



Sociedade & Natureza

ISSN: 0103-1570

sociedadennatureza@ufu.br

Universidade Federal de Uberlândia

Brasil

Rosa dos Santos, Alexandre; Schwartz Varejão, André; Gomes da Silva, Kmila  
MODELAGEM DO IMPACTO DA AMPLIAÇÃO DA AVENIDA FERNANDO FERRARI (VITÓRIA- ES)  
NA QUALIDADE DO AR EM SUA REDONDEZA  
Sociedade & Natureza, vol. 23, núm. 2, mayo-agosto, 2011, pp. 249-262  
Universidade Federal de Uberlândia  
Uberlândia, Minas Gerais, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321327202008>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica  
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## MODELAGEM DO IMPACTO DA AMPLIAÇÃO DA AVENIDA FERNANDO FERRARI (VITÓRIA- ES) NA QUALIDADE DO AR EM SUA REDONDEZA

### Modeling The Impact Of The Fernando Ferrari Avenue (Vitória – ES) Amplification On The Air Quality In The Nearby Area

Alexandre Rosa dos Santos

Eng. Agrônomo, D.Sc., Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Rural – UFES – Universidade Federal do Espírito Santo  
Vitória/ES – Brasil  
mundogeomatica@yahoo.com.br

André Schwartz Varejão

Geógrafo – UFES – Universidade Federal do Espírito Santo  
Vitória/ES – Brasil  
andrevarejao@hotmail.com

Kmila Gomes da Silva

Bióloga, mestranda – UFES – Universidade Federal do Espírito Santo  
Vitória/ES – Brasil  
kmila22@yahoo.com.br

Artigo recebido para publicação em 27/09/2010 e aceito para publicação em 25/07/2011.

**RESUMO:** *Estudou-se a influência da ampliação da Avenida Fernando Ferrari, Vitória-ES, e consequente aumento no fluxo de veículos, sob a qualidade do ar nos bairros localizados as redondezas do local e o montante populacional sob efeito da poluição. Para detectar e documentar a abrangência, concentração e dispersão desses gases, foram gerados mapas de isoconcentrações de poluentes ( $\text{NO}_x$  e  $\text{PM}_{10}$ ) provenientes de veículos, nos anos de 2004 e 2010 e realizada uma projeção para o ano de 2014. O estudo foi desenvolvido em cinco fases distintas e para tanto, utilizou-se os aplicativos computacionais: EXCEL; RAMMET; WRPLOT; ENVIMAN 2.0.50 (aplicativo computacional AERMOD); SURFER 3.2 e ArcGIS 8.3. Verificou-se aumento da abrangência da isolinha de concentração anual do ponto de máxima para os poluentes  $\text{NO}_x$  e  $\text{PM}_{10}$ , que afetarão, respectivamente, 4.63 e 4.48 vezes mais habitantes no ano de 2014, quando comparado ao ano de 2004. O maior montante populacional sob efeito da poluição nos anos estudados ocorrerá nos seis primeiros anos após a conclusão da ampliação da avenida, porém, esse aumento não chegará a ser nocivos a saúde humana, segundo os padrões de qualidade do ar da resolução CONAMA nº 003.*

**Palavras-chave:** Poluentes atmosféricos. Sistema de Informação Geográfica (SIG). Qualidade do ar.

**ABSTRACT:** *The influence of Fernando Ferrari Avenue, Vitória - ES, Brazil, amplification, and consequent increase on the vehicles flood, upon air quality in the quarters located nearby the site and the affected populational amount were studied. For the scope detection and documentation, concentration and dispersion of these gases, pollutant isoconcentration maps ( $\text{NO}_x$  and  $\text{PM}_{10}$ ) proceeding from vehicles were generated in the years 2004 and 2010, and a prospection for the year 2014 was accomplished. The study was developed*

*in five distinct phases and for that, the following computational applications were used: EXCEL; RAMMET; WRPLOT; ENVIMAN 2.0.50 (computational application AERMOD); SURFER 3.2 and ArcGIS 8.3. It was verified the increase of the annual concentration of the isoline scope of the maximum point for the pollutants  $\text{NO}_x$  and  $\text{PM}_{10}$ , which will affect, respectively, 4,63 and 4,48 times more habitants in the year 2014, when compared to the year 2004. The higher scope of affected population in the studied years will happen in the six first years after conclusion of the avenue amplification; nevertheless, this increase will not come to be noxious to human health, according to the air quality standard of CONAMA n° 003 resolution.*

**Keywords:** Atmospheric pollutants. GIS. Air quality.

---

## INTRODUÇÃO

Desde a primeira metade do século XX, a poluição atmosférica é considerada um grave problema nos grandes centros urbanos, sendo os automóveis e fábricas as principais fontes poluidoras (SALDIVA, BRAGA; PEREIRA; 2002). Conforme o mesmo autor, episódios de poluição excessiva foram formalmente correlacionados ao aumento do número de mortes em algumas cidades da Europa e dos Estados Unidos.

Os congestionamentos frequentes nos horários de pico nas principais vias de fluxo do município de Vitória, estado do Espírito Santo – Brasil levou à necessidade da ampliação da Avenida Fernando Ferrari, de duas pistas em cada sentido da via, para três pistas, com o objetivo de organizar e facilitar o trânsito no local.

Apesar da investigação de poluentes na atmosfera ser uma atividade fundamental para a proteção da qualidade do ar, fatores como localização dificultam o processo, pois a maioria dos grandes centros se encontram em regiões heterogêneas em se tratando de relevo, tipos de solo e ocupação onde, por consequência dos aspectos do terreno a caracterização e previsão da dispersão dos contaminantes é dificultada (MORAES, 2004). Portanto, no processo de medição dos poluentes, o vento é tomado como um dos agentes principais, sendo este usualmente medido pelas componentes horizontais de sua velocidade.

Em virtude da conservação dos recursos atmosféricos e as implicações advindas da degradação dos mesmos, surgiu a idéia da criação de dispositivos legais, que estabeleceram parâmetros e diretrizes para o gerenciamento dos recursos atmosféricos por

parte do poder público ou por meio de instituições competentes. Deste modo, o grupo de poluentes tomado como indicador universal de qualidade do ar é: dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), material particulado ( $\text{PM}_{10}$ ), monóxido de carbono (CO), ozônio ( $\text{O}_3$ ) e dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ). O motivo do estabelecimento desses parâmetros está relacionado à sua maior frequência de ocorrência e aos efeitos adversos que causam ao meio ambiente (CETESB, 2006).

