



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

**DIAGNÓSTICO DE EMISSÕES VEICULARES NO CAMPUS DO
CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES**

Diane Cristina Sordi

Lajeado, Junho de 2012

Diane Cristina Sordi

**DIAGNÓSTICO DE EMISSÕES VEICULARES NO CAMPUS DO
CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Ambiental do Centro Universitário Univates, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Dra. Eniz Conceição Oliveira

Lajeado, Junho de 2012.

Diane Cristina Sordi

**DIAGNÓSTICO DE EMISSÕES VEICULARES NO CAMPUS DO
CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES**

A banca examinadora abaixo aprova o trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental:

Prof. Dra. Eniz Conceição Oliveira – Orientadora
Centro Universitário Univates

Prof. Ms. Everaldo Rigelo Ferreira
Centro Universitário Univates

Prof. Ms. Rafael Rodrigo Eckhardt
Centro Universitário Univates

Lajeado, 27 de junho de 2012

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente aos meus pais Augusto e Venilde por toda dedicação, amor, confiança e ensinamentos de vida que me transformaram numa pessoa de bem, e à minha irmã Débora pelo incentivo e companheirismo.

Ao meu namorado Tiago, pelo amor que me tem e por fazer parte dos meus planos mais bonitos de futuro.

À minha orientadora proessora Dra. Eniz Conceição Oliveira por me orientar no desenvolvimento deste trabalho e aos professores Rafael Rodrigo Eckhardt, Everaldo Rigelo Ferreira e Adriano Neunfeldt pelos conselhos e dicas de grande valia.

Ao Centro Universitário UNIVATES por ter proporcionado a aplicação do estudo apresentado neste trabalho.

Aos meus colegas de curso que se tornaram amigos e fizeram o fardo destes seis anos de graduação ser mais leve. Um agradecimento especial aos meus colegas e amigos Elis Pflingastag, Ana Paula Blau, Ronei Tiago Stein, Keitiane Lunardi, Andrieta Anater e Michele Schmitz, os quais se tornaram pessoas da minha família nestes anos de convivência, e que sempre farão parte das lembranças mais bonitas da minha graduação.

À minha colega e amiga Roberta Kurek pela atenção e colaboração no encaminhamento dos dados do Centro de Informações Hidrometeorológicas, que foram de suma importância para o desenvolvimento deste trabalho.

Não posso deixar de agradecer ao meu colega e amigo Guilherme Uhrig, que é um grande incentivador, parceiro nas rotinas do dia a dia e uma pessoa que acredita fielmente em mim e no meu potencial!

Aos meus amigos de sempre pelo apoio, às minhas amigas queridas pela força e por estarem sempre presentes mesmo na minha ausência (em especial à minha irmã de coração Vanessa Lardini, por ser tão especial em minha vida e me passar tanta confiança e carinho mesmo à distância).

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho,

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

O monitoramento da qualidade do ar é um processo de medição repetitiva, contínua e de observação sistemática e de fundamental importância para a preservação do meio ambiente. Os poluentes atmosféricos além de causar prejuízos ao meio ambiente causam inúmeros problemas à saúde humana, e por meio de legislações nacionais e estaduais são monitorados e controlados. Sabe-se que os principais poluentes são oriundos das emissões veiculares, e tendo em vista que em um campus universitário há intensa circulação de veículos, este trabalho propõe o monitoramento do ar atmosférico avaliando a presença dos seguintes compostos: oxigênio, monóxido de carbono, sulfeto de hidrogênio e compostos orgânicos voláteis, em quatro pontos no campus do Centro Universitário UNIVATES. Os resultados obtidos mostraram que a concentração de monóxido de carbono não ultrapassou os limites da Resolução 03/90 do CONAMA, porém, há a necessidade da tomada de medidas de controle para manter as concentrações de monóxido de carbono abaixo dos limites de tolerância e melhorar a qualidade do ar no campus.

Palavras-chave: Poluição atmosférica, emissões veiculares, monóxido de carbono

ABSTRACT

The monitoring of air quality measurement process is a repetitive, continuous and systematic observation and of fundamental importance for the preservation of the environment. Air pollutants also cause damage to the environment cause many problems to human health, and through national and state laws are monitored and controlled. It is known that the main pollutants are from vehicle emissions, and considering that on a college campus there is intense movement of vehicles, this paper proposes the monitoring of atmospheric air evaluating the presence of the following compounds: oxygen, carbon monoxide, sulfide hydrogen and volatile organic compounds at four points on the campus of the University Center UNIVATES. The results showed that the concentration of carbon monoxide did not exceed the limits of resolution 03/90 of CONAMA, however, there is a need for measures of control to maintain the concentration of carbon monoxide below the limits of tolerance and improve air quality on campus.

Keywords: Air pollution, vehicle emissions, carbon monoxide

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-------------|---|----|
| Figura 1 - | Camadas componentes da atmosfera..... | 18 |
| Figura 2 - | Esquemática do Ciclo Fotoquímico do Ozônio..... | 24 |
| Figura 3 - | Esquema do AGV – MP10..... | 34 |
| Figura 4 - | Diferentes meios de emissões veiculares..... | 39 |
| Figura 5 - | Imagem de satélite do campus do Centro Universitário UNIVATES, com os pontos de coleta assinalados em amarelo | 42 |
| Figura 6 - | Itens do equipamento Gas Alert Micro 5 – PID..... | 44 |
| Figura 7 - | Fotografia do equipamento utilizado para análise dos gases..... | 45 |
| Figura 8 - | Número de carros no Centro Universitário Univates..... | 46 |
| Figura 9 - | Número de motos no Centro Universitário Univates..... | 47 |
| Figura 10 - | Número de vans/ônibus no Centro Universitário Univates..... | 47 |
| Figura 11 - | Tráfego intenso de veículos no horário de pico da instituição..... | 48 |
| Figura 12 - | Gráfico comparativo total de veículos/dia x máx. concentração CO..... | 54 |
| Figura 13 - | Medidas de CO de segunda a sexta-feira nos diferentes pontos – 1ª semana | 55 |
| Figura 14 - | Medidas de CO de segunda a sexta-feira nos diferentes pontos – 2ª semana | 56 |
| Figura 15 - | Parâmetros analisados durante a 1ª semana..... | 57 |
| Figura 16 - | Parâmetros analisados durante a 2ª semana..... | 58 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 - Classificação dos poluentes secundários do ar..... | 20 |
| Quadro 2 - Principais fontes de poluição do ar e principais poluentes..... | 26 |
| Quadro 3 - Poluentes atmosféricos x danos à saúde..... | 27 |
| Quadro 4 - Vantagens e desvantagens dos equipamentos de medição da poluição do ar. | 33 |
| Quadro 5 - Pontos de coleta de dados e realização das avaliações..... | 42 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Composição da atmosfera seca..... | 17 |
| Tabela 2 - Padrões nacionais de qualidade do ar..... | 36 |
| Tabela 3 - Padrões de qualidade do ar..... | 37 |
| Tabela 4 - Comparativos entre padrões de qualidade FEPAM e CONAMA..... | 38 |
| Tabela 5 - Medidas realizadas em segundas-feiras..... | 49 |
| Tabela 6 - Medidas realizadas em terças-feiras..... | 50 |
| Tabela 7 - Medidas realizadas em quartas-feiras..... | 51 |
| Tabela 8 - Medidas realizadas em quintas-feiras..... | 52 |
| Tabela 9 - Medidas realizadas em sextas-feiras..... | 53 |

LISTA DE ABREVIATURAS

CFC - clorofluorcarbono

CIH – Centro de Informações Hidrometeorológicas

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler

IES - Instituições de Ensino Superior

HC – Hidrocarbonetos

MMA - Ministério do Meio Ambiente

NO_x – Óxidos de nitrogênio

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

ONU - Organização das Nações Unidas

PI – Partículas Inaláveis

PQAr – Padrões de Qualidade do Ar

PTS - Partículas totais em suspensão

PNMA - Programa Nacional do Meio Ambiente

SISNAMA - Sistema Nacional de Meio Ambient

SUMÁRIO

| | | |
|---------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 2 | OBJETIVOS..... | 14 |
| 2.1 | Objetivos gerais..... | 14 |
| 2.2 | Objetivos específicos..... | 14 |
| 3 | REVISÃO DE LITERATURA | 15 |
| 3.1 | Composição da atmosfera..... | 16 |
| 3.2 | Polluição atmosférica..... | 19 |
| 3.2.1 | Classificação dos poluentes..... | 20 |
| 3.2.1.1 | Principais poluentes atmosféricos..... | 21 |
| 3.2.1.2 | Origem dos poluentes..... | 25 |
| 3.2.2 | Efeitos da poluição..... | 26 |
| 3.2.3 | Fatores que influenciam a poluição atmosférica..... | 29 |
| 3.2.3.1 | Umidade do ar..... | 30 |
| 3.2.3.2 | Temperatura do ar..... | 31 |
| 3.2.3.3 | Ventos..... | 31 |
| 3.2.3.4 | Precipitações..... | 32 |
| 3.2.4 | Instrumentos de comando e controle..... | 32 |
| 3.2.4.1 | Equipamentos para monitoramento do ar..... | 33 |
| 3.2.4.2 | Padrões de qualidade do ar..... | 35 |
| 3.2.4.3 | Índices de qualidade do ar..... | 36 |
| 3.3 | Poluentes Atmosféricos Veiculares..... | 38 |
| 3.3.1 | Compostos emitidos pelos veículos..... | 39 |
| 4 | METODOLOGIA..... | 41 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 46 |
| 6 | CONCLUSÃO..... | 59 |
| | REFERÊNCIAS..... | 61 |

1 INTRODUÇÃO

As políticas ambientais são conjuntos de metas e instrumentos que tem por objetivo reduzir os impactos negativos da ação humana sobre o meio ambiente e são necessárias para conduzir a posturas e procedimentos mais sustentáveis, reduzindo a quantidade de poluentes lançados no ambiente e minimizando os impactos aos recursos naturais (LUSTOSA et al., 2003).

Segundo Colombo (2006), o desenvolvimento sustentável vem sendo considerado um fator essencial para a competitividade das organizações, levando muitas dessas a rever seu modelo operacional, buscando alternativas mais eficientes, racionais e responsáveis. O mercado consumidor está cada vez mais exigente e consciente, e um dos principais fatores que contribuiu para este quadro é a melhoria do nível educacional da sociedade, além da velocidade de disseminação de informações.

Na visão de Careto e Vendeirinho apud Tauchen (2007), as universidades tendo papel de fundamental importância neste processo de conscientização e formação de cidadãos, precisam praticar aquilo que ensinam, uma vez que abrangem inúmeras atividades no interior do campus, podendo ser comparadas a pequenos núcleos urbanos.

Ao cotidiano das Instituições de Ensino Superior (IES) está associado o grande consumo de água e energia, a emissão de poluentes à atmosfera, a geração de resíduos sólidos, resíduos químicos líquidos e efluentes domésticos, que revelam que a gestão de aspectos ambientais no meio acadêmico, além de necessidades, são responsabilidades sociais (TAUCHEN, 2007).

Hoje, as questões ambientais priorizam o controle da poluição, responsável por danos econômicos reais, por perdas ecológicas e pelo comprometimento da qualidade de vida.

Os programas de monitoramento da qualidade do ar constituem um dos subsistemas de gestão da qualidade e são os motivadores do presente trabalho, tendo em vista a intensa circulação de veículos dentro e no entorno do Centro Universitário UNIVATES. A qualidade do ar constitui um dos fatores que mais agrava os problemas ambientais, sendo evidente que esse fato afeta a qualidade de vida da população em vários aspectos.

A causa mais comum da poluição do ar é a combustão. A descarga de gases de combustão dos veículos automotores leva ao ar óxidos de carbono, hidrocarbonetos diversos, (alguns considerados cancerígenos), partículas de carbono em suspensão nos gases, produtos químicos vaporizados, entre outras substâncias mais ou menos tóxicas (SALA, 1999).

Evidencia-se o surgimento de enfermidades derivadas da poluição, desde simples irritações nos olhos até graves e letais lesões respiratórias e cardiovasculares, causando passivos sociais, ambientais e econômicos. Além disto, há ainda os prejuízos às atividades turísticas bem como à agricultura e à pesca (PINTO, 2005; SALA, 1999). Isto vem levando que parte da comunidade mundial venha tomando medidas corretivas visando um desenvolvimento sustentável de modo a minimizar a concentração global de CO₂, na atmosfera, conforme preconizado através do protocolo de Kyoto.

O cenário da poluição vai se tornando crucial na medida em que não fica limitado aos locais por onde se deslocam as frotas veiculares, e sim, vão se estendendo às regiões vizinhas em função influências meteorológicas (PINTO, 2005) e, devido às reações químicas que se passam na atmosfera, poluentes primários são transformados em secundários aumentando assim a gama de danos causados ao meio ambiente (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Um dos fatores mais perceptíveis é a degradação da qualidade do ar, uma vez que os veículos automotores são fundamentais dentro do contexto ambiental, pois suas emissões são prejudiciais à saúde e ao bem estar da população. Por isso, é importante o estabelecimento de uma forma de quantificação, qualificação e a proposição de medidas de controle e atenuação da emissão de poluentes por essas fontes (SALA, 1999).

O grande desafio é a possibilidade de minimizar, mitigar e reverter o atual processo de deterioração do meio ambiente urbano. Esse processo não é fácil, pois alguns aspectos apresentam características extremamente subjetivas e não quantificáveis, mas dessa avaliação depende também a previsão de medidas que podem ser adotadas com o objetivo de eliminar ou atenuar os impactos negativos e maximizar aqueles que são positivos.

Conseqüentemente, os tomadores de decisão devem introduzir mecanismos inovadores no processo de gestão e programar o controle ambiental, de forma que os seus resultados se traduzam, efetivamente em ganhos na qualidade ambiental e de vida da população (SANTI, 2010).

Este trabalho vem ao encontro a dessas possibilidades: quantificar, qualificar e apontar medidas que possam contribuir para a proposição de melhoria das condições ambientais no objeto de estudo.

Além do capítulo de Introdução, este trabalho é composto por mais cinco capítulos, conforme descrição a seguir.

Os objetivos gerais e específicos deste trabalho estão descritos no capítulo 2.

O capítulo 3 fornece informações gerais sobre a poluição atmosférica descrevendo as principais fontes poluidoras, suas características e os efeitos dos principais poluentes na atmosfera. Descreve ainda, a contribuição dos veículos leves à poluição atmosférica no que se refere aos tipos de emissão veicular, aos fatores que agravam essa emissão e aos padrões existentes, bem como a influência dos aspectos climatológicos e meteorológicos na poluição atmosférica.

O capítulo 4 apresenta a metodologia a ser aplicada para a realização dos estudos e atendimento dos objetivos propostos, e o capítulo 5 descreve os resultados e discussões após a aplicação da metodologia apresentada.

Finalmente, o capítulo 6 apresenta a conclusão deste trabalho.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho é avaliar a qualidade do ar atmosférico no campus do Centro Universitário UNIVATES, através da quantificação do oxigênio, monóxido de carbono, sulfeto de hidrogênio e compostos orgânicos voláteis.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Realizar revisão bibliográfica contemplando a quantificação das emissões veiculares;
- b) Levantar pontos de monitoramento de poluentes veiculares no Centro Universitário UNIVATES;
- c) Identificar um ponto branco no Centro Universitário UNIVATES, a fim de criar comparativos de qualidade do ar;
- d) Monitorar a qualidade do ar no campus do Centro Universitário UNIVATES;
- e) Identificar pontos críticos, determinando concentrações e períodos de exposição;
- f) Manter um histórico de avaliações atmosféricas no campus do Centro Universitário UNIVATES;
- g) Propor ações de prevenção e/ou controle da poluição no campus.

