

**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
PÓLO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
ESCOLA DE ENGENHARIA INDUSTRIAL METALÚRGICA DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

MATHEUS JEFERSON DE OLIVEIRA PEIXOTO

**A INFLUÊNCIA DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS NA
QUALIDADE DO AR DE VOLTA REDONDA - O CASO DO OZÔNIO
TROPOSFÉRICO**

**UNIVERSIDADE
FEDERAL
FLUMINENSE**

**VOLTA REDONDA
2017**

MATHEUS JEFERSON DE OLIVEIRA PEIXOTO

**A INFLUÊNCIA DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS NA QUALIDADE DO AR DE
VOLTA REDONDA – O CASO DO OZÔNIO TROPOSFÉRICO**

Monografia apresentada ao curso de Graduação em Engenharia de Produção da Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda da Universidade Federal Fluminense, como Requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro de Produção.

ORIENTADOR: Prof.: Dr. WELINGTON KIFFER DE FREITAS

VOLTA REDONDA

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
PÓLO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
ESCOLA DE ENGENHARIA INDUSTRIAL METALÚRGICA DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MATHEUS JEFERSON DE OLIVEIRA PEIXOTO

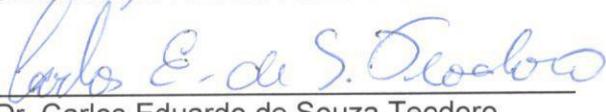
A INFLUÊNCIA DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS NA QUALIDADE DO AR DE
VOLTA REDONDA – O CASO DO OZÔNIO TROPOSFÉRICO

Monografia apresentada ao Curso
de Graduação em Engenharia de
Produção, da Universidade Federal
Fluminense, como requisito parcial para
obtenção do Título de Engenheiro de
Produção.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Wellington Kiffer de Freitas – Orientador
Universidade Federal Fluminense



Prof. Dr. Carlos Eduardo de Souza Teodoro
Universidade Federal Fluminense



Profª Drª. Cecília Toledo Hernandez
Universidade Federa Fluminense

Volta Redonda
2017

DEDICATÓRIA

À minha noiva Jaqueline, meus pais e irmãos por todo apoio e nunca terem deixado de acreditar em mim durante toda esta etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares por todo apoio e paciência, sem os quais eu não teria chegado até o fim desta jornada.

Ao Professor Welington Kiffer, pela orientação, apoio e confiança.

À Professora Denise Cristina de Oliveira Nascimento, por ter me ajudado no início deste *trabalho*.

E ao Dr. Luiz Paulo de Andrade Dias, por toda sua ajuda ao longo destes últimos anos.

RESUMO

A qualidade do ar é um tema largamente discutido nas últimas décadas, e ela depende de fatores como as condições meteorológicas, características da região e das emissões de poluentes. Este trabalho teve como objetivo realizar um estudo sobre o impacto que os veículos e indústrias causam na qualidade do ar em Volta Redonda, bem como buscar hipóteses para que o crescimento urbano se dê da forma mais harmônica possível. O estudo tem ênfase no gás ozônio que apesar de essencial para a vida na Terra quando na estratosfera, é considerado um poluente e pode causar danos à saúde dos seres vivos quando gerado na troposfera. Por se tratar de um poluente secundário, o ozônio troposférico não é emitido diretamente através da queima de combustíveis fósseis como a maioria dos contaminantes atmosféricos. Fazendo uma análise dos dados disponibilizados pelo Instituto Estadual do Ambiente em seus relatórios sobre a qualidade do ar no estado do Rio de Janeiro no período de 2007 a 2014, foi possível perceber que apesar de padrões desatualizados, o ar de Volta Redonda apresentou níveis de ozônio acima dos considerados seguros em várias ocasiões. Foi feito um apanhado bibliográfico sobre como esse gás é monitorado ao redor do globo. Também foram apresentadas algumas maneiras de reduzir a emissão de alguns de seus precursores, como catalisadores que reduzem os óxidos de nitrogênio, tecnologias de combate aos compostos orgânicos voláteis e por fim o que o município tem feito a respeito do controle da qualidade de seu ar.

PALAVRAS - CHAVE: Qualidade do ar; Ozônio; Volta Redonda.

ABSTRACT

Air quality has been a subject widely discussed in recent decades, and it depends on factors such as weather, characteristics of the region and pollutant emissions. This work had as objective to carry out a study on the impact that the vehicles and industries cause in the air quality in Volta Redonda, as well as to seek hypotheses so that the urban growth occurs in the most harmonious way possible. The study has an emphasis on ozone gas that although essential for life on earth when in the stratosphere, is considered a pollutant and can cause damage to the health of living beings when generated in the troposphere. Because it is a secondary pollutant, tropospheric ozone is not emitted directly through the burning of fossil fuels like most atmospheric pollutants. Analyzing the data provided by the State Institute of the Environment in its reports on air quality in the state of Rio de Janeiro from 2007 to 2014, it was possible to notice that despite outdated standards, Volta Redonda air presented levels of Ozone than those considered safe on several occasions. A bibliographic survey was made of how this gas is monitored around the globe. Some ways of reducing the emission of some of its precursors were also presented, such as catalysts that reduce nitrogen oxides, technologies to combat volatile organic compounds and finally what the municipality has done regarding the control of the quality of its air.

KEYWORDS: Air quality; Ozone; Volta Redonda.

SUMÁRIO

1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	12
1.1	INTRODUÇÃO.....	12
1.2	OBJETIVOS	15
1.2.1	OBJETIVO GERAL.....	15
1.2.2	OBJETIVO ESPEFÍCIO.....	16
1.3	PROBLEMÁTICA DA PESQUISA	16
1.4	HIPÓTESE.....	16
1.5	JUSTIFICATIVA	18
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1	CONCEITO DE MEIO AMBIENTE	19
2.2	ATMOSFERA	20
2.2.1	CAMADAS ATMOSFÉRICAS.....	22
2.2.1.1	TROPOSFERA.....	22
2.2.1.2	ESTRATOSFERA.....	23
2.2.1.3	MESOSFERA	24
2.2.1.4	TERMOSFERA.....	24
2.3	POLUIÇÃO DO AR	25
2.3.1	PRINCIPAIS POLUENTES	27
2.3.2	PADRÕES DE QUALIDADE DO AR	28
2.4	OZÔNIO.....	30
2.4.1	FORMAÇÃO DO OZÔNIO TROPOSFÉRICO	31
2.4.2	FORMAÇÃO DO OZÔNIO ESTRATOSFÉRICO	33
2.5	CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO	33
3	METODOLOGIA.....	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
4.1	TEMPERATURA MÉDIA, DIREÇÃO E VELOCIDADE DO VENTO	37
4.2	NÍVEIS DE DIÓXIDO DE NITROGÊNIO (NO ₂)	39
4.2.1	EXPOSIÇÃO DE CURTO PERÍODO	39
4.2.2	EXPOSIÇÃO DE LONGO PERÍODO.....	40
4.3	NÍVEIS DE OZÔNIO (O ₃).....	41
4.4	RELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA, NO ₂ E O ₃	43
4.5	COMO O OZÔNIO É MONITORADO AO REDOR DO MUNDO.....	44

4.5.1	BRASIL	44
4.5.1.1	CUBATÃO	44
4.5.1.2	SOROCABA	46
4.5.2	ESTADOS UNIDOS	47
4.5.3	EUROPA	48
4.5.4	MUNDO	50
4.6	TECNOLOGIAS PARA O CONTROLE DO OZÔNIO	51
4.6.1	DIÓXIDO DE NITROGÊNIO (NO ₂).....	51
4.6.2	COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS (COVs)	52
4.6.2.1	ADSORÇÃO	53
4.6.2.2	ABSORÇÃO	54
4.6.2.3	SEPARAÇÃO POR MEMBRANA	55
4.6.2.4	CONDENSAÇÃO	55
4.6.2.5	COMPARAÇÃO ENTRE AS TECNOLOGIAS	56
4.6.3	AMBIENTE INTERNO.....	57
4.7	O QUE VOLTA REDONDA TEM FEITO	58
5	CONCLUSÕES.....	60
6	REFERÊNCIAS.....	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Perfil Térmico da Atmosfera.....	22
Figura 2 – Mapa da Região do Médio Paraíba.....	35
Figura 3 – Temperatura Média Anual em Volta Redonda.....	38
Figura 4 – Rosa dos Ventos na estação Belmonte em 2014.....	39
Figura 5 – Concentração horária máxima de NO ₂ ao longo dos anos.....	40
Figura 6 – Concentração anual média de NO ₂	41
Figura 7 – Concentração horária máxima de O ₃ ao longo dos anos.....	42
Figura 8 – Air Quality Índex em Pequim.....	43
Figura 9 – Dias além dos padrões de ozônio em Cubatão – SP.....	45
Figura 10 – Dias além dos padrões de ozônio em Sorocaba – SP.....	46
Figura 11 – Mapa da Europa com níveis de ozônio de 2013 em µg/m ³	49
Figura 12 – Exemplo de imagem do Air Quality Index Project.....	50
Figura 13 – Processo de Redução Catalítica Seletiva.....	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Poluentes atmosféricos, suas principais fontes de emissão e seus principais efeitos à saúde.....	28
Quadro 2 – Vantagens e desvantagens da adsorção.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição do ar limpo e seco.....	21
Tabela 2 – Padrões de Qualidade do Ar vigente no Brasil, e proposto pela Organização Mundial da Saúde.....	29
Tabela 3 – Valores de O ₃ para Charlotte e Pittsburgh (2014) em ppm (µg/m ³).....	48

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A qualidade do ar é um tema que leva em consideração muitos fatores, como as condições meteorológicas, topografia característica da região e da intensidade das emissões de poluentes. Visto que sua concentração não é uniforme e cada região tende a apresentar características distintas. Neste capítulo será introduzido este assunto de forma geral e superficial. Os objetivos a serem alcançados com este estudo também serão citados, assim como possíveis problemas que podem ser encontrados no meio pesquisado. E por fim, hipóteses e justificativas acerca dela.

1.1 INTRODUÇÃO

As cidades vêm crescendo de maneira exponencial nas últimas décadas se comparada com a história da civilização. E este progresso se deve a fatores como o avanço da tecnologia, aliado às evoluções sanitárias e dos transportes. Os transportes urbanos sofreram uma metamorfose muito grande a partir do desenvolvimento e da popularização dos motores de combustão interna à base de derivados do petróleo. Tecnologia esta que trouxe inúmeros benefícios quando o assunto é locomoção rápida e eficiente, tanto de pessoas como mercadorias e insumos industriais.

Porém os impactos da expansão em massa do consumo de combustíveis fósseis merecem destaque à medida que interferem no meio ambiente e na saúde dos seres vivos de maneira nociva, ao passo que a queima dessas matrizes energéticas liberam uma grande quantidade de poluentes na atmosfera.

Com o crescente processo de urbanização, aumentou a necessidade por locomoção de uma maneira dinâmica e eficiente, o que faz a demanda por transportes ser cada vez maior. Porém, o quase sempre ineficiente transporte público brasileiro fez com que a preferência da população se voltasse para a utilização dos veículos individuais, como carros e motocicletas. Já o traslado de mercadorias é quase sempre feito por caminhões e outros veículos movidos a diesel, que contribuem para a emissão de gases tóxicos. Poluentes estes que

começaram também a serem liberados em grande escala após o processo de industrialização, uma vez que elas também demandam uma imensa quantidade de energia proveniente de combustíveis fósseis.

A qualidade de ar no estado do Rio de Janeiro é monitorada desde 1967, quando foram instaladas as primeiras estações semiautomáticas de monitoramento da qualidade do ar no município do Rio de Janeiro (INEA, 2013). Porém só a partir do ano de 1990 que o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), estabeleceu padrões mínimos nacionais para os poluentes atmosféricos de acordo com a Resolução CONAMA 3/1990. Ela decreta os níveis de fumaça, partículas inaláveis, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio que podem ser minimamente toleradas, assim como os métodos de medição e seus padrões.

A nível nacional, um dos primeiros esforços para a gestão da qualidade do ar veio com a criação do Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR), na quinta Resolução de 1989 do CONAMA. Com a finalidade de permitir de uma maneira ambientalmente segura o desenvolvimento econômico e social do país, através da limitação dos níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica, visando à melhora da qualidade do ar, ao atendimento dos padrões estabelecidos e o não comprometimento da qualidade do ar nas áreas ainda consideradas não degradadas (CONAMA, 1989).

Um estudo realizado por Vormittag (*et al.*, 2014), mostrou um precário e defasado monitoramento da qualidade do ar. O PRONAR não foi cumprido. O monitoramento ocorre em apenas 40% das unidades federativas (11/27); o Distrito Federal e 10 estados: Bahia, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, São Paulo e Sergipe. Apenas 1,7% dos municípios são cobertos para o diagnóstico de poluição do ar e por 252 estações de monitoramento. A Região Sudeste é a mais populosa, apresenta o maior número das estações - 76% (194/252) do país e representa 78% (75/95) dos municípios monitorados.

De forma internacional, cada país monitora e regulamenta a qualidade do seu ar. Porém a Organização Mundial da Saúde (OMS) possui um guia para a qualidade do ar baseado em estudos que visam garantir níveis para os poluentes de maneira que cause os menores impactos possíveis na saúde de uma maneira geral (apesar de não existir níveis seguros de poluição atmosférica para a saúde humana). O

primeiro guia foi criado em 1987, posteriormente atualizado em 1997 e em 2005 recebeu sua última edição (WHO, 2006). Ao contrário dos padrões brasileiros, que não são atualizados há mais de 25 anos.

Alvin (*et al.*, 2011), realizaram um estudo em uma estação de monitoramento da qualidade do ar da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), buscando identificar quais os principais compostos orgânicos voláteis precursores de ozônio estavam presentes na atmosfera paulista. Entre os meses de agosto de setembro de 2006, quando o consumo de etanol girava em torno de 50%, foram coletadas 36 amostras. Ao todo foram quantificadas 69 espécies distintas destes compostos orgânicos voláteis.

Garcia (*et al.*, 2013), pesquisaram como o crescente aumento do número de motocicletas nas grandes cidades brasileiras vem tornando-se um importante fator na deterioração da qualidade do ar. Neste cenário foram amostradas emissões de motocicletas em um ensaio dinamométrico e analisadas por criptografia e analisadores automáticos de acordo com normas européias. As emissões das motocicletas foram usadas em combinação com dados meteorológicos e poluentes em ar para a cidade do Rio de Janeiro no período do inverno de 2011, empregando os modelos OZIPR (Ozone Isopleth Packag for Research) e SAPRC99 (State-wide Air Pollution Research Centre). Os resultados indicam que os níveis de ozônio ultrapassariam os limites da legislação nacional em três anos.

Pedroso e Alves (2008) dizem que o ozônio troposférico causa necroses foliares em *Nicotiana tabacum*. Cultivares de tabaco são muito utilizadas como bioindicadoras de ozônio, em programas de biomonitoramento da qualidade do ar. Entre elas se destacam a Bel-W3 (sensível) e Bel-B (tolerante). Este estudo teve como objetivo verificar se as duas cultivares apresenta variações na estrutura foliar que possam ajudar a explicar a diferença na sensibilidade ao ozônio que ambas apresentam. Ao final a cultivar sensível apresentou visivelmente mais espaços intercelulares, câmaras estomáticas maiores e estômatos ligeiramente salientes em ambas as superfícies foliares. Tais características, que facilitam a entrada e difusão dos poluentes na folha, podem explicar a maior sensibilidade da Bel-W3.

Silva Junior (*et al.*, 2013), realizaram um trabalho mostrando os resultados das aproximações feitas para o inventário de emissões de poluentes da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e transformações necessárias para serem implementadas no modelo fotoquímico WRF/CHEM (*Weather Research and*

Forecasting / CHEMistry). Portanto, o objetivo foi avaliar a eficiência do modelo em simular os poluentes fotoquímicos para a RMSP, utilizando as concentrações de monóxido de carbono (CO) e ozônio troposférico (O₃). Para estimar as emissões foi usado o inventário feito pela CETESB para o ano de 2006. Os resultados mostram que tais aproximações melhoram a previsão da concentração de ozônio e de CO em cerca de 25%, atingindo coeficientes de correlação de 0,79 para o ozônio e 0,49 para o monóxido de carbono, quando comparado aos dados simulados observados.

A influência dos meios de transportes urbanos na qualidade do ar do município de Volta Redonda e seus desdobramentos serão analisados neste estudo. O caso particular do ozônio formado a partir da utilização de hidrocarbonetos, e seus malefícios também serão englobados.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar um estudo sobre os impactos do transporte urbano e da indústria na qualidade do ar de Volta Redonda e apresentar hipóteses para que o desenvolvimento urbano não interfira de maneira negativa na qualidade de vida dos cidadãos, ou seja, buscar melhorar a harmonia das indústrias e do modal rodoviário que se faz tão importante na locomoção diária de milhares de pessoas e mercadorias. Tendo ênfase no caso do gás ozônio que é formado na troposfera de maneira induzida pela queima de combustíveis fósseis e que traz prejuízo à saúde das pessoas e a biota de maneira geral. Fazer também uma breve revisão literária sobre como a qualidade do ar (especialmente do ozônio) é monitorada ao redor do mundo. Apresentar maneiras de combater seus precursores, e por fim mostrar o que o município de Volta Redonda tem feito a respeito deste assunto.

