



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR- LABOMAR
CURSO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS

TAMIRIS FERREIRA ALVES DA SILVA

QUALIDADE DO AR, VARIAÇÃO TEMPORAL E RISCO DE EXPOSIÇÃO
AOS NÍVEIS DE BTEX EM VIAS DE INTENSO FLUXO VEICULAR NA CIDADE DE
FORTALEZA-CE.

FORTALEZA
2016

TAMIRIS FERREIRA ALVES DA SILVA

QUALIDADE DO AR, VARIAÇÃO TEMPORAL E RISCO DE EXPOSIÇÃO AOS
NÍVEIS DE BTEX EM VIAS DE INTENSO FLUXO VEICULAR NA CIDADE DE FORTALEZA-
CE.

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Ambientais do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Rivelino Martins Cavalcante.

Co-orientador: Prof. Dr. Francisco Wagner de Sousa

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Rui Simões de Menezes

S584q Silva, Tamiris Ferreira Alves da.

Qualidade do ar, variação temporal e risco de exposição aos níveis de BTEX em vias de intenso fluxo veicular na cidade de Fortaleza - CE / Tamiris Ferreira Alves da Silva – 2016.
62 p. : il. color., enc. ; 30 cm.

Monografia (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Curso Bacharelado em Ciências Ambientais, 2016.

Orientação: Prof. Dr. Rivelino Martins Cavalcante.

Co-Orientação: Prof. Dr. Francisco Wagner de Sousa.

1. Poluição do Ar – Fortaleza (CE). 2. Poluentes Atmosféricos. 3. Centros urbanos. I. Título.

CDD 363.739 2

TAMIRIS FERREIRA ALVES DA SILVA

QUALIDADE DO AR, VARIAÇÃO TEMPORAL E RISCO DE EXPOSIÇÃO AOS
NÍVEIS DE BTEX EM VIAS DE INTENSO FLUXO VEICULAR NA CIDADE DE FORTALEZA-
CE.

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Ambientais do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Ambientais.

Aprovada em: _____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rivelino Martins Cavalcante (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dra. Marta Celina Linhares Sales
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Antonio Geraldo Ferreira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À Deus.

Aos meus pais, Aldenice e Antonio que sempre foram o motivo de toda minha persistência.

Ao meu companheiro Raimundo Inácio pelo apoio em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre iluminar meus caminhos e conceder-me bênçãos e livramentos durante toda essa trajetória.

Aos meus Pais, ao meu amado irmão Luiz Eduardo, à minha avó materna Luiza Ramos e avó Paterna Francisca e a todos os familiares por sempre me mostrar os caminhos que devo seguir além de mostra-me que devo sempre levar comigo a honestidade e simplicidade em meu caráter sem esquecer-me de toda dedicação, companheirismo e amor que me proporcionaram.

Ao meu amado esposo, Raimundo Inácio, por todo apoio, força, compreensão e paciência durante toda a minha graduação.

Ao meu orientador, Rivelino Martins Cavalcante, pela oportunidade, atenção, orientação, apoio, e amizade que surgiu no decorrer desta pesquisa.

Ao professor Francisco Wagner de Souza, pelo apoio à minha pesquisa e ao Professor Francisco Mauricio de Sá Barreto.

Aos professores do curso de Ciências Ambientais que sempre nos colocaram e nos proporcionaram momentos em que pudéssemos olhar para o futuro.

À toda Família do Laboratório de Contaminantes Orgânicos do Instituto de Ciências do Mar: Doutorandos, André Oliveira, Allyne Gama, Pollyana Moraes e Vitor Paulo, aos mestrandos, Marcyelle Freitas e Wersângela Duaví, Gabriella Melo e aos bolsistas de iniciação científica e monitoria, Felipe Rodrigues, Íthala Saldanha, Tanara Lima, Lígia e Carlos, por toda a amizade e pela grande ajuda nesses dois anos.

Aos meus outros colegas, Íthala Saldanha, Tanara Lima e Evla Vívica Costa de Freitas, Camille Arrares Rocha, Icaro Brenno, Wersângela Duaví, Cleane de Lima Aquino pelo auxílio especial ao meu trabalho.

Aos meus queridos amigos de turma, Francisco Paulo e Jade Abreu, pelo incentivo e companheirismo durante todos os anos da graduação.

Agradeço também a todos que auxiliaram desde a permissão ao apoio nos pontos de coleta desta pesquisa.

À todos os movimentos católicos que tenho frequentado como o Instituto Hessed e Paróquia Nossa Senhora das Graças por ter proporcionado apoio e amizade ao longo destes anos contribuindo para o conhecimento pessoal e contribuição da fé.

À todos os funcionários do LABOMAR/UFC, pela dedicação e convivência durante esses quatro anos em especial ao Sr. Bibliotecário Murilo Costa e Secretária do Curso

de Ciências Ambientais Eunice Meneses e aos Porteiros e Zeladores do Instituto de Ciências do Mar sempre tão simpáticos e prestativos.

Finalmente, agradeço a UFC, ao Laboratório de Contaminantes Orgânicos do Instituto de Ciências do Mar, ao Laboratório de Saneamento Ambiental do Departamento de Construção Civil do Instituto Federal e Tecnológico do Ceará e ao CNPq pelo auxílio financeiro na minha graduação e na realização do projeto científico.

In Memoriam de meu amado avô Francisco Ferreira e meu amado primo Ítalo que já não podem estar ao meu lado nesse momento em especial.

*“Sou apenas um lápis nas mãos
de Deus, é Ele quem escreve.”
Madre Tereza*

RESUMO

O intuito deste trabalho foi avaliar a qualidade do ar em vias de intenso fluxo veicular na cidade de Fortaleza, bem como sua variação temporal e seus riscos associados utilizando como indicador os níveis de BTEX, especificamente: avaliar a qualidade do ar através da determinação das concentrações de BTEX presentes na atmosfera; investigar a influência temporal nas concentrações de BTEX coletados nas diferentes estações do ano correlacionadas as variáveis meteorológicas e ao fluxo veicular; comparar os resultados e avaliar o risco a saúde. Para tanto foram escolhidos cinco locais de fluxo veicular distintos em Fortaleza (Av. Aguanambi, Av. Bezerra de Menezes, Av. da Abolição, Avenida da Universidade e Rua Marechal Deodoro) e analisados por período (chuvoso e estiagem) e por turno (manhã e tarde). Os resultados deste estudo mostraram que no Período Chuvoso os níveis da composição de BTEX foram mais elevados no turno da tarde do que no turno manhã, já no Período Seco os níveis da captação de BTEX por turno foi diversificado, é necessário enfatizar que houve expressões significativas dos níveis destes compostos em relação à variação sazonal no qual no período Chuvoso os níveis da composição de BTEX foram maiores do que no período Seco e os parâmetros que mais tiveram uma proximidade entre a correlação de compostos BTEX e variáveis meteorológicas no Período Chuvoso foram Radiação e Precipitação. Já no Período Seco foi à radiação para correlação positiva moderada e correlação negativa moderada para velocidade do vento no qual nos diz que o vento não favoreceu na captação de compostos no local de amostragem no período de estiagem. Nos níveis de BTEX, a estimativa do risco de câncer para o composto Benzeno no Período Chuvoso variou de $8,89E-07$ a $1,56E-06$ para mulher e $8,50E-07$ a $1,53E-06$ para homens e no Período seco variou de $5,76E-08$ a $2,19E-07$ para mulher e $7,01E-08$ a $2,09E-07$ e o índice de risco para compostos não carcinogênico (Tolueno, Etilbenzeno, m-p-o Xileno) para o Período chuvoso variou de $6,45E-06$ a $3,66E-05$ para mulher e de $6,17E-06$ a $3,50E-05$ para homens já no Período seco este índice variou de $1,44E-06$ a $4,05E-05$ para mulheres e $6,92E-08$ a $1,40E-05$ para homens mostrando-se abaixo dos níveis permissíveis em todos os locais de amostragem fundamentado em limites de algumas normas nacional e internacionais, cálculos estes baseados em ambientes e regime de carga horária trabalhista adaptada a este estudo já que não há legislação para os limites da composição de BTEX ao ar livre (externo). Os resultados entre a correlação de compostos BTEX e Fluxo de Tráfego veicular foram de correlação fraca Onde no Período Chuvoso foi de $r=0,38$ e no Período Seco foi de $R= 0,42$, onde no Período Seco mostrou mais expressividade entre as variáveis desta correlação. A Razão entre o Período Chuvoso sobre o Período seco foi de 1,98 para o composto Benzeno, 2,47 para o composto Tolueno, 4,63, para o composto Etilbenzeno e 3,98 para os compostos de M,P,O-Xileno. Estudos anteriores revelam que é possível ocorrer fenômenos aos que ocorreram nesta amostragem no qual a composição de poluentes é maior no inverno do que no verão ou quando a estabilidade de alguns fenômenos na atmosfera são maiores em alguns períodos do que em outros.

Palavras-chave: Poluição Atmosférica. COVs. Áreas Urbanas. Saúde Ambiental.

ABSTRACT

The purpose of this report was to evaluate the air quality in intense vehicular flow paths in the city of Fortaleza, as well as its temporal variation and its associated risks using as an indicator the levels of BTEX, specifically: to assess air quality by determining the concentrations BTEX present in the atmosphere; investigate the temporal influence on BTEX concentrations collected at different seasons of the year correlated the weather variables and vehicular flow; compare the results and assess the risk to health. Therefore, we selected five locations of vehicular distinct flow in Fortaleza (Av. Aguanambi, Av. Bezerra de Menezes, Av. Abolition of the University Avenue and Rua Marechal Deodoro) and analyzed by period (wet and dry) and shift (morning and afternoon). The results of this study showed that in the rainy period the levels of BTEX composition were higher in the afternoon than in the morning shift, as the Dry Period BTEX funding levels per shift was diverse, it is necessary to emphasize that there were significant expressions the levels of these compounds in relation to the seasonal variation in which the rainy period levels of BTEX composition were higher than in the Dry period and the parameters that most had a closeness between the correlation of BTEX and meteorological variables compounds in the rainy period were radiation and Precipitation. In the Dry Period was radiation for moderate positive correlation and moderate negative correlation of wind speed in which tells us that the wind did not favor the capture compounds in the sampling site in the dry season. Levels of BTEX, the estimated cancer risk for benzene compound in the rainy period ranged from $8,89E-07$ $1,56E-06$ for women and $8,50E-07$ $1,53E-06$ for men and Period dry ranged from $5,76E-08$ to $2,19E-07$ for women and $7,01E-08$ to $2,09E-07$ and the hazard ratio for non-carcinogenic compounds (Toluene, Ethylbenzene, m-p-o, Xylene) for the rainy period ranged of $6,45E-06$ to $3,66E-05$ for women and $6,17E-06$ to $3,50E-05$ for men since the dry period this index ranged from $1,44E-06$ to $4,05E-05$ for women and $6,92E-08$ to $1,40E-05$ for men showing up below the permissible levels at all sampling sites based on limits of some national and international standards, these calculations based on environments and labor hours regime adapted to this study since there is no legislation to the limits of BTEX composition outdoor (external). The results from the correlation of BTEX compounds and vehicular traffic flow were weak correlation Where in the rainy period was $r = 0.38$ and Dry period was $R = 0.42$, where the Dry Period was more expressive between variables this correlation. The ratio of the rainy season of the dry period was 1.98 for the benzene compound, 2.47 to toluene compound, 4.63 to ethylbenzene compound and 3.98 for compounds of m, p, o Xylene. Previous studies have shown that is possible to occur phenomena that occurred in this sample in which the pollutant composition is higher in winter than in summer or when the stability of some phenomena in the atmosphere are higher in some periods than others.

Keywords: Air Pollution. VOCs. Urban areas. Environmental Health

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Tabela 1 – Pontos de Amostragem/Período	25
Tabela 2 – Tempo de Ebulição e tempo de retenção dos compostos BTEX	30
Tabela 3 – Descrição das variáveis usadas nos cálculos da exposição, ingestão e estimativa do risco de câncer adequado à exposição de ambientes externos e aos dados desta pesquisa.	32
Tabela 4 – Variação da média de compostos BTEX em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por ponto de amostragem Período Chuvoso.....	33
Tabela 5 – Representatividade da média de composto por local no Período Seco.....	34
Tabela 6 – Estudos antecedentes comparados.....	37
Tabela 7 – Média dos parâmetros meteorológicos nos locais de amostragem no Período Chuvoso.....	38
Tabela 8 – Correlação entre compostos BTEX e parâmetros meteorológicos no Período Chuvoso.....	38
Tabela 9 – Média dos parâmetros meteorológicos nos locais de amostragem no Período Seco	39
Tabela 10 – Correlação entre compostos BTEX e parâmetros meteorológicos no Período Seco.....	39
Tabela 11 – Média dos compostos BTEX, Razão PC/PS.	40
Tabela 12 – Representatividade do Fluxo de tráfego veicular por minuto no PC e PS	43
Tabela 13 – Correlação entre compostos Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, Xilenos e fluxo de tráfego veicular no Período Chuvoso.....	44
Tabela 14 – Correlação entre compostos Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, Xilenos e fluxo veicular no PS.....	44
Tabela 15 – Correlação entre a variável da soma dos compostos Btex e a soma do Fluxo de veículos por período.....	45
Tabela 16 – Valores de referência de qualidade do ar em ambientes de trabalho definidos por órgãos nacionais e internacionais em mg/m^3 para uma jornada de trabalho de 40-48h/semanais.	47
Tabela 17 – Cálculo do Índice de risco para os compostos BTEX em Período Chuvoso	47
Tabela 18 – Cálculo do Índice de risco para os compostos BTEX em Período Seco	48
Tabela 19 – Limite calculado para o Risco de câncer por hora para composto Benzeno por ser carcinogênico, cálculo este adaptado as Normas Regulamentares.....	49
Tabela 20 – Risco de câncer para composto Benzeno em Período Chuvoso.....	50
Tabela 21 – Risco de Câncer para composto Benzeno em Período Seco.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Pontos de Amostragem/Período	25
Tabela 2 – Tempo de Ebulição e tempo de retenção dos compostos BTEX	30
Tabela 3 – Descrição das variáveis usadas nos cálculos da exposição, ingestão e estimativa do risco de câncer adequado à exposição de ambientes externos e aos dados desta pesquisa.	32
Tabela 4 – Variação da média de compostos BTEX em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por ponto de amostragem Período Chuvoso.....	33
Tabela 5 – Representatividade da média de composto por local no Período Seco.....	34
Tabela 6 – Estudos antecedentes comparados.....	37
Tabela 7 – Média dos parâmetros meteorológicos nos locais de amostragem no Período Chuvoso.....	38
Tabela 8 – Correlação entre compostos BTEX e parâmetros meteorológicos no Período Chuvoso.....	38
Tabela 9 – Média dos parâmetros meteorológicos nos locais de amostragem no Período Seco	39
Tabela 10 – Correlação entre compostos BTEX e parâmetros meteorológicos no Período Seco.....	39
Tabela 11 – Média dos compostos BTEX, Razão PC/PS.	40
Tabela 12 – Representatividade do Fluxo de tráfego veicular por minuto no PC e PS	43
Tabela 13 – Correlação entre compostos Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, Xilenos e fluxo de tráfego veicular no Período Chuvoso.....	44
Tabela 14 – Correlação entre compostos Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, Xilenos e fluxo veicular no PS.....	44
Tabela 15 – Correlação entre a variável da soma dos compostos Btex e a soma do Fluxo de veículos por período.....	45
Tabela 16 – Valores de referência de qualidade do ar em ambientes de trabalho definidos por órgãos nacionais e internacionais em mg/m^3 para uma jornada de trabalho de 40-48h/semanais.	47
Tabela 17 – Cálculo do Índice de risco para os compostos BTEX em Período Chuvoso	47
Tabela 18 – Cálculo do Índice de risco para os compostos BTEX em Período Seco	48
Tabela 19 – Limite calculado para o Risco de câncer por hora para composto Benzeno por ser carcinogênico, cálculo este adaptado as Normas Regulamentares.....	49
Tabela 20 – Risco de Câncer para composto Benzeno em Período Chuvoso.....	50
Tabela 21 – Risco de Câncer para composto Benzeno em Período Seco.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATL	Média do tempo de vida
BTEX	Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, Xilenos
BW	Peso corporal
C	Concentração do contaminante
CDI	Risco de câncer por tempo de vida
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COVs	Compostos Orgânicos Voláteis
CTAFOR-AMC	Controle de Tráfego em Área de Fortaleza
DENATRAN	Departamento nacional de Trânsito
ED	Duração de exposição
EF	Frequência de exposição
FID	Detector de ionização de chama
GC	Cromatografia em fase gasosa
HQ	Índice de Risco ou Quociente de Perigo
IARC	International Agency for Research on Cancer
IBAMA	Instituto Brasileiro do meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IR	Razão de inalação
IRIS	Sistema de Informação de Risco Integrado
L	Extensão da exposição
MS	Espectrometria de massa
Nd	Não detectado
NIOSH	National Institute for occupational safety and Helath
NY	Número de dias por ano
OMM	Organização Mundial de Meteorologia
OMS	Organização Mundial da Saúde
PS	Período Seco
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
PC	Período Chuvoso
PID	Análise por Fotoionização
RC	Risco de Câncer
RfD	Dose de referência
SF	<i>Slope Factor</i> (Fator de potência)
US-EPA	United States Environmental Protection Agency

