

X-039 – DETERMINAÇÃO DE COMPOSTOS MONOAROMÁTICOS VOLÁTEIS, PROVENIENTES DE EMISSÕES VEICULARES FUGITIVAS.

Bárbara Prestes de Castro⁽¹⁾

Bacharel em Química pela Universidade do Grande Rio (UNIGRANRIO). Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Especialista em Espectrometria de massas no Laboratório de Ecofisiologia e Toxicologia de Cianobactérias no Centro de Ciências da Saúde (CCS) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Eduardo Monteiro Martins

Químico pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Mestre em Físico-Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Doutor em Físico-Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Júlio Domingos Nunes Fortes

Engenheiro Elétrico pela Universidade Federal Fluminense. Mestre em Engenharia Civil pela University of Minnesota. Doutor em Saúde Pública pela Escola Nacional de Saúde Pública

Fábio Azamor de Oliveira

Químico industrial pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Analista Químico na empresa Bureau veritas – Analytical Solutions.

Endereço⁽¹⁾: - Centro de Ciências da Saúde, Av. Carlos Chagas Filho, 373-Cidade Universitária- Rio de Janeiro RJ - 21941-902 – Brasil – tel: +55 (21) 2562 6647 e-mail: prestesbarbara@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho visa determinar a contribuição das emissões evaporativas provenientes dos veículos leves de passageiros, para a degradação da qualidade do ar atmosférico. O objetivo principal é avaliar as concentrações compostos monoaromáticos voláteis, Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos (BTEX) em ambientes confinados, sendo este realizado em um local que caracterize a realidade da frota veicular da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. As amostras foram coletadas em um estacionamento subterrâneo de um Shopping Center da zona norte do Rio de Janeiro, através do sistema de amostragem ativa, utilizando cartucho de carvão ativo como adsorvente. As amostras foram extraídas com solvente orgânico e analisadas posteriormente por Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CGEM). As médias dos resultados obtidos foram: 52,7 $\mu\text{g.m}^3$ para o benzeno, 203,6 $\mu\text{g.m}^3$ para o tolueno, 44,6 $\mu\text{g.m}^3$ para o etilbenzeno e 115,7 $\mu\text{g.m}^3$ para os xilenos, sendo o tolueno o composto encontrado em maior abundância. Esses resultados foram comparados com resultados encontrados na literatura de emissões veiculares em ambientes confinados como garagens e túneis. Foi realizada a correlação das emissões com o veículo em movimento, obtidas através de estudos previamente realizados em um túnel de grande circulação, e as emissões obtidas no estacionamento subterrâneo. Através desses dados ficou demonstrada diferença das fontes de emissão.

PALAVRAS-CHAVE: BTEX, Emissões veiculares, poluição atmosférica, ambientes confinado

INTRODUÇÃO

A emissão de poluentes na atmosfera é um problema para o meio ambiente. É incontestável que a poluição do ar afeta diretamente a saúde humana, o desenvolvimento do ecossistema terrestre e o clima. Como consequência, o controle da poluição atmosférica vem sendo um tema bastante estudado nas últimas décadas, objetivando diretamente a preservação do ambiente e dos seres que nele vivem.

Em se tratando de poluição do ar, é inevitável a exposição acentuada dos seres vivos e do ambiente aos gases que poluem a atmosfera, ou seja, sendo a função respiratória um ato involuntário para os seres humanos não podemos fazer distinção entre respirar ou não. A superfície pulmonar encarregada das trocas gasosas para os seres humanos possui uma área de 70 a 100m², sendo esta a maior área de contato do organismo com o meio ambiente. Um ser humano adulto, em repouso, a cada ciclo respiratório, inspira entre 250 e 500 ml de ar.

Os poluentes emitidos na atmosfera são classificados de acordo com a sua fonte de emissão, podendo ser classificados como naturais ou antropogênicos, os poluentes de origem natural são aqueles em que sua emissão

na atmosfera não tem interferência do homem, já os poluentes de origem antropogênica são aqueles em que a atividade humana é a principal responsável pela sua emissão.

Os poluentes de origem antropogênica, ainda podem ser classificados quanto a sua fonte, como fontes fixas ou móveis, sendo as fontes fixas caracterizadas por emissões fixas, como por exemplo, a atividade industrial e as fontes móveis, caracterizadas principalmente pelo setor de transportes.