1.2.2 OBJETIVO ESPEFÍCICO

Demonstrar como a emissão de gases gerados por motores de combustão interna e pelas indústrias, interfere diretamente na qualidade do ar e consequentemente de vida no município de Volta Redonda. Analisando:

- A qualidade do ar em Volta Redonda;
- O gás ozônio, sua formação, benefícios e malefícios para o meio ambiente;
- A poluição causada pelo ozônio em Volta Redonda, sua concentração e dispersão;
- Considerações e sugestões para os problemas apresentados.

1.3 PROBLEMÁTICA DA PESQUISA

Poderia um município altamente industrial como o de Volta Redonda atenuar as emissões dos poluentes atmosféricos provenientes de sua imensa frota de veículos e suas fábricas? Uma vez que o governo federal vinha incentivando de maneira agressiva a indústria automobilística nos últimos anos, numa tentativa de fazer a economia brasileira crescer.

O gás ozônio tem importância vital para a vida na Terra. Porém ele exerce sua crucial função na estratosfera, uma vez que tal gás é nocivo à biota terrestre presente na troposfera. Como conter o avanço deste tóxico no meio em que vivemos?

1.4 HIPÓTESE

Os problemas da poluição atmosférica e do trânsito urbano estão diretamente ligados, uma vez que a grande quantidade de veículos automotores circulando ao mesmo tempo é o responsável pelo segundo e boa parte do primeiro.

No estado do Rio de Janeiro, Volta Redonda é o município de maior densidade demográfica, fora da região metropolitana. Seu centro urbano é razoavelmente compacto e de relevo predominantemente plano, características estas que sugerem um deslocamento curto e concentrado se comparado aos grandes centros. Aliando isso a uma frota que ultrapassa os cento e vinte mil veículos, a poluição e o trânsito tornam-se quase inevitáveis (IBGE, 2016).

Um meio de transporte aparentemente pouco incentivado e difundido na cultura brasileira são as bicicletas. Elas são leves, baratas, fáceis de carregar e estacionar, ecologicamente corretas por não emitir poluentes e acima de tudo saudáveis, aliando locomoção com atividade física. Nossas cidades ainda não são um ambiente apropriado para receber uma massificação desses veículos, entretanto uma reformulação do espaço urbano e a construção de ciclovias nas principais ruas, com locais seguros de armazenamento, poderiam ajudar a tornar as bicicletas uma eficiente saída para o trânsito e conseqüentemente para o problema da poluição atmosférica.

O ozônio troposférico, que será mais detalhado nos próximos capítulos, é um poluente secundário. Isto significa que ele não é emitido diretamente pela queima de combustíveis fósseis, como a maioria dos contaminantes atmosféricos. Entretanto o seu precursor, dióxido de nitrogênio (NO_2), é um gás presente em grande quantidade no ar e sua vida útil é relativamente pequena, cerca de um dia, ou seja, ele geralmente é encontrado nos arredores de suas fontes geradoras (NASA, 2011).

As mais importantes reações catalíticas que ocorrem do sistema de exaustão são a oxidação do monóxido de carbono e hidrocarbonetos para formar dióxido de carbono e água, e a redução dos óxidos de nitrogênio em gás nitrogênio (RANGEL; CARVALHO, 2003). Os catalisadores automotores deveriam ser melhor fiscalizados, uma vez que apenas o estado do Rio de Janeiro possui inspeção veicular ambiental. Entretanto, esta inspeção apenas confere níveis de monóxido de carbono e hidrocarbonetos. Deveriam ser medidos níveis dos óxidos de nitrogênio, que além de tóxicos e altamente oxidantes, acabam reagindo com compostos orgânicos voláteis formando o ozônio.

1.5 JUSTIFICATIVA

A preocupação com os impactos ambientais causados pelo homem através da emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa (principalmente dióxido de carbono), não é um fato tão recente quanto se possa imaginar. Em 1972 o mundo se reuniu pela vez para tratar destes assuntos, na conferência de Estocolmo. A Organização das Nações Unidas (ONU) se reuniria outras três vezes, 1992 e 2012 no Rio de Janeiro, e 2002 na África do Sul. Todas buscando sequenciar as discussões iniciadas na Suécia.

Com o avanço da globalização e a evolução nos meios de comunicação, aliados a popularização da internet, fez com que a ideia de um desenvolvimento sustentável fosse cada vez mais discutida e difundida na sociedade. Os meios de transporte de um modo geral evoluíram bastante com o passar desses anos, porém sua matriz energética primária continua sendo à base de hidrocarbonetos.

Os combustíveis automotores possuem como produto final desejado, o dióxido de carbono (RANGEL e CARVALHO, 2003). O CO₂ não é considerado um poluente, e sua importância na obtenção do oxigênio que respiramos, através da fotossíntese, é fundamental para a vida na Terra do jeito que a conhecemos. Porém a emissão de forma massiva desse gás vem contribuindo para que o inevitável efeito estufa ocorra de forma precipitada. Os malefícios causados pelo excesso de gás carbônico e os impactos a saúde humana, gerados por subprodutos dos motores, principalmente os do Ciclo de Otto, merecem ser estudados e entendidos.

Segundo estudo realizado por Vormittag (*et al.*, 2013), a poluição atmosférica vem trazendo prejuízos substanciais. Tanto a taxa de mortalidade associada, quanto aos gastos públicos e privados no Estado de São Paulo (citados na avaliação), estão apresentando níveis alarmantes. No período que compreende entre 2006 e 2011 foram registradas 99.084 (noventa e nova mil e oitenta e quatro) mortes em decorrência de problemas causados pela má qualidade do ar. E apenas no ano de 2011, 246 (duzentos e quarenta e seis) milhões de reais foram gastos com este problema. Provando que a poluição é um problema real, e que já vem causando muitos danos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Para o entendimento dos problemas causados pela poluição atmosférica, e em especial pelo ozônio troposférico, alguns assuntos merecem destaque. Neste capítulo um breve resumo literário será apresentado, reunindo informações publicadas a cerca dos principais tópicos envolvendo o tema. Apresentados a seguir.

2.1 CONCEITO DE MEIO AMBIENTE

Neves e Tostes (1992, p. 17) explicam que Meio Ambiente é tudo o que tem a ver com a vida de um ser ou de um grupo de seres vivos. Tudo o que tem a ver com a vida, sua reprodução e manutenção. Nesta definição estão: os elementos físicos (a terra, o ar, a água), o clima, os elementos vivos (as plantas, os animais, os homens), elementos culturais (os hábitos, os costumes, o saber, a história de cada grupo e de cada comunidade) e a maneira como estes elementos são tratados pela sociedade. Isto é, como as atividades humanas interferem com estes elementos. Também compõem o meio ambiente as interações destes elementos entre si, e entre eles e as atividades humanas. Assim entendido, o meio ambiente não diz respeito apenas ao meio natural, mas também às vilas, cidades e todo o ambiente construído pelo homem.

Mas para Farias (2009), o meio ambiente é definido pela Ecologia, ciência que estuda a relação entre os organismos e o ambiente em que eles vivem como o conjunto de condições e influências externas que circundam a vida e o desenvolvimento de um organismo ou de uma comunidade de organismo, interagindo com eles.

Coimbra (1985) descreveu o meio ambiente como o conjunto dos elementos físico-químicos, ecossistemas naturais e sociais em que se insere o Homem, individual e socialmente, num processo de interação que atenda ao desenvolvimento das atividades humanas, à preservação dos recursos naturais e das características essenciais do entorno, dentro de padrões e qualidade declarados.

Jollivet e Pavé (1997) relataram que o meio ambiente constitui um conjunto de meios naturais ou artificializados da ecosfera onde o ser humano instalou-se, explora e administra. Inclui também o conjunto dos meios não submetidos à ação antrópica e que são considerados necessários à sua sobrevivência.

Entretanto, Silva (1999) definiu em seu dicionário de Ciências ambientais que meio ambiente é o conjunto de fatores naturais, sociais e culturais que envolvem um indivíduo e com os quais ele interage, influenciando e sendo influenciado por eles.

2.2 ATMOSFERA

A chamada atmosfera terrestre é uma camada composta por gases, material particulado (aerossóis), e radiação que envolve a Terra e se estende por centenas de quilômetros. Os limites inferiores da atmosfera são, naturalmente, as superfícies dos oceanos e da crosta terrestre. Contudo, os seus limites superiores não estão bem definidos porque, com o aumento da altitude, a atmosfera vai se tornando cada vez mais escassa, em relação ao seu conteúdo de matéria, até que ela se confunda com o meio cósmico. Para se ter uma ideia de quão rarefeita materialmente a atmosfera se torna à medida que se afasta da superfície terrestre, basta saber que 99% de sua massa está contida numa camada de $\approx 32\text{km}$. Para efeito de comparação lembremos que o raio da Terra é $\approx 6300\text{km}$ (DIAS; ANDRADE NETO; MILTÃO, 2007).

Foram necessários bilhões de anos para que a atmosfera terrestre evoluísse para o que é hoje. Seus componentes e sua temperatura variaram e continuam em um dinâmico processo evolucionário junto ao planeta Terra. A temperatura da superfície da Terra e conseqüentemente da atmosfera terrestre sempre variaram, mesmo antes do surgimento do homem, e existem evidências de que estas temperaturas já estiveram em níveis bem mais elevados do que os atuais (KANDEL, 2007).

A atmosfera Terrestre é composta, em sua maior parte, por um conjunto de gases. Os mais abundantes são o nitrogênio (78,09%) e o oxigênio (20,95%), mas também há o argônio com 0,934% e o dióxido de carbono com 0,035%, além de 0,003% de outros gases (OLIVEIRA *et al.*, 2001), como demonstrados na tabela 1.

Tabela 1 – Composição do ar limpo e seco

Componente	Concentração por volume (porcentagem)
Nitrogênio (N ₂)	78,09
Oxigênio (O ₂)	20,95
Argônio (Ar)	0,93
Dióxido de Carbono (CO ₂)	0,035
Neônio (N)	1,8 x 10 ⁻³
Hélio (He)	5,54 x 10 ⁻⁴
Metano (CH ₄)	1,7 x 10 ⁻⁴
Criptônio (Kr)	1,0 x 10 ⁻⁴
Hidrogênio (H ₂)	5,0 x 10 ⁻⁵
Xenônio (Xe)	8,0 x 10 ⁻⁶
Ozônio (O ₃)	1,0 x 10 ⁻⁶

Fonte: DIAS; ANDRADE NETO; MILTÃO (2007, p.4)

A atmosfera usualmente é descrita em termos de camadas, as quais estão caracterizadas em gradientes específicos de temperatura (MARTINS *et al.*, 2003), conforme ilustra a figura 1.

Na figura 1 vemos que na troposfera a temperatura diminui de algo próximo a 25°C no nível do mar para aproximadamente 60°C negativos nas proximidades da estratosfera. É justamente a segunda camada que apresenta a maior concentração de ozônio, e se estendendo por aproximadamente 40 quilômetros. Ao contrário da troposfera e da mesosfera, as temperaturas na estratosfera e na termosfera aumentam com a elevação da altitude. A mesosfera é a camada em que a temperatura atinge seu menor valor, com aproximadamente 90°C negativos.

Também de acordo com a figura 1 é possível observar que a camada de ozônio se estende para além dos limites da estratosfera. Entretanto, sua maior concentração é observada em uma faixa com cerca de 10 quilômetros e com seu centro a cerca de 20 km acima do nível do mar.

O conjunto de características únicas da atmosfera faz com que os processos de formação, transformação, transporte e remoção das espécies químicas possam variar substancialmente entre a troposfera e a estratosfera, que são as duas camadas que possuem maior importância em termos de ciclos de matéria e energia (MARTINS *et al.*, 2003).

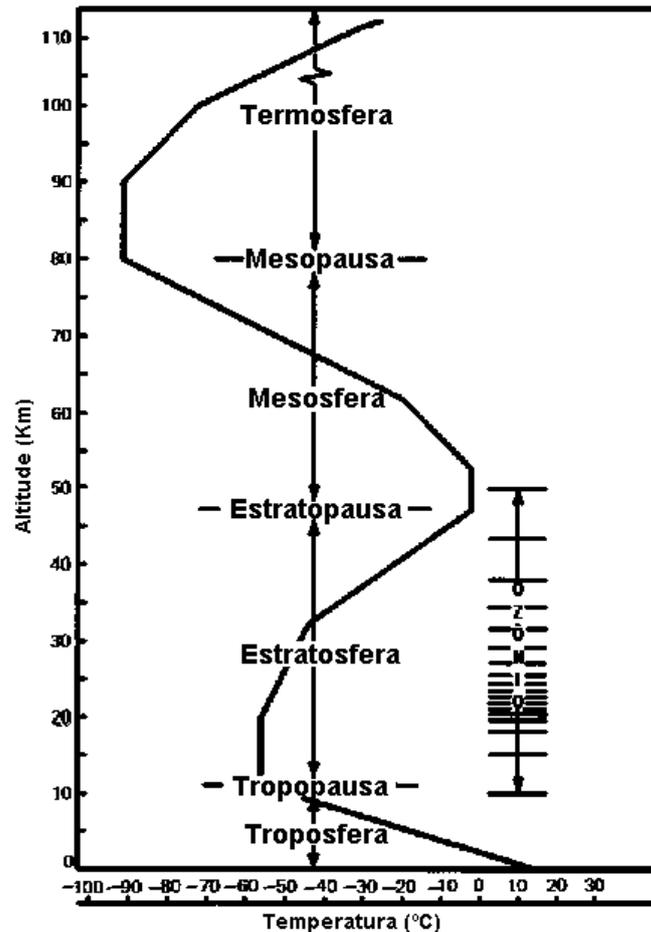


Figura 1 – Perfil Térmico da Atmosfera

Fonte: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap1/Image187.gif>

2.2.1 CAMADAS ATMOSFÉRICAS

2.2.1.1 TROPOSFERA

A primeira camada, troposfera, se estende da superfície do solo até a tropopausa - cuja altitude varia entre algo próximo de 18 km nos trópicos, 12 km em latitudes médias e 6 a 8 km nos pólos – se caracteriza por um progressivo decréscimo na temperatura com o aumento da altitude. Devido à subida do ar quente, essa camada, onde se concentra de 85 a 90% da massa total de ar, é extremamente dinâmica e instável, com trocas permanentes de energia e massa em decorrência de correntes verticais, levando as espécies até a tropopausa em alguns dias ou menos (MARTINS *et al.*, 2003).

A temperatura na troposfera começa a diminuir com o aumento da altitude (vide figura 1). Em sua parte mais fria, na tropopausa, a água atmosférica é solidificada. Isso evita a perda do elemento hidrogênio da Terra para o espaço sideral (MOZETO, 2001). A taxa de variação vertical da temperatura (gradiente térmico) troposférica é de $6,5^{\circ}\text{C}/\text{km}$. Isso significa que, em média, a temperatura decai $6,5^{\circ}\text{C}$ por cada quilômetro. Tendência essa de redução da temperatura que ocorrerá até atingir-se a tropopausa, região a qual a temperatura na troposfera é mínima (em torno de 55°C negativos) e está localizada a uma altura média em torno de 17 km no equador (DIAS; ANDRADE NETO; MILTÃO, 2007).

2.2.1.2 ESTRATOSFERA

A segunda camada da atmosfera, compreendida entre a troposfera e a mesosfera, a estratosfera se caracteriza pelos movimentos de ar no sentido horizontal, e fica localizada entre 7 e 17 até 50 km de altitude aproximadamente (DIAS; ANDRADE NETO; MILTÃO, 2007).

Na estratosfera existe um aumento da temperatura com relação à altitude, que atinge seu máximo na sua parte superior devido à presença do ozônio (O_3). Este gás que é o responsável pela absorção de energia UV, causando assim este aumento na temperatura, e que atinge uma concentração de cerca de 10 ppmv (partes por milhão em volume) na parte intermediária desta camada (MOZETO 2001).

A pressão do ar nesta camada, é da ordem de 1 atmosfera próximo à sua superfície, e decai rapidamente com a altitude atingindo 0,10 atmosferas logo após a tropopausa e 0,001 atmosferas na estratopausa (aproximadamente 50 km) (MARTINS *et al.*, 2003).

Existem compostos na superfície terrestre (vapores, gases), que não conseguem alcançar a estratosfera, uma vez que eles podem ser decompostos por gases atmosféricos, ainda na troposfera (principalmente pelos oxidantes, OH, NO_3 , ozônio), eliminados pela luz solar; removidos por deposição seca ou úmida e por fim, impedidos de seguir adiante o seu percurso, pela tropopausa, para a camada posterior (DIAS; ANDRADE NETO; MILTÃO, 2007).

2.2.1.3 MESOSFERA

Por sua vez, na mesosfera há uma queda gradual na temperatura à medida que a altitude se eleva, devido à diminuição da concentração de espécies químicas absorventes de energia, especialmente o ozônio. Nesta e em camadas mais altas, como a termosfera, aparecem espécies iônicas e atômicas (MOZETO, 2001). Ela se estende a uma altitude de aproximadamente 90 km, até a mesopausa. Região, a qual novamente voltam a existir importantes mecanismos de transporte vertical de massa (MARTINS *et al.*, 2003).