Considerado o transportador mais eficiente de poluentes atmosféricos para o interior do organismo, o poluente  $\text{PM}_{10}$  tem recebido especial atenção nos estudos de poluição atmosférica. Caracterizado como um material que se agrega aos demais poluentes tornou-se o mais tóxico e o principal responsável pelo aumento da mortalidade por distúrbios respiratórios e cardiovasculares (GIODA; GIODA, 2006). Por sua vez, foi constatado que os efeitos tóxicos dos óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), atuam principalmente na saúde das crianças aumentando as queixas respiratórias e complicando a função pulmonar. O poder reativo e oxidante deste poluente faz com que sua concentração seja baixa no ambiente, o que o torna menos nocivo em relação aos demais (GOMES, 2002).

No Brasil os padrões de qualidade do ar foram estabelecidos pela Resolução CONAMA 03/90 contemplando os parâmetros: partículas totais em suspensão, partículas inaláveis, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio, dióxido de nitrogênio e fumaça. Desta forma, os poluentes considerados neste estudo foram: emissões de óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e material particulado, que neste tipo de atividade é constituído basicamente por partículas inaláveis ( $\text{PM}_{10}$ ).

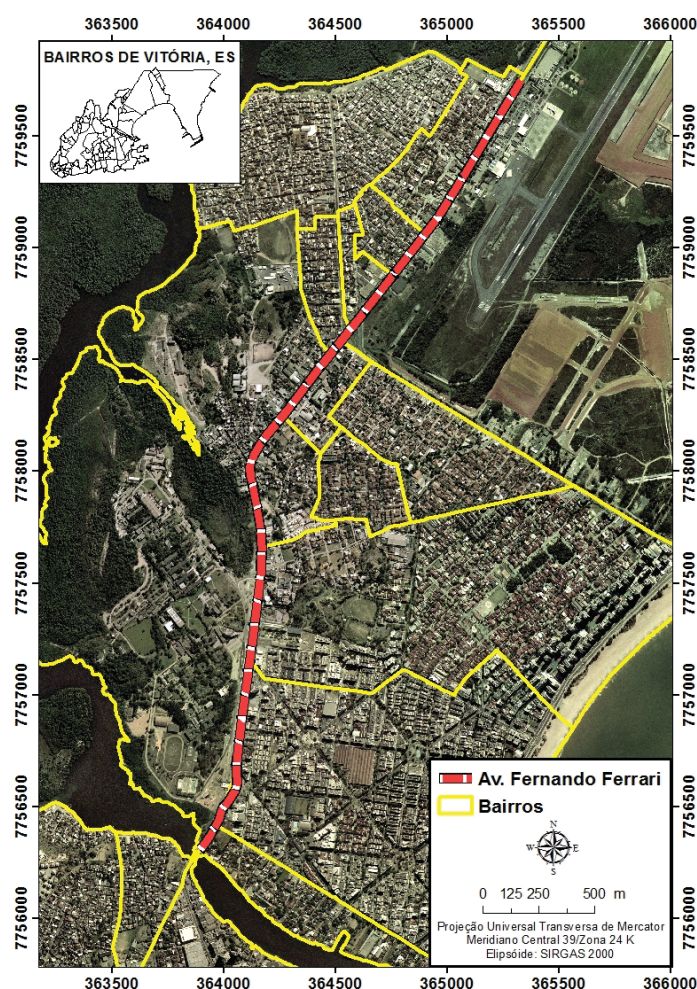
Nas últimas décadas pesquisas relacionadas às emissões de poluentes de fontes móveis têm sido realizadas principalmente em regiões metropolitanas brasileiras, isto se deve o maior destaque da degradação da qualidade do ar ocorrer em grandes centros urbanos. Com intuito de analisar a influência da poluição proveniente de fontes veiculares na qualidade do ar, Teixeira et al. (2008) elaboraram um inventário de emissões veiculares na Região Metropolitana de Porto Alegre com os poluentes monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), material particulado (MP) e aldeídos (RCHO). Ueda e Tomaz (2011) propuseram um estudo semelhante, porém estabeleceram medidas de controle e prevenção da qualidade do ar, bem como programas de inspeção e manutenção de veículos para a Região Metropolitana de Campinas.

O presente trabalho teve por objetivo estudar a influência da ampliação da Avenida Fernando Ferrari, Vitória, Espírito Santo - Brasil, sob a qualidade do ar nos bairros localizados as redondezas do local e quantificar o montante populacional atingido pelos poluentes ( $\text{NO}_x$  e  $\text{PM}_{10}$ ).

## MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado no ano de 2004, na região metropolitana de Vitória, estado do Espírito Santo – Brasil, enfatizando a qualidade do ar do município em questão, localizado entre as coordenadas geográficas  $19^\circ 48'$  e  $20^\circ 48'$  de latitude Sul e  $40^\circ 12'$  e  $40^\circ 48'$  de longitude Oeste, com uma população de aproximadamente 320.156 habitantes (IBGE, 2009b) (Figura 1).

Figura 1: Localização geográfica da área em estudo - Avenida Fernando Ferrari e bairros ao seu entorno, Vitória, ES.





A avenida Fernando Ferrari, foco deste estudo, é considerada uma das principais vias de fluxo que liga municípios do Sul da Grande Vitória a vários municípios do Norte do estado do Espírito Santo por meio da BR-101, além de ser uma região composta por instalações comerciais. Segundo Berredo (2000), a avenida Fernando Ferrari é uma via de capacidade limitada, com duas faixas por sentido, composta por calçadas e canteiros estreitos, o fluxo de ônibus enfrenta constantes problemas diante da deficiência das vias de acesso à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

Em consequência do aumento no fluxo de veículos após a finalização das obras de ampliação da avenida, verifica-se um aumento na emissão de gases poluentes na atmosfera, influenciando negativamente a qualidade do ar na região. Para visualizar esta influência e dispersão dos poluentes atmosféricos, propôs-se a adoção do aplicativo computacional *AERMOD*, como ferramenta para simular a dispersão e estimativa futura da emissão desses gases de acordo com os dados da *ICOPLAN (Instituto de Consultoria e Planejamento S/A)*.

Para quantificar a dispersão e previsões das concentrações dos poluentes na atmosfera foram utilizadas classes de estabilidade (estimação dos parâmetros de dispersão nas direções transversal e vertical). Desta forma a aplicação do modelo se restringe às situações de vento constante e turbulência homogênea (flutuações uniformes do vento médio, iguais em todas as direções) (LONGUETTO, 1980; MELO; MITKIEWICZ, 2002).

A realização deste trabalho contou com informações disponibilizadas em documentos reconhecidos pela USEPA (*United States Environmental Protection Agency*), além de outros recursos como: resultados de amostragens de emissões de fontes móveis, projeção futura do fluxo de veículos na avenida, levantamento de campo e simulação de dispersão atmosférica por intermédio do aplicativo computacional Gaussiano.