De acordo com o relatório anual de qualidade do ar de 2009 do Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro (INEA) e de 2010 da Companhia Estadual de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (CETESB), o principal emissor de poluentes na atmosfera em grandes centros urbanos como Rio de Janeiro e São Paulo é o setor de transportes, com forte destaque para os veículos leves de passageiros (INEA, 2009; CETESB, 2010). Com o desenvolvimento econômico do país nos últimos 10 anos, houve um crescimento de aproximadamente 40% da frota desses veículos, além do aumento no setor de transportes públicos, fato esse que merece atenção com relação aos níveis de poluição emitidos na atmosfera.

Na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, segundo o Inventário de Poluição do ar emitido pelo INEA, antiga FEEMA (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente), 77% da poluição do ar são provenientes das fontes móveis. A diversidade da frota contribui significativamente para esse índice (FEEMA, 2004).

Os veículos leves de passageiros emitem poluentes para atmosfera pelo escapamento, através do seu processo de combustão interna e pelo processo evaporativo dos combustíveis, que se dá no abastecimento e pelo respiro dos tanques e no processo de aquecimento do motor. Além disso, sabe-se que os principais constituintes dessas emissões são os compostos orgânicos voláteis (COV). Dentre os COV encontra-se um grupo de compostos denominados BTEX. Esses compostos não são contemplados isoladamente na legislação, no entanto, quando o combustível evapora, tais compostos são dispersos na atmosfera, contribuindo significativamente para a degradação da qualidade do ar e, principalmente, para a formação do ozônio troposférico¹, que é classificado pela EPA como um dos seis poluentes mais encontrados na atmosfera (EPA, 2010).

MATERIAIS E MÉTODOS:

A primeira etapa para realização deste trabalho foi a escolha de um local adequado para a realização das coletas. O local precisava ter um grande fluxo de veículos automotores leves e boa representatividade da frota veicular da Região. O local, ainda, precisa ser confinado e ter pouca ventilação, para que não haja dispersão dos compostos a serem coletados, além de nenhuma ou pouca influência meteorológica.

Partindo dessas premissas, foi escolhido um estacionamento subterrâneo de um grande centro comercial na Zona Norte do Rio de Janeiro, que possui uma área aproximada de 77,1 mil m², apresenta um fluxo de aproximadamente 2,5 milhões de pessoas por mês e 4000 veículos leves nas horas de pico dos fins de semana. As coletas foram realizadas na área do estacionamento, de aproximadamente 1000m².

Ao todo, o shopping recebe aproximadamente 500.000 veículos por mês em seu complexo de estacionamentos. As coletas foram realizadas entre 17 e 19 horas nos fins de semana, totalizando 2 horas de coleta, por dia coletado. Foram realizadas 37 coletas.

A segunda etapa do trabalho consistiu na amostragem do ar no local escolhido para o experimento e, para a amostragem do ar no estacionamento subterrâneo, utilizou-se o tipo de amostragem ativa, caracterizada pela sucção do ar através de um equipamento para um meio adsorvente ou concentrador, para posterior análise.

Nesse caso, foi utilizada uma bomba amostradora da marca SKC, modelo PCXR4, calibrada para um volume de 1,0L.min⁻¹ com tubo flexível para adaptação do cartucho de carvão ativo onde a mesma foi colocada para amostrar o ar do local selecionado (MARTINS et al 2005). Como adsorvente, foi utilizado um cartucho de carvão ativo de leito duplo da marca SKC, com leito principal de 100mg e leito de segurança de 50mg.

O procedimento de coleta foi realizado utilizando como referência o método da NIOSH 1501 (Instituto nacional de segurança e saúde ocupacional dos Estados Unidos) (NIOSH, 2010.). No entanto, algumas adaptações foram feitas para melhor recuperação dos analitos e para evitar perdas dos compostos de interesse.

¹ Troposfera: Camada mais baixa da atmosfera terrestre

As extremidades de vidro do cartucho de carvão ativo são quebradas e o mesmo é acoplado à bomba amostradora de ar por meio de um tubo flexível de teflon. O cartucho é acoplado com a extremidade principal sendo a receptora do fluxo bombeado. O leito com menor volume de carvão, por sua vez, é utilizado como leito de segurança. Esse leito é utilizado para assegurar que não ocorra saturação do leito principal e com isso a perda dos compostos de interesse. Caso seja encontrado no leito de segurança concentrações dos analitos que representem mais de 5% das encontradas no leito principal, essa coleta é descartada (MARTINS, 2005, MACHADO 2005; CORRÊA 2003, NIOSH 1501.).

