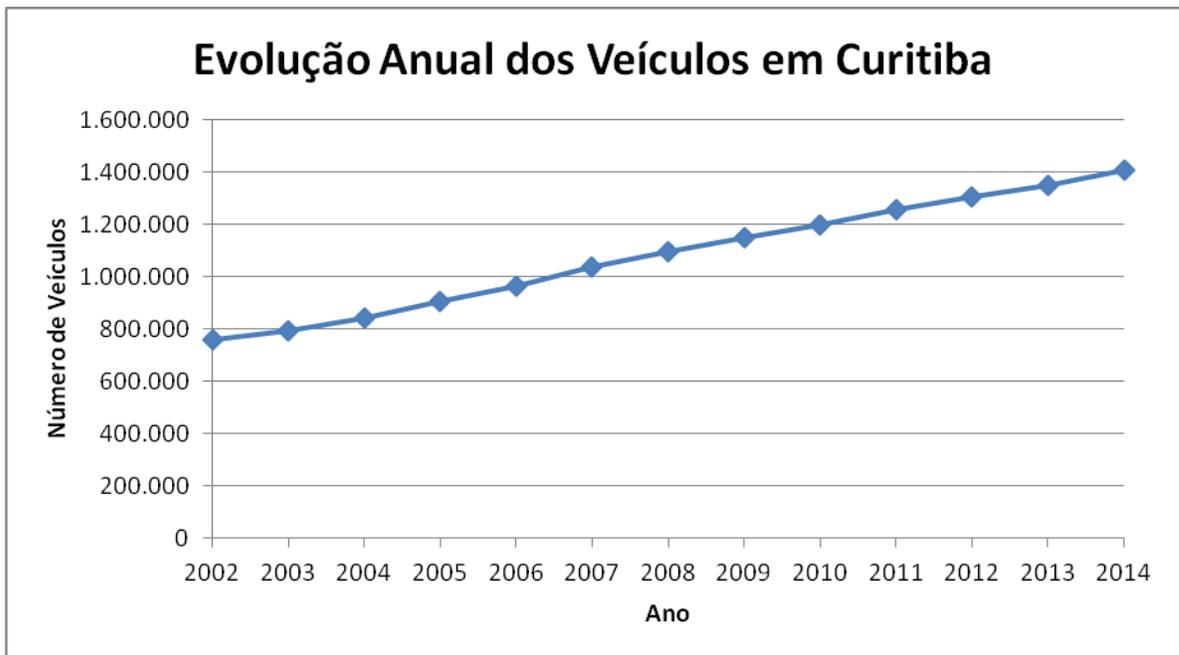


Gráfico 1 - Evolução dos veículos automotores em Curitiba no período de 2002 a 2014.
Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados do DETRAN-PR, 2014.

Comparando as emissões industriais com as emissões de tráfego, podemos citar dois fatores que os torna essencialmente diferentes. Primeiro, o número de veículos é bem maior do que o número de indústrias e é mais fácil controlar grandes poluidores do que controlar um grande número de pequenos poluidores. Segundo, as maiorias das indústrias estão localizadas fora do perímetro urbano e lançam seus poluentes através de chaminés na atmosfera, a certa distância da população, enquanto os veículos liberam os poluentes geralmente nos centros urbanos, praticamente a uma altura que pode ser inalado diretamente pelos seres humanos. Assim, para melhorar a qualidade do ar nas cidades devemos nos concentrar com prioridade nas emissões veiculares (IAP,2012).

Pensando nisso, foi criado em 1986, O Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PRONCOVE, este programa tem como meta principal a redução da poluição atmosférica causada pelas fontes móveis, através da fixação escalonada dos limites máximos de emissão dos veículos novos leves e pesados, além das especificações na qualidade dos combustíveis. Assim o PRONCOVE induz o desenvolvimento tecnológico dos fabricantes. No ano de 2002, para complementar o PRONCOVE, surgiu o Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e

Veículos Similares – PROMOT, que veio a contribuir para a redução da poluição por fontes móveis (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2009).

Em Curitiba desde alguns anos esta sendo realizada a conversão de motores a álcool, a diesel e a gasolina para o funcionamento com gás natural veicular (GNV), pois se trata de um combustível com menor potencial poluidor (IAP, 2012).

Encontra partida, muito antes de começarem as preocupações sobre o aquecimento global, a cidade de Curitiba já tinha sido planejada de forma a reduzir as emissões de carbono através de um sistema de transporte confortável, rápido, eficiente e econômico: o ônibus. A implantação do sistema de transporte coletivo iniciou-se nos anos 70, quando os eixos norte e sul receberam canaletas exclusivas para o ônibus expresso (CURITIBA, 2015).

Atualmente, cerca de 2 milhões e 300 mil pessoas utilizam o transporte coletivo e 70% destas pessoas não vão para a região central, tornando as viagens mais curtas e com muitos deslocamentos a pé, isso faz com que ocorra a diminuição da emissão de carbono para a atmosfera (CURITIBA, 2015).

A prefeitura de Curitiba tem uma grande preocupação com o meio ambiente, pois, a idade média da frota do transporte coletivo é de pouco mais de 6 anos e além de realizar um controle de emissão de carbono, através de medições diárias, e a avaliação, realizada há mais de 20 anos, já resultou em uma redução de 11% ao ano na emissão de gases poluentes (CURITIBA, 2015).

3.3. POLUIÇÃO DO AR

Poluição é qualquer degradação das condições ambientais, do habitat de uma população. Pode ser considerada uma perda na qualidade de vida, em decorrência das alterações no meio ambiente. São chamados de poluentes os agentes que provocam a poluição, como um ruído excessivo, um gás nocivo na atmosfera ou rejeitos que sujam rios ou praias (LEAL et al., 2008).

De acordo com a CETESB (2014), poluente atmosférico é qualquer substância presente no ar e que, pela sua concentração, possa torná-lo impróprio ou nocivo à saúde, causando inconveniente ao bem estar público, danos aos materiais, à fauna e à flora, ou prejudicial ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

A acelerada urbanização levou a um grande aumento no consumo de energia e nas emissões de poluentes provenientes da queima de combustíveis fósseis por fontes fixas, como as indústrias, e por fontes móveis, como os veículos automotores. As emissões atmosféricas advindas de processos produtivos industriais são altamente poluentes, mantendo sob constante risco a população (ARBEX, 2012).

Os principais poluentes emitidos no processo industrial são óxidos de enxofre, óxidos de carbono, óxidos de nitrogênio, benzeno, hidrocarbonetos e metais pesados. Quando inalados significativamente estes poluentes podem atingir a circulação sistêmica através dos pulmões e podem causar efeitos deletérios em diversos órgãos e sistemas (BARCELLOS et al., 2009).

A concentração dos poluentes no ar depende tanto dos mecanismos de dispersão como de sua produção e remoção. O gás hélio, por exemplo, por ser leve, quando lançado ao ar pode escapar da atmosfera terrestre rapidamente, enquanto o dióxido de carbono entra na atmosfera com velocidade de dispersão maior do que a velocidade de remoção, gerando assim, um acúmulo em níveis crescentes. Geralmente, a própria atmosfera dispersa o poluente, misturando-o eficientemente com um grande volume de ar, o que contribui para que a poluição fique em níveis aceitáveis (BENN e MCAULIFFE, 1981).

Quando as condições meteorológicas são desfavoráveis às dispersões dos poluentes, surge a formação do *smog* fotoquímico. Essa condição ideal ocorre durante o fenômeno atmosférico denominado inversão térmica (Figura 1). Geralmente, a temperatura da camada atmosférica próxima ao solo é mais quente e esfria à medida que se afasta do solo (ROCHA, ROSA e CARDOSO, 2009).

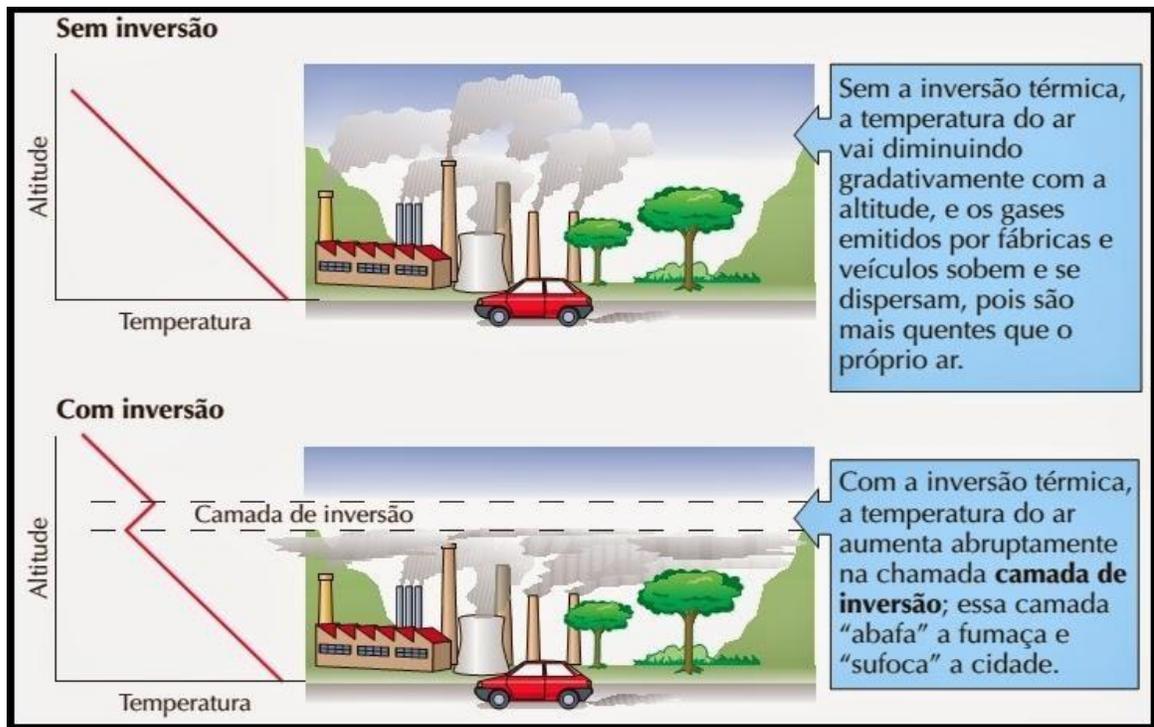


Figura 1 – Variação da temperatura da atmosfera sobre uma cidade. Condições meteorológicas normais; inversão térmica.
Fonte: FELTRE, 2004.

Durante a inversão térmica, esse perfil de mudança de temperatura só ocorre nas primeiras centenas de metros, quando então uma camada de ar mais quente recobre esta camada inicial. Como a massa de ar quente sempre tem a tendência de subir dentro de uma massa de ar frio, a fumaça, que é uma massa de gases e partículas quentes, tem a tendência de subir e se dispersar na atmosfera. Quando ocorre a inversão térmica, ela sobe na atmosfera e encontra a massa de ar quente. Esta camada atua como uma tampa, bloqueando o movimento ascendente de gases e partículas. Com isso, ocorre o acúmulo dos materiais na atmosfera, favorecendo as reações fotoquímicas pelo aumento da concentração dos reagentes (ROCHA, ROSA e CARDOSO, 2009).

3.3.1. Classificação dos Poluentes Atmosféricos

Os compostos e partículas são emitidos para a atmosfera através de fontes diversas. Tais fontes podem ser naturais ou antrópicas. As naturais existem desde que o mundo foi formado, como os vulcões, a superfície do mar, evaporação da vegetação, decomposição da matéria orgânica, arraste de poeiras e incêndios. As antrópicas são aquelas que a humanidade criou, como, por exemplo, as atividades industriais, o tráfego motorizado e as queimadas a céu aberto (ROCHA, ROSA e CARDOSO, 2009).

As fontes podem ser ainda consideradas como pontual, quando existe um ponto localizado onde ocorre a emissão, ou difusa, quando a emissão está espalhada em uma grande área. Dentre as emissões pontuais, destacam-se as emissões da queima de combustíveis, dos processos industriais, da construção civil, da demolição, das indústrias processadoras de metais e petroquímicas bem como da queima de biomassa. Nas fontes móveis, constituída pelos veículos automotores, incluem-se as emissões pelo cano de escapamento e a poeira ressuspensa proveniente das vias pavimentadas ou não (BARCELLOS et al., 2009).

Os aerossóis são formados por uma mistura de partículas de origem primária e secundária. As de origem primária são aqueles compostos que chega à atmosfera pela emissão direta por uma fonte natural ou antrópica (ex: erupções vulcânicas, incêndios em florestas, pólen, aerossol marinho, emissão veicular, industrial, queima de biomassa) e os principais poluentes são óxidos de nitrogênio (NO_2 ou NO_x), compostos orgânicos voláteis (COVs), monóxido de carbono (CO) e dióxido de enxofre (SO_2). As de origem secundárias são aquelas formadas na atmosfera através da reação química entre poluentes primários e componentes naturais da atmosfera e o principal é o ozônio (O_3), que é gerado a partir da reação química induzida pela oxidação fotoquímica dos COVs e do NO_2 na presença de raios ultravioleta provenientes da luz solar (CETESB, 2014).

3.3.2. Principais Poluentes Atmosféricos

De acordo com a Cetesb (2014), a interação entre as fontes de poluição e a atmosfera vai definir o nível de qualidade do ar, que determina por sua vez o surgimento de efeitos adversos da poluição do ar sobre os receptores, que podem ser o homem, os animais, as plantas e os materiais. A medição da qualidade do ar é restrita a um número de poluentes, definidos em função de sua importância e dos recursos disponíveis para seu acompanhamento. O grupo de poluentes que servem como indicadores de qualidade do ar, adotados universalmente e que foram escolhidos em razão da frequência de ocorrência e de seus efeitos adversos, são:

- **Material Particulado:** no material particulado se encontra um conjunto de poluentes constituídos de poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera por causa de seu pequeno tamanho. As principais fontes de emissão de particulado para a atmosfera são: veículos automotores, processos industriais, queima de biomassa, ressuspensão de poeira do solo, entre outros. O material particulado pode também se formar na atmosfera a partir de gases como dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COV_s), que são emitidos principalmente em atividades de combustão, transformando-se em partículas como resultado de reações químicas no ar.
- **Hidrocarbonetos (HC):** são gases e vapores resultantes da queima incompleta e evaporação de combustíveis e de outros produtos orgânicos voláteis. Diversos hidrocarbonetos como o benzeno são cancerígenos e mutagênicos, não havendo uma concentração ambiente totalmente segura. Participam ativamente das reações de formação da “névoa fotoquímica”.
- **Dióxido de Enxofre (SO_2):** A emissão de dióxido de enxofre está principalmente relacionada com o uso de combustíveis de origem fóssil contendo enxofre, tanto em veículos quanto em instalações industriais. Sendo um gás altamente solúvel nas mucosas do trato aéreo superior, pode provocar irritação e aumento na produção de muco. Outro efeito relacionado

ao dióxido de enxofre refere-se ao fato de ser este um dos poluentes precursores da chuva ácida, efeito global de poluição atmosférica responsável pela deterioração de diversos materiais, acidificação de corpos d'água e destruição de florestas.

- Monóxido de Carbono (CO): A emissão de monóxido de carbono está relacionada principalmente com o processo de combustão tanto em fontes móveis, motores à gasolina, diesel ou álcool, quanto de fontes fixas industriais. Os efeitos da exposição dos seres humanos ao monóxido de carbono estão associados à capacidade de transporte de oxigênio na combinação com hemoglobina do sangue, uma vez que a afinidade da hemoglobina pelo monóxido de carbono é 210 vezes maior que pelo oxigênio.
- Ozônio (O₃): O ozônio é um gás invisível, com cheiro marcante, composto por 3 átomos de oxigênio, altamente reativo que está presente na alta atmosfera e na superfície. É o principal representante do grupo de poluentes designados genericamente por oxidantes fotoquímicos, sendo formado pela reação dos hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio presentes no ar, sob ação da radiação solar. Pode causar irritação dos olhos, redução da capacidade pulmonar, agravamento de doenças respiratórias, interferência na fotossíntese e danos às obras de arte e estruturas metálicas.
- Dióxido de Nitrogênio (NO₂): É formado pela reação do óxido de nitrogênio e do oxigênio reativo, presentes na atmosfera. Pode provocar irritação da mucosa do nariz manifestada através de coriza e danos severos aos pulmões, semelhantes aos provocados pelo enfisema pulmonar. Além dos efeitos diretos à saúde, o dióxido de nitrogênio também está relacionado à formação do ozônio e da chuva ácida.

3.4. IMPACTOS AO MEIO AMBIENTE E À SAÚDE PÚBLICA

Os poluentes gasosos e o material particulado inalável originados a partir da queima de combustíveis fósseis evidenciam efeitos diretos sobre o sistema respiratório, em especial, de crianças e idosos. O impacto dos poluentes do ar nas doenças cardiovasculares atinge, na maioria das vezes, adultos e idosos, e tem magnitude inferior ao observado para as doenças respiratórias, que apresentam efeito mais agudo (BRAGA et al.,2007).

Considerando-se que, diariamente, cerca de 12 m³ (15 kg) de ar são inalados pela maioria dos indivíduos, quantidade essa que pode variar de acordo com a idade e nível de atividade de cada pessoa, entende-se que a qualidade da respiração afete o funcionamento do metabolismo celular do organismo e, portanto, a saúde do indivíduo. Os poluentes do ar entram no organismo dos seres humanos e de outros seres vivos pelo sistema respiratório, causando grandes desordens neste sistema, e no sistema circulatório (BRAUN et al., 2003).

Através de estudos realizados Amaral e Piubeli (2003) concluíram que: as concentrações de poluentes atmosféricos encontradas em grandes cidades acarretam afecções agudas e crônicas no trato respiratório, mesmo em concentrações abaixo do padrão de qualidade do ar. As populações mais vulneráveis são as crianças, idosas e aquelas que apresentam doenças respiratórias. A mortalidade por patologias do sistema respiratório apresenta uma forte associação com a poluição atmosférica. O material particulado inalável, com dimensão inferior a 10 µm e mais recentemente 2,5 µm, é apontado como o poluente mais frequentemente relacionado com danos à saúde. A mortalidade por doenças cardiovasculares também tem sido relacionada à poluição atmosférica urbana, sendo novamente o material particulado inalável, o poluente frequentemente associado. Estudos experimentais e toxicológicos têm dado sustentação aos resultados encontrados em estudos epidemiológicos.