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS.....	16
2.1. Objetivo geral	16
2.2. Objetivos Específicos.....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1. Área de estudo	17
3.1.1. Avenida Aguanambi.....	18
3.1.2. Avenida Bezerra de Menezes	20
3.1.3. Avenida da Abolição.....	21
3.1.4. Avenida da Universidade	22
3.1.5. Rua Marechal Deodoro	23
3.2. Plano de Amostragem	24
3.3. BTEX	25
3.3.1. Procedimentos metodológicos dos compostos BTEX.....	26
3.3.2. Amostragem de compostos BTEX	27
3.3.3. Extração e análise do material contido nos tubos adsorvente pelo método de cromatografia.....	28
3.6.1. Cálculo do risco de câncer	31
3.6.2. Cálculo do Índice de Risco de substâncias não carcinogênicas	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.1. Concentração de BTEX no ar	33
4.2. Avaliação Sazonal	37
4.3. Distribuição Sazonal de compostos de BTEX	40
4.4. Influência do Fluxo de automóveis	43
4.5. Risco à saúde	45
4.5.1. Cálculo de Índice de Risco (HQ)	47
4.5.2. Risco de câncer.....	49

1. INTRODUÇÃO

A problemática relacionada ao intenso fluxo veicular tem sido resultado da contribuição do acelerado processo de urbanização e industrialização, característica das grandes metrópoles. No entanto, o processo que caracteriza a geração de energia para que os veículos automotores funcionem a base de combustíveis fósseis acabam gerando poluentes que serão emitidos para a atmosfera comprometendo, assim, a qualidade do ar seja ele local regional ou global, por questões que envolvem parâmetros meteorológicos tais como: umidade do ar, pressão do ar, direção do vento e temperatura. Tais fatores contribuem com a concentração ou com a dispersão de poluentes na atmosfera.

De acordo com Ribeiro e Valle Real (2006, p.08) vias que apresentem um intenso fluxo de tráfego têm a qualidade do ar local comprometida devido às emissões veiculares tóxicas [...] como consequência, podem intensificar-se os problemas de saúde da população residente nas suas proximidades. No entanto, com tais afirmações é necessário que haja uma maior atenção para com estes locais, seja com o monitoramento da qualidade do ar em ambientes como estes ou mesmo alertando as pessoas sobre os riscos que a poluição atmosférica pode ocasionar na saúde humana.

O meio ambiente em seu estado natural e equilibrado é um bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, tendo-se o dever de defendê-lo e preservá-lo para o presente e futuras gerações. Tais diretrizes estão asseguradas na Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, em seu artigo 225. Contudo, os últimos anos têm sido um período de rápidas transformações no que se refere ao comportamento do crescimento populacional e suas variáveis, principalmente nas grandes cidades, como exemplo Fortaleza, que se apresenta como a quinta capital mais populosa do Brasil (IBGE, 2014) e com uma população estimada em 2.591.188 referente a julho de 2015 e uma frota veicular de 1.009.695 registradas em dezembro de 2015 (DENATRAN), em uma área territorial em (km²) de 314.930 onde se exige mais espaço e recursos para satisfazer às necessidades e o bem estar da população local.

A qualidade do ar pode ser caracterizada pelo conforto e bem estar que o ar ambiente proporciona aos indivíduos de um determinado local. Sabe-se que as pessoas cada vez mais se preocupam com os componentes químicos do ar em meio aos compostos que são liberados pelos carros e indústrias contribuindo para a degradação e poluição atmosférica, principalmente em vias de intenso fluxo veicular.

De acordo com a resolução do CONAMA nº 003 de 28 de junho de 1990, são consideradas como padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que quando ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, além de ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral, no entanto, faz-se necessário que haja uma ampliação do número de poluentes atmosféricos passíveis de monitoramento e controle no País mediante a informação científicas.

São várias as definições encontradas para a caracterização de indicadores ambientais na qual se destaca como sendo: “Medida de um fenômeno ambientalmente relevante usada para descrever ou avaliar condições ou mudanças ambientais ou para estabelecer objetivos ambientais” (Heink e Kowarik, 2010 Apud Sánchez; Sánchez 2013).

De acordo com Sánchez (2013),

No campo da qualidade do ar, os indicadores ambientais são muito utilizados para avaliar as condições sanitárias de uma região ou local, [...] – um parâmetro que pode ser medido por meio de métodos padronizado – fornece uma informação sobre os possíveis riscos à saúde que incorreria uma pessoa diariamente exposta ao poluente [...].

Diferentes tipos de poluentes podem ser encontrados em uma mesma região, entretanto, quando estes se agregam, poderão gerar efeitos sinérgicos, ou seja, quando os elementos (poluentes) se combinam o potencial dessa combinação poderá apresentar-se maior do que a soma do resultado destes apresentados individualmente (Sánchez, 2013).

Os compostos orgânicos voláteis são representados pela sigla COVs e são caracterizados por possuir carbono na sua composição, sendo sua temperatura de ebulição entre 50 e 260 °C. Alguns COVs podem ser considerados carcinogênicos, quando o indivíduo é exposto por um longo período de tempo ou em concentrações elevadas, por isso a preocupação em relação ao monitoramento destes compostos por parte dos órgãos públicos deve ser constante ou poderão gerar efeitos adversos à saúde humana, além de causar prejuízos à saúde pública quando não tomadas precauções para a população e meio ambiente sobre esses efeitos e poluentes expostos na atmosfera.

O avanço econômico das grandes capitais também tem induzido ao consumo de combustíveis fósseis. Isso se deve ao grande número de veículos automotores nas capitais e em consequência disso aumenta-se a quantidade de poluentes na atmosfera. Portanto os compostos estudados nesta pesquisa tais como Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, e os Xilenos (o+m+p) representados pela sigla BTEX, são também emitidos pela frota veicular e esta representada pela combustão de combustíveis fósseis e perdas evaporativas e por processos

industriais.

Do ponto de vista toxicológico, o benzeno é o componente mais perigoso, porque é considerado pela Agência Internacional de Pesquisa sobre Câncer (AIPC) e pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (APA) como agente carcinogênico aos humanos. No Brasil, o Ministério do Trabalho e Emprego proibiu desde o dia 1º de setembro de 1997, através da NR-15, a utilização de benzeno em qualquer local de trabalho, exceto em laboratórios que fazem pesquisa com esta substância, nas indústrias petroquímicas, em empresas que comercializam derivados do petróleo. Os outros compostos (etilbenzeno, tolueno e xilenos) também têm sido reconhecidos pela neurotoxicidade no qual produzem sintomas como cansaço, confusão, fraqueza, perda de memória, náuseas e perda de apetite.

Apesar da comprovação da toxicidade de tais elementos à saúde humana, no Brasil não há padrões de limitação de exposição às concentrações de BTEX em ambientes externos tais como áreas urbanas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar a qualidade do ar em vias de intenso fluxo veicular na cidade de Fortaleza, bem como sua variação temporal e seus riscos associados utilizando como indicador os níveis de BTEX.

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar as concentrações de BTEX presentes na atmosfera de diferentes pontos na Cidade de Fortaleza, Ceará;
- Investigar a influência temporal nas concentrações de BTEX coletados nas diferentes estações;
- Comparar os resultados obtidos com outros estudos em ambientes externos;
- Avaliar o risco a saúde.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

Fortaleza é a capital do estado do Ceará e está situada na região Nordeste do país, além de se localizar no litoral Atlântico, a uma altitude média de dezesseis metros, com 34 km de praias. Fortaleza possui 314,930 km² de área e 2.591.188 habitantes, além da maior densidade demográfica entre as capitais do país, com 7 786,4 hab/km². É a cidade mais populosa do Ceará, a quinta do Brasil e a 91^a mais populosa do mundo. A Região Metropolitana de Fortaleza é a sexta mais populosa do Brasil e a segunda do Nordeste. Também é caracterizada por ser a cidade nordestina com a segunda maior área de influência regional (atrás apenas de Salvador), possuindo a terceira maior rede urbana do Brasil em população, atrás apenas de São Paulo e do Rio de Janeiro (Portal Ceará, 2015).

Sousa (2011) descreve Fortaleza como um município que apresenta duas estações climáticas bem definidas, a chuvosa, que é característica dos meses de janeiro a julho, e a seca entre os meses de agosto a dezembro, com temperaturas médias variando de 25 a 30 °C e velocidade média anual dos ventos de 3,53 m/s e médias pluviométricas de 1600 mm, [...].

Os locais escolhidos para este estudo foram baseados em dados cedidos pelo CTAFOR\AMC, de outubro de 2014, em relação ao volume de veículos que trafegam em vias de intenso fluxo veicular em Fortaleza, sendo esse volume equivalente a todos os veículos que passam na via em 24h. As vias são as seguintes: Avenida Aguanambi 63.455 out/14, Avenida Bezerra de Menezes 48.837 out/14, Avenida da Abolição 47.434 out/14, Avenida da Universidade 25.656 out/14, além de inserir uma via de baixo fluxo veicular, a Rua Marechal Deodoro como forma de utilização de comparação de dados.

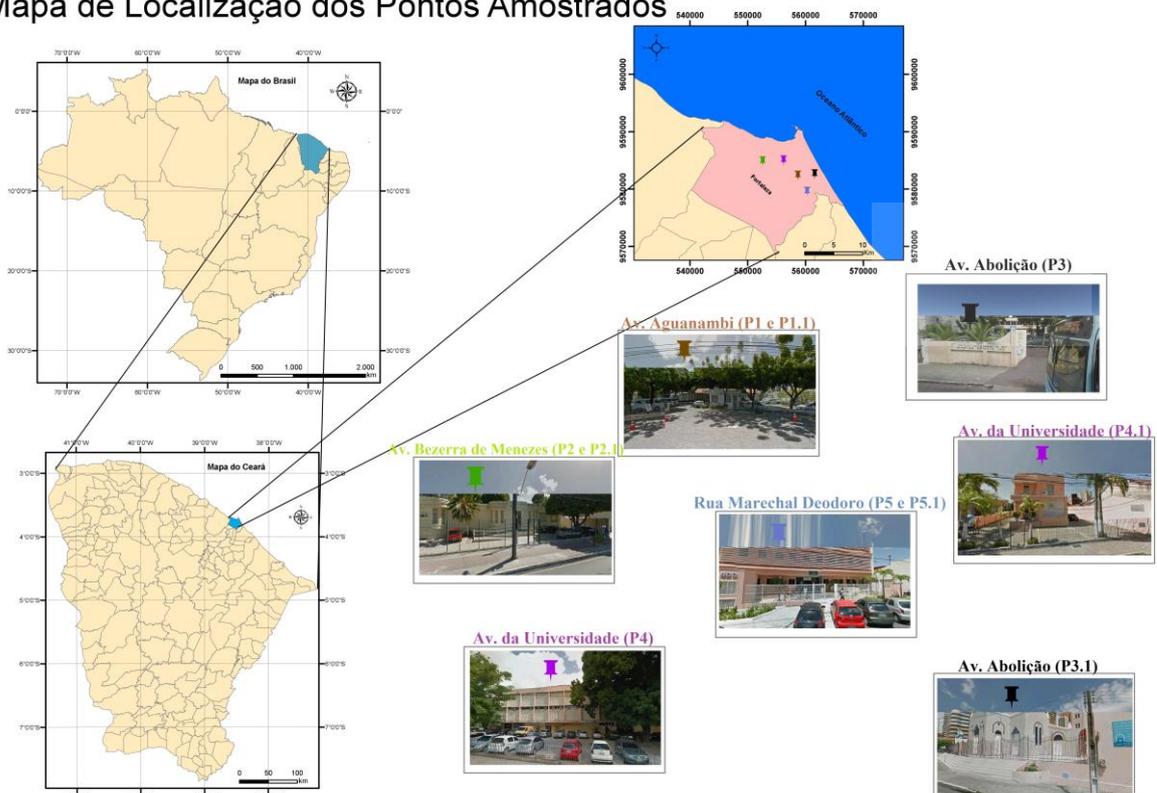
O número de veículos registrados em Maio de 2015, período em que se iniciou a coleta de dados (indicadores químicos: BTEX) desta pesquisa foi de 983.815 veículos na cidade de Fortaleza e em Outubro de 2015, período de encerramento de coleta de dados (indicadores químicos: BTEX) foi de 1.001.995 veículos registrados pelo DENATRAN, (2015).

Os locais de estudo (Figura 1) foram os seguintes:

1. Avenida Aguanambi (Fátima);
2. Avenida Bezerra de Menezes (Farias Brito);
3. Avenida da Abolição (Meireles e Mucuripe);
4. Avenida da Universidade (Benfica);
5. Rua Marechal Deodoro (Benfica).

Figura 1 – Locais de Estudo.

Mapa de Localização dos Pontos Amostrados



Fonte: o autor.

3.1.1. Avenida Aguanambi

A Av. Aguanambi se caracteriza por sua localização no eixo sul-norte de penetração da cidade de Fortaleza, além de ser considerado um dos principais acessos ao município de Fortaleza, por estar diretamente conectada ao início da BR-116, principal rodovia brasileira, que atravessa o território brasileiro no sentido norte/sul. Ela se caracteriza também por receber a maior parte da grande demanda de veículos que chegam à cidade todos

os dias devido ao movimento oscilante de todas as pessoas que habitam a região metropolitana de Fortaleza.