A bomba amostradora foi calibrada para funcionar com uma vazão de $1\text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$. Para a escolha do volume coletado, foram feitas 2 coletas: uma com um tempo de 1 hora, totalizando um volume de 60l de ar; e outra coleta com o tempo de 2 horas, totalizando um volume de 120l de ar. Chegou-se a conclusão que, com um volume de 120l, não ocorria a saturação do leito principal e tivemos uma concentração que atendia os limites de quantificação da curva estabelecida pelo laboratório. O tempo total então utilizado para a coleta das amostras foi de 2 horas, totalizando um volume de ar coletado de 120 litros para cada amostra.

A terceira etapa consistiu na extração e posterior análise instrumental das amostras. O carvão ativo contido no interior dos cartuchos foi extraído com 1ml de diclorometano em ultra-som por 15 minutos em banho de gelo. Foi adicionado ainda 25 μl de uma solução contendo 50 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ de $\alpha\alpha\alpha$ – Trifluortolueno e 1-cloro-4-fluorbenzeno em diclorometano (DCM), que serão utilizados como padrão interno e recuperação. Após esta etapa o sobrenadante é transferido quantitativamente para outro vial e levado para a injeção no cromatógrafo a gás acoplado ao espectrômetro de massas (CGEM). Para a realização das análises, foi utilizado um cromatógrafo a gás modelo 6890 acoplado a um espectrômetro de massas modelo 5973 da marca Agilent. Foi utilizada uma coluna capilar da marca RESTEK modelo RTX VRX de 20m de comprimento e 0.28 μm x 1 μm . O modo de injeção foi splitless, ou seja, sem divisão de fluxo, o gás de arraste utilizado foi o Hélio (He), o volume de injeção de 1 μl e a temperatura do injetor de 250°C, com rampa de aquecimento de 40°C em isoterma por 3 minutos seguido de uma rampa de aquecimento de 12°C $\cdot\text{min}^{-1}$ até 80°C. Em seguida, outra rampa de aquecimento de 6°C $\cdot\text{min}^{-1}$ até 162°C precedeu uma última rampa de aquecimento de 40°C $\cdot\text{min}^{-1}$ até 230°C, que permaneceu em isoterma por 4 minutos. O modo de aquisição do espectrômetro de massas, foi de varredura, monitorando uma faixa de massa de 45 a 260.

Foi realizada uma curva de calibração na faixa de trabalho de 1,0 à 15 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$. Ainda utilizou-se o procedimento de padronização interna, onde é avaliada a resposta do analito com relação ao padrão interno. O padrão interno utilizado foi o $\alpha\alpha\alpha$ – Trifluortolueno na concentração de 1,25 $\text{ng}\cdot\mu\text{l}^{-1}$ e os padrões analíticos utilizados foram “volatile organic compounds gases 8260 da marca Supelco e Volatile organic compounds liquids 8260 da marca Supelco. A curva de calibração foi feita com 5 concentrações: 1; 2,5; 5,0; 10; 15 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$. O limite de quantificação (L.Q.) deste procedimento analítico é de 1 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ e o limite de detecção do método de 0,1 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$.

RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos nas 37 amostras analisadas.

A média dos valores obtidos de cada composto, assim como o desvio padrão, o desvio padrão percentual e o máximo e mínimo valores de concentração estão representados na Tabela 2. As concentrações obtidas variaram em um intervalo de: 15,9 à 102,4 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ de Benzeno, 90,7 à 327,8 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ de Tolueno, 12,8 à 100,2 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ de Etilbenzeno, 36,4 à 100,6 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ dos isômeros meta e para xilenos e 15,8 à 61,3 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ do orto-xileno. Foram injetados os extratos dos leitos de segurança e dos leitos principais do cartuchos de carvão ativo, sendo as concentrações obtidas dos extratos dos leitos de segurança foram abaixo do limite de detecção do equipamento, o que validou todas as 37 amostras analisadas.