Quando inaladas, as partículas se depositam em diferentes regiões do trato respiratório. Partículas maiores se depositam na narina, e são eliminadas através dos espirros e pelo ato de assoar o nariz. Aquelas que se encontram na parte posterior da

passagem nasal são levadas pela ação ciliar em direção à orofaringe e a partir deste ponto são engolidas e eliminadas pelo sistema digestório (CETESB, 2008).

Os aumentos dos casos de crises asmáticas e de sintomas respiratórios como tosse, coriza e espirros; aumento da procura de prontos-socorros e de internações hospitalares por quadros de rinite, sinusite, bronquite, asma e pneumonia-broncopneumonia estão sendo relacionados ao aumento das concentrações de $MP_{2,5}$. O efeito do $MP_{2,5}$ sobre o aparelho cardiovascular pode ocorrer de duas formas: indiretamente, através da inflamação pulmonar e da liberação de mediadores inflamatórios, resultando em desfechos sub-agudos e crônicos; e diretamente, através da passagem das partículas para o sangue, levando a alterações agudas na coagulação do sangue, na progressão da aterosclerose e aparecimento de placas instáveis, no controle autonômico cardíaco e na sensibilidade miocárdica. Observa-se como resultados destes efeitos, alterações no ritmo cardíaco (arritmias), diminuição da variabilidade da frequência cardíaca, aumento da pressão arterial, aumento dos marcadores inflamatórios, trombose venenosa e infarto agudo do miocárdio (CETESB, 2008).

De acordo com Benn e Mcauliffe (1981) o dióxido de carbono e o material particulado provenientes de combustões poderiam afetar as temperaturas na terra. O dióxido de carbono tem a propriedade de absorver a radiação infravermelha irradiada pela Terra e emití-la de volta, enquanto as radiações incidentes do sol (de menores comprimentos de ondas) atravessam a atmosfera sem entraves. Este fato é chamado “efeito estufa”. Estima-se que um aumento de 10% no teor de CO_2 elevaria a temperatura global cerca de $0,5^\circ C$. Encontra partida, há o aumento de aerossóis e material particulado, que provoca a dispersão da radiação incidente do sol e, conseqüentemente, a diminuição da temperatura.

As principais conseqüências de um aumento do efeito estufa na Terra são: (a) Nível do mar: ocorrência do derretimento de geleiras e, como conseqüências, elevação do nível do mar; (b) Mudança global do clima: o aumento da temperatura média global implicara conseqüências na produção agrícola em algumas regiões, podendo levar ao aumento da fome nos países mais atingidos, além de causar tempestades e inundações em algumas regiões e secas em regiões onde atualmente o clima é ameno;

(c) Doenças: a população de alguns insetos deve proliferar e expandir, assim doenças como malária e dengue podem aparecer em países temperados e casos de diarreia e infecção alimentar podem aumentar significativamente (ROCHA, ROSA e CARDOSO, 2009).

Nevoeiros e neblinas são resultados da condensação do vapor d'água atmosférico sob a forma de gotículas de água que ficam suspensas na atmosfera, geralmente à superfície do solo. Porém, há alguns tipos de nevoeiro originados por componentes estranhos na atmosfera e que constituem uma das consequências altamente prejudiciais da poluição do ar (TOLENTINO, ROCHA-FILHO e SILVA, 1995).

Na combustão de biomassa, são emitidos para a atmosfera gases, do efeito estufa e precursores do ozônio troposférico, e partículas de aerossol que interagem com a radiação solar e afetam os processos de microfísica e dinâmica de formação de nuvens e a qualidade do ar. Estes efeitos excedem a escala local e afetam regionalmente a composição e propriedades físicas e químicas da atmosfera na América do Sul e áreas oceânicas vizinhas, podendo se tornar um impacto de escala global (FREITAS, LONGO e RODRIGUES, 2009).

As chuvas dissolvem o dióxido de carbono existente na atmosfera, estabelecendo um equilíbrio químico entre o gás carbônico (CO_2), a água (H_2O) e o ácido carbônico (H_2CO_3). O ácido carbônico faz com que as águas das chuvas seja normalmente ácida, o que é indicado pelo seu índice pH igual a 5,6. Porém devido a presença de componentes estranhos na atmosfera (principalmente óxidos de nitrogênio e de enxofre) pode ocasionar a dissolução desses compostos nas águas pluviais, que passarão a conter quantidades por vezes acentuadas de ácido nítrico (HNO_3) e ácido sulfúrico (H_2SO_4). Essa presença diminui o pH das águas pluviais, determinando mais um aspecto nocivo da poluição atmosférica: as chuvas ácidas (TOLENTINO, ROCHA-FILHO e SILVA, 1995).

As chuvas ácidas lavam as folhas dos vegetais causando a dissolução de nutrientes, ocasionando assim o enfraquecimento do vegetal. Ao se precipitarem, essas chuvas depositam ácidos no solo; os ácidos acabam provocando a solubilização e a perda de nutrientes, tornando o solo mais pobre e improdutivo (TOLENTINO, ROCHA-FILHO e SILVA, 1995).

3.5. LEGISLAÇÃO APLICADA A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

O estado do Paraná segue os padrões nacionais de qualidade do ar que foram estabelecidos através da Portaria Normativa IBAMA nº 348 de 14/03/1990 e transformados na Resolução CONAMA nº 03/90, de 28/06/1990 que diz: são padrões de qualidade do ar 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 geral. E os classifica em padrão primário e secundário, os padrões primários são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população, e os padrões secundários são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à flora, à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

A RESOLUÇÃO CONAMA nº 382, de 26 de dezembro de 2006, que estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas levando em consideração a tipologia do processo industrial analisado, unidade de produção e quais os poluentes atmosféricos que são gerados pelo processo.

Segue a RESOLUÇÃO CONAMA nº 436, de 22 de dezembro de 2011, complementando as RESOLUÇÕES 05 e 382 do CONAMA, a fim de determinar padrões e limites máximos de emissão atmosférica para as indústrias instaladas antes de 2 de janeiro de 2007 ou que solicitaram Licença de Instalação (LI) anteriormente a essa data.

Segue a RESOLUÇÃO nº 016/2014 estabelecida pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA) do ano de 2014, que define os critérios para o Controle da Qualidade do Ar como um dos instrumentos básicos da gestão ambiental para proteção da saúde e bem estar da população e melhoria da qualidade de vida, com o objetivo de permitir o desenvolvimento econômico e social do Estado de forma ambientalmente segura, e dá outras providências.

3.6. ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR (IQAr)

O nível da poluição do ar é medido através da quantificação dos principais poluentes nele presente, os chamados Indicadores da Qualidade do Ar. Poluente atmosférico é aquela substância que se encontra no ar e que, pela sua concentração, possa torná-lo impróprio ou ofensivo à saúde (IAP, 2015).

Segundo publicação da Organização Mundial da Saúde (OMS), os padrões de qualidade do ar variam de acordo com a abordagem adotada para balancear riscos à saúde, viabilidade técnica e vários outros fatores políticos, sociais e econômicos, que por sua vez dependem, do nível de desenvolvimento e da capacidade nacional de gerenciar a qualidade do ar. As diretrizes indicadas pelas OMS levam em conta esta heterogeneidade e, reconhecem que, ao formularem políticas de qualidade do ar, os governos devem primeiramente levar em considerações as circunstâncias locais antes de adotarem os valores propostos como padrões nacionais (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2015).

Os padrões de qualidade do ar são muito importantes para o bem estar da população, pois eles definem até que nível a presença de certa substância no ar que respiramos é legalmente tolerada. Eles estipulam os limites de aceitabilidade, e quando os valores estão acima dos estabelecidos podemos chamar o ar de “poluído”(IAP, 2012).

Segundo o IAP (2012), o estado do Paraná segue os padrões nacionais estabelecidos pelas Resoluções CONAMA n° 03/90 e SEMA n° 016/2014, a Tabela 1 apresenta os padrões primários e secundários de qualidade do ar para os sete parâmetros a seguir: Partículas Totais em Suspensão (PTS), Fumaça, Partículas Inaláveis (PI), Dióxido de Enxofre (SO₂), Dióxido de Nitrogênio (NO₂), Monóxido de Carbono (CO) e Ozônio (O₃).

Tabela 1 - Padrões primários e secundários de poluentes atmosféricos no Paraná (Resolução CONAMA n° 03/90, SEMA n° 016/2014).

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ¹	Padrão Secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ¹
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	24 horas	240 ³	150 ³
	1 ano ²	80	60
Fumaça	24 horas	150 ³	100 ³
	1 ano ²	60	40
Partículas Inaláveis (PI)	24 horas	150 ³	150 ³
	1 ano ²	50	50
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	24 horas	365 ³	100 ³
	1 ano ²	80	40
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	40.000 ³	40.000 ³
		10.000 ³	10.000 ³
Ozônio (O ₃)	1 hora	160 ³	160 ³
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	1 hora	320	190
	1 ano ²	100	100

Fonte: IAP, 2012.

Nota:

¹Ficam definidas como condições de referencia a temperatura de 25°C e a pressão de 101,32kPa.

²Média geométrica para PTS; para as demais substancias as médias são aritméticas.

³Não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

O padrão primário de qualidade do ar são as concentrações máximas de um componente atmosférico que, quando ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. O padrão primário pode ser entendido como o nível tolerável de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em meta de curto e médio prazo. Este padrão leva em consideração apenas os danos causados pela poluição atmosférica à saúde da população, e não considera as necessidades da fauna e da flora. O padrão secundário de qualidade do ar apresenta uma proteção maior, ele define legalmente as concentrações das quais se prevê 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 ambiente em geral. Este padrão pode ser entendido como o nível máximo desejado de concentração de poluentes, constituindo-se em meta de longo prazo (CETESB, 2013).

Conforme a Tabela 1, todos os poluentes têm um padrão de curto prazo (horas) e outro que se aplica para longo prazo, exceto para o ozônio. Os padrões de curto prazo levam em considerações os efeitos irritantes e agudos dos poluentes, enquanto que os de longo prazo levam em consideração os efeitos acumuladores e crônicos. Geralmente os efeitos de curto prazo são reversíveis enquanto os de longo prazo não são (IAP,2012).

Segundo o IAP (2012), os padrões primários e secundários são dependentes da classe da área do local para serem aplicados. A Resolução CONAMA n° 05/89 estabeleceu as: classes I, como áreas de preservação, lazer e turismo onde se deve manter as concentrações a um nível mais próximo possível do verificado sem a intervenção antropogênica, ou seja, abaixo dos níveis do padrão secundário; classe II se aplica o padrão secundário e na classe III o padrão menos rígido, usa-se o primário. Os estados são quem estabelece as áreas de classes I, II e III. No Paraná esta classificação foi realizada e consta no Artigo 31 da Lei n° 13.806/02. A Resolução SEMA n° 016/2014 estabelece os critérios para episódios agudos de poluição do ar, através dos níveis de Atenção, Alerta e Emergência conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Critérios para episódios agudos de poluição do ar (Resolução CONAMA n° 03/90, SEMA n° 016/2014).

Poluente	Tempo de amostragem	Nível de Atenção ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Nível de Alerta ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Nível de Emergência ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	24 horas	375	625	875
Fumaça	24 horas	250	420	
Partículas Inaláveis (PI)	24 horas	250	420	500
Dióxido de Enxofre (SO₂)	24 horas	800	1.600	2.100
Monóxido de Carbono (CO)	8 horas	17.000 ¹	34.000 ²	46.000 ³
Ozônio (O₃)	1 hora	400	800	1.000
Dióxido de Nitrogênio (NO₂)	1 hora	1.130	2.260	3.000

Fonte: IAP, 2012.

Nota:

¹ Corresponde a uma concentração volumétrica de 15 ppm.

² Corresponde a uma concentração volumétrica de 30 ppm.

³ Corresponde a uma concentração volumétrica de 40 ppm.

Como forma de facilitar a divulgação das informações a respeito da qualidade do ar e ao mesmo tempo para padronizar todas as substâncias em uma única escala, utiliza-se o índice de qualidade do ar (IQAr). Este índice é obtido através de uma função linear segmentada (Equação 1), onde os pontos de inflexão são os padrões de qualidade do ar (CETESB, 2013).

$$IQAr = \frac{C_p}{P_p} \times 100$$

Equação 1

Onde: Cp = média aritmética no tempo dado da concentração dos poluentes, exceto para o PTS, em que, quando foi calculado o IQAr das PTS, fez-se média geométrica para todas as amostras obtidas;

Pp = padrão primário.

A cada concentração gravimétrica a função atribui um valor para o índice, que é um número adimensional. Para cada poluente medido faz-se o cálculo do índice, sendo que, para efeito de divulgação, utiliza-se o índice mais elevado, ou seja, embora a qualidade do ar de uma estação seja avaliada para todos os poluentes monitorados, a sua classificação é determinada pelo maior índice (pior caso). Este índice também é utilizado para classificar a qualidade do ar em cinco categorias, de Boa até Péssima conforme mostra o Quadro 1 (IAP, 2012).

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

Quadro 1 – classificação da qualidade do ar através do Índice de Qualidade do Ar – IQAr.

Fonte: CETESB, 2012.

3.7. MEDIDAS DE CONTROLE

No início da década de 80 a cidade de Cubatão era mundialmente conhecida como “Vale da Morte”, sendo apontada pela Organização das Nações Unidas (ONU) como o município mais poluído do mundo. Para se tornar um dos polos industriais mais ricos do país, a cidade de Cubatão pagou um preço alto, pois não havia nem um tipo de preocupação quanto aos danos causados por toneladas de poluentes lançados no meio ambiente. As indústrias trabalhavam com um ritmo intenso, gerando consequências catastróficas visíveis e preocupantes (PENSAMENTO VERDE, 2015).

Entre outubro de 1981 e abril de 1982, nasceram na cidade cerca de 1.800 crianças, destas, 37 já nasceram mortas, outras apresentavam problemas neurológicos e anencefalia. Cubatão era líder em casos de problemas respiratórios no país. O governo do estado começou agir a partir de 1983 quando implantou um plano de recuperação ambiental, assim, governantes, indústrias e população passaram a trabalhar em conjunto pela recuperação da saúde local (PENSAMENTO VERDE, 2015).

Em 1989 as 320 fontes poluentes que existiam na época já estavam controladas. As medidas tomadas para esta redução foram: medições constantes das emissões de poluentes no ar, além do controle da despoluição dos rios, gerenciamento por conta do estado e investimento em maquinário moderno por conta das indústrias. Metas a serem seguidas e um planejamento rigoroso foram essenciais para que a situação fosse controlada. Juntamente com o controle das emissões de poluentes, foram feitos planos de recuperação da mata atlântica com o replantio da vegetação nativa. O grande marco de que a qualidade de vida voltava à cidade, foi o reaparecimento do guará-vermelho, pássaro típico da região (PENSAMENTO VERDE, 2015).

Segundo o IAP (2012) no Paraná o controle das emissões de veículos em usos, se deu a partir do Plano de Controle de Poluição Veicular do Paraná – PCPVPR, aprovado em novembro de 2010 e revisado em maio de 2011. Este plano tem como objetivos específicos:

- Reduzir os níveis de emissão de poluentes por veículos automotores visando o atendimento aos Padrões de Qualidade do Ar, especialmente nos centros urbanos;
- Promover o desenvolvimento tecnológico nacional, tanto na engenharia automobilística, como também em métodos e equipamentos para ensaios e medições da emissão de poluentes;
- Criar programas de inspeção e manutenção para veículos automotores em uso;
- Promover a conscientização da população com relação à questão da poluição do ar por veículos automotores;
- Promover a melhoria das características técnicas dos combustíveis líquidos, postos à disposição da frota nacional de veículos automotores, visando à redução de emissões poluidoras à atmosfera;

Colocando em prática estes objetivos, benefícios serão alcançados, como, melhora na qualidade de vida, preservação na qualidade do ar e sustentabilidade ambiental.

De forma geral algumas medidas que podem ser tomadas para solucionar os problemas da poluição do ar, segundo Leal (2008), são:

- A existência de uma rigorosa legislação antipoluição, que obrigue as fábricas a instalarem filtros nas suas chaminés, a tratar os seus resíduos e a usar processos menos poluentes. Penalizações para as indústrias que não estiverem de acordo com as Leis;
- Controle rigoroso dos combustíveis e sobre seu grau de pureza;
- Criação de dispositivos de controle de poluição;
- Vistoria nos veículos automotores para retirar de circulação os desregulados. Nos modelos mais antigos a exigência de instalação de filtros especiais nos escapamentos;
- Aplicação de rodízio de carros diariamente;
- Incentivar as pessoas a deixarem seus carros em casa pelo menos dois dias, organizando assim, um sistema de caronas e a utilizarem mais os transportes coletivos;

- Melhoria e segurança no sistema de transporte coletivo;
- Recolhimento de condicionadores de ar, geladeiras e outros produtos que usam clorofluorcarboneto (CFC);
- Incentivo às pesquisas para a elaboração de substitutos do CFC;
- Investimentos nas fontes alternativas de energia e na elaboração de novos tipos de combustíveis como o álcool vegetal (carros), extraído da cana-de-açúcar e do eucalipto, e do óleo vegetal (substitui o óleo diesel e o combustível para a aviação), extraído da mamona, do babaçu, da soja, do algodão, do dendê e do amendoim;
- Melhor planejamento das cidades, buscando a harmonia entre a natureza e a urbanização;
- Maior controle e fiscalização sobre desmatamentos e incêndios nas matas e florestas;
- Proteção e conservação dos parques ecológicos;
- Incentivo à população para plantar árvores;
- Campanhas de conscientização da população para os riscos da poluição;
- Cooperação com as entidades de proteção ambiental.

De acordo com Ceron (2009), a classificação dos equipamentos de controle, utilizado por indústrias, são em função do estado físico do poluente a ser considerado.