A parte mais quente da mesosfera está localizada justamente em sua base, pois ela absorve calor da camada adjacente anterior (a estratosfera). Assim, a queda da temperatura com o aumento da altitude nessa camada se deve devido à baixa aglomeração de moléculas e da redução do calor advindo da camada de ozônio na estratosfera. Contudo, mesmo com sua baixa concentração, as moléculas dessa camada oferecem resistência suficiente aos objetos que entram na atmosfera, atraídos pela força gravitacional exercida pela Terra (DIAS; ANDRADE NETO; MILTÃO, 2007).

2.2.1.4 TERMOSFERA

Definida como última camada, e acima da mesosfera, a termosfera novamente apresenta variação de temperatura positiva com a altitude, sendo a difusão molecular um importante mecanismo de separação gravitacional de espécies químicas, de acordo com sua massa molar (MARTINS *et al.*, 2003).

A temperatura, devido à absorção de radiação de alta energia com comprimento de ondas de cerca de 200 nm, chega a algo em torno de 1.200 °C. Espécies iônicas como O_2^+ , O^+ e NO^+ estão presentes nesta camada, que atingem concentrações bem maiores que a do oxigênio molecular. A pressão barométrica, que apresenta uma contínua diminuição com o aumento da altitude, atinge um valor tão baixo como cerca de 10^{-7} atm, dado a baixa concentração de espécies químicas ali existentes, a uma altura de cerca de 100 km da superfície terrestre (MOZETO,

2001). Alguns autores dividem a termosfera em duas camadas distintas, ionosfera e exosfera.

1ª: IONOSFERA

A ionosfera é a parte inicial da termosfera, se encontra logo após a mesosfera, e estende-se de 90 a 550 km. Nessa região existe uma grande absorção de radiação de ondas curtas (raios x e ultravioletas) o que leva a ionização dos elementos presentes e, assim, elétrons livres também, o que leva o plasma ionosférico a ser criado. Esse plasma pode refletir ondas de rádio utilizadas em radiodifusão (DIAS; ANDRADE NETO; MILTÃO, 2007).

2ª: EXOSFERA

É a parte final da termosfera. Sua extensão começa de aproximadamente 550 km. O ar é extremamente rarefeito devido a essa grande altitude, de maneira que colisões entre moléculas são extremamente raras. É nesta região onde os satélites artificiais orbitam a Terra. A exosfera não participa do processo de filtração seletiva da radiação, pois não há registro de absorção da radiação que chega por lá, como na estratosfera, a radiação será toda aquela citada nas camadas anteriores (DIAS; ANDRADE NETO; MILTÃO, 2007).

2.3 POLUIÇÃO DO AR

Santiago (2013 apud CONAMA, 1990) definiu a poluição do ar como resultado de alteração nas características químicas, físicas e biológicas normais da atmosfera, sendo o poluente atmosférico qualquer forma de energia ou matéria com intensidade e em concentração, quantidade, característica ou tempo em discordância com os níveis estabelecidos, e que possa tornar ou torne o ar impróprio, nocivo ou prejudicial à saúde, danoso aos materiais, inconveniente ao bem estar público, à fauna e à flora, ou prejudicial à segurança e às atividades normais de uma comunidade.

A velocidade do vento e de sua turbulência possui grande influência sobre a dispersão de poluentes na atmosfera. Tanto em escala local quanto regional existem outros fatores que podem também interferir na circulação atmosférica, como o uso e ocupação do solo, como a topografia e a presença de oceanos e continentes. Esta circulação pode ser de macro escala, ou primária (ventos alísios, zonas de alta e baixa pressão, zonas climáticas), de meso escala ou secundária (frentes e massas de ar) e de micro escala ou terciária (ventos catabáticos e anabáticos, brisas) (AYOADE, 1998). A chuva é outro fator muito importante, ela lava a atmosfera e deposita os poluentes, auxiliando a dispersão de gases como os NO_x e o SO_2 , além de depositar os particulados (DIAS *et al.*, 2012).

Os efeitos causados pela concentração de poluentes do ar podem se manifestar no bem estar da população, na vegetação e na fauna, na saúde, sobre as propriedades da atmosfera passando pela redução da visibilidade, sobre os materiais, alteração da acidez das águas da chuva (“chuva ácida”), mudanças climáticas (alteração do regime de chuvas, aumento do nível dos oceanos), aumento do efeito estufa e modificação da intensidade da radiação solar (aumento da incidência de radiação ultravioleta sobre a Terra, causado pela redução da camada de ozônio) (INEA, 2009).

A resolução de nº 3 de 28 de junho de 1990 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA define como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos. A determinação da qualidade do ar é restrita a um grupo de poluentes, que dependendo de sua concentração podem causar danos à saúde. São eles: partículas inaláveis (PI), partículas totais em suspensão (PTS), dióxido de enxofre (SO_2), monóxido de carbono (CO), ozônio (O_3), hidrocarbonetos totais (HT) e óxidos de nitrogênio (NO_x).

De acordo com Godish (1991), os principais poluentes atmosféricos ocorrem na forma de particulados ou gases. Esses dois grupos de poluentes atmosféricos, chamados de tradicionais, têm sido objeto de um considerável número de pesquisas científicas e regulamentações. Isso se deve em parte aos impactos negativos que estes acarretam sobre a atmosfera, a vegetação, a saúde humana, dos animais e materiais.

Para Santiago (2013, apud GODOY e PAMPLONA, 2007), como consequência da unicidade de interesses dos países em relação à diminuição da

poluição atmosférica foi criado o Protocolo de Kyoto em 1997, um dos grandes propulsores do ajuste global na resolução da problemática ambiental relacionada aos problemas decorrentes do efeito estufa, em que foram estabelecidas metas de redução de emissões dos gases de efeito estufa para os países desenvolvidos levando vários chefes de Estado a assinarem o Protocolo, com o compromisso de reduzir gradualmente a emissão dos poluentes até 2012 visando amenizar os efeitos da interação clima-ambiente-saúde humana. Entretanto, este Protocolo não foi aderido por todos, como é o caso dos Estados Unidos, um dos países mais poluentes. Além disto, há os créditos de carbono que podem ser comprados pelos países que não atingirem a meta estabelecida, ou seja, eles “podem” continuar emitindo poluentes para atmosfera na mesma taxa às quais emitiam desde que paguem para um país que não excedeu sua cota.

Os países da União Européia assinaram em 1999 o Protocolo de Gotemburgo, que entrou em vigor no ano de 2005. Este protocolo estabelece cota para emissões de poluentes dos seus países-membros, propondo uma política local para a redução da acidificação, da eutrofização e do ozônio troposférico (MARQUES, 2011).

No Rio de Janeiro em 2012 ocorreu a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, com o objetivo de reafirmar os acordos e tentar implementar a ideia da economia verde, vinte anos depois do primeiro encontro e foi chamado de RIO+20.

2.3.1 PRINCIPAIS POLUENTES

A determinação do nível de poluição atmosférica é dada pela quantificação das substâncias poluente presentes no ar. Com relação à sua origem os poluentes são classificados como primário e secundário. Os primários são aqueles emitidos diretamente por suas fontes de emissão, como por exemplo, o dióxido de enxofre e o material particulado. Já os secundários são aqueles poluentes formados na atmosfera através da reação química entre os poluentes primários e componentes que ocorrem naturalmente na atmosfera, como o ozônio. (CETESB, 2008)

A poluição atmosférica resulta da combustão de hidrocarbonetos por indústrias e veículos em um primeiro momento. Estes liberam material particulado (MP), monóxido de carbono, dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos e outros poluentes, que variarão em função da especificidade dos processos produtivos (REIS, 2009).

O quadro 1 detalha as principais fontes de emissão e os principais efeitos dos poluentes atmosféricos.

Quadro 1 – Poluentes atmosféricos, suas principais fontes de emissão e seus principais efeitos à saúde

Poluentes Monitorados	Fontes de Emissão	Efeitos à Saúde
Partículas em suspensão (poeira)	Combustão incompleta originada da indústria, motores à combustão, queimadas e poeiras diversas.	Interfere no sistema respiratório, pode afetar os pulmões e todo o organismo.
Dióxido de Enxofre SO ₂	Queima de combustíveis fósseis que contenham enxofre, como óleo combustível, carvão mineral e óleo diesel.	Ação irritante nas vias respiratórias, o que provoca tosse e até falta de ar. Agravando os sintomas da asma e da bronquite crônica. Afeta, ainda, outros órgãos sensoriais.
Óxidos de Nitrogênio NO ₂ e NO	Queima de combustíveis em altas temperaturas em veículos, aviões, fornos e incineradores.	Agem sobre o sistema respiratório, podendo causar irritações e, em altas concentrações, problemas respiratórios e edema pulmonar.
Monóxido de Carbono CO	Combustão incompleta de materiais que contenham carbono, como derivados de petróleo e carvão.	Provoca dificuldades respiratórias e asfixia. É perigoso para aqueles que têm problemas cardíacos e pulmonares.
Ozônio O ₃	Não é um poluente emitido diretamente pelas fontes, mas formado na atmosfera através da reação entre os compostos orgânicos voláteis e óxidos de nitrogênio em presença de luz solar.	Irritação nos olhos e nas vias respiratórias, agravando doenças pré-existentes, como asma e bronquite, reduzindo as funções pulmonares.

Fonte: INEA (2009)

2.3.2 PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

No Brasil os padrões de qualidade do ar foram definidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) através de sua Resolução N°003 de 28 de junho de 1990. De acordo com esta Resolução, os padrões de qualidade do ar são as concentrações de poluentes atmosféricos que, quando ultrapassadas, poderão

afetar a segurança, a saúde e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral (CONAMA, 1990).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) possui um guia para a qualidade do ar baseado em estudos que visam garantir níveis para os poluentes de maneira que cause os menores impactos possíveis na saúde de uma maneira geral (apesar de não existir níveis seguros de poluição atmosférica para a saúde humana). O primeiro guia foi criado em 1987, posteriormente atualizado em 1997 e em 2005 recebeu sua última edição. Estudos estes que estimam que mais de 2 milhões de mortes anuais são atribuídas às doenças causadas pela má qualidade do ar (WHO, 2006).

A tabela 2 mostra os padrões de qualidade do ar recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), juntamente com os dados regulamentados pelo órgão nacional.

Tabela 2 – Padrões de Qualidade do Ar vigente no Brasil, e proposto pela Organização Mundial da Saúde

Poluentes			Padrões de Qualidade do AR	
			Brasil ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	OMS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Dióxido de enxofre (SO_2)	Padrão primário	MMA ¹	80	-
		24-horas	365	20
		10 min	-	500
Dióxido de Nitrogênio (NO_2)	Padrão primário	MMA	80	40
		1-hora	320	200
		Padrão secundário	MMA	100
Fumaça	Padrão primário	MMA	60	-
		24-horas	150	-
		Padrão secundário	MMA	40
Monóxido de Carbono (CO)	Padrão primário	8-horas	10.000	-
		1-hora	40.000	-
		Padrão secundário	MMA	100
Partículas Inaláveis (MP_{10})	Padrão primário e secundário	24-horas	150	50
		1-hora	50	20
Partículas Inaláveis ($\text{MP}_{2,5}$)	Padrão primário e secundário	MMA	-	10
		24-horas	-	25
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	Padrão primário	MGA ²	80	-
		24-horas	240	-
		Padrão secundário	MGA	60
Ozônio (O_3)	Padrão primário e secundário	24-horas	150	-
		8-horas	-	100
		1-hora	160	-

¹ Média Aritmética Anual ² Média Geométrica Anual

Fonte: CONAMA (1990); WHO (2006)

2.4 OZÔNIO

O ozônio é um gás instável que ocorre naturalmente no meio ambiente e é formado na estratosfera através de reações fotoquímicas e na presença de poluentes precursores como os óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COVs). Este gás é extremamente oxidante e reativo, sendo um poluente perigoso para a saúde quando presente na troposfera em excesso (APA, 2010).

Na estratosfera o ozônio é considerado uma substância que traz benefícios ao ambiente. Ele forma uma camada protetora que impede a radiação excessiva de raios ultravioletas do sol na superfície terrestre, servindo como um filtro que protege o ser humano de casos de câncer, catarata e redução do sistema imunológico. Este O_3 é destruído por agentes químicos produzidos pelo homem, como os CFCs (clorofluorcarbonos). (UEMOTO *et al.*, 2006).

Já na troposfera, apesar da complexidade da química atmosférica o mecanismo de formação de ozônio é bem conhecido, tratando-se de atmosferas onde predominam compostos nitrogenados. Porém, a presença de radicais hidroxila (OH) e hidrocarbonetos causa o desequilíbrio atmosférico, resultando no aumento da formação de ozônio (WHO, 1987).

De acordo com Dutra, Fioravante e Ferreira (2009), os veículos automotores são grandes responsáveis pela emissão de compostos orgânicos voláteis, óxidos de nitrogênio e, conseqüentemente, pela formação do ozônio em áreas urbanas. Adicione-se a estes as perdas de combustíveis durante reabastecimento dos veículos e dos reservatórios dos postos de abastecimento, bem como as emissões específicas de alguns empreendimentos como refinaria de petróleo, envasadoras de gás e outras.

Quimicamente falando, o ozônio nada mais é que uma molécula constituída por três átomos de oxigênio, formada ao se dissociar dois átomos que constituem o gás de oxigênio (O_2), onde um átomo de oxigênio liberado une-se a outra molécula próxima de gás oxigênio (O_2) formando uma molécula de ozônio (O_3) (MOHAMED, 1990).

O ozônio é um gás solúvel em água que se apresenta naturalmente em estado gasoso tendo uma cor azul pálida, se condensa perto de -112°C para formar

um líquido azul escuro e se solidifica perto dos -194°C para formar um sólido negro-violeta (Mordecai, 2004).

De acordo com Baena (2014, apud DUMLER et al., 1994) a maioria das pessoas consegue detectar cerca de 0,1 mmol / mol de ozônio no ar, uma vez que o mesmo apresenta um forte odor picante específico que se assemelha ao cloro. A exposição de 0,1 a 1 mol / mol produz dores de cabeça, irritação nos olhos e nas vias respiratórias. Mesmo baixas concentrações de ozônio no ar são muito destrutivas para os materiais orgânicos, tais como o látex, plásticos e o tecido pulmonar dos animais. Exposições ao ozônio em concentrações de até 0,08 ppm (partes por milhão) por mais de 6 horas levam a um significativo decréscimo do funcionamento pulmonar humano.

Exposição ao ozônio também pode causar efeitos extrapulmonares envolvendo o sangue, sistema nervoso central, o baço e outros órgãos. Uma combinação de dióxido de nitrogênio (NO_2) e O_3 pode produzir efeitos que podem ser aditivos ou sinérgicos em uma lesão pulmonar maior. Antioxidantes na dieta, por exemplo, vitamina E, vitamina C e selênio podem oferecer uma proteção contra os efeitos prejudiciais do O_3 (MOHAMED, 1990).

O ozônio também é utilizado a mais de 1 século medicinalmente através de um processo chamado de ozonioterapia. Processo este que é capaz de intervir no equilíbrio de óxido-redução, e é bastante explorada como terapia alternativa no tratamento de doenças agudas e crônicas. O gerador de alta frequência é o equipamento utilizado no tratamento de afecções de pele, acelerando o processo de cicatrização de feridas cutâneas. (SÁ et al. 2010).

2.4.1 FORMAÇÃO DO OZÔNIO TROPOSFÉRICO

A explicação do complexo ciclo que leva à formação do ozônio na troposfera vem sendo um dos maiores desafios para os químicos ambientais desde o episódio conhecido como *smog* fotoquímico de 1956 em Los Angeles (Haahen-Smit e Fox, 1956). Alguns aspectos ainda continuam obscuros, principalmente os relacionados às reações envolvendo os óxidos de nitrogênio. Entretanto, de uma maneira geral é claro – a formação do ozônio e outros oxidantes fotoquímicos ocorre através de

reações em sequência tendo o radical hidroxila (OH) como principal condutor do processo durante o dia e o radical nitrato (NO₃) durante a noite (MARTINS, 2006).

O ozônio é formado fotoquimicamente através da fotólise do NO₂ que tem como fonte a rápida conversão do NO em NO₂, o qual é emitido nos processos de queima.

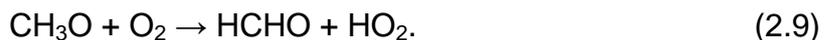
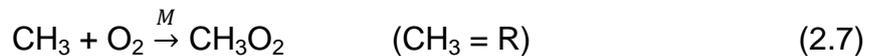


O O₃, por sua vez reage rapidamente com NO e o ciclo de formação do ozônio que foi ilustrado nas equações (2.1), (2.2) e (2.3) resultam no equilíbrio entre NO, NO₂ e O₃ com baixa formação de O₃ quando em ausência dos COVs (MARTINS, 2006).

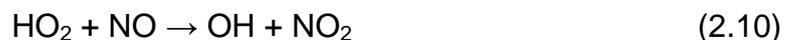
Com a presença de COVs, que tem como principais fontes de emissão (de maneira global) os processos que envolvem a produção, armazenamento, transporte e queima de combustíveis fósseis e a vegetação de florestas, as reações de degradação são, em geral, iniciadas pela reação com o radical hidroxila e levando à formação de radicais intermediários alcóxi (RO₂) e hidroperóxido (HO₂). Sendo o radical OH é o principal agente de oxidação dos COVs durante o dia e está naturalmente existente na atmosfera sendo a reação de fotólise do ozônio a sua principal via de formação, com a participação do vapor d' água.