Ao longo da Avenida Aguanambi, iniciou-se um processo de ocupação de margem de estrada respeitando a lógica rodoviária. As obras impermeabilizaram a antiga margem onde outrora corriam estradas de terra batida, pavimentando a principal via de ligação entre o Centro da cidade e a BR116 e a via que antigamente funcionava como uma prolongação direta da BR-116. Tem um caráter essencialmente rodoviário em detrimento ao pedestre, possuindo em cada sentido duas faixas largas de rolagem expressa de aproximadamente 4m cada, canteiro separador de 1m e mais duas faixas de trânsito local de 3m cada (iadb.org).

Os passeios laterais degradados, sem padronização e invadidos por ocupações irregulares, somados à escassez de vegetação e à ausência de mobiliário urbano desestimulam o uso da avenida por pedestres. Aqueles que a utilizam encontram diversos obstáculos para percorrê-la ou atravessá-la, já que são poucas as travessias seguras que existem ao longo de toda a avenida.

Diante de todos esses fatos foi preciso repensar o desenho geométrico e a seção da Avenida Aguanambi por completo, para que ela passe a ter um caráter urbano, mais adequado aos cidadãos e acabe se tornando um marco e uma referência para o pedestre, no entanto esta via se caracteriza pelo uso dela ao intenso fluxo veicular.

Figura 2 – Ponto de Apoio para amostragem na Avenida Aguanambi (HABITAFOR).



Fonte: ao Autor.

3.1.2. Avenida Bezerra de Menezes

A Avenida Bezerra de Menezes é uma via caracterizada pelo trânsito intenso, engarrafamento e barulho proveniente de veículos automotores e por obras ao longo da via. Seus limites se iniciam na esquina com a Rua Padre Ibiapina e terminam com o cruzamento com a Rua Humberto Monte. O congestionamento é algo sempre presente e nem mesmo com a implantação das faixas preferenciais para ônibus deixou de fazer parte do dia a dia da avenida.

Com o passar do tempo, as residências deixaram de ser predominantes ao longo da via e o comércio passou a estar presente em toda a sua extensão. Após a implementação dos corredores exclusivos para ônibus, muitos comércios fecharam, porém a Av. Bezerra de Menezes ainda é uma via de exploração de potencial econômico.

A Av. Bezerra de Menezes é considerada também como uma via de principal acesso aos demais municípios vizinhos, além de fazer ligação entre o Centro e a região Oeste da cidade.

Atualmente, 22 linhas de ônibus urbanas e 04 do sistema complementar passam pela avenida, sem contar nos ônibus das linhas metropolitanas, (Blog: FortalBus, Maio de 2014).

Figura 3 – Corredor Expresso Fortaleza na Av. Bezerra de Menezes



Fonte: Diário do Nordeste, FOTO: ÁQUILA LEITE.

Figura 4 – Ponto de Apoio para amostragem na Avenida Bezerra de Menezes (Escola Estadual Presidente Roosevelt).



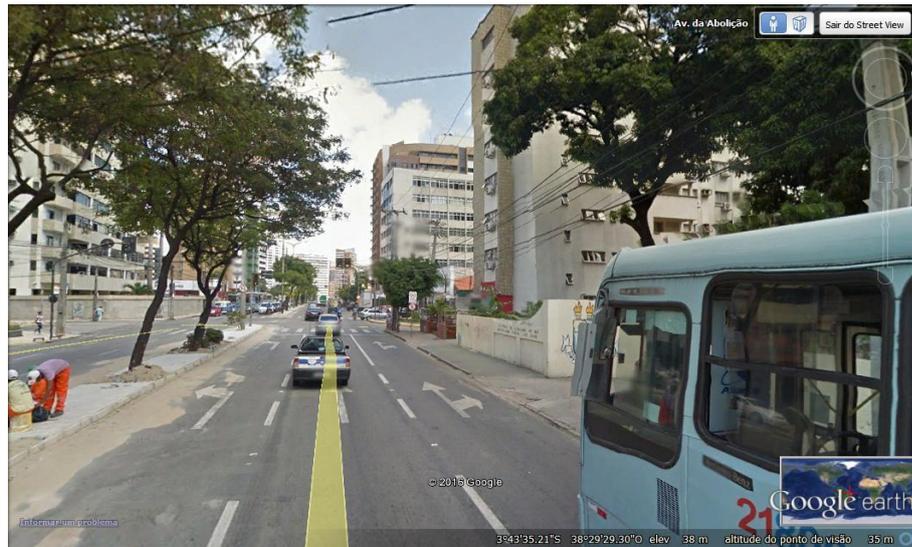
Fonte: Google Earth, 2016.

3.1.3. Avenida da Abolição

Os pontos de amostragem desta via ficam localizados entre duas regiões: Meireles e Mucuripe. Ao longo da Avenida da Abolição pode se observar intenso fluxo veicular e congestionamentos, principalmente em horários de pico, tanto no período da manhã (07h00min às 08h00min) quanto ao final do dia (período de 17h00min às 18h00min).

A Avenida da Abolição é caracterizada por grandes empreendimentos imobiliários, atividades hoteleiras, residências, e diferentes tipos de atividades econômicas, tais como empreendimentos logísticos, além de ser uma das principais vias de acesso a um ponto turístico de grande importância da cidade de Fortaleza, que é a Avenida Beira Mar.

Figura 5 – Ponto de Apoio para amostragem na Av. da Abolição (LABOMAR, Meireles).



Fonte: Google Earth, 2009.

Figura 6 – Ponto de Apoio para amostragem na Av. da Abolição (Paróquia de Nossa Senhora da Saúde - Mucuripe).



Fonte: o Autor

3.1.4. Avenida da Universidade

A Avenida da Universidade é caracterizada por ser uma via que liga o bairro Benfica ao Centro da cidade de Fortaleza, além de ser uma avenida privilegiada por centros estudantis, igrejas, casas e lojas que desenvolvem diferentes atividades econômicas. De acordo com os dados cedidos pelo CTAFOR\AMC, a Avenida da Universidade é uma via de baixo fluxo veicular (25.656 veículos em um período de 24 horas), relacionada às demais em

monitoramento, porém é uma via de acesso de muitas linhas de ônibus, transporte alternativo e carros particulares.

Figura 7 – Ponto de Apoio para amostragem na Avenida da Universidade (Centro de Humanidades UFC e FEAAC / UFC - Faculdade de Economia, Administração Atuárias e Contabilidade).



Fonte: Google Earth

3.1.5. *Rua Marechal Deodoro*

A Rua Marechal Deodoro fica localizada no Bairro Benfica, e é caracterizada por ser uma rua onde predomina muitos domicílios e algumas atividades voltadas ao desenvolvimento econômico, tais como pequenas mercearias ao longo dela, além de situar núcleos estudantis, posto de saúde e estádio de futebol. Seus limites são Avenida Domingos Olímpio (a Norte da Rua Marechal Deodoro) e Avenida Eduardo Girão (a Sul da Rua Marechal Deodoro) e com extremos a Nordeste e a Noroeste. A Rua Marechal Deodoro não é caracterizada por ter intenso fluxo veicular principalmente no ponto que foi feita a amostragem, onde não há registro de passagem de veículos vinculados ao transporte público de Fortaleza, havendo apenas registros de veículos particulares e de passeio.

Figura 8 – Ponto de Apoio para amostragem na Rua Marechal Deodoro (Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade - FEAAC – Graduação).



Fonte: Google Earth, 2009

3.2. Plano de Amostragem

As amostragens desta pesquisa foram realizadas no ano de 2015 em cinco vias diferentes e foram executadas em período tipicamente chuvoso e seco, durante os meses de maio à junho e setembro à outubro.

A coleta de amostras para este estudo foi realizado em duplicata e em diferentes dias em cada via pré-estabelecida, entre 08:00 as 18:00 horas, para que possa ser analisado em qual período (manhã ou tarde) há maior concentração do composto BTEX. Totalizando em cada período 10 horas e em dois dias distintos de amostragem na atmosfera da região a serem coletadas tais amostras.

Para que fossem realizadas as amostragens foi utilizado um amostrador ativo em forma de uma bomba de sucção de ar específica, acoplado a um amostrador de ar e a um cartucho impregnados com reagentes para serem coletados gases da atmosfera local, com a finalidade de comparar os resultados encontrados com os limites de tolerância propostos pela legislação nacional e internacional se houver.

Além da coleta de amostras da atmosfera também foi feita uma estimativa da quantidade de veículos que passavam por estas vias em um determinado espaço de tempo.

As amostragens dos locais considerados de maior, mediano e menor fluxo veicular foram realizadas nos dias indicados abaixo:

Tabela 1 – Pontos de Amostragem/Período

LOCAIS DE AMOSTRAGEM	PERÍODO CHUVOSO	PERÍODO SECO
AV. AGUANAMBI	22 e 23 de Junho	21 e 23 de Outubro
AV. BEZERRA DE MENEZES	03 e 05 de Junho	1 e 2 de Outubro
AV. DA ABOLIÇÃO	06 e 07 de Maio	21 e 23 de Setembro
AV. DA UNIVERSIDADE	15 e 21 de Maio	24 e 25 de Setembro
RUA MARECHAL DEODORO	25 e 27 de Maio	15 e 16 de Outubro

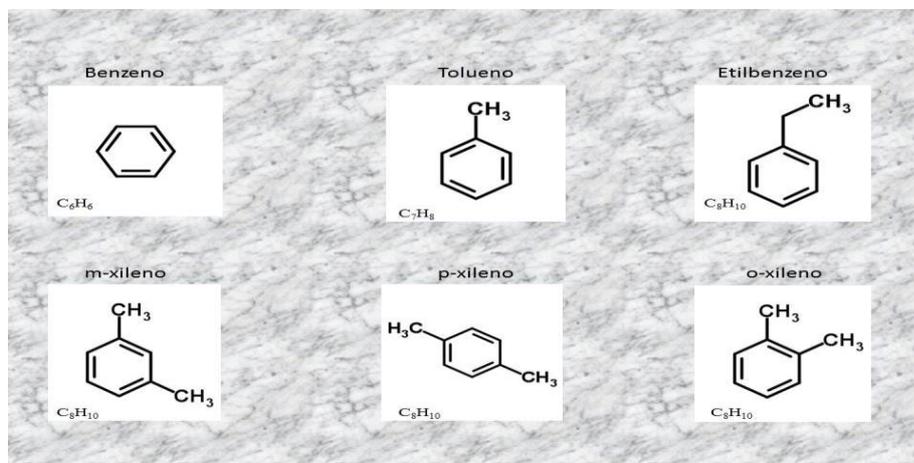
Fonte: o autor.

3.3. BTEX

BTEX é uma sigla dada para abreviar os nomes dos compostos Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos. Este grupo de COV é encontrado em hidrocarbonetos de petróleo, tais como a gasolina, e outros ambientes de comuns contaminantes. A contaminação decorrente destes agentes resulta da volatilização destes no ar do local contendo tais compostos.

"BTEX é um grupo de produtos químicos que é quantificado por método analítico, os compostos Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, e os três isômeros de Xileno são líquidos incolores, imiscíveis com a água, mas miscível com solvente orgânico. Eles têm um forte odor característico e são altamente inflamáveis " (Agência Europeia do Ambiente de 2010).

Figura 9 – Estrutura Química e Fórmula Molecular dos BTEX.



Fonte: <http://www.chemspider.com/>

3.3.1. Procedimentos metodológicos dos compostos BTEX

O método empregado para a determinação dos compostos BTEX em ar de ambiente externo consiste na coleta em tubos contendo material adsorvente, ocorrendo a extração com solvente apropriado e análise por cromatografia a gás com detector de ionização em chama.

De acordo com Tolnai e colaboradores (2000) quando a análise de materiais composto por COVs forem deixadas em local apropriado e em condições apropriadas para serem analisadas posteriormente no cromatógrafo essas amostras deverão ser coletadas em “*canisters*”, caracterizados por serem tubos contendo material adsorvente como forma adequada de procedimento.

Os métodos para a determinação e coleta dos compostos amostrados foram baseados de acordo com as adequações e orientações para tratamento e coleta de BTEX, predeterminados por algumas organizações internacionais tais como a EPA (a): análise de BTEX total validado a partir de partir de março, 1993 método EPA 602, 624, 1624 método padrão 17^a edição 6210 B, 6220 B; e a Niosh (b): este método é para o pico, teto, e determinações de hidrocarbonetos aromáticos onde é denominado como método 1501 de 15 de março de 2003, no qual muitos trabalhos citam estes métodos para a determinação e coleta de BTEX em diferentes ambientes e locais.

Souza (2011, p.46) afirma que “Nesta metodologia, o ar é recolhido do ambiente para dentro de tubos empacotados de material adsorvente, os quais são responsáveis pela captura das substâncias de interesse que apresentam afinidade pelo mesmo”.

A metodologia adotada nesta pesquisa para a captação de compostos de BTEX foi denominada de amostragem ativa, quando a captação dos compostos seja feita através do uso e do auxílio de pequenas bombas de sucção movidas a algum tipo de energia para seu funcionamento adequado. Estas bombas induzem a passagem de ar por seus seguimentos (mangueiras) até que os compostos em estudo serão depositados em pequenos tubos com material adsorvente para serem analisados posteriormente.

Yassa (2006, v.63, p503) declara que “O método mais comum para o acompanhamento BTEXs no ar no baixo micrograma por nível de concentração metro cúbico envolve a coleta de amostras com recipientes (por exemplo, sacos de plástico, vidro ou metal vasilhas) ou armadilhas sólidos, (por exemplo, Tenax, XAD, gel de sílica, ou carbono) seguido pela combinação de cromatografia em fase gasosa (GC), quer com um detector de ionização de chama (FID) ou espectrometria de massa (MS)”.

3.3.2. Amostragem de compostos BTEX

Na coleta dos compostos BTEX nos pontos de amostragem foi utilizado um sistema montado em laboratório, fundamentado na metodologia e no sistema descrito pela NIOSH 1501 methods, (2003); (Figura 10):

- Tubo amostrador de 10,5 cm de comprimento e 4mm de diâmetro com material adsorvente ORBO 403 Acetone/Methanol – Tenax (60/80), 100/50 mg;
- Bomba aparelho compressor de ar de marca Nevoni,;
- Mangueira ligando a bomba ao tubo amostrador;

Figura 10 – Amostrador dos compostos BTEX e tubo amostrador contendo material adsorvente onde os compostos de BTEX irão ficar retidos.



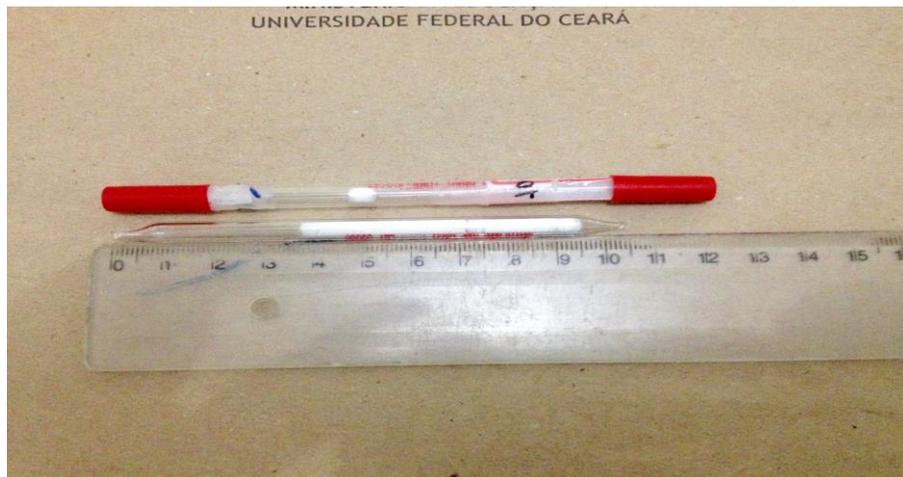
Fonte: o autor

Os compostos de BTEX foram coletados através de uma bomba de sucção de ar na qual eram acopladas mangueiras que ligavam a bomba ao tubo amostrador, com material adsorvente em seu interior, e separado por parte com espuma de poliuretano, método propício para a coleta deste tipo de composto no ar ambiente em um período de 10 horas. O período em questão, foi dividido em dois turnos por tubo amostrador, sendo que o primeiro tubo amostrador ficou a disposição ente às 08:00 da manhã até às 13:00 da tarde e no segundo turno o tubo amostrador ficou a disposição entre às 13:00 da tarde às 18:00 da noite para que pudesse ser feita uma análise sobre a influência destes compostos em relação ao período de

exposição. A vazão da bomba amostradora ficou estabelecida em uma faixa de vazão média entre 500-1000 ml/min, fazendo com que o ar passasse através do tubo amostrador. O sistema foi montado a uma altura média equivalente a zona de respiração, cerca de 1,5 m do solo.