Os principais equipamentos são:

- Filtros de manga: remove o pó da corrente de gás, o fluxo gasoso é forçado através de um meio poroso (filtro) onde o material particulado é retido;
- Coletores gravitacionais: utilizam a deposição gravitacional das partículas carregadas pelo fluxo gasoso;
- Lavadores úmidos: usa-se o processo de absorção em líquido para a separação dos poluentes da corrente gasosa. A absorção pode ser entendida como um íntimo contato dos gases com o líquido de absorção, o que permite que os gases poluentes fiquem dissolvidos no líquido. Assim, as partículas aerossóis são transferidas da suspensão da corrente gasosa para o líquido de lavagem via mecanismos gravitacionais ou inerciais;

- Ciclones: baseia-se na ação da força centrífuga que age sobre as partículas carregadas pelo fluxo de gás, empurrando-as na direção das paredes, e retirando-as do fluxo gasoso;
- Lavadores de gases: a absorção de gases é efetuada através do contato do fluxo gasoso com gotas de líquido, através de sprays, colunas de enchimento ou outros equipamentos. Para cada tipo de gás deve ser usado um líquido em particular;
- Precipitadores eletrostáticos: consiste na indução de forças elétricas nos filtros através de um campo elétrico externo. A coleta ocorre da seguinte forma, as partículas carregadas são atraídas a um coletor carregado com cargas opostas, ficando aderidas neste e se separando do fluxo;
- Adsorvedores: a adsorção ocorre quando alguns gases são seletivamente capturados por superfícies ou poros de materiais sólidos;
- Condensadores: são trocadores de calor, que promovem mudança de fase dos poluentes gasosos, possibilitando a remoção desses;
- Catalisadores: é basicamente uma câmara através da qual o poluente combustível, gás ou vapor, é forçado a passar. O catalisador é uma substância que aumenta a taxa de reação (ou combustão), sem participar do processo.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais e métodos utilizados para a obtenção dos dados e a área de estudo.

4.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Curitiba está localizado, conforme mostra a Figura 2, no Primeiro Planalto do Paraná, na sua parte menos ondulada, possui um espaço geográfico de 432,17 km² de área na latitude 25°25'40"S e longitude 49°16'23"W. A Região Metropolitana de Curitiba é composta por 26 municípios com área de 15.622,33 km² (ATLAS GEOGRAFICO, 2008). Segundo IAP (2009), Curitiba tem um clima subtropical e úmido, com invernos brandos geralmente com geadas ocasionais e temperaturas mínimas chegando a -3°C. No verão são registradas temperaturas máximas de até 35°C, com umidade relativa variando entre 75 e 85%. As precipitações ocorrem o ano inteiro com maior frequência nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro e com menor frequência nos meses de inverno, junho, julho e agosto. Com ventos predominantes advindos geralmente da região leste.

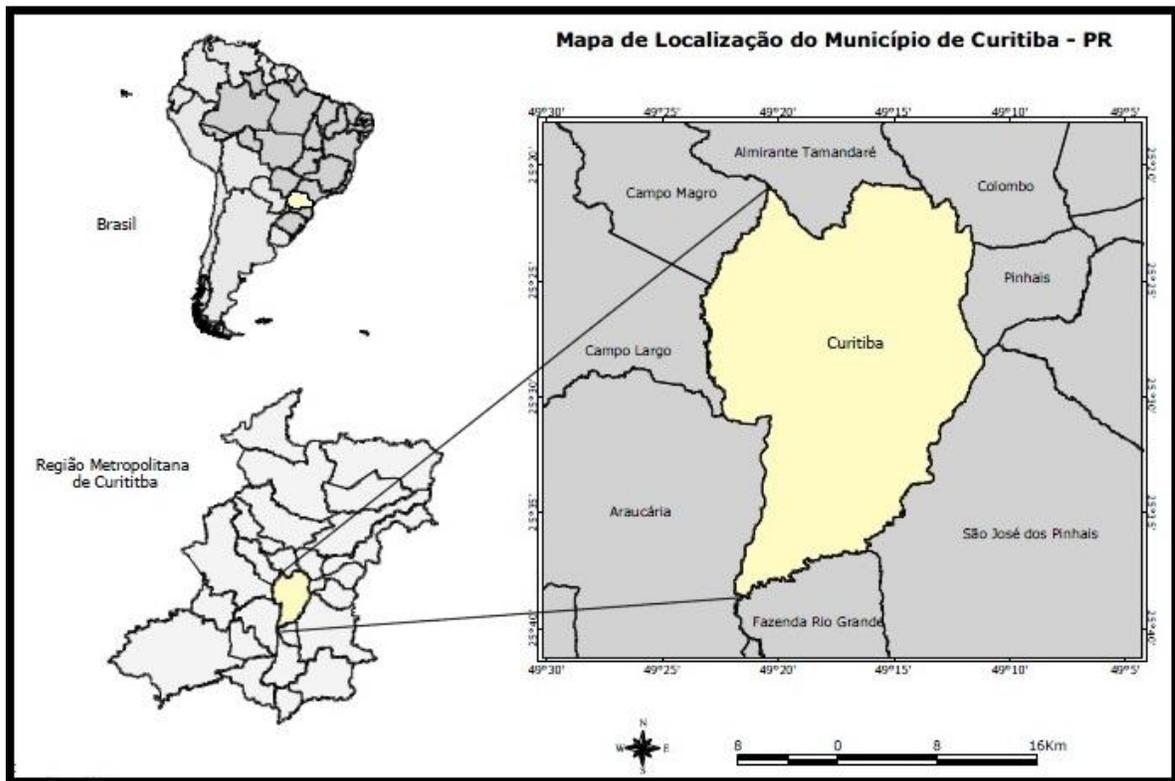


Figura 2 – Localização do Município de Curitiba - PR.
Fonte: CURITIBA, 2008.

O solo de Curitiba é composto por 20% de solos aluviais, formados por areias e argilas orgânicas, estes tipos de solo contêm baixa resistência e grande quantidade de água, 35% de argilas fraturadas e 45% de solos residuais, formados pela alteração da rocha que se encontra no subsolo (COMEC, 2006).

Curitiba é constituída por diversos rios e riachos que a cortam em diferentes direções e está situada a margem direita e a leste da bacia hidrográfica do Rio Iguaçu. Sua vegetação predominante é composta por estepes gramíneo-lenhosas, pontuadas por capões de florestas com araucárias, além de outras formações, como várzeas e matas ciliares (ATLAS geográfico, 2008).

4.2. MÉTODOS PARA OBTENÇÃO DOS DADOS

Para a obtenção dos dados necessários para a realização do presente estudo, foram feitas análises bibliográficas a respeito do assunto, levantamento de laudos técnicos com dados do monitoramento da qualidade do ar da região de estudo e foram obtidos dados meteorológicos, junto ao Instituto Tecnológico SIMEPAR Previsão e Monitoramento e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para verificar o perfil climatológico de Curitiba.

O monitoramento da qualidade do ar na Região Metropolitana de Curitiba iniciou-se na década de 80 e contava com quatro estações de monitoramento, sendo, uma localizada em Curitiba e as outras três localizadas em Araucária (IAP, 2015).

Atualmente a rede de monitoramento da qualidade do ar da região metropolitana de Curitiba conta com doze estações, sendo, sete estações automáticas e cinco manuais. Destas, oito estações (três automáticas e cinco manuais) são de propriedade do IAP e quatro (automáticas) pertencem a outras entidades (IAP, 2015).

Os laudos técnicos são emitidos pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP), desde o ano 2000, estes apresentam as concentrações diárias e anuais dos poluentes monitorados, além de dados meteorológicos, incluindo temperatura, umidade relativa, radiação global, velocidade e direção dos ventos e pressão. Estas informações servem para interpretar as condições ambientais durante o período de monitoramento e suas influências no comportamento dos poluentes amostrados.

Os relatórios escolhidos para análise do presente estudo são do período de 2002 a 2012. Com a intenção de realizar uma comparação entre duas áreas específicas, área com indústrias e área com grande movimento de tráfego, foram selecionadas duas estações, uma localizada na região oeste, Cidade Industrial de Curitiba (CIC) e outra localizada na região central, Praça Ouvidor Pardiniho (PAR). Na Figura 3 é possível verificar as localizações das duas estações.

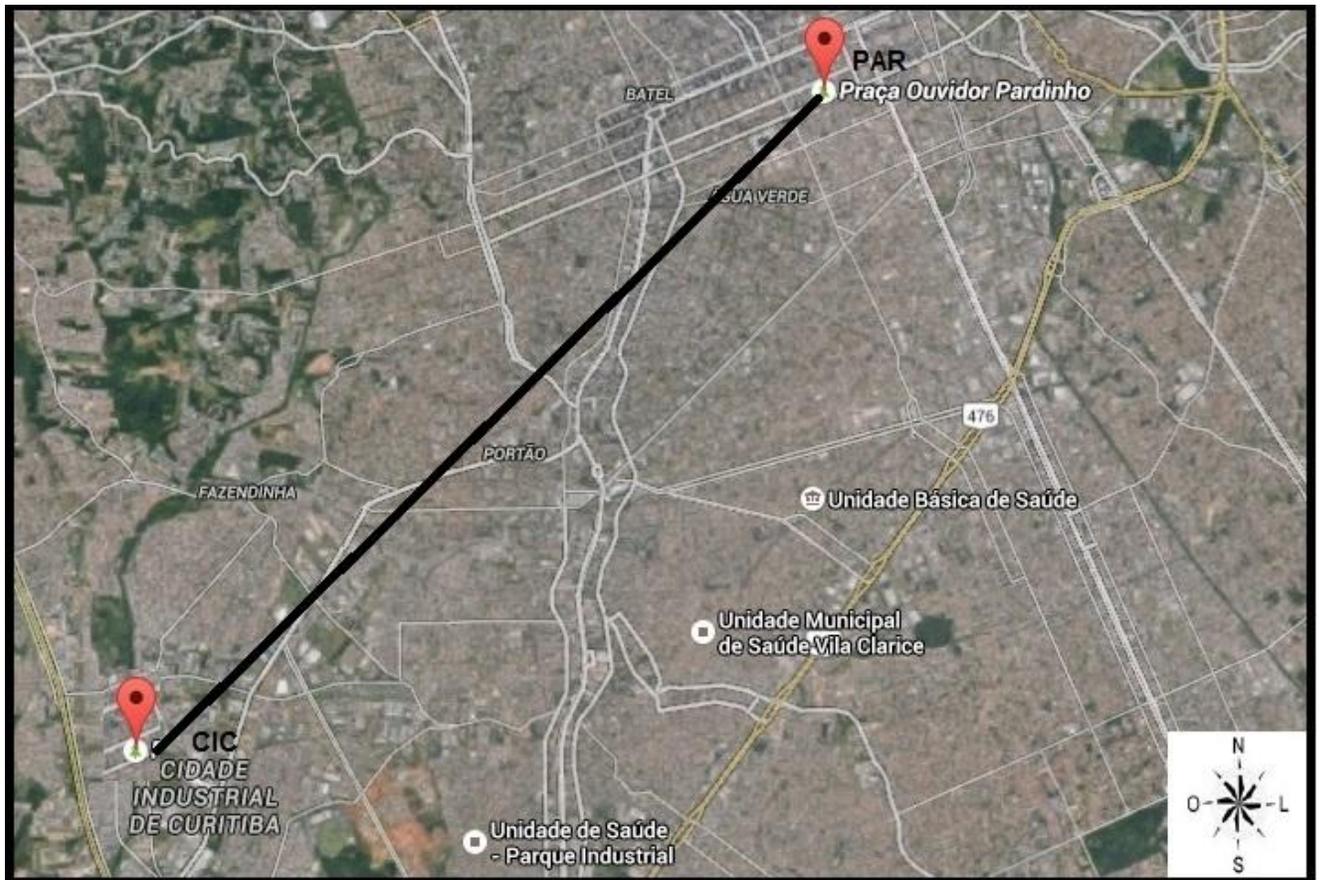


Figura 3 – Localização das estações CIC e PAR.
Fonte: GOOGLE EARTH (Julho de 2015).

Os poluentes atmosféricos amostrados pelas duas estações e escolhidos para serem analisados são dióxido de enxofre (SO_2), partículas totais em suspensão (PTS), partículas inaláveis (PI), monóxido de carbono (CO), ozônio (O_3) e dióxido de nitrogênio (NO_2). Como cada uma das duas estações analisava um ou mais poluentes, em períodos distintos, para um melhor entendimento, foram agrupado os dados em tabelas de forma a separar cada poluente por estação e o período amostrado, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 – Relação de poluentes monitorados, períodos amostrados e estações de coleta.

Estação	Poluente analisado	Período amostrado
Cidade industrial de Curitiba – CIC	O ₃ , SO ₂ , NO ₂	2002 a 2006
Praça Ouvidor Pardiniho	O ₃ , SO ₂	2002
Cidade industrial de Curitiba – CIC	*	2007 a 2010 ¹⁾
Praça Ouvidor Pardiniho	SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , CO, PTS, PI	2003, 2006, 2007, 2011, 2012, 2013 e 2014
Cidade industrial de Curitiba – CIC	SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , CO, PTS, PI	2011 a 2013
Praça Ouvidor Pardiniho	SO ₂ , O ₃ , CO, PTS, PI	2004
Cidade industrial de Curitiba – CIC	NO ₂ , CO, PTS, PI	2014
Praça Ouvidor Pardiniho	SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , PTS, PI	2005, 2008, 2009

Fonte: IAP, 2012.

Nota: 1) A estação CIC teve sua operação interrompida em junho de 2006 em função de ações de vandalismo, logo não há dados desta estação para este período.

Após a definição do período, locais de coletas e parâmetros a serem analisados, fez-se o levantamento das concentrações dos poluentes presentes nos relatórios. Estes dados possibilitaram avaliar o grau de deterioração da qualidade do ar no município, bem como, verificar o comportamento dos poluentes ao longo do período de monitoramento.

4.3. ANÁLISE DOS DADOS

A partir do levantamento dos dados, elaborou-se gráficos e realizou-se a interpretação dos mesmos. Foram feitas análises de forma comparativa entre os dados obtidos do monitoramento e os limites estabelecidos pela legislação vigente, Resolução CONAMA n° 03/90 e SEMA 016/2014, comparando as concentrações de médias diárias, anuais e os possíveis efeitos causados à saúde da população.

Após a tabulação, foram elaboradas as médias anuais de cada parâmetro analisado. As médias anuais de SO₂, NO₂, O₃, CO e PI se deram através dos cálculos das médias aritméticas, conforme segue a Equação 2:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{Equação 2}$$

Como definido pela Resolução CONAMA n° 03/90, a média anual de PTS deve ser obtida por meio da média geométrica das concentrações diárias, conforme segue a Equação 3:

$$\left(\prod_{i=1}^n a_i \right)^{1/n} = (a_1 \times a_2 \times \dots \times a_n)^{1/n} = \sqrt[n]{a_1 \times a_2 \times \dots \times a_n} \quad \text{Equação 3}$$

As concentrações em forma de médias de curto prazo (horária ou diária) e de longo prazo (anual) de cada poluente monitorado foram confrontadas com os respectivos padrões estabelecidos na Resolução CONAMA n° 03/90 e SEMA n° 016/2014. Assim pode se identificar os períodos que ocorreram ultrapassagens dos padrões horários e/ou diários, bem como as ultrapassagens dos padrões anuais. Para uma melhor visualização destas violações foram elaborados gráficos para ilustrar tal comportamento.

Cabe ressaltar que a adoção de critérios de representatividade de dados é de extrema importância em sistemas de monitoramento. Caso estes critérios não sejam atendidos significa que as falhas de medição ocorridas comprometem a interpretação dos resultados. Geralmente na operação de uma rede de estações de monitoramento acontecem falhas na obtenção de dados, podendo ser devido à calibração ou manutenção dos analisadores, ou até mesmo por falta de energia, entre outros motivos. Isto não é um problema para o cálculo das médias diárias ou anuais se os valores válidos não ficarem abaixo de um limite estabelecido de representatividade. Portanto, é extremamente importante em análises comparativas de ano a ano o cuidado para não

se comparar dados representativos com dados não representativos, pelo fato de a legislação ter estipulado os limites tendo como base uma amostragem representativa de forma contínua.

Como as legislações não determinam qual o número mínimo de amostras para a representatividade das médias mensais e anuais fica estabelecido neste trabalho o uso da metodologia de representatividade de dados em redes automáticas de monitoramento definida pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, conforme segue no Quadro 2 a seguir:

Média	Indicação
Horária	3/4 das medidas válidas na hora.
Diária	2/3 das médias horárias válidas no dia.
Mensal	2/3 das médias diárias válidas no mês.
Anual	1/2 das médias diárias válidas para os quadrimestres janeiro-abril, maio-agosto e setembro-dezembro.

Quadro 2 - Representatividade dos dados em Rede Automática de Monitoramento da Qualidade do Ar.

Fonte: CETESB, 2013.

Assim para o presente trabalho foi estabelecido que as médias horárias consideradas válidas deveriam apresentar uma média de 30 minutos válidas. Para a representatividade da média diária fica estabelecido um tempo de monitoramento entre 16 e 20 horas, para as médias mensais deveriam constar pelo menos 3 amostragem durante o mês e para as médias anuais no mínimo 8 amostragens em cada quadrimestre.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS

São vários os fatores meteorológicos que indicam o comportamento dos poluentes na atmosfera, sendo que, dentre eles, o comportamento da precipitação pluviométrica permite verificar se a atmosfera esteve mais ou menos estável, favorecendo ou não a dispersão desses poluentes. É extremamente importante o conhecimento a respeito da meteorologia do local que se vai realizar o estudo de monitoramento do ar, pois a concentração dos poluentes na atmosfera é influenciada diretamente pela distribuição e intensidade das emissões dos poluentes atmosféricos, pela topografia e pelas condições atmosféricas reinantes (CETESB, 2013).

Para a caracterização das condições de dispersão dos poluentes atmosféricos, foram utilizadas informações sobre as temperaturas, as precipitações pluviométricas e sobre a frequência e direção dos ventos.