3 REVISÃO DE LITERATURA

A preocupação com a conservação dos recursos naturais e a ação antrópica no meio ambiente em função do crescimento econômico contínuo começou a ser estudada apenas em meados do século XX, na década de 60, quando um grupo de cientistas, denominado Clube de Roma utilizou-se de modelos matemáticos para prever o esgotamento dos recursos naturais em função do crescimento populacional (VALLE, 2000).

Na década de 70, mais precisamente em 1972, a Organização das Nações Unidas (ONU) realizou a Conferência de Estocolmo, a partir da preocupação internacional sobre os riscos de degradação do meio ambiente. Nesta época ainda não se focavam as questões de desenvolvimento sustentável, apenas a proteção dos recursos naturais (ALMEIDA, F., 2002). Poluir passa então a ser crime em diversos países (VALLE, 2000).

As questões ambientais ganharam foco no Brasil a partir de 1981, com o estabelecimento da Política Nacional de Meio Ambiente que criou o Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA), através da Lei Federal 6.938/81 (MMA, 1981). A partir do ano de 1988, a nova Constituição Federal incorporou um capítulo especial ao meio ambiente – o artigo 225, que estabeleceu que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida” (VALLE, 2000). Ao mesmo tempo, em 1989, firmava-se o protocolo de Montreal, banindo todos os produtos que tivessem em sua composição o clorofluorcarbono (CFC), um dos principais elementos destruidores da camada de ozônio (VALLE, 2000).

Nos anos 90 a preocupação com o uso racional dos recursos naturais tomou grandes proporções. Em 1990 criou-se o Fundo Mundial do Meio Ambiente, como parte do Programa

Nacional do Meio Ambiente (PNMA), com a finalidade de financiar projetos de proteção ao meio ambiente (VALLE, 2000).

Em 1992 realizou-se a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, conhecida também como Cúpula da Terra ou Rio 92, que tratou as questões ambientais como objeto de preocupação de toda a humanidade, entrando em vigor neste mesmo ano as normas de certificação britânicas BS7750 - *Specification for Environmental Management Systems* (Especificação para Sistemas de Gestão Ambiental) que serviram de base para a elaboração de normas a nível mundial (VALLE, 2000).

Em dezembro de 1997, cerca de 10.000 delegados, observadores e jornalistas reuniram-se em Kyoto no Japão, para a realização de uma conferência a qual culminou na decisão por consenso de adotar-se um protocolo segundo o qual os países industrializados reduziram suas emissões combinadas de gases de efeito estufa em pelo menos 5% em relação aos níveis de 1990 até o período entre 2008 e 2012, prometendo reverter uma tendência histórica de crescimento das emissões iniciadas nesses países há cerca de 150 anos (FUJIHARA 2009).

O Protocolo de Kyoto foi aberto para assinatura em 16 de março de 1998. Entrou em vigor 90 dias após a sua ratificação por pelo menos 55 partes da convenção, incluindo os países desenvolvidos que contabilizaram pelo menos 55% das emissões totais de dióxido de carbono em 1990. Enquanto isso, as partes da Convenção sobre Mudança do Clima continuariam a observar os compromissos assumidos sob a Convenção e a preparar-se para a futura implementação do Protocolo (FUJIHARA 2009).

3.1 Composição da atmosfera

A atmosfera terrestre é uma mistura de gases, inodora e incolor, consequência de fenômenos físico-químicos e biológicos iniciados há milhões de anos, que forma uma capa protetora ao redor da Terra, capa esta que tem por função absorver a maior parte da radiação infravermelha emitida pelo sol e aquela emitida ou refletida pela Terra, atuando na manutenção do balanço de calor do nosso planeta. A atmosfera é de fundamental importância para a vida na Terra, uma vez que os seres humanos são dependentes de ar para sobreviver (LISBOA, 2007; VIEIRA, 2009).

O ar atmosférico (99%) encontra-se em uma fina camada que recobre a Terra, localizando-se nos primeiros 30 km de altitude, sendo que 50% dele se encontra nos primeiros

5 km. Do ponto de vista ambiental, a troposfera e a estratosfera são as principais camadas da atmosfera (VIEIRA, 2009).

Além disso, a atmosfera tem papel fundamental no Ciclo Hidrológico, pois atua como transportadora de água dos oceanos aos continentes e é nela que há a deposição de gases como o dióxido de carbono (CO_2) e o oxigênio (O_2) resultantes dos processos respiratórios e fotossintéticos de plantas terrestres e aquáticas e de compostos nitrogenados fabricados por bactérias e plantas a partir de nitrogênio (N_2) atmosférico e de particulados (MOZETO, 2001).

A atmosfera seca é constituída por 78% em volume de nitrogênio, 20,9% de oxigênio, 0,9% de argônio, 0,035% de dióxido de carbono e por vários outros gases em pequenas concentrações. Possui quantidade variável de vapor de água, dependendo do local, hora, estação do ano, etc., chegando a 0,02% em volume nas regiões áridas e 4% em regiões equatoriais úmidas, conforme se visualiza na tabela 1 (MELO, 1996).

Tabela 1 - Composição da atmosfera seca

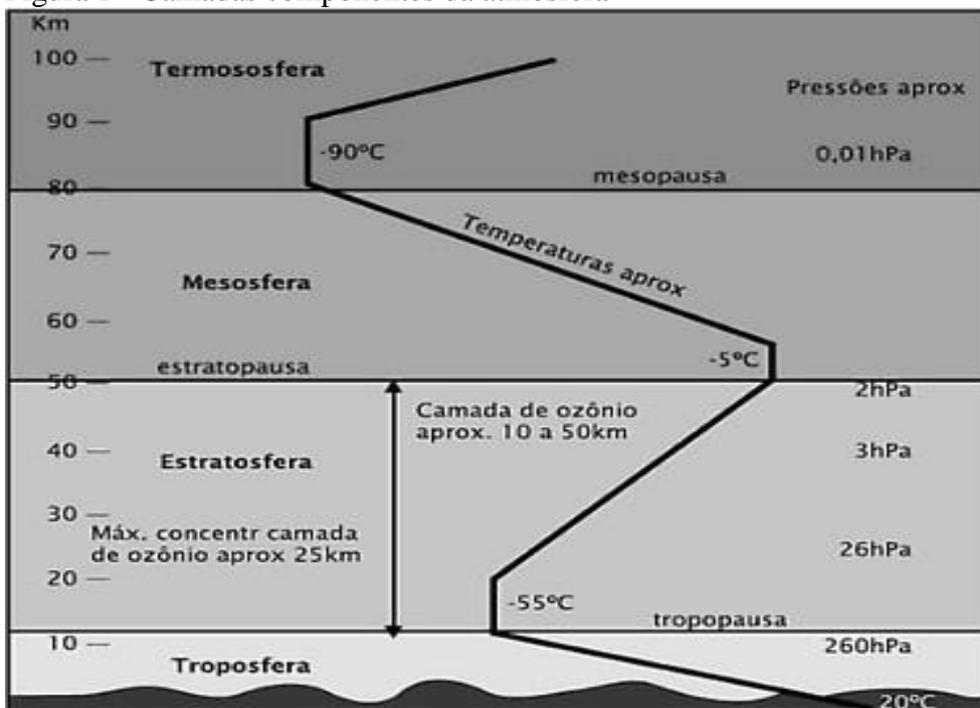
| Componentes gasosos | Composição ppm (volume) | Composição ppm (% - peso) |
|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| Nitrogênio | 780.900 | 755.100 |
| Oxigênio | 209.500 | 231.500 |
| Argônio | 9.300 | 12.800 |
| Dióxido de carbono | 300 | 460 |
| Neônio | 18 | 12,5 |
| Hélio | 5,2 | 0,72 |
| Metano | 2,2 | 1,2 |
| Criptônio | 1 | 2,9 |
| Óxido nitroso | 1 | 1,5 |
| Hidrogênio | 0,5 | 0,03 |
| Xenônio | 0,08 | 0,36 |

Fonte: Varejão-Silva (2006)

Além dos componentes citados, outros componentes de origem natural e de concentração variável são: óxidos de nitrogênio: produzidos pelas descargas elétricas durante as tempestades; dióxido de enxofre; fluoreto de hidrogênio; cloreto de hidrogênio e sulfeto de hidrogênio: provenientes das erupções vulcânicas; ozônio: formado fotoquimicamente ou por descargas elétricas; poeiras diversas (LISBOA, 2007).

A divisão da atmosfera é feita a partir das variações de temperatura e altitude dada pela interação dos seus componentes com a entrada e energia proveniente do Sol e a saída de energia proveniente da Terra (LISBOA, 2007). De conformidade com o critério térmico (baseado na distribuição vertical média da temperatura do ar, observada em todo o planeta), a atmosfera está dividida em quatro camadas (figura 2) aparentemente homogêneas: a troposfera, estratosfera, mesosfera e termosfera, as quais são separadas por três zonas de transição: tropopausa, estratopausa e mesopausa (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Figura 1 - Camadas componentes da atmosfera



Fonte: Myspac (2005)

A troposfera é a mais importante das camadas da atmosfera. Nela se concentram $\frac{3}{4}$ da massa total da atmosfera e do vapor de água, o que condiciona a esta zona o acontecimento dos fenômenos meteorológicos e relacionados à poluição. Na estratosfera acontece a depleção da camada de ozônio (decomposição pela radiação ultravioleta do sol das moléculas de oxigênio do ar em átomos de oxigênio, criando uma camada que, combinam e se transformam em ozônio) (VAREJÃO-SILVA, 2006; VIEIRA, 2009).

3.2 Poluição atmosférica

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA), a poluição atmosférica pode ser definida como qualquer forma de matéria ou energia com intensidade, concentração, tempo ou características que possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e à qualidade de vida da comunidade.

A Resolução 003/90 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) entende como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos por esta norma, e que tornem ou possam tornar o ar:

- a) Impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;
- b) Inconveniente ao bem-estar público;
- c) Danoso aos materiais, à fauna e flora;
- d) Prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Conforme a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), poluição atmosférica é a introdução, direta ou indireta, pelo homem na atmosfera de substâncias ou energias que ocasionem conseqüências prejudiciais, de natureza a colocar em perigo a saúde humana, causar danos aos recursos biológicos e aos sistemas ecológicos ou perturbar as outras utilizações legítimas do meio ambiente

Ainda, segundo Bretschneider e Kurfürst (1987) apud Cavalcanti (2010) poluição atmosférica pode ser definida com a alteração das propriedades físicas, químicas ou biológicas normais da atmosfera. Tais alterações são dadas a partir das emissões atmosféricas, substâncias em forma de partículas, gases e aerossóis que se formam como subprodutos dos processos de combustão ou das transformações de matéria-prima que, quando lançadas à atmosfera em concentrações superiores à capacidade do meio ambiente em absorvê-las, causam alterações na qualidade do ar.

A composição do ar contaminado é variável e existem muitas opiniões sobre o que constitui a contaminação ou a poluição da atmosfera. Para alguns, a contaminação supõe o aumento, ou, às vezes, a redução de certos componentes da atmosfera, que não existiria sem a atividade humana. Esta definição se torna um pouco limitada, uma vez que a atmosfera do planeta tem sofrido profundas mudanças em sua constituição ao longo dos tempos, até mesmo

por fenômenos naturais (erupções vulcânicas, incêndios florestais e tormentas de areia, decomposição de plantas e de animais, incluindo os aerossóis emitidos pelos oceanos) que têm provocado significativas alterações locais, regionais e mesmo continentais, evidenciadas nos valores dos componentes atmosféricos (CAVALCANTI, 2010).

Sem dúvida, quando se fala de contaminação do ar, os contaminantes são aqueles gerados pelas atividades do homem (antropogênica). Pode-se considerar como contaminante a substância que produz um efeito prejudicial no ambiente. Estes efeitos podem alterar tanto a saúde, como o bem-estar das pessoas. (CAVALCANTI, 2010)

3.2.1 Classificação dos poluentes

A atmosfera apresenta uma grande variedade de substâncias, o que torna difícil a tarefa de se estabelecer classificações. É importante salientar, que mesmo mantidas as emissões, a qualidade do ar pode mudar em função das condições meteorológicas, que determinam maior ou menor diluição dos poluentes. É por isso que a qualidade do ar piora durante o inverno, quando as condições meteorológicas são mais desfavoráveis à dispersão dos poluentes (MELO, 1996). Entretanto, podemos iniciar este processo de classificação dividindo os poluentes em duas categorias de acordo com sua origem (CAVALCANTI, 2010):

- a) Primários (partículas finas, partículas grosseiras, compostos orgânicos, compostos de enxofre inorgânicos, compostos nitrogênio, óxidos de carbono): São aqueles emitidos diretamente no ar, por exemplo: dióxido de enxofre (SO_2), os óxidos de nitrogênios (NO_x), o monóxido de carbono (CO) e partículas (VIEIRA, 2009).
- b) Secundários (ar poluído): são formados na atmosfera por meio de reações químicas (hidrólise, oxidação, ou reações fotoquímicas) e condições físicas. As substâncias usualmente consideradas poluentes do ar podem ser classificadas conforme o quadro 1 (VIEIRA, 2009).

Quadro 1 - Classificação dos poluentes secundários do ar:

| Classificação | Compostos |
|-------------------------|---|
| Compostos de Enxofre | SO_2 , SO_3 Compostos de Enxofre Reduzido: (H_2S , Mercaptanas, Dissulfeto de carbono, etc) , sulfatos |
| Compostos de Nitrogênio | NO , NO_2 , NH_3 , HNO_3 , nitratos |

| | |
|--------------------------------|---|
| Compostos Orgânicos de Carbono | Hidrocarbonetos, alcoóis, aldeídos, cetonas, ácidos orgânicos |
| Monóxido de carbono | CO |
| Compostos halogenados | HCl, HF, cloretos, fluoretos |
| Material particulado | Mistura de compostos no estado líquido ou sólido |
| Ozônio | O ₃ , Formaldeído, acroleína |

Fonte: Adaptado pela autora de CETESB (2002)

Os poluentes atmosféricos, em forma de matéria, podem ser enquadrados, em função do seu estado físico, em dois grupos:

- a) **Material Particulado:** É um conjunto de poluentes constituídos de poeiras, fumaças e todo o tipo de material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera por causa de seu pequeno tamanho. Resulta da queima incompleta de combustíveis e de seus aditivos, de processos industriais e do desgaste de pneus e freios. Em geral, são provenientes da fumaça emitida pelos veículos movidos a óleo diesel; da fumaça expelida pelas chaminés das indústrias ou pelas queimadas; da poeira depositada nas ruas e dos resíduos de processos industriais que utilizam material granulado; de obras viárias ou que movimentam terra, areia (CETESB, 2002).
- b) **Gases e vapores:** São poluentes na forma molecular, quer como gases permanentes, como o dióxido de enxofre, o monóxido de carbono, o ozônio, os óxidos de nitrogênio; quer como na forma transitória de vapor, como os vapores orgânicos em geral (CETESB, 2002).

3.2.1.1 Principais poluentes atmosféricos

A determinação da qualidade do ar está restrita a um grupo de poluentes, quer por sua maior frequência de ocorrência, quer pelos efeitos adversos que causam ao meio ambiente. O grupo de poluentes consagrados universalmente como indicadores mais abrangentes da qualidade do ar é composto por: dióxido de enxofre (SO₂), partículas totais em suspensão (PTS), partículas inaláveis (PI), monóxido de carbono (CO), ozônio (O₃), hidrocarbonetos totais (HC) e óxidos de nitrogênio (NO_x).