Desta maneira o processo de oxidação dos COVs, neste caso foi utilizado o metano (CH₄), é dado pelas reações:



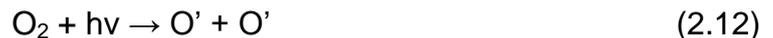
Estes radicais (HO₂ e RO₂) por sua vez, reagem com o NO, convertendo em NO a NO₂



resultando em uma alta produção de ozônio. O ozônio formado também é consumido neste caso pela reação com o NO (2.3), mas por causa do grande aumento da conversão do NO para NO₂ há alta formação de ozônio quando a taxa de fotólise do NO₂ atinge o máximo (JENKIN e CLEMITSHAW, 2000; ATKINSON, 2000; MARTINS, 2006).

2.4.2 FORMAÇÃO DO OZÔNIO ESTRATOSFÉRICO

A formação do ozônio em elevadas altitudes se dá quando um fóton de energia elevada (< 242nm) atinge a molécula de O₂, desestabilizando-a e provocando uma nova ligação, sendo representado aqui da seguinte forma:



Isto gera um ciclo contínuo e ininterrupto de produção e degradação do ozônio. De todo ozônio existente na atmosfera, quase 90% se encontra acima da tropopausa (vide figura 1) e abaixo da mesopausa, também presente na troposfera em baixos níveis. A quantidade do ozônio é expressa em Unidades Dobson (DU, é a medida em unidades de centésimos de milímetro, que a coluna de ozônio poderia ocupar, a temperatura e pressão de, 273 Kelvin e 1 atmosfera). A coluna de ozônio média sobre a Terra varia entre 290 e 310 DU. Para fim de entendimento da quantidade de ozônio que temos, se ele fosse compactado à superfície terrestre, à temperatura e pressão padrões, esta camada teria algo em torno de 3 milímetros (equivalente a 300 DU). Embora não pareça muito, este gás é extremamente vital para o bloqueio da radiação UV-B (TOMASONI, 2011).

2.5 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO

Localizada ao sul do estado do Rio de Janeiro, na região do Médio Paraíba (figura 2) está o município de Volta Redonda, que abrange uma área superior aos

182 km². Em sua última contagem populacional realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, sua população ultrapassou os 262.900 habitantes, o que acarreta em uma densidade demográfica com cerca de 1.412 habitantes por km², sendo a maior do estado fora da região metropolitana (IBGE, 2016).

Tendo um clima considerado mesotérmico de estações bem definidas, Volta Redonda apresenta temperatura média compensada de 21 °C, com uma média máxima anual de 27,8°C e média mínima anual de 16,5°C. Com uma média de 130 dias de chuva ao ano, e índice pluviométrico anual em torno de 1.337mm. Sua estação chuvosa vai de outubro a março, englobando todo o verão. Sua umidade relativa do ar é alta, 77%, mesmo nos meses de inverno (REIS, 2009; GIODA *et al.*, 2000).

Segundo a Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente do Rio de Janeiro (FEEMA), na região de Volta Redonda os ventos sopram predominantemente de leste para oeste em todas as épocas do ano, ou seja, são soprados na direção de bairros como Retiro e Belmonte que estão entre os mais populosos do município, e onde se encontram duas das estações de monitoramento da qualidade do ar (FEEMA, 2007).

Sua altitude varia de algo em torno de 363 m (as margens do rio Paraíba do Sul) e 707 m (situado na ponta nordeste), acima do nível do mar. A altitude média de sua área central de 380,3 m acima do nível do mar (GIODA *et al.*, 2000).

A área central do município é cortada pela rodovia BR-393, que conecta a rodovia Rio – São Paulo com a Rio – Belo Horizonte e Rio – Bahia, o que acaba acarretando, diariamente, a passagem de mais de 40.000 veículos pela cidade, principalmente os veículos destinados ao transporte de mercadorias. Fazendo do tráfego intenso um dos principais contribuintes para a poluição atmosférica (REIS, 2009).

No ano de 1941 foi fundado no município um dos maiores complexos siderúrgicos integrados da América Latina. Segundo Cavalcanti (2012) este tipo de planta é responsável por uma quantidade de emissão de gases, partículas e vapores muito grande em comparação a outros tipos de indústria. Seus principais poluentes são: material particulado (MP), óxidos de enxofre (SO₂ e SO₃), monóxido de carbono (CO), metais pesados, compostos alicíclicos aromáticos, dioxinas e furanos, bifenilas policloradas, compostos ácidos, óxidos de nitrogênio (NO e NO₂) e compostos orgânicos voláteis (COVs), estes últimos precursores do ozônio. Indústrias de cal e

poluidores, identificado a partir do tipo de indústria e poluentes por eles emitidos. A técnica utilizada foi a "Industrial Pollution Projection System – IPPS" (IBGE, 2008). No estudo, a cidade de Volta Redonda apresentou uma emissão potencial de 10.646 t/ano, ficando assim como a 3ª maior emissora de SO₂ do estado. Segundo o mesmo relatório, a metalurgia é responsável por mais de 70% das emissões potenciais do dióxido de enxofre. Não muito diferente, na Região do Médio Paraíba, as indústrias de minerais não metálicos e metalúrgicas contribuem com mais de 90% das emissões de SO₂ (IBGE, 2008).

No mesmo estudo, porém com relação ao potencial de emissão de MP₁₀, Volta Redonda respondia por 21%, com um potencial de emissão de 4.031 t/ano, ocupando a 2ª posição no ranking estadual. Tendo na metalurgia algo em torno de 50% do potencial poluidor de Material Particulado MP10 (IBGE, 2008).

3 METODOLOGIA

Para a realização deste estudo serão selecionados para avaliação dados sobre a qualidade do ar, bem como a temperatura, direção e velocidade do vento nas estações de monitoramento localizadas na região do Médio Paraíba, do Instituto Estadual do Meio Ambiente num período de oito anos.

Através de relatórios periódicos do INEA nos anos de 2007 a 2014, será possível analisar a partir dos padrões estabelecidos pelos órgãos competentes a qualidade do ar, bem como sugerir hipóteses para lidar com os problemas levantados anteriormente.

Análises comparativas das emissões deste município, com os limites estabelecidos pela resolução 3/1990 CONAMA com os padrões regulamentados pela OMS. Discutir os principais resultados obtidos através dos dois critérios de qualidade.

Após uma avaliação inicial dos dados, também serão feitas análises sobre a concentração de ozônio e sua relação com a incidência de radiação solar e com a temperatura do ar. Para fazer um diagnóstico sobre o transporte de poluentes atmosféricos na região também será levado em conta o papel do vento, bem como das características topográficas de Volta Redonda.

Avaliações sobre os comportamentos sazonais e os horários dos principais parâmetros serão abordadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 TEMPERATURA MÉDIA, DIREÇÃO E VELOCIDADE DO VENTO

Volta Redonda possui três estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar. A Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) como parte de um acordo junto ao estado, adquiriu estas redes que estão localizadas em três bairros: Belmonte, Retiro e Vila Santa Cecília (FEEMA, 2007).

Como descrito na seção 2.4, o ozônio é formado da interação de seus precursores com a radiação solar. Fato este, indica que possivelmente os maiores níveis de ozônio tanto na estratosfera quanto na troposfera devem ocorrer nos dias de maior incidência solar. Entretanto, em seus relatórios o INEA apenas disponibiliza a temperatura média mensal. Mas o mais provável é que a maior incidência solar ocorra nos meses de verão (dezembro a março), ou qualquer outro mês em que a temperatura média seja elevada, visto que em um país tropical como o Brasil nem sempre as estações estão bem definidas.

A temperatura média mais elevada no período analisado foi em 2014 chegando a ultrapassar os 22,9 °C. A segunda maior marca foi justamente no primeiro período analisado ficando apenas um décimo de grau a menor. Entre os anos de 2010 e 2012 não foram divulgadas as temperaturas médias nas estações de Volta Redonda do Instituto Estadual do Ambiente (INEA). Em 2008 e 2009 suas médias foram próximas de 21,6°C. E como pode ser observado na figura 3, em todos os anos medidos as temperaturas foram superiores à média dos últimos 30 anos para o município que é de 21,2°C.

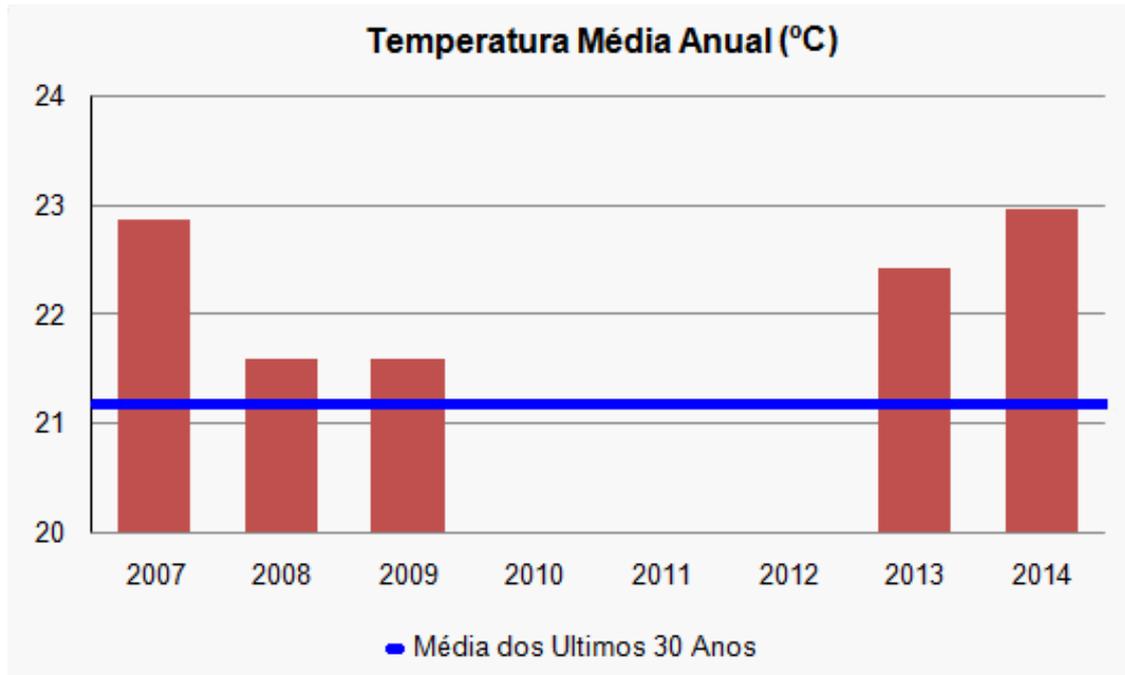


Figura 3 – Temperatura Média Anual em Volta Redonda

Fonte: FEEMA (2007); INEA (2008, 2009, 2013, 2015a, 2015b, 2015c); CLIMATEMPO (2016)

Nos relatórios referentes aos anos de 2008 e 2009 o Instituto Estadual do Ambiente (INEA) divulgou uma rosa dos ventos equivalente a todo o ano para cada estação. Desta maneira dificulta a avaliação da intensidade e direção do vento nas épocas do ano em que a incidência solar é maior, e que provavelmente apresenta os maiores níveis de ozônio. Em 2007 e no período de 2010 a 2012, não foi divulgado nada a respeito do vento na região do Médio Paraíba. Apenas em 2013 e 2014 foi publicada uma rosa dos ventos para completa, com todas as estações do ano, porém apenas em um dos bairros monitorados.

No ano de 2014 a estação Belmonte mostrou que a direção majoritária do vento ficou bem definida no quadrante SE, entretanto, a direção NW se mostrou presente no período de inverno e outono. No que diz respeito à intensidade do vento, é possível observar que na maior parte do tempo eles foram de fraco a moderado, como em todo município de uma maneira geral, com frequência de calmarias variando de 25% no outono a 43% no verão. A figura 4 apresenta a rosa dos ventos na estação.

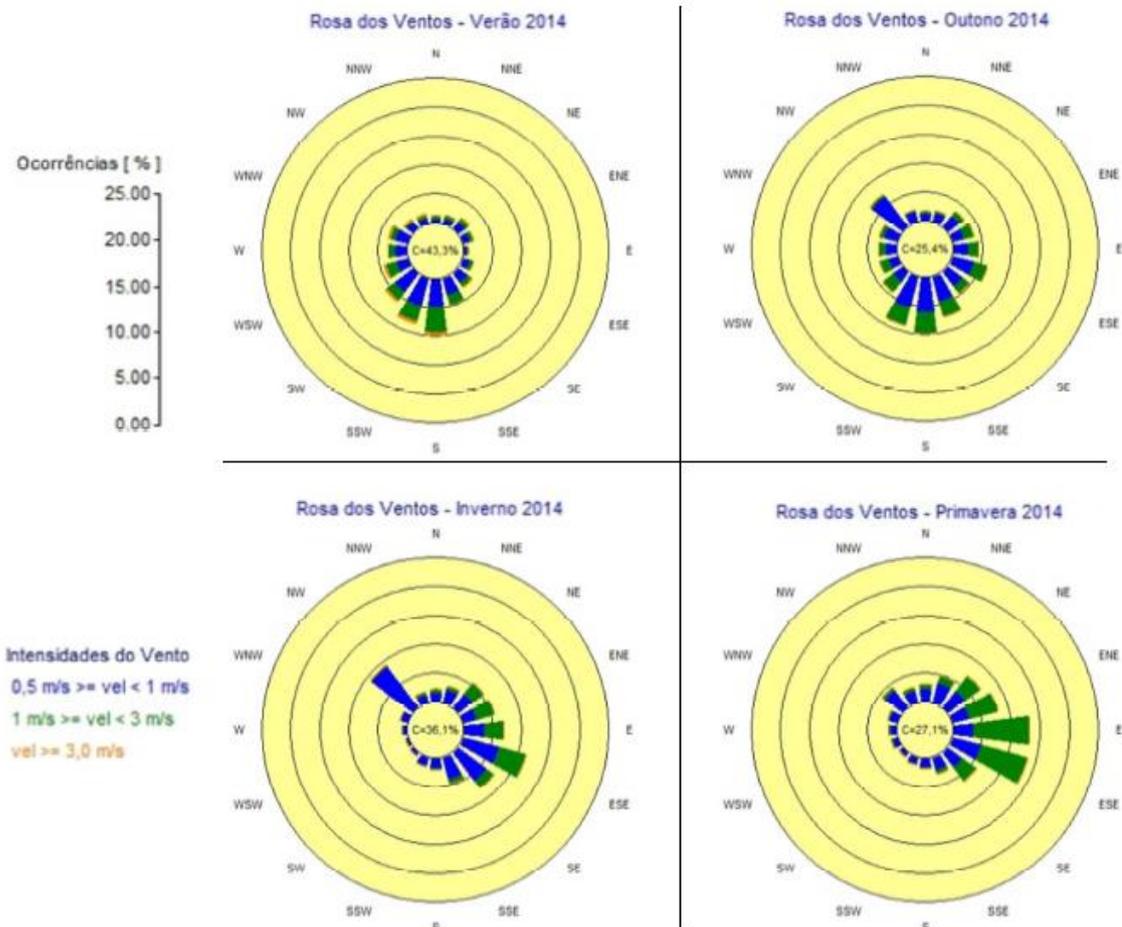


Figura 4 – Rosa dos Ventos na estação Belmonte em 2014

Fonte: INEA (2015c)

4.2 NÍVEIS DE DIÓXIDO DE NITROGÊNIO (NO₂)

4.2.1 EXPOSIÇÃO DE CURTO PERÍODO

Foram observados apenas dois períodos em que a concentração horária de dióxido de nitrogênio (NO₂) foi superior ao limite estabelecido pela Organização Mundial de Saúde (OMS) no ano de 2005, que é de 200 µg/m³. Em 2007 a estação do bairro Retiro registrou 255 µg/m³ e em 2014 a Belmonte 223 µg/m³. 2008 foi o ano de maior concentração na estação Vila Santa Cecília com 95 µg/m³. Nos demais períodos não houve episódios em que o limite internacional foi superado. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) em sua resolução de número três

do ano de 1990 estabelece como parâmetro brasileiro uma concentração horária média limite de $320 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e analisando pelo critério nacional os níveis deste poluente esteve em conformidade durante todo o período analisado. A figura 5 mostra as diferentes concentrações das estações ao longo dos anos.