5.1.1. Temperatura

Para análise das temperaturas máximas e mínimas da cidade de Curitiba, adotou-se o critério de comparação dos dados obtidos junto ao SIMEPAR, referente aos anos de 2011 a 2014, com as normais climatológicas para a cidade de Curitiba definidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para essa caracterização, utilizaram-se as normais climatológicas referentes ao período de 1961 a 1990. O Gráfico 2 mostra as normais climatológicas do período de 1961 a 1990 e o Gráfico 3 mostra as temperaturas de Curitiba para o período de 2011 a 2014.

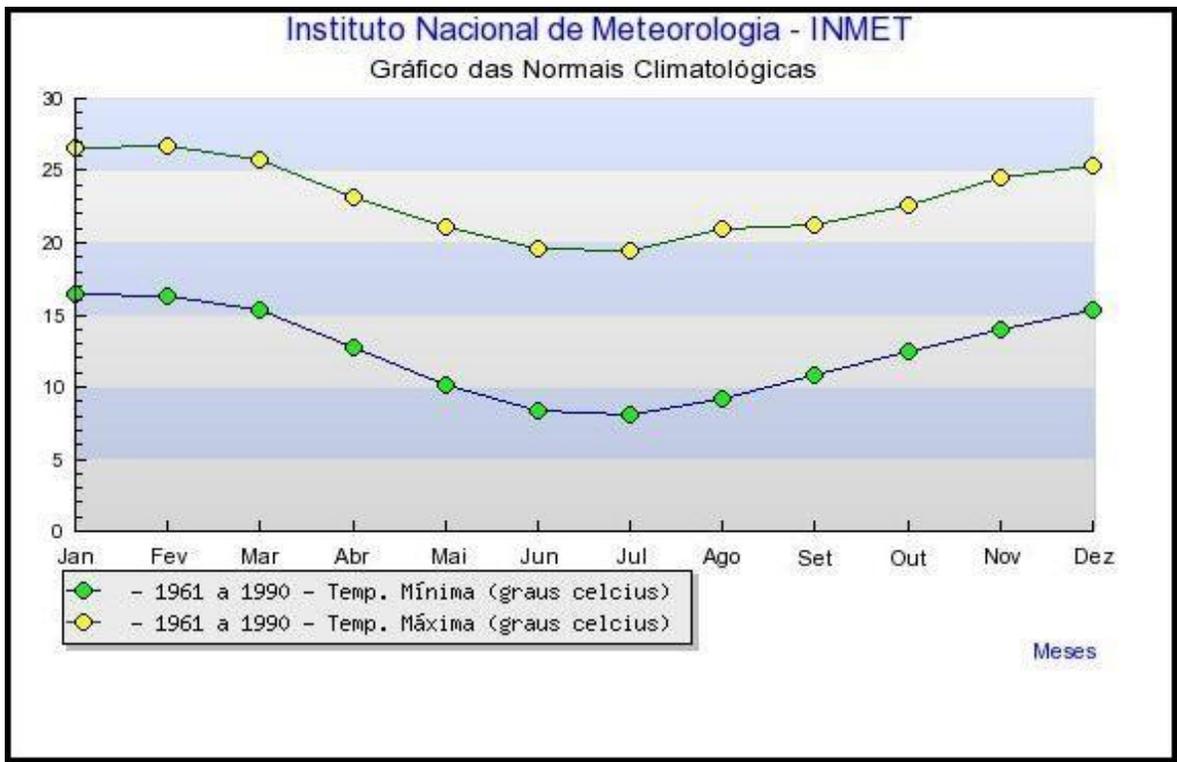


Gráfico 2 – Normais climatológicas (Temperaturas) da cidade de Curitiba, período de 1961 a 1990.

Fonte: INMET, 2015.

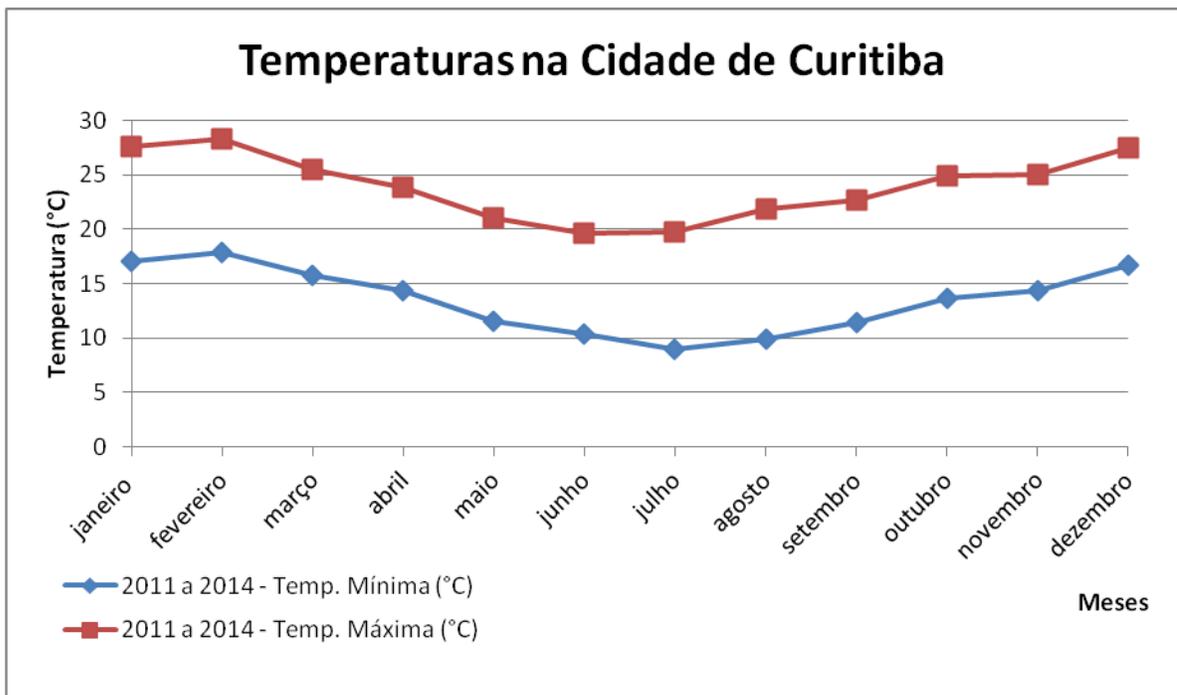


Gráfico 3 – Temperaturas na cidade de Curitiba, período de 2011 a 2014.

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados do SIMEPAR, 2015.

Através da análise dos Gráficos 2 e 3, verificou-se que as temperaturas de Curitiba, seguiu o mesmo padrão durante o período, apresentando temperaturas mínimas menores que 10°C nos meses de junho, julho e agosto e apresentando temperaturas máximas maiores ou iguais a 25°C nos meses de janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro.

Durante o mês de fevereiro (Gráfico 3) verificou-se que a temperatura máxima do período de 2011 a 2014 esteve em torno de 1°C acima da normal climatológica. Possivelmente esse fato esteja relacionado a período de estiagem em parte do verão desses anos, que contribuíram para a permanência da massa de ar quente sobre a região. Nos meses de maio e junho as temperaturas mínimas, estiveram em média de 2°C acima da normal climatológica. As temperaturas ligeiramente mais elevadas durante o inverno podem estar relacionadas às características dos fenômenos meteorológicos que atuaram na época. É importante mencionar que as características do entorno das estações são fatores que também influenciaram essas variações.

5.1.2. Precipitações Pluviométricas

Para análise das variações pluviométricas também se optou por realizar comparação, entre os dados obtidos junto ao SIMEPAR e as normais climatológicas. Os Gráficos 4 e 5 apresentam as normais climatológicas e as precipitações na cidade de Curitiba, respectivamente.

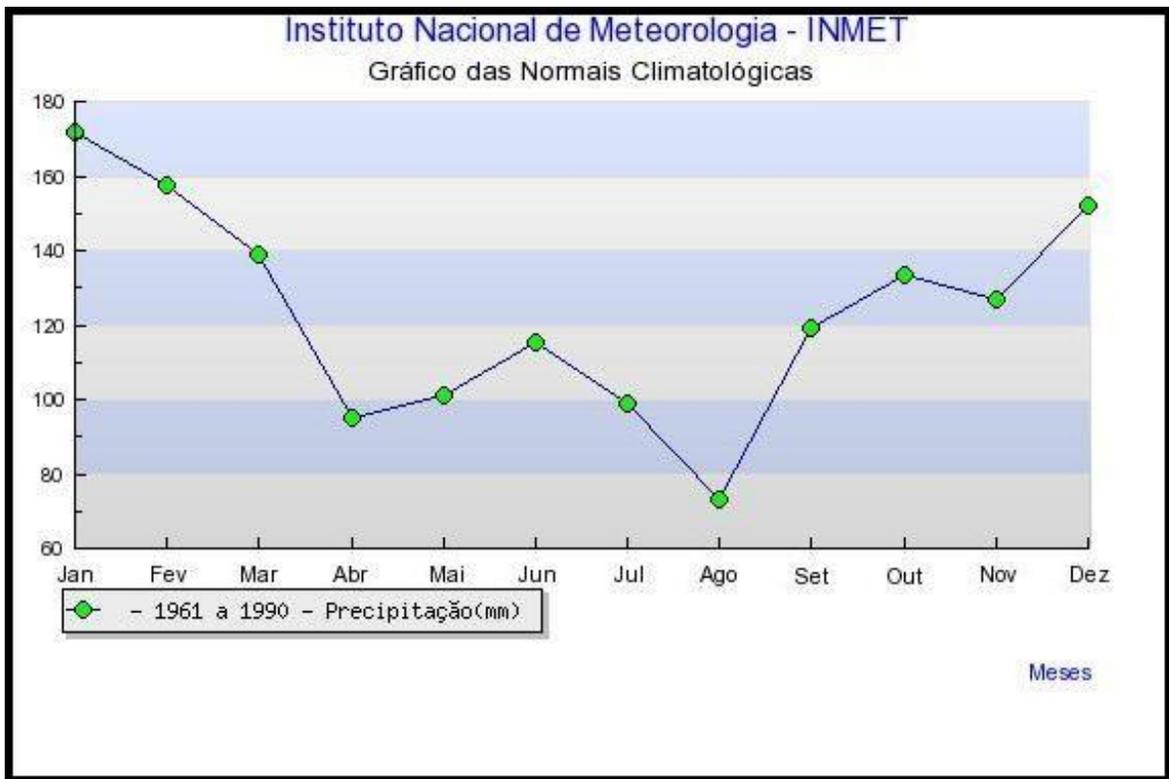


Gráfico 4 - Normais climatológicas (Precipitação) da cidade de Curitiba, período de 1961 a 1990.
Fonte: INMET, 2015.

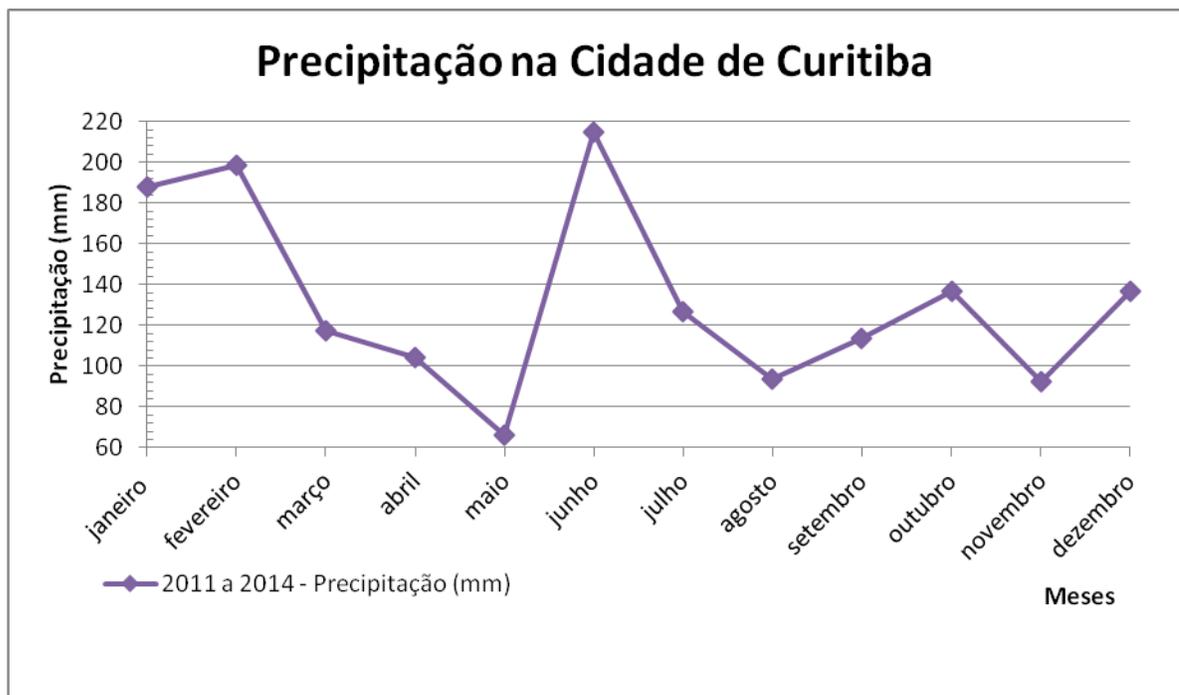


Gráfico 5 - Precipitação na cidade de Curitiba – PR, período de 2011 a 2014.
Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados do SIMEPAR, 2015.

Analisando o Gráfico 4 das normais climatológicas, verifica-se que o período chuvoso fica compreendido entre os meses de dezembro a março, pois são os meses que apresentam os maiores acumulados pluviométricos. Já entre os meses de abril a agosto esse acumulado se reduz em quase 30%.

Observando as precipitações ocorridas (Gráfico 5) para os anos de 2011 a 2014, os valores estiveram, em geral, acima do acumulado resultante das normais climatológicas. Os meses janeiro, fevereiro e junho se destacaram por apresentar um acumulado de chuva significativamente maior do que o esperado. O mês de maio se destaca por apresentar um acumulado de chuva menor que o esperado. No mês de agosto as concentrações de poluentes atmosféricos encontram-se elevadas, pois este corresponde ao inverno e a época de seca. Já os meses de dezembro a março correspondem à época chuvosa, apresentando menores concentrações de partículas em suspensão.

5.1.3. Frequência da direção dos ventos

O Gráfico 6 mostra a direção predominante dos ventos em todas as estações de monitoramento realizado pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP).

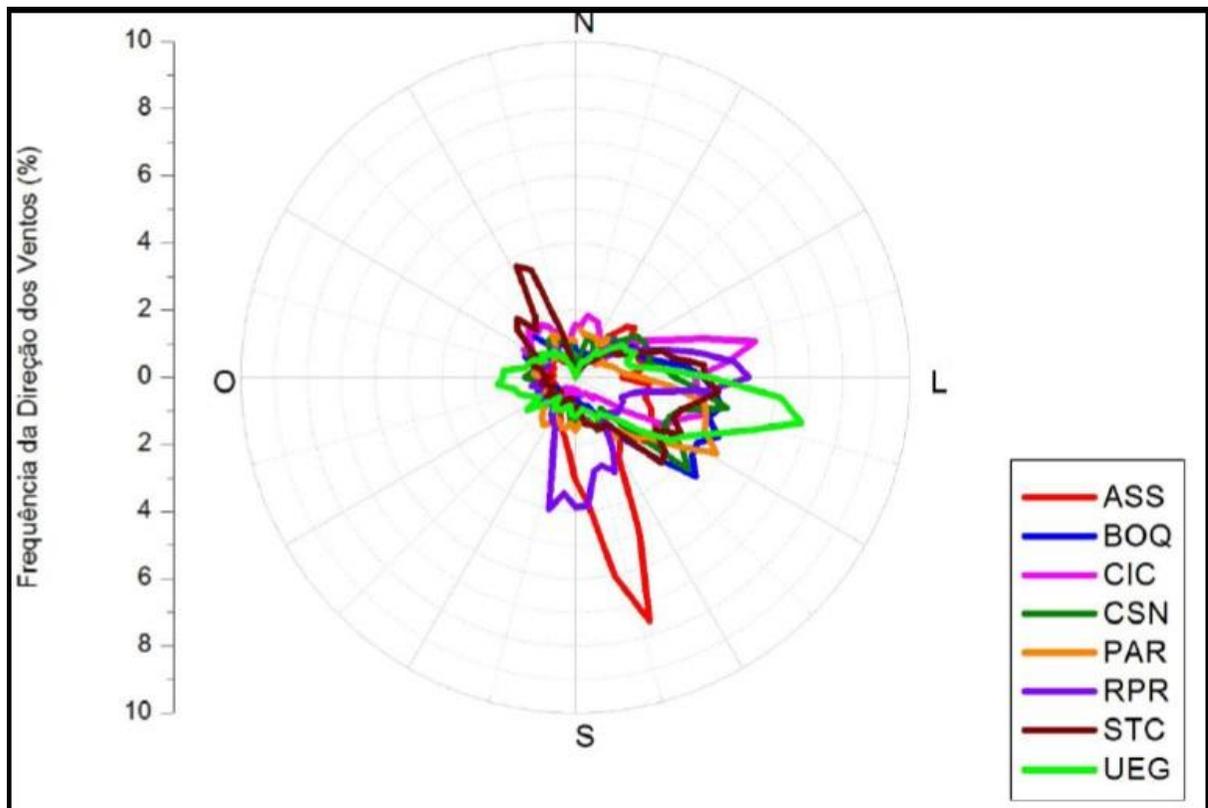


Gráfico 6 - Frequência das direções dos ventos nas estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar no ano de 2012.
Fonte: IAP 2012.

Os ventos na cidade de Curitiba são predominantes da região leste e a sua velocidade é um dos parâmetros mais importante para as condições de dispersão de poluentes. Em boas condições de dispersão, os poluentes estão sendo bem espalhados pelos mecanismos de transportes, não se acumulando próximos às fontes. Quando as condições são desfavoráveis à dispersão, os poluentes se acumulam, causando em muitas vezes ultrapassagens dos padrões estabelecidos. Um ponto importante a considerar quando se trata de monitoramento de poluentes é que: se uma concentração esta menor do que o ano anterior para determinado poluente não significa necessariamente que foi lançado menos para a atmosfera, isto pode ter ocorrido pelas condições mais favoráveis à dispersão (IAP, 2012).

