



ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)



## Emissão de Gases Poluentes por Veículos Automotivos em Recife – PE

Alexandre Valença do Nascimento Silva<sup>1</sup>, Werônica Meira de Souza<sup>2</sup> e Sônia Valéria Pereira<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Professor do Instituto Federal de Pernambuco (IFPE), Campus Pesqueira, BR 232, km 208, Pernambuco, Brasil; <sup>2</sup>Professora da Unidade Acadêmica de Garanhuns da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UAG/UFRPE). E-mail: [weronice@gmail.com](mailto:weronice@gmail.com); <sup>3</sup>Professora do Mestrado Profissional em Tecnologia Ambiental do Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP). E-mail: [soniaitep@gmail.com](mailto:soniaitep@gmail.com)

Artigo recebido em 12/03/2015 e aceito em 06/10/2015

### RESUMO

As fontes veiculares têm uma participação acentuada na degradação da qualidade do ar atmosférico, principalmente nos grandes centros urbanos. Os problemas relacionados à saúde humana, devido à poluição atmosférica, são diversos, desde crises alérgicas a problemas cardiorrespiratórios. Este trabalho consiste em avaliar a emissão dos gases Óxido de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>), Hidrocarbonetos (HC), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) e material particulado (MP<sub>10</sub>), por automóvel e por tipo de combustível (gasolina e/ou álcool), na cidade do Recife, no período de 1990 a 2013, visando identificar as tendências das séries temporais e propor medidas de redução das emissões veiculares. A metodologia utilizada foi a Bottom-Up que é a mesma empregada pela CETESB. Foram realizadas levantamento dos dados da frota dos veículos e dos valores de emissões em g/km dos gases e material particulado. Através da equação da curva de tendência para o óxido de nitrogênio, hidrocarbonetos e monóxido de carbono, tanto na utilização apenas do álcool como da gasolina, os valores totais anuais iniciam novo crescimento entre 2010 e 2020. Para o dióxido de carbono e material particulado, as taxas de emissão já se apresentam em ascensão sem perspectiva de redução.

**Palavras-chave:** Poluição Atmosférica; Emissão Veicular, Séries Temporais, Material particulado.

## Pollutant Gas Emission by Automotive Vehicles in Recife – PE

### ABSTRACT

Vehicular sources have a strong participation in the degradation of the quality of atmospheric air, especially in large urban centers. The problems related to human health due to air pollution are many, from allergic crises cardiorespiratory problems. This work is to assess the emission of gases Nitrogen oxide (NO<sub>x</sub>), hydrocarbons (HC), Carbon Monoxide (CO), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and particulate matter (PM<sub>10</sub>), by car and by fuel type (petrol and / or alcohol) in the city of Recife, from 1990 to 2013, to identify trends in time series and propose measures to reduce vehicle emissions. The methodology used was the Bottom-Up which is the same used by CETESB were conducted survey of fleet vehicle data and emissions figures in g / km of gases and particulate matter. Using the equation of the trend curve for nitrogen oxide, hydrocarbons and carbon monoxide, both in the use of alcohol as just gasoline, the annual total value initiate new growth between 2010 and 2020. For the carbon dioxide and particulate matter, emission rates already present on the rise with no reduction perspective.

**Keywords:** Air Pollution, Vehicular emissions, Temporal Series, Particulate Matter.

### Introdução

Nas últimas décadas, o processo de urbanização se intensificou em muitas regiões do país, implicando em um elevado crescimento populacional, em sua maioria, pelo arrefecimento das atividades na metrópole, tanto em qualidade

\* E-mail para correspondência: [valenca@pesqueira.ifpe.edu.br](mailto:valenca@pesqueira.ifpe.edu.br) (Silva, A.V.N).

quanto em quantidade, decorrentes da coexistência de atividades com níveis diferenciados de renda e opções de trabalho (Miranda, 2004). Em muitas cidades este crescimento populacional acontece desordenadamente de forma que a estrutura física da região não evolui no ritmo do crescimento populacional. Além disso, com a expansão territorial de algumas grandes cidades não é mais possível, por fazerem fronteira com outros

municípios. Os espaços centrais disponíveis, dependendo de sua dimensão e localização, são utilizados para construções verticais de moradia. Estes municípios periféricos tornaram-se opções alternativas tanto para implantação de indústrias como de residências, transformando a região em grandes aglomerados urbano e industrial.

O crescimento populacional associado ao crescimento econômico das metrópoles trazem consequências em diversos âmbitos, com destaque para a crescente geração de resíduos (lixo doméstico, esgoto, dentre outros) devido ao elevado consumo, responsável por vários tipos de poluição do solo, do ar e da água, de forma direta ou indireta.

A poluição atmosférica, que afeta diretamente a qualidade do ar, mais intensamente nos grandes centros urbanos, tem-se constituído numa das mais graves ameaças à qualidade de vida de seus habitantes (Teixeira, 2008). Este tipo de poluição pode ser causada por fontes fixas ou móveis, dependendo dos processos que liberam os poluentes no ar.

De acordo com Teixeira (2008), as fontes veiculares têm uma participação acentuada na degradação da qualidade do ar atmosférico, principalmente em grandes centros urbanos. Os congestionamentos de grandes extensões nos horários de pico, com a redução da velocidade média do trânsito nos corredores de tráfego contribuem para maior consumo de combustível e consequentemente maior taxa de emissão dos poluentes. Em algumas situações, o desenvolvimento tecnológico tem contribuído em não aumentar, ou até mesmo reduzir os níveis de emissão mesmo com o crescimento da frota.

O relatório Emissões Veiculares no estado de São Paulo, produzido pela CETESB em 2012 informa que mesmo com o expressivo aumento da frota circulante, as emissões vêm se mantendo estáveis, basicamente pela evolução tecnológica induzida pelos programas de controle, com exceção dos gases do efeito estufa. Para esses gases a emissão tem aumentado de forma sistemática em função de três fatores: aumento da frota, aumento do uso dos veículos e redução no consumo de etanol.

Os principais poluentes gasosos na atmosfera são gases contendo carbono, enxofre, nitrogênio e ozônio. Filho (1989) afirma que os principais gases contendo carbono são Monóxido de Carbono (CO) e Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>). De acordo com Lacerda et al. (2005) o escapamento dos veículos à combustão é responsável pela emissão de grandes concentrações de CO. Segundo Carvalho (2011) o setor de transporte é considerado uma das principais fontes de emissão de CO<sub>2</sub>. O excesso de

CO é o resultante de uma combustão na qual a quantidade de ar é insuficiente para uma queima completa do combustível. Quanto menor a porcentagem de monóxido de carbono melhor é a queima. O dióxido de carbono, sua elevada concentração no escapamento indica uma melhor combustão (INMETRO, 2014). Emissões de óxido de nitrogênio contribuem para a degradação do meio ambiente através de vários processos, dentre os quais se destacam a deposição ácida e a formação de ozônio troposférico.

Tratando-se de gases do efeito estufa (GEE) de acordo com o CONAMA o Plano Nacional sobre Mudança do Clima prevê redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) em diversos setores, sobretudo no de transporte. Considera que a falta e/ou a manutenção incorreta dos veículos é um dos responsáveis pelo aumento da emissão de poluentes e consumo de combustíveis. Sendo assim os programas de inspeção e manutenção de veículos automotores contribuirão para a mitigação das emissões de GEE.

Diversos estudos mostram que a relação entre a poluição atmosférica e a saúde da população é uma realidade, mesmo quando os níveis médios de poluentes não são tão altos (Gouveia, 2003). Os problemas relacionados à saúde humana, devido à poluição atmosférica, são diversos. Podem ser percebidos através de doenças cardiorrespiratórias, alergias, desenvolvimento de cânceres e acréscimo das taxas de morbidade e mortalidade nas áreas urbanas (Saldiva et al., 1995; Branco e Walsh, 2005).

Desta forma, nas grandes cidades e regiões metropolitanas, estudos relacionados às emissões veiculares acompanhadas de suas tendências temporais, como também das concentrações dos gases poluentes na atmosfera local são extremamente relevantes, pois podem apresentar além da atual situação da qualidade do ar da região, uma perspectiva futura visando medidas públicas de precaução.

Na Região Metropolitana do Recife (RMR), observa-se um crescimento industrial, veicular e populacional intenso. De acordo com o Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros (SUAPE) o desenvolvimento do Complexo Portuário de Suape, que faz parte da RMR, nos últimos anos, absorveu mais de cem empresas, proporcionando um elevado crescimento industrial na região. O Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconomicos (DIEESE) em pesquisa realizada no ano de 2013 divulgou que, entre os principais setores de atividades econômicas, a construção civil apresentou um crescimento do número de ocupados, criando dois mil novos postos de trabalho entre setembro de

2012 e 2013 na RMR, o comércio com dois mil postos no mesmo período e o setor de serviços com nove mil vagas. Sendo assim, muitos bairros passam a ter elevada densidade populacional, acarretando, por exemplo, em grandes concentrações de veículos dos mais diversos tipos gerando grandes congestionamentos e contribuindo para a poluição atmosférica.