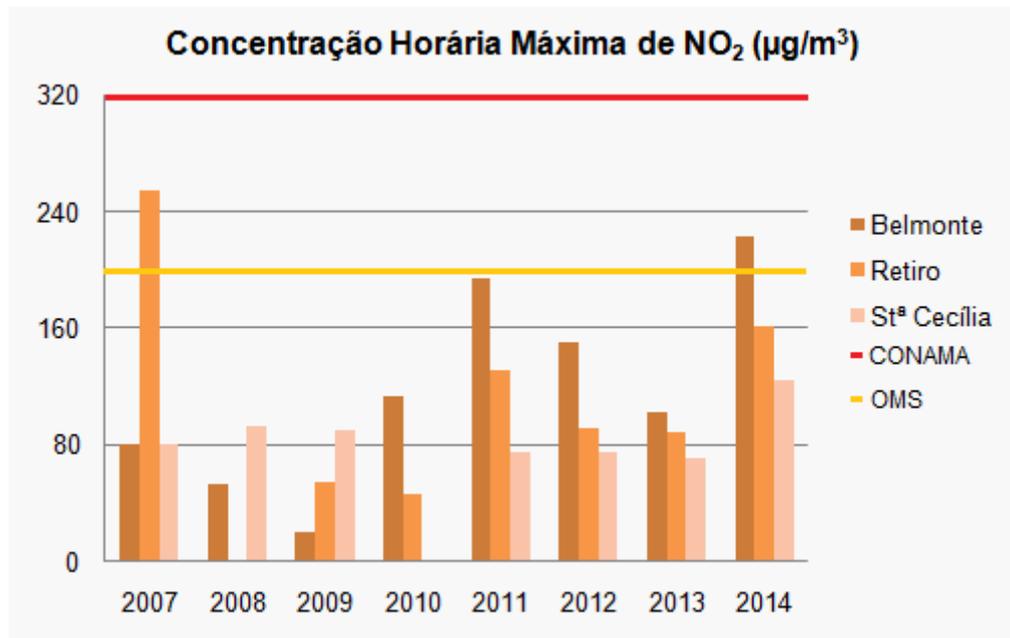


Figura 5 – Concentração horária máxima de NO₂ ao longo dos anos
 Fonte: FEEMA (2007); INEA (2008, 2009, 2013, 2015a, 2015b, 2015c); WHO (2006)

4.2.2 EXPOSIÇÃO DE LONGO PERÍODO

As concentrações de NO₂ no longo período não ultrapassaram os limites estabelecidos tanto pela OMS ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$), quanto pelo CONAMA ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$). O máximo valor registrado na estação Belmonte foi nos anos de 2007 e 2010, atingindo $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Já a do bairro Retiro foi a que obteve o maior registro entre todas, com $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no ano de 2007. E por fim a estação Vila Santa Cecília, que obteve sua maior concentração no ano de 2013 com $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A figura 6 apresenta médias anuais de NO₂ em Volta Redonda.

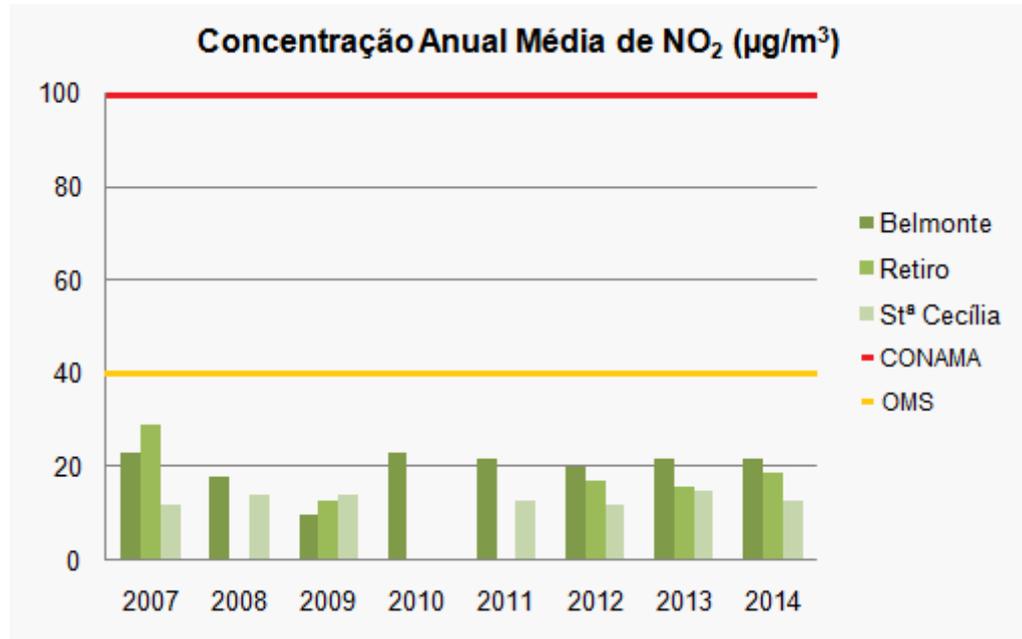


Figura 6 – Concentração anual média de NO₂

Fonte: FEEMA (2007); INEA (2008, 2009, 2013, 2015a, 2015b, 2015c); WHO (2006)

4.3 NÍVEIS DE OZÔNIO (O₃)

Os dados sobre os níveis de ozônio informados pelo INEA, assim como de todos os outros poluentes monitorados, seguem a legislação nacional vigente do ano em que o relatório foi divulgado. Ao contrário do estado de São Paulo que possui legislação própria desde o ano de 1976. Isso significa que o CONAMA detém parâmetros com mais de 25 anos sem atualizações (CETESB, 2008).

Vale ressaltar que para os níveis de ozônio troposférico, em sua terceira resolução do ano de 1990 o CONAMA recomenda não ultrapassar os 160 µg/m³ de média horária, como mostrado na tabela 2 na seção 2.3.2, e não podendo ser excedido por mais de uma vez ao ano. Entretanto, em seu guia mais recente a OMS (2005) estabelece como valor limite de segurança para este poluente 100 µg/m³ em uma média de oito horas. Em um de seus primeiros manuais lançado em 1987, e que durou até o ano 2000 com sua atualização, o nível de O₃ máximo sugerido era de 150 µg/m³ horário. Ou seja, era a média horária e não a média para 8 horas o indicado pela agência internacional quando o Conselho Nacional do Meio Ambiente estabeleceu seus padrões (WHO, 2000).

Na figura 7 observa-se o nível de ozônio no padrão horário para cada estação no período analisado. Não é possível assim estabelecer uma comparação com o critério recomendado pela Organização Mundial da Saúde. Houve ultrapassagem aos níveis nacionais nas três estações em 2007 e em 2014. No primeiro ano houve apenas uma violação na estação Belmonte ($160,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$), quatro na do bairro Retiro ($173,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ o maior) e três na Santa Cecília ($171,1$ de máxima). Já no último ano o Belmonte registrou cinco violações com $174 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de máxima, já na região do Retiro houve quatro sendo $171 \mu\text{g}/\text{m}^3$ o maior e a estação da Vila Santa Cecília descumpriu cinco vezes o limite com um incrível valor máximo de $196 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Variações significantes foram observadas num mesmo ano entre as estações. Isso pode ser explicado pela razão de o ozônio ser um poluente secundário, ou seja, formado através de reações fotoquímicas e sua maior concentração não necessariamente estará próximo as fontes emissoras de seus precursores.

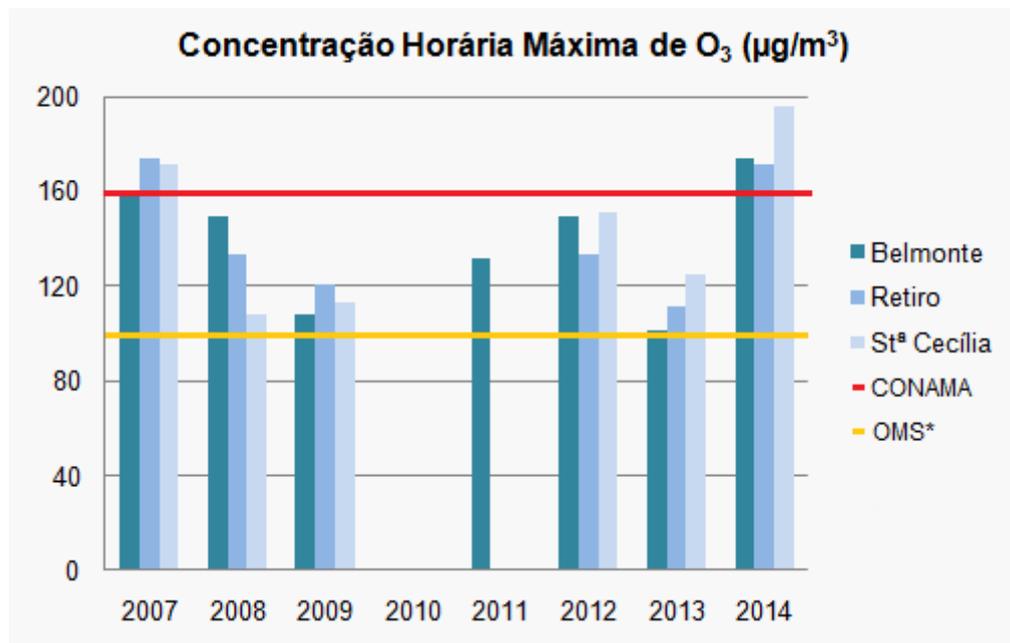


Figura 7 – Concentração horária máxima de O_3 ao longo dos anos

Fonte: FEEMA (2007); INEA (2008, 2009, 2013, 2015a, 2015b, 2015c); WHO (2006)

Para fazer um paralelo com a temperatura, os anos em que o ozônio apresentou seus maiores valores são justamente os que apresentaram as maiores temperaturas médias medidas, 2007 e 2014.

4.4 RELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA, NO₂ E O₃

Como demonstrado na seção 2.4.1, uma das maneiras em que o ozônio é formado na troposfera é através da reação fotoquímica do dióxido de nitrogênio com a radiação solar. Posteriormente o O₃ acaba sendo destruído pelo próprio NO₂ e depositado no solo (WHO, 2006).

A figura 8 demonstra claramente como os níveis de ozônio são gradualmente elevados na medida em que a temperatura aumenta, devido à maior incidência solar. Em um mesmo momento os valores do dióxido de nitrogênio são reduzidos com a elevação do calor. E posteriormente com o passar o dia, quando resfriado o ar, seus níveis voltam a se elevar enquanto os de O₃ vão diminuindo, o que forma um ciclo de vida diário deste oxidante. No exemplo temos a cidade de Pequim, na China, nos dias 25, 26 e 27 de agosto de 2016.

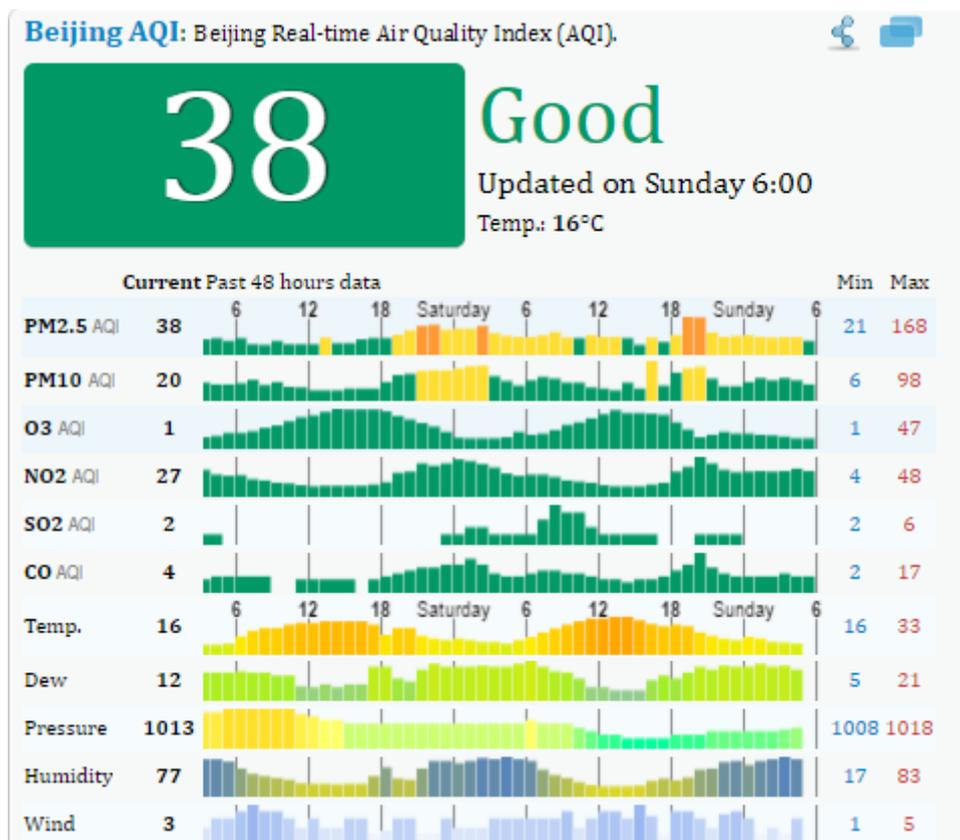


Figura 8 – Air Quality Index em Pequim

Fonte: <http://aqicn.org/city/beijing>

Na figura observamos uma classificação chamada de "Air Quality Index" (AQI), que consiste em um padrão internacional para avaliação da qualidade do ar e que será detalhado nos próximos tópicos.

4.5 COMO O OZÔNIO É MONITORADO AO REDOR DO MUNDO

4.5.1 BRASIL

Nacionalmente, São Paulo foi um dos primeiros estados a legislar em um esforço para controlar a poluição do meio ambiente, com a lei 997 de 31 de maio de 1976. Porém, foi a partir do decreto nº 59.113 de 2013 que a assembleia legislativa paulista estabeleceu padrões internacionais semelhantes aos adotados pela OSM para qualidade do ar (CETESB, 2016).

O Sudeste é de longe a Região que apresenta o maior número de estações de monitoramento da qualidade do ar. Representa 78% (75/95) dos municípios monitorados e 76% (194/252) das estações do país. São Paulo e Rio de Janeiro representam em seus respectivos territórios uma quantidade de estações muito superior a outros estados: 86 e 80 estações, quatro vezes mais que o próximo, o Rio Grande do Sul, com 20 (VORMITTAG *et al.*, 2014).

Para fazer um paralelo a Volta Redonda, com a finalidade de comparação dos níveis de ozônio, foram selecionados dois municípios paulistas que possuem suas economias girando em torno da indústria, como no caso da "cidade do aço". Cubatão e Sorocaba também possuem em seus plantéis industriais grandes siderúrgicas, e um considerável fluxo rodoviário (CETESB, 2016).

4.5.1.1 CUBATÃO

Localizada aos pés da serra do mar no estado de São Paulo, Cubatão está às margens da Via Anchieta entre o litoral e a capital. Possui um vasto parque

industrial, com destaque para a Companhia Siderúrgica Paulista, a Cosipa (atual Usiminas), fundada em 1959. Com uma população de pouco mais 125 mil habitantes e um território de quase 143 Km², nos anos 80 Cubatão foi considerada a cidade mais poluída do mundo (IBGE, 2016). O município possui duas estações de monitoramento da qualidade do ar, uma no bairro Vale do Mogi e outra no Centro (CETESB, 2016).

Foram considerados dados de 2007 até 2015 para se obter uma correlação mais aproximada. Para todo o período analisado os níveis de ozônio em Cubatão ultrapassaram o padrão considerado.

Até 2012 os níveis limite padrão e atenção eram de 160 µg/m³ e 200 µg/m³ de média horária respectivamente. E sob estes números, apenas os anos de 2007 e 2009 não violaram o nível de atenção na estação do Centro, tendo destaque o ano de 2010 com nove dias além de 200 µg/m³. A partir de 2013, com o decreto paulista nº 59.113 de 2013 os níveis padrão e atenção foram atualizados para 140 µg/m³ e 200 µg/m³, de média a cada oito horas, respectivamente. Sob esta ótica apenas o valor padrão foi ultrapassado e com destaque para a estação do Centro com seis dias no ano de 2015. A figura 9 mostra o número de dias com violações aos padrões nas estações de Cubatão.

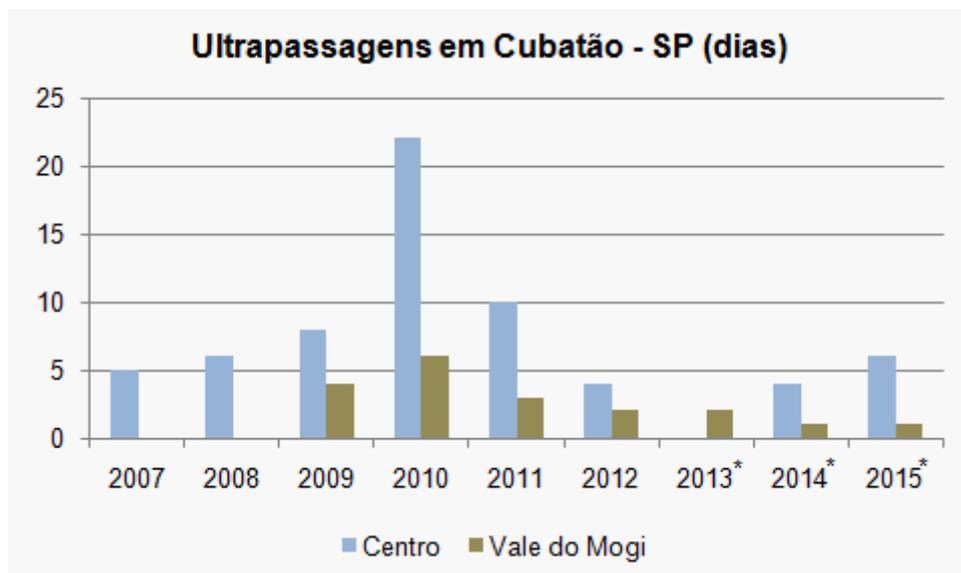


Figura 9 – Dias além dos padrões de ozônio em Cubatão – SP

Fonte: CETESB (2013, 2016)

4.5.1.2 SOROCABA

Localizada 87 quilômetros a oeste da capital paulista, Sorocaba é uma das maiores economias do interior do estado. Com população pouco maior que 650 mil habitantes e uma área territorial de 450 km², Sorocaba assemelha-se à Volta Redonda em sua densidade demográfica (aproximadamente 1.400 e 1.300 hab/km² respectivamente) (IBGE, 2016).