- a) **Dióxido de enxofre:** Resulta, principalmente, da queima de combustíveis que contêm enxofre, como óleo diesel, óleo combustível industrial e gasolina. Na atmosfera, este poluente pode ser oxidado, originando ácido sulfúrico (H₂SO₄), o aerossol ácido mais

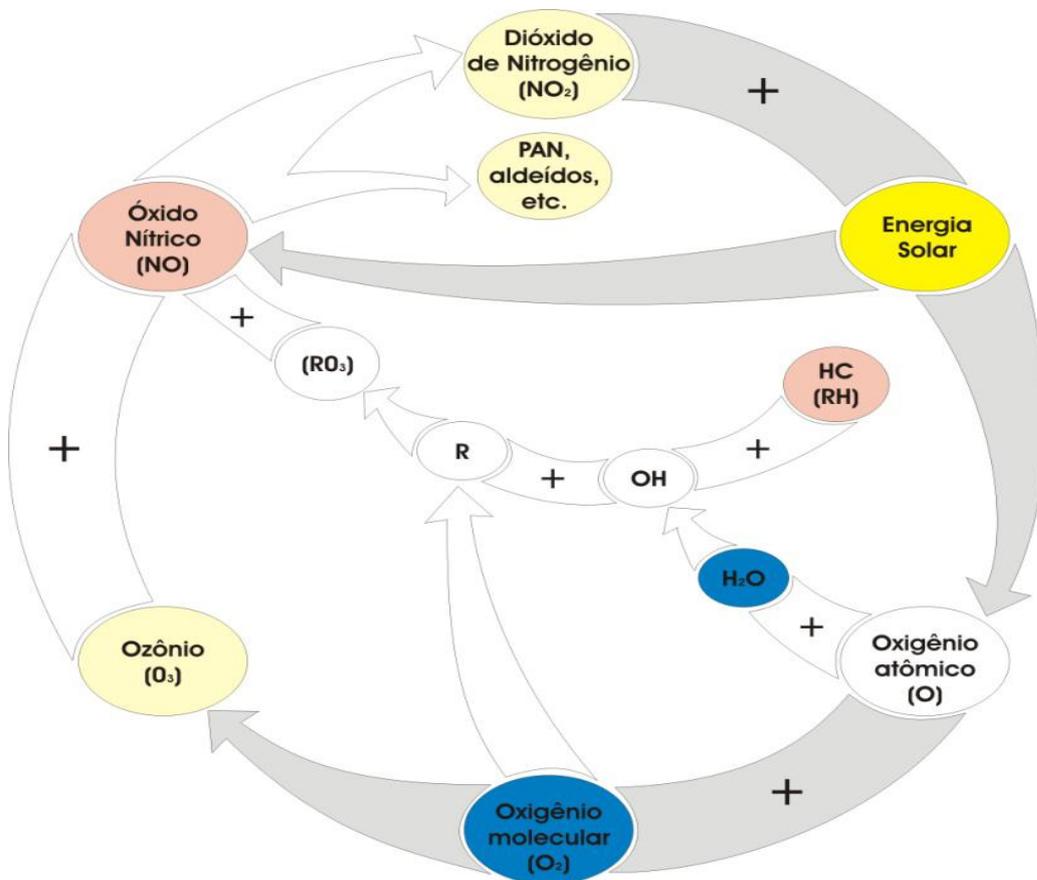
irritante para o trato respiratório (SALDIVA, 1998), contribuindo para outro grande problema, a deposição ácida - somatório entre a deposição ácida seca e úmida. A componente mais popularizada da deposição ácida, a úmida, é conhecida como “chuva ácida”. Essa oxidação dependerá de diversos fatores, como incidência de radiação solar, temperatura e umidade do ar, absorção do gás na superfície das partículas e tempo de permanência na atmosfera. O enxofre é encontrado em estado natural em muitos tipos de combustíveis sólidos ou líquidos. O gás é acre, corrosivo e tóxico, mas a ameaça para a saúde ocorre quando o dióxido de enxofre se combina no ar com o vapor de água e outros compostos, para formar o ácido sulfúrico e sulfatos (CETESB, 2002).

- b) Partículas totais em suspensão (PTS):** Podem ser definidas de maneira simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 50 μm . Uma parte destas partículas são inaláveis e podem causar problemas à saúde, outra parte pode afetar desfavoravelmente a qualidade de vida da população, interferindo nas condições estéticas do ambiente e prejudicando as atividades normais da comunidade (SALDIVA, 1998).
- c) Partículas Inaláveis (PI):** Podem ser definidas de maneira simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 10 μm . As partículas inaláveis podem ainda ser classificadas como partículas inaláveis finas – MP2,5 (<2,5 μm) e partículas inaláveis grossas (2,5 a 10 μm). As partículas finas, devido ao seu tamanho diminuto, podem atingir os alvéolos pulmonares, já as grossas ficam retidas na parte superior do sistema respiratório (SALDIVA, 1998).
- d) Monóxido de carbono:** É um gás incolor e inodoro que resulta da queima incompleta de combustíveis de origem orgânica, combustíveis fósseis, biomassa, etc. Em geral, é encontrado em maiores concentrações nos grandes centros urbanos, emitido, principalmente, por veículos automotores. Altas concentrações de CO são encontradas em áreas de intensa circulação de veículos. Os efeitos da exposição de seres humanos ao monóxido de carbono estão associados à capacidade de transporte de oxigênio no sangue. O monóxido de carbono compete com o oxigênio na combinação com a hemoglobina no sangue, uma vez que sua afinidade com este gás poluente é 210 vezes maior do que com o oxigênio. Quando uma molécula de hemoglobina recebe uma molécula de monóxido de carbono forma-se a carboxiemoglobina, que diminui a capacidade do sangue de transportar oxigênio (ALMEIDA, I., 1999).

- e) **Óxidos de nitrogênio:** São formados durante processos de combustão. Em grandes cidades, os veículos geralmente são os principais responsáveis pela emissão dos óxidos de nitrogênio. O NO, sob a ação de luz solar, se transforma em dióxido de nitrogênio (NO₂) e tem papel importante na formação de oxidantes fotoquímicos, como o ozônio. Dependendo das concentrações, o NO₂ causa prejuízos à saúde. Dentre as fontes desses poluentes destacam-se os veículos automotores, as centrais de geração termoelétrica e outros processos industriais. O NO tem a capacidade de se oxidar rapidamente, formando o NO₂, nas condições atmosféricas. Esse processo acontece como resultado da foto-oxidação dos compostos orgânicos voláteis, pelo radical hidroxila, na presença de luz e oxigênio, provocando o “*smog*” oxidante. No caso dos óxidos de nitrogênio (NO e NO₂), somente o NO₂ é motivo de preocupação por si mesmo. Devido à sua baixa solubilidade é capaz de penetrar profundamente no sistema respiratório, podendo dar origem as nitrosaminas, algumas das quais podem ser carcinogênicas. O dióxido de nitrogênio (NO₂) é, também, um poderoso irritante, podendo conduzir a sintomas que lembram àqueles do enfisema (CAVALCANTI, 2010).
- f) **Ozônio (O₃) e oxidantes fotoquímicos:** O ozônio é um poluente secundário, formado na troposfera pela reação de moléculas de oxigênio com átomos de oxigênio produzidos a partir da fotodecomposição do NO₂. Este último é formado no processo de foto-oxidação dos compostos orgânicos voláteis, liberados na combustão da gasolina, diesel e outros combustíveis. Tanto a oxidação dos hidrocarbonetos, quanto a fotodecomposição do NO₂ são resultado da incidência de luz solar e, assim, em geral, é observado um acréscimo da concentração de ozônio, com o aumento da radiação solar. Pode considerar-se o ozônio como o principal produto da oxidação dos hidrocarbonetos (GIANETTI e ALMEIDA, 2007).
- g) **Oxidantes fotoquímicos:** É a denominação que se dá à mistura de poluentes secundários formados pelas reações entre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis, na presença de luz solar, sendo estes últimos liberados na queima incompleta e evaporação de combustíveis e solventes. O principal produto desta reação é o ozônio, por isso mesmo utilizado como parâmetro indicador da presença de oxidantes fotoquímicos na atmosfera. Tais poluentes formam a chamada névoa fotoquímica ou “*smog* fotoquímico”, que possui este nome em função da diminuição da visibilidade na atmosfera (CETESB, 2002). Além de prejuízos à saúde, o ozônio

pode causar danos à vegetação. É sempre bom ressaltar que o ozônio encontrado na faixa de ar próxima do solo, onde respiramos chamado de “mau ozônio”, é tóxico. Entretanto, na estratosfera (a cerca de 25 km de altitude) o ozônio tem a importante função de proteger a Terra, como um filtro, dos raios ultravioleta emitidos pelo Sol (CETESB, 2002). A figura 2 apresenta um esquema do ciclo fotoquímico do ozônio.

Figura 2 - Esquemática do ciclo fotoquímico do ozônio



Fonte: Cavalcanti (2010)

- h) Hidrocarbonetos totais (HC):** Os hidrocarbonetos constituem-se de vapores de combustíveis não queimados, além das perdas evaporativas, que se verificam em tanques de estocagem de substâncias orgânicas, solventes em evaporação do asfalto, emissões gasosas de vegetação viva e em estado de apodrecimento ou o produto de qualquer reação que envolva matéria orgânica (GIANETTI e ALMEIDA, 2007). Embora não sejam considerados tóxicos, em concentrações normais, são considerados

agentes causadores de câncer. Também, contribuem para a névoa escura e amarelada que cobre as cidades (CLEMENTE, 2000). Podem ser encontrados na atmosfera na forma de gases (como o metano), líquidos e sólidos. Estes podem reagir com diversas outras substâncias, como o nitrogênio, oxigênio e enxofre formando diferentes compostos (SANTOS, 2004).

3.2.1.2 Origem dos poluentes

Segundo Hásegawa (2001) apud Cavalcanti (2010) fonte de poluição do ar é qualquer processo, equipamento, sistema, máquina, empreendimento etc., que possa liberar ou emitir matéria ou energia para a atmosfera, de modo a torná-la poluída.

Quando se discute a origem da poluição atmosférica deve ser feita a distinção entre os processos envolvidos na formação dos poluentes (CAVALCANTI, 2003). Os poluentes atmosféricos resultam de processos naturais ou de processos antropogênicos. Assim sendo, as fontes de poluição atmosférica podem ser entendidas como quaisquer processos, sejam eles naturais ou antropogênicos, que possam liberar ou emitir matéria ou energia para a atmosfera, tornando-a contaminada ou poluída (CAVALCANTI, 2003).

- a) Fontes naturais de poluição: São exemplos de fontes naturais de poluentes atmosféricos as emissões de gases provocadas por erupções vulcânicas, as atividades de *geysers*, a decomposição de vegetais e animais, a suspensão de poeira do solo pelos ventos, a formação de gás metano em pântanos, os aerossóis marinhos, a formação de ozônio devido a descargas elétricas na atmosfera, os incêndios naturais em florestas e os polens de plantas.
- b) Fontes antropogênicas de poluição: São exemplos de fontes antropogênicas de poluentes atmosféricos os diversos processos e operações industriais; a queima de combustível para fins de transporte em veículos a álcool, gasolina e diesel ou qualquer outro tipo de combustível; queimadas na agricultura; incineração de lixo; poeiras fugitivas; produtos voláteis; equipamentos de refrigeração e ar condicionado, e *sprays*.

As fontes antropogênicas podem ainda ser classificadas em dois grupos: o primeiro grupo composto por fontes fixas ou estacionárias (representado pela produção industrial, pela extração mineral e pela produção agrícola, por exemplo) (quadro 2). O segundo grupo composto de fontes móveis, é representado, principalmente, pelo setor de transporte.

Quadro 2 – Principais fontes de poluição do ar e principais poluentes

| Tipos | Fontes | Poluentes |
|---------------------------------|---|---|
| Fontes Fixas (estacionárias) | Combustão | Material particulado, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio |
| | Processo industrial | Material particulado (fumos, poeiras e névoas), gases – hidrocarbonetos, mercaptanas, HF, H ₂ S e NO _x |
| | Queima de resíduo sólido | Material particulado, gases – SO ₂ , SO ₃ , HCl, NO _x |
| | Outros | Hidrocarbonetos e material particulado |
| Fontes móveis | Veículos a gasolina, diesel, álcool, aviões, motocicletas, barcos, locomotivas, etc | Material particulado, monóxido de carbono, óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos, aldeídos e ácidos orgânicos |
| Fontes naturais | | Material particulado – poeiras, gases – SO ₂ , CO, SO ₃ , H ₂ S, NO, NO ₂ e hidrocarbonetos |
| Reações químicas na atmosfera | | Poluentes secundários – O ₃ , aldeídos, ácidos orgânicos, nitratos orgânicos, aerossol fotoquímico, etc |

Fonte: CETESB (1994)

3.2.2 Efeitos da Poluição

Almeida (1999) coloca a poluição atmosférica como estando diretamente relacionada à geração de efeitos prejudiciais ao meio ambiente, incluindo paisagens naturais, vegetação, animais, solo, água, estruturas naturais e artificiais, como também sobre a saúde humana.

Os efeitos da poluição atmosférica se caracterizam tanto pela alteração de condições consideradas normais como pelo aumento de problemas preexistentes. Esses efeitos podem ser tanto globais como podem ocorrer em níveis local e regional (ALMEIDA, 1999).

Os efeitos da poluição atmosférica, em escala global, são caracterizados pela alteração da acidez das águas da chuva (chuva ácida), pelo aumento da temperatura do planeta (efeito estufa) e pela modificação da intensidade da radiação solar, ou seja, aumento da radiação ultravioleta, causado pela depleção da camada de ozônio (ALMEIDA, 1999).

De modo geral, os efeitos da poluição atmosférica manifestam-se na saúde humana, na vegetação, na fauna e sobre os materiais (ALMEIDA, 1999).

- a) **Efeitos sobre a saúde humana:** Poluentes atmosféricos podem afetar a saúde humana de diversas formas, como se pode verificar no quadro 3. Os efeitos vão desde o

desconforto até a morte. Alguns desses efeitos incluem irritação dos olhos e das vias respiratórias; redução da capacidade pulmonar; aumento da suscetibilidade a infecções virais e doenças cardiovasculares; redução da performance física; dores de cabeça; alterações motoras e enzimáticas; agravamento de doenças crônicas do aparelho respiratório tais como, asma, bronquite, enfisema e pneumoconioses; danos ao sistema nervoso central; alterações genéticas; nascimento de crianças defeituosas e câncer (ALMEIDA, 1999).

Quadro 3 - Poluentes atmosféricos x danos à saúde

| Poluentes Monitorados | Fontes de Emissão | Efeitos à Saúde |
|---|---|---|
| Partículas Inaláveis (MP10) | Processos de combustão (indústria e veículos automotores), aerossol secundário (formado na atmosfera). | Interfere no sistema respiratório, pode afetar os pulmões e todo o organismo |
| Partículas em suspensão (poeira) | Processos industriais, veículos Motorizados (exaustão), poeira de rua suspensa, queima de biomassa. Fontes naturais: pólen, aerossol, marinho e solo, queimadas e poeiras diversas. | Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo |
| 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: CETESB (1999)

- b) **Efeitos sobre o meio ambiente:** Os danos podem ocorrer de forma aguda ou crônica e são ocasionados pela redução da penetração da luz, com conseqüente redução da

capacidade fotossintetizadora, geralmente por deposição de partículas nas folhas; mediante penetração de poluentes através das raízes após deposição de partículas ou dissolução de gases no solo; pela penetração dos poluentes através dos estômatos (ALMEIDA, 1999)

Em escala global, os efeitos da poluição atmosférica são, atualmente, caracterizados pela redução da camada de ozônio e aumento do efeito estufa e, em menor escala, pela deposição ácida merecendo os comentários que se seguem.

b.1) Redução da camada de ozônio: a camada de ozônio da estratosfera é um filtro natural para as radiações ultravioletas do sol, protegendo o planeta dos níveis indesejáveis dessa radiação. A diminuição da concentração de ozônio nesta camada traz como possíveis conseqüências o aumento do câncer de pele, cataratas, diminuição da resposta do sistema imunológico humano, além de se prever a ocorrência de muitos outros efeitos aos ecossistemas e às espécies vegetais e animais.