O incentivo promovido pelo governo para a compra de carros através da redução de impostos, visando a melhoria do setor econômico, influencia diretamente para um crescimento da frota de automóveis na cidade prejudicando ainda mais a mobilidade urbana e os níveis de emissão. Devido a sua localização em relação à RMR, a cidade do Recife é utilizada por muitos veículos que não pertencem à cidade, mas a utilizam como elo entre os outros municípios agravando mais a situação. O crescimento da concentração de veículos principalmente nos horários considerados de pico contribui para a injeção de gases tóxicos na cidade do Recife, podendo estar comprometendo a qualidade do ar desta região. De acordo com Magalhaes (2011) houve um incremento da mortalidade em relação à idade às doenças respiratórias na cidade do Recife. As ações de políticas e programas podem refletir resultados mais imediatos, já que as causas são de natureza aguda e infecciosa. As doenças do aparelho respiratório representam a segunda causa de internações e a terceira causa de óbito na cidade do Recife (Magalhães, 2011).

É imprescindível estudos sobre as emissões veiculares na cidade do Recife, o qual poderá ser utilizado como instrumento de gestão ambiental, mostrando a importância de uma redução da emissão desses gases por diversas razões, como por exemplo, questões de saúde pública. Desta forma, este trabalho tem como objetivo avaliar a emissão dos gases poluentes por veículos automotivos na cidade do Recife, no período de 1990 a 2013, visando identificar as tendências das séries temporais e propor medidas de redução das emissões veiculares.

## **Material e Métodos**

### *Caracterização da área*

A cidade do Recife possui uma área de, aproximadamente, 217 km<sup>2</sup> e uma população de 1.599.514 habitantes (Prefeitura da Cidade do Recife, 2014). É a capital do Estado de Pernambuco e sede da Região Metropolitana do Recife.

Segundo a classificação de Köppen (1948), o clima do Recife é do tipo As (quente e úmido), com temperaturas elevadas e com chuvas de inverno e outono. De acordo com Souza (2011) e Souza &

Azevedo (2009) que fizeram um estudo para a cidade de Recife no período de 1961 a 2008, a precipitação média anual é de 2.305 mm, com o quadrimestre mais chuvoso de abril a julho, e o trimestre mais seco de outubro a dezembro, com os meses de junho (390 mm) e julho (357 mm) os mais chuvosos e novembro (38mm) e dezembro (56mm) os mais secos. Com relação à umidade relativa do ar, a média anual é em torno de 80%, e climatologia anual da temperatura média do ar é de 25,5°C, com temperatura máxima de 29,3°C e mínima de 22,1°C.

Por ser uma região litorânea, sua vegetação típica é Mata Atlântica. Devido ao contínuo crescimento populacional as áreas verdes estão sendo suprimidas, dando origem a construções tanto para fins residenciais como industriais.

De acordo com o DETRAN-PE, a frota de automóveis em Pernambuco no final de 2013 foi de 393.583 veículos; em um total, adicionando motos, caminhões e ônibus, são 633.418 veículos. O crescimento populacional da cidade do Recife, juntamente com o crescimento de seu poder econômico e a falta de qualidade no transporte público, favoreceu o crescimento da frota veicular na capital pernambucana. Desta forma, a quantidade de poluentes lançados na atmosfera pode estar aumentando de forma significativa, comprometendo a qualidade do ar da região. Fazem-se necessários estudos quantificando a quantidade de poluentes lançados na região, iniciando um processo de extrema importância, visando compreender a condição da qualidade do ar da região.

### *Procedimentos metodológicos*

Para a realização deste trabalho, foram utilizados dados da frota dos veículos segundo o tipo, para a cidade do Recife, no período de 1990 a 2013, fornecidos pelo Departamento Estadual de Trânsito de Pernambuco (DETRAN-PE). Os valores relacionados às emissões dos gases e material particulado por idade do veículo foram obtidos do Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), dos Relatórios de Valores de Emissão de Produção (RVEP) fornecidos pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB).

As taxas de emissões veiculares variam de acordo com a idade do veículo, a quilometragem anual percorrida, as condições de manutenção e os padrões de condução do veículo. Com o uso, o desgaste de peças e componentes afetam as características de eficiência do motor, provocando índices mais elevados de emissão. Os dados sobre os fatores de emissão em condições reais de uso no Brasil ainda são escassos.

O 1º Inventário Nacional estabelece incrementos médios de emissões por acúmulo de rodagem, para veículos leves usando Gasolina C e etanol hidratado, baseados em dados do PROCONVE. Os valores foram determinados para os poluentes: monóxido de carbono (CO), óxido de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), hidrocarbonetos não metano (NMHC) e aldeído (RCHO), que devem ser adicionados aos fatores de emissão a cada 80.000 km (CETESB, 2012).

Os valores da distância percorrida por um veículo, em quilômetro, durante um ano, em função da idade do veículo (Intensidade de uso de Referência), foram obtidos através do Inventário Rodoviário fornecido pelo Ministério do Meio Ambiente. O programa de estatística Origin, disponível gratuitamente, foi utilizado para a análise das tendências temporais e dos dados obtidos.

Sendo assim, este trabalho foi realizado em duas etapas concomitantes, descritas a seguir:

1) Inicialmente foi realizada uma análise quantitativa da evolução anual da frota modal, total e apenas de automóveis na cidade do Recife de 1990 a 2014.

2) Foram calculadas as emissões totais da frota de automóveis leves, no intervalo de 1990 a 2013, para os gases Óxido de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>), Hidrocarbonetos (HC), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) e material particulado (MP<sub>10</sub>).

A abordagem utilizada na realização do cálculo das emissões totais para a análise das Tendências das Séries Temporais para os gases NO<sub>x</sub>, HC, CO, CO<sub>2</sub> e material particulado emitidos por automóveis leves, foi Bottom-Up, metodologia utilizada pela CETESB, que leva em consideração as variáveis: frota veicular, fatores de emissão, intensidade de uso de referência e fatores de deterioração.

Através dos Relatórios de Valores de Emissão de Produção (RVEP) fornecidos pela CETESB, foram coletados os dados do PROCONVE, dos valores de emissão por veículo e por combustível utilizado (em grama de material/Km percorrido). Utilizando esses dados, foram calculadas para cada ano as taxas de emissão dos gases e material particulado por automóvel e combustível utilizado, levando em consideração a Intensidade de uso de referência e fatores de deterioração.

O DETRAN-PE não disponibiliza, pela inexistência dos dados, para o período analisado, a distribuição da frota em relação ao combustível utilizado. Além disso, como a utilização do combustível a partir da criação do automóvel flex (que utiliza gasolina e/ou álcool) é pessoal, não se pode afirmar com precisão quantos automóveis

utilizam qualquer combustível. Desta forma, foram calculados os valores máximos de emissão considerando todos os automóveis utilizando gasolina e valores mínimos de emissão considerando que todos os automóveis utilizem álcool.

Para o gás dióxido de carbono, os valores de emissão veicular foram fornecidos a partir do ano de 2002. Desta forma, as emissões totais de 1990 a 2001 foram calculados considerando o valor de emissão veicular de 2002, que é o valor mais antigo disponibilizado.

#### *Frota de veículos automotivos na cidade do Recife*

Inicialmente foi realizada uma análise modal da evolução anual da frota de veículos automotivos na cidade do Recife de 1990 a 2014 devido a disponibilidade dos dados. Foram representadas, graficamente, e analisadas a evolução da frota veicular total e de forma modal.

#### *Cálculo das emissões totais*

A *Bottom-Up* é a metodologia utilizada pela CETESB no cálculo da massa (em gramas) dos gases poluentes emitidos pela frota veicular. Essa metodologia leva em consideração a frota veicular (Fr), fatores de emissão (Fe), intensidade de uso de referência (Iu), onde a massa é dada pela Equação 1:

$$M = Fe \times Iu \times Fr \quad (1)$$

Para a realização desta pesquisa foi feita uma adaptação da metodologia utilizada pela CETESB (Equação 1), para obtenção da emissão por automóveis, para cada tipo de combustível, conforme a Equação 2.

$$M = Fe \times Iu \quad (2)$$

em que: M = Massa de poluente emitida no período considerado, em grama/ano; Fe = Fator de Emissão, depende do tipo de veículo, do poluente e combustível utilizado (g/km); Iu = Intensidade de uso ou quilometragem média anual percorrida pelo veículo (km/ano).