A metodologia adotada para elaboração da dispersão de poluentes baseou-se em critérios e técnicas recomendadas pela USEPA e para as estimativas de emissões foram utilizados dados meteorológicos coletados pela estação meteorológica automática localizada nas coordenadas latitude 20°19' S e longitude

40°19' W, e os dados fornecidos pelo IEMA (Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos), no período de 01 de Julho de 2002 à 30 junho de 2003. Os aplicativos computacionais utilizados foram: *RAMMET 4.5* (LAKES ENVIRONMENTAL, 2002); *WRPLOT* extensão gratuita do aplicativo *ENVIMAN 2.0.50*; *ENVIMAN 2.0.50* (OPIS, 2003) (aplicativo computacional *AERMOD*); *SURFER 3.2* (GODEN SOFTWARE, 1995) *IDRISI 32* (CLARK LABS, 1999) e *ArcGIS 8.3* (ESRI, 2002).

O desenvolvimento do trabalho foi contemplado com cinco fases distintas: Fase 1: Pré-avaliação do sítio; Fase 2: Levantamento de informações específicas; Fase 3: Levantamento e confecção da base cartográfica; Fase 4: Introdução dos dados nos aplicativos computacionais: *RAMMET*, *WRPLOT* e *ENVIMAN 2.0.50* e Fase 5: Simulação e avaliação dos cenários de qualidade do ar por intermédio dos aplicativos: *SURFER 3.2* e *ArcGIS 8.3*.

### ***Fase 1 - Pré- Avaliação Do Sítio***

Esta etapa foi realizada com o objetivo de disponibilizar dados e informações base para o estudo. Realizaram-se levantamentos de campo para obtenção de informações como:

- Dados do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) acerca da frota de veículos, de acordo com as grandes regiões, unidades da federação e municípios das capitais – 1990 a 2003;

Dados da projeção futura do fluxo de veículos na avenida por meio de avaliações realizadas pela *ICOPLAN (Instituto de Consultoria e Planejamento S/A)* e cedidos pela Prefeitura Municipal de Vitória (PMV);

- Dados do censo demográfico realizado pelo IBGE no ano de 2000a; e Informações a respeito das emissões veiculares no ano de 2002, fornecidos pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB).

## Fase 2 - Levantamento de Informações Específicas

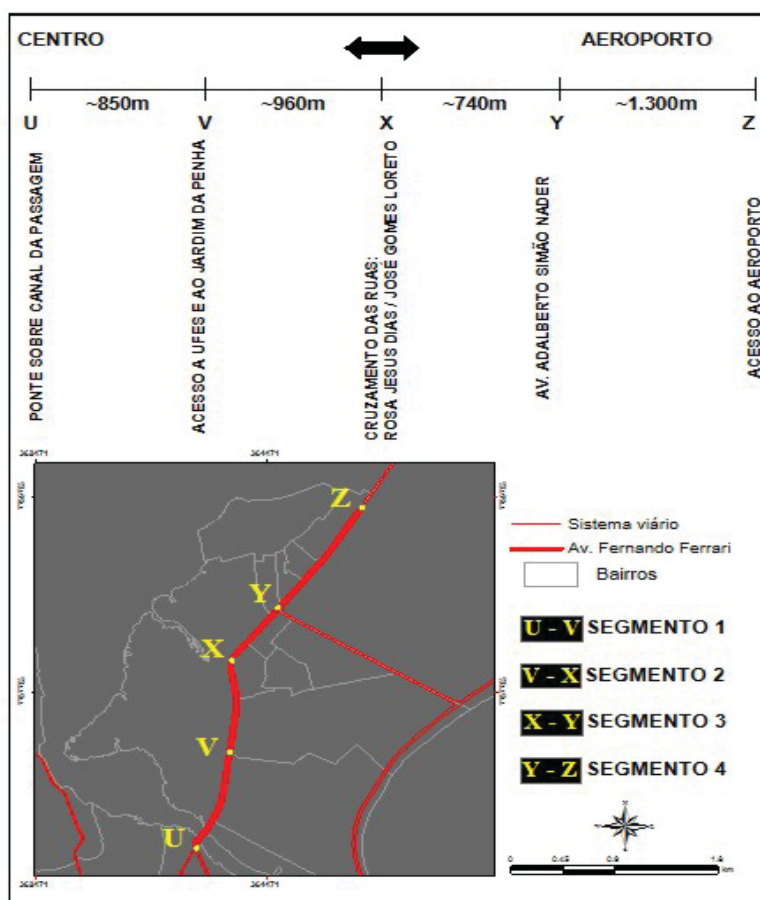
Esta etapa contou com o auxílio de engenheiros da UFES e técnicos da Prefeitura Municipal de Vitória (PMV) que trabalharam na área de poluição atmosférica e no departamento de desenvolvimento urbano. As fontes de dados foram:

A) Avaliação do tráfego de veículos da avenida Fernando Ferrari de junho de 1996. Os fluxos de veículos foram registrados com intervalos de 15 minutos, permitindo a definição da hora e volume de pico bem como do volume horário do quarto de hora mais carregado da referida hora de pico (VQP). O período de contagem se deu entre 5h30min à 22h00min, somando 15,5 horas. Para a contagem, segmentou-se avenida em 4 partes e assim foi estabelecido para ambos os sentidos citados abaixo (Figura 2):

- Segmento 1: UV (ponte sobre canal da passagem – acesso à UFES e ao Jardim da Penha);
- Segmento 2: VX (acesso à UFES e o Jardim da Penha – cruzamento das ruas: Rosa Jesus Dias/ José Gomes Loreto);
- Segmento 3: XY (cruzamento das ruas: Rosa Jesus Dias/ José Gomes Loreto – Av. Adalberto Simão Nader); e
- Segmento 4: YZ (Av. Adalberto Simão Nader – acesso ao Aeroporto).

Os bairros ao longo da avenida Fernando Ferrari são caracterizados como comerciais e residenciais. No interior das ruas existem indústrias de pequeno porte, e no entorno da avenida prevalecem instalações de pedreiras.

Figura 2: Segmentação da avenida Fernando Ferrari, Vitória, estado do Espírito Santo – Brasil.