O ozônio estratosférico vem sendo eliminado, principalmente, pelo cloro presente nos clorofluorcarbonetos (CFC), estáveis quimicamente, permanecendo na atmosfera por dezenas de anos. Também, contribuem para a destruição dessa camada, o óxido nítrico, emissões de erupções vulcânicas, o gás *halon*, utilizado em sistemas de proteção contra incêndio, o metilclorofórmio e o tetracloreto de carbono (MENINI, 2004).

b.2) Aumento do efeito estufa: o efeito está relacionado ao aumento de temperatura da Terra, provocada pela retenção de radiação infravermelha por ela reemitida, em função do aumento da concentração de determinados gases, que têm essa propriedade, tais como: CO₂, metano (CH₄), CFC e NO₂ (MENINI, 2004).

A camada de gases que envolve o planeta é, fundamentalmente, importante na manutenção da vida pela retenção de calor que proporciona, fazendo com que haja, naturalmente, um efeito estufa por esta camada. O acréscimo na concentração dos gases mencionados, que absorvem radiação, causa um aumento na retenção de calor, levando a um aumento da temperatura da Terra (MENINI, 2004).

Tal fato ocasiona maior degelo das calotas polares, com conseqüente aumento do nível dos oceanos, inundando áreas costeiras; além de alterações climáticas, com efeitos danosos à agricultura, à vegetação em geral; aumento no regime de chuvas, secas e

inundações; aumento da proliferação de vetores, causando maior incidência de doenças tropicais (malária, dengue etc.); aumento na frequência de eventos climáticos extremos (por exemplo, ciclones, El Niño etc.); e desaparecimento de corais. O dióxido de carbono é considerado o principal responsável pelo efeito estufa e sua principal fonte de emissão é a queima de combustíveis fósseis (MENINI, 2004)

b.3) **Deposição ácida:** a chuva ácida é resultado da lavagem da atmosfera pelas chuvas que arrastam os óxidos de enxofre e de nitrogênio nela presentes e outros elementos ácidos, alterando a acidez da água pela formação de ácido sulfúrico e nítrico, causando consequências indesejáveis para o meio ambiente, tais como: acidificação de florestas e corpos d'água, principalmente lagos, com efeitos sobre fauna e flora, corrosão de estruturas metálicas, danos a monumentos e edificações, toxicidade para plantas e para a saúde humana e plantas (ASSUNÇÃO, 1998).

- c) **Efeitos sobre a fauna:** Quanto à vida animal, os efeitos dos poluentes atmosféricos incluem o enfraquecimento do sistema respiratório, danos aos olhos, dentes e ossos, aumento da suscetibilidade a doenças, pestes e outros riscos ambientais relacionados ao “*stress*”, a diminuição das fontes de alimento e a redução da capacidade de reprodução (ALMEIDA, 1999).
- d) **Efeitos sobre os materiais:** O primeiro efeito visível da poluição atmosférica sobre os materiais é a deposição de partículas, principalmente poeira e fumaça, nas edificações e monumentos. Os efeitos dessa deposição sobre estas estruturas incluem basicamente descoloração, erosão, corrosão, enfraquecimento e decomposição de materiais de construção (ALMEIDA, 1999).

3.2.3 Fatores que influenciam a poluição atmosférica

A concentração dos poluentes no ar depende, tanto dos mecanismos de dispersão, como de sua produção e remoção. Normalmente, a própria atmosfera é capaz de dispersar os poluentes, misturando-os, eficientemente, a um grande volume de ar, o que contribui para que a poluição fique em níveis aceitáveis (CAVALCANTI, 2010).

Segundo Alves (2006):

A atmosfera terrestre é uma estrutura que está sempre em movimento devido à rotação da Terra, diferenças horizontais e verticais de temperatura induzidas por radiação solar e terrestre, topografia, efeitos físico-químicos na superfície e transferência de energia e massa com a superfície. Suas condições meteorológicas são fator determinante na concentração e transporte de partículas e gases; para uma mesma quantidade de partículas ou gases introduzida na atmosfera, a qualidade do ar pode variar de acordo com estas condições meteorológicas (ALVES, 2006).

De acordo com Varejão-Silva (2006), estudos envolvendo parâmetros meteorológicos atmosféricos são da maior importância para o entendimento da dispersão dos poluentes (taxa com que as concentrações dos poluentes são modificadas na atmosfera), e para o desenvolvimento de programas específicos de monitoramento da qualidade do ar.

Meteorologistas e climatologistas indicam a velocidade e a direção dos ventos, a turbulência e a estabilidade atmosférica como fenômenos meteorológicos importantes para a dispersão dos poluentes atmosféricos numa escala local (VAREJÃO-SILVA, 2006). A influência da topografia também é um importante fator devido ao aquecimento diferenciado do solo: topos de montanhas se aquecem e se resfriam mais rapidamente que vales, pois as camadas de ar frio mais denso se acumulam no fundo dos vales acentuando a estabilidade e, portanto, facilitando o acúmulo dos poluentes (CAVALCANTI, 2010).

É importante frisar que, mesmo mantidas as emissões, a qualidade do ar pode mudar função das condições meteorológicas que determinam uma maior ou menor diluição dos poluentes. É por isso que a qualidade do ar piora com relação aos parâmetros CO, MP e SO₂ durante os meses de inverno, quando as condições meteorológicas são mais desfavoráveis à dispersão dos poluentes (...) A interação entre as fontes de poluição e a atmosfera vai definir o nível de qualidade do ar, que determina por sua vez o surgimento de efeitos adversos da poluição do ar sobre os receptores (CETESB, 2006).

Os principais elementos da dinâmica atmosférica que atuam direta ou indiretamente nas condições de dispersão poluentes na atmosfera são a umidade do ar, temperatura do ar, ventos (intensidade e direção) e precipitação (VAREJÃO-SILVA, 2006).

3.2.3.1 Umidade do ar

A umidade relativa do ar (UR) pode ser definida como a proporção (%) de vapor d'água verificada numa dada medida de ar (umidade absoluta, geralmente expressa em g/m³) em relação ao seu ponto de saturação (URs), considerando, para tanto, a mesma temperatura (CAVALCANTI, 2010).

Segundo Cioqueta et al. (2004) apud Amorim (2004), altos valores de umidade relativa do ar tendem a promover a aglomeração de partículas, fazendo com que aumentem de

diâmetro devido ao processo de coalescência e sedimentem com mais facilidade, porque quanto maior o diâmetro da partícula menor o seu tempo de residência na atmosfera. Ainda segundo os autores a umidade mais elevada provoca aumento da densidade das partículas causada pela maior adsorção de água.

3.2.3.2 Temperatura do ar

A temperatura do ar afeta a química do ozônio, pelas constantes taxas das reações químicas. Maiores temperaturas são mais efetivas, favorecendo a formação de ozônio. Diversos estudos revelaram correlações positivas entre as concentrações de ozônio e a temperatura do ar (CETESB, 2002; VAREJÃO-SILVA, 2006).

Os movimentos verticais de massas de ar dependem do perfil vertical da temperatura, isto é, da variação da temperatura com a altitude. A taxa de resfriamento do ar, para cada 100 metros de altitude, é de aproximadamente 1°C. Quando a temperatura do ar aumenta com a altitude, ocorre “inversão térmica”, fenômeno de origem natural (VAREJÃO-SILVA, 2006).

As inversões térmicas são caracterizadas por um perfil vertical anormal da temperatura do ar, aumentando com a altura a partir de um determinado nível próximo ao solo e fazendo com que os movimentos verticais ascendentes sejam inibidos neste nível, pois o ar abaixo da camada de inversão é mais denso que o ar acima desta (VAREJÃO-SILVA, 2006). Esta situação atmosférica funciona como uma fronteira rígida, que provoca o confinamento de substâncias na camada próxima ao solo.

3.2.3.3 Ventos

Conforme Lisboa (2007) apud Tomasini (2011), entre os fatores meteorológicos necessários para o estudo da dispersão dos poluentes encontra-se o vento. Sabendo-se a direção predominante dos ventos, podem-se determinar quais as áreas geográficas que serão afetadas pela pluma de poluentes emitida, determinando as áreas mais favoráveis para a instalação de indústrias no município, assim como a velocidade e a intensidade determinarão a taxa de dispersão dos mesmos no local.

3.2.3.4 Precipitação

A chuva e a evaporação são os parâmetros que constituem o balanço hídrico de uma região, por meio do qual se pode obter informações climatológicas importantes. No âmbito da poluição atmosférica, a evaporação atua diretamente sobre a umidade do ar, ou seja, a quantidade de água presente na atmosfera local, influenciando nas reações químicas de alguns poluentes e também possui a função de remover os poluentes presentes no ar, proporcionalmente à frequência e intensidade das chuvas (VAREJÃO-SILVA, 2006).

As chuvas atuam com muita eficiência na remoção dos poluentes do ar, em maior ou menor grau, dependendo da sua intensidade. São normalmente associadas às penetrações de frentes frias que, além de ocasionar precipitações pluviométricas, promovem a intensificação dos ventos. Em locais onde o escoamento do ar é obstruído por grandes edificações, serras, montanhas, a precipitação pluviométrica passa a ser o único mecanismo capaz de remover os poluentes do ar, uma vez que sob tais circunstâncias estes não sofrem a ação dos ventos. Entretanto, deve-se ressaltar que, com a lavagem da atmosfera, há a transposição dos poluentes para o solo e águas superficiais (VAREJÃO-SILVA, 2006).

3.2.4 Instrumentos de comando e controle

São dois os tipos de medição da poluição do ar: medição no ambiente (o que o público respira) e a medição na fonte de emissão. O que vai determinar o quão poluidor ou o quanto de malefícios provoca à saúde vai ser determinado pelas leis e parâmetros pré-estabelecidos por órgãos reguladores (NEVERS, 1995).

3.2.4.1 Equipamentos para monitoramento da qualidade do ar

O monitoramento da qualidade do ar é determinante para a gestão da qualidade do ar, pois dará suporte para as ações a serem implantadas, que visam à melhoria da qualidade do ar, não descartando que o ser humano é o maior interessado em ter uma boa qualidade do ar, mas também é o maior responsável pela poluição da atmosfera. É através do monitoramento que se pode constatar a evolução das concentrações dos poluentes e aferir a eficácia dos processos de controle de emissões (LANDMANN, 2004).

Entretanto, para se ter uma total compreensão dos problemas causados pela poluição do ar, se faz necessário saber onde ocorrem os valores máximos das concentrações de gases e material particulado e quais as concentrações nos locais onde as pessoas estão mais expostas e para isso (LANDMANN, 2004), os equipamentos de medição devem ser capazes de garantir que os dados gerados possam ser comparados com os padrões legais de qualidade do ar (LISBOA, 2007).

Os equipamentos de medição de poluentes atmosféricos podem ser divididos em quatro tipos, dependendo da metodologia utilizada: amostradores passivos, amostradores ativos, analisadores automáticos e sensores remotos. Todos têm suas vantagens e desvantagens e são mais indicados para a mensuração dos mais diversos tipos de poluentes. O quadro 4 apresenta as metodologias existentes e as respectivas vantagens e desvantagens.

Quadro 4 - Vantagens e desvantagens dos equipamentos de medição da poluição do ar

| Equipamento | Vantagens | Desvantagens |
|--------------------------|--|---|
| Amostradores passivos | Custo muito baixo; muito simples de operar; não depende de energia elétrica; pode ser utilizado em grande número; muito útil para mapeamento espacial. | Inexistente para alguns poluentes, em geral, fornecem médias mensais ou semanais, trabalho intenso de desenvolvimento e análise, processamento lento de dados |
| Amostradores ativos | Baixo custo, fácil operação, dados confiáveis, banco de dados histórico | Fornecem médias diárias; trabalho intenso de coleta e análise em laboratório |
| Analisadores automáticos | Alta eficiência, dados horários, informações <i>online</i> | Complexos; alto custo, exigem especialização, alto custo de manutenção |
| Sensores remotos | Dados integrados espacialmente; útil para medições próximas à fonte; medidas multi- componentes | Muito complexos e caros, difícil operar, calibrar e validar, não prontamente comparáveis com medidas pontuais interferência das condições atmosféricas |

Fonte: WHO (2000)

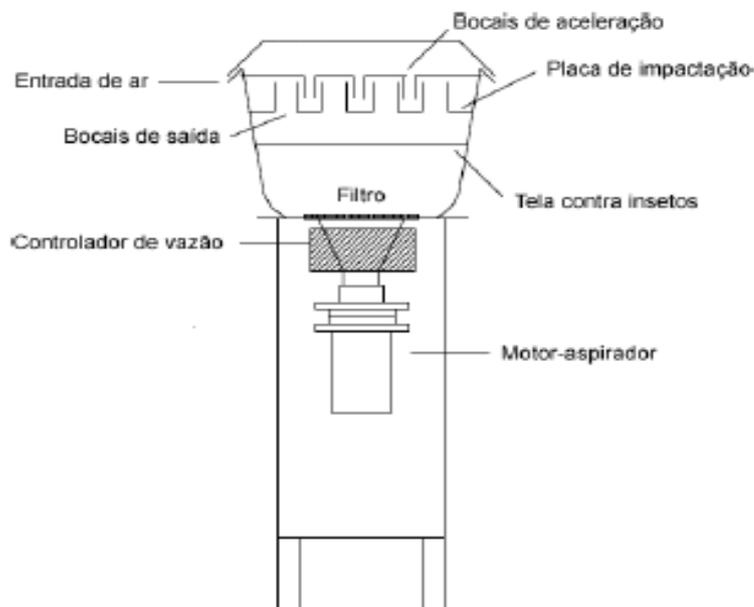
Os amostradores passivos consistem em um corpo cilíndrico com uma extremidade aberta, protegida do vento por uma membrana equivalente, para minimizar a interferência de partículas e difusão turbulenta; e outra fechada, para evitar transporte convectivo. Após o espaço de difusão, próximo a extremidade fechada, encontra-se um filtro com material absorvente, específico para cada poluente, que posteriormente, é analisado em laboratório.

Nos amostradores ativos, certo volume de gás é sugado por uma bomba e passa através de um meio coletor químico ou físico por um determinado período de tempo. A coleta pode ser feita por processo de absorção, adsorção, impactação, filtração, difusão, reação ou por uma combinação desses processos. Posteriormente, as amostras são analisadas em laboratório para determinação da concentração do poluente de interesse.

Os amostradores ativos mais utilizados são para medir SO₂ e material particulado, embora existam muitos métodos utilizados também para medir NO₂, O₂ e chumbo. O uso desse tipo de equipamento para o monitoramento de gases tem sido reduzido, com a substituição principalmente por analisadores automáticos.

Os amostradores ativos para medição de material particulado podem ainda ser divididos em: amostradores de grande volume (AGV) (figura 3), médio volume (AMV) e pequeno volume (APV), que variam em função do volume de ar amostrado.

Figura 3 - Esquema do AGV - MP10



Fonte: Lisboa (2007)

Os analisadores automáticos fornecem medidas com frequência de tempo relativamente alta. A amostra é analisada *online* e em tempo real por métodos eletroóticos (fluorescência no ultravioleta, quimiluminescência, absorção no infravermelho, absorção no ultravioleta, etc). As medias obtidas pelos analisadores automáticos possuem alto grau de precisão, mas exigem um trabalho rigoroso de operação, manutenção e controle de qualidade dos dados obtidos.

Os sensores remotos fornecem informações de concentração de poluentes em tempo real, por meio de técnicas de espectroscopia, sem a necessidade de contato direto com os elementos poluidores. São dispositivos capazes de detectar a radiação eletromagnética (microondas, infravermelho ou ultravioleta) proveniente de um poluente, transformá-la em

um sinal elétrico e registrá-lo, de tal forma que esse possa ser armazenado ou transmitido em tempo real (PAYAN et al, 2005).