Tabela1 – resultados obtidos das 37 amostras analisadas, mais o branco

| Amostra | Benzeno ($\mu\text{g.m}^{-3}$) | Tolueno ($\mu\text{g.m}^{-3}$) | Etilbenzeno ($\mu\text{g.m}^{-3}$) | m,p-xilenos ($\mu\text{g.m}^{-3}$) | o-xileno ($\mu\text{g.m}^{-3}$) |
|---------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|---|--------------------------------------|
| Branco | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1 | 42,1 | 175,1 | 41,0 | 51,3 | 19,3 |
| 2 | 37,1 | 169,0 | 29,1 | 82,2 | 18,7 |
| 3 | 35,6 | 129,1 | 12,8 | 36,4 | 8,2 |
| 4 | 63,3 | 324,0 | 85,3 | 199,6 | 43,8 |
| 5 | 36,5 | 92,4 | 51,9 | 142,2 | 35,9 |
| 6 | 35,5 | 90,7 | 51,5 | 142,2 | 35,3 |
| 7 | 23,8 | 224,6 | 50,4 | 135,6 | 33,8 |
| 8 | 15,9 | 126,3 | 31,5 | 71,2 | 17,6 |
| 9 | 68,3 | 201,3 | 56,1 | 92,0 | 19,3 |
| 10 | 65,0 | 176,3 | 62,5 | 100,5 | 15,8 |
| 11 | 79,0 | 223,0 | 52,0 | 109,0 | 21,0 |
| 12 | 84,0 | 252,0 | 70,5 | 121,0 | 33,0 |
| 13 | 102,4 | 327,8 | 100,2 | 159,4 | 57,8 |
| 14 | 90,8 | 262,5 | 85,8 | 135,0 | 61,3 |
| 15 | 68,9 | 220,8 | 53,1 | 74,2 | 25,4 |
| 16 | 79,2 | 190,8 | 60,8 | 90,8 | 16,9 |
| 17 | 84,4 | 219,0 | 40,2 | 80,1 | 30,2 |
| 18 | 60,1 | 193,3 | 42,0 | 75,1 | 35,2 |
| 19 | 63,1 | 228,0 | 42,9 | 76,9 | 42,5 |
| 20 | 76,8 | 215,8 | 27,7 | 58,7 | 38,9 |
| 21 | 10,3 | 34,1 | 6,3 | 10,3 | 17,1 |
| 22 | 42,3 | 220,0 | 33,4 | 83,2 | 23,9 |
| 23 | 44,5 | 211,7 | 33,2 | 78,1 | 25,5 |
| 24 | 50,7 | 233,9 | 35,3 | 77,7 | 31,7 |
| 25 | 47,9 | 221,4 | 27,3 | 79,7 | 31,7 |
| 26 | 52,5 | 230,9 | 34,9 | 79,6 | 33,5 |
| 27 | 52,3 | 235,0 | 30,0 | 81,5 | 30,3 |
| 28 | 50,3 | 225,3 | 28,3 | 85,3 | 32,2 |
| 29 | 54,3 | 248,7 | 27,8 | 77,8 | 33,1 |
| 30 | 50,3 | 240,4 | 43,1 | 77,1 | 33,7 |
| 31 | 31,3 | 227,1 | 55,0 | 67,3 | 25,6 |
| 32 | 34,0 | 187,5 | 31,2 | 58,8 | 23,4 |
| 33 | 48,8 | 191,1 | 32,5 | 60,8 | 25,4 |
| 34 | 49,5 | 219,8 | 48,3 | 71,3 | 25,3 |
| 35 | 44,5 | 196,5 | 56,2 | 82,9 | 27,3 |
| 36 | 34,1 | 169,8 | 32,9 | 50,3 | 23,3 |
| 37 | 49,8 | 231,7 | 54,5 | 75,8 | 25,2 |

Tabela 2 – Médias, desvio padrão, desvio padrão percentual, valores máximo e mínimo das concentrações encontradas

| | Benzeno ($\mu\text{g.m}^{-3}$) | Tolueno ($\mu\text{g.m}^{-3}$) | Etilbenzeno ($\mu\text{g.m}^{-3}$) | m,p-xilenos ($\mu\text{g.m}^{-3}$) | o-xileno ($\mu\text{g.m}^{-3}$) |
|------------------------------|--|--|--|--|---|
| Média | 52,7 | 203,6 | 44,6 | 87,0 | 28,7 |
| Desvio padrão | 21,4 | 59,9 | 19,8 | 36,4 | 11,6 |
| Desvio padrão (%) | 40,6 | 29,4 | 44,4 | 41,8 | 40,6 |
| Máximo | 102,4 | 327,8 | 100,2 | 199,6 | 61,3 |
| Mínimo | 15,9 | 90,7 | 12,8 | 36,4 | 15,8 |

Para o Benzeno, a concentração média obtida nesse trabalho foi de $50,7\mu\text{g.m}^{-3}$ e a concentração mais intensa desse composto no ar do estacionamento subterrâneo foi de $102,4\mu\text{g.m}^{-3}$, obtida no 13º dia de coleta. O desvio padrão percentual das 36 amostras foi de 40,6%.