O município possui apenas uma estação de monitoramento da qualidade do ar. Durante o período avaliado a cidade não apresentou dias com níveis de ozônio superando o valor de atenção, tanto nos padrões pré e pós 2013. Porém o padrão foi ultrapassado na maioria dos anos, com exceção de 2011 e 2013, e tendo destaque o ano de 2014 com nove violações. A figura 10 apresenta o número de dias em que os valores de ozônio superaram o esperado em Sorocaba.

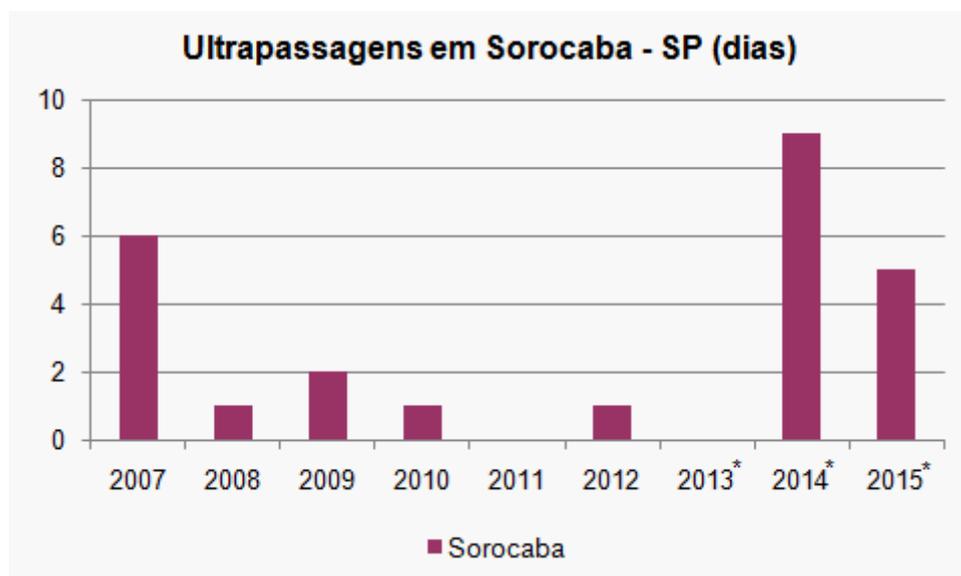


Figura 10 – Dias além dos padrões de ozônio em Sorocaba – SP

Fonte: CETESB (2013, 2016)

Sorocaba apresentou seus piores resultados nos anos de 2007 e 2014 assim como em Volta Redonda. A cidade de Sorocaba obteve mais ultrapassagens, porém, seus padrões foram atualizados em 2013 sendo mais rigorosos que os utilizado no estado do Rio de Janeiro.

4.5.2 ESTADOS UNIDOS

Provavelmente com o mais transparente e completo monitoramento de qualidade do ar no mundo, os Estados Unidos através de sua agência de proteção ambiental, a United States Environmental Protection Agency (EPA) controla o ar americano com milhares de estações ao longo de todos os seus cinquenta estados, do distrito de Columbia (onde fica a capital Washington), e mais os territórios de Porto Rico e Ilhas Virgens (EPA, 2016).

A classificação "Air Quality Index" (AQI), no Brasil chamado de Índice de Qualidade do Ar, como o nome sugere é um indicador geral da qualidade do ar, pois leva em consideração todos os poluentes atmosféricos mensurados em uma determinada região. E embora inclua todas as medições de poluentes disponíveis, em algumas áreas as estações de monitoramento podem não disponibilizar todos os dados, mas de apenas alguns elementos (EPA, 2016). O AQI é apresentado através de um número que quantifica a qualidade do ar como um todo, e classificado em níveis graduais sendo: Bom, Moderado, Ruim, Muito Ruim e Péssimo (CETESB, 2016). A figura 7 na seção 4.4 é um exemplo de relatório do AQI.

A EPA disponibiliza relatórios de cinco maneiras diferentes em seu portal, em todos eles é possível selecionar o ano e o local desejado (estado, cidade ou condado). As informações são bem detalhadas e estão de acordo com os padrões americanos de qualidade do ar, o National Ambient Air Quality Standards (NAAQS). Os relatórios podem ser gerados desde um resumo anual do AQI, até resultados de todos os dias para poluentes específicos (EPA, 2016).

Para fazer um comparativo com os níveis de ozônio em Volta Redonda, foram selecionadas as cidades americanas de Pittsburgh no estado da Philadelphia e Charlotte na Carolina do Norte. Considerando que os limites deste poluente nos Estados Unidos é de 0,07 ppm ($\approx 148 \mu\text{g}/\text{m}^3$) para a quarta maior concentração anual, com média de oito horas por três anos e 0,12 ppm ($\approx 254 \mu\text{g}/\text{m}^3$) horários, estando bem acima dos padrões internacional e brasileiro (tabela 2). A tabela 3 apresenta os máximos valores de ozônio apresentados por estes municípios no ano de 2014.

Tabela 3 – Valores de O₃ para Charlotte e Pittsburgh (2014) em ppm (µg/m³)

Estação	1ª Max (8h)	4ª Max (8h)	1ª Max (1h)	2ª Max (1h)
Charlotte 1	0,072 (152)	0,065 (137)	0,084 (178)	0,084 (178)
Charlotte 2	0,065 (137)	0,063 (133)	0,077 (163)	0,073 (154)
Pittsburgh	0,071 (150)	0,065 (137)	0,077 (163)	0,076 (161)

Fonte: EPA (2016)

A tabela 3 mostra que o padrão americano não foi violado, porém se comparado aos valores da OMS ou até mesmo brasileiros, os níveis estariam acima do desejado. Charlotte possui duas estações e ao todo a EPA monitora 214 dias por ano para ozônio, visto que ele apresenta maiores valores em dias de alta incidência solar.

4.5.3 EUROPA

No velho continente a European Environment Agency (EEA), ou Agência Europeia do Ambiente, é uma agência da União Europeia e a principal autoridade quando o assunto é qualidade do meio ambiente. Ela tem a finalidade de fornecer informação independente e consistente sobre o ambiente. É a principal fonte de comunicação ambiental do continente para o público em geral. E atualmente é composta por 33 países membros (EEA, 2016).

Em 2015 a EEA publicou seu mais recente relatório sobre a qualidade do ar na Europa, referente ao ano de 2013, compilando os dados dos poluentes monitorados. Os números foram analisados em relação aos padrões locais e aos recomendados pela OMS, que para o ozônio são 120 µg/m³ e 100 µg/m³ respectivamente para 8 horas médias. Esta agência divulga também relatório específico sobre o gás ozônio e sua ocorrência no verão europeu (EEA, 2015).

A figura 11 apresenta um mapa com as estações europeias de monitoramento de ozônio e seus respectivos valores. E visto que sua formação requer luz solar, é mostrado que as concentrações de O₃ vão se elevando à medida que se move do norte para o sul, tendo seus maiores valores registrados nos países mediterrâneos. Sua concentração aumenta com a altitude no primeiro quilômetro da troposfera, logo os índices mais elevados foram observados nas estações mais altas (EEA, 2015).

O mapa mostra a 93,2 por cento do máximo valor diário de 8 horas médias. Porém o valor alvo de ozônio na Europa é de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, não devendo ser excedido mais de 25 dias por ano em uma média de três anos. Assim na figura 10 os locais marcados com pontos vermelhos e vermelho-escuros a concentração de O_3 diária no 26º dia superou o limiar de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o que significa uma violação dos padrões europeus. Vendo pela ótica da OMS, o continente europeu ultrapassou por vários dias o valor-alvo, podendo trazer danos à população. Somente estações com mais de 75% de dados válidos foram incluídas no mapa.

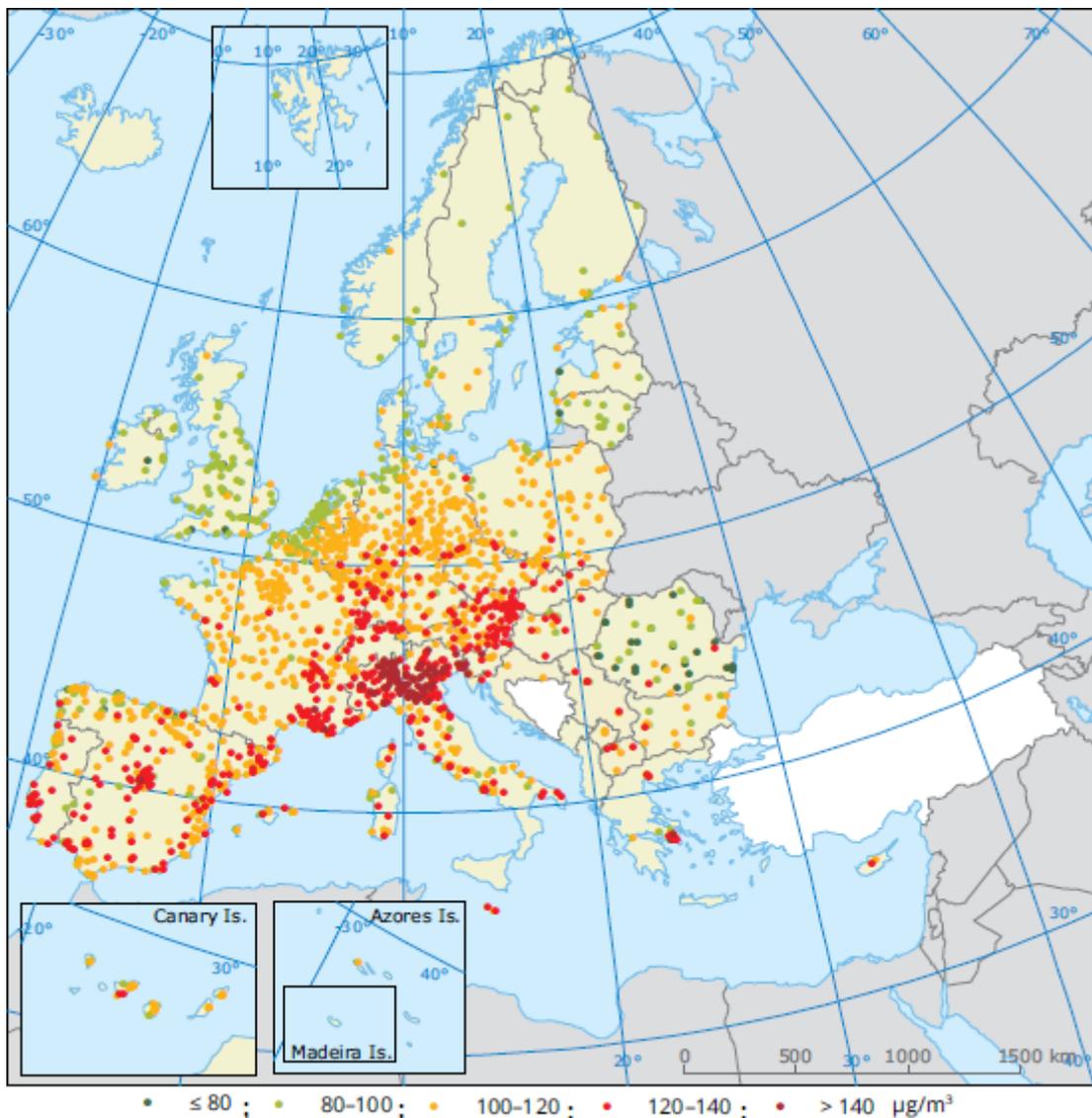


Figura 11 – Mapa da Europa com níveis de ozônio de 2013 em $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Fonte: EEA (2015)

4.5.4 MUNDO

Cada nação é responsável pelo monitoramento de seu ar. Porém em 2007 foi fundado em Pequim na China um projeto de empresa social chamado "World Air Quality Index", com a missão de promover a conscientização sobre a poluição do ar, e fornecer informação unificada da qualidade do ar em tempo real para todo o mundo através desses dois sites: aqicn.org e waqi.info (WAQI, 2016).

Atualmente o site de monitoramento em tempo real avalia mais de 70 países, com a ajuda de cerca de 250 agências ambientais ao redor de todo mundo. Existem mais de 20.000 estações ao longo do globo, porém apenas cerca de 11.000 estão publicadas no projeto World Air Quality Index. No Brasil apenas a CETESB (estado de São Paulo) colabora com o projeto (WAQI, 2016).

Para manter um padrão, todas as estações consideradas possuem pelo menos medição de material particulado ($MP_{2.5}/MP_{10}$). Porém além destes, o ozônio, NO_2 , SO_2 e CO também são publicados (apenas nas estações que quantificam estes poluentes). Os valores são convertidos e publicados no padrão da US EPA (WQAI, 2016). A figura 12 apresenta o mapa mundo e todas as estações disponíveis.



Figura 12 – Exemplo de imagem do Air Quality Index Project

Fonte: WAQI (2016)

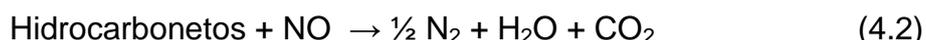
A figura 7 na seção 4.4 é um exemplo retirado da página do projeto e ilustra bem como é gerado o relatório instantâneo da qualidade do ar. A imagem mostra a cidade de Pequim às 06 horas do domingo dia 28/08/2016, assim como a evolução dos poluentes nas 48 horas anteriores.

4.6 TECNOLOGIAS PARA O CONTROLE DO OZÔNIO

Por ser um poluente secundário, que não é emitido por nenhuma fonte antropológica, a única maneira de combater o ozônio seria o retirando diretamente da atmosfera. Porém para seus precursores, dióxido de nitrogênio e os compostos orgânicos voláteis, existe atualmente tecnologia que amenize suas emissões. E algumas técnicas serão apresentadas a seguir.

4.6.1 DIÓXIDO DE NITROGÊNIO (NO₂)

Como descrito na seção 1.4, a maneira mais eficiente de se combater os óxidos de nitrogênio em larga escala é através das reações catalíticas. Todos os carros modernos movidos a combustíveis fósseis atualmente estão equipados com este dispositivo (RANGEL; CARVALHO, 2003). Eles consistem de uma peça com metais nobres localizada no sistema de escapamento. Entretanto existem catalisadores feitos para indústrias, que apesar de não serem muito utilizados no Brasil eles já são empregados há décadas no exterior.



Como o nitrogênio é o gás mais abundante na atmosfera com quase 80% de toda sua composição (tabela 1), os processos de queima de hidrocarbonetos acabam gerando os óxidos de nitrogênio. As reações 4.1 e 4.2 demonstram como o NO_x após catalisado se transforma em N₂ e CO₂ (RANGEL; CARVALHO, 2003).

Outra tecnologia empregada na remoção dos óxidos de nitrogênio nos sistemas de exaustão é a Redução Catalítica Seletiva que também é conhecida

como Selective Catalytic Reduction (SCR), e já vem sendo empregada a mais de 20 anos na Europa, Japão e EUA. A figura 13 mostra o funcionamento da redução catalítica seletiva para remoção de óxidos de nitrogênio.

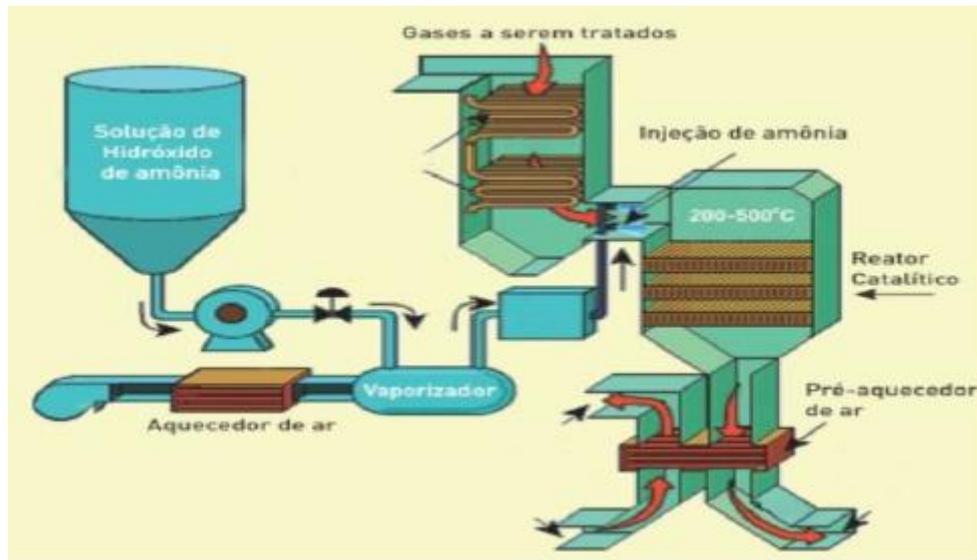


Figura 13 – Processo de Redução Catalítica Seletiva

Fonte: OLIVEIRA (2014)

Este processo é consequência da mistura do gás que contém NO_x com compostos de amônia (amônia gasosa ou hidróxido de amônia). Desta forma, os óxidos de nitrogênio são reduzidos a moléculas de N_2 e água. E não gerando CO_2 como nas reações automotoras.