Além dos métodos de monitoramento que utilizam equipamentos, ainda existe o método de avaliação da qualidade do ar por meio de bioindicadores. O biomonitoramento é um método experimental indireto de se verificar a existência de poluentes numa certa área, utilizando-se de organismos vivos, que respondem ao estresse a que se encontram submetidos por modificações nos ciclos vitais ou pela acumulação de poluentes (CARNEIRO, 2004).

3.2.4.2 Padrões de qualidade do ar

Os padrões de qualidade do ar definem legalmente o limite máximo para a concentração de um poluente na atmosfera, que garanta a proteção da saúde e do meio ambiente. De acordo com a Resolução CONAMA 003/90 são padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

São padrões primários de qualidade do ar as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. Podem ser entendidos como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em metas de curto e médio prazo (CONAMA, 2008).

São padrões secundários de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Podem ser entendidos como níveis desejados de concentração de poluentes, constituindo-se em meta de longo prazo (CONAMA, 2008).

Os parâmetros regulamentados são os seguintes: partículas totais em suspensão, fumaça, partículas inaláveis, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio (CONAMA, 2008). Os padrões nacionais de qualidade do ar são apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - Padrões nacionais de qualidade do ar

| Poluente | Tempo de amostragem | Padrão | Padrão | Método de Medição |
|--------------------------------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| | | Primário µg/m ³ | Secundário µg/m ³ | |
| Partículas totais em suspensão | 24 horas ¹ | 240 | 150 | Amostrador de grandes volumes |
| | MGA ² | 80 | 50 | |
| Partículas inaláveis | 24 horas ¹ | 150 | 150 | Separação inercial/filtração |
| | MAA ² | 50 | 50 | |
| Fumaça | 24 horas ¹ | 150 | 100 | Refletância |
| | MAA ² | 60 | 40 | |
| Dióxido de enxofre | 24 horas ¹ | 365 | 100 | Pararosanilina |
| | MAA ³ | 80 | 40 | |
| Dióxido de Nitrogênio | 1 hora ¹ | 320 | 190 | Quimiluminescência |
| | MAA ³ | 100 | 100 | |
| Monóxido de carbono | | 40.000 | 40.000 | Infravermelho não dispersivo |
| | 1 hora ¹ | 35 ppm | 35 ppm | |
| | 8 horas ¹ | 10.000 | 10.000 | |
| | | 9 ppm | 9 ppm | |
| Ozônio | 1 hora ¹ | 160 | 160 | Quimiluminescência |

1 - Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano. 2 - Média geométrica anual. 3 - Média aritmética anual.

Fonte: Resolução CONAMA nº 03 de 28/06/90

3.2.4.3 Índice de qualidade do ar

Conforme a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM), o Índice de Qualidade do Ar é uma ferramenta matemática utilizada para transformar as concentrações medidas dos diversos poluentes em um único valor adimensional que possibilita a comparação com os limites legais de concentração para os diversos poluentes denominado “Padrões de Qualidade do Ar” (PQAr), cujo objetivo é proporcionar entendimento sobre a qualidade do ar local em relação aos diversos poluentes atmosféricos existentes nas amostragens, como Partículas Totais em Suspensão, Partículas Inaláveis, Dióxido de Enxofre, Dióxido de Nitrogênio, Ozônio e Monóxido de Carbono.

Conforme estabelecido nos Padrões de Qualidade do Ar, segue as classificações (conforme FEPAM, 2000) (tabela 3).

Tabela 3 - Padrões de qualidade do ar

| Qualidade | Índice | Níveis de Cautela sobre a Saúde | PTS** (µg/m ³) | PI10 (µg/m ³) | SO ₂ (µg/m ³) | NO ₂ (µg/m ³) | CO (PPm) | O ₃ (µg/m ³) |
|-------------------|--------------|-----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|---|---|------------------------|--|
| Boa | 0-50 | | 0-80 | 0-50 | 0-80 | 0-100 | 0-4,5 | 0-80 |
| Regular | 51-100 | | 81-240 | 51-150 | 81-365 | 101-320 | 4,6-9,0 | 81-160 |
| Inadequada | 101-199 | * Insalubre para Grupos Sensíveis | 241-375* | 151-250* | 366-586* 587-800 | 321-1130* | 9,1-12,4* 12,5-15,0 | 161-322* 323-400 |
| Má | 200-299 | Muito Insalubre | 376-625 | 251-350 351-420* | 801-1600 | 1131-2260 | 15,1 -30 | 401-800 |
| Péssima | 300-399 | Perigoso | 626-875 | 421-500 | 1601-2100 | 2261-3000 | 30,1-40 | 801-1000 |
| Crítica | Acima de 400 | Muito Perigoso | > 876 | > 2100 | > 3000 | > 40 | > 1001 | |

* Os índices, até a classificação REGULAR, atendem aos Padrões de Qualidade do Ar, estabelecido pela Resolução CONAMA 03 de 28/06/1990

** PTS: Partículas Totais em Suspensão

*** PI10: Partículas inaláveis menores que 10 microns

Fonte: FEPAM (2000)

A tabela 4 apresenta um comparativo entre os padrões de qualidade do ar entre a FEPAM e o CONAMA.

Tabela 4 - Comparativos entre padrões de qualidade FEPAM e CONAMA

| Qualidade | Índice | Padrões de Qualidade do Ar* - CONAMA |
|-------------------|--------------|--------------------------------------|
| Boa | 0-50 | Abaixo dos Padrões de Qualidade > 1 |
| Regular | 51-100 | Abaixo dos Padrões de Qualidade > 2 |
| Inadequada | 101-199 | Acima dos Padrões de Qualidade |
| Má | 200-299 | Acima do Nível de Atenção |
| Péssima | 300-399 | Acima do Nível de Alerta |
| Crítica | Acima de 400 | Acima do Nível de Emergência |

* Resolução CONAMA n° 03 de 28/06/1990

> 1 Atende ao padrão primário anual

> 2 Atende aos padrões primários de qualidade

Fonte: FEPAM (2000)

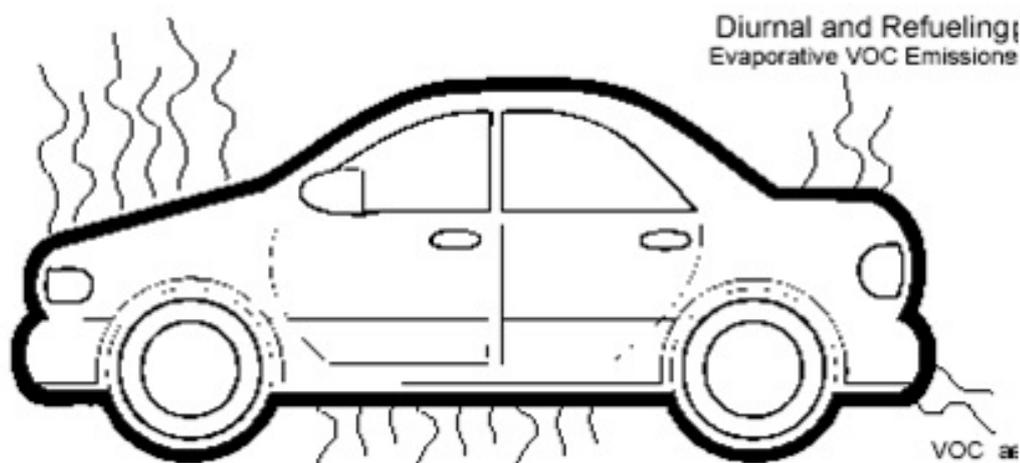
3.3 Poluentes Atmosféricos Veiculares

As fontes veiculares de poluição atmosférica, além de serem as mais importantes, aumentando sua contribuição relativa em áreas menos industrializadas, são as de mais difícil controle, devido a sua grande dispersão e de difícil acompanhamento, uma vez que o cenário sofre constantes mudanças, quer pela alteração do perfil da frota (álcool e gasolina), quer pela eventual alteração na composição dos combustíveis, ou ainda pela alteração nos valores de emissão dos veículos novos que entram em circulação (AZUAGA, 2000).

O deslocamento de um veículo por uma via qualquer ocasiona a suspensão e liberação de uma série de poluentes para a atmosfera, seja pelo atrito dos pneus com o solo, pelo aquecimento de seus componentes ou mesmo a partir dos gases liberados pelo escapamento dos motores. Dentre os resíduos produzidos, os materiais particulados apresentam-se como um dos mais significativos (AZUAGA, 2000).

As principais fontes das emissões produzidas pelos automóveis são os gases expelidos pelo sistema de escapamento e os gases originados da evaporação do combustível, ilustrados na figura 4. Os gases expelidos pelo escapamento têm origem na queima dos combustíveis fósseis e constituem as *emissões de descarga*. Já as emissões formadas pela evaporação do combustível são denominadas *emissões evaporativas*. As características do processo de formação das duas fontes de emissões veiculares são descritas na figura 4 (MONTEIRO, 1998).

Figura 4 - Diferentes meios de emissões veiculares



Fonte: Adaptado de Mehta *et al.* (2003)

3.3.1 Compostos emitidos pelos veículos

Em condições ideais, a combustão de hidrocarbonetos (combustíveis) resulta em água (H_2O) e CO_2 . Contudo, estas condições quase nunca são verificadas, ocorrendo a queima parcial do combustível e ainda reações indesejáveis. Não havendo combustão completa, acabam sobrando alguns subprodutos que vão constituir poluentes perigosos (BRANCO e MURGEL, 1995 apud AZUAGA, 2000).

As principais fontes de poluentes em um veículo, que são objeto de controle, são: a emissão evaporativa de combustível, a emissão de gases do cárter do motor e a emissão de gases e partículas pelo escapamento do veículo. Além destas, pode-se considerar, ainda, a

emissão de partículas provenientes do desgaste de pneus, freios, embreagem e o levantamento de poeira do solo.

- a) **Emissões Evaporativas:** As emissões evaporativas caracterizam-se por perdas através de evaporação de hidrocarbonetos do combustível, principalmente a temperaturas elevadas, geradas principalmente quando o carro não está em movimento (as perdas evaporativas com o carro em movimento – "*running losses*" – são geralmente desprezadas). Essas emissões são provenientes do tanque de combustível, do carburador (quando for o caso), através de vazamentos e percolações nas conexões e mangueiras (GOMES et al., 1994).
- b) **Emissões de Gases do Câster:** As emissões de gases do câster são compostas de gases de combustão que passam pelos anéis de segmento do motor e por vapores do óleo lubrificante. Nos motores atuais esses gases são canalizados ao coletor de admissão do motor para serem queimados (GOMES et al., 1994). Os hidrocarbonetos (HCs) nas suas distintas configurações são os elementos poluentes que aparecem em maior proporção nas emissões do câster (BALASSIANO, 1991).
- c) **Emissões de Escapamento:** As emissões de escapamento são os subprodutos da combustão lançados à atmosfera pelo tubo de escapamento. Os produtos da combustão completa são CO₂, H₂O e N₂, da combustão incompleta são CO, HC, aldeídos, NO_x, e ainda têm os produtos indesejáveis como material particulado e SO_x (mais expressivos em motores de ciclo Diesel), a formação de SO_x deve-se ao conteúdo de enxofre presente nos combustíveis (BALASSIANO, 1991).

4 METODOLOGIA

Segundo Jacomino *et al.* (2008), a quantificação e qualificação das emissões de poluentes nas fontes identificadas constituem-se em subsídio fundamental para uma adequada determinação do impacto destas fontes na qualidade do ar da área objeto de estudo.

A capacidade poluente dos veículos automotores é a maior dentre quaisquer outras atividades desenvolvidas pelo homem nos grandes centros urbanos. A queima do combustível pelos motores dos veículos libera diversos gases e partículas para a atmosfera, alterando sua constituição original e tornando-a poluída. Tendo em vista a intensa circulação de veículos no entorno do Centro Universitário UNIVATES, este estudo buscará quantificar e qualificar as emissões atmosféricas na área do campus a partir da seleção das vias de maior porte e fluxo, nos horários de maior movimentação de veículos.

Dentre os poluentes citados na revisão de literatura serão analisados: O_2 , CO, H_2S e compostos orgânicos voláteis (COV) existentes nas quatro principais vias de acesso à instituição, por se tratarem dos pontos de maior concentração de veículos, conforme quadro 4 e figura 5. Também se levou em consideração no momento da escolha dos pontos, os seguintes critérios:

- Locais onde os efeitos negativos do tráfego sobre as pessoas fossem significativos;
- Locais próximos ao ambiente de trabalho dos funcionários da instituição e/ou terceirizado;
- Locais próximos às novas construções, aclives e declives, curvas, cruzamentos, estacionamentos, redutores de velocidade e movimentação de pedestres.

Quadro 5 - Pontos de coleta de dados e realização das avaliações

| Ponto | Local | Altitude | Coordenadas |
|---------|--|----------|---------------------------------|
| Ponto 1 | Sede Social Univates (Rua Bento Rosa) | 37m | 29°27'05.82"S 51°56'32.68" O |
| Ponto 2 | Canteiro central Avenida Avelino Talini (frente prédio 1) | 83m | 29°26'36.86"S 51°57'21.80"O |
| Ponto 3 | Acesso principal aos prédios 11 e 12 | 79m | 29°26'39.46"S 51°57'16.30"O |
| Ponto 4 | Rótula de acesso via Avenida Alberto Müller | 76m | 29°27'6.15"S 51°56'33.95"O |

Fonte: autora

Figura 5 - Imagem de satélite do campus do Centro Universitário UNIVATES, com os pontos de coleta assinalados em amarelo



Fonte: Google Earth

Para a realização do estudo comparativo fez-se a escolha de um “ponto branco” que serviu de referência. Este ponto está localizado na Avenida Bento Rosa, onde se encontra a

Sede Social da Univates (ponto 1). A escolha do local se deu em virtude da grande arborização no entorno e a pouca circulação de veículos.

Os pontos 2 e 3 foram selecionados por se tratarem de locais de trânsito intenso e por serem os principais acessos e principais via de distribuição de veículos pelo campus. Nestes pontos existem faixas de pedestres e fiscalização de trânsito, fazendo com que haja a parada de veículos para a circulação de estudantes e, conseqüentemente, grande emissão de poluentes atmosféricos.

A rótula de acesso via Avenida Alberto Müller (ponto 4) auxilia na distribuição do fluxo de veículos em direção a área principal do campus e é a principal via de acesso aos prédios 16, 17 e Complexo Esportivo.

As avaliações e coletas de dados nos pontos levantados foram realizadas nos meses de Maio e Junho, buscando atingir os cenários meteorológicos mais críticos para a dispersão de poluentes, que são os meses de baixas temperaturas.

As medições foram realizadas no período das 12 h às 13h (período 1) e no período das 18h15min às 19h15min (período 2). Todos os pontos foram mensurados nas segundas, terças, quartas, quintas e sextas-feiras.

Para a realização das medições utilizou-se o equipamento Gas Alert Multi 5 – PID, fabricado pela empresa BW Technologies, capaz analisar e quantificar combustões e emissões de poluentes através da análise de O₂, CO, H₂S e COV.

As avaliações foram registradas em planilha de campo composta pelos seguintes itens: Ponto avaliado; Data; Período de coleta; Pressão atmosférica; Temperatura; Velocidade e direção do vento; Umidade relativa do ar; Precipitação pluviométrica, Quantificação de O₂; Quantificação de CO; Quantificação de H₂S; Quantificação de COV.

Buscando fidelidade quanto às informações meteorológicas, foram utilizados os dados do Centro de Informações Hidrometeorológicas – CIH do Centro Universitário UNIVATES.

Devido à inexistência de dados do fluxo de veículos para as vias de tráfego em questão, a contagem de veículos leves (automóveis de passeio e motos) e veículos coletivos (vans, micro-ônibus e ônibus) foi realizada a partir das vagas de estacionamento disponíveis na instituição. O mapa de distribuição de vagas de estacionamento no campus encontra-se no anexo 1.