Este resultado representa a emissão anual por automóvel e combustível utilizado levando em consideração a intensidade do uso de referência já que a quilometragem anual varia com a idade do veículo. Multiplicando este valor pela frota teríamos o valor de emissão da frota em um ano (Equação 3).

$$M = Fe \times Iu \times Fr \quad (3)$$

em que: Fr = Frota dos automóveis.

A frota é formada por automóveis de diferentes idades, variando a taxa de emissão por automóvel e a sua quilometragem anual. Observa-se que o cálculo anual depende diretamente da composição da frota em relação à idade. A frota foi dividida em grupos menores formados com automóveis de mesma idade. A parcela ( $Fe \times Iu \times Fr$ ) foi calculada para cada grupo menor, levando em consideração a emissão por veículo e a quilometragem anual que vão variar com a idade de cada grupo. A massa total será o somatório das emissões dos grupos menores. Desta forma a massa total emitida durante o ano será o somatório, conforme a equação 4.

$$M = \sum_{i=1}^n Fe_i \times Iu_i \times Fr_i \quad (4)$$

A taxa de emissão total anual da frota por gás e combustível utilizado foi encontrada realizando o somatório dos valores de emissão de cada grupo. Este cálculo foi realizado para cada ano do intervalo de análise (1990 a 2013). Mas a partir de certa quilometragem, existe uma correção em relação às emissões. Os automóveis que andaram acima de 80.000 km sofrem um “adicional” de emissão que é o Fator de Deterioração. Os valores de emissão para os gases CO e NOx foram somados aos Fatores de Deterioração para grupos de automóveis com quilometragem igual ou maior que 80.000 km. Não foram adicionados os Fatores de Deterioração para os gases HC e CO<sub>2</sub> e material particulado por não existirem os dados.

Os valores totais anuais foram calculados de 1990 a 2013 por estarem disponíveis todos os dados, tanto as emissões individuais dos automóveis em cada ano como a frota/ano especificamente de automóveis, disponibilizadas pelo Departamento Estadual de Transito de Pernambuco (DETRAN-PE).

Para se encontrar valores emitidos mais próximos do real, foi preciso estimar a distribuição por idade da frota de automóveis no ano inicial (1990). O DETRAN-PE não possui a distribuição por idade da frota de automóveis de nenhum ano para a cidade do Recife. Desta forma, foi necessário fazer uma regressão linear através de tendência para estimar tal distribuição.

O DETRAN-PE fornece dados da frota total de veículos desde 1961. Apenas a partir de 1990, o DETRAN-PE informa a frota por tipo de veículo. De 1990 a 2000, a frota de automóveis correspondeu, em média, a 78% da frota total. Através do programa Origin foi realizada a tendência neste intervalo de tempo e foi constatado que este percentual pode ser considerado constante, visto que a maior variação desse percentual foi de 2,9%, valor abaixo do Intervalo de Confiança (95%), que foi de 3,7%. Após esse período houve

uma diminuição desse percentual devido ao crescimento exponencial de motos.

Fez-se a regressão para os anos anteriores, conseguindo obter aproximadamente a frota dos automóveis em períodos anteriores a 1990. Desta forma foi possível estimar a distribuição da idade da frota em 1990. Utilizando a equação 3 em anos anteriores (a partir de 1961) foi possível estimar as emissões dos automóveis mais antigos que contribuem para o valor total de emissão em 1990 e nos anos subsequentes.

Os valores totais anuais para cada gás e material particulado, por tipo de combustível, foram representados graficamente. As variações percentuais das emissões totais anuais foram analisadas através da curva de tendência. Os valores médios foram calculados com respectivo intervalo de confiança (95%). Através do programa Origin foram realizadas tendências temporais das emissões totais anuais. Para a determinação gráfica até que ponto os valores entre as variáveis que originaram a função de tendência/regressão estão inter-relacionados, foi utilizado o coeficiente de determinação R<sup>2</sup>, considerado uma estatística mais significativa (Lopes, 2001).

Após a análise das tendências, foram sugeridas ações que contribuam com uma maior redução de emissão veicular, visando reduzir os gases poluentes lançados para atmosfera, e consequentemente uma melhor qualidade do ar da cidade do Recife.

## Resultados e Discussão

### *Frota de veículos automotivos na cidade do Recife*

Na cidade do Recife, a frota de ônibus passou de 1.811, em 1990, para 7.109, em junho de 2014, representando um aumento de 292,5%. A frota de veículos de carga passou de 21.723, em 1990, para 86.079, em junho de 2014, expressando um crescimento de 296,2%. A frota de motocicletas, em 1990, era de 13.414, chegando a 127.217, em junho de 2014, representando um aumento de 848,4%. A frota de automóveis era de 162.450, em 1990, e de 396.700, em junho de 2014, apresentando um crescimento de 144,2% (Figura 1).

Esse aumento acentuado da frota veicular se deve ao crescimento populacional associado ao crescimento econômico da região. A região metropolitana do Recife apresentou elevado crescimento econômico nos últimos anos, tornando-se uma região de grandes oportunidades, atraindo profissionais de diversas regiões do país, e até mesmo do mundo. O crescimento da demanda durante os anos fez com que a frota do transporte público crescesse. Por outro lado, mesmo apresentando crescimento na frota de ônibus, a

deficiência do transporte público, juntamente com a elevação do poder econômico da população, contribuiu com o aumento significativo dos automóveis e motos na região (ANTP, 2011). Esse acelerado aumento da frota poderá estar

contribuindo com o crescimento das taxas de emissão veicular, comprometendo a qualidade do ar da região e possivelmente aumentando a concentração dos gases do efeito estufa.

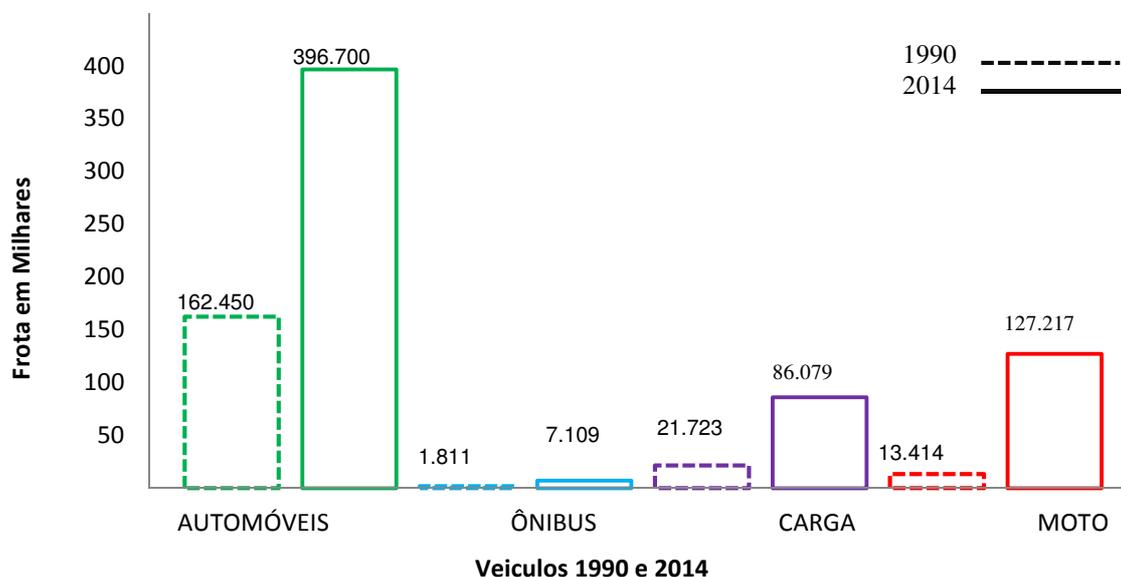


Figura 1. Evolução temporal anual de veículos automotivos na Cidade do Recife em 1990 e 2014.

A evolução da frota total veicular (automóveis, ônibus, veículos de carga e motos) e a evolução da frota de automóveis na cidade do Recife durante os últimos 24 anos (1990 a junho de 2013) está representada através da Figura 2. No ano de 1998 houve um recadastramento, refletindo em uma diminuição repentina da mesma.

Em 1991, a cidade do Recife possuía 1.310.259 habitantes e a frota de automóveis no mesmo ano era de 182.073, representando uma média de um automóvel para sete habitantes. No ano de 2013, a capital pernambucana chegou a 1.599.513 habitantes (IBGE) e com 394.456 automóveis, representando um automóvel para quatro habitantes. Observa-se tanto através da curva de evolução da frota total como da frota dos automóveis, um aumento da taxa de crescimento iniciado em 2008, confirmando o bom momento econômico da região dos últimos anos. O aumento do poder aquisitivo da população, a deficiência do transporte público, e incentivo do governo através de benefícios fiscais, são fatores que contribuem com a elevada taxa de crescimento dos automóveis na região (Penna, 2011; Rezende Filho, 2011; ANTP, 2011).

