

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO

GUILHERME CARDOSO BORILLO

AVALIAÇÃO DO RISCO A SAÚDE CAUSADO POR BTEX EM ESCOLAS
LOCALIZADAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA-PR

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2015

GUILHERME CARDOSO BORILLO

AVALIAÇÃO DO RISCO A SAÚDE CAUSADO POR BTEX EM ESCOLAS
LOCALIZADAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA-PR

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista no Curso de Pós-graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR.

Orientador: Prof. Rui Bocchino Macedo

CURITIBA

2015

GUILHERME CARDOSO BORILLO

**AVALIAÇÃO DO RISCO A SAÚDE CAUSADO POR BTEX EM
ESCOLAS LOCALIZADAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE
CURITIBA-PR**

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista no Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, pela comissão formada pelos professores:

Orientador:

Prof. M.Sc. Rui Bocchino Macedo
Professor do 30º CEEST, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Banca:

Prof. Dr. Rodrigo Eduardo Catai
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Prof. Dr. Adalberto Matoski
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Prof. M.Eng. Massayuki Mário Hara
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Curitiba
2015

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer, em primeiro lugar, a Deus, pela força, proteção e coragem.

Agradeço também a todos os professores que me acompanharam durante o curso.

Ao meu pai e a minha mãe, Rui Borillo e Lucia Elena Cardoso Borillo, pelo apoio e pelo grande exemplo que são em minha vida.

A minha namorada, Bruna Rossini Gelsi, pelo amor, carinho, ajuda e paciência durante o tempo que estamos juntos.

A meus amigos que fiz no curso.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo a avaliação do risco à saúde de trabalhadores do setor de ensino fundamental gerado pelos compostos BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno). Esses ambientes estão presentes em regiões urbanas e suburbanas podendo possuir fonte internas ou servir como um local de acumulação desses compostos. Além disso, esses compostos mesmo em baixas concentrações são tóxicos, principalmente o benzeno, considerado como uma substância comprovadamente carcinogênica para humanos. As amostragens dos gases BTEX ocorreram em quatro escolas de ensino fundamental na cidade de Curitiba-PR com amostradores passivos da marca Radiello[®]. As amostras obtidas foram analisadas através de cromatografia a gás com detecção por ionização em chama (CG/DIC). A identificação das fontes foi realizada através do cálculo da relação I/E (concentrações internas e externas) e pela correlação entre os compostos. O risco à saúde foi avaliado utilizando um modelo de risco da USEPA que considera condições de exposição e base de dados toxicológicos para expressar o risco. Em concordância com estudos nacionais e internacionais, neste trabalho foram encontradas duas fontes principais de BTEX: emissões veiculares e indústrias. As concentrações para os BTEX foram consideradas baixas, sendo que as concentrações de tolueno, etilbenzeno e xilenos não ultrapassaram os valores preconizados pela NR-15. As concentrações de benzeno não ultrapassaram o limite europeu considerado como seguro de $5 \mu\text{g m}^{-3}$ em nenhuma das amostras. O risco para as concentrações de BTEX foi considerado aceitável, com risco não significativo para efeitos sistêmicos. Para o efeito carcinogênicos foi determinada uma probabilidade de 4,5 pessoas desenvolverem câncer em 1 milhão. Quando o modelo de risco foi aplicado para os limites previstos pela NR-15 os resultados foram considerados altos para os dois tipos de risco (sistêmico e carcinogênico).

Palavras-chave: BTEX, Escola, Risco Ocupacional e Risco à Saúde.

ABSTRACT

This study aimed at assessing the risk to workers' health of basic education sector generated by BTEX compounds (benzene, toluene, ethylbenzene and xylene). These environments are located in urban and sub-urban areas and can have internal source or serve as a place of accumulation of these compounds. In addition, these compounds even at low concentrations are toxic, particularly the benzene, considered a proven carcinogen substance for humans. The BTEX's sampling occurred in four elementary schools located in Curitiba-PR with passive samplers of Radiello®. The samples were analyzed by gas chromatography with flame ionization detection (GC/FID). The sources identification analysis was performed by calculating the I/O ratio (indoor and outdoor concentration) and by the correlation between the compounds. The health risk was assessed using a USEPA's risk model that considers exposure conditions and toxicological database to express the risk. In accordance with national and international studies, this study found two main sources of BTEX: vehicular and industrial emissions. The concentrations for BTEX were considered low, and the concentrations of toluene, ethylbenzene and xylenes did not exceed the levels recommended by NR-15. The benzene concentrations did not exceed the European limit considered safe ($5 \mu\text{g m}^{-3}$) in any of the samples. The risk for the BTEX concentrations was acceptable, with no significant risk for systemic effects. For carcinogenic effect was determined a probability of 4.5 people develop cancer in 1 million. When the risk model was applied to the limits laid down by the NR-15 the results were considered high for both types of risk (systemic and carcinogenic).

Keywords: BTEX, School, Occupational Risk and Health Risk.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fórmulas Estruturais dos Compostos BTEX.....	19
Figura 2 – Localização das Escolas.	25
Figura 3 - Amostrador da Marca Radiello® para COVs (Código 130).....	27
Figura 4- Conjunto de Amostragem de COVs da Marca Radiello®	28
Figura 5 - Termômetro Acoplado ao Amostrador de COVs.	30
Figura 6 - Gráfico comparativo entre as concentrações médias, em escala logarítmica, de BTEX no interior e exterior das escolas.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites de Exposição Estabelecidos pela EPA, OSHA e NIOSH.	22
Tabela 2 – Limite de Quantificação e Limite de Detecção.	36
Tabela 3 – Visão Geral das Concentrações de BTEX, em $\mu\text{g m}^{-3}$	37
Tabela 4 – Risco sistêmico e carcinogênico para as concentrações médias de BTEX no interior das salas de aulas.	39
Tabela 5 – Risco sistêmico e carcinogênico para as concentrações limites estabelecidas na NR-15.	41

LISTA DE SIGLAS

AIRMEX - European Indoor Air Monitoring and Exposure Assessment (Monitoramento do Ar de Interior na Europa e Avaliação da Exposição).

BTEX - Acrônimo para os compostos benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos.

COVs - Compostos Orgânicos Voláteis.

USEPA - Environmental Protection Agency - United States (Agência Norte Americana de Proteção Ambiental).

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IUPAC - International Union of Pure and Applied Chemistry (União Internacional de Química Pura e Aplicada).

NIOSH - National Institute of Occupational Safety and Health (Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional dos Estados Unidos da América)

OSHA - Occupational Safety and Health Administration (Administração de Segurança e Saúde Ocupacional dos Estados Unidos da América)

Ppm - Partes por milhão.

UE - União Europeia.

OMS - World Health Organization (Organização Mundial da Saúde).

LISTA DE COMPOSTOS QUÍMICOS

C₆H₆	Benzeno;
C₇H₈	Tolueno;
C₈H₁₀	Etilbenzeno;
C₈H₁₀	Xileno;
CH₄	Metano;
Cl₂	Gás cloro;
CO	Monóxido de carbono;
CO₂	Dióxido de carbono;
H₂S	Sulfeto de hidrogênio;
NH₃	Amônia;
N₂	Gás nitrogênio;
NO	Monóxido de nitrogênio;
NO₂	Dióxido de nitrogênio;
NO_x	Óxidos de nitrogênio;
N₂O	Óxido nitroso;
O₃	Ozônio;
SO_x	Óxidos de enxofre;
SO₂	Dióxido de enxofre;
AsH₃	Hidreto de arsênio;
Ni(CO)₄	Níquel tetracarbonilo;