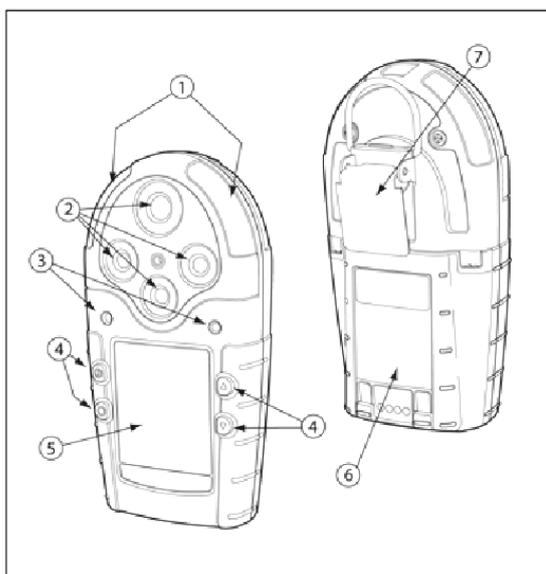
A partir destes dados se estimou a grandeza da contribuição das fontes móveis na composição total das emissões de material particulado na área.

Funcionamento do equipamento utilizado para as medidas

O equipamento faz a leitura dos gases a partir de detectores de fotoionização que utilizam iluminação ultravioleta para ionizar moléculas de gás e normalmente são empregados na detecção de compostos voláteis orgânicos (COVs), possuindo sensores de fotoionização que oferecem resposta extremamente rápida e precisa para detecção de baixas concentrações em partes por milhão (ppm) de COVs e que também respondem muito bem a todos os gases que tem potencial de ionização igual ou menor que a emissão de suas lâmpadas.

A calibração dos sensores de fotoionização normalmente é feita com isobutileno, um gás estável com odor ligeiramente forte e a leitura obtida no detector de fotoionização (PID) é a soma dos sinais de todas as substâncias presentes possíveis de serem detectadas, sempre em função da variação dos potenciais de ionização e outras propriedades físicas dos compostos, e são sempre relativas ao gás usado para calibrar o detector.

Figura 6 – Itens do equipamento Gas Alert Micro 5 - PID



| Item | Descrição |
|------|-------------------------|
| 1 | Barras de alarme visual |
| 2 | Sensores |
| 3 | Alarme sonoro |
| 4 | Botões |
| 5 | Visor |
| 6 | Pacote de Baterias |
| 7 | Clipe jacaré |

Fonte: Manual do equipamento Gas Alert Micro 5 – PID
BW Technologies

O fotoionizador utiliza uma bomba para captar a amostra para o interior do instrumento. Ali os contaminantes são expostos a uma luz ultravioleta resultando partículas carregadas negativamente (íons) que são coletadas e mensuradas.

A energia necessária para remover o elétron mais externo de uma molécula é denominada de potencial de ionização (PI) e é específico para cada substância química. A luz

ultravioleta utilizada para ionizar as substâncias químicas é emitida por uma lâmpada de descarga gasosa que contém gás a baixa pressão que permitem a passagem de corrente de alta intensidade.

Uma grande variedade de lâmpadas com diferentes energias de ionização são produzidas modificando-se a composição dos gases contidos em seu interior. Normalmente as energias de ionização das lâmpadas estão disponíveis nos valores de 8,4; 9,5; 10,0; 10,2; 10,6 e 11,7 eV (elétron-Volt). A figura 7 apresenta a fotografia do equipamento utilizado.

Figura 7 - Fotografia do equipamento utilizado para análise dos gases.



Fonte: Manual do equipamento Gas Alert Micro 5 – PID
BW Technologies

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme estudos da CETESB, os veículos são responsáveis por 97% das emissões de monóxido de carbono (CO), 97% de hidrocarbonetos (HC), 96% de óxidos de nitrogênio (NO_x), 40% de material particulado (MP) e 35% de óxidos de enxofre (SO_x).

Os poluentes presentes na atmosfera do campus do Centro Universitário UNIVATES estão principalmente relacionados à grande emissão proveniente dos veículos automotores leves e ônibus.

Através dos dados referentes ao número de veículos que circulam pelo campus diariamente, buscou-se constatar quais os dias mais propícios ao acúmulo gases poluentes na atmosfera, quantificando carros, motos, vans/ônibus e micro-ônibus. Os dados apresentados foram obtidos a partir dos levantamentos internos do centro universitário e foram classificados por tipo de veículo.

As figuras 8, 9 e 19 apresentam o número médio de veículos por dia da semana nos estacionamentos do Centro Universitário Univates.

Na quinta-feira da segunda semana ocorreu o feriado, em função disto não se tem medidas para este dia.

Figura 8 – Número de carros no Centro Universitário Univates

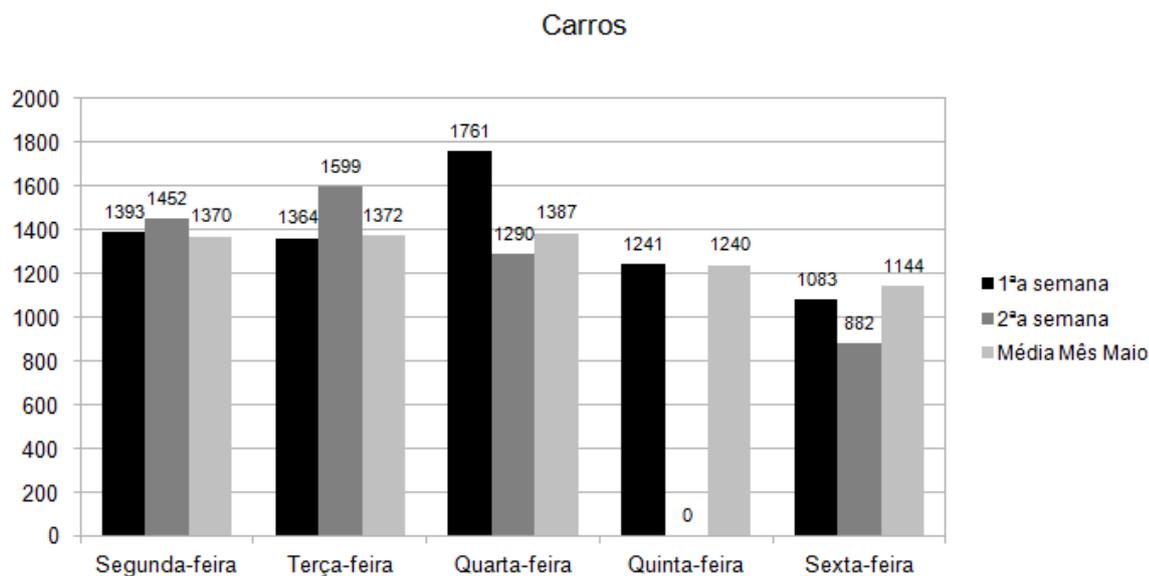


Figura 9 – Número de motos no Centro Universitário Univates

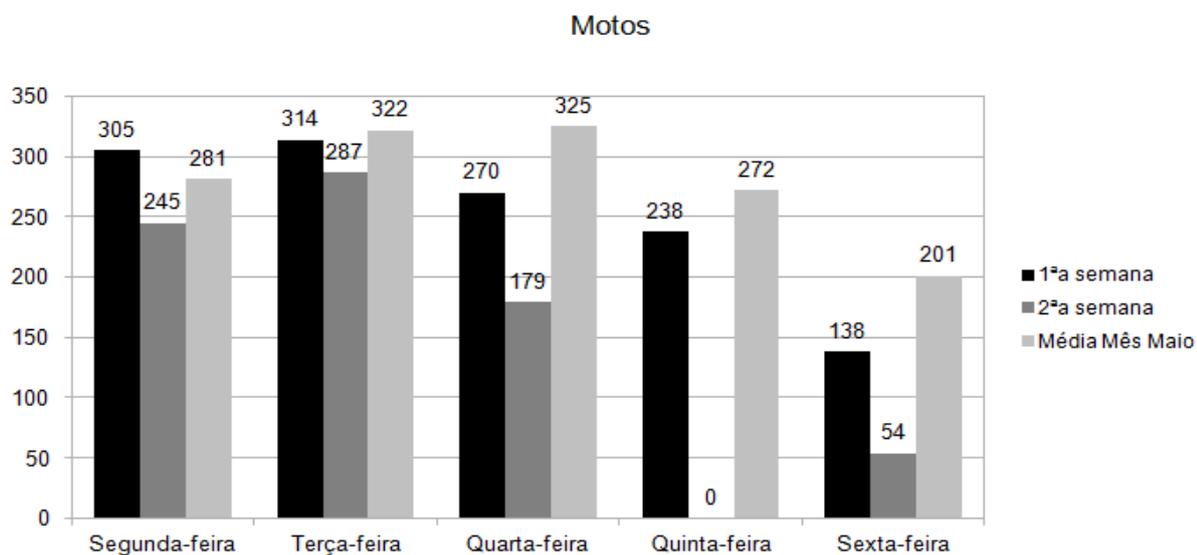
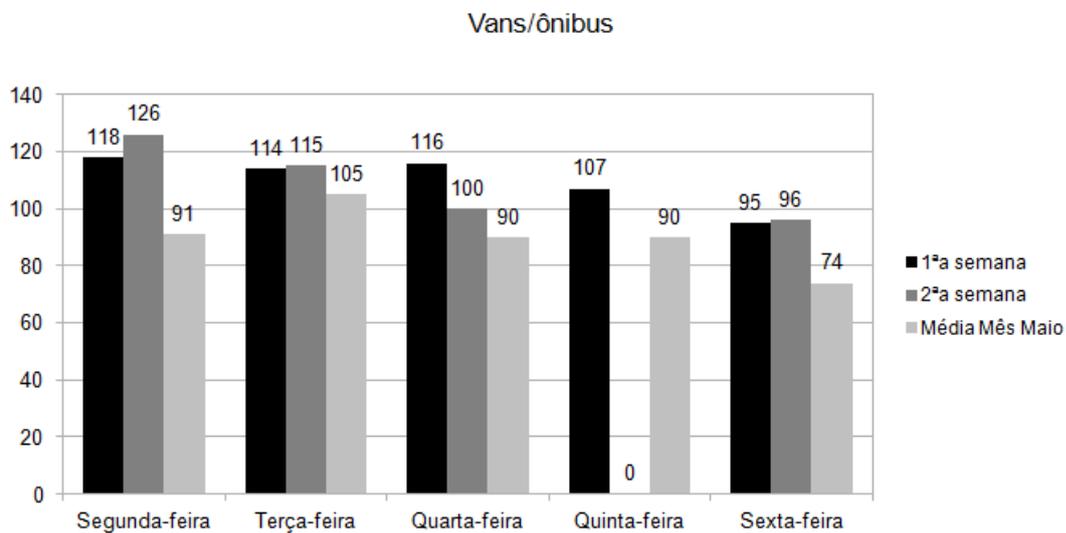


Figura 10 – Número de vans/ônibus no Centro Universitário Univates



No horário de pico da instituição (18 h 50 min às 19 h 10 min), o número de veículos leve e ônibus é intenso (figura 11), podendo ser observadas, em algumas ocasiões, a formação de nuvens isoladas de fumaça e material particulado.

Figura 11 – Tráfego intenso no horário de pico da instituição



Fonte: autora

As tabelas de 5 a 9 mostram os resultados obtidos durante as medições realizadas, por dia da semana.

Tabela 5 – Medidas realizadas em segundas-feiras

| Ponto | Data | Intervalo hora | %O2 | CO, mg/L | COV's | H2S | Temp (° C) | Veloc. Ventos | Direção Ventos | Umidade do ar (%) | Precipitação (mm) | Pressão Atmosférica |
|-------|----------|----------------|------|----------|-------|-----|------------|---------------|----------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| 1 | 28/05/12 | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 27,9 | 6,4 | NNW | 59 | 0 | 1010,1 |
| 2 | | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 27,7 | 6,4 | NNW | 60 | 0 | 1010,7 |
| 3 | | 12:00 – 13:00 | 21,3 | 0 | 0 | 0 | 27,7 | 6,4 | NNW | 60 | 0 | 1010,7 |
| 4 | | 12:00 – 13:00 | 21,2 | 0 | 0 | 0 | 27,9 | 6,4 | NNW | 59 | 0 | 1010,1 |
| 1 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 28,5 | 0 | NW | 60 | 0 | 1009,8 |
| 2 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 26 | 0 | NW | 70 | 0 | 1010,1 |
| 3 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 12 | 0 | 0 | 26 | 0 | NW | 70 | 0 | 1010,1 |
| 4 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 5 | 0 | 0 | 27,4 | 0 | NW | 64 | 0 | 1009,8 |
| 1 | 04/06/12 | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 14,6 | 1,6 | NNE | 65 | 0 | 1011,4 |
| 2 | | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 15,1 | 1,6 | W | 64 | 0 | 1011,3 |
| 3 | | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 15,1 | 1,6 | W | 64 | 0 | 1011,3 |
| 4 | | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 15,1 | 3,2 | NW | 62 | 0 | 1010,9 |
| 1 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 13,9 | 3,2 | NNW | 63 | 0 | 1011,2 |
| 2 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 11 | 0 | 0 | 12,6 | 0 | NNW | 74 | 0 | 1011,92 |
| 3 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 10 | 0 | 0 | 12,6 | 0 | NNW | 74 | 0 | 1011,92 |
| 4 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 7 | 0 | 0 | 12,7 | 0 | NNW | 73 | 0 | 1011,74 |

Tabela 6 – Medidas realizadas em terças-feiras

| Ponto | Data | Intervalo hora | %O ₂ | CO, mg/L | COV's | H ₂ S | Temp (° C) | Veloc. Ventos | Direção Ventos | Umidade do ar (%) | Precipitação (mm) | Pressão Atmosférica |
|-------|----------|----------------|-----------------|----------|-------|------------------|------------|---------------|----------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| 1 | 29/05/12 | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 29,9 | 12,9 | NW | 60 | 0 | 1008,4 |
| 2 | | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 29 | 11,3 | NW | 63 | 0 | 1009,5 |
| 3 | | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 29 | 11,3 | NW | 63 | 0 | 1009,5 |
| 4 | | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 29,4 | 11,3 | NW | 62 | 0 | 1009 |
| 1 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 29,1 | 4,8 | WNW | 58 | 0 | 1006,5 |
| 2 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 6 | 0 | 0 | 27,9 | 6,4 | NNW | 61 | 0 | 1006,3 |
| 3 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 27,9 | 6,4 | NNW | 61 | 0 | 1006,3 |
| 4 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 27,9 | 6,4 | NNW | 61 | 0 | 1006,3 |
| 1 | 05/06/12 | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 12,6 | 3,2 | NNE | 68 | 0 | 1016,8 |
| 2 | | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 12,9 | 6,4 | ENE | 67 | 0 | 1016,3 |
| 3 | | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 12,9 | 6,4 | ENE | 63 | 0 | 1015,8 |
| 4 | | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 12,6 | 1,6 | N | 63 | 0 | 1015,6 |
| 1 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 12,6 | 0 | N | 62 | 0 | 1015,52 |
| 2 | | 18:00 – 19:00 | 20,5 | 20 | 0 | 0 | 11,3 | 0 | N | 69 | 0 | 1016,05 |
| 3 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 12 | 0 | 0 | 11,3 | 0 | N | 69 | 0 | 1016,05 |
| 4 | | 18:00 – 19:00 | 20,6 | 10 | 0 | 0 | 12 | 0 | N | 64 | 0 | 1015,66 |