**B)** Na projeção futura até junho de 2014, usou-se o “ajustamento de curva” usando técnicas de mínimos quadrados, onde se faz uma correlação múltipla entre os anos e o montante veicular (automóvel, ônibus, caminhão) cuja equação está representada abaixo:

$$11347000 - 115170 \times A + 29,2129 \times A^2$$

Em que:

**A**= ano em estudo.

Como exemplo para junho de 2010, temos para o segmento UV:

$$\begin{aligned} &113547000 - 115170 \times A + 29,2129 \times A^2 \\ &113547000 - 115170 \times 2010,5 + 29,2129 \times (2010,5)^2 \\ &113547000 - 115170 \times 2010,5 + 29,2129 \times 4042110,25 \\ &113547000 - 231549285 + 118081762,522225 \\ &\quad \quad \quad \mathbf{79477,52} \end{aligned}$$

**C)** Diante desta contagem usou-se a Tabela 1 como fonte para se identificar o maior horário de pico matutino e vespertino de ambos os sentidos para cada segmento. Então, somou-se o pior caso matutino e vespertino de cada sentido com intuito de avaliar o maior volume de tráfego do horário de pico. Após esta etapa, dividiu-se o resultado obtido pelo total de volume diário da composição bidirecional, resultando na percentagem que o horário de pico tem em relação ao volume diário, esta se tornou padrão para os anos seguintes. Repetiu-se este procedimento para cada respectivo segmento; e

Tabela 1: Fatores relativos ao pico de fluxo horário

Hora	0 – 6	6 -7	7 – 9	9 – 12	12 - 14	14 - 17	17 - 19	19 - 24
<b>Fator de Médias Horárias (%)</b>	0,11	0,40	0,70	0,79	<b>0,90</b>	<b>0,91</b>	<b>1,0</b>	0,52

**D)** Dados específicos de emissão veicular de 2002 dos poluentes em questão (CESTEB, 2002).

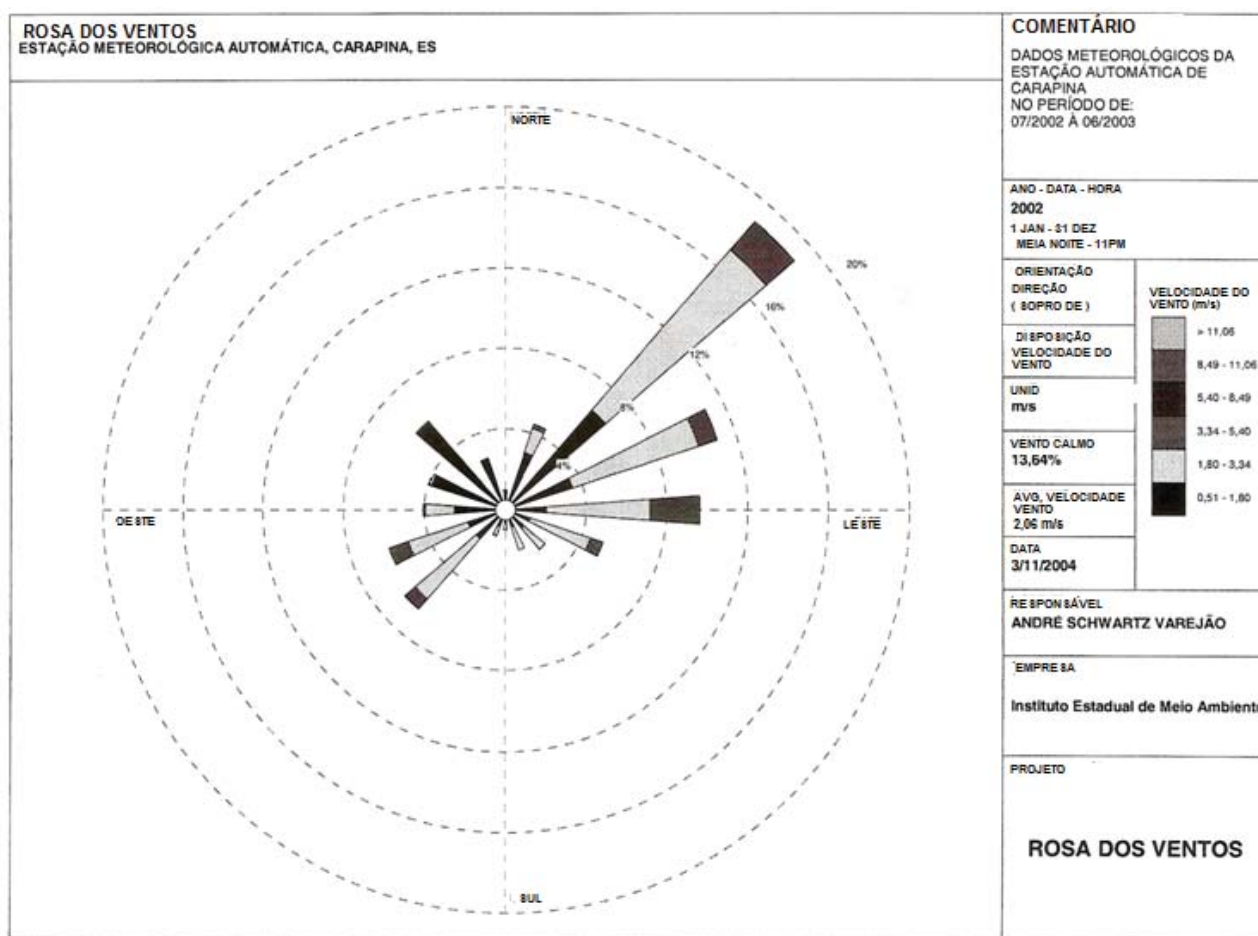
**Fase 3 - Introdução de dados nos aplicativos computacionais rammet, wrplot, enviman 2.0.50 (aplicativo computacional aermod)**

Após aquisição dos dados meteorológicos em planilhas *EXCEL*, estes foram inseridos no aplicativo computacional *RAMMET* e *WRPLOT*, e usados para gerar a rosa dos ventos. (Figura 3). Os mesmo dados em *EXCEL* foram inseridos no aplicativo *ENVINAM* para obter a simulação meteorológica.

Logo, algumas informações necessárias para alimentar o aplicativo *ENVINAM*, foram inseridas sendo eles:

- Dados de emissão (mg/s) e a velocidade (km/h) dos diferentes tipos de veículos (automóveis, ônibus e caminhões) e para cada tipo de poluentes determinado, fornecidos pela CETESB (2002);
- Coordenadas UTM de cada segmento da avenida;
- Média diária anual de tráfego, horário de pico do pior caso de hora do dia e a percentagem de cada tipo de veículo que trafega na avenida;
- Características da avenida como: média da altura das casas ao redor, largura da calçada de ambos os lados, largura e quantidade de pista;
- Fatores relativos ao pico do fluxo horário;
- Poluentes a ser simulado, neste trabalho ( $\text{NO}_x$  e  $\text{PM}_{10}$ ), separadamente; e
- Seleção da grade da simulação de dispersão.

Figura 3: Rosa dos Ventos - frequência média do vento em relação à velocidade e direção (%)



#### Fase 4 - Simulação e análise dos cenários de qualidade do ar por intermédio dos aplicativos surfer 3.2 e arcgis 8.3

Os dados citados na fase anterior foram introduzidos no aplicativo computacional *AERMOD*, com o objetivo de simular a dispersão anual das concentrações dos poluentes para o ano de 2004 e 2010 e projeção futura do ano de 2014. Esta estimativa futura baseou-se no documento oficial do “Estudo de Fluxo da Av. Fernando Ferrari” feito pela empresa *ICOPLAN* em 1996.