5.2. PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO (PTS)

O monitoramento de partículas totais em suspensão (PTS) foi realizado, somente, pela estação da Praça Ouvidor Pardinho (PAR), já que os valores medidos na estação Cidade Industrial de Curitiba (CIC) não atenderam ao critério de representatividade.

Verificou-se, conforme ilustra os Gráficos 7 e 8, que para a estação PAR, houve monitoramento ao longo dos anos de 2002 a 2012, exceto, para o ano de 2008 onde o valor para média anual não foi divulgado pelo relatório da qualidade do ar.

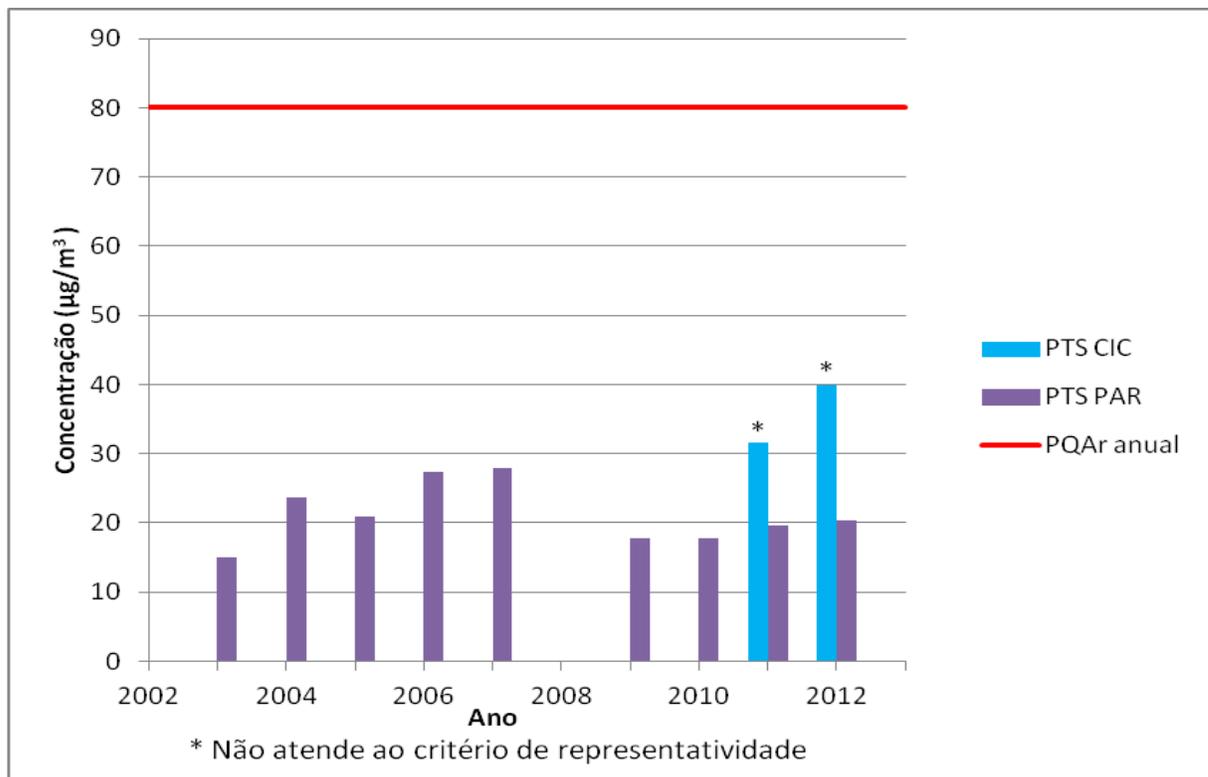


Gráfico 7 - Médias anuais para PTS no período de 2002 a 2012 nas estações CIC e PAR.

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados do Relatório anual da qualidade do ar na região metropolitana de Curitiba (IAP 2002-2012).

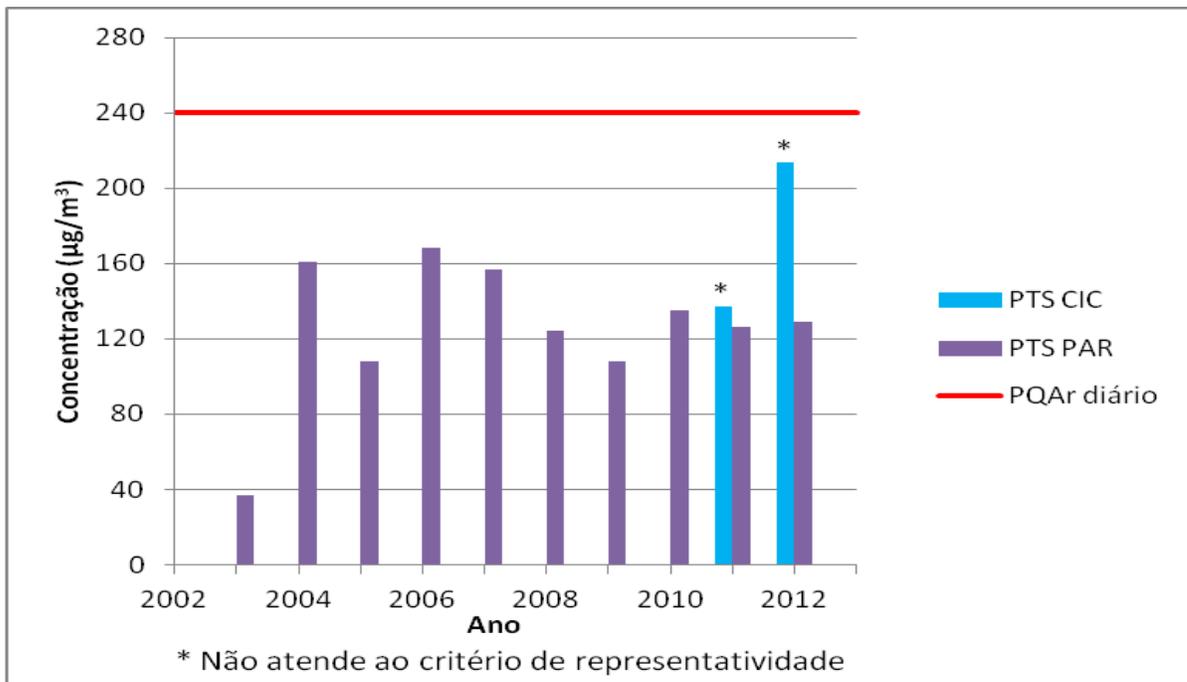


Gráfico 8 - Médias diárias para PTS no período de 2002 a 2012 nas estações CIC e PAR.

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados do Relatório anual da qualidade do ar na região metropolitana de Curitiba (IAP 2002-2012).

A partir da análise dos Gráficos 7 e 8 verificou-se que não houve casos de ultrapassagens do padrão diário ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e anual ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$), estabelecidos pelas Resoluções CONAMA n° 03/90 e SEMA n° 016/2014. O valor máximo diário ocorreu no ano de 2006, $168,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e o valor máximo anual foi medido no ano de 2007, $27,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Estes índices baixos podem estar associados às condições meteorológicas mais favoráveis a dispersão, como a condição boa dos ventos, e podem ser reflexos de outras ações que causaram a redução das emissões deste poluente, principalmente dos veículos a diesel, pelos programas do PROMOT e PRONCOVE. E pode-se averiguar também, que a qualidade do das regiões em estudos não estão sendo afetadas por este poluente.

5.3. PARTÍCULAS INALÁVEIS (PI)

Os monitoramentos de Partículas Inaláveis (PI), pela estação de monitoramento CIC, não atendem aos critérios de representatividade conforme mostra os Gráficos 9 e 10, isso dificultou a proposta do trabalho que era realizar comparações entre as áreas de estudo.

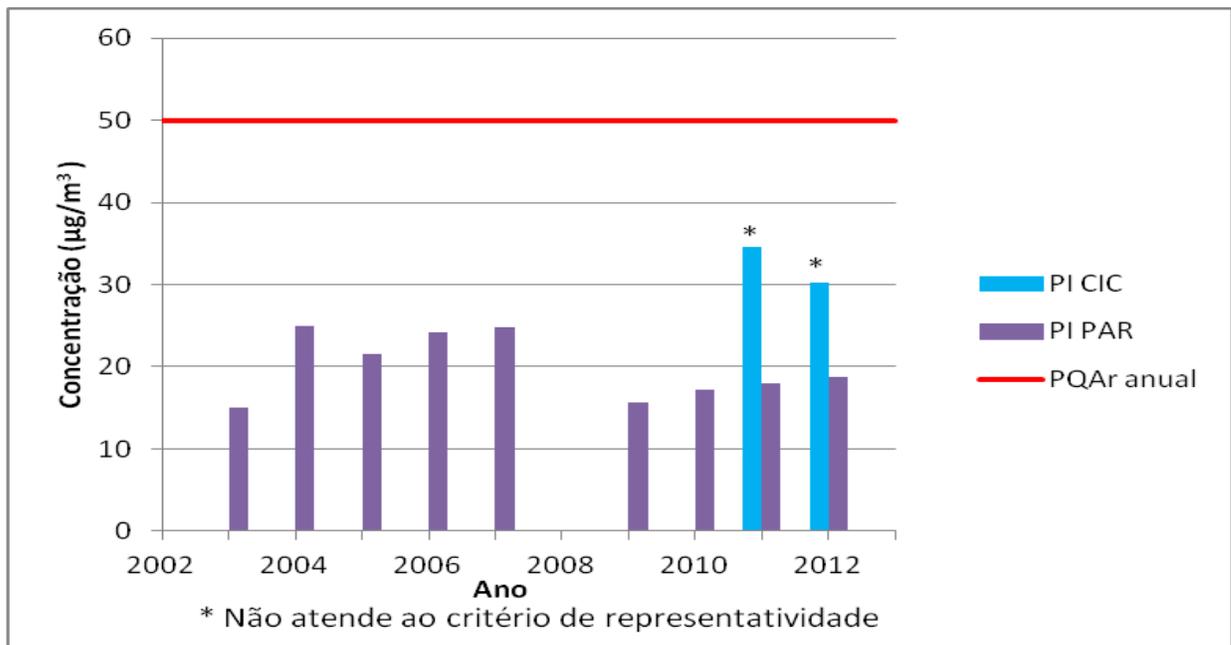


Gráfico 9 - Média anual para PI no período de 2002 a 2012 nas estações CIC e PAR.

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados do Relatório anual da qualidade do ar na região metropolitana de Curitiba (IAP 2002-2012).

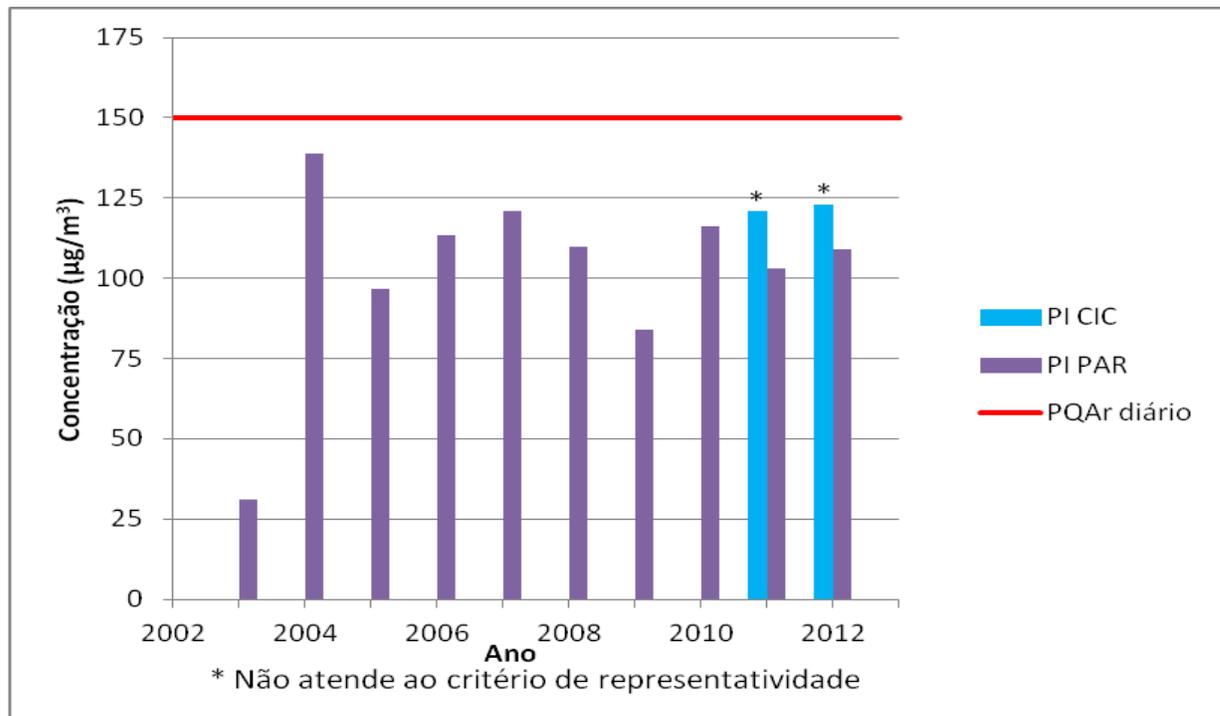


Gráfico 10 - Média diária para PI no período de 2002 a 2012 nas estações CIC e PAR.

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados do Relatório anual da qualidade do ar na região metropolitana de Curitiba (IAP 2002-2012).

A Resolução CONAMA n° 03/90 e SEMA n° 016/2014 definiram como padrão de emissão para as partículas inaláveis o limite de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para média diária e $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para média anual. Analisando os Gráficos 9 e 10 observa-se que não houve ultrapassagens dos limites estabelecidos pelas resoluções. No período de 2009 a 2012 verificou-se um pequeno crescimento das médias anuais, isso pode ter ocorrido devido ao aumento das frotas de carros disponíveis na cidade de Curitiba.

Dentre as amostragens obtidas para as partículas inaláveis, pode-se perceber que ha uma predominância de concentrações com valores acima de $84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para as médias diárias e de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para as médias anuais.

5.4. DIÓXIDO DE ENXOFRE (SO₂)

Os resultados de SO₂ nos períodos monitorados são apresentados nos Gráficos 11 e 12, por médias anuais e médias diárias, respectivamente.

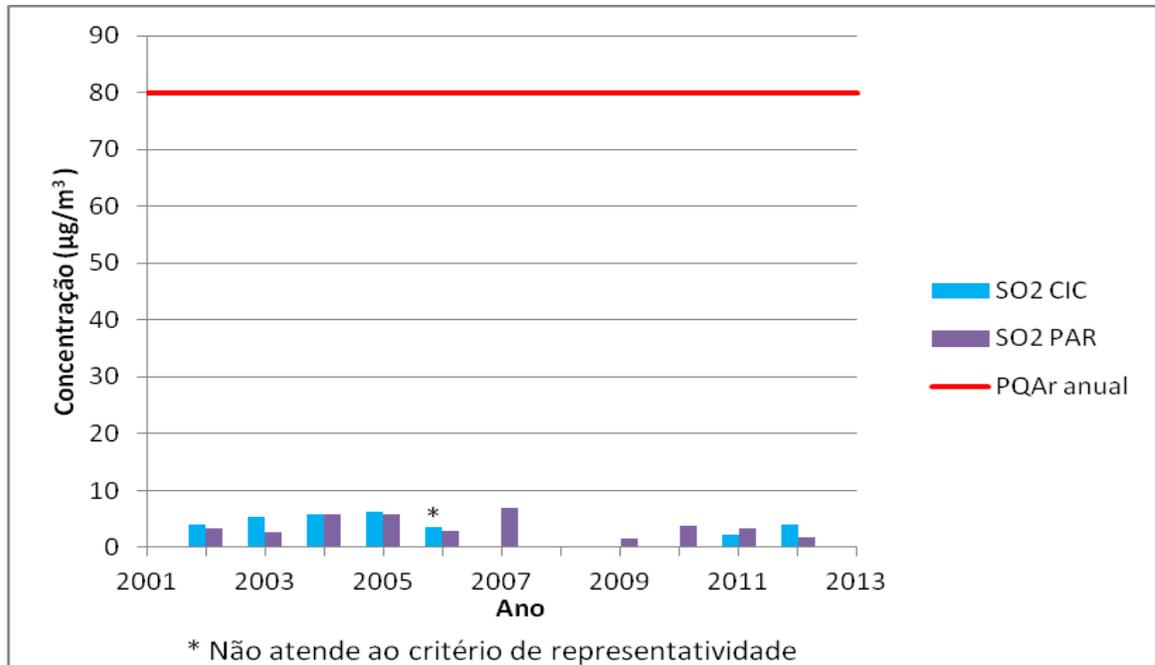


Gráfico 11 - Média anual para SO₂ no período de 2002 a 2012 nas estações CIC e PAR.

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados do Relatório anual da qualidade do ar na região metropolitana de Curitiba (IAP 2002-2012).