#### Emissões totais

Foram construídos gráficos representando a evolução das emissões totais anuais para os gases óxido de nitrogênio, hidrocarbonetos, monóxido de carbono, dióxido de carbono e material particulado, no intervalo de tempo de 1990 a 2013.

A curva de tendência utilizada na análise da evolução das emissões médias anuais para todos os gases e material particulado foi a função polinomial variando entre terceiro e quarto grau, por apresentar o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) muito próximo de 1 para todos os gráficos de evolução, representando uma forte relação entre as variáveis. Através da equação gerada pela curva de tendência, foi possível prever as emissões dos totais anuais para períodos futuros.

#### Óxido de nitrogênio

A evolução das emissões totais do óxido de nitrogênio para os automóveis, utilizando apenas o álcool ou apenas a gasolina está na Figura 3. Através da curva de tendência, os totais anuais do óxido de nitrogênio emitidos por automóveis utilizando o álcool, apresentaram um crescimento de 1990 a 1997, sendo que, em 1997 o valor total anual foi de 4.922 toneladas, correspondendo a um crescimento percentual de aproximadamente 48,5%. De 1997 a 2013 houve uma redução percentual de, aproximadamente, 48%, apresentando em 2013 o valor total de emissão anual de 2.554 toneladas. Admitindo que os automóveis utilizem apenas gasolina, teríamos, de 1990 a 1997, um crescimento percentual de, aproximadamente, 37,5%, apresentando em 1997 seu valor total anual máximo de emissão de 6.161 toneladas. De 1997 a 2013 houve uma redução percentual de, aproximadamente, 50%, atingindo em 2013 o valor total de emissão anual de 3.055 toneladas.

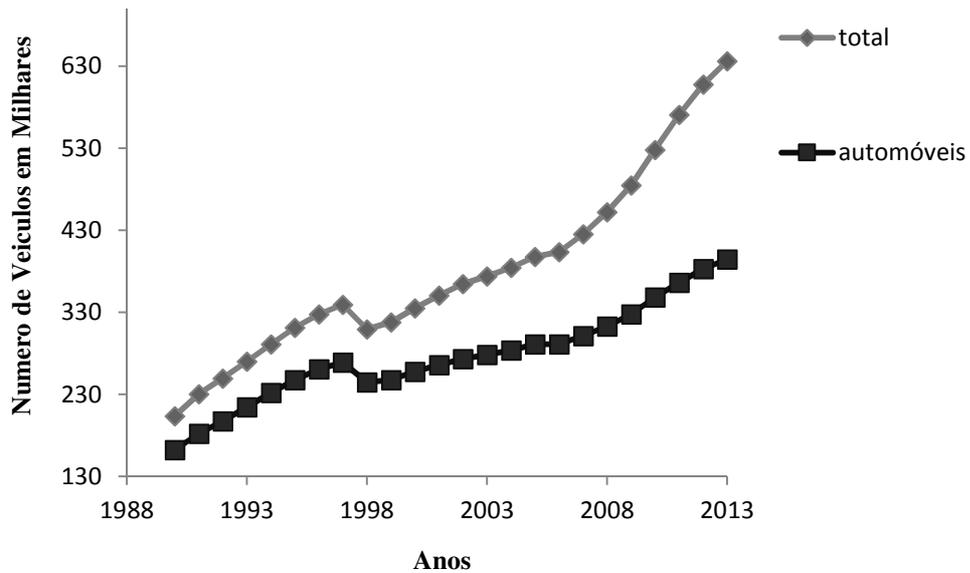


Figura 2. Evolução da frota total veicular e da frota dos automóveis da cidade do Recife.

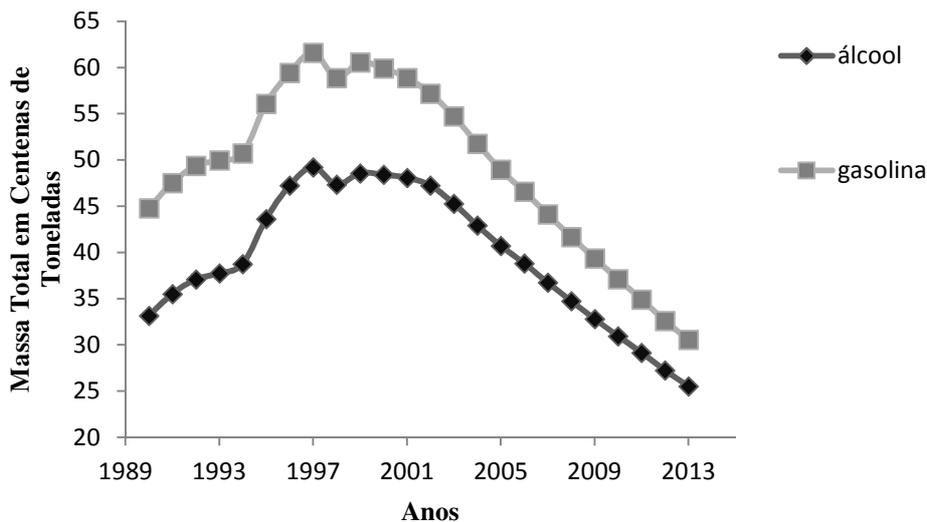


Figura 3. Evolução das emissões totais do óxido de nitrogênio para os automóveis, utilizando apenas o álcool e apenas a gasolina.

O valor total do Óxido de Nitrogênio emitido desde 1990 até 2013, utilizando apenas álcool seria de 9.4697,4 toneladas. A média dos totais anuais seria de 3945,7 toneladas por ano com Intervalo de Confiança (95%) de 293,8 toneladas confirmando a existência de uma variação significativa nas emissões anuais. Utilizando apenas gasolina, de 1990 a 2013 o valor total emitido seria de 117.745,7 toneladas, com valor médio dos totais anuais de 4.906,1 toneladas. O Intervalo de Confiança (95%) seria de 375,1 toneladas mostrando grande variação nas emissões anuais, uma vez que as variações durante os anos superam o intervalo de confiança.

Através da equação da curva de tendência polinomial de quarto grau foi possível identificar o comportamento das series temporais para os veículos utilizando apenas gasolina e apenas álcool. A evolução dos totais anuais até 2020 está na Figura 4.

Observou-se que tanto na utilização apenas do álcool como da gasolina os valores totais anuais iniciam novo crescimento entre 2010 e 2020. De 2020 em diante a função cresce indefinidamente. Com o desenvolvimento tecnológico, as taxas veiculares vêm diminuindo e ao mesmo tempo a frota vem aumentando. Percebe-se que, durante certo período, o efeito da redução das taxas vem sobrepondo o crescimento da frota resultando em

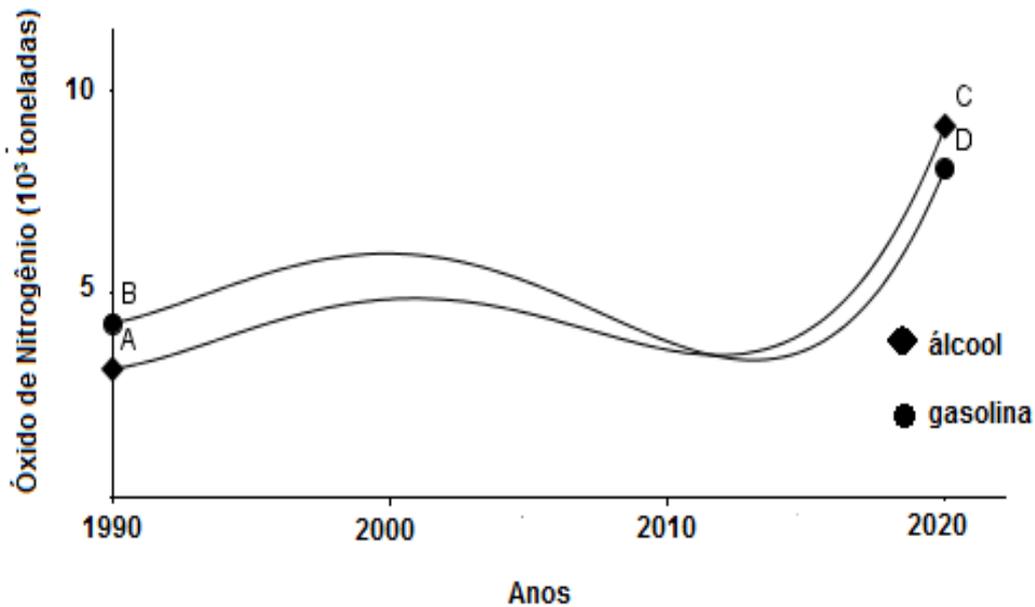


Figura 4. Evolução do óxido de nitrogênio através da curva de tendência de 1990 a 2020.

uma diminuição das emissões totais anuais, mas a curva de tendência mostra que valores voltarão a aumentar.