Após a simulação no aplicativo computacional *ENVINAM*, os resultados foram exportados para *SURFER 3.2*. Neste aplicativo computacional, foram analisados os dados de dispersão atmosférica para o ano de 2004, realizando-se uma projeção futura para

comparação com os anos de 2010 e 2014. Finalmente, os mapas foram formatados no programa *ArcGIS 8.3*.

#### Fase 5 - Levantamento E Confecção De Base Cartográfica

De posse dos resultados das emissões, foi elaborada a base cartográfica, utilizando-se mapas vetoriais das principais vias urbanas e dos bairros do município de Vitória, oriundos da Prefeitura Municipal de Vitória (PMV) e de imagens de satélites *LAND-SAT*. Para formatação da base cartográfica foi utilizado o aplicativo computacional *ArcGIS 8.3*.

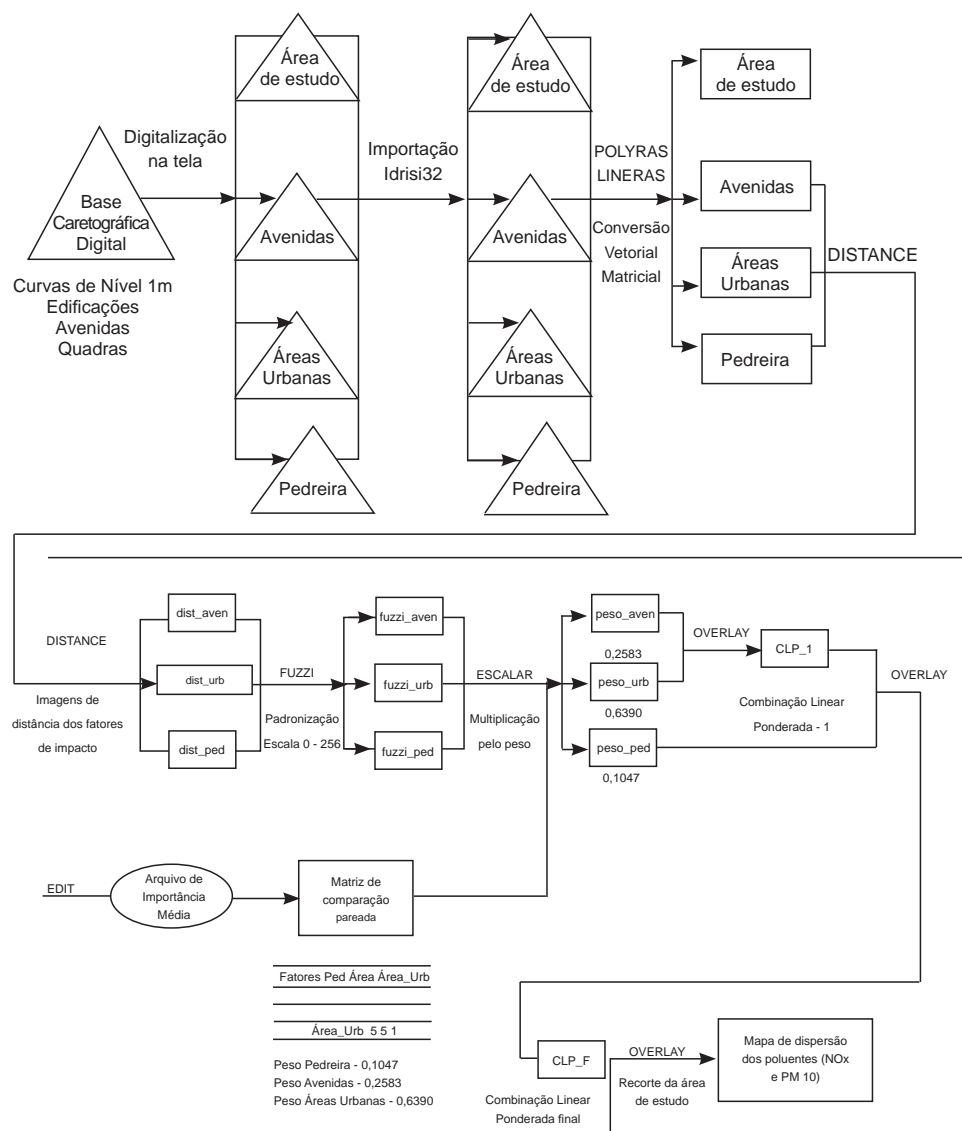
Com a aquisição da base de dados digitais foi realizado a digitalização em tela da avenida em estudo e as áreas sob influencia dos poluentes analisados. Nesta etapa, os dados foram exportados para o aplicativo



IDRISI 32, para conversão de dados vetoriais para o formato matricial. Em seguida, foi feito o cálculo de distância linear objetivando elaborar mapas de distância das áreas influenciadas pelos poluentes ( $\text{NO}_x$  e  $\text{PM}_{10}$ ) em relação a avenida em estudo. A etapa de padronização foi feita com o comando FUZZY, que permite reescalonar as distâncias para uma escala linear decrescente que varia de 0 a 255. Por meio do aplicativo IDRISI32, as áreas sob influencia dos poluentes foram mensuradas quantitativamente numa escala de importância, sendo posteriormente estes valores colocados numa matriz de relacionamento, ou matriz de comparação pareada, podendo assim haver uma percepção de que há uma hierarquia de importância entre as áreas.

De posse dos valores de importância de cada área se inseriu a matriz pareada no aplicativo Idrisi32, por meio do comando EDIT. Em seguida foi feito o cálculo dos pesos com uso da ferramenta WHEIGHTH. Para obtenção dos mapas de dispersão atmosférica dos poluentes analisados se utilizou o comando ESCALAR, que permite realizar operações matemáticas sob o arquivo matricial individualmente (multiplicação de cada imagem padronizada, pelo respectivo peso) logo, somou-se os mapas das áreas sob influencia fazendo uso do comando OVERLAY. Na Figura 4 é apresentada o fluxograma com as operações realizadas na etapa da confecção dos mapas de dispersão atmosférica dos poluentes ( $\text{NO}_x$  e  $\text{PM}_{10}$ ).