Os valores encontrados foram muito superiores aos encontrados na região da Saens Pena, no bairro da Tijuca, no Rio de Janeiro por Martins, 2005, que obteve uma concentração média de $1,13\mu\text{g.m}^{-3}$ desse poluente no ar da região (cabe ressaltar que esses dados foram utilizados como referência, pois foram obtidos em uma zona completamente urbana e longe de qualquer interferência industrial), já a concentração média encontrada no túnel Rebouças no Rio de Janeiro por Martins et al foi de $29\mu\text{g.m}^{-3}$, mais próximo da concentração obtida neste trabalho porém, muito maior do que a concentração obtida na área urbana de São Paulo por Cólón et al que foi de $5,2\mu\text{g.m}^{-3}$ e no túnel 9 de Julho que foi de $10,1\mu\text{g.m}^{-3}$. Os valores obtidos no estacionamento para o benzeno são 1,5 vezes maiores do que os obtidos no túnel Rebouças em 2005 por Martins.

Para o Tolueno, a concentração média obtida nesse trabalho foi de $203,6\mu\text{g.m}^{-3}$ e a concentração mais intensa foi de $327,8\mu\text{g.m}^{-3}$, obtida no 13º dia de coleta, sendo esse o composto encontrado em maior concentração nesse estudo. Sendo as concentrações obtidas superiores as concentrações encontradas por Martins na Saens Pena, Rio de Janeiro: $4,18\mu\text{g.m}^{-3}$; e do que a concentração encontrada no túnel Rebouças Rio de Janeiro no trabalho de Martins et al que foi de $120\mu\text{g.m}^{-3}$ e maior do que as concentrações encontradas no trabalho de Cólón et al que foram de $6,5\mu\text{g.m}^{-3}$ na região urbana de São Paulo e $4,3\mu\text{g.m}^{-3}$ no túnel 9 de Julho em São Paulo. O tolueno apresentou concentrações 1,7 vezes maior nesse trabalho aos valores encontrados no túnel Rebouças por Martins.

Para o Etilbenzeno a concentração média obtida nesse trabalho foi de $44,6\mu\text{g.m}^{-3}$ e a máxima concentração obtida foi de $100,6\mu\text{g.m}^{-3}$, também verificada no 13 dia de coleta. Sendo as concentrações obtidas superiores as concentrações encontradas por Martins na Saens Pena, Rio de Janeiro: $3,61\mu\text{g.m}^{-3}$; e do que a concentração encontrada no túnel Rebouças Rio de Janeiro no trabalho de Martins et al que foi de $33\mu\text{g.m}^{-3}$ e maior do que as concentrações encontradas no trabalho de Cólón et al que foram de $1,4\mu\text{g.m}^{-3}$ na região urbana de São Paulo e $6,5\mu\text{g.m}^{-3}$ no túnel 9 de Julho em São Paulo. Similar à conclusão obtida para o Benzeno e para o tolueno o etilbenzeno apresentou concentrações 1,3 vezes maior nesse trabalho aos valores encontrados no túnel Rebouças por Martins.

Para os isômeros m, p xilenos a concentração média obtida nesse trabalho foi de $87,0\mu\text{g.m}^{-3}$ e a máxima concentração obtida foi de $199,6\mu\text{g.m}^{-3}$, sendo esses os compostos mais abundantes na gasolina nacional, no entanto não foram os compostos mais abundantes encontrados nesse estudo, porém os valores obtidos foram bastante significativos, sendo estes, os segundos compostos mais abundantes encontrados. Sendo as concentrações obtidas superiores as concentrações encontradas por Martins na Saens Pena, Rio de Janeiro: $10,42\mu\text{g.m}^{-3}$; e menor do que a concentração encontrada no túnel Rebouças Rio de Janeiro no trabalho de Martins et al que foi de $97\mu\text{g.m}^{-3}$ e maior do que as concentrações encontradas no trabalho de Cólón et al que foram de $4,6\mu\text{g.m}^{-3}$ na região urbana de São Paulo e $4,5\mu\text{g.m}^{-3}$ no túnel 9 de Julho em São Paulo.