#### Hidrocarbonetos

Através da curva de tendência, os totais anuais dos Hidrocarbonetos emitidos, considerando a utilização do álcool, apresentaram um crescimento percentual de aproximadamente 20,2% de 1990 a 1995 onde atinge seu valor total máximo de 3.751 toneladas. De 1995 a 2013 apresentou uma redução percentual de, aproximadamente, 57,3%, emitindo, em 2013, um valor total de 1.599,7 toneladas.

Admitindo que os automóveis utilizem apenas gasolina teríamos de 1990 a 1992 um crescimento percentual de, aproximadamente, 7,9%, apresentando em 1992 o valor total máximo de emissão anual, de 4.991,5 toneladas. De 1992 a 2013 houve uma redução percentual de, aproximadamente, 66%, atingindo o valor total de emissão anual em 2013 de 1.696.6 toneladas. A evolução das emissões totais dos hidrocarbonetos para os automóveis, utilizando o álcool e a gasolina esta representada na Figura 5.

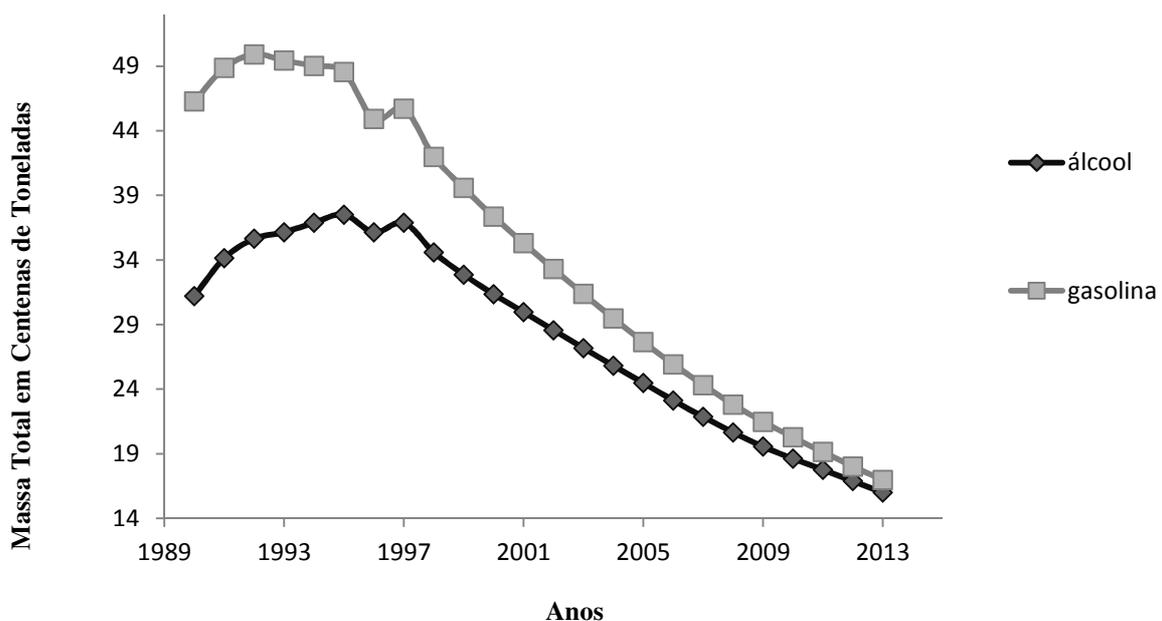


Figura 5. Evolução das emissões totais dos hidrocarbonetos para os automóveis, utilizando apenas o álcool e apenas a gasolina.

O valor total emitido dos Hidrocarbonetos desde 1990 até 2013, utilizando apenas álcool seria de 6.7378,3 toneladas. A média dos valores totais anuais seria de 2807,4 toneladas por ano e Intervalo de Confiança (95%) de 293 toneladas mostrando uma grande variação nas emissões anuais. Utilizando apenas gasolina, de 1990 a 2013 o valor total emitido seria de 8.2757 toneladas, com valor médio dos totais anuais de 3.4482 toneladas por ano. O Intervalo de Confiança (95%) seria de 466,2

toneladas mostrando novamente grande variação nas emissões anuais.

Através da equação da curva de tendência polinomial de terceiro grau foi realizada a análise em relação ao comportamento das series temporais para os veículos utilizando apenas gasolina e apenas álcool. A evolução dos totais anuais até 2020 está na Figura 6.

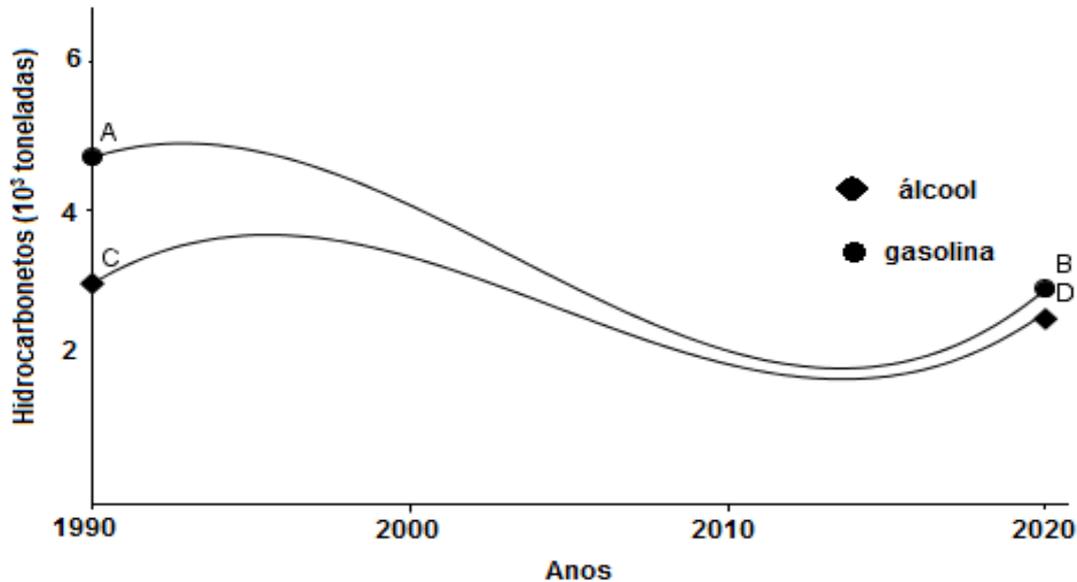


Figura 6. Evolução dos hidrocarbonetos através da curva de tendência de 1990 a 2020.

Observou-se que tanto na utilização apenas do álcool como da gasolina os valores totais anuais também iniciam um novo crescimento entre 2010 e 2020, e a partir de 2020 apenas aumenta. Da mesma forma, durante certo período, o efeito da redução das taxas vem sobrepondo o crescimento da frota resultando em uma diminuição das emissões totais anuais, mas os valores voltam a aumentar indefinidamente.

#### Monóxido de carbono

Os totais anuais do monóxido de carbono emitidos por automóveis, considerando a utilização do álcool, apresentaram um crescimento percentual de 12,6%, do ano de 1990 a 1997 atingindo o valor total máximo de 59.907 toneladas em 1997. De 1997 a 2013 houve uma queda percentual de, aproximadamente, 57%, apresentando em 2013 o valor total de emissão anual de 25.639 toneladas. Da mesma forma, admitindo que os automóveis utilizem apenas gasolina teríamos de 1990 a 1997 um crescimento percentual de, aproximadamente, 0,9%, apresentando em 1997 seu valor total máximo de emissão anual, de 91.815,4 toneladas. De 1997 a 2013 ocorreu uma redução percentual de, aproximadamente, 60%, atingindo em 2013 o valor total de emissão anual de 36.224,1 toneladas.

A evolução das emissões totais do monóxido de carbono para os automóveis, utilizando apenas o álcool e apenas a gasolina está na Figura 7.

O valor total emitido do monóxido de carbono desde 1990 até 2013, utilizando apenas álcool seria de 1.098.671 toneladas. A média dos valores totais anuais seria de 45.778 toneladas por ano e o intervalo de confiança (95%) de 4.404,3 toneladas. Observamos que as variações das emissões anuais são maiores do que o intervalo de confiança. Utilizando apenas gasolina, de 1990 a 2013 o valor total emitido foi de 1.679.147,6 toneladas, com a média dos valores totais anuais de 69.964,5 toneladas por ano. O intervalo de confiança (95%) seria de 7.900,3 toneladas que, apesar de ser um valor considerável, é menor que a variação dos totais anuais no período considerado.