Figura 4: Fluxograma das operações realizadas para confecção dos mapas de dispersão dos poluentes ( $\text{NO}_x$  e  $\text{PM}_{10}$ )

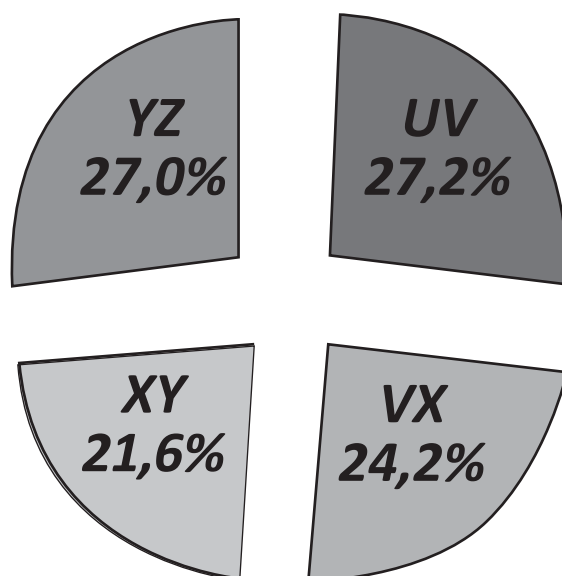


## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 5 expressa os resultados de contagens do fluxo de veículos em cada segmento da avenida.

Constatou-se que o segmento UV e YZ que estão em extremidades opostas da avenida tem fluxo diário de veículos maiores que os VX e XY que estão ao meio.

Figura 5: Composição bidirecional dos volumes de tráfego diários da Avenida Fernando Ferrari, Vitória, estado do Espírito Santo – Brasil.



A dispersão atmosférica de  $\text{NO}_x$  para os anos de 2004, 2010 e 2014 foram mais acentuadas no sentido longitudinal, predominantemente na direção Nordeste (NE) (Figuras 6A, 6B e 6C). Analisando o efeito topográfico sob a dispersão do poluente na região, observa-se que a direção dos ventos de acordo com Sarmiento (1993), é predominantemente a NE, no período de Agosto a Maio e Sul – Oeste de Abril a Julho. A predominância da dispersão no sentido longitudinal está associada aos ventos alísios, que sopram durante a maior parte do ano na direção Sudeste (SE) (EMCAPA, 1981, apud ALBINO, 1999). Entretanto, nota-se que os ventos desorganizados surgem do quadrante Leste provocando o arraste da pluma de forma heterogênea. Oliveira Júnior et. al (2010) associam a ocorrência deste tipo de fenômeno ao efeito da brisa marítima, que em regiões costeiras apresenta maior turbulência devido aos efeitos mecânicos provocados pela circulação da brisa.

No presente estudo, nota-se pelas isolinhas que as concentrações entre 1 a  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  estão distantes da fonte com maior emissão do poluente, demonstrando uma acentuada dispersão, o qual não se observa nos

anos seguintes (2010 e 2014) (Figura 6A). Para o ano de 2004, as isolinhas de concentrações indicam que a ordem máxima foi de  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $\text{NO}_x$ , distribuídas em áreas muito próximas da região emissora (Figura 6A). Tal fato pode estar associado à reduzida intensidade dos ventos, que dificulta o arraste para longas distâncias e a mistura do poluente na atmosfera.

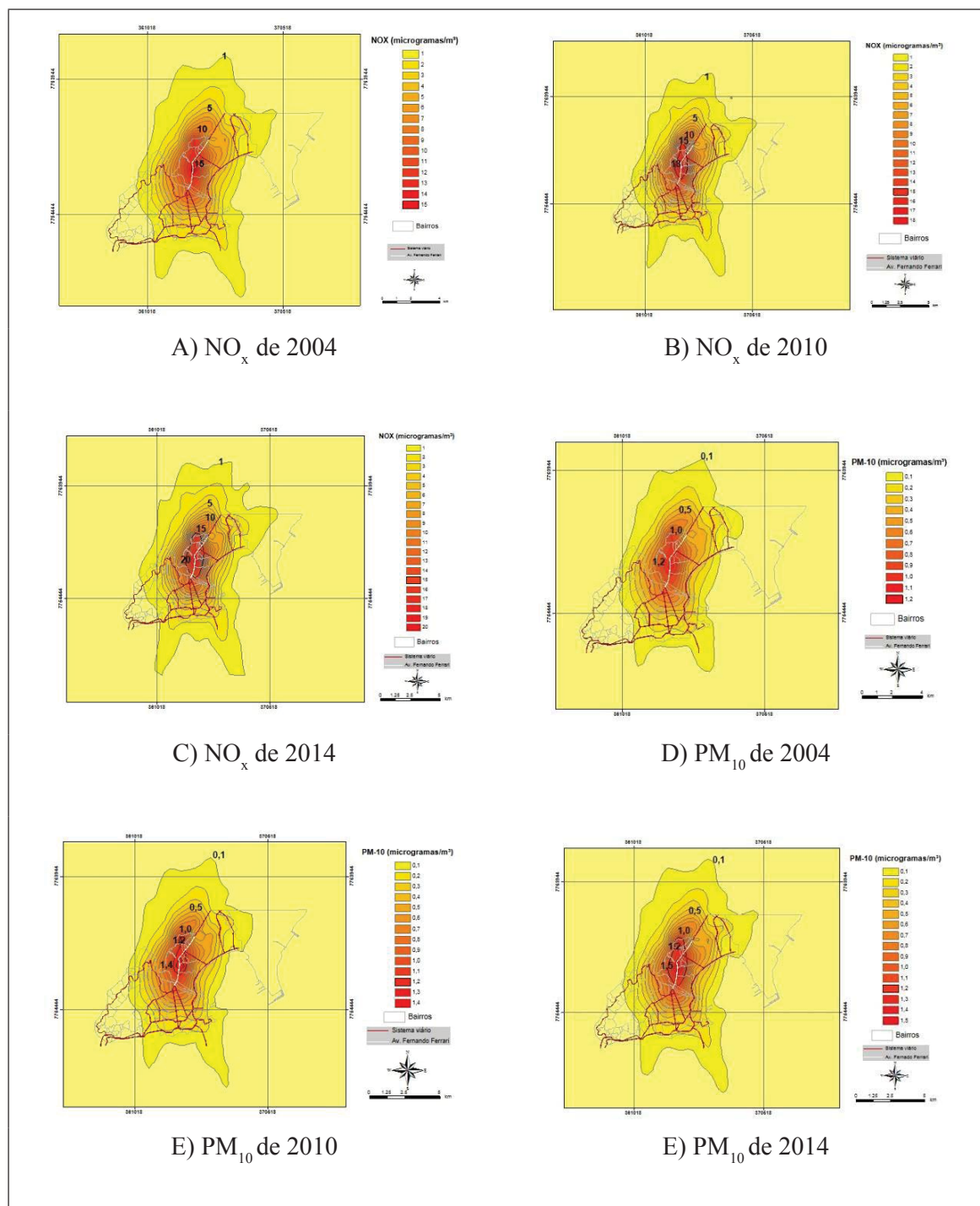
Os resultados apresentados por Paz et al. (2007) divergem daqueles obtidos neste estudo. Segundo esses autores as concentrações máximas para  $\text{NO}_x$  se encontravam afastadas da fonte emissora, devido a predominância de ventos intensos que arrastaram os poluentes para níveis mais elevados, impedindo sua deposição próximo a região emissora.