Para o-xileno a concentração média obtida nesse trabalho foi de $28,7\mu\text{g.m}^{-3}$ e a máxima concentração obtida foi de $61,3\mu\text{g.m}^{-3}$. Sendo as concentrações obtidas superiores as concentrações encontradas por Martins na Saens Pena, Rio de Janeiro: $2,97\mu\text{g.m}^{-3}$; e do que a concentração encontrada no túnel Rebouças Rio de Janeiro no trabalho de Martins et al que foi de $23\mu\text{g.m}^{-3}$ e maior do que as concentrações encontradas no

trabalho de cólon et al que foram de $1,6 \mu\text{g.m}^{-3}$ na região urbana de São Paulo e $10,3 \mu\text{g.m}^{-3}$ no túnel 9 de Julho em São Paulo.

Para os isômeros do xileno a média da concentração total obtida foi de $115,7 \mu\text{g.m}^{-3}$ neste trabalho e de $100 \mu\text{g.m}^{-3}$, a concentração obtida por Marins no túnel Rebouças, onde a relação apresentada é de 1,15 vezes maior no estacionamento aos valores obtidos no túnel.

A Figura 1 mostra a distribuição percentual dos BTEX encontrados neste estudo, onde o tolueno é o composto mais abundante com 44% do total dos BTEX obtidos, seguido pelos xilenos que representam um total de 30%, o benzeno composto mais tóxico representa 15% e o etilbenzeno 11% do total desses compostos. A distribuição percentual encontrada neste trabalho está em acordo com o que normalmente é obtido em trabalhos obtidos para diferentes cidades brasileiras, sendo o tolueno o composto mais abundante.

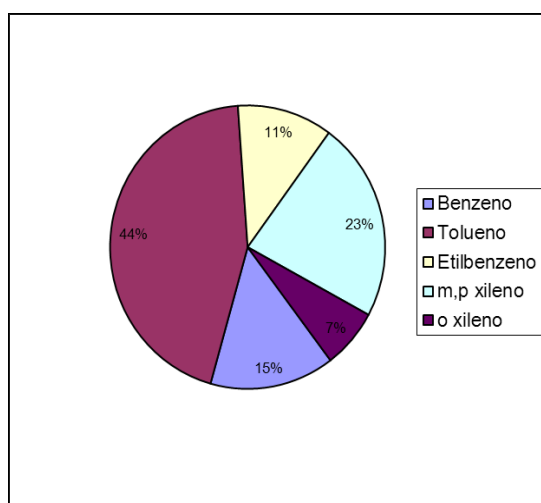


Figura 1 – Distribuição percentual dos compostos encontrados no estacionamento subterrâneo

Além da comparação citada anteriormente das concentrações obtidas no presente estudo, com concentrações obtidas em túneis, os resultados obtidos de BTEX, foram ainda comparados, com resultados encontrados na literatura de um estudo realizados em garagens residenciais por Batterman et al no Estado de Michigan, nota-se a similaridade na ordem de grandeza obtida, além da similaridade na relação entre o tolueno, composto encontrado em maior abundância, e os outros compostos do grupo dos BTEX. As tabelas 3 e 4 apresentam respectivamente o comparativo das concentrações encontradas nas garagens residenciais e o comparativo das relações entre o tolueno e os outros compostos do grupo dos BTEX.

Tabela 3 - Concentrações de BTEX em $\mu\text{g.m}^{-3}$ obtidas na literatura de estudos realizados em estacionamentos, comparadas aos dados deste trabalho.

| Estacionamentos | | |
|-----------------|--------------------------------|---------------|
| | Garagem residencial (Michigan) | Este trabalho |
| Benzeno | 36,6 | 52,7 |
| Tolueno | 214,3 | 203,6 |
| Etilbenzeno | 28,03 | 44,6 |
| m, p xilenos | 113,98 | 87 |
| o xileno | 37,7 | 28,7 |
| Referência | BATTERMAN et al | |