Através da equação da curva de tendência polinomial de terceiro grau foi realizada a análise em relação ao comportamento das series temporais para os veículos utilizando apenas gasolina e apenas álcool. A evolução dos totais anuais até 2025 está na Figura 8.

Observou-se que tanto na utilização apenas do álcool como da gasolina os valores totais anuais iniciam um novo crescimento próximo do ano de 2020. De acordo com a função que representa a

tendência, com o passar dos anos, este crescimento tende a infinito.

De acordo com Lacerda (2007), em um estudo realizado em habitantes de algumas regiões com grande tráfego, a concentração de CO pode variar desde valores baixos a proporções extremas. Essa exposição pode causar desde uma intoxicação

crônica ao CO, resultante de uma exposição prolongada a baixas concentrações ocasionando efeitos tóxicos cumulativos como distúrbios visuais, alterações auditivas, síndrome de Parkinson, isquemia cardíaca, dentre outros, a problemas respiratórios mais sérios como cânceres.

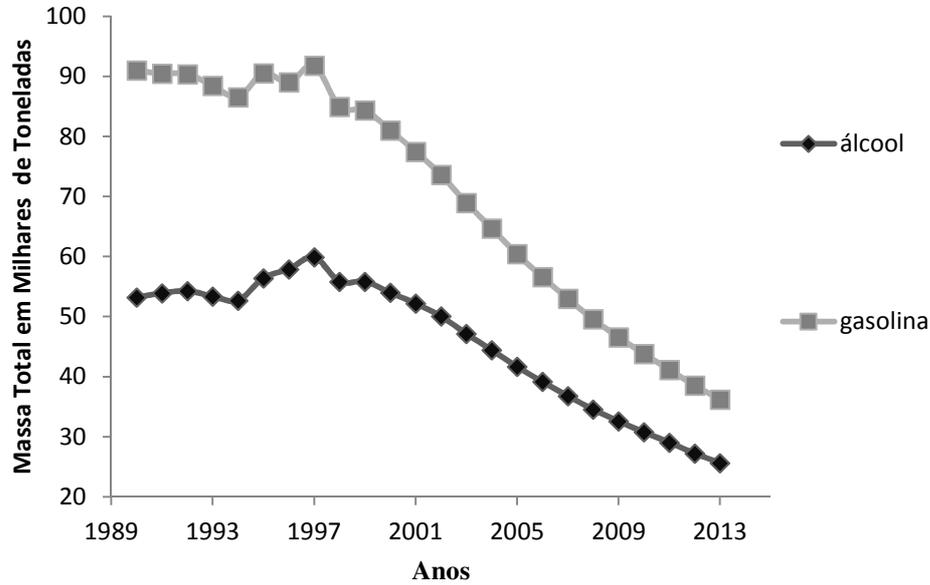


Figura. 7 Evolução das emissões totais do monóxido de carbono para os automóveis, utilizando apenas o álcool e apenas a gasolina.

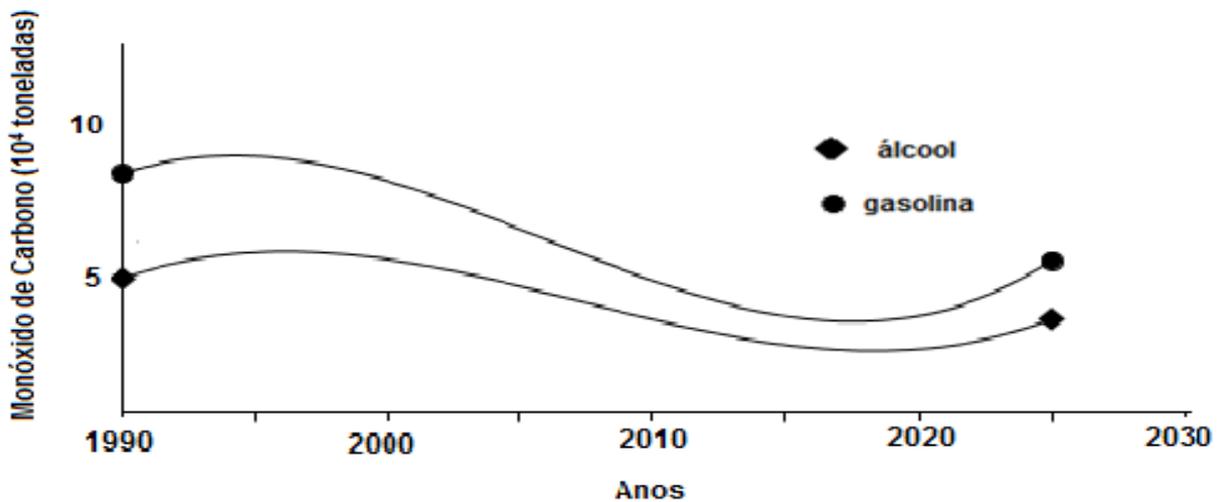


Figura 8. Evolução do monóxido de carbono através da curva de tendência de 1990 a 2025.

#### Dióxido de carbono

Os totais anuais do Dióxido de Carbono de 1990 a 2001 foram calculados utilizando a mesma taxa de emissão (198 g/km) do ano de 2001, pela inexistência dos dados para os anos anteriores. Através da análise da curva de tendência de 1990 a 2013 e considerando que os automóveis utilizaram apenas o álcool, de 1990 a 1997 as emissões anuais apresentaram um crescimento percentual de aproximadamente 70,4% onde em 1997 atinge seu

valor total anual de 637.945,2 toneladas. De 1997 a 2007 apresentou uma redução percentual de aproximadamente 13,5%. De 2007 a 2013 apresentou um crescimento percentual de 24,2% emitindo em 2013 um valor total anual de 684.919 toneladas. Analisando o período de 2002 a 2013 (período em que os dados de emissão foram disponibilizados), as emissões totais anuais apresentaram um crescimento percentual de 14,8%.

Admitindo que os automóveis utilizem apenas gasolina, de 1990 a 1997 as emissões anuais apresentaram um crescimento percentual de aproximadamente 70,4% onde em 1997 atinge seu valor total anual de 661.325,5 toneladas aproximadamente. De 1997 a 2007 apresentou uma redução percentual de, aproximadamente, 13,5%. De 2007 a 2013 apresentou um crescimento percentual de 24,2% emitindo em 2013 um valor

total anual de 709.996,7 toneladas. Analisando o período de 2002 a 2013 (período em que os dados de emissão foram disponibilizados), as emissões totais anuais apresentaram um crescimento percentual de aproximadamente 14,8%. A evolução das emissões totais do dióxido de carbono para os automóveis, utilizando o álcool e a gasolina está representada na Figura 9.

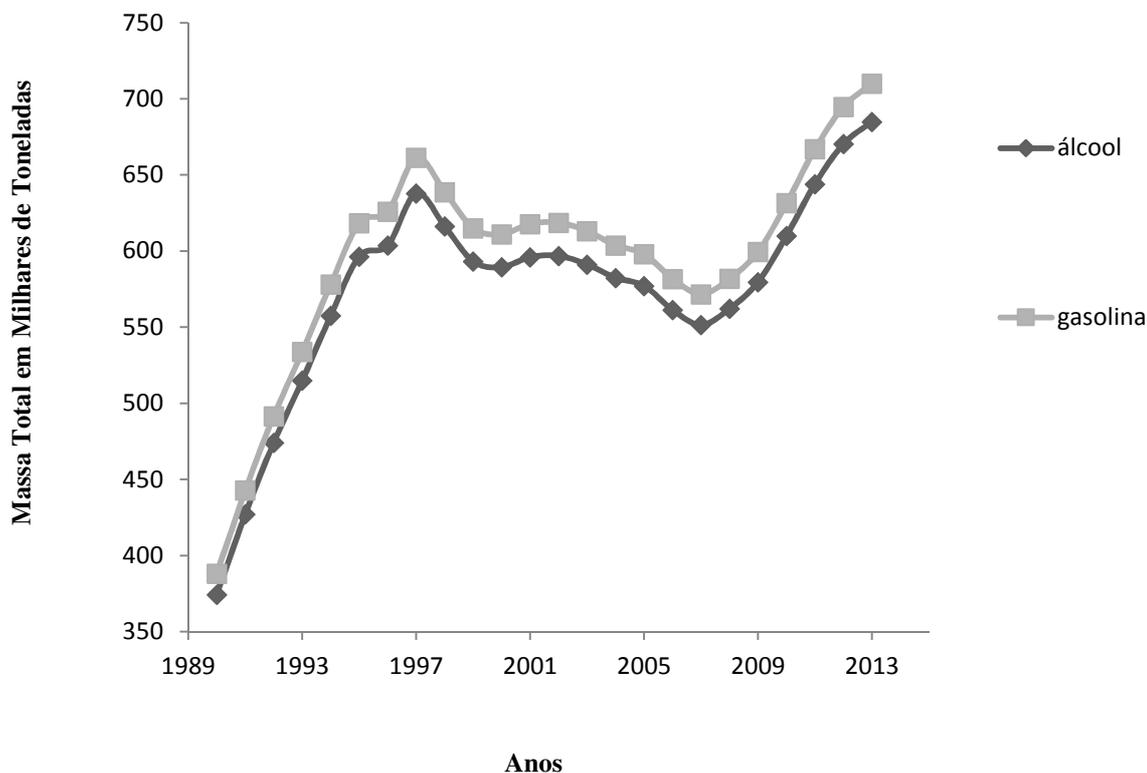


Figura 9. Evolução das emissões totais do dióxido de carbono para os automóveis, utilizando apenas o álcool ou apenas a gasolina.