Após a coleta, os tubos amostradores, que tinham suas extremidades fragmentadas para que pudessem ser feita as coletas, permitindo-se, assim a passagem do ar, eram vedados com fitas de *parafilm* e em seguida envolvidos em filme plástico, também eram vedados com o material que acompanha o tubo amostrador (tampas) e envelopados com papel alumínio e colocados em recipientes apropriados, tais como saco a vácuo e recipientes a vácuo para que os compostos captados pudessem ser preservados ao término do experimento. Depois destas etapas o material foi levado para o refrigerador para que os compostos pudessem ser preservados até o momento da análise no cromatógrafo.

Figura 11 – Tubo com material adsorvente.

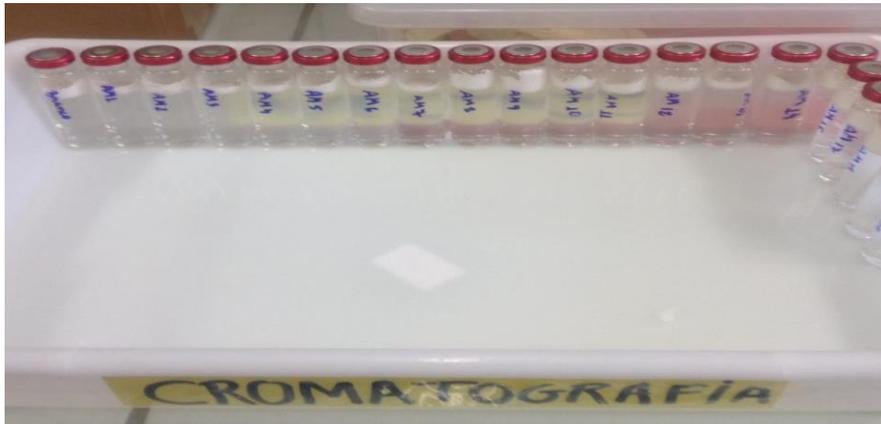


Fonte: o autor

3.3.3. Extração e análise do material contido nos tubos adsorvente pelo método de cromatografia.

O material foi levado para o laboratório de Saneamento do Instituto Federal de Educação do Ceará para serem feitas as extrações e, logo após a esse procedimento, aplicar o método de cromatografia gasosa. A extração dos componentes contidos nos tubos foi feita da seguinte forma: A seção principal continha 100mg de material do tubo que foram extraídas primeiramente e colocadas em *vials*; a seção controle continha 50 mg de material adsorvente que foram extraídas posteriormente e colocadas em vials de 20 mL contendo 10 ml de água ultrapura e vedada com tampas metálicas aderidas a septos bem resistentes.

Figura 12 – Vials com material adsorvente para análise cromatográfica.



Fonte: o autor

As alíquotas de 10 mL de água somadas ao material adsorvente que foram unidas em um mesmo *vial* de 20 mL chegam a uma margem de 15 mL de produto restando apenas uma margem de 5mL para o *headspace* no qual se adequa, para que seja feita a análise cromatográfica.

As alíquotas da solução deste experimento foram analisadas por meio de um Cromatógrafo a gás Trace GC Ultra da Thermo Scientific – USA.

Figura 13 – Cromatógrafo



Fonte: o autor.

O Cromatógrafo a gás Trace GC Ultra da Thermo Scientific – USA é composto por dois detectores em série denominados de detector PID (fotoionização), método utilizado nesta pesquisa e o detector FID (ionização em chama) além de possuir um amostrador

automático para *headspace* Triplus RHS AutoSampler (Thermo Scientific, USA), que dispõe de 222 espaços para *vials* (sendo 162 para injeções líquidas e 60 para injeções de fase gasosa), possui um braço robótico, uma unidade de extração por *headspace* estático, um forno para aquecer e agitar as amostras, e uma seringa com capacidade de 2,5 mL para transferir a amostra para o cromatógrafo. O software utilizado neste aparelho é o CromQuest 5.0 para a interpretação dos dados obtidos. Cada amostra foi analisada no mínimo duas vezes pelo método e o tempo de análise por amostra injetada foi de 15 minutos com fases estacionárias.

O tempo de ebulição em °C de cada composto e o tempo de retenção em min foram dispostos da seguinte forma:

Tabela 2 – Tempo de Ebulição e tempo de retenção dos compostos BTEX

Compostos	Ponto de Ebulição °C	Ponto de Retenção/min
Benzeno	80,1 °C	1,9
Tolueno	110,6 °C	3,5
Etil-Benzeno	136,2 °C	6,9
m-Xileno	139,0 °C	7,3
p-Xileno	138,0 °C	7,3
o-Xileno	144,0 °C	7,89

Fonte: o autor.

Collins e colaboradores (2009, p.250) mencionam que no método cromatográfico os compostos que apresentam ponto de ebulição menor que 100 °C é denominada de análise isotérmica e a temperatura selecionada para a análise deve ser 20 a 50 °C abaixo do ponto de ebulição dos analitos e para compostos cujos pontos de ebulição diferem em mais de 100 °C recomenda-se o uso de programação da temperatura no qual se inicia entre 50 a 90 °C abaixo do ponto de ebulição do composto mais volátil e termina com uma temperatura acima do ponto de ebulição do composto menos volátil.

3.4. Fluxo de automóveis

Para verificação do fluxo automobilístico em cada local de amostragem foram contados os veículos que passavam em um intervalo de 2 minutos em horários pré-determinados e de início de pico, as quais foram divididas da seguinte forma: às 08:00 da manhã, às 11:00 da manhã e às 16:00 da tarde, durante 10 horas por cada dia, em que foi realizada a amostragem. A partir desta coleta, foi feita uma média aritmética para obtenção do fluxo diário de automóveis que passavam por cada via.

3.5. Temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, precipitação, radiação, velocidade e direção do vento.

Os dados meteorológicos foram fornecidos pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) para a cidade de Fortaleza através da estação A305, localizada no Passaré, nos dias em que foram feitas as amostragens e horários pré-estabelecidos (08:00; 11:00; 16:00).

3.6. Metodologia da avaliação do risco de compostos BTEX à saúde humana

Neste estudo os dados foram coletados, tratados e analisados para que seja possível calcular os riscos que estes compostos podem trazer à saúde humana ao se exposta a determinadas concentrações em um período de tempo.

3.6.1. Cálculo do risco de câncer

O cálculo do Risco de Câncer (RC) pode ser expresso pela seguinte equação:

$$\text{Risco de Câncer (RC)} = \text{CDI} \times \text{SF} \quad (\text{Eq. 01})$$

Onde:

CDI = ingestão crônica por tempo de vida

SF = fator de potência

O risco de câncer (RC) foi estimado através da ingestão crônica por tempo de vida (CDI) multiplicada pelo fator de potencia, *Slope Factor* (SF) tratando-se de uma estimativa da probabilidade de um indivíduo desenvolver câncer como resultado de uma vida de exposição para um nível particular de um potencial carcinógeno, de acordo com o sistema de informação de risco integrado (IRIS) (US-EPA, 1992, US-EPA, 1996; US-EPA, 2004). SF é o fator de potencial em risco por (mg/kg/dia) com valor de 0,029 mg/kg/dia para o benzeno de acordo com o sistema IRIS (USEPA,1998).

$$CDI = \frac{(C.IR.ED.EF.L)}{(BW.ATL.NY)} \quad (\text{Eq. 02})$$

Onde:

C = concentração do contaminante (mg/m³);

IR = a razão de inalação (m³/h) IR de 1,02 m³/h (inalação média p adulto) utilizado, conforme sugerido no Exposure factors handbook (USEPA , 1997);

ED a duração de exposição (h/semanas);

EF a frequência de exposição (semanas/ano);

L a extensão da exposição (anos);

BW o peso do corpo (kg);

ATL a média do tempo de vida

NY o número de dias por ano (365 dias).

Tabela 3 – Descrição das variáveis usadas nos cálculos da exposição, ingestão e estimativa do risco de câncer adequado à exposição de ambientes externos e aos dados desta pesquisa.

Variável	Descrição	Valor	Unidade
CA	Concentração de poluente	*	µg m ⁻³
IR	Taxa de inalação, adulto	1,02	m ³ h ⁻¹
ED	Duração da exposição, adulto	7	h/semana
EF	Semanas de exposição	52	Semanas/Ano
L	Anos de exposição	35	Anos
BW	Peso corpóreo do Homem/Mulher	70/60	kg
ATL	Média do tempo de vida para homem e mulher	69/77	Anos
NY	Dias por ano	365	Dias/Ano

*Considerando que uma pessoa fique no máximo, 35 anos e 1 hora por dia e conseqüentemente 7 horas por semana exposta ao tipo de contaminante estudado (Benzeno) em ambientes externos durante a vida.

3.6.2. Cálculo do Índice de Risco de substâncias não carcinogênicas

O risco de substâncias não comprovadas ou consideradas carcinogênicas deve ser estimado através dos valores para a ingestão crônica por tempo de vida (CDI - mg.kg⁻¹.dia⁻¹) dividida pela dose de referência (RfD - mg.kg⁻¹.dia⁻¹), valores de referência utilizados para avaliações de risco fornecidas por agências regulamentadoras para diversos tipos de compostos (Eq. 3), gerando o Índice de Risco ou Quociente de Perigo, HQ (NRC, 1990; DEP, 2002):

$$HQ = \frac{CDI}{RfD} \quad (\text{Eq. 3})$$

Caso o valor de HQ seja menor que 1 à exposição, serão consideradas como substâncias que não causarão efeitos à saúde. Porém se o valor da exposição a substância em estudo for maior que 1, estes compostos poderão causar efeitos que desfavorecem à saúde humana. O HQ não é uma medida do risco, mas apenas, um ponto de partida para estimar o risco (Williams *et al.*, 2000; Yu, 2004).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Concentração de BTEX no ar

Nas amostragens do período chuvoso o composto que apresentou maior representatividade foi o Benzeno com uma média de 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no Ponto de amostragem da Avenida Bezerra de Menezes e o composto que apresentou menor representatividade foi o composto o-Xileno com uma média de 0,08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tabela 4)

Tabela 4 – Variação da média de compostos BTEX em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por ponto de amostragem Período Chuvoso.

COMPOSTOS	Avenida Aguanambi	Avenida Bezerra de Menezes	Avenida da Abolição	Avenida da Universidade	Rua Marechal Deodoro
Benzeno	2,15	22,99	3,98	7,02	1,2
Tolueno	0,71	7,96	1,74	9,42	6,25
Etilbenzeno	0,29	3,1	0,76	1,36	1,46
M-p-xileno	2,49	10,18	3,29	8,18	4,5
O-xileno	0,08	1,32	0,75	1,81	1,29

Fonte: o autor.

Já no estudo dos compostos averiguados no período seco, os que apontaram melhor representatividade foram o Benzeno com média de 9,78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ seguido do Tolueno com média de 4,36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, m-p-Xileno com média de 2,97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e o-Xileno com média de 0,76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e já o Etilbenzeno apresentou uma média única com valor de 0,63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tabela 5).

Tabela 5 – Representatividade da média de composto por local no Período Seco.

COMPOSTOS	Avenida Aguanambi	Avenida Bezerra de Menezes	Avenida da Abolição	Avenida da Universidade	Rua Marechal Deodoro
Benzeno	2,58	9,78	2,36	3,28	0,84
Tolueno	1,29	4,36	2,53	1,69	0,69
Etilbenzeno	Nd	Nd	Nd	0,63	Nd
M-p-xileno	0,58	0,86	1,70	2,97	0,07
O-xileno	0,10	0,20	ND	0,76	Nd

Fonte: o autor.

Nas figuras a seguir, observa-se uma variação entre compostos de BTEX na amostragem por turnos, tendo-se que as amostragens foram divididas entre os períodos de 08h00min da manhã às 13h00min da tarde e outro período de monitoramento entre às 13h00min da tarde às 18h00min.

Figura 14 – Concentração por composto, locais e turno no período chuvoso.

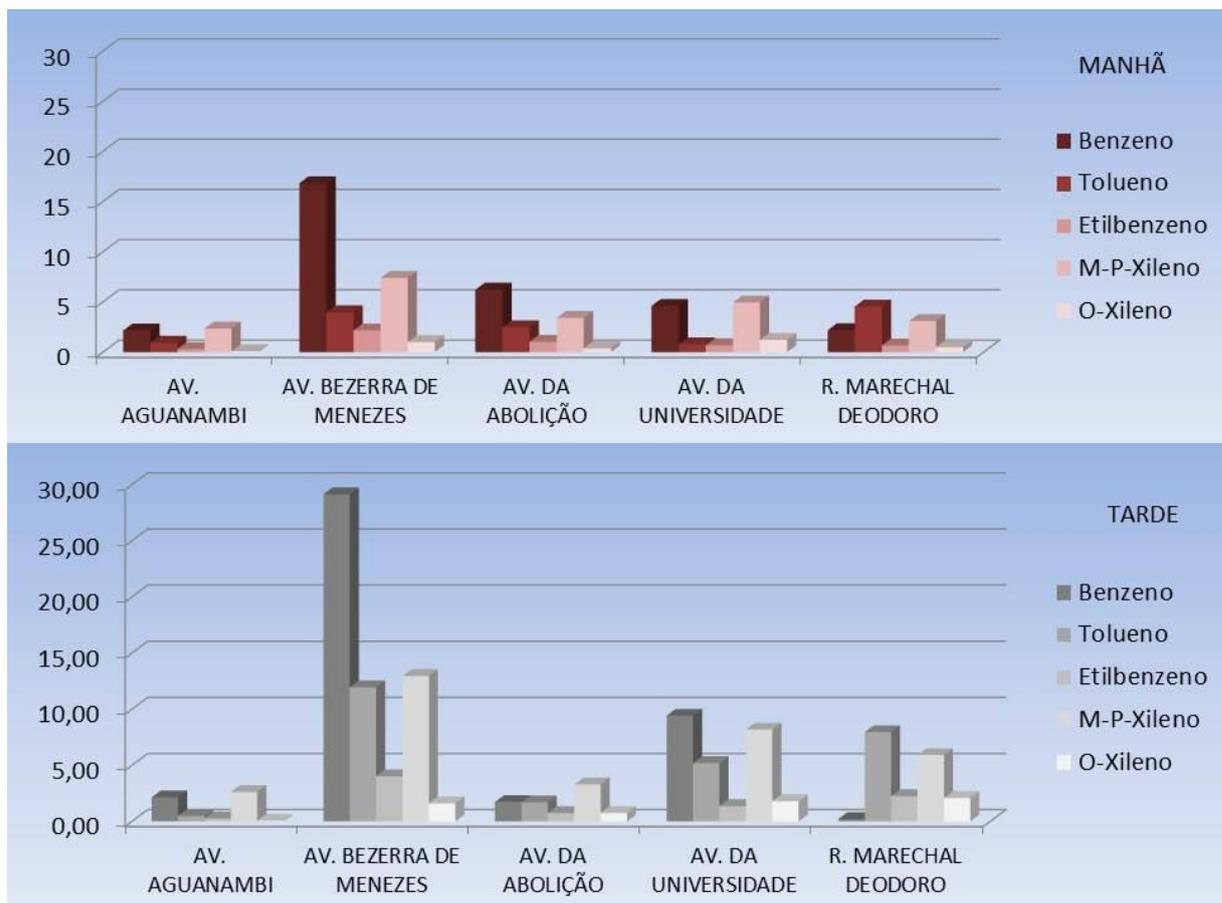
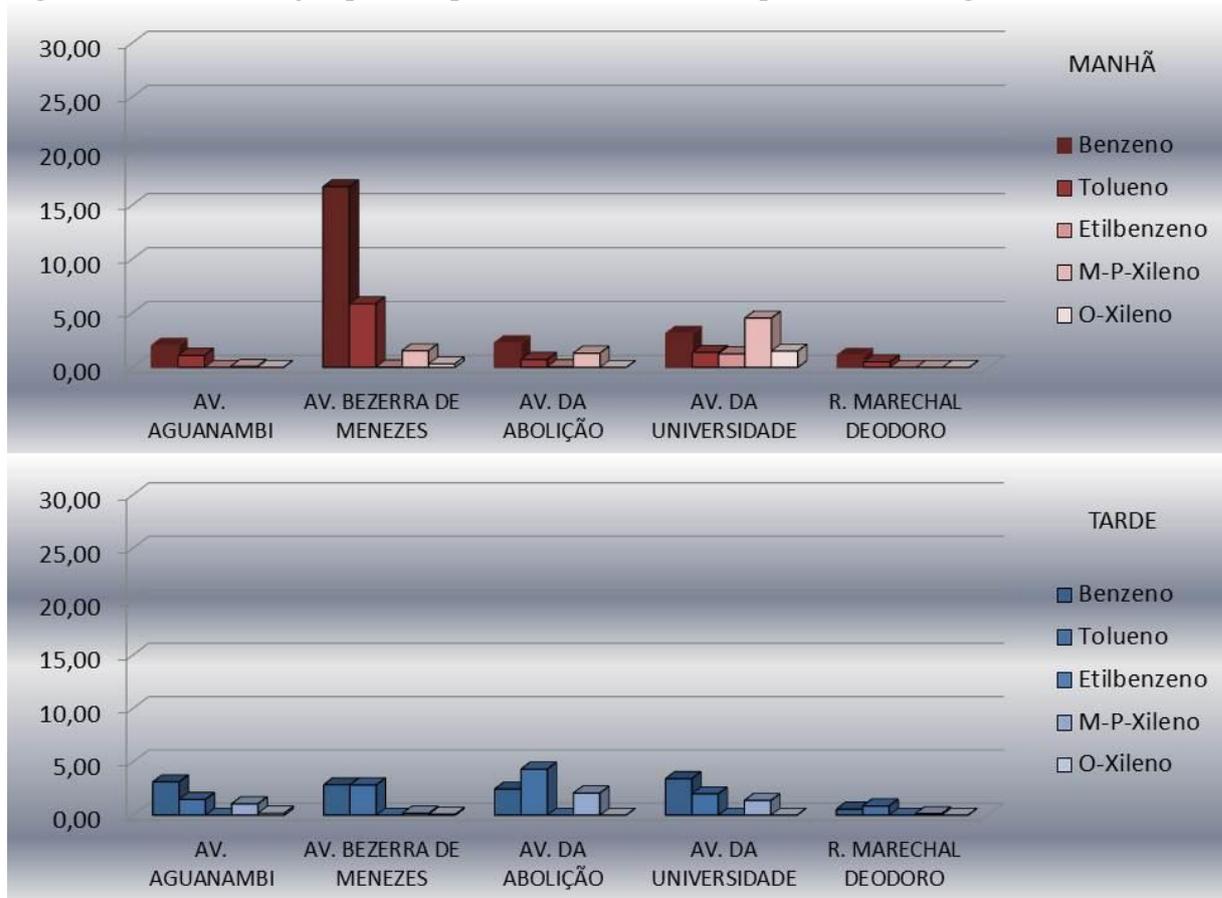


Figura 15 – Concentração por composto, locais e turno no período de estiagem.



De acordo com os dados da Figura 14, no período chuvoso o turno da tarde teve maior concentração sobre os compostos em praticamente todos os locais, as exceções foram: Avenida da Abolição na qual quase todos os compostos se apresentaram em maior quantidade no período da manhã (com exceção do composto o-Xileno) e a Avenida Aguanambi com variações de compostos bem diferenciados nos dois turnos sem grande representatividade significativa por turno.

Na Figura 15, a representatividade por turnos foi bem diversificada, porém com algumas expressões significativas. Na Avenida Aguanambi, observou-se picos mais elevados no período da tarde; na Avenida Bezerra de Menezes no período da manhã foi atingiram picos mais elevados; na Avenida da Abolição o período da tarde foi mais significativo; já na Avenida da Universidade e na Rua Marechal Deodoro os picos por compostos foram bem diversificados entre período manhã e tarde.

Dos resultados das amostragens do período chuvoso nos pontos de coleta desta pesquisa nota-se que os dados com maior representatividade foi o composto Benzeno, Tolueno e m-p-Xileno, ou seja, estes compostos citados anteriormente apareceram com valores mais significativos nas análises dos pontos de coleta das amostras, já os compostos

Etilbenzeno e o-Xileno apareceram com menos expressões significativas em relação aos resultados obtidos pelos compostos citados anteriormente. Vários são os fenômenos que ocorrem entre a massa de ar local e a composição de poluentes na atmosfera. Segundo Trivedi e colaboradores (2014), a poluição do ar é suprimida ou reforçada pela meteorologia local.

No estudo realizado por Matysk e colaboradores (2010), afirma que a variação espacial da exposição BTEX interior é similar à exposição ao ar livre, o que indica que há uma forte infiltração de poluição do ar ambiente do ar livre para o ambiente interno. Afirma ainda que os ciclos sazonais interferiram significativamente com valores altos no inverno e os valores mais baixos nos meses de verão, e que as características climáticas de cada local interferem pontualmente nos resultados da composição dos poluentes na atmosfera. As direções do vento podem causar o rápido transporte de poluentes e de outros resíduos urbanos. No verão fortes gradientes de temperatura verticais levam a uma maior convecção vertical, transportando os poluentes do ar, tais como compostos orgânicos e aerossóis.

Miranda e Tomaz (2008) revelam em sua pesquisa que as concentrações de COVs são maiores no Inverno na Região de Campinas, São Paulo.

Na investigação feita por Ho e colaboradores (2004) em um dos locais a serem examinados apresentaram resultados equivalente ao deste estudo no qual o inverno exerceu maior significância da composição de BTEX na atmosfera local do que no verão, explica ainda que os fatores que influenciam tais resultados estão ligados a profundidade de dispersão, transporte e mistura física Regional.

Tabela 6 – Estudos antecedentes comparados.

LOCAL	COMPOSTOS	CONCENTRAÇÕES ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	REFERÊNCIAS
FORTALEZA - BRASIL:	BENZENO ¹ TOLUENO ¹ ETILPENZENO ¹ m-p-XILENO ¹ o-XILENO ¹	7,47 e 3,77 5,22 e 2,11 1,39 e 0,63 5,73 e 1,24 1,05 e 0,36	Este Estudo
CAIRO-EGITO	BENZENO ² TOLUENO ² ETILBENZENO ² m-p-XILENO ² o-XILENO ²	7,81 22,84 3,07 11,57 3,88	Matysik <i>et al.</i> , 2010
CAMPINAS, SÃO PAULO - BRASIL.	BENZENO ¹ TOLUENO ¹ ETILPENZENO ¹ m-p-XILENO ¹ o-XILENO ¹	9,71 e 3,41 12,78 e 9,59 5,81 e Nd 9,57 e Nd 3,24 e Nd	Miranda. R; Tomaz. E., 2008
HOK TSUI EM HONG KONG	BENZENO ¹ TOLUENO ¹ ETILPENZENO ¹ m-p-XILENO ¹ o-XILENO ¹	1,34 e 0,24 2,9 e 1,18 0,21 e Nd Nd Nd	Ho <i>et al.</i> , 2004

Fonte: o autor. ¹ Média Inverno e verão; ² Média Anual; *Nd= Não Detectado

Para o entendimento de tais fenômenos, que ocorrem em diferentes estações, e se relacionam aos picos de poluição, é necessário compreender a distribuição e frequência de tais concentrações relacionadas aos impactos dos parâmetros meteorológicos sobre a distribuição dos compostos na atmosfera em diferente escala de tempo. Portanto os resultados apresentados na Tabela 6 nos mostra a variação dos níveis de compostos que são influenciados desde a localização da amostragem sob influência de parâmetros físicos, químicos e biológicos que compõem o ambiente em estudo, até ao tipo de metodologia adotada para a pesquisa.

4.2. Avaliação Sazonal

A tabela a seguir representa a média dos parâmetros meteorológicos coletados para esta pesquisa para cada ponto de amostragem, para que seja feita a correlação entre esses parâmetros e a média dos compostos BTEX. (Tabela 7)

Tabela 7 – Média dos parâmetros meteorológicos nos locais de amostragem no Período Chuvoso.

Parâmetros Meteorológicos	Av. Aguanambi	Av. Bezerra de Menezes	Av. da Abolição	Av. da Universidade	Rua Marechal Deodoro
Temperatura (°C)	27,5	28,33	28,67	28,83	28,67
Umidade (%)	64,00	68,00	70,00	64,00	70,00
Pressão (hPa)	1013,67	1010,05	10009,33	1010,50	1099,67
Radiação (kJm²)	1044,33	1307,17	1299,50	1396,00	1281,83
Precipitação (mm)	0,5	1	0	0	0,50
Vel. Do vento (m/s)	3,00	2,67	2,67	3,17	3,00

Fonte: o autor

A Tabela 8 representa a correlação entre os resultados da média dos compostos BTEX e as variáveis meteorológicas no primeiro semestre considerado chuvoso. As variáveis de temperatura, umidade e velocidade do vento apresentam resultados de correlação desprezível, já a radiação e a precipitação apresentam correlações moderadas e a variável de pressão atmosférica apresenta uma correlação fraca. As correlações negativas são representadas quando duas variáveis movem-se em direções opostas onde a hipótese mais forte será quando se aproximar de (-1) e as correlações positivas são caracterizadas quando duas variáveis movem-se na mesma direção e se tornará mais forte quando a hipótese se aproxima de (+1).

Tabela 8 – Correlação entre compostos BTEX e parâmetros meteorológicos no Período Chuvoso.

Parâmetros Físicos	r (\sumbtex; \sum Parâmetro físico)	Classificação de r
Temperatura	0,30	Desprezível Positiva
Umidade	-0,001	Desprezível Negativa
Pressão	-0,28	Fraca Negativa
Radiação	0,53	Moderada Positiva
Precipitação	0,52	Moderada Positiva
Velocidade do Vento	-0,25	Desprezível Negativa

Fonte: o autor.

A Tabela 9 representa a média dos parâmetros meteorológicos coletados para esta pesquisa no período seco para cada ponto de amostragem para que seja feita a correlação entre essas variáveis.

Tabela 9 – Média dos parâmetros meteorológicos nos locais de amostragem no Período Seco.

BTEX	Av. Aguanambi	Av. Bezerra de Menezes	Av. da Abolição	Av. da Universidade	Rua Marechal Deodoro
Temperatura (°C)	29,00	28,83	27,83	28,17	28,5
Umidade (%)	60,00	58,00	61,00	63,00	55,00
Pressão (hPa)	1010,17	1009,33	1011,17	1011,5	1010,67
Radiação (kJm²)	1607,17	1460,33	1406,33	1467,00	1616,83
Precipitação (mm)	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00
Vel. Do vento (m/s)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,16

Fonte: o autor.

Entre os parâmetros meteorológicos a precipitação foi a que deixou de apresentar resultados nos dias de estudo.

Tabela 10 – Correlação entre compostos BTEX e parâmetros meteorológicos no Período Seco.

Parâmetros Físicos	r ($\sum b_{tex}$; \sum Parâmetro físico)	Classificação de r
Temperatura	-0,32	Fraca Negativa
Umidade	0,28	Desprezível Positiva
Pressão	-0,45	Fraca Negativa
Radiação	-0,66	Moderada Negativa
Precipitação	0,19	Desprezível Positiva
Velocidade do Vento	-0,63	Moderada Negativa

Fonte: o autor

De acordo com os resultados apresentados no período seco a correlação para a os compostos BTEX, umidade e precipitação são classificadas como correlações desprezíveis positivas, a correlação entre os compostos BTEX e as variáveis meteorológicas radiação e velocidade do vento são classificadas como correlações moderadas negativas, já correlação entre os compostos BTEX e a variável meteorológicas de pressão atmosférica e temperatura é caracterizada por apresentar uma correlação fraca negativa.

4.3. Distribuição Sazonal de compostos de BTEX

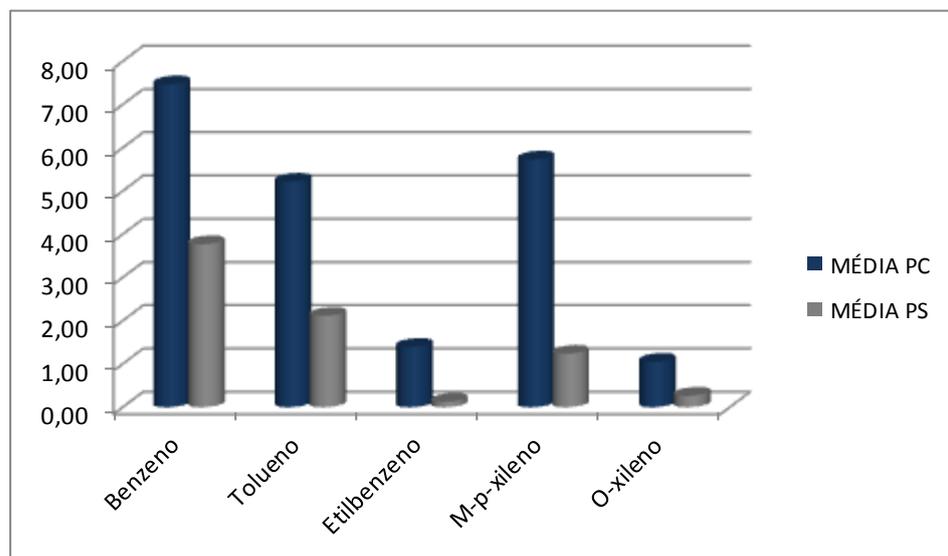
A Tabela 11 expõe a média dos valores da composição dos compostos de BTEX tanto no período chuvoso como no período de estiagem, á partir destes valores é possível analisar o resultado da razão destes compostos por período.

Tabela 11 – Média dos compostos BTEX, Razão PC/PS.

COMPOSTOS	MÉDIA PC	MÉDIA PS	RAZÃO PC/PS
Benzeno	7,47	3,77	1,98
Tolueno	5,22	2,11	2,47
Etilbenzeno	1,39	0,13	11,04
M-p-xileno	5,73	1,24	4,63
O-xileno	1,05	0,26	3,98

Fonte: o autor

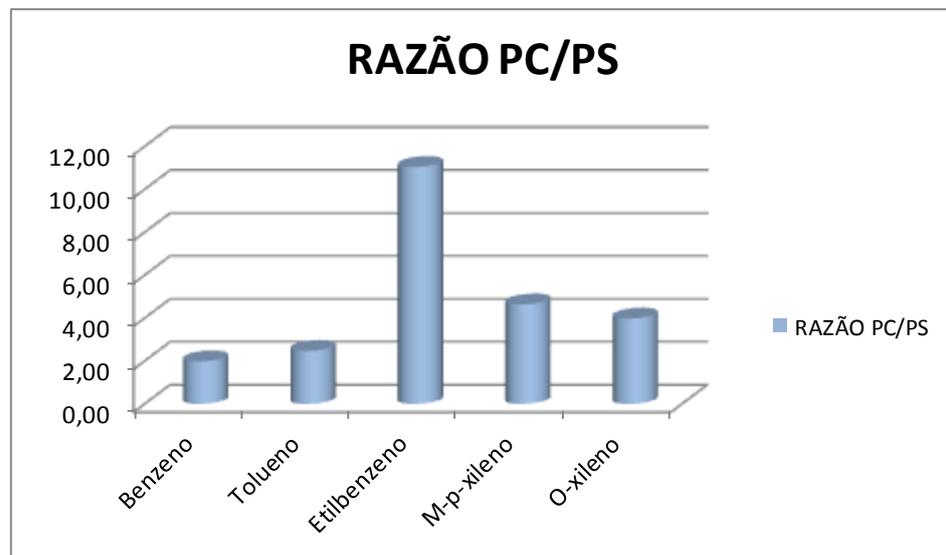
Figura 16 – Composição dos compostos em PC e PS em $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Fonte: o autor.

Com a análise da Figura16, é possível observar uma maior influência dos compostos sobre o Período Chuvoso (inverno) do que do Período Seco (verão).

Figura 17 – Razão PC/PS dos compostos BTEX



Fonte: o autor

Já a Figura 17, a razão do resultado dos níveis de compostos coletados no período chuvoso sobre o período seco é possível observar que o composto Benzeno atinge a um nível de razão de quase duas vezes maior no período chuvoso do que no período seco já o Tolueno atinge a essa margem de duas vezes a mais no período chuvoso do que no período seco, o Etilbenzeno é o composto que mais chama atenção no qual apresenta um nível de composição de composto no período chuvoso de praticamente dez vezes a mais do que no período seco já que os níveis coletados de Etilbenzeno no verão foram muito baixos, o m-p-Xileno apresentou uma razão de quatro vezes a mais no período chuvoso do que no período seco e o o-Xileno uma razão de praticamente três vezes a mais no período chuvoso do que no período seco.

A meteorologia de Fortaleza é definida tipicamente por apresentar dois períodos definidos como o período em que chove no primeiro semestre do ano e o período de estiagem no segundo semestre do ano. No primeiro semestre período caracterizado pela presença de chuva mesmo em pequenas concentrações as condições de calmaria e estabilidade da atmosfera prevalecem, fazendo com que os poluentes que foram emitidos para a atmosfera formem ligações atingindo picos de concentrações maiores nestes locais. Em contrapartida os meses de verão apresentam característica de uma atmosfera mais instável no qual esses fatores de instabilidade atmosférica favorecem dissipação e diluição dos poluentes na atmosfera fazendo com que os níveis da composição de poluentes atmosféricos diminuam.

O que se pode observar com o confronto entre os dados das amostragens do

período chuvoso e o período seco é que há uma significância maior por período que neste caso o volume de composto coletado de BTEX foi maior no período chuvoso do que no período de estiagem, no entanto, devem-se enfatizar quais os possíveis fatores levaram a estes resultados onde o clima ameno favoreceu a maiores concentrações destes tipos de COVs na atmosfera, principalmente nos pontos de amostragem. Neste experimento os parâmetros meteorológicos tem um papel de suma importância no que diz respeito à dinâmica do comportamento da atmosfera, principalmente quando se trata de poluentes e poluição atmosférica. O vento é um dos fatores que desempenha papel importante quando se fala em dispersão ou deposição de poluentes, já a velocidade do vento vai influenciar sob a dispersão local dos poluentes e em casos que o vento torna-se ausente essa situação favorecerá a concentração de poluentes em locais com estas características, deve-se enfatizar também que quando se faz coleta destes tipos de composto onde o vento esta indo na direção de uma coleta de amostragem pode ser um aliado quando estiver posicionado na direção favorável do vento, ou seja, estes tipos de coletas que dependem do vento forte em outros locais mais em direção a sua coleta os compostos não serão característicos de compostos somente produzidos localmente, portanto o vento explica muitas teorias.

Outro fator climatológico que influencia na dispersão dos poluentes atmosféricos é a pressão atmosférica, quando se tem baixa pressão observam-se também grandes proporções de turbulência na atmosfera favorecendo a dispersão dos componentes dispostos na atmosfera e quando se tem alta pressão atmosférica o vento torna-se fraco no qual se torna difícil que ocorra a dispersão dos poluentes no meio em consequência disso os poluentes acabam tomando concentrações de maiores proporções junto ao solo ou na parte inferior da camada limite atmosférica. Além da temperatura influenciar na dispersão vertical dos poluentes ela também influencia na química destes na atmosfera e exerce papel importante sobre a poluição de acordo com o período principalmente em nossa região que são caracterizados por ser bem distinto, período que chove “(inverno)” ou período de estiagem “(verão)”, e no inverno a temperatura tem um papel bem peculiar onde às diferenças de temperatura entre dia e noite podem provocar inversões térmicas juntamente com picos de poluição e no verão a temperatura favorece mais a formação do ozônio, e a precipitação é caracterizada por ser um fator no qual favorece a dispersão de poluentes atmosféricos, as gotas tornam-se responsável por solubilizar poluentes gasosos e partículas presentes na atmosfera (CCDR LVT, Fev. 2014).

4.4. Influência do Fluxo de automóveis

A média de fluxo de veículos que passavam por um período de um minuto tanto no período seco (PS) como no período chuvoso (PC) variou, e o que se observou com tais dados é que a via que passava a maior quantidade de veículos por minuto foi a Avenida da Universidade com uma média aproximada de 57 veículos por minuto no período chuvoso e uma média de 55 veículos por minuto no período seco, também foi uma via na qual passou maior quantidade de veículos de passeio por minuto no período seco com um fluxo de 77 veículos por minuto e no período chuvoso com um fluxo de 86 veículos por minuto, também foi à via com maior representatividade de veículos pesados (ônibus) com um fluxo de 17 veículos por minuto no período chuvoso e um fluxo de 16 veículos por minuto no período seco, e esta seria uma via caracterizada como uma via de menor fluxo veicular em relação as demais que foram feitas as amostragens com exceção do branco que é a Rua Marechal Deodoro, de acordo com os dados do CTAFOR/AMC.(Tabela 12)

Tabela 12 – Representatividade do Fluxo de tráfego veicular por minuto no PC e PS

Locais	Período seco	Período chuvoso
Av. Aguanambi	40,3	46,6
Av. Bezerra de Menezes	38,4	34,2
Av. da Abolição	21,0	28,4
Av. da Universidade	57,2	55,3
Rua Marechal Deodoro	6,2	7,3

Fonte: o autor.

Além da média de veículos por local, também foi feita a correlação entre os compostos BTEX por local e período e a quantidade de veículos por local e período para saber qual é a relação entre estas variáveis.

Quando o resultado da correlação, entre a soma dos compostos BTEX e a soma do fluxo veicular nas vias de amostragem for fraca da a entender que o fator mais influente sobre os níveis de compostos nas vias de amostragem não tem sido o fluxo veicular como um fator limitante, porém o fluxo veicular tem suas contribuições em relação às emissões, mas não sob a deposição de poluentes em um mesmo ambiente, na medida em que há um conjunto de fatores que influenciam na deposição ou na dispersão de poluentes em um local não podendo agregar a um único fator.

Tabela 13 – Correlação entre compostos Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, Xilenos e fluxo de tráfego veicular no Período Chuvoso.

Compostos	r (\sum composto; \sum Fluxo de veículos)	Classificação de r
Benzeno	0,35	Fraca Positiva
Tolueno	0,33	Fraca Positiva
Etilbenzeno	0,07	Desprezível Positiva
Xilenos	0,44	Fraca Positiva

Fonte: o autor.

A correlação entre os compostos e o fluxo veicular da Tabela 13, mostra que o composto de maior relevância por correlação foi os compostos de Xileno com $r=0,44$ seguido do Benzeno com $r=0,35$ e Tolueno com $r=0,33$ e o composto de representação insignificante por correlação foi o Etilbenzeno.

Seguem os valores base para a interpretação de correlação:

- 0.9 para mais ou para menos indica uma correlação muito forte;
- 0.7 a 0.9 positivo ou negativo indica uma correlação forte;
- 0.5 a 0.7 positivo ou negativo indica uma correlação moderada;
- 0.3 a 0.5 positivo ou negativo indica uma correlação fraca;
- 0 a 0.3 positivo ou negativo indica uma correlação desprezível.

De acordo com Cohen (1988), valores entre 0,10 e 0,29 podem ser considerados pequenos; escores entre 0,30 e 0,49 podem ser considerados como médios; e valores entre 0,50 e 1 podem ser interpretados como grandes. Já Dancey e Reidy (2005) aponta para uma classificação ligeiramente diferente: $r = 0,10$ até 0,30 (fraco); $r = 0,40$ até 0,6 (moderado); $r = 0,70$ até 1 (forte).

Tabela 14 – Correlação entre compostos Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, Xilenos e fluxo veicular no PS.

Compostos	r (\sum composto; \sum Fluxo de veículos)	Classificação
Benzeno	0,24	Correlação Positiva desprezível
Tolueno	0,16	Correlação Positiva desprezível
Etilbenzeno	0,64	Correlação Positiva Moderada
Xilenos	0,70	Correlação Positiva Moderada

Fonte: o autor.

A correlação entre os compostos e o fluxo veicular da Tabela 14, mostra que o composto Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos apresentam valores tanto para correlação positiva desprezível com valor de $r=0,16$ para Tolueno, como valores de correlação positiva

moderada com $r= 0,70$ para Xilenos.

Tabela 15 – Correlação entre a variável da soma dos compostos BTEX e a soma do Fluxo de veículos por período.

Período	$r (\sum \text{BTEX}; \sum \text{Fluxo de veículos})$	Classificação de r
Chuvoso	0,38	Fraca Positiva
Seco	0,42	Fraca Positiva

Fonte: o autor.

De acordo com a correlação apresentada entre a soma dos compostos BTEX e a soma do Fluxo de Tráfego Veicular da Tabela 15, o período que sofreu maior influência entre estas variáveis foi o período seco com uma correlação fraca, porém positiva onde as variáveis movem-se juntas em valores crescentes.

Com os resultados desta seção é possível afirmar que o Fluxo de Tráfego Veicular exerce maior influência no período seco do que no período chuvoso em relação à composição dos compostos de BTEX na atmosfera local e a correlação entre as variáveis de cada composto e o fluxo de tráfego veicular variou de correlação desprezível a fraca no período chuvoso enquanto no período seco variou de correlação desprezível a moderada fortalecendo ainda mais a hipótese de que o fluxo de tráfego veicular exerce forte influência sobre a composição de BTEX na atmosfera em períodos mais secos.

4.5. Risco à saúde

Quando ocorrem alteração e degradação de ar, comprometendo-se dessa forma, os processos fotossintéticos e a vegetação aquática e terrestre, estamos diante da poluição atmosférica que contribui para inúmeras patologias tais como, o enfisema, a bronquite a rinite alérgica e as deficiências visuais. Para agravar a situação a poluição atmosférica é transfronteiriça de modo que os animais e próprio vento cuidam de espalha-lo a grandes distâncias da sua fonte. A Agência Internacional de Pesquisa para o Câncer anunciou em 17 de outubro de 2013 que classificou o ar exterior (poluição) como carcinogênico para humanos onde se trata de um gravíssimo problema de saúde ambiental (IARC 2013).

De acordo com Fiorillo (2014) no que diz respeito à poluição atmosférica causada pelos veículos são necessárias à implementação e o estímulo e determinadas medidas tais

como o incentivo e a melhoria do uso de meios de transporte menos agressivo ao ambiente, informação dos danos que a poluição atmosférica pode causar a população, criando assim medidas que colaborem com um ambiente mais limpo quando se tratar de poluentes atmosféricos.

A Tutela Jurídica do ar atmosférico pode ser encontrada em algumas leis tais como a Lei de Contravenções Penais (art.38), o Código Penal (art. 252), a Lei dos Crimes Ambientais, A Lei de Zoneamento (Lei n. 6.803/80), a Lei de Política Nacional do Meio Ambiente (Lei 6.938/81), a Resolução CONAMA n. 18/86 que institui o Programa de Controle da Poluição do ar por Veículos Automotores (Proconve), a Resolução CONAMA n. 5/89 que criou o Programa Nacional de Qualidade do Ar (Pronar), a Resolução Conama n. 3/90, a Resolução CONAMA n. 8/90 e as Leis n. 8.723/93 e 9.294/96. Todas estas leis elas colaboram para o controle da emissão de poluentes na atmosfera tais como VOCs, Aldeídos, material particulado, monóxido de carbono e entre outros compostos que são emitidos seja por parte de fabricantes de motores e veículos automotores nacionais e internacionais a fim de que sejam obrigados por força de lei a atender aos limites de emissões estabelecidos por lei para as exigências no mercado nacional. No entanto para que estas leis funcionem deve-se entender a dinâmica atmosférica de cada local para que as Leis possam se adequar e funcionar de acordo com cada localização quando referidas a poluição atmosférica por isso a Lei 10.203/2001 fixou a regra, em obediência ao raciocínio de que as normas ambientais locais estabelecem melhor controle para a qualidade de vida do cidadão. A questão é: não deixar de utilizar produtos que contenham tais compostos que contribuam para a poluição atmosférica, mas sim uma decisão por parte dos órgãos públicos para a tomada de decisões que colaborem para que a emissão de certos compostos para a atmosfera seja em menor escala principalmente aqueles considerados carcinogênico, onde as ações vão desde o monitoramento destes na atmosfera local, fiscalização do uso destes, até a adaptação de um transporte público de qualidade e segurança disponível para a população, porque não adianta ter infraestrutura local de qualidade se não tem um transporte público de qualidade e o que acontece é que cada vez mais se adquire mais veículos automotores e conseqüentemente a venda destes tipos de compostos que posteriormente serão emitidos para a atmosfera tornando-se poluentes atmosféricos sendo um perigo eminente a saúde humana principalmente quando a população o desconhece.

Os compostos BTEX possuem valores limite no que se refere a qualidade do ar em ambientes internos ou a carga horária para ingestão destes tipos de compostos para uma carga horária de trabalho de 40-48h semanais(Tabela 16).

Tabela 16 – Valores de referência de qualidade do ar em ambientes de trabalho definidos por órgãos nacionais e internacionais em mg/m³ para uma jornada de trabalho de 40-48h/semanais.

COMPOSTOS	NR-15 LT-MPT	ACGIH TLV-TWA	NIOSH REL-TWA	OSHA PEL-TWA
BENZENO	3,19	1,60	0,325	3,25
TOLUENO	290	188,5	377	754
ETILBENZENO	340	434	434	434
M-P-O-XILENO	340	434	434	434

Fonte: Adaptado, MTE-NR-15,1978; NIOSH, 2003.

(NR15)LT-MPT = Limite de tolerância-Média ponderada pelo tempo; (ACGIH)TLV-TWA= Limite de tolerância - Time Weighted Average (Média Ponderada no Tempo); Ceiling = Média ponderada no tempo (valor teto); (NIOSH) REL -TWA = Nível de exposição recomendado; (OSHA) PEL-TWA = Nível de exposição permitido.

4.5.1. Cálculo de Índice de Risco (HQ)

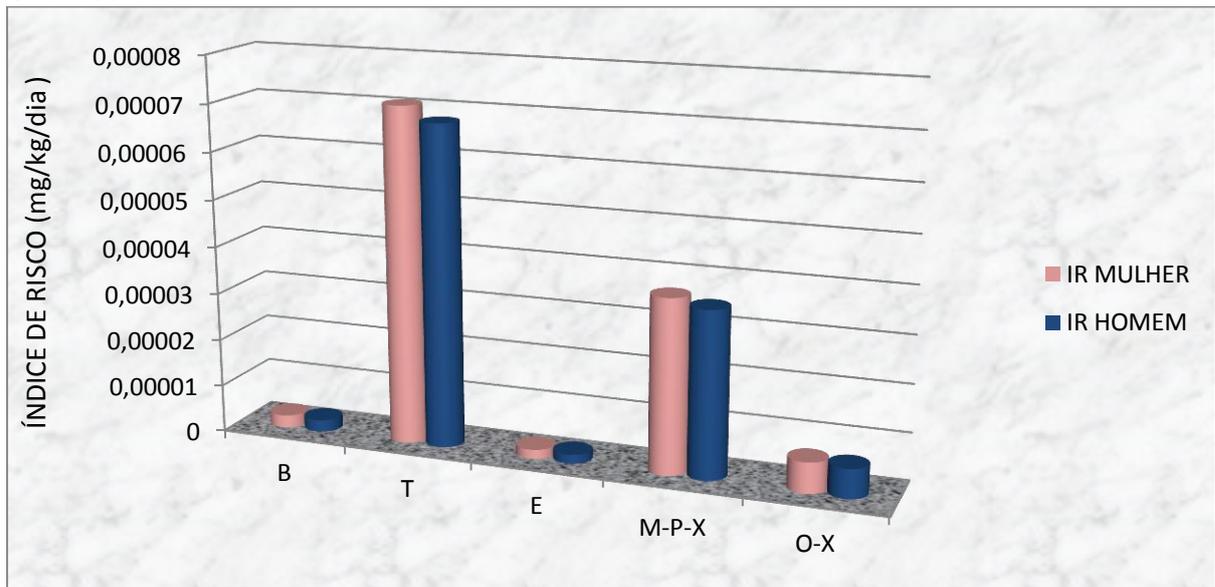
O cálculo do Índice de Risco (HQ) foi feito através do resultado da Ingestão Crônica Anual (CDIa), dividido pela dose referência de cada composto (Rfd). A dose referência de cada composto BTEX foi obtida através da (USEPA) com valores de RfD para Benzeno 4.0×10^{-3} mg/kg/dia, RfD para Tolueno 0,08 mg/kg/dia , RfD para Etilbenzeno 1×10^{-1} mg/kg/dia e RfD para Xilenos com 0,2 mg/kg/dia. Valores de HQ menor que 1 estabelece níveis seguro em relação a efeitos causadores a saúde e HQ maior que 1 os índices de risco são alertas sobre graves efeitos sobre a saúde humana.

Tabela 17 – Cálculo do Índice de risco para os compostos BTEX em Período Chuvoso

HQ	B	T	E	M-P-X	O-X
IR MULHER	2,64319E-06	7,08961E-05	1,96351E-06	3,66E-05	6,45771E-06
IR HOMEM	2,52827E-06	6,78137E-05	1,87814E-06	3,501E-05	6,17694E-06

Fonte: o autor.

Figura 18 – Representatividade do Índice de risco (HQ) para os compostos BTEX em Período Chuvoso



Fonte: o autor

Os dados da Figura 18 mostram que os compostos com maior significância para o risco a saúde é o Tolueno seguido do M-P-Xileno e O-Xileno, exercendo forte indício de toxicidade a saúde humana se continuar a valores crescentes e superando ao valor 1 com base neste cálculo e os que apresentaram menor relevância foi o Benzeno e o Etilbenzeno, outro fator a ser observado é que o índice de risco associado a mulher é mais contundente devido a variáveis de expectativa de vida e peso para a base deste cálculo influenciando os resultados com base nesta estatística. O Índice de risco é aplicado a todos compostos, porém com maior ênfase em compostos considerados tóxicos, mas não carcinogênico tais como Tolueno, Etilbenzeno, M,P,O-Xileno para poder identificar o nível de risco associado a estes compostos a saúde humana.

Tabela 18 – Cálculo do Índice de risco para os compostos BTEX em Período Seco

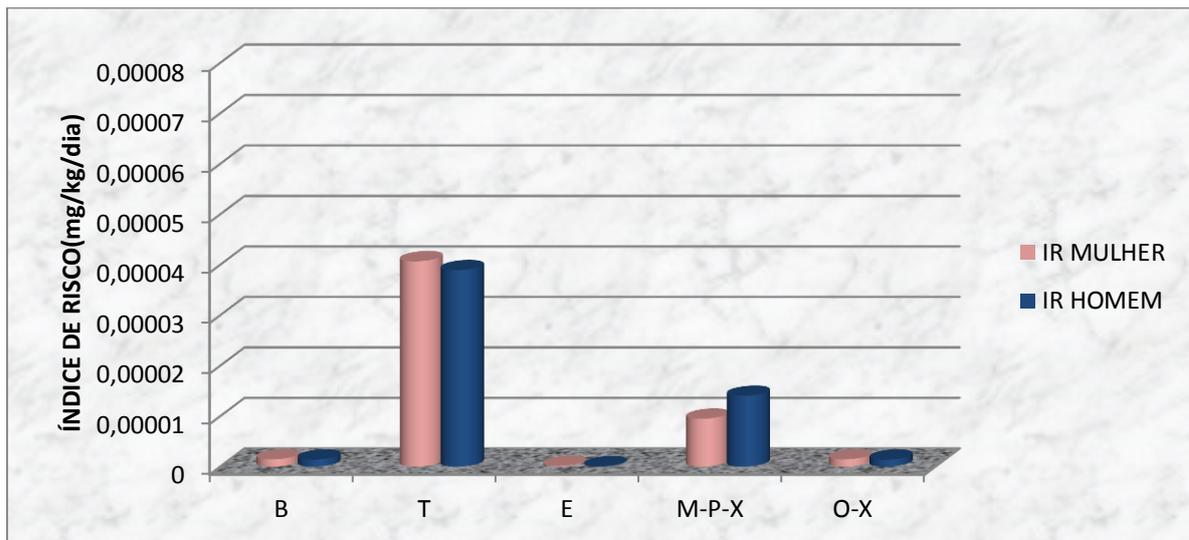
HQ	B	T	E	M-P-X	O-X
IR MULHER	1,45183E-06	4,06882E-05	1,44875E-07	9,49392E-06	1,44875E-06
IR HOMEM	1,38871E-06	3,89192E-05	6,92879E-08	1,40234E-05	1,38576E-06

Fonte: o autor

De acordo os dados obtidos nas Tabelas 17 e 18, os valores calculados para o Índice de Risco em todas as vias que foram coletadas amostras dos compostos BTEX tanto para o período chuvoso quanto para o período seco ficaram abaixo de 1, ou seja com esses dados o fator e Índice de risco não apresentam perigo a saúde para os compostos não considerados carcinogênico tais como o Tolueno, Etilbenzeno e xilenos, já o Benzeno apesar

de níveis abaixo do limite do Índice de risco e com valores abaixo do nível de toxicidade a saúde ele é um composto considerado carcinogênico podendo causar deterioração a saúde quando exposto a níveis elevados ou mesmos com níveis abaixo do permitido porém, a um longo período de tempo.

Figura 19 – Representatividade do Índice de risco (HQ) para os compostos BTEX em Período Seco



4.5.2. Risco de câncer

Tabela 19 – Limite calculado para o Risco de câncer por hora para composto Benzeno por ser carcinogênico, cálculo este adaptado as Normas Regulamentares.

Benzeno	RC Mulher	RC Homem
NR15	8,91114E-05	8,5237E-05
ACGIH	4,46954E-05	4,27521E-05
NIOSH	9,07875E-06	8,68402E-06
OSHA	9,07875E-05	8,68402E-05

Fonte: o autor. *RC=CdIxSF ; Valor SF 0,029 (mg/Kg/h)⁻¹ para o Benzeno regulamentado pela (USEPA, 1998).

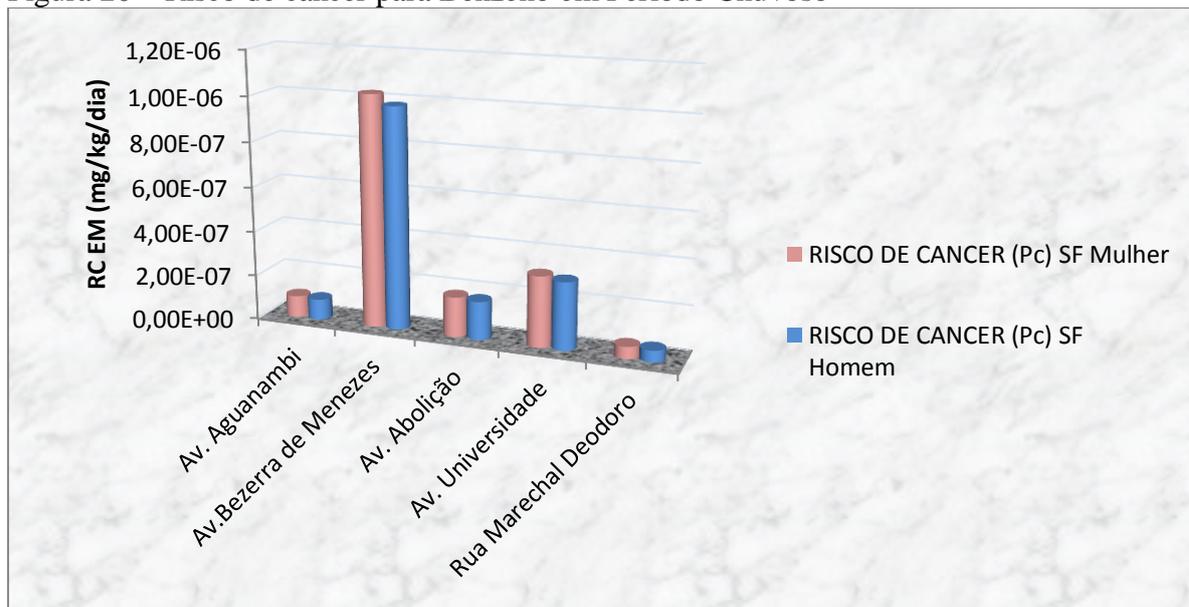
Tabela 20 – Risco de câncer para composto Benzeno em Período Chuvoso.

RISCO DE CANCER Pc		
PONTOS DE AMOSTRAGEM	RC Mulher	RC Homem
Av. Aguanambi	4,80475E-07	4,59585E-07
Av. Bezerra de Menezes	4,9813E-06	4,91436E-06
Av. Abolição	8,89438E-07	8,50767E-07
Av. Universidade	1,56881E-06	1,53908E-06
Rua Marechal Deodoro	2,68172E-07	2,56513E-07

Fonte: o autor. *RC=CdI_xSF; Valor SF 0,029 (mg/Kg/h)⁻¹ para o Benzeno adaptado pela (USEPA, 1998).

Os valores calculados para o Risco de Câncer para o período chuvoso (Tabela 20) baseados nos limites adaptados e estabelecidos pelas Normas Regulamentares (Tabela 19) ficaram abaixo do estabelecido para uma carga horária diária de 1 hora, exceto para a Avenida da Universidade e Avenida Bezerra de Menezes.

Figura 20 – Risco de câncer para Benzeno em Período Chuvoso



Os dados da Figura 20 revelam que o risco de câncer é mais eminente para a mulher do que para o homem relacionado ao composto Benzeno e a via que oferece maior risco a saúde é a Bezerra de Menezes e a que oferece menor risco é a Marechal Deodoro.

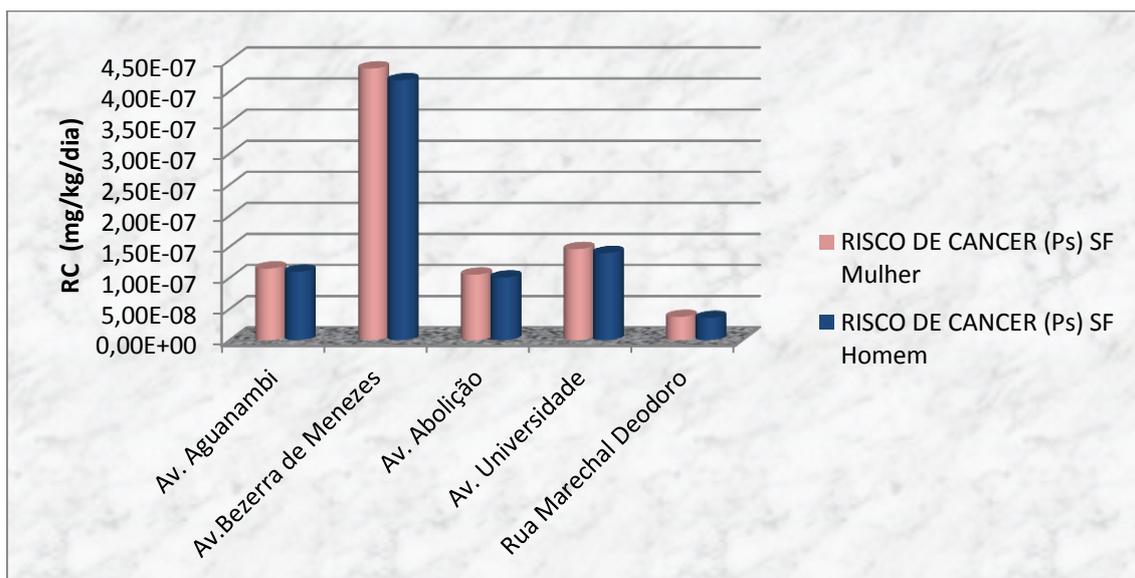
Tabela 21 – Risco de Câncer para composto Benzeno em Período Seco.

RISCO DE CANCER Ps		
PONTOS DE AMOSTRAGEM	RC Mulher	RC Homem
Av. Aguanambi	5,76571E-08	5,51502E-08
Av. Bezerra de Menezes	2,1956E-07	2,09058E-07
Av. da Abolição	5,27406E-08	5,04475E-08
Av. Universidade	7,33004E-08	7,01135E-08
Rua Marechal Deodoro	1,88721E-08	1,80559E-08

Fonte: o autor. *RC=CdI_xSF; Valor SF 0,029 (mg/Kg/h)⁻¹ para o Benzeno adaptado pela (USEPA, 1998).

Os valores calculados para o Risco de Câncer para o período seco (Tabela 21) baseados nos limites adaptados e estabelecidos pelas Normas Regulamentares (Tabela 19) ficaram abaixo do estabelecido.

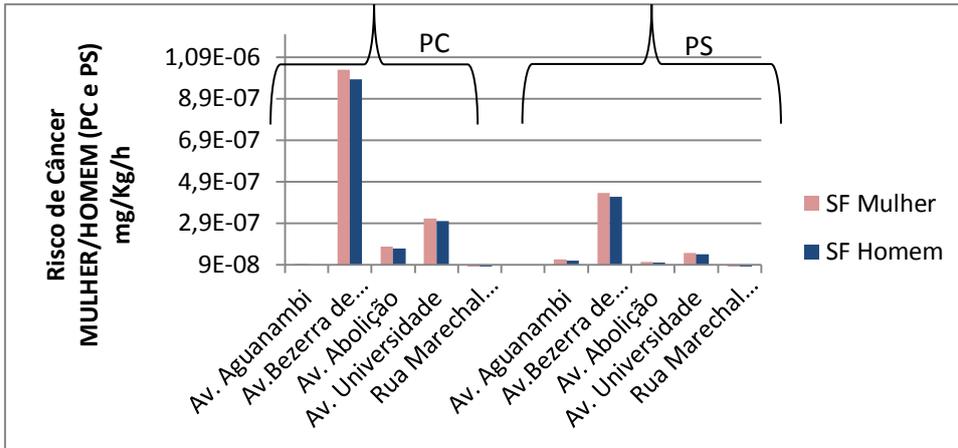
Figura 21 – Representatividade dos valores calculados para o Risco de Câncer para o composto Benzeno em Período Seco.



Fonte: o autor

Novamente o risco e câncer calculado de acordo com os níveis mensurados nas vias de amostragem revela que o risco de câncer associado a mulher é mais eminente do que no homem mesmo apresentando níveis baixos, no qual a Avenida Bezerra de Menezes é a via com maior exposição de risco de câncer ao ser humano dentre as vias analisadas e a via que oferece menor risco é a Rua Marechal Deodoro.

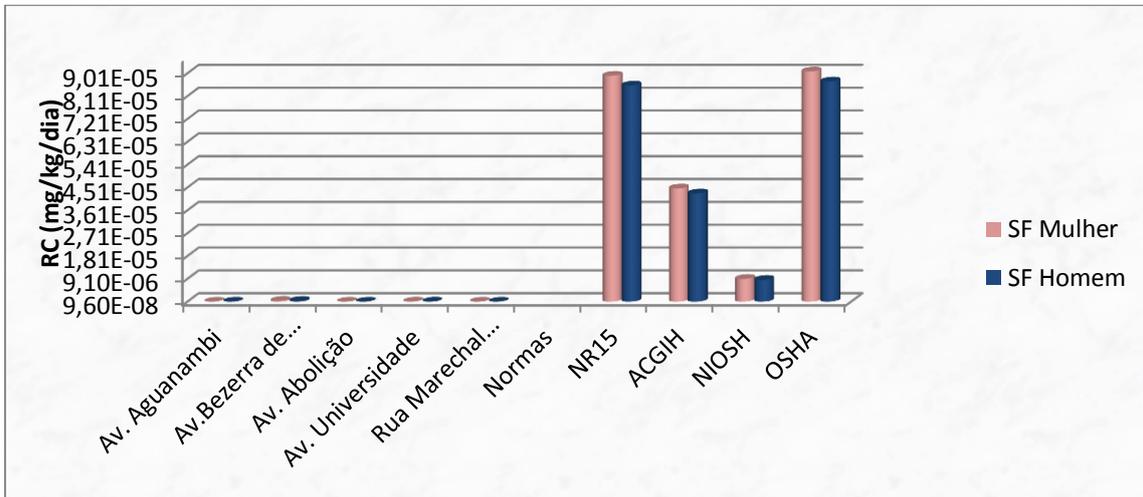
Figura 22 – Comparação do Risco de Câncer entre Períodos Chuvoso e Seco.



Fonte: o Autor

É possível notar na Figura 22 que o risco de Câncer é mais eminente no Período Chuvoso do que no Período Seco isso se dá devido à captação de maior quantidade de compostos no Período Chuvoso do que no Período Seco consequentemente o Período Chuvoso apresentará maior risco a saúde do que no Período Seco.

Figura 23 – Representatividade da avaliação do risco de câncer nas vias de amostragem e limites estabelecidos pelas Normas Regulamentares para os compostos BTEX no PC e PS.



Fonte: o autor.

A Figura 23 mostra o quão pequeno foram os níveis de risco de câncer tanto para homens quanto para mulheres em relação aos níveis toleráveis estabelecido pelas Normas Regulamentares.

5. CONCLUSÃO

Diante dos resultados observados ao longo dessa pesquisa, pode-se concluir que todos os locais amostrados possui uma boa qualidade ambiental quanto aos níveis da composição de compostos que foram captados nas vias escolhidas para esta amostragem, porém os locais que apresentaram maior risco a saúde humana foi a Avenida Bezerra de Menezes e Avenida da Universidade com níveis de BTEX mais elevados, no qual refletiu diretamente sobre os resultados de riscos a saúde, entretanto alguns locais com maior concentração de composto do que em outros, devido a outros fatores que contribuem para a dinâmica da composição destes compostos tais como: fluxo de tráfego veicular, variação sazonal, parâmetros meteorológicos, além de outros fatores desconhecidos a serem investigados por mais tempo na composição destes, estabelecendo uma hipótese de interesse de novos estudos mais aprofundados (seja com a implementação desta metodologia ou uso de novas ferramentas que favoreçam a captação e a quantificação real destes compostos) sobre a real influência destes compostos em vias públicas e a quais níveis de exposição estamos sendo submetidos, já que este estudo foi pioneiro em relação ao estudo aprofundado a composição destes compostos em vias publicas da cidade de Fortaleza. O intuito desta pesquisa é que todo este material possa ser um guia para a contribuição de validação de um possível índice de qualidade do ar associado aos compostos de BTEX em ambientes externos, vias publicas, ao ar livre, no qual ainda não há o estabelecimento de limites ou normas que estabeleçam níveis de inalação e exposição por parte de órgãos ambientais ou governamentais a estes tipos de compostos sem serem associadas a atividades insalubres ou associadas a Normas Regulamentares Trabalhistas.

Contudo esta pesquisa tem contribuído com dados de concentração de BTEX em vias de intenso fluxo de tráfego veicular na Cidade de Fortaleza, além de mostrar quais variáveis atmosféricas contribuem para a concentração de poluentes na atmosfera local. Mesmo que os níveis destes compostos estejam relativamente baixos em relação aos limites legislados para este tipo de composto não se deve desprezar tais resultados tendo em vista que estes limites comparados aos resultados são baseados para atividades que se exponha diretamente ao composto em ambientes de trabalho insalubre, por isso faz-se necessário a implementação de novas pesquisas e futuramente normas que favoreçam a aplicação de políticas publicas associadas a exposição humana aos poluentes atmosféricos em vias publicas.

REFERÊNCIAS

- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (EUA). **Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylenes (BTEX)**. 2004. Disponível em: <http://www.atsdr.cdc.gov/interactionprofiles/ip05.html>. Acesso em: 19/11/2015
- Arbex, M.A.; Santos, U.P.; Martins, L.C.; et. al. **A poluição do ar e o sistema respiratório**. J Bras Pneumol. 2012;38:643-655.
- AYOADE, J.O. *Introdução a climatologia para os trópicos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. 332 p.
- BRASIL. CONAMA. Resolução 237/97, de 19 de dezembro de 1997. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>. Acesso em: 13 março. 2015.
- BRILHANTE, O M. **Gestão e avaliação da poluição, impacto e risco na saúde ambiental**. In: BRILHANTE, O. M. & CALDAS, L. Q. de A. *Gestão e avaliação de risco em saúde ambiental*. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 1999. p. 19-73.
- COHEN, Jacob. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, NJ, Erlbaum, (1988).
- COLLINS, Carol H.; BRAGA, Gilberto I.; BONATO, Pierina S.. **Fundamentos de Cromatografia**. 1. ed. São Paulo: Unicamp, 2006. p. 240-270.
- COMISSÃO DE COORDENAÇÃO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL DE LISBOA E VALE DO TEJO (CCDR LVT) **O Ar e os Poluentes Atmosféricos**. 2014. Disponível em: <http://www.atsdr.cdc.gov/interactionprofiles/ip05.html>. Acesso em: 10/01/2016
- COSTA, Angelina Dias Leão. **Análise bioclimática e investigação do conforto térmico em ambientes externos: Uma experiência no bairro de Petrópolis em Natal/RN**. 183 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.
- DANCEY, Christine & REIDY, John. *Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows*. Porto Alegre, Artmed, (2006).
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRANSITO (Brazil). DENATRAN. **Frota por Município e tipo**. 2015. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/frota2015.htm>. Acesso em: 10/01/2016
- EDUCAÇÃO PÚBLICA. **GEOGRAFIA**. 2014. Disponível em: <http://www.educacaopublica.rj.gov.br/biblioteca/geografia/0005.html>. Acesso em: 10/01/2016
- FIORILLO, Celso Antonio Pacheco. **Curso de Direito Ambiental Brasileiro**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2014. p. 398-405.
- GIANG, Nguyen Tran Huong; OANH, Nguyen Thi Kim. **Roadside levels and traffic emission rates of PM2.5 and BTEX in Ho Chi Minh City, Vietnam**. Atmospheric

Environment, , v. Volume 94, n. , p. 806–816. 09/2014. Disponível em: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231014004403. Acesso em: 18/11/2015

HO, K.F et al. **Seasonal and diurnal variations of volatile organic compounds (VOCs) in the atmosphere of Hong Kong**. 2004. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969703005898#TBL1>. Acesso em: 18/02/2015

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Estimativas de população para 1º de julho de 2015**. 2015. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2015/estimativa_tcu.shtm. Acesso em: 10/11/2015

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Informações completas sobre Fortaleza**. 2014. Disponível em: cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=230440&search=ceara|fortaleza|infograficos:-informacoes-completas. Acesso em: 15 jun. 2015.

INTER AMERICAN DEVELOPMENT BANK (Fortaleza-Ce, Brazil). IADB. **Síntese dos projetos de engenharia da Avenida Aguanambi e do terminal de Messejana**. SD. Disponível em: www.iadb.org/Document.cfm?id=38709606. Acesso em: 12/01/2016

MATYSIK, Silke; SCHLINK, Uwe; RAMADAN, Abou Bakr. **Spatial and temporal variation of outdoor and indoor exposure of volatile organic compounds in Greater Cairo**. *Atmospheric Pollution Research*, Cairo, v. Volume 1, n. 2, p. 94–101. 4/2010. Disponível em: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1309104215305493. Acesso em: 20/11/2015

MILLER JUNIOR, G. Tyler. **CIÊNCIA AMBIENTAL**. 11. ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007. 592 p.

MINAKI, Cíntia. **Qualidade Ambiental Urbana em Guararapes/SP**. 2009, 156f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO (MTE). **NORMAS REGULAMENTADORAS**. Disponível em: ww.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_09_at.pdf . Acesso em: 17 jan. 2015.

MIRANDA, R.; TOMAZ, E.. **Characterization of urban aerosol in Campinas, São Paulo, Brazil**. 2008. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809507001482>. Acesso em: 12/01/2016.

National Council Risk (NRC). **Human exposure assessment for airborne pollutants: Advances and applications**. Committee on advances in assessing human exposure to airborne pollutants, committee on Geosciences, environment and resources, NRC. Washington, DC: National Academy, press, 1990.

RDEIRO, Rita de Cássia Antunes et al. **Qualidade Ambiental Urbana de Salvador: uma avaliação por meio de pesquisa de opinião**. Revista VeraCidade, Salvador, n. 5, p. 1-15 dez. 2006.

SCIFONI, Simone. **O verde do ABC: reflexões sobre a questão ambiental urbana**. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994. States Environmental Protection Agency (USEPA). **Narrative Proposed Guidelines for Carcinogenic Risk Assessment**. Washington, DC. Office of Research and development.

EPA/600/p-92/003C, p. 137, 1996. Disponível em: http://cfpub.epa.gov/incea/raf/cra_prop.cfm. Acessado em 15/09/2015.

SÁNCHEZ, Luis Henrique. **AValiação de Impacto Ambiental: CONCEITOS E MÉTODOS**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. p. SNP. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=nsN6BwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 19/11/2015

SUZANA KAHN RIBEIRO; REAL, MÁRCIA VALLE. **Novos combustíveis** . 1. ed. : E-PAPERS, 2006. p. 92.

THE ENGINEERING TOOLBOX. **EPA Protective Noise Levels (USEPA)**. Disponível em: <http://www.engineeringtoolbox.com/epa-protective-noise-level-d_720.html>. Acesso em: 10 set. 2014.

TOLNAI, B.; HLAVAY, J.; MÖLLER,D.; PRÜMKE,H.J.; BECKER,H.; DOSTLER,M. **COMBINATION OF CANISTER AND SOLID ADSORBENT SAMPLING TECHNIQUES FOR DETERMINATION OF VOLATILE ORGANIC HYDROCARBONS**. Microchemical Journal: n° 67, p. 163~169, 2000.

U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Air pollution standards**. 2010. Disponível em: <<http://www.epa.gov/airquality/>>. Acesso em: 10 mar. 2014.

U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Guidelines for Exposure Assessment**. Office of Research Development, Office of Health and Environmental Assessment, EPA 6000Z-92/001. Washington, DC, 1992.

U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Integrated Risk Information System**. 2004. Disponível em: <<http://www.epa.gov/iris>>. Acesso em: 17 mai. 2015.

U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Risk assessment guidance for superfund (RAGS) Part A: Chapter 7 (Toxicity assessment) and 8 (Risk characterization)**. 1996. Disponível em: <<http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/ragsa/>>. Acesso em: 10 mar. 2014.

U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA): **Exposure factors handbook**; US Government Printing Office. EPA/600/8-89/043. Washington, DC, 1997.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Uses Benzene** . 1992. Disponível em: <http://www3.epa.gov/airtoxics/hlthef/benzene.html>. Acesso em: 13/01/2016

United States Environmental Protection Agency (USEPA). **Benchmark Dose Technical Guidance Document (External Review Draft)**. EPA/630/R-00/001, 181, 2000.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). **Carcinogenic effects of benzene: an update**. Prepared by the National Center for Environmental Health, Office of Research and Development, EPA/600/P-97/001F, Washington, DC, 1998.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). **Final Draft for Drinking Water Criteria Document on Benzene**. Office of Drinking Water, Washington, DC. PB86-118122, 1985.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). **Integrated Risk Information System (IRIS)**. Ethylbenzene; CASRN 100-41-4, 1991. www.epa.gov/ncea/iris/subst/0051.html. Acessado em 10/11/2015.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Air Quality Guidelines: Global Updated**. 2006. Disponível em: <http://www.wmo.int/pages/prog/www/DPS/Monitoring-home/mon-index.htm>. Acesso em: 02 set. 2014.

Yu, M. H. **Environment toxicology: biological and health effects of pollutants**. 2nd edition, CRC press, Washington, DC, p.301.