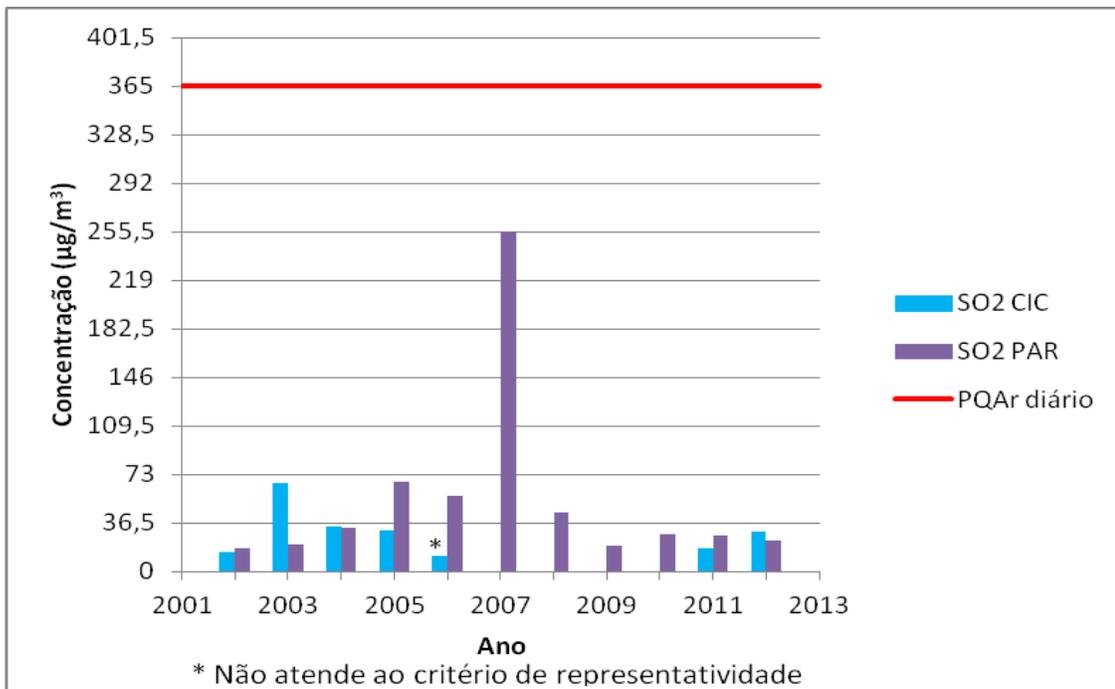


Gráfico 12 - Médias diárias para SO₂ no período de 2002 a 2012 nas estações CIC e PAR.
Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados do Relatório anual da qualidade do ar na região metropolitana de Curitiba (IAP 2002-2012).

Analisando os resultados de SO₂ nos períodos monitorados, observou-se nos Gráficos 11 e 12 que não houve ultrapassagem do PQAr diário (365 µg/m³) e do anual (80 µg/m³) de dióxido de enxofre em nenhuma das duas estações de monitoramento. Verificou-se também que, a estação automática da Praça Ouvidor Pardiniho (PAR) apresentou a maior concentração máxima diária no ano de 2007, com valor de 255,8 µg/m³ e a maior média anual de 7 µg/m³. Uma explicação para estes picos terem ocorridos no ano de 2007, é que este foi considerado o sexto ano mais quente desde meados do século 19, provavelmente, este fato propiciou a difusão do poluente.

Nestas duas estações de monitoramento observou-se que as médias diárias ao longo dos anos não ultrapassaram o valor de 68 µg/m³, exceto para o ano de 2007 onde ocorreu o valor máximo observado, conforme citado anteriormente; e as médias anuais não ultrapassaram o valor de 7 µg/m³, neste mesmo período. Assim nota-se que este poluente, considerado primário, emitido diretamente pela fonte emissora, apresenta valores muito abaixo do padrão estabelecido pela Resolução CONAMA n° 03/90 e SEMA n° 016/2014, uma explicação para tal fato, pode ser devido a um maior controle das fontes fixas por parte das indústrias, com vista à legislação específica do

Paraná (Resolução SEMA n° 016/2014) e/ou devido à melhoria das tecnologias dos veículos de combustão e em específico à redução do teor de enxofre dos combustíveis, tanto industrial como automotivo. No ano de 2012 houve uma diminuição no valor anual da concentração de SO₂ em relação ao ano de 2011, possivelmente isto aconteceu devido, ao fornecimento de um óleo diesel contendo menor teor de enxofre, contendo no máximo 50 ppm de enxofre, o S50. Este óleo diesel foi fornecido primeiramente na cidade de São Paulo, no ano de 2009, e verificou-se que as concentrações anuais de SO₂, naquela região, diminui, passando de 5 µg/m³ em 2009 para 4 µg/m³ em 2013.

5.5. MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

O Gráfico 13 mostra os dados das médias máximas horárias, 8 horas, para CO no período de 2002 a 2012 nas estações CIC e PAR.

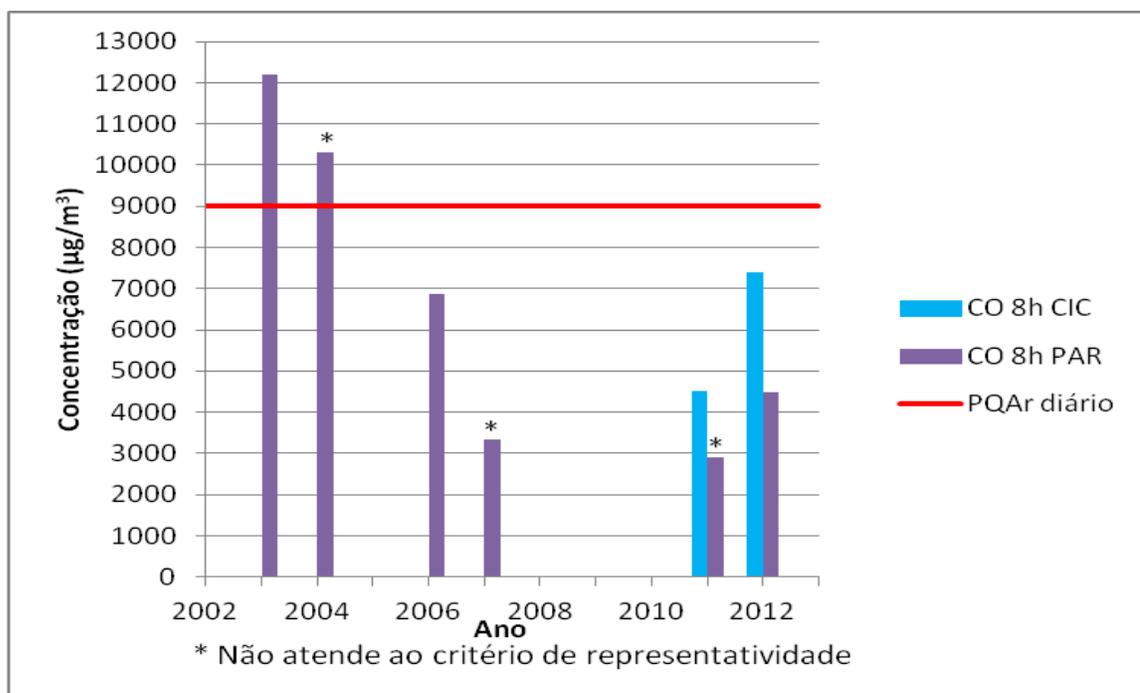


Gráfico 13 - Médias máximas horárias, 8 horas, para CO no período de 2002 a 2012 nas estações CIC e PAR.

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados do Relatório anual da qualidade do ar na região metropolitana de Curitiba (IAP 2002-2012).

Analisando o Gráfico 13, verificou-se que ocorreu uma única ultrapassagem do padrão da qualidade do ar de 8 horas para o monóxido de carbono (9 ppm), o valor foi de $12.196 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e ocorreu na estação PAR no ano de 2003. Possivelmente este valor foi alto devido ao aumento da frota de veículos na região metropolitana de Curitiba, ou devido às condições desfavoráveis de dispersão do poluente.

O Gráfico 14 mostra a classificação da qualidade do ar das médias de 8 horas para o CO no período de 2002 a 2012 na estação PAR.

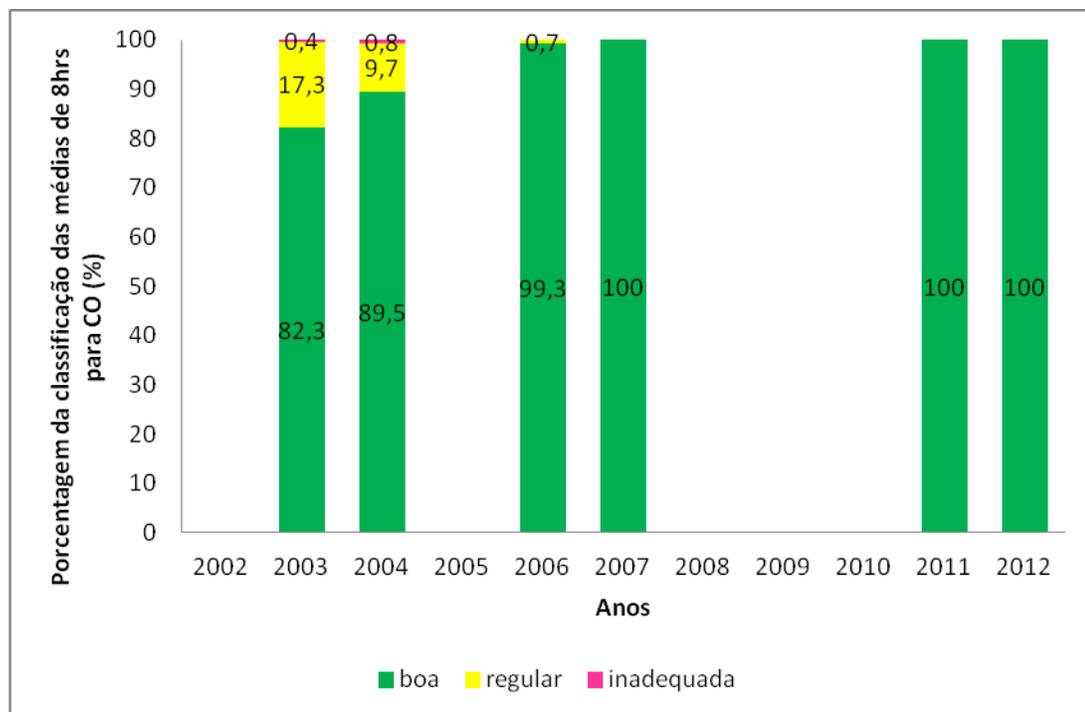


Gráfico 14 - Classificação das médias de 8 horas para CO na Estação Praça Ouvidor Pardiniho no período de 2002 a 2012.

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados do Relatório anual da qualidade do ar na região metropolitana de Curitiba (IAP 2002-2012).

Observou-se no Gráfico 14 que houve uma grande melhora no índice da qualidade do ar, pois no ano 2003 a classificação tida como regular foi de 17,3%, este valor praticamente caiu pela metade no ano de 2004 sendo de 9,7, e nos anos de 2007, 2011 e 2012 a classificação da qualidade do ar foi dada como boa. A classificação do ar como boa nestes últimos anos, possivelmente é devido à redução das emissões dos

veículos leves novos, em atendimento aos limites cada vez mais rígidos dos programas PROCONVE e do PROMOT, associada à renovação da frota existente.

5.6. OZÔNIO (O₃)

O Gráfico 15 mostra a evolução das concentrações máximas horárias do ozônio no período de 2002 a 2012.

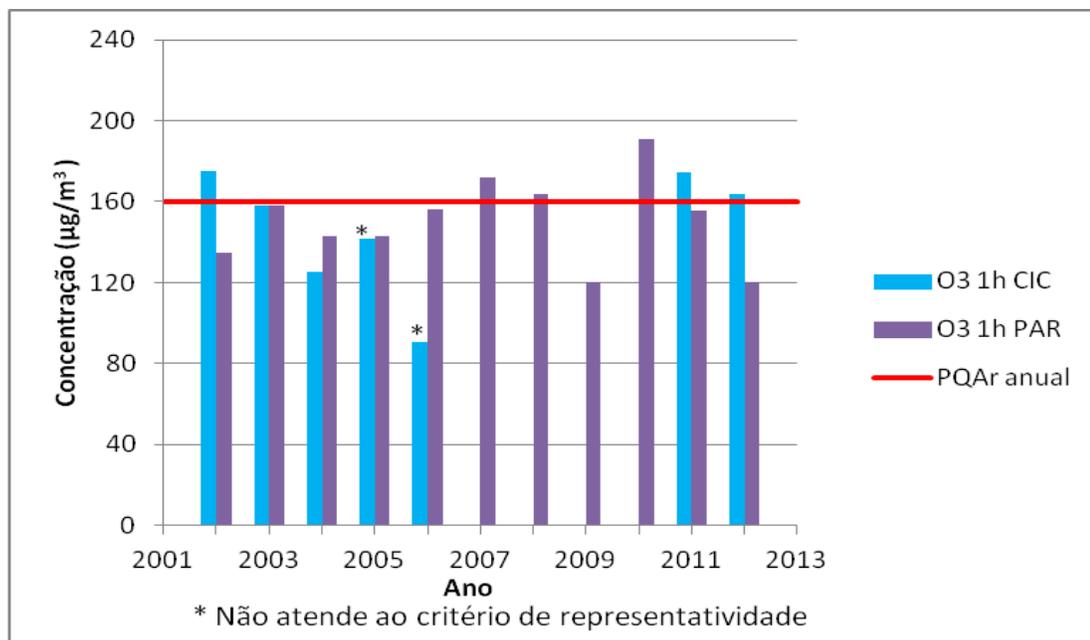


Gráfico 15 - Médias anuais das concentrações máximas diárias (médias de 1 hora) para O₃ no período de 2002 a 2012 nas estações CIC e PAR.

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados do Relatório anual da qualidade do ar na região metropolitana de Curitiba (IAP 2002-2012).

De acordo com o Gráfico 15, nos anos de 2002, 2011 e 2012 na estação de monitoramento CIC, houve ultrapassagens das médias horárias estabelecidas pelas Resoluções, os valores foram de 175 µg/m³, 174,5 µg/m³ e 164 µg/m³, respectivamente. Já na estação PAR, estas ultrapassagens ocorreram nos anos de 2007, 2008 e 2010, com valores de 171,9 µg/m³, 163,6 µg/m³ e 190,9 µg/m³ respectivamente.

Observou-se também pelo gráfico, que este poluente não apresenta uma tendência comportamental definida, devido a sua formação próxima à superfície ser

influenciada pelas condições meteorológicas, como variação da nebulosidade, quantidade da radiação solar incidente, altas temperaturas, transportes atmosféricos de precursores, bem como transporte do próprio ozônio de uma região para outra.

As variações observadas entre as estações podem se dar em função das diferenças das características das fontes de emissão de cada lugar, bem como das condições meteorológicas locais decorrentes de diferentes condições de topografia, em conjunto com os sistemas meteorológicos de grande e/ou médias escalas, que influenciam na circulação e transporte do poluente e de seus precursores de uma região para outra.

5.7. DIÓXIDO DE NITROGÊNIO (NO₂)

Os monitoramentos de dióxido de nitrogênio (NO₂), que também é precursor do ozônio, estão representados nos Gráficos 16 e 17:

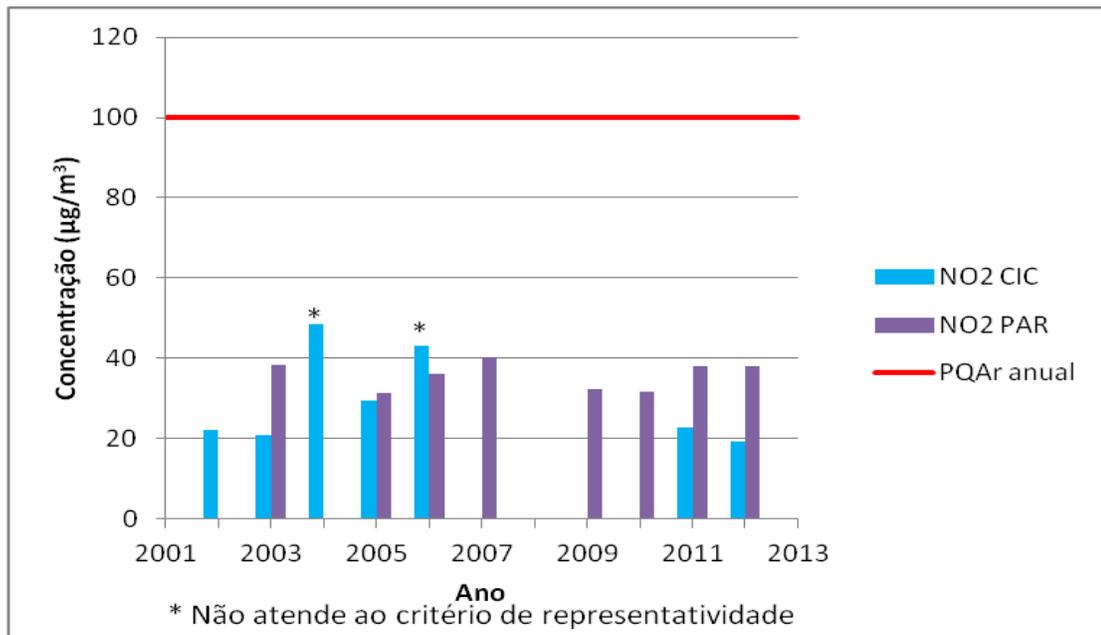


Gráfico 16 - Média anual para NO₂ no período de 2002 a 2012 nas estações CIC e PAR.
 Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados do Relatório anual da qualidade do ar na região metropolitana de Curitiba (IAP 2002-2012).