O valor total emitido do Dióxido de Carbono desde 1990 até 2013, utilizando apenas álcool seria de 13.793.615,7 toneladas. No período de 2002 a 2013 (período em que os dados de emissão foram disponibilizados) a média dos valores totais anuais seria de 600.977 toneladas por ano com Intervalo de Confiança (95%) de 24.608 toneladas. Observa-se que as variações das emissões anuais são maiores do que o intervalo de confiança. Utilizando apenas gasolina, de 1990 a 2013 o valor total emitido seria de 14.295.028,9 toneladas. No período de 2002 a 2013 (período em que os dados de emissão foram disponibilizados) a média dos valores totais anuais seria de 622.659,8 toneladas por ano com intervalo de confiança (95%) de 25.526,5 toneladas que, apesar de ser um valor considerável, é menor que a variação dos totais anuais no período considerado.

Através da equação da curva de tendência polinomial de grau três foi realizada a análise em relação ao comportamento das séries temporais para os veículos utilizando apenas gasolina e apenas álcool. A evolução dos totais anuais até 2020 está na Figura 10.

Observa-se que as flutuações das emissões veiculares com o passar dos anos, juntamente com a possível economia de combustível devido ao desenvolvimento tecnológico, fizeram com que as emissões totais anuais diminuíssem numa taxa pequena e por um período pequeno (1997 a 2007). A partir do ano de 2007 percebe-se que a melhoria da queima veicular (aumentando a taxa de CO<sub>2</sub>), juntamente com o crescimento da frota, fez com o que as emissões do dióxido de carbono apresentassem um crescimento acentuado, não diminuindo mais.

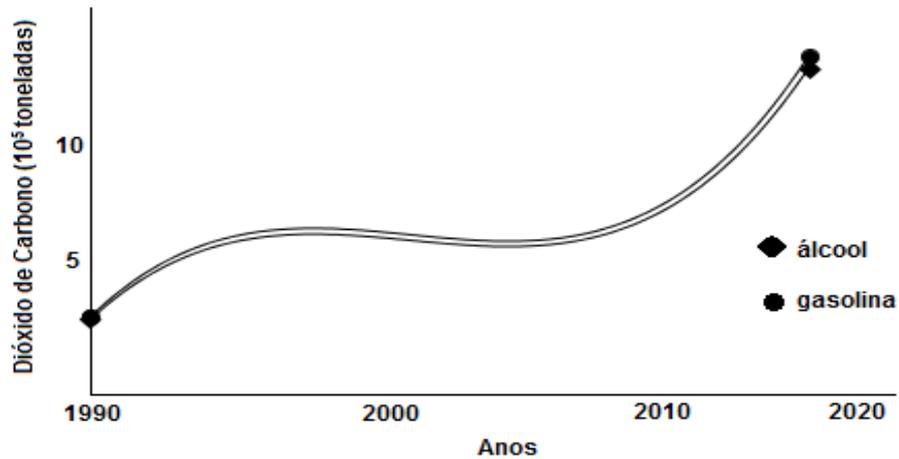


Figura 10. Evolução do Dióxido de Carbono através da curva de tendência de 1990 a 2020.

*Material particulado*

Através da curva de tendência, os totais anuais de material particulado emitidos por automóveis utilizando a gasolina, apresentaram um

crescimento de 1990 a 1997 atingindo o valor total anual máximo de 7.910 kg em 1997, correspondendo a um crescimento percentual de, aproximadamente, 68% (Figura 11).

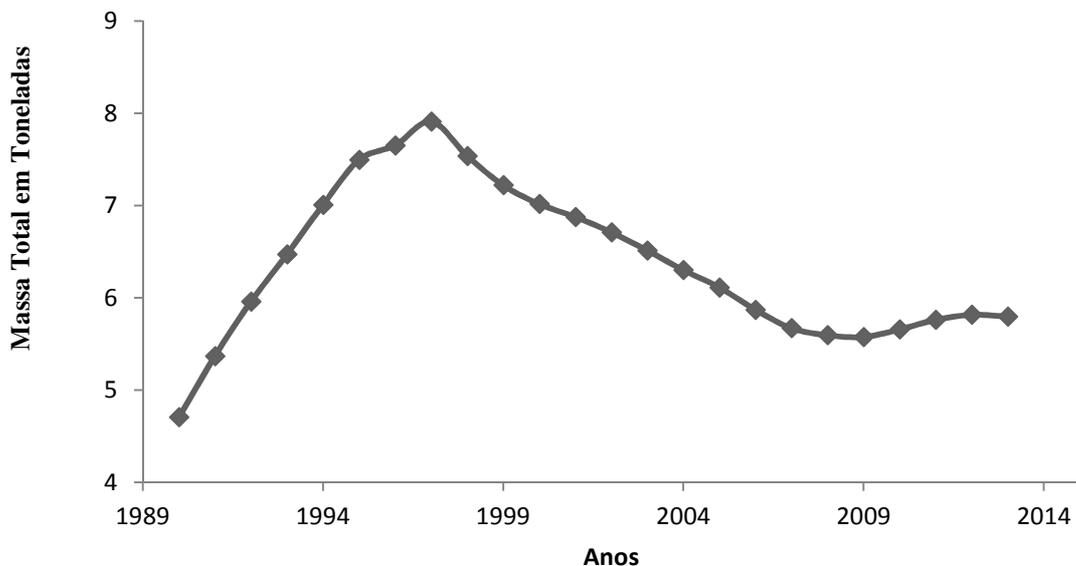


Figura 11. Evolução das emissões totais do Material Particulado para os automóveis, utilizando apenas a gasolina.

De 1997 a 2009 foi observada uma redução percentual de, aproximadamente, 29,5%. De 2009 a 2013 foi encontrado um crescimento percentual de 3,9%, apresentando, em 2013, o valor total de emissão anual de 5.796 kg. Os valores totais anuais para os automóveis à álcool não foram calculados pela ausência de dados. O valor total emitido de material particulado, de 1990 até 2013, utilizando apenas gasolina, foi de 152,6 toneladas. A média dos valores totais anuais foi de 6,36 toneladas por ano, com o intervalo de confiança (95%) de 0,33

toneladas. Mais uma vez, observa-se que as variações das emissões médias anuais são maiores do que o intervalo de confiança.

Através da equação da curva de tendência polinomial de quarto grau foi realizada a análise em relação ao comportamento das series temporais para os veículos utilizando apenas gasolina; a evolução dos totais anuais até 2020 está representada na Figura 12.

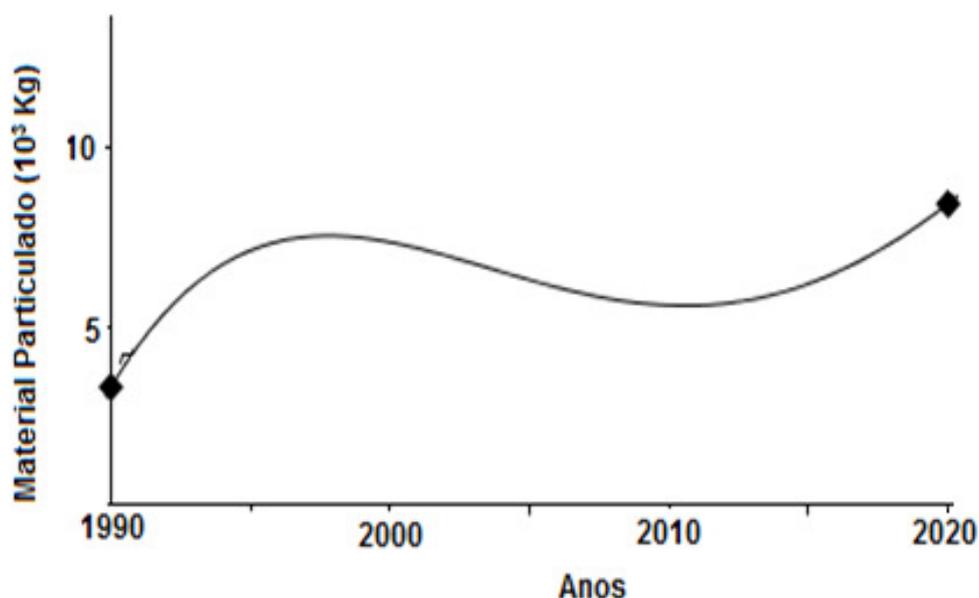


Figura 12. A evolução do material particulado através da curva de tendência de 1990 a 2020.