No ano de 2010 (Figura 6B), nota-se que a concentração máxima ( $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), está mais distribuída ao longo da fonte emissora no sentido longitudinal. Esta não fica retida em um único ponto da avenida, como ocorreu no ano de 2004. No entanto, para as concentrações de ordem 5 a  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a dispersão não se deslocou as longas distâncias quanto foi para o ano de 2004, como pode ser visto na Figura 6 A e 6 B respectivamente.

As concentrações máximas de  $\text{NO}_x$ , foram da ordem de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , para projeção do ano de 2014 (Figura 6 C). Neste caso a pluma de poluentes se dispersa no sentido longitudinal com acentuado deslocamento

para o setor leste. Em áreas mais distantes da região emissora foram notados níveis de concentração entre  $5$  a  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , porém a distribuição do poluente foi mais uniforme se comparado com os anos de 2004 e 2010.

Figura 6: Dispersão atmosférica de  $\text{NO}_x$  e  $\text{PM}_{10}$  para os anos de 2004, 2010 e 2014 na Avenida Fernando Ferrari, Vitória, estado do Espírito Santo – Brasil.



Em relação ao poluente  $PM_{10}$ , a dispersão atmosférica para os anos de 2004, 2010 e 2014 (Figura 6D, 6E e 6F), apontaram considerações similares aos apresentados na dispersão de  $NO_x$ , a qual diferenciou-se somente nas particularidades, tais como: área impactada e concentração, onde o poluente  $NO_x$  sobressaiu em ambas as particularidades, comparados aos mapas de  $PM_{10}$ .

Praticamente em toda a extensão de 3,85 Km da avenida prevalecem imóveis comerciais, os quais atraem uma população transitória aumentando o número de pessoas sob efeito da poluição nos horários comerciais. De acordo Berredo (2000), a caracterização do uso do solo ao longo da avenida é praticamente comercial, onde ao lado situa-se a Universidade Federal do Espírito Santo, localizada em um trecho com vários semáforos e muitos conflitos de tráfego.

Considerando a análise da dispersão dos poluentes ( $NO_x$  e  $PM_{10}$ ), de forma geral constatou-se que a variação das concentrações mostrou valores maiores próximos à fonte emissora e menores mais distantes da região, nas situações de ventos fracos. Entretanto estas condições de dispersão dos poluen-

tes por estar condicionada a disposição do relevo alteram constantemente de acordo com a topografia da região que é complexa e caracterizada por cadeias de montanhas onde todas as porções do relevo são intercaladas por maciços rochosos de pequeno e médio porte (IEMA, 2004). Do mesmo modo, Paz et al. (2007), desenvolveram um estudo sobre a dispersão dos poluentes ( $SO_2$ ,  $NO_x$  e  $PM_{10}$ ) emitidos pela Usina Termoeletrica Presidente Médici, Candiota – RS, e evidenciaram que a maior concentração dos gases encontravam-se próximo a fonte emissora, nas condições de ventos fracos somado aos fatores orográficos da região.

Observa-se um aumento da concentração anual do ponto de máxima para os poluentes  $NO_x$  e  $PM_{10}$  (Tabela 2). Logo, nota-se que ambos os poluentes apresentaram acréscimo, sendo que para  $NO_x$  sua contribuição atingiu 15% do padrão de qualidade do ar em 2004, elevando-se para 20% em 2014. O poluente  $PM_{10}$  eleva-se de 2,4% para 3% comparados com os padrões de qualidade do ar entre os anos de 2004 a 2014, respectivamente.

Tabela 2: Concentração da ordem máxima anual dos poluentes na avenida Fernando Ferrari, Vitória, estado do Espírito Santo – Brasil.

POLUENTES	ANOS			PADRÃO DE QUALIDADE DO AR (*)
	2004	2010	2014	ANUAL (**)
$NO_x$ ( $\mu g/m^3$ )	15	18	20	100
$PM_{10}$ ( $\mu g/m^3$ )	1,2	1,4	1,5	50

(\*) Resolução CONAMA nº 003 de 28 de junho de 1990.

(\*\*) Média Aritmética Anual

De acordo com os dados da TABELA 3, observa-se um aumento no número de bairros e população sob influencia dos poluentes analisados, seguindo a ordem crescente nos três anos de estudo.

O número de bairros cresceu de 3 para 9 e em seguida para 13. Simultaneamente, a população sob influencia também aumentou. Comparando com o ano de 2004, estima-se que em 2010 o aumento foi de 4,36 vezes e em 2014 de 4,63 vezes.

Com relação ao poluente  $PM_{10}$  e conforme as informações da Tabela 4 constata-se um aumento no número de bairros e população sob influencia dos poluentes, considerando a ordem crescente nos três anos em estudo. O número de bairros sob influencia elevou-se de 3 para 8 e em seguida para 11, e simultaneamente, a população sob influencia também aumentou. Equiparando com o ano de 2004, calcula-se que em 2010 o aumento foi de 4,32 vezes e em 2014 será de 4,48 vezes.



Tabela 3: Bairros abrangidos e montante populacional sob influencia do poluente  $\text{NO}_x$  ao longo da Avenida Fernando Ferrari, Vitória, estado do Espírito Santo – Brasil.

<b>POLUENTE</b> <b><math>\text{NO}_x = 15 (\mu\text{g} / \text{m}^3)</math></b>	<b>Bairros sob influencia</b>	<b>População sob influencia</b>
2004	Bairro Vista, Goiabeiras, Mata da Praia	12765
2010	Antônio Honório, Bairro República, Boa Vista, Goiabeiras, Jardim da Penha, Maria Ortiz, Mata da Praia, Morada de Camburi, Segurança do Lar	55689
2014	Aeroporto, Antônio Honório, Bairro República, Boa Vista, Goiabeiras, Jabour, Jardim da Penha, Maria Ortiz, Mata da Praia, Morada de Camburi, Pontal de Camburi, Segurança do lar, Sólton Borges.	59210

Fonte: IBGE/Censo 2000 – SEDEC/DIT/INF

Tabela 4: Aumento da área de abrangência e população sob influencia do poluente  $\text{PM}_{10}$  ao longo da Avenida Fernando Ferrari, Vitória-ES