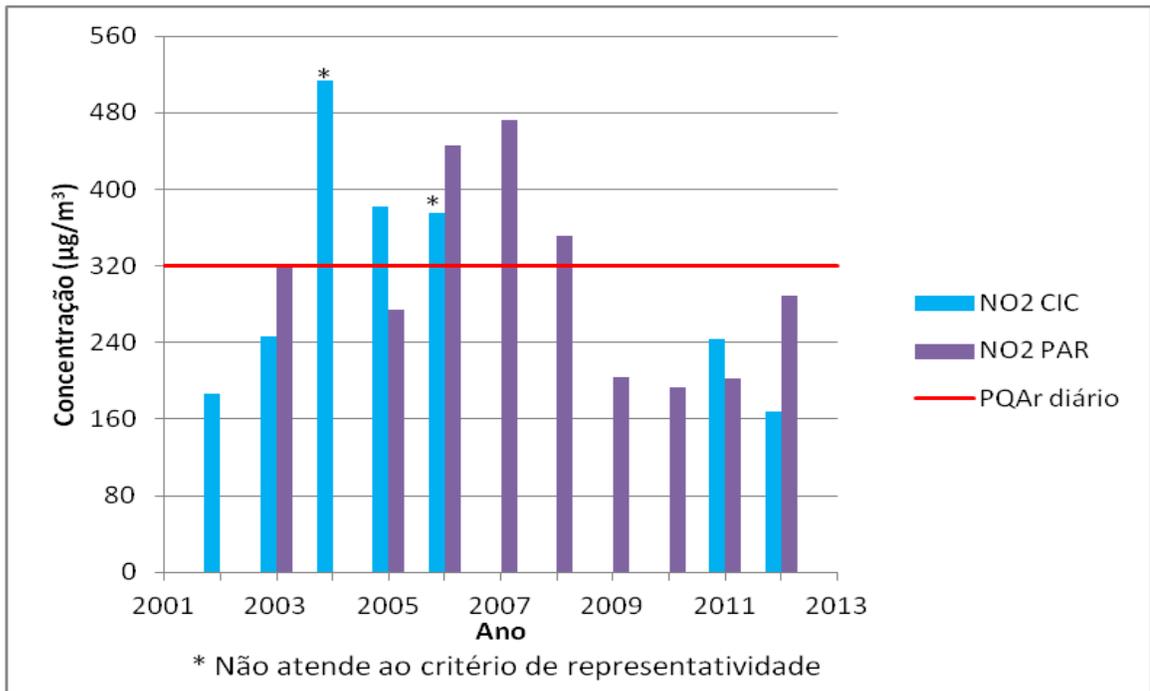


Gráfico 17 - Médias máximas horárias, 1 hora, para NO₂ no período de 2002 a 2012 nas estações CIC e PAR.

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados do Relatório anual da qualidade do ar na região metropolitana de Curitiba (IAP 2002-2012).

Os Gráficos mostraram que a estação CIC apresentou uma única ultrapassagem do padrão horário ($320 \mu\text{g}/\text{m}^3$) no ano de 2005 com o valor de $382,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Já a estação PAR apresentou 4 ultrapassagens deste mesmo padrão, nos anos de 2003, 2006, 2007 e 2008, com valores respectivos de $322 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $446 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $471,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $351,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, possivelmente estes valores foram altos devido ao grande tráfego de veículos que ocorre nesta região.

Em nenhuma das duas estações, houve ultrapassagens dos padrões anuais ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) os valores variaram entre, $40,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ máximo e $31,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mínimo, para a estação PAR e entre $29,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ máximo e $19,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mínimo, para a estação CIC. De maneira geral, não há uma tendência definida do comportamento deste poluente nas estações de monitoramento.

5.8. AVALIAÇÃO DOS IQAr DAS ESTAÇÕES DE ESTUDOS

Para a avaliação dos IQAr dos poluentes, adotou-se o critério de comparação entre as duas estações, para isso de acordo com a Tabela 3, analisou-se os poluentes que foram monitorados em ambas as estações no referente período. Assim para o ano de 2002 a 2006 e 2011 a 2012 os IQAr analisados foram dos poluentes SO₂, O₃ e NO₂, o poluente NO₂ não foi monitorado nos anos de 2002 e 2004 na estação Ouvidor Pardinho.

5.8.1. Análise IQAR SO₂

Observa-se pelos Gráficos 18 e 19 que a qualidade do ar da região metropolitana de Curitiba não esta sendo afetada pela emissão de dióxido de enxofre (SO₂), pois a qualidade do ar foi classificada como BOA em todos os anos de monitoramento, isso se deve, possivelmente, ao controle exercido sobre as fontes fixas e da redução do teor de enxofre dos combustíveis, tanto industrial como automotivo.

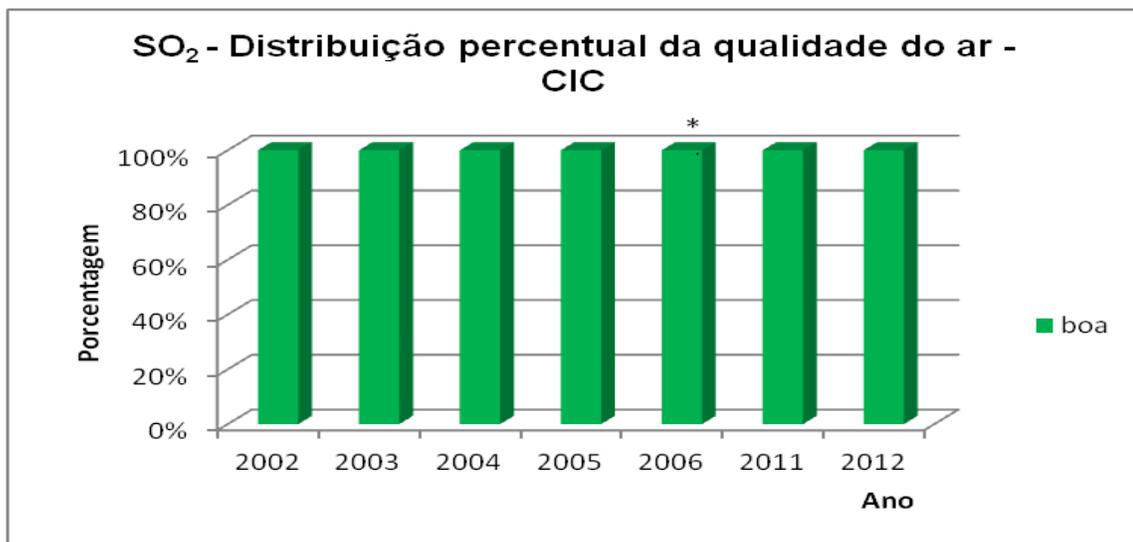


Gráfico 18 - Classificação IQAr para SO₂ na estação de monitoramento CIC, período de 2002 a 2012.

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados do Relatório anual da qualidade do ar na região metropolitana de Curitiba (IAP 2002-2012).

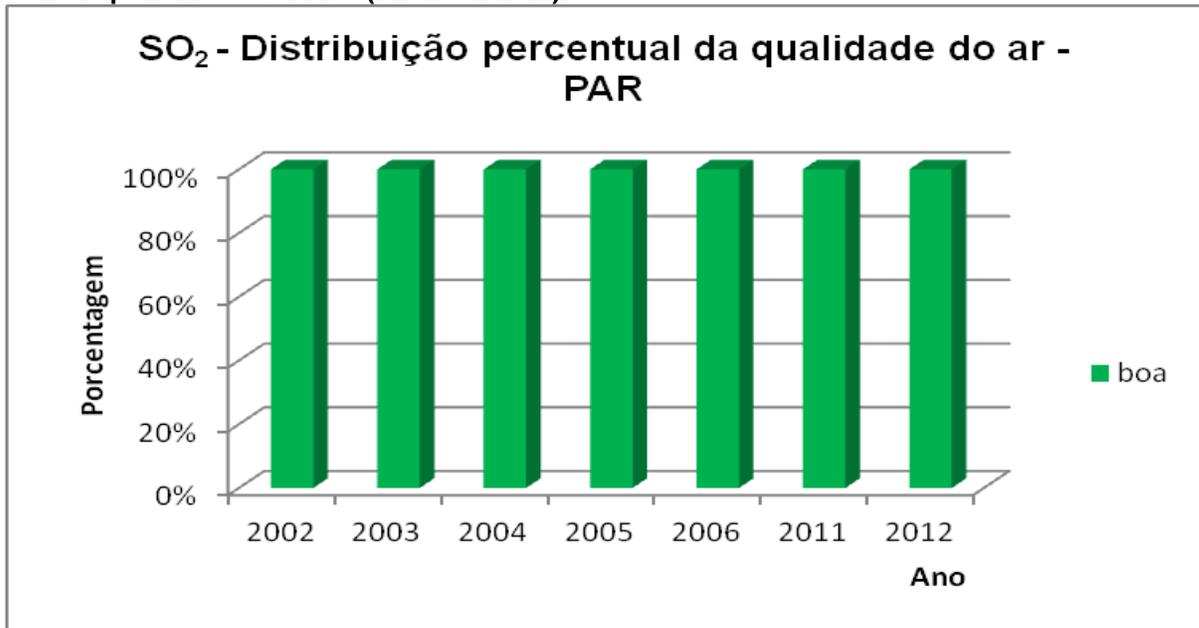


Gráfico 19 - Classificação IQAr para SO₂ na estação de monitoramento PAR, período de 2002 a 2012.

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados do Relatório anual da qualidade do ar na região metropolitana de Curitiba (IAP 2002-2012).

5.8.2. Análise IQAr NO₂

Pelos Gráficos 20 e 21, observa-se que nos anos de 2004 a 2006 na estação de monitoramento CIC, a classificação da qualidade do ar foi considerada como INADEQUADA, na estação PAR esta classificação ocorreu nos anos de 2003 e 2006. A classificação foi dada como REGULAR nos outros anos de monitoramento das duas estações. Apesar de não apresentar uma tendência definida, as emissões do poluente estão afetando de forma significativa a qualidade do ar da cidade.

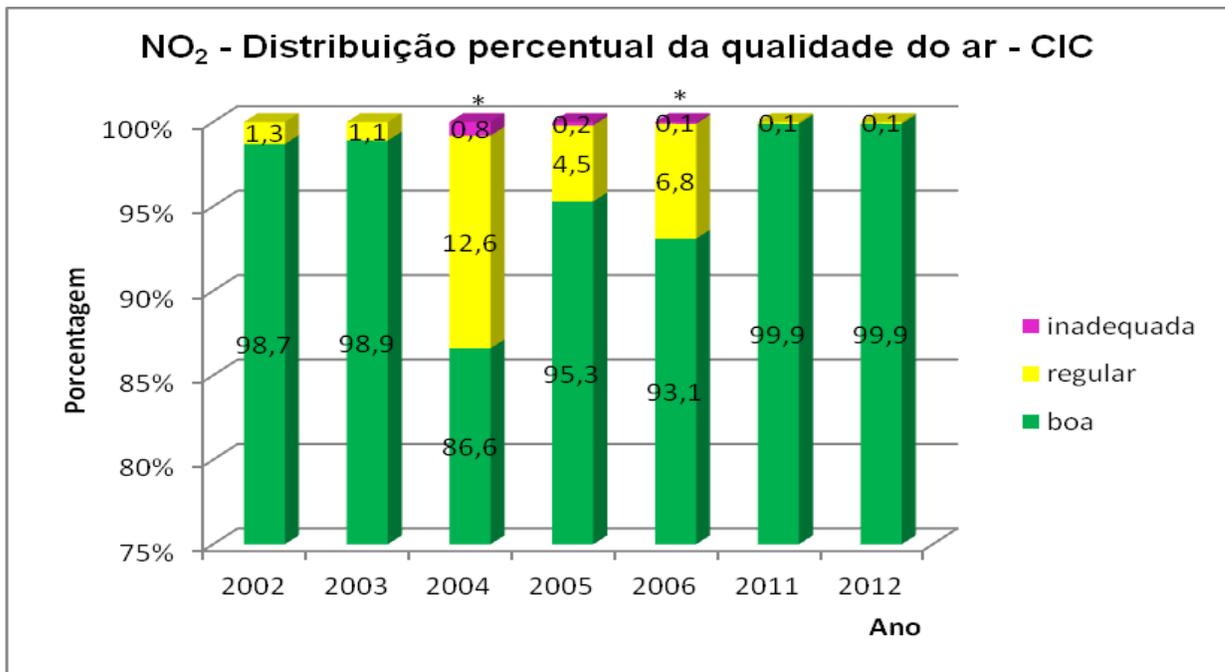


Gráfico 20 - Classificação IQAr para NO₂ na estação de monitoramento CIC, período de 2002 a 2012.

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados do Relatório anual da qualidade do ar na região metropolitana de Curitiba (IAP 2002-2012).

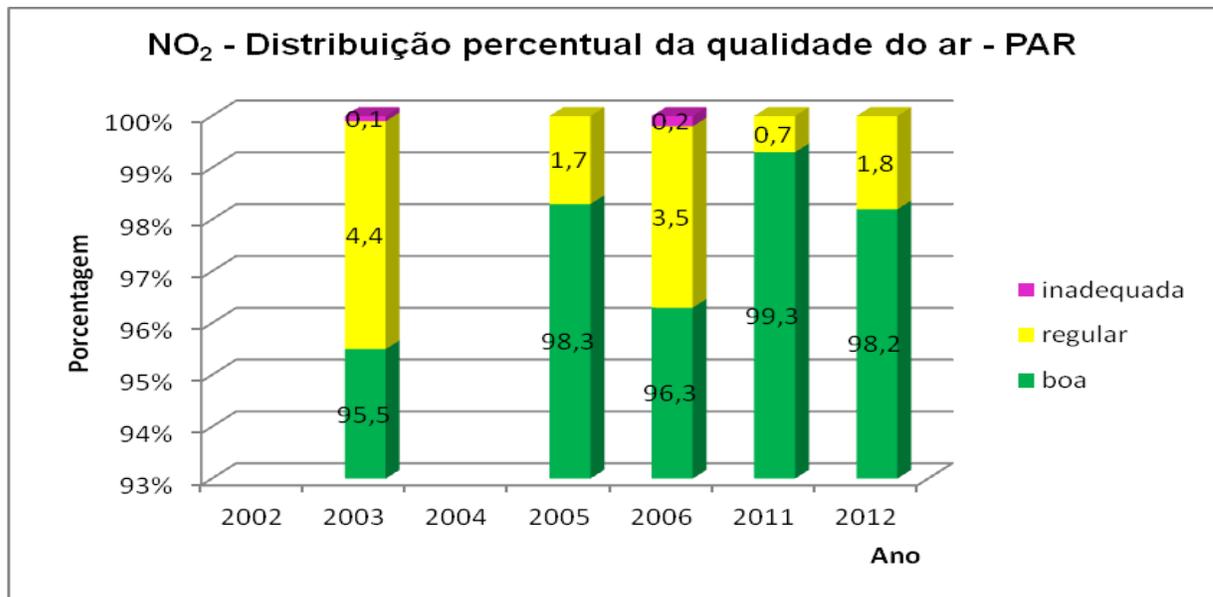


Gráfico 21 - Classificação IQAr para NO₂ na estação de monitoramento PAR, período de 2002 a 2012.

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados do Relatório anual da qualidade do ar na região metropolitana de Curitiba (IAP 2002-2012).

5.8.3. Análise IQAr O₃

A partir da análise dos Gráficos 22 e 23, verificou-se que para o poluente ozônio (O₃) a estação CIC apresentou os piores índices para os anos de 2002, 2011 e 2012 sendo considerado como INADEQUADO, para os outros anos a qualidade do ar para esta estação foi REGULAR. Na estação PAR a classificação do ar foi REGULAR para todos os anos monitorados. Estas ultrapassagens do padrão podem estar relacionadas, às emissões dos precursores de ozônio pelas fontes fixas e móveis locais, ou podem ser devido às condições meteorológicas, ou ainda devido à chegada de poluentes através das correntes de ventos advindas de outras regiões.

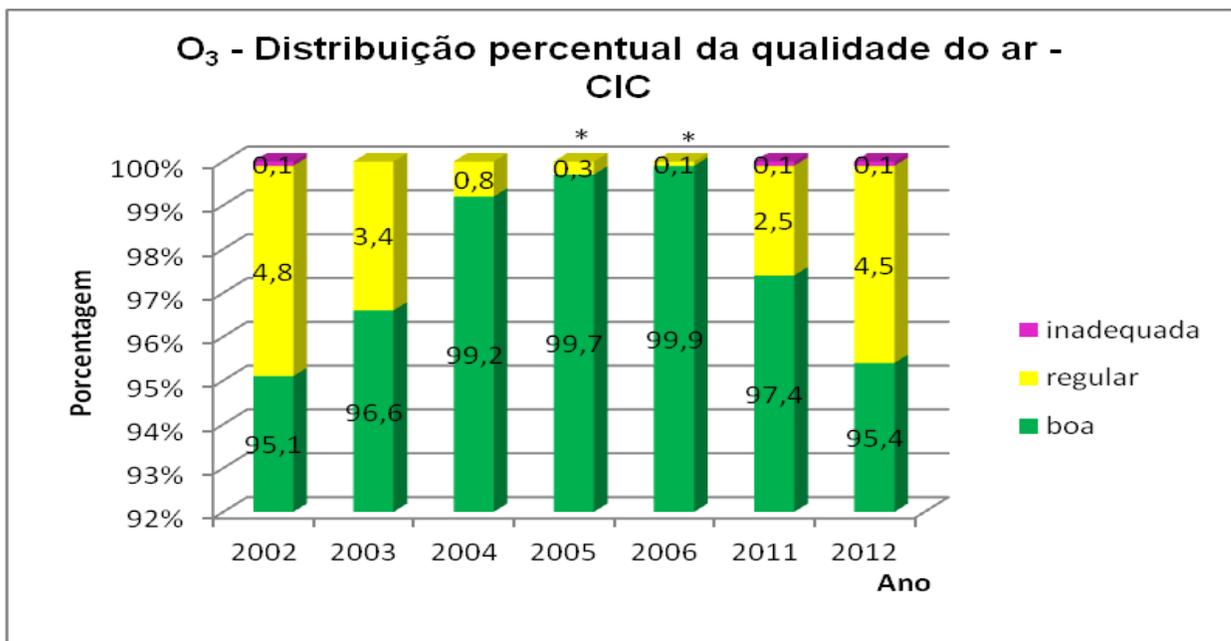


Gráfico 22 - Classificação IQAr para O₃ na estação de monitoramento CIC, período de 2002 a 2012.

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados do Relatório anual da qualidade do ar na região metropolitana de Curitiba (IAP 2002-2012).