Com uma eficiência superior a 90% em sua faixa de temperatura ótima que vai de 200°C a 500°C (OLIVEIRA, 2014). Sua empregabilidade poderia ser muito aproveitada em indústrias das mais variadas, como na siderurgia por exemplo.

4.6.2 COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS (COVs)

Atualmente existem algumas estratégias para diminuir ou até mesmo eliminar o lançamento de COV para a atmosfera. A maneira mais simples e menos correta é a combustão dos vapores emitidos por incineração, queima no flare ou oxidação catalítica. Métodos estes que eliminam a possibilidade de recuperação do produto e

o calor de sua combustão acaba não sendo economicamente aproveitável. Logo eles são mais adequados para emissões com baixa concentração de vapores (ASSUNÇÃO, 2003).

Existem ainda maneiras mais ambientalmente corretas de se reduzir as emissões de COV, fazendo uso de tecnologias de recuperação de vapores orgânicos, entre elas: adsorção em carvão ativado, absorção, separação por membrana seletiva, condensação e biofiltração (RIZZOLO, 2010).

4.6.2.1 ADSORÇÃO

No processo de adsorção as moléculas de hidrocarbonetos são aderidas fisicamente aos poros ativados da superfície de um sólido, como o carvão ativado por exemplo. Esta técnica tem alta seletividade na absorção de butano e compostos mais pesados. Com este procedimento é possível obter uma eficiência de recuperação de aproximadamente 99%. Como o carbono possui uma capacidade limitada de adsorção, é necessário para um processo contínuo, a instalação de no mínimo dois leitos contendo carvão ativado, alternando entre adsorção e regeneração (ASSUNÇÃO, 2003).

A regeneração ou dessorção deste carvão ativado é geralmente feita utilizando-se uma corrente aquecida de vapor d'água ou então fazendo vácuo no sistema, de maneira tal que o processo de adsorção seja revertido. O método para regeneração mais utilizado em estações de adsorção é a utilização de bombas a vácuo e/ou sopradores, uma vez que se torna muito custoso a instalação de um sistema para geração de vapor. A corrente de gás gerada no processo de dessorção, agora carregada com os compostos orgânicos a serem tratados, é soprada para um condensador que recupera os poluentes. No caso de se utilizar corrente de vapor, se o composto não for solúvel em água, a corrente líquida do condensado pode ser decantada, obtendo-se então um fluxo relativamente puro de fluido orgânico. Entretanto, se o poluente for solúvel em água, a corrente líquida deve ser destilada para se obter um líquido orgânico (ASSUNÇÃO, 2003). O quadro 2 apresenta algumas vantagens e desvantagens do sistema de adsorção.

Quadro 2 – Vantagens e desvantagens da adsorção

Vantagens	Desvantagens
Alta eficiência na adsorção de um amplo número de compostos	Problemas de corrosão com alguns solventes orgânicos. (ex.: cetonas e compostos halogenados)
Alta eficiência para uma ampla faixa de concentrações	Requer tratamento de água residual.
Usualmente não há formação de compostos adicionais	Necessidade constante de regeneração do carvão ativado, devido a sua capacidade de adsorção limitada.

Fonte: ASSUNÇÃO (2003)

4.6.2.2 ABSORÇÃO

No processo de absorção as moléculas de COVs contidos na corrente gasosa são dissolvidas, por transferência de massa, em um fluxo contendo um solvente líquido resfriado. A forma motriz para esta transferência de massa é a diferença entre a pressão parcial do poluente na corrente de gás e a pressão de vapor (ou solubilidade) deste mesmo poluente na corrente líquida. Ou seja, quanto maior a pressão parcial do poluente emitido e quanto menor a pressão de vapor deste poluente na corrente líquida, maior será a eficiência de absorção, e conseqüentemente de recuperação. A eficiência gerada neste tipo de processo, por exemplo, para recuperar o butano é da ordem de 96%, dependendo das propriedades de absorção do líquido que será utilizado (ASSUNÇÃO, 2003).

Apesar de ter seu uso consolidado na indústria, a tecnologia de absorção possui alguns aspectos negativos:

- É mecanicamente complexa, necessitando intensa manutenção;
- Não é apropriada para tratar correntes de vapor com uma grande gama de compostos orgânicos em sua composição, pois é improvável encontrar um solvente líquido que absorva de forma eficiente diferentes substâncias, ou seja, seria um processo de baixa eficiência;
- Requer um tempo substancial para a partida antes de estar disponível para operação.

4.6.2.3 SEPARAÇÃO POR MEMBRANA

Nesta técnica os compostos orgânicos são separados da corrente gasosa passando por um filtro de membrana semi-permeável de superfície vítrea ou feita com um polímero especial. A força motriz para separação é devido a um gradiente de pressão estabelecido através da membrana. Ela por sua vez é projetada para permitir que as moléculas de ar ou do poluente passem preferencialmente, resultando em uma corrente mais concentrada do poluente em um dos lados da membrana (HUNTER e OYAMA, 2000 apud ASSUNÇÃO, 2003).

Os sistemas de membranas são muito apropriados para processos de operação contínua, também podendo ser utilizados com uma larga variação na concentração e na vazão da corrente de entrada (RIZZOLO, 2010).

Com este processo, facilmente se obtém uma eficiência de recuperação próxima de 99% para vapores de gasolina emitidos nas operações de carga e descarga de caminhões, e outras estações. Porém o sistema de separação por membrana possui altos custos energéticos, uma vez que requer a instalação de compressor de alta potência, com o objetivo de se maximizar a diferença de pressão através do filtro de membrana (CONCAWE, 2002 apud ASSUNÇÃO, 2003).

4.6.2.4 CONDENSAÇÃO

A condensação é uma técnica que promove a liquefação de contaminantes condensáveis através do resfriamento da corrente gasosa em baixas temperaturas. O processo de resfriamento pode ocorrer em duas etapas: inicialmente na Unidade de Refrigeração Mecânica, onde os compostos voláteis são parcialmente condensados, e na sequência vem a Unidade de Nitrogênio Líquido, onde o processo de condensação é concluído. Pelo topo da segunda Unidade sai o nitrogênio da forma de gás e ar. A eficiência na recuperação da primeira etapa, de refrigeração mecânica, é na faixa de 80-90%. Para se ter uma eficiência superior a 90%, é necessário haver a segunda etapa do processo, em que é utilizado um fluido de refrigeração como o nitrogênio líquido. Pelo fundo da Unidade sai o produto

fluido recuperado, que é enviado ao tanque de mistura e depois para o tanque de armazenamento do terminal (SOUZA, 2004).

A tecnologia de condensação, apesar de ser amplamente utilizado, também possui desvantagens (CONCAWE, 2002):

- O degelo deve ser feito regularmente, e este procedimento operacional produz uma corrente de água contaminada com orgânicos;
- Assim como a absorção esta tecnologia é mecanicamente complexa e necessita de intensa manutenção;
- Devido às baixas temperaturas operacionais, esta tecnologia é pouco eficiente energeticamente, e possui alto custo de operação.

4.6.2.5 COMPARAÇÃO ENTRE AS TECNOLOGIAS

Dentre as técnicas aqui apresentadas, a adsorção é reconhecida como uma dos métodos de maior eficiência no combate aos Compostos Orgânicos Voláteis, chegando a 99% em alguns casos. Outra vantagem é que os hidrocarbonetos recuperados podem ser reutilizados. Entretanto, nem todo COV é adequado para adsorção e, além disto, uma fonte de vapor ou calor deve estar disponível para o sistema regenerativo do carvão ativado. E sistemas não-regenerativos resultam em adicional geração de resíduo sólido, o que não é recomendado (HUNTER e OYAMA, 2000 apud ASSUNÇÃO, 2003).

A separação por membrana também tem alta eficiência (99% na recuperação de vapores de gasolina), porém é uma tecnologia em evolução e ainda carece de mais detalhes, com o objetivo de se determinar a sua capacidade de adaptação em diferentes situações operacionais (CONCAWE, 2002 apud ASSUNÇÃO, 2003).

Comparando-se os custos de um sistema de separação por membrana com os custos de um sistema de adsorção por carbono ativado, eles se tornam bastante competitivos quando a concentração de COVs no fluxo gasoso é em torno de 1000ppm (HUNTER e OYAMA, 2000). Além disso, o processo de separação por membrana é aplicável em situações em que a adsorção não for apropriada, por exemplo, quando polimerizam na superfície do carbono ativado ou quando os compostos possuem alto peso molecular (ASSUNÇÃO, 2003).

Em 1989 um estudo realizado pela empresa japonesa NKK, mostrou que o processo de separação por membrana, quando comparado a adsorção, possui um custo menor de equipamentos e requer uma área 20-30% menor, além de mais fácil instalação.

De fato não existe uma tecnologia mais apropriada de maneira geral. A estratégia para a recuperação e possível reuso de COVs é uma escolha que deve levar em consideração o tipo de hidrocarboneto gerado e às características da indústria, desta forma se obteria o maior aproveitamento possível na redução da emissão desses gases.

4.6.3 AMBIENTE INTERNO

Um ambiente que aparenta segurança quando o assunto é a poluição atmosférica, é o âmbito interno das construções, como casas e prédios. Porém de acordo com uma avaliação da OMS em 2014, no sudeste asiático e pacífico ocidental em 2012, 5.9 milhões de mortes foram atribuídas a complicações causadas pela poluição do ar, sendo deste total 3.3 milhões associadas a poluição interna contra 2.6 milhões de mortes do ambiente externo. Mostrando que a poluição interna é tão perigosa ou até mais que a externa.

Possivelmente uma das primeiras organizações a pensar em qualidade do ar em ambientes confinados foi a Agência Espacial Americana, a NASA, no ano de 1973. Foram identificados como os principais poluentes internos, os Compostos Orgânicos Voláteis. Com mais de trezentos tipos destes gases nas câmaras de testes (NASA, 1989).

Esses testes iniciais buscavam obter oxigênio para câmaras fechadas a fim de possibilitar uma maior durabilidade das missões espaciais. Para isso foram postas plantas nas cápsulas, e após nova análise foi observado que os COVs foram reduzidos de maneira acintosa. Fato este que poderia abrir uma nova linha de pesquisa, a redução dos Compostos Orgânicos Voláteis através da Biofiltração (NASA, 1989).

A NASA em 1989 apresentou um relatório demonstrando a eficácia de certos tipos de plantas no abatimento de poluentes internos. Mais de 30 espécies de

plantas foram utilizadas no experimento, e todas elas foram capazes de remover poluentes do ambiente nos testes controlados. Com destaque para a *chamaedorea seifrizii* (conhecida no Brasil como Palmeira-bambu), *chrysanthemum morifolium* (crisântemo) e a *gerbera jamesonii* (gérbera), que foram as três com os melhores resultados dentre todas.

Em experiência semelhante realizada por Decoteau (*et. al*, 2009), foi demonstrado que as plantas também poderiam ser eficazes na redução das concentrações de ozônio em ambiente interno simulado. A *sansevieria trifasciata* (espada-de-são-jorge), *chlorophytum comosum* (clorofito) e a *epipremnum aureum* (jibóia), foram capazes de reduzir a níveis próximos de zero uma câmara com cerca de 200 ppb (partícula por bilhão) de ozônio em menos de 120 minutos.

Esses testes mostram que possuir plantas é uma maneira limpa e de baixo custo de se obter uma melhor qualidade do ar interno, já é muito utilizada (mesmo que por acaso). Além de belas e decorativas as plantas também são a melhor alternativa para se filtrar o ar em larga escala, com grande destaque na redução do ozônio troposférico e um de seus principais precursores (COVs).

4.7 O QUE VOLTA REDONDA TEM FEITO

O tema poluição do ar sempre foi um assunto muito controverso em Volta Redonda. A razão da polêmica se deve à sua maior poluidora (CSN) ser uma empresa de porte nacional, geradora de milhares de empregos e renda para o município. Uma grande parte da população aceita passivamente estes males por diversas razões, como a falta de informação ou simplesmente por seu emprego/ganho estar diretamente ligado a esta gigante siderúrgica.

Após audiência pública realizada em maio de 2015, com a finalidade de se debater a qualidade do ar no município de Volta Redonda, foi apresentado na câmara de vereadores um projeto de Lei com a proposta de maior transparência dos dados medidos atualmente nas doze estações existentes na cidade, três fixas nos bairros Belmonte, Retiro e Vila Santa Cecília, mais duas móveis de propriedade do INEA. Além destas outras sete móveis pertencentes a CSN (DIÁRIO DO VALE, 2015).

Um das ideias centrais quando o projeto de Lei foi apresentado na câmara, era a instalação de mais três painéis semelhantes ao único existente no município, que fica na Vila Santa Cecília ao lado do antigo escritório central da CSN, exibindo a qualidade do ar em tempo real. As informações destes painéis são provenientes das três estações fixas. Além disso, o projeto previa a realização de novas audiências públicas a cada três meses para se discutir os resultados monitorados. Contaria também com a participação da secretaria municipal de meio ambiente, que possui duas estações móveis (DIÁRIO DO VALE, 2015).

Em 21 de setembro de 2015 o projeto se tornou a Lei Municipal nº 5.174 definindo parâmetros para o índice de qualidade do ar em Volta Redonda. Que em seu artigo 2º estabelece como referência os padrões estabelecidos pela OMS em comunhão também com legislação federal e estadual, seguindo os que forem mais rigorosos, buscando assim aqueles que venham proteger ao máximo a saúde das pessoas, em virtude de danos causados pelos agentes poluentes presentes na atmosfera (VOLTA REDONDA, 2015).

No artigo 3º da mesma lei descreveu os agentes poluentes, sendo os mesmos elementos estabelecidos pela OMS como principais contaminantes: Monóxido de carbono (CO), Dióxido de enxofre (SO₂), Dióxido de Nitrogênio (NO₂), Ozônio (O₃), Material particulado (MP₁₀ e MP_{2,5}), além das Partículas totais em suspensão (PTS) e do Composto Orgânico Volátil Benzeno (C₆H₆). Ou seja, a Lei Municipal nº 5.174 estabelece um controle mais amplo que a Organização Mundial da Saúde e o Conselho Nacional do Meio Ambiente (VOLTA REDONDA, 2015).

Ainda segundo esta Lei, compete a CSN a responsabilidade pela instalação e manutenção a Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia – RMQAM, competindo ao Poder Executivo Estadual, através de seus órgãos competentes, a responsabilidade pelo monitoramento, conforme manda a Resolução nº 03 de 28 de julho de 1990 do CONAMA. O Poder Executivo Municipal tem o prazo máximo de 180 (cento e oitenta) dias após a aprovação da Lei para apresentar a CSN os locais dos quatro painéis eletrônicos. De posse dos locais a Companhia Siderúrgica Nacional também terá o prazo máximo de 180 (cento e oitenta) dias para fazer a instalação bem como a adaptação aos padrões estabelecidos na RMQAM (VOLTA REDONDA, 2015).

Entretanto até a presente data, os prazos já se esgotaram e os painéis não estão instalados. Um dos motivos para esse acontecimento é o fato de a prefeitura

de Volta Redonda ter questionado na justiça a lei aprovada pela Câmara Municipal. Porém os desembargadores que julgaram a ação no Tribunal de Justiça do Rio de Janeiro (TJ-RJ) negaram o pedido da prefeitura, sob a justificativa de que a instalação dos painéis é de interesse público. Após isso a prefeitura decidiu não recorrer e prometeu encaminhar a CSN em um curto prazo os locais para a instalação dos painéis (GLOBO.COM, 2016).

5 CONCLUSÕES

Após a realização deste trabalho pode-se concluir que o objetivo específico que analisa a qualidade do ar em Volta Redonda foi atingido na medida do possível (para o gás ozônio e seus precursores), apesar de o estado disponibilizar apenas um relatório anual com uma quantidade pouco suficiente de dados. Números estes que obedecem à legislação Federal, e que estão seguindo padrões altamente defasados do ponto de vista internacional.

Apesar na inércia do Governo Federal existem casos como o do estado de São Paulo em que possui legislação própria e segue padrões mais atuais no monitoramento da qualidade do ar. Iniciativas como esta faz do estado mais populoso do Brasil o único a fazer parte do *The World Air Quality Index Project*.

O objetivo de apresentar o gás ozônio, sua formação tanto na estratosfera como na troposfera foi realizado, de maneira a mostrar que apesar de ser um poluente quando em contato com seres vivos, este gás quando está na troposfera serve como filtro natural de radiação UV-B, se tornando vital para a vida na Terra. Também é usado medicinalmente como, por exemplo, no processo de cicatrização de feridas cutâneas.

A poluição causada pelo ozônio em Volta Redonda foi demonstrada de maneira superficial devido à baixa oferta de informação, como citado no primeiro parágrafo. Porém com a aprovação da Lei Municipal nº 5.174, que estabelece maior transparência e novos padrões para o monitoramento do gás na cidade, indica que futuramente novos trabalhos mais aprofundados no tema poderão ser elaborados.