<b>POLUENTE</b> <b><math>\text{PM}_{10} = 1,2 (\mu\text{g} / \text{m}^3)</math></b>	<b>Bairros sob influencia</b>	<b>População sob influencia</b>
2004	Bairro Vista, Goiabeiras, Mata da Praia	12765
2010	Antônio Honório, Bairro República, Boa Vista, Goiabeiras, Jardim da Penha, Maria Ortiz, Mata da Praia, Morada de Camburi.	55265
2014	Aeroporto, Antônio Honório, Bairro República, Boa Vista, Goiabeiras, Jardim da Penha, Maria Ortiz, Mata da Praia, Morada de Camburi, Segurança do lar, Sólton Borges.	57235

Fonte: IBGE/Censo 2000 – SEDEC/DIT/INF

O aumento da concentração dos gases poluentes durante os anos estudados não chegará a níveis nocivos a saúde humana, segundo os padrões de qualidade do ar da resolução CONAMA nº 003. Deve ser ressaltado que este estudo analisou somente a emissão de poluentes de fontes móveis ( $\text{NO}_x$  e  $\text{PM}_{10}$ ) proveniente principalmente de veículos e apenas ao longo da avenida em questão.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio dos mapas de dispersão atmosférica dos gases poluentes ao longo da avenida em questão,

obtêm-se as seguintes pressuposições:

- Provável aumento da abrangência da isolinha de concentração anual do ponto de máxima para os poluentes  $\text{NO}_x$  e  $\text{PM}_{10}$ , o que comprometerá, respectivamente, 4,63 e 4,48 vezes mais habitantes no ano de 2014 quando comparado ao ano de 2004.
- O maior montante populacional sob influencia dos poluentes nos anos estudados ocorreu no intervalo dos seis primeiros anos após a conclusão da ampliação da avenida entre

2004 a 2010; já no período de 2010 a 2014 o contingente populacional sob influencia dos poluentes foi menor se comparado aos anos anteriores.

- Os parâmetros meteorológicos e a topografia do local são os fatores que mais condicionam o regime dos ventos e a distribuição das concentrações dos poluentes na região em estudo.
- A concentração dos gases poluentes previstas para os anos estudados não chegará a ser nociva a saúde humana, considerando os gases poluentes  $\text{NO}_x$  e  $\text{PM}_{10}$ .

## REFERÊNCIAS

- ALBINO, J. *Processos de sedimentação atual e morfodinâmica das praias de Bicanga à Povoação--ES*. 1999. 189 f. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 1999.
- BERREDO, S.C. *Serra 21 – Estudo Temático V 6: Sistema viário, trânsito, transporte urbano*. Serra, 2000. Disponível em: <http://www.serra.es.gov.br> Acesso em: 25 jul. 2010.
- CLARK LABS. *Idrisi 32. Idrisi for Windows Users Guide* by. Clark University: Worcester, MA, 1999.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). *Fatores de Emissões Veiculares*. Secretária de Meio Ambiente. São Paulo: CESTEB, 2002.
- \_\_\_\_\_. *Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo*. Secretária de Meio Ambiente. São Paulo: CESTEB, 2006.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). *Resolução nº 003, de 28 de junho de 1990*. Padrões de qualidade do ar.
- \_\_\_\_\_. *Resolução nº 342, de 25 de setembro de 2003*. Controle da poluição.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (DENATRAN). *Evolução da frota de veículos, segundo as Grandes Regiões, Unidade da Federação e Municípios das Capitais - 1990 a 2003*. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br>> Acesso em: 08 jul. 2009.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). *ArcGIS Professional GIS for the desktop*, version 8.3, 2002.
- GIODA, A.; GIODA, F. R. A influência da qualidade do ar nas doenças respiratórias. *Revista Saúde & Ambiente*, v. 7, p. 15-23, 2006.
- GOLDEN SOFTWARE. *Surfer version 3.2 - surface mapping system*. Golden: Golden Software, Inc., 1995.
- GOMES, M. J. M.; Ambiente e pulmão. *J. Pneumol.* v. 28, n. 5, p. 261-269, 2002.
- IBGE. *Censo Demográfico 2000a- Resultados do universo*. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br> Acesso em: 20 abr. 2004.
- \_\_\_\_\_. *Censo Demográfico 2009b- Resultados do universo*. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br> Acesso em: 20 jul. 2010.
- INSTITUTO DE ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (IEMA). *Relatório da qualidade do ar da região da Grande Vitória ano de 2002*. Cariacica: SEAMA, 2004. 30 p.
- INSTITUTO DE CONSULTORIA E PLANEJAMENTO S.A (ICOPLAN). *Estudo de Fluxo de Progressão da Ampliação da Avenida Fernando Ferrari*. Vitória: SEDEC/DPU, 1996. p. 4 -15.
- LAKES ENVIRONMENTAL. *RAMMET – version 4.5*. Canada, 2002.
- LONGUETTO, A. *Atmospheric Planetary Boundary Layer Physics*. 1 ed. New York: Elsevier, 1980.
- MELO, G. C. B.; MITKIEWICZ, G. F. M. Dispersão Atmosférica de poluentes em um complexo Industrial

Siderúrgico. In: XXVIII CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 2002, Cáncun. *Anais ...* Cáncun, 2002. 8 p.

MORAES, M.R. *Ferramenta para a previsão de vento e dispersão de poluentes na micro- escala atmosférica*. 2004. 166 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2004.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. F., PIMENTEL, L. C. G., LANDAU. Critérios de estabilidade atmosférica para a região da central nuclear almirante Álvaro Alberto, Angra dos Reis – RJ. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, n. 2, 2010. p. 270 – 285.

OPSIS. *ENVIMAN* (2003). Disponível em: <<http://www.opsis.se/>> Acesso em: 16 jul. 2011.

PAZ, S. R.; ALVES, R. C. M.; TEIXEIRA, E. C.; DALLAROSA, J. B. Utilização de Modelagem Numérica para o estudo da dispersão de poluentes emitidos pela Usina Termoeletrica Presidente Médici. *Química Nova*, v. 30, n 7, , 2007. p. 1609-1615.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA (PMV). *Informações do Censo 2000 (Dados do Universo)*. Vitória: SEDEC/DIT/INF, 2000.

SALDIVA, P. H. N.; BRAGA, A.; PEREIRA, L. A. *A poluição atmosférica e seus efeitos na saúde humana*. São Paulo: Faculdade de Medicina da USP, 2002.

SARMENTO, R. *Determinação do Tombo da Maré no Canal da Passagem. Relatório Final, Laboratório de Hidráulica*. Vitória : Universidade Federal do Espírito Santo, 1993.

TEIXEIRA, E. C.; FELTES, S.; SANTANA, E. R. R. Estudo das emissões de fontes móveis na Região Metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. *Química Nova*, v. 31, n. 2, , 2008. p. 244-248.

UEDA, A. C.; TOMAZ, E. Inventário de emissões de fontes veiculares da região Metropolitana de Campinas, São Paulo. *Química Nova*, v. 34, n. 6, 2011. p. 1-5.