Tabela 7 – Medidas realizadas em quartas-feiras

| Ponto | Data | Intervalo hora | %O2 | CO, mg/L | COV's | H2S | Temp (° C) | Veloc. Ventos | Direção Ventos | Umidade do ar (%) | Precipitação (mm) | Pressão Atmosférica |
|-------|----------|----------------|------|----------|-------|-----|------------|---------------|----------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| 1 | 30/05/12 | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 20,2 | 4,8 | W | 58 | 0 | 1012,2 |
| 2 | | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 19,9 | 4,8 | SW | 63 | 0 | 1012,2 |
| 3 | | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 19,9 | 4,8 | SW | 63 | 0 | 1012,2 |
| 4 | | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 19,9 | 4,8 | SW | 63 | 0 | 1012,2 |
| 1 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 18,8 | 0 | WSW | 55 | 0 | 1013,3 |
| 2 | | 18:00 – 19:00 | 20,5 | 0 | 0 | 0 | 17,8 | 0 | W | 59 | 0 | 1014 |
| 3 | | 18:00 – 19:00 | 20,6 | 0 | 0 | 0 | 17,8 | 0 | W | 59 | 0 | 1014 |
| 4 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 17,8 | 0 | W | 59 | 0 | 1014 |
| 1 | 06/06/12 | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 12,4 | 9,7 | E | 66 | 0.00 | 1020,6 |
| 2 | | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 13,3 | 3,2 | E | 65 | 0.00 | 1020,1 |
| 3 | | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 13,3 | 3,2 | E | 65 | 0.00 | 1020,1 |
| 4 | | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 14,2 | 1,6 | E | 58 | 0.00 | 1019,5 |
| 1 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 13,7 | 3,2 | NW | 50 | 0 | 1018,81 |
| 2 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 10 | 0 | 0 | 12,6 | 1,6 | NNW | 56 | 0.00 | 1019,4 |
| 3 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 12,6 | 1,6 | NNW | 56 | 0.00 | 1019,4 |
| 4 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 14 | 0 | 0 | 12,6 | 1,6 | NNW | 56 | 0.00 | 1019,4 |

Tabela 8 – Medidas realizadas em quintas-feiras

| Ponto | Data | Intervalo hora | %O ₂ | CO, mg/L | COV's | H ₂ S | Temp (° C) | Veloc. Ventos | Direção Ventos | Umidade do ar (%) | Precipitação (mm) | Pressão Atmosférica |
|-------|----------|----------------|-----------------|----------|-------|------------------|------------|---------------|----------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| 1 | 31/05/12 | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 17,9 | 3,2 | N | 55 | 0 | 1017,1 |
| 2 | | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 16,4 | 1,6 | NNE | 65 | 0 | 1018,4 |
| 3 | | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 16,4 | 1,6 | NNE | 65 | 0 | 1018,4 |
| 4 | | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 16,7 | 1,6 | NNE | 60 | 0 | 1017,9 |
| 1 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 17,8 | 0 | NNE | 51 | 0 | 1016,2 |
| 2 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 10 | 0 | 0 | 15,1 | 0 | NNE | 69 | 0 | 1017 |
| 3 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 6 | 0 | 0 | 15,1 | 0 | NNE | 69 | 0 | 1017 |
| 4 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 15,1 | 0 | NNE | 69 | 0 | 1017 |
| 1 | 07/06/12 | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 8,3 | 1,6 | NE | 56 | 0.00 | 1027,8 |
| 2 | | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 8,3 | 3,2 | WNW | 56 | 0.00 | 1027,2 |
| 3 | | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 8,3 | 3,2 | WNW | 56 | 0.00 | 1027,2 |
| 4 | | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 8,9 | 1,6 | SSE | 54 | 0.00 | 1026,6 |
| 1 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 8,5 | 6,4 | SSE | 54 | 0.00 | 1023,6 |
| 2 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 7,6 | 4,8 | SSE | 60 | 0.00 | 1023,8 |
| 3 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 7,6 | 4,8 | SSE | 60 | 0.00 | 1023,8 |
| 4 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 7,6 | 4,8 | SSE | 60 | 0.00 | 1023,8 |

Tabela 9 – Medidas realizadas em sextas-feiras

| Ponto | Data | Intervalo hora | %O2 | CO, mg/L | COV's | H2S | Temp (° C) | Veloc. Ventos | Direção Ventos | Umidade do ar (%) | Precipitação (mm) | Pressão Atmosférica |
|-------|----------|----------------|------|--------------|-------|-----|------------|---------------|----------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| 1 | 01/06/12 | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 17,4 | 3,2 | ENE | 53 | 0 | 1019,2 |
| 2 | | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 15,3 | 3,2 | NE | 66 | 0 | 1024,4 |
| 3 | | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 15,3 | 3,2 | NE | 66 | 0 | 1024,4 |
| 4 | | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 16,3 | 1,6 | ENE | 58 | 0 | 1019,9 |
| 1 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 16,8 | 0 | SE | 57 | 0 | 1017,7 |
| 2 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 10 (pico 32) | 0 | 0 | 15,6 | 0 | SE | 63 | 0 | 1017,4 |
| 3 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 12 | 0 | 0 | 15,6 | 0 | SE | 63 | 0 | 1017,4 |
| 4 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 15,6 | 0 | SE | 63 | 0 | 1017,4 |
| 1 | 08/06/12 | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 8,2 | 1,6 | NE | 65 | 0 | 1025,3 |
| 2 | | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 9,5 | 1,6 | ENE | 61 | 0 | 1025 |
| 3 | | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 9,9 | 1,6 | E | 54 | 0 | 1024,3 |
| 4 | | 12:00 – 13:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 9,9 | 1,6 | E | 54 | 0 | 1024,3 |
| 1 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 10,1 | 0,0 | S | 51 | 0 | 1022,7 |
| 2 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 14 (pico 24) | 0 | 0 | 7,7 | 1,6 | S | 62 | 0 | 1022,9 |
| 3 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 12 | 0 | 0 | 7,7 | 1,6 | S | 62 | 0 | 1022,9 |
| 4 | | 18:00 – 19:00 | 20,9 | 0 | 0 | 0 | 7,7 | 1,6 | S | 62 | 0 | 1022,9 |

A intensificação da concentração de CO durante o começo da noite está relacionada com a intensidade do tráfego de veículos e a com menor eficiência em dispersar os poluentes na atmosfera. No final da tarde, a capacidade de diluição da atmosfera está bastante reduzida e à medida que o tráfego de veículos se intensifica, observa-se um aumento progressivo na concentração de monóxido de carbono (CODATO et al., 2008).

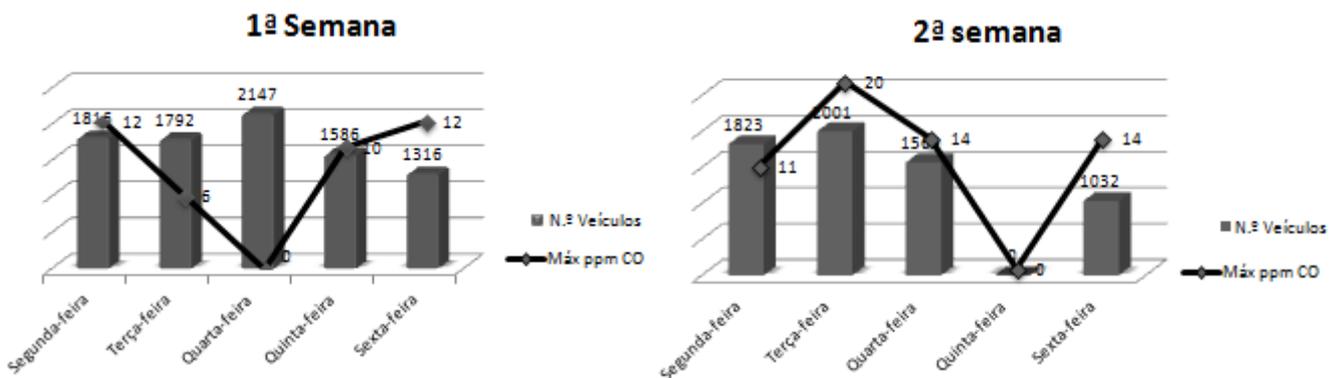
Deve ser ressaltado que, os baixos valores da concentração de CO em todos os pontos propostos nas medições durante o primeiro período (12 h às 13 h) estão diretamente relacionados ao fato da inexistência de tráfego de veículos.

Observou-se também que, por mais intenso que o fluxo de veículos seja no período 2, não houve variações nos índices de COVs e H₂S, apresentando este estudo apenas variações do poluente monóxido de carbono.

Através dos gráficos comparativos entre a máxima concentração de poluentes e o número total de veículos no campus (figura 11) pode-se observar que não somente o número total de veículos influencia na concentração do monóxido de carbono, uma vez que as maiores concentrações do gás não estão diretamente ligadas ao maior número de veículos.

Na figura 12 pode-se observar que, medições realizadas nas quartas-feiras, dias de maior fluxo de veículo no campus, as concentrações máximas de CO foram inferiores na primeira semana ou iguais na segunda semana às das sextas-feiras, dia em que o fluxo de veículos no campus é consideravelmente menor.

Figura 12 - Gráfico comparativo total veículos/dia X máx. concentração CO



Ressalta-se que durante o segundo período de monitoramento, no horário das 18 h 50 min às 19 h 10 min, os pontos 2 e 3 apresentaram tráfego intenso de veículos pesados, sendo a maioria ônibus destinados ao transporte coletivo de estudantes, o que contribuiu efetivamente para os resultados obtidos nas medições.

Razão disto, a maior concentração de poluentes foi identificada no ponto 2 no horário das 18 h às 19 h, ponto de maior fluxo de veículos em virtude de sua localização estratégica para distribuição de estudantes. Neste ponto foram observados dois picos de concentração de poluentes, ambos captados em um momento de chegada de passageiros próximo à faixa de segurança existente em frente a primeira parada de ônibus da Avenida Avelino Talini. Nestas oportunidades foram constadas concentrações de 32 e de 24 ppm CO.

Os dados da concentração de monóxido de carbono obtidos neste estudo evidenciam picos de concentrações deste gás acima de 9 ppm, valor máximo, estabelecido pela resolução CONAMA 003/90, a qual recomenda que tal concentração (acima de 9 ppm) não deva ocorrer mais que uma vez ao ano, quando configuradas medições contínuas, pelo período de oito horas diárias. Em virtude das medições terem sido realizadas por um curto espaço de tempo, as concentrações devem obedecer ao limite de 35 ppm (limite de exposição para uma hora diária).

Conforme se visualiza nas figuras 13 e 14 as concentrações máximas diárias de CO, durante o período de monitoramento, não ultrapassam esse limite.

Figura 13 – Medidas de CO de segunda à sexta-feira nos diferentes pontos (1ª semana de medição)

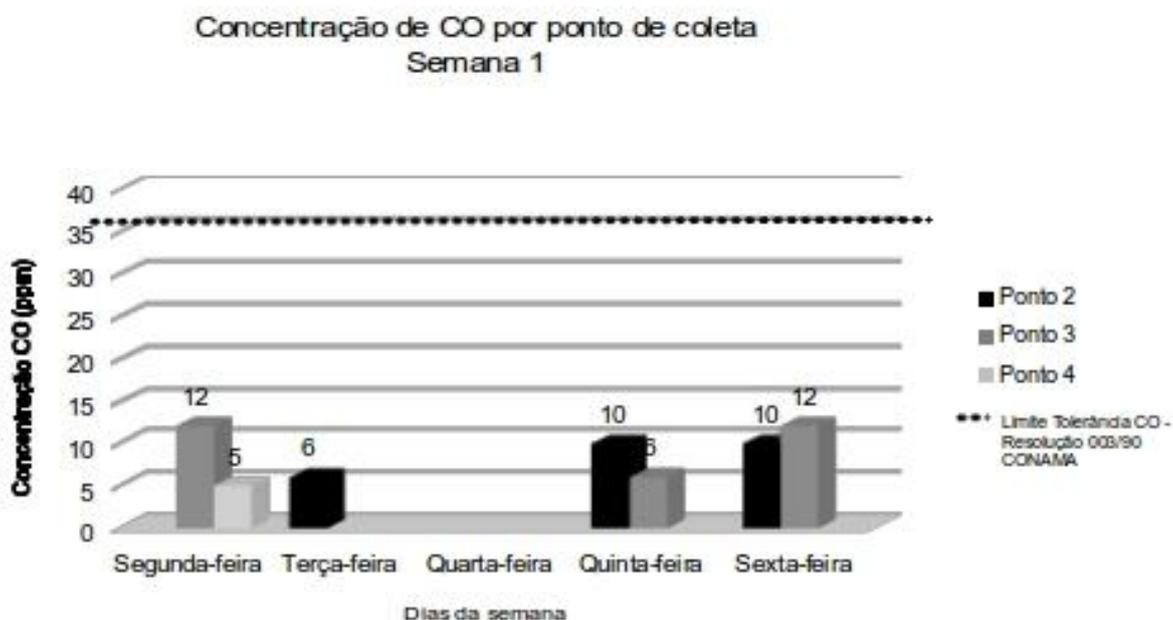
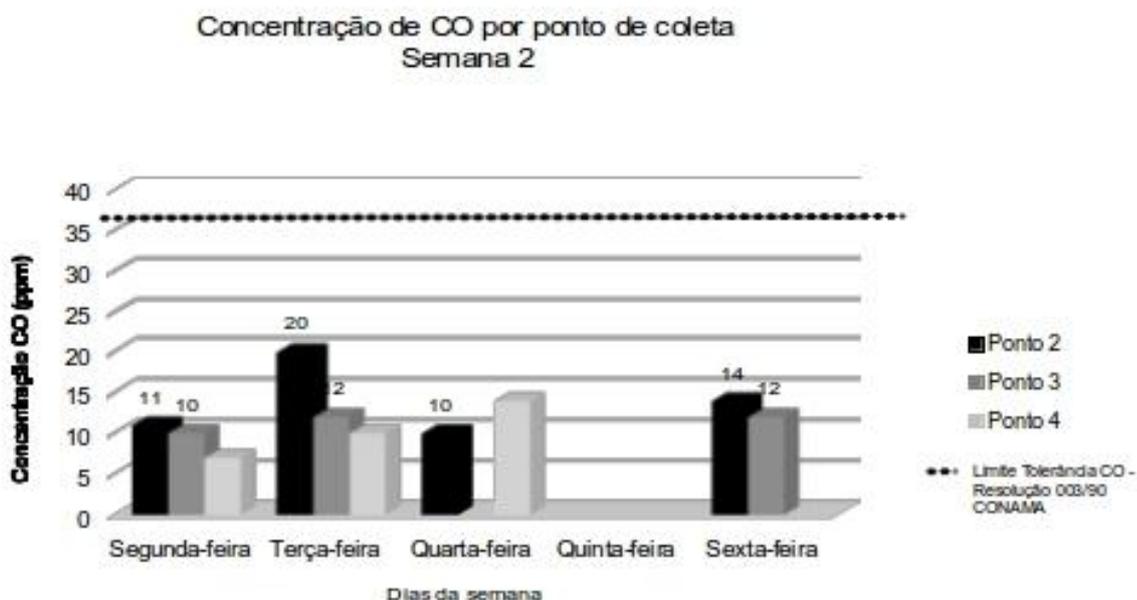


Figura 14 – Medidas de CO de segunda à sexta-feira nos diferentes pontos (2ª semana de medição)



No ponto 2 verificaram-se picos de concentrações que ultrapassam o limite estabelecido pela legislação, atingindo muito além de 9 ppm, chegando a 32 ppm. Caso essa situação se apresentasse como uma constante no campus seria caracterizada como uma desconformidade com a legislação vigente, uma vez que este valor também pode apresentar riscos à saúde humana, de acordo com Castro (2008) o CO por ser uma substância invisível e inodora que dificulta o transporte do oxigênio na corrente sanguínea, ocasiona graves transtornos de saúde pública, e até mesmo pode levar ao óbito em grandes concentrações, porém, os resultados apresentados foram exclusivamente obtidos no horário de pico da instituição, cujo limite é 35 ppm.