Como proposto no objetivo, à concentração e dispersão do ozônio foram abordadas na medida do possível, pois dependem de fatores como a velocidade e

direção do vento e da quantidade de precursores no ar. Mas a relação da formação de ozônio com a radiação solar em dias mais quentes pode ser observada em exemplo do WAQI.

Considerações e sugestões para os problemas apresentados, como a instalação, monitoramento e manutenção de redutores catalíticos em veículos e indústrias, são desafios nacionais e não apenas municipais. Mas soluções individuais, como as plantas purificadoras de ar, podem ser realizadas por todos. Entretanto, ter um transporte público mais eficiente, incentivando uma redução do tráfego na cidade e ações ambientais junto à sua indústria mais poluidora, poderia atenuar este problema invisível que tanto prejudica a vida das pessoas.

6 REFERÊNCIAS

ALVIM, D. S. *et al.* **Estudos dos compostos orgânicos voláteis precursores de ozônio na cidade de São Paulo.** *Eng. Sanit. Ambient.*, Rio de Janeiro , v. 16, n. 2, p. 189-196, June 2011.

APA. Agência Portuguesa do Ambiente. **Qualidade do Ar em Espaços Interiores – Um Guia Técnico.** Lisboa, 2010. Disponível em: <http://www.cienciaviva.pt/img/upload/Manual_QAI_APA_Maio2010.pdf>. Acessado em 20 de Abril de 2015.

ASSUNÇÃO, R. S. **Avaliação das emissões de compostos orgânicos voláteis (VOCs) em operações de carga e descarga de derivados líquidos de petróleo.** 2003. 33f. Monografia (Especialização)–Escola Politécnica, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

ATKINSON, R. **Atmospheric chemistry of VOCs and NO_x.** *Atmospheric environment*, v. 34, n. 12, p. 2063-2101, 2000.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os Trópicos;** Tradução de Maria Juraci Zani dos Santos. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

BAENA, A. H. **Conversor para Pulsos Elétricos de Alta Tensão, de curta duração, para Processos de Geração de Ozônio.** Dissertação (Mestrado), Faculdade de engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 138 p, 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. Departamento de Mudanças Climáticas. Gerência de Qualidade do Ar. **1º Inventário Nacional de emissões Atmosféricas por veículos Automotores Rodoviários,** 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar>>. Acessado em 10 de Abril de 2014.

CAVANCANTI, P. P. S., **Gestão Ambiental na Indústria Siderúrgica – Aspectos Relacionados às Emissões Atmosféricas**. Rio de Janeiro, UFRJ, 2012. 54 p.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de qualidade do ar do estado de São Paulo 2007 / CETESB**. São Paulo: CETESB, 2008.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de qualidade do ar do estado de São Paulo 2012 / CETESB**. São Paulo: CETESB, 2013.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado do Rio de Janeiro. **Relatório de qualidade do ar do estado de São Paulo 2015 / CETESB**. São Paulo: CETESB, 2016.

CLIMATEMPO, Climatologia. **Volta Redonda – RJ**. Disponível em <<http://www.climatempo.com.br/climatologia/332/voltaredonda-rj>>. Acessado em 29/08/2016.

COIMBRA, J. D. A. **O Outro Lado do Meio Ambiente**. São Paulo. Ctesb/Ascetesb, 1985.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 5 de 15 de junho de 1989**. Institui o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 3, de 28 de junho de 1990**. Complementa a Resolução no 5/89. Estabelece padrões nacionais de qualidade do ar determinando as concentrações de poluentes atmosféricos.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 7, de 31 de agosto de 1993**: estabelece padrões de limite de emissão de gases poluentes por veículos automotores.

CONCAWE. **VOC emissions from loading gasoline onto sea-going tankers in EU-15: control technology and cost-effectiveness**. *Report N° 6/02*. Brussels, 2002. Disponível em: <<http://concawe.be>> Acessado em 20/09/2016

DECOTEAU, D. R. *et al.* **Effectiveness of Houseplants in Reducing the Indoor Air Pollutant Ozone.** *HortTechnology*, Alexandria, v. 19, n. 2, p. 286-290, abr./jul. 2009.

DIÁRIO DO VALE. **Projeto exige melhor divulgação de índices de qualidade do ar em Volta Redonda**, 2015. Disponível em:

<<http://diariodovale.com.br/politica/projeto-exige-melhor-divulgacao-de-indices-de-qualidade-do-ar-em-volta-redonda/>>. Acessado em 25/09/2016.

DIAS, A. A. C.; ANDRADE NETO, A. V. ou Antonio V. de Andrade Neto ; MILTÃO, M. S. R. . **A Atmosfera Terrestre: Composição e Estrutura.** *Caderno de Física da UEFS*, v. 06, p. 21-40, 2007.

DIAS, G. F. **Educação Ambiental, Princípios e Práticas.** São Paulo: Gaia, 1993.

DUMLER, K. *et al.* **The effects of ozone exposure on lactate dehydrogenase release from human and primate respiratory epithelial cells.** *Toxicology Letters*, Shannon, v. 70, n. 2, p. 203-209. 1994.

DUTRA, E. G.; FIORAVANTE, E. F.; FERREIRA, F. D. **Emissão Veicular e o Ozônio Troposférico na Região Metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.** *9º Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica*, 2009. Las Palmas de Gran Canaria, Espanha, 2009.

EEA. European Environment Agency. **Air Quality in Europe – 2015 Report.** Copenhagen, Dinamarca, 64p, 2015.

EEA. European Environment Agency. **Who we are**, 11/08/2016. Disponível em: <<http://www.eea.europa.eu/about-us/who>>. Acessado: 10/09/2016.

EPA. United States Environmental Protection Agency. **About Reports**, 23/02/2016. Disponível em: https://www3.epa.gov/airdata/ad_about_reports.html Acessado em: 04/09/2016.

FARIA, Sérgio Fraga Santos. **Fragments da História dos Transportes.** Aduaneiras. São Paulo, 2001.

FARIAS, T. **Introdução ao direito ambiental.** Belo Horizonte: Del Rey, v. 253, p. B0361, 2009.

FEEMA. Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente . **Qualidade do Ar em Volta Redonda – Relatório de resultados obtidos através de duas campanhas expeditas de monitoramento realizadas em dez/95 a mai/96 e em abr/99 a mai/99.** Rio de Janeiro: Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente, 1999.

FEEMA. Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente. **Relatório Anual de Qualidade do AR – 2007.** Rio de Janeiro: Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente, 2007.

GARCIA, L. F. A. *et al.* **Measurements of emissions from motorcycles and modeling its impact on air quality.** *J. Braz. Chem. Soc.*, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 375-384, Mar. 2013.

GIODA, A. *et, al.* **Diagnóstico da qualidade do ar em Volta Redonda-RJ a partir das análises do teor de BTX.** In: *XI Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 2000, Rio de Janeiro. Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2000. v. 1. p. 2843-2848.

GLOBO.COM. **CSN terá que instalar medidores de qualidade do ar em Volta Redonda, RJ**, 2016. Disponível: <<http://g1.globo.com/rj/sul-do-rio-costa-verde/noticia/2016/06/csn-tera-que-instalar-medidores-de-qualidade-do-ar-em-volta-redonda-rj.html>>. Acessado em: 25/09/2016.

GODISH, T. **Air quality.** 2. ed. Chelsea, Lewis, 1991.

GODOY, S. G. M., PAMPLOMA, J. B., **O Protocolo de Kyoto e os países em desenvolvimento.** *Pesquisa & Debate*, São Paulo, v.18, n.2(32), p.329-353, 2007.

HAY, W. W. **An Introduction to Transportation Engineering**. USA: *John Wiley&Sons*, 1977.

HUNTER, P.; OYAMA, S. T. **Control of Volatile Organic Compound Emissions**. New York - N.Y., 2000. 279p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades - Cubatão** [online], 2016. Disponível em: <http://cod.ibge.gov.br/DX9>. Acessado em 03/09/2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades - Sorocaba** [online], 2016. Disponível em: <http://cod.ibge.gov.br/M4Q>. Acessado em 03/09/2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades - Volta Redonda** [online], 2016. Disponível em: <http://cod.ibge.gov.br/7H6>. Acessado em 03/07/2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Relatório piloto com aplicação da metodologia IPPS ao Estado do Rio de Janeiro: uma estimativa do potencial de poluição industrial do ar**. Rio de Janeiro: IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2008.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. **Relatório Anual de Qualidade do AR - 2008**. Rio de Janeiro: Instituto Estadual do Ambiente, 2008.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. **Relatório Anual da Qualidade do AR do Estado do Rio de Janeiro - 2009**. Rio de Janeiro: Instituto Estadual do Ambiente, 2009.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. **Relatório Anual de Qualidade do AR do Estado do Rio de Janeiro – Ano base 2010 e 2011**. Rio de Janeiro: Instituto Estadual do Ambiente, 2013.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. **Relatório Anual de Qualidade do AR do estado do Rio de Janeiro – Ano base 2012**. Rio de Janeiro: Instituto Estadual do Ambiente, 2015.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. **Relatório Anual de Qualidade do AR do estado do Rio de Janeiro – Ano base 2013**. Rio de Janeiro: Instituto Estadual do Ambiente, 2015.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. **Relatório Anual de Qualidade do AR do estado do Rio de Janeiro – Ano base 2014**. Rio de Janeiro: Instituto Estadual do Ambiente, 2015.

JENKIN, M. E.; CLEMITSHAW, K. C. **Ozone and other secondary photochemical pollutants: chemical processes governing their formation in the planetary boundary layer**. *Atmospheric Environment*, v. 34, n. 16, p. 2499-2527, 2000.

JOLLIVET, M.; PAVÉ, A. O meio ambiente: questões e perspectivas para a pesquisa. In: VIEIRA, P. F.; WEBER, J. (Orgs.). **Gestão de recursos naturais renováveis e desenvolvimento: novos desafios para a pesquisa ambiental**. São Paulo: Cortez, 1997.

KANDEL, R. **O reaquecimento climático**. São Paulo: Editora Loyola, 2007.

KATOH, M. *et al.* **Hydrocarbon vapor recovery with membrane technology**. *NKK Tech. Rev*, v. 56, 1989.

KELESOGLU, C. T. F. **A influência do tráfego urbano na qualidade do ar no Rio de Janeiro – O caso do Ozônio Troposférico** [Rio de Janeiro] 2008 XIV, 163 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia de Transportes, 2008) Dissertação - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

MARTINS, C. R. *et al.* **Ciclos globais de carbono, nitrogênio e enxofre: a importância na química da atmosfera**. *Cadernos Temáticos de química nova NA ESCOLA*, São Paulo, nº 5, p. 28-41, nov. 2003.

MARTINS, L. D. **Sensibilidade da formação do ozônio troposférico às emissões veiculares na Região Metropolitana de São Paulo.** São Paulo 2006. p. 219. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.

MELLO, R. **Alternativas para o Posicionamento Estratégico das Empresas de Transporte Rodoviário de Cargas (Etc) sob uma Abordagem Logística.** Universidade Federal de Santa Catarina. Dissertação de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis, 2001.

MOHAMED G, M. **Biochemical basis of ozone toxicity.** *Free Radical Biology and Medicine, Philadelphia*, v. 9, n. 3, p. 245-265, 1990.

MORDECAI B. R. **The history of ozone. Iv. The isolation of pure ozone and determination of its physical properties.** *Bulletin for the History of Chemistry*, Washington, v. 29, n. 2, p. 99-106, 2004.

MOZETO, A. A. **Química atmosférica: a química sobre nossas cabeças.** *Cadernos Temáticos de química nova NA ESCOLA*, São Paulo, nº 1, p. 41-49, maio 2001.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. **Know Your Earth**, 2011. Disponível em: <<http://www.nasa.gov/topics/earth/features/KnowYourEarth/Air.html>>. Acessado em 20 de fevereiro de 2015

NASA. National Aeronautics and Space Administration. Science and Technology Laboratory. **Interior Landscape Plants for Indoor Air Pollution Abatement.** *Hancock*. p. 30, 1989.

NEVES, E.; TOSTES, A. **Meio ambiente: A Lei em suas mãos.** Petrópolis: Vozes, 1992.

OLIVEIRA, A. A. B. **Inventário das emissões atmosféricas na indústria siderúrgica**. 2014. 85p – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2014.

OLIVEIRA, L. L. D.; VIANELLO, R. L.; FERREIRA, N. J. **Meteorologia fundamental**. Erechim/RS: EdIFAPES, 2001.

PEDROSO, A. N. V.; ALVES, E. S. **Anatomia foliar comparativa das cultivares de *Nicotiana tabacum* L. (Solanaceae) sensível e tolerante ao ozônio**. *Acta Botanica Brasilica*, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 21-28, Mar. 2008.

RANGEL, M. D. C.; CARVALHO, M. F. A. **Impacto dos catalisadores automotivos no controle da qualidade do ar**. *Quim. Nova*, Vol. 26, No. 2, 265-277, 2003.

REIS, M. M. D. **Poluição atmosférica e efeitos adversos na gravidez em um município industrializado no estado do Rio de Janeiro**. Tese (doutorado) – Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo. Departamento de Patologia. São Paulo 2009.

RIZZOLO, J. A. **Biofiltração de vapores de gasolina com diferentes concentrações de etanol - Uma abordagem da realidade brasileira frente à grande demanda de carros flexfuel**. 2010. 123p. Dissertação (Mestrado) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2010.

SÁ, H.P. *et al.* **Estudo comparativo da ação do laser GaAlInP e do gerador de alta frequência no tratamento de feridas cutâneas em ratos: estudo experimental**. *ConScientiae Saúde*, São Paulo, v. 9, n. 03, p.360-366, 2010.

SANTIAGO, A. **Material particulado total suspenso na baixa atmosfera em Cuiabá-MT no período de queimadas**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 97 p, 2013.

SILVA JUNIOR, R. S. *et al.* **Validação de poluentes fotoquímicos e inclusão do inventário de emissões no modelo de qualidade do ar WRF/CHEM, para a região metropolitana de São Paulo.** *Rev. bras. meteorol.*, São Paulo , v. 28, n. 1, p. 105-121, mar. 2013 .

SILVA, P. P. de L. *et al.* **Dicionário Brasileiro de Ciências Ambientais.** Rio de Janeiro: Thex, 1999.

SOUZA, A. M. **Estudo de emissões de vapores orgânicos no carregamento de gasolina em caminhões tanque.** Dissertação (Curso de Mestrado do Programa de Pós – Graduação em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

TOMASONI, M. A. **Mudanças globais: a problemática do ozônio e algumas de suas implicações.** *GeoTextos*, Salvador-BA, vol. 7, n. 2, 141-178, dez. 2011.

UEMOTO, K. L.; AGOPYAN, V., 2006, **Compostos Orgânicos Voláteis de Tintas Imobiliárias;** *Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC)*, ISBN: Português, Vários. <http://www.antac.org.br>. ANTAC - 23 a 25 de agosto.

VASCONCELOS, E. A. D. **Transporte e meio ambiente: conceitos e informações para análise de impactos.** São Paulo: Annablume Editora, 2006.

VESENTINI, J. Willian. **A geografia do mundo industrializado.** Vol. único.

VIEIRA, O. D. L.; LIMA, E. A. P. **Produto da Relação Homem e Natureza. O ambiente comparado.** *Revista da Católica*, Uberlândia, v. 4 n. 7, 2012.

VOLTA REDONDA. Lei n. 5.174, de 21 de setembro de 2015. **Define parâmetros para o índice de qualidade do ar do município de Volta Redonda.** Volta Redonda em destaque, Volta Redonda, n. 1268, p. 22, 24 de setembro de 2015.

VORMITTAG, E. M. P. A. A. *et al.* **Avaliação do Impacto da Poluição Atmosférica no Estado do Rio de Janeiro sob a visão da saúde.** São Paulo: Instituto Saúde e

Sustentabilidade, 2014b. Disponível em: <<http://goo.gl/oQ9Yrs>>. Acesso em: 26 jul. 2015.

VORMITTAG, E. M. P. A. A. *et al.* **Avaliação do impacto da poluição atmosférica no Estado de São Paulo sob a visão da saúde.** São Paulo: Instituto Saúde e Sustentabilidade, 2013. Disponível em: <<http://goo.gl/oQ9Yrs>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

VORMITTAG, E. M. P. A. A. *et al.* **Monitoramento da qualidade do ar no Brasil.** São Paulo: Instituto Saúde e Sustentabilidade, 2014a. Disponível em: <<http://goo.gl/oQ9Yrs>>. Acesso em: 25 jul. 2015.

WHO. World Health Organization. **Air quality guidelines for Europe.** Copenhagen, WHO, 1987.

WHO. World Health Organization. **Air Quality Guidelines - Global Update 2005.** Copenhagen: WHO, 2006. Disponível em: <<http://goo.gl/XQRNLZ>>. Acessado em: 10 nov. 2014.

WHO. World Health Organization. **News realease**, 2014. Disponível em: <<http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/>>. Acessado em: 25/09/2016.

WAQI. World Air Quality Index. **Contacting the World Air Quality Index team**, 2016. Disponível em : <<http://aqicn.org/contact/>>. Acessado em: 12/09/2016.