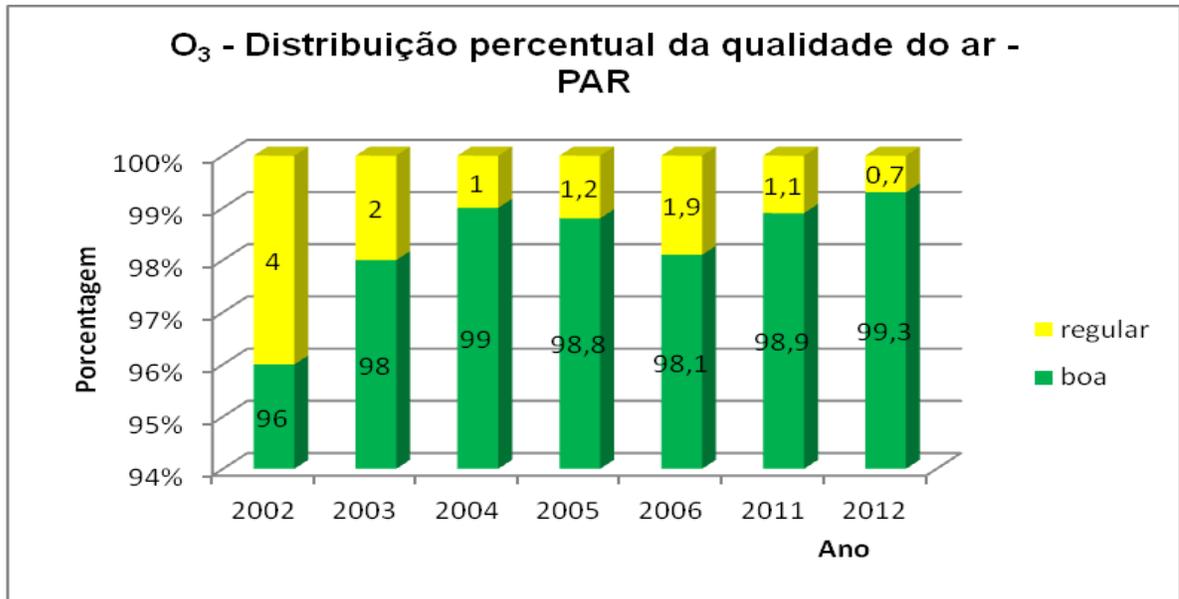


Gráfico 23 - Classificação IQAr para O₃ na estação de monitoramento PAR, período de 2002 a 2012.

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados do Relatório anual da qualidade do ar na região metropolitana de Curitiba (IAP 2002-2012).

5.9. MEDIDAS MITIGADORAS

Para realizar o controle da poluição do ar primeiramente deve-se fazer um levantamento das fontes emissoras, este levantamento nos trará informações importantes como: qual é a maior fonte? Onde está localizada? Quais substâncias emitidas? Qual o potencial para melhorar? Sabe-se que hoje as principais fontes emissoras de poluentes para a atmosférica, são as fontes móveis, veículos automotores em geral e as atividades industriais.

As indústrias com potencial poluidor, além de utilizar os equipamentos de controle de poluição, também devem investir em monitoramentos, pois é através destes que as indústrias têm informações a respeito do desempenho e da eficiência dos processos.

Em paralelo a estas medidas deve haver por parte dos governos um maior incentivo a programas que visem à diminuição da emissão de poluentes atmosféricos, como por exemplo: um planejamento urbano com foco em evitar congestionamentos,

incentivos do uso do transporte público, incentivo do uso de combustíveis limpos (biocombustíveis e gás), incentivo a carona solidária, ao uso de bicicletas, incentivos a caminhadas a pé, entre outras ações. Através destas ações o governo conseguira oferecer mais conforto e segurança para a população.

O órgão fiscalizador também pode desenvolver programas que vise à diminuição das emissões, como por exemplo:

- um plantão de 24 horas por dia que receba e selecione reclamações da população de casos de poluição e encaminha para verificação e/ou controle por parte das áreas técnicas;
- Desenvolver programas de medidas de controle junto as principais fontes poluidoras, baseando em tecnologias inovadoras, reduzindo os níveis de poluição em áreas consideradas prioritárias e implantando programas que visão reduzir incômodos causados pelas fontes de poluição;
- Implantação de atividades de gestão ambiental e autofiscalização nas empresas que possuem frota própria de transporte de cargas e passageiros;
- Programas que vise uma maior conscientização, aos proprietários e operadores de veículos a diesel e seus sindicatos, sobre as principais causas e consequências da emissão excessiva de fumaça preta, bem como as melhores práticas preventivas e corretivas de manutenção e operação;
- Realizando operações de inverno, pois esta época apresenta condições desfavoráveis à dispersão dos poluentes, intensificando as ações de controle sobre as fontes de emissão fixas (indústrias) e móveis (veículos).

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho propôs a avaliação das concentrações dos poluentes atmosféricos (PTS, PI, SO₂, CO, O₃ e NO₂), monitorados durante o período de 2002 a 2012, no município de Curitiba.

Realizou-se análise de forma comparativa entre os dados existentes dos monitoramentos com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 03/90 e SEMA n° 016/2014, ressaltando as ultrapassagens dos limites máximos de emissão. E relacionando com os possíveis efeitos à população.

Houve desconformidade com o padrão estabelecido pela legislação, quanto às concentrações das médias anuais, em três dos seis poluentes analisados. Os poluentes que se mantiveram dentro dos limites estabelecidos foram SO₂, PI e PTS.

O ozônio (O₃), foi o poluente que mais apresentou desconformidade com os padrões estabelecidos, sendo 6 os números de ultrapassagens, a concentração máxima monitorada foi de 190,9 µg/m³ e ocorreu no ano de 2010.

O dióxido de nitrogênio (NO₂), foi o segundo poluente que mais apresentou desconformidades com as resoluções, ultrapassando em 5 vezes os padrões estabelecidos, com valor Máximo de 471,9 µg/m³ no ano de 2007.

O monóxido de carbono (CO) apresentou apenas uma ultrapassagem dos padrões, sendo o valor de 12.196 µg/m³ no ano de 2003.

Os resultados obtidos no presente trabalho apresentaram que os poluentes considerados secundários, ou seja, poluentes formados a partir de reações na atmosfera com os poluentes primários, como o O₃ e o NO₂ foram os que apresentaram as maiores violações, não atendendo em 11 vezes os padrões estabelecidos.

Como foram apenas dois poluentes que apresentaram as maiores violações dos padrões, assim, ações devem ser tomadas, por parte dos órgãos que realizam o monitoramento da qualidade do ar, com o propósito de realizar o controle das fontes de emissão destes poluentes, com isso, o município de Curitiba terá uma qualidade de ar cada vez melhor.

O trabalho de monitoramento nas regiões escolhidas não apresentou assiduidade na sua realização, uma vez que a estação CIC ficou um longo período, de

2007 a 2010, sem apresentar dados válidos. Esta situação acaba impossibilitando um estudo mais detalhado a respeito do comportamento dos poluentes ao longo dos anos.

Percebe-se pela análise realizada, que a estação CIC necessita de uma ampla rede de monitoramento, pois esta localizada em uma área onde ocorrem diversos processos indústrias como combustão, queima de resíduos sólidos, logística e etc., é um local com grande potencial poluidor.

Para um melhor entendimento quanto ao comportamento dos poluentes e as influências sofridas por estes quanto às condições meteorológicas, os relatórios deveriam apresentar boletins diários, ou seja, a concentração que foi medida de cada poluente no dia, esta ausência de dados atrapalhou a discussão do trabalho.

Como pode ser observado, na maior parte do tempo a qualidade do ar nas redes de monitoramento atende a Resolução CONAMA nº 03/90 e SEMA nº 016/2014, no entanto o estado do Paraná não pode deixar de avançar com as políticas de controle de emissão de poluentes, principalmente no que se refere às fontes de emissão de dióxido de nitrogênio, monóxido de carbono e precursores de ozônio, pois sempre existe um potencial para melhorar.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros recomenda-se:

- Realizar comparações entre as cidades do Paraná, para avaliar a situação da qualidade do ar do estado;
- Realizar comparações entre a área central, industrial e os bairros.

REFERÊNCIAS

AMARAL, Djanira M; PIUBELI, Francine A. A poluição atmosférica interferindo na qualidade de vida da sociedade In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 5., 2003, São Paulo. **Anais**. São Paulo, 2003.

ARBEX, Marcos A. et al. A poluição do ar e o Sistema respiratório. **J Bras Pneumol**. São Paulo, v. 38, p. 643-655, ago. 2012.

ARCHELA, Rosely S; BARROS, Mirian V. F. **Atlas Urbano de Londrina**. Londrina: Eduel, 2009. 39p.

AYLESWORTH. Thomas G. **Poluição do ar e da água**. Rio de Janeiro: O Cruzeiro, 1971.

BAKONYI, Sonia M. C. et al. Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR. **Rev Saúde Pública**. São Paulo, 38, p. 695-700, maio 2014.

BARCELLOS, Frederico C. et al. **Poluição do ar por fontes fixas nos municípios brasileiros**, 2009. Disponível em: <http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/vi_en/artigos/topicos_mesa3.htm>. Acesso em: 20 set. 2014.

BENN, F. R; McAULIFFE, C. A; tradução de Luiz Roberto Moraes Pitombo e Sérgio Massaro. **Química e poluição**. São Paulo: Edusp, 1981.

BIECO, Ramon. **Clima Urbano** [16 set. 2012]. 1 figura. Disponível em: <<http://www.ramonbieco.wordpress.com/2012/09/16/clima-urbano>>. Acesso em: 10 out. 2014.

BRAGA, Alfésio L. F. et al. Associação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias e cardiovasculares na cidade de Itabira, Minas Gerais, Brasil. **Caderno saúde pública**. Rio de Janeiro, 23 sup, p. 570-578, 2007.

BRASIL. CONAMA (1989). Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 05, 1989. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=81>>. Acesso em: 10 de out. 2014.

BRASIL. CONAMA (1990). Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 03, 1990. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>>. Acesso em: 10 de out. 2014.

BRASIL. CONAMA (2009). Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 382, 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=520>>. Acesso em: 20 de out. 2014.

BRASIL. CONAMA (2011). Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 436, 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=660>>. Acesso em: 20 de set. 2014.

BRAUN, Silvana et al. A poluição gerada por máquinas de combustão interna movidas à diesel – A questão dos particulados. Estratégias atuais para a redução e controle das emissões e tendências futuras. **Química Nova**. Rio de Janeiro, v. 27, n. 3, p. 472-482, set. 2003.

CARA, Claudia A; FRANÇA, Francieli M. Aspectos do processo da industrialização Brasileira. **IV EPCT**. Oeste do Paraná, out. 2009.

CASTRO, Newton de. Mensuração de externalidades do transporte de carga brasileiro. **Journal of Transport Literature**, v. 7, p 163-181, jan. 2013.

CERON, Luciano P. **Emissão de pó**. Disponível em: <http://www.meiofiltrante.com.br/materiais_ver.asp?action=detalhe&id=489&revista=n38>. Acesso em: 05 nov. 2014.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Padrões, índices**. São Paulo, 2013b. Disponível em: <http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/ar/ar_indice_padroes.asp>. Acesso em: 20 de out. 2014.

_____. **Operação inverno – 2013 qualidade do ar**. São Paulo – SP: CETESB, 2014. 53 p.

_____. **Qualidade do ar**. São Paulo, 2013a. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/Informa??es-B?sicas/21-Poluentes>>. Acesso em: 20 de out. 2014.

_____. **Relatório de qualidade do ar do Estado de São Paulo 2013**. São Paulo – SP: CETESB, 2014. 110 p.

CODEL. **Industrialização de Londrina: caminhos e perspectivas**. Londrina, PR: Prefeitura Municipal de Londrina, 1996. 5 p.

COORDENAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA (COMEC). **Plano do desenvolvimento integrado da RMC – 2006**. Disponível em: <<http://www.comec.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=62>>. Acesso em: 15 maio 2015.

CURITIBA (2015). Biocidade - Sistema de transporte coletivo de Curitiba. Disponível em: <<http://www.biocidade.curitiba.pr.gov.br/biocity/33.html>>. Acesso em: 04 de julho 2015.

DEPARTAMENTO DE TRÂNSITO DO PARANÁ (DETRAN-PR). **Estatísticas de trânsito do Paraná – Anuário Estatístico 2014**. Disponível em: <<http://www.denatran.pr.gov.br/modules/catasg/servicos-detalhes.php?tema=detran&id=477>>. Acesso em: 05 de maio 2015.

FANINI, Noemi M. et al. **Atlas Geográfico de Curitiba**. Curitiba, 2008. Disponível em: <<http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br>>. Acesso em 10 mar. 2015.

FELTRE, R. **Química**. 6 ed. São Paulo: Moderna, 2004. p. 333.

FREITAS, Saulo R; LONGO, Karla M; RODRIGUES, Luiz F. Modelagem numérica da composição química da atmosfera e seus impactos no tempo, clima e qualidade do ar. **Revista Brasileira de Meteorologia**. São Paulo, v. 24, n. 2, p. 188-207, mar. 2009.

HABERMANN, Mateus; MEDEIROS, Andrea P. P; GOUVEIA, Nelson. Tráfego veicular como método de avaliação da exposição à poluição atmosférica nas grandes metrópoles. **Rev Bras Epidemiol**. São Paulo, 14, p. 120-130, jan. 2011.

IAP – Instituto Ambiental do Paraná. **Relatório da qualidade do Ar na Região Metropolitana de Curitiba**. Curitiba – PR, 2002-2012.

_____. **Monitoramento da qualidade do ar**. Disponível em: <<http://www.iap.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=639>>. Acesso em: 20 fev. 2015.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Portaria Normativa nº 348, 1990. Disponível em: <<http://www.ctpconsultoria.com.br/pdf/Portaria-IBAMA-348-de-14-03-1990>>. Acesso em: 25 out. 2014.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Brasil em números**. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/brasilnumeros/Brasil_numeros_v20_2012.pdf>. Acesso em: 23 de set. 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS (INCT). **Evolução da frota de automóveis e motos no Brasil 2001 a 2012 – Relatório 2013**. Disponível em: <http://www.observatoriodasmetropoles.net/index.php?option=com_boletim&itemid=157&Itemid=157&lang=pt>. Acesso em: 12 maio 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Gráficos climatológicos**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos>>. Acesso em: 10 maio 2015.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). **Caderno estatístico município de Curitiba – 2015**. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/index.php?pg_conteudo=1&cod_conteudo=30>. Acesso em: 20 abril 2015.

INSTITUTO TECNOLÓGICO PREVISÃO E MONITORAMENTO (SIMEPAR), Dados meteorológicos, dados recebidos via email do período de 2011 a abr/2015 da estação de Curitiba contendo as seguintes variáveis: Temperatura Max. Min. Méd (°C), Umidade Relativa (%), Precipitação (mm), Direção do Vento (graus), Velocidade do vento méd (m/s), Pressão atmosférica (hpa) e Rad. solar (w/m²).

JANUZZI, Denise C. R. de. O desenvolvimento de Londrina e as transformações nos espaços públicos da região central. **Semana: ciências sociais e humanas**. Londrina, v.26, p. 87-94, set. 2005.

LEAL, Georla C. S. G. de. et al. O processo de industrialização e seus impactos no meio ambiente urbano. **Qualitas Revista Eletrônica**. Goiás, v. 7, n. 1, 2008.

LONDRINA. Perfil de Londrina 2012. Londrina, PR. 2012. Disponível em: <http://www1.londrina.pr.gov.br/dados/images/stories/Storage/sec_planejamento/perfil/perfil_2012f.pdf>. Acesso em: 27 de set. 2014.

MACHADO, Paulo A. L. **Direito à informação ambiental e qualidade do ar**. 1. ed. São Paulo: Instituto de Energia e Meio Ambiente, 2009.

MACINTYRE, Archibald J. **Ventilação industrial e controle da poluição**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora JC, 1990.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Compromisso pela qualidade do ar e saúde ambiental**. Brasília – DF; 2009. 20 p.

_____. **Padrões de qualidade do ar**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/padroes-de-qualidade-do-ar>>. Acesso em: 23 maio 2014.

MIRAGLIA, Simone G. E. K; GOUVEIA, Nelson. Custos da poluição atmosférica nas regiões metropolitanas brasileiras. **Ciência & Saúde Coletiva**. São Paulo, 19, p. 4141-4147, out. 2014.

MPSP. Ministério Público do Estado de São Paulo. Decreto nº 8468, 1976. Disponível em: <http://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/cao_urbanismo_e_meio_ambiente/legislacao/leg_estadual/leg_est_decretos>. Acesso em: 22 out. 2014.

PARANÁ. IAP (2014). Instituto Ambiental do Paraná. Resolução 016. Disponível em: <<http://www.iap.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=934>>. Acesso em: 12 de out. 2014.

PENSAMENTO VERDE. **A história da população em Cubatão e como a cidade deixou de ser o “Vale da Norte”**. 29 jan. 2014. Disponível em: <<http://www.pensamentoverde.com.br/atitude/historia-poluicao-cubatao-cidade-deixou-vale-morte/>>. Acesso em: 30 de maio 2015.

PEREIRA, João I. P. **Sustentabilidade: diferentes perspectivas, um objeto comum**, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.oces.mctes.pt/pdf/egg/v14n1/v14n1a08.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2014.

QUEIROZ, Paula G. M; JACOMINO, Vanusa M. F; MENEZES, Maria A. B. C. de. Composição elementar do material particulado presente no aerossol atmosférico do município de Sete Lagoas, Minas Gerais. **Química. Nova**. Belo Horizonte, v. 30, n. 5, p. 1233-1239, jul. 2007.

ROCHA, Julio C; ROSA, André H; CARDOSO, Arnaldo A. **Introdução à química ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

SOUZA, Thiago A. B; PAVEI, Paula T. Avaliação da concentração dos principais poluentes atmosféricos monitorados na região sul do estado de Santa Catarina. **Tecnologia e Ambiente**, Criciúma, v 16, jan. 2010. Disponível em: <<http://periodicos.unesc.net/index.php/tecnoambiente/article/view/1191>> . Acesso em 31 maio 2015.

TOLENTINO, Mario; ROCHA-FILHO, Romeu C. R; SILVA, Roberto R, da. **Azul do planeta: um retrato da atmosfera terrestre**. São Paulo: Editora Moderna, 1995.