O comportamento da evolução dos totais anuais utilizando apenas a gasolina mostrou um crescimento definitivo iniciando em meados de 2010.

De acordo com Gioda (2006) o material particulado devido às emissões veiculares é classificado como partículas finas ( $\leq 2,5\mu\text{m}$ ) e ultrafinas ( $\leq 0,1\mu\text{m}$ ) responsável por doenças respiratórias e cardiovasculares, a exacerbação de alergias, a asma, a bronquite crônica, a infecção do trato respiratório.

Observa-se que, as emissões desses componentes poluem a atmosfera e trazem diversos problemas, principalmente relacionados à saúde. As vantagens relacionadas às emissões não existe. O que existe são os benefícios proporcionados pelas máquinas térmicas. Os resultados mostram que, devido à necessidade crescente da utilização dessas máquinas, os níveis de emissão tendem a aumentar, mesmo com desenvolvimento tecnológico atual concomitante.

### Considerações Finais

A cidade do Recife apresentou crescimento da frota de veículos leves de 143% de 1990 a 2013. Esse expressivo aumento contribui com as emissões de diversos gases e material particulado para a atmosfera, tanto no valor total anual emitido como na evolução das emissões ao longo dos anos.

Em relação às emissões totais anuais emitidas desde 1990 até 2013, para todos os gases e material particulado analisado, as variações das emissões médias anuais de seus valores extremos ultrapassam o intervalo de confiança, mostrando grande variação das emissões com o passar dos anos.

Observou-se que o efeito da redução das taxas por veículo para alguns poluentes, devido ao desenvolvimento tecnológico, supere o efeito do crescimento da frota resultando em uma diminuição das emissões totais anuais. Mas a tendência é de que os valores voltem a aumentar observando que a cada ano que passa fica mais difícil diminuir as taxas veiculares, tendendo a um limite, enquanto que a frota veicular continua aumentando.

As séries temporais para o óxido de nitrogênio e hidrocarbonetos, tanto na utilização apenas do álcool como da gasolina, mostraram que os valores totais anuais iniciam novo crescimento entre 2010 e 2020. O monóxido de carbono, tanto na utilização apenas do álcool como da gasolina, os valores totais anuais iniciam um novo crescimento próximo do ano de 2020. De acordo com a tendência, atualmente estaríamos num ponto de inversão da curva, iniciando novo crescimento onde a função extrapola, aumentando indefinidamente. Para o dióxido de carbono, a partir do ano de 2007, percebe-se que o efeito do desenvolvimento tecnológico não supera o efeito do crescimento da frota fazendo com que as emissões apresentem um crescimento acentuado. Esse cenário implica que atualmente estamos no trecho de ascensão da função, sem perspectiva de diminuição das emissões.

A evolução dos totais anuais do material particulado utilizando apenas a gasolina mostrou que o efeito da melhoria das taxa de emissão veicular conseguiu fazer com que as emissões totais anuais diminuíssem por um período pequeno (1997 a 2009 aproximadamente). Observa-se que a partir do ano de 2009 a melhoria das emissões

veiculares não supera o efeito do crescimento da frota fazendo com que as emissões apresentem elevado crescimento, sem perspectiva de diminuição.

Em algumas situações, independentemente da evolução das emissões, o valor total de poluentes emitidos em certa região poderá comprometer a qualidade do ar, e contribuir com o aumento dos gases do efeito estufa. Em Recife, mesmo durante o período de diminuição das emissões, o total emitido poderia estar comprometendo a qualidade do ar da região.

Faz-se necessária a criação de programas do controle da frota veicular, programas que incentivem substituição dos veículos antigos e cada vez mais investimentos em tecnologia com o objetivo de melhorar a qualidade do combustível, diminuir o consumo de combustível e os níveis de emissão por veículo.

Cabe ressaltar que a utilização de álcool contribui para redução das emissões totais. O ingresso da frota de veículos movidos a GNV e/ou automóveis flex (álcool/gasolina) devem modificar o quadro de emissões atuais, promovendo a melhoria da qualidade do ar. A implementação de postos de inspeção e manutenção veicular contribuirá com as reduções, pois será possível obter uma noção mais precisa da quilometragem rodada pela frota em cada ano e orientar os proprietários a fazerem manutenções periódicas nos veículos.

## Referências

- ANTP. Associação Nacional de Transportes Públicos. Relatório., 2011. Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da ANTP. Dezembro/2012.
- Branco, G.M., Walsh, M.P., 2005. Controle da poluição dos veículos a Diesel. Uma estratégia para o Progresso no Brasil. Fundação Hewlett, Rio de Janeiro.
- Brasil., 2014. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Disponível: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso: 20 de novembro de 2014.
- Carvalho, C.H.R., 2011. Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros. Instituto de pesquisa econômica aplicada, Brasília.
- CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental., 2006. Relatório Anual de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo-2005. São Paulo, SP.
- CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental., 2012. Emissões Veiculares-2012. São Paulo, SP.
- DETRAN-PE. Departamento estadual de trânsito de Pernambuco. Disponível:<<http://www.detran.pe.gov.br/>>. Acesso: 20 de novembro de 2013.
- DIEESE. Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos. Disponível: <http://www.dieese.org.br/>. Acessado em: nov. 2013.
- Galvão-Filho, J.B., 1989. Poluição do Ar. Aspectos Técnicos e Econômicos do Meio Ambiente.. Disponível: [www.consultoriaambiental.com.br](http://www.consultoriaambiental.com.br). Acesso: 20 out. 2013.
- Gioda, A., Gioda, F.R., 2006. A influência da qualidade do ar nas doenças respiratórias. Dissertação Mestrado. Departamento de Química, Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE).
- Gouveia, N. et al., 2003. Poluição do ar e efeitos na saúde nas populações de duas grandes metrópoles brasileiras. Epidemiologia e Serviços de Saúde 12, 29-40.
- INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Disponível: <http://www.inmetro.gov.br>. Acesso: jul. de 2014.
- Köppen, W., 1948. The Climates of North America. R. Handbuch der Klimatologie, Berlin.
- Lacerda, A., Leroux, T., Morata, T., 2005. Efeitos ototóxicos da exposição ao monóxido de carbono: uma revisão. Pró-Fono Revista de Atualização Científica 17, 403-412.
- Lopes, P.A., 2001. Probabilidades e estatísticas. Rio de Janeiro: Reichmann e Afonso Ed., 2001.
- Magalhães, A.P.R., Paiva, S.C., Ferreira, L.O.C. et al., 2011. A mortalidade de idosos no Recife: quando o morrer revela desigualdades. Epidemiol. Serv. Saúde 20, 183-192.
- Miranda, L.I.B., 2004. Organização socioespacial e mobilidade residencial da região metropolitana do recife, PE. Cadernos Metrópole 12, 123-144.
- Penna, P.M.M.A., Rezende Filho, C.B., 2011. Benefícios fiscais a veículos poluidores. Ciências Ambientais. Setembro de 2011. Disponível:<http://hdl.handle.net/2315/178>. Acesso: 10 ago. 2014.
- Prefeitura da Cidade do Recife. Disponível: <http://www2.recife.pe.gov.br/a-cidade/conheca-o-recife>. Acesso: 30 jan. 2014.
- Saldiva, P.H.N., Pereira, L.A.A., Braga, A., 1995. Poluição atmosférica e seus efeitos na saúde humana. Faculdade de Medicina da USP. São Paulo, SP.
- Souza, W.M., 2011. Impactos socioeconômicos e ambientais dos desastres associados às chuvas na cidade do Recife-PE. Tese de Doutorado.

Universidade Federal de Campina Grande,  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. 121  
f., Campina Grande-PB.

Souza, W.M., Azevedo, P.V., 2009. Avaliação de  
tendências das temperaturas em Recife-PE:  
Mudanças climáticas ou variabilidade?.  
Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia  
6, 462-472.

SUAPE. Complexo Industrial Portuário  
Governados Eraldo Gueiros. Disponível:  
<<http://www.suape.pe.gov.br/news/matLer.php?id=246>>. Acesso: jan 2014.

Teixeira, E.C. et al., 2008. Estudo das Emissões de  
Fontes Móveis na Região Metropolitana de  
Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Porto Alegre,  
RS, Brasil. Quim. Nova 31, 244-248.