Durante os períodos de coleta não foram registradas precipitações, não podendo assim avaliar a interferência pluviométrica na dispersão dos poluentes. Esta condição de seca tem sido uma constante no decorrer do ano de 2012, em virtude da ocorrência do Fenômeno La Niña, que traz períodos de estiagem ao Sul do país.

O Fenômeno La Niña age de forma contrária ao El Niño, correspondendo ao resfriamento anômalo das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial Central e Oriental, onde os ventos alísios mostram-se mais intensos que o habitual fazendo com que as frentes frias que atingem o centro-sul do Brasil tenham sua passagem mais rápida que o

normal e com mais força, ocorrendo conseqüentemente uma redução nos índices pluviométricos e uma facilidade em alcançar o nordeste brasileiro.

Conforme os dados meteorológicos apontados e relacionados com os períodos de medição, se pode constatar que as variações de temperatura e umidade do ar possuem significativa influência na dispersão dos poluentes, uma vez que nos dias de menores temperaturas e maiores porcentagens de umidade do ar, a concentração de CO se mostrou mais elevada. Não se pode avaliar as influências do vento, pois os registros das velocidades deste fator foram pouco significativos. Segundo o zoneamento de uso do solo urbano do município de Lajeado, a área em que o campus está instalado é classificada como Unidade Territorial Especial, não podendo existir indústrias no entorno, e, portanto, não existindo fontes externas que pudessem influenciar nas amostras coletadas.

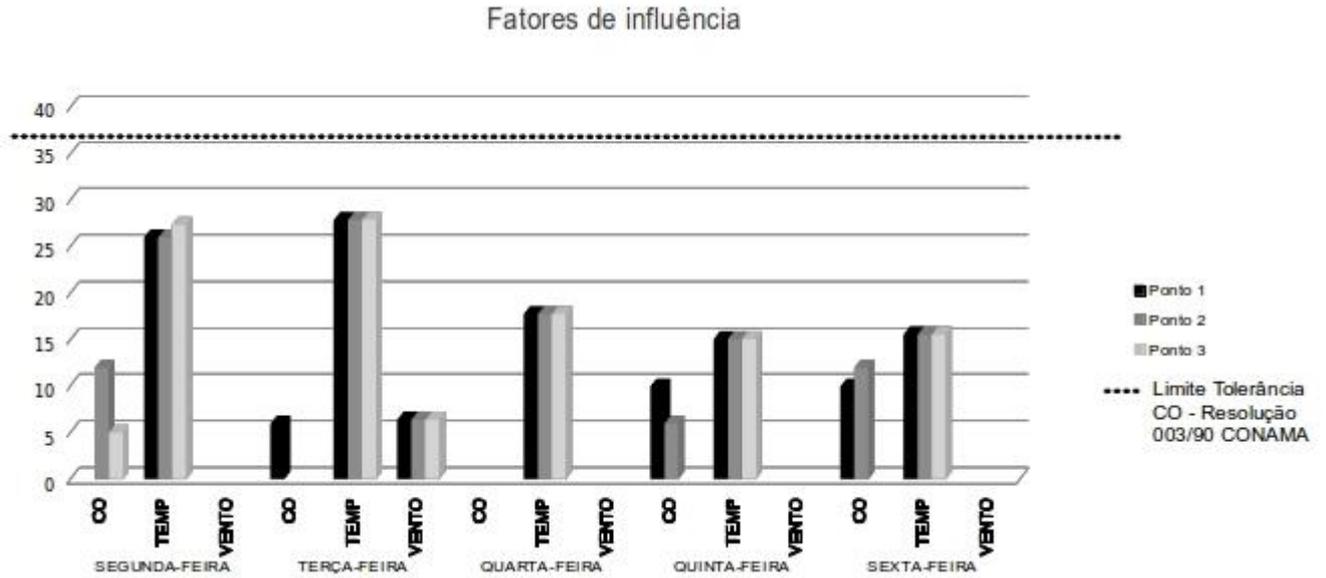
Além da influência dos ventos, parâmetros como temperatura e umidade relativa do ar também foram analisados em virtude de sua importância para a dispersão de poluentes atmosféricos. Devido a perda de calor ocasionada pelas baixas temperaturas, o ar mais próximo à superfície fica mais frio que o da camada superior, influenciando diretamente na sua movimentação, fazendo com que a camada de ar frio fique retida nas regiões próximas à atmosfera terrestre, dificultando a dispersão de poluentes, bem como índices altos de umidade relativa do ar fazem com que os poluentes interajam em reações oxidativas (BRAGA 2002, apud VIEIRA), fazendo conseqüentemente com que haja um aumento nas concentrações de CO.

As figuras 15 e 16 mostram os parâmetros analisados durante a primeira e segunda semana.

Figura 15 – Parâmetros analisados durante a primeira semana



Figura 16 – Parâmetros analisados durante a segunda semana



A umidade relativa do ar teve média de 60% na primeira semana e de 65% na segunda semana, não variando muito estes valores. Em virtude desta pouca variação não se conseguiu visualizar a relação umidade e aumento da concentração de CO.

6 CONCLUSÃO

O Centro Universitário UNIVATES possui aproximadamente 12 mil alunos, podendo ser comparada a uma cidade do vale, suscetível a problemas ambientais, entre os quais se destaca a deterioração da qualidade do ar, devido às emissões atmosféricas.

A poluição atmosférica tem sido estudada por causar sérios danos ao meio ambiente e por afetar a saúde humana, os ecossistemas e os materiais. Estudos mostraram que quando exposta a altos níveis de poluição, a população pode sofrer de sérias infecções respiratórias, doença crônica pulmonares, e câncer pulmonar.

A frota de veículos que circula pelo campus diariamente representa cerca de 2% do total do de veículos de todo o Vale do Taquari (Banco de Dados Regional Univates) e é a principal fonte de monóxido de carbono devido em grande parte à combustão incompleta de combustível. Desta forma, é importante conhecer o comportamento deste poluente.

Pode-se constatar com o presente estudo que, a presença do monóxido de carbono nos principais pontos de distribuição de estudantes e de circulação de veículos não ultrapassou o padrão primário estabelecido pela resolução CONAMA 03/90 (35 ppm), porém, constatou-se presença de elevadas concentrações de poluentes na atmosfera em curto período de tempo, resultante das condições meteorológicas desfavoráveis a dispersão de poluentes, o que pode ser caracterizado como episódios críticos de poluição do ar, conforme a referida resolução.

Além disso, pode-se verificar que as variações de concentração dos poluentes estão diretamente ligadas à quantidade de veículos e suas características (veículos leves ou pesados, tipo de combustível, ano de fabricação), porém, essas variações podem ser acentuadas pelos fatores meteorológicos, principalmente nos períodos de outono e inverno, quando as tempera-

turas mais baixas, aliadas a alta umidade relativa do ar característica desta região.

Através das medições, pode-se identificar o ponto crítico de emissões veiculares (ponto 2), bem como pode-se constatar que o ponto branco escolhido atende às características de qualidade do ar.

Constatou-se a partir dos resultados deste trabalho, que se faz necessário um estudo de ampliação das vias de tráfego para a diminuição da concentração de poluentes, a manutenção das áreas verdes no entorno do campus, para amenizar os efeitos de ilha de calor criado pela concentração de poluentes e crescimento infra-estrutural do campus.

Sugere-se que a instituição solicite das empresas responsáveis pelo transporte coletivo de estudantes, laudos periódicos que comprovem o controle de emissões de gases de efeito estufa, conforme o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) estabelecido pelo CONAMA em 1996, bem como, sugere-se que sejam mensuradas as partículas totais em suspensão, dióxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos e demais orgânicos voláteis, com equipamentos apropriados, como estações de medida da qualidade do ar e uso de bioindicadores.

É de fundamental importância que estudos futuros avaliem as concentrações de poluentes atmosféricos em cenários meteorológicos distintos acompanhando a expansão do campus universitário, as alterações no fluxo viário e as possíveis implicações na qualidade do ar das áreas circunvizinhas a instituição.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F.A., **O Bom Negócio da Sustentabilidade**. Editora Nova Fronteira, 2002. Rio de Janeiro/RJ, ISBN 8520912664.
- ALMEIDA, I.T., **A Poluição Atmosférica por Material Particulado na Mineração a Céu Aberto**, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP, 1999.
- ALVES, C.M., **Modelos Estocásticos para Tratamento da Dispersão de Material Particulado na Atmosfera**, Tese de Doutorado, LNCC, Rio de Janeiro, RJ, 2006.
- AMORIM. **Monitoramento da concentração e caracterização do material particulado suspenso na atmosfera**. Tese de doutorado – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2004.
- ASSUNÇÃO, J. V. **Poluição atmosférica**. In: CASTELLANO, E. G. ed. **Desenvolvimento sustentado: problemas e estratégias**. São Paulo, Academia de Ciências do Estado de São Paulo, SP, 1998. P. 271-308.
- AZUAGA, D., **Danos Ambientais Causados por Veículos Leves no Brasil**, Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, , Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2000.
- BALASSIANO, R., **Alternativas Tecnológicas para o Ônibus Urbano: Avaliação do Ônibus a Gás Natural Comprimido, do Tróleibus e de seus Impactos Ambientais Atmosféricos**. Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1991.
- CARNEIRO, R.M.A. **Bioindicadores vegetais de poluição atmosférica: uma contribuição para a saúde da comunidade**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, 2004
- CASTRO, C.F.C. **Avaliação de fatores intervenientes nas emissões veiculares em corredores de ônibus**. 2008, 164p. Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Ciências Atmosféricas para obtenção do título de Mestre em Ciências Atmosféricas – USP, São Paulo/SP, 2008.
- CAVALCANTI, P.M.S., **Avaliação dos Impactos Causados na Qualidade do Ar pela Geração Termelétrica**. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2003.

CAVALCANTI, P.M.P.S., **Modelo de Gestão da Qualidade do ar – Abordagem Preventiva e Corretiva**, Tese de Doutorado COPPE/UFRJ em Planejamento Energético, Rio de Janeiro, RJ, 2010.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br>.

CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental, **Legislação Federal (Leis e Decretos), Série Documentos**, São Paulo, 1994.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL 1999, **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo** – São Paulo, SP.

CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental, **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo** – 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, **Estudo do Comportamento do Ozônio na Região Metropolitana de São Paulo**, São Paulo, 2002.

CLEMENTE, D. A., **Estudo de Impacto Ambiental das Fontes Industriais de Poluição do Ar no Município de Paulínia – S.P. Empregando Modelo ISCST3.2000. C.591e**: Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2000.

CODATO, GEORGIA **Simulação numérica da evolução diurna do monóxido de carbono na camada limite planetária sobre a RMSP com modelo LES**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Ciências Atmosféricas para obtenção do título de Mestre em Ciências Atmosféricas – USP, São Paulo/SP, 2008.

CONAMA, **Resoluções do CONAMA 1984-2008**, 2ª. Edição, Brasília, 2008.

COLOMBO, B.A., et al. **Responsabilidade Social das Empresas – A contribuição das universidades**. Volume 5, Editora Pierópolis, 2006, São Paulo/SP, ISBN 85-7596-075-X.

FUJIHARA, M.A e LOPES F.G., **Sustentabilidade e Mudanças Climáticas**, Editora SENAC, São Paulo/SP, 2009, ISBN 978-85-7359-918-3

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL LUÍS HENRIQUE LUIZ ROESSLER - FEPAM, disponível em <http://fepam.rs.gov.br>, acesso em Outubro de 2011

GIANNETTI, B.F. e ALMEIDA, C. B., **Ecologia Industrial**, São Paulo, SP, 2007.

GOMES, S-M. D., SILVA, M. A. e FIGUEIREDO, M. A. G. de, **Estudo do Impacto da Utilização dos Oxigenados na Redução das Emissões Veiculares**, Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1994.

LANDMANN, M.C, **Estimativa das Emissões de Poluentes dos Automóveis na Região Metropolitana de São Paulo Considerando as Rotas de Tráfego**, Doutorado em Ciência Ambiental, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo/SP, 2004.

LISBOA, H. de M., **Controle da Poluição Atmosférica**, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, SC, 2007.

LUSTOSA, M.C.J, et al., **Economia do Meio Ambiente: teoria e prática**, Editora Campus. 2ª tiragem. Rio de Janeiro/RJ, 2003. São Paulo/SP, ISBN 85-352-0965-4.

Manual do equipamento GasAlertMicro 5 – PID, fornecedor BW Technologies

MELO, G. C. B., **Efluentes atmosféricos e qualidade do ar**. Apostila da escola de Engenharia da UFMG. 1996. (Uma excelente introdução ao estudo da poluição atmosférica).

MENINI, S.E., **Análise do Perfil de Emissões Atmosféricas para o Sistema de Transporte Público por Ônibus Híbrido e Movido a Gás Natural: O Caso de Juiz de Fora**, Tese de Mestrado, COOPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2004.

MMA (Ministério do Meio Ambiente, disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=313>, acesso em: junho/2012.

MONTEIRO, A., **Estratégia de Redução de Emissões de Poluentes no Setor de Transportes por Meio de Substituição Modal na Região Metropolitana de São Paulo**. Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 1998.

NETO, J. B. R., **Sistemas de Gestão Integrados: qualidade, meio ambiente, responsabilidade social e segurança e saúde no trabalho**, Editora SENAC, São Paulo, SP, 2008. ISBN 978-85-7359-718-9.

NEVERS, N., **Air Pollution Control Engineering**, Waveland Press, Long Grove, IL, ISBN 9781577666745, 1995.

PAYAN, S. et al. **A review of remote sensing techniques and related spectroscopy problems**. Comptes Rendus Physique, V. 36, p 4555-4561, 2002.

PINTO, P.M.G.da C., **Análise das Emissões Veiculares em Regiões Urbanas e Metodologia para Quantificação de Poluentes**, Tese de Mestrado, UERJ, Rio de Janeiro, RJ, 2005.

RADAMBRASIL, IBGE. **Levantamentos de Recursos Naturais**. Vol. 33, 1996.

SALA, J. F., **Valoração dos Custos Ambientais Relacionados à Saúde – Estudo de Caso: Setor de Transportes da Cidade de São Paulo**. Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1999.

SALDIVA, P.H.N. **Poluição atmosférica e saúde: uma abordagem experimental**. GREEPEACE, SOS, chega de poluição. Brasil, 1998.

SANTI, A. M.M., **Monitoramento da Qualidade do Ar: Avaliação de Metodologia Baseada no Licenciamento Ambiental**, XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2010.

SANTOS, E.L., **Avaliação do Conceito Bolha como Critério de Compensação Ambiental em Licenciamento de Atividades Poluidoras do Ar Atmosférico** – Estudos de Caso no Estado de São Paulo, Dissertação de Mestrado, UFScar, São Paulo, SP, 2004.

SILVA, J.E.C., **Equipamentos de medição de gases analisadores Multiwarn II e Miniwarn**

TAUCHEN, J. A., **Um modelo de Gestão Ambiental para a Implantação em Instituições de ensino superior**, 2007, 149f. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade de Passo Fundo, 2007.

TOMASINI, J., **Padrão de Variabilidade do Vento à Superfície em Lajeado, Rio Grande do Sul, Brasil: Implicações Ambientais**. Monografia de Bacharelado em Engenharia Ambiental, UNIVATES, Lajeado, RS, Brasil, 2011

VALLE, C.E.do, **Como se preparar para as normas 14000: Qualidade Ambiental: O desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente**. 3ª edição, Biblioteca Pioneira de Administração e Negócios, 2000. São Paulo/SP ISBN 85-221-0010-1.

VAREJÃO-SILVA, M.A., **Meteorologia e Climatologia**, Versão Digital 2, Recife, PE, Brasil, 2006

VIEIRA, N. R., **Poluição do ar: Indicadores ambientais** - Editora E-papers, Rio de Janeiro – RJ, 2009, ISBN 978 85 7650 2159.

WHO. **Guidelines for air quality**.Geneva, 2000