Tabela 4: razão dos compostos em relação ao tolueno

| | Túnel Rebouças (RJ) | Túnel Sagdo (korea) | Garagem residencial (Michigan) | Este trabalho |
|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------------------|---------------|
| Benzeno/Tolueno | 0,7 | 0,4 | 0,2 | 0,3 |
| Etilbenzeno/Tolueno | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| Xilenos/Tolueno | 1,0 | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| Referências | MARTINS ET AL | KWANGSAM | BATTERMAN ET AL | |

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A diferença na relação estabelecida entre o benzeno, composto mais volátil do grupo dos BTEX e o tolueno composto mais abundante, neste trabalho e no trabalho do túnel Rebouças, indica uma diferença nas fontes de emissão, o que nos sugere que essa fonte seja a evaporação dos combustíveis.

As concentrações desses compostos encontradas nesse trabalho indicam que a frota da RMRJ, apesar de grande empenho por parte dos fabricantes de veículos, emite uma quantidade considerável de BTEX para atmosfera, contribuindo assim para a degradação do ar e a formação do ozônio troposférico, composto extremamente danoso ao ecossistema e a saúde da população de um modo geral. É importante citar que as emissões evaporativas, contribuem significativamente para a degradação do ar.

Sendo o Benzeno, composto encontrado em grande concentração apresenta valores estabelecidos pela NIOSH de $320 \mu\text{g.m}^{-3}$, para 8 horas de exposição e valores estabelecidos pela EPA como letais de 320mg.m^{-3} , os valores médios encontrados neste trabalho foram de $52,7 \mu\text{g.m}^{-3}$ e o valor máximo obtido foi de $102,4 \mu\text{g.m}^{-3}$, sendo este um composto bioacumulativo a sua exposição constante pode causar sérios danos à saúde dos trabalhadores e dos frequentadores do local.

As concentrações de tolueno também devem ser levadas em consideração, tendo em vista que esse composto, afeta diretamente o SNC, causando narcose. Os outros compostos, etilbenzeno e os xilenos apesar de apresentarem menor toxicidade, também merecem atenção, pois causam irritação no trato respiratório e alergias. O tolueno foi o BTEX encontrado nas mais altas concentrações e representa em média 44% do total do grupo dos BTEX.

A partir desses dados cabe o questionamento com relação à legislação nacional a respeito desses compostos que não apresentam limites específicos sugeridos pelo CONAMA e nem limites para os estabelecidos para a exposição dos trabalhadores desses locais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BAIRD, C., 2002, *Química Ambiental*. 2 ed. Porto Alegre, Bookman
2. BATTERMAN, S. HATZIVASILIS, G. CHURONG, J. Concentrations and emissions of gasoline and other vapors from residential vehicle garages. *Atmospheric Environment*. 2006. v. 40 p.1824 - 1844
3. CETESB. http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_saude.asp#mp pesquisado em 30/04/2010
4. COLLON, M. PLEIL, J.D. HARTLAGE, T.A. GUARDANI, M.L. MARTINS, M.H. Survey of volatile organic compounds associated with automotive emissions in urban airshed of São Paulo, Brazil. *Atmospheric Environment*. 2001. v.35 p. 4017-4031
5. CÔRREA, S.M. Qualidade do ar da cidade do Rio de Janeiro: Sinergia entre simulação e monitoramento. Tese (Doutorado em Físico-química) -Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003
6. EPA. Disponível em <http://www.epa.gov/ttnatw01/hlthef/toluene.html>. Acessado em Dezembro 2010.
7. INEA - <http://www.inea.rj.gov.br/fma/qualidade-ar.asp>. Acessado em Outubro de 2010

8. MACHADO, M. C. S., 2002. Estudo de Hidrocarbonetos Aromáticos Voláteis Precursores de Ozônio na Troposfera: Uma Visão Teórico-Experimental. Dissertação de Mestrado. Instituto de Química da UFRJ.
9. MARTINS, E. M ; MACHADO, M.C; ALMEIDA, J.C; Volatile Aromatic Compounds in a Light-Duty Vehicle Tunnel in Rio de Janeiro, Brazil, Bull Environ Contam Toxicol, 2007, 78:304-307
10. MARTINS, E.M. 2005. Estudo teórico experimental de poluentes atmosféricos primários e secundários no bairro da Tijuca, Praça Saens Peña, Rio de Janeiro, Tese de Doutorado. Instituto de Química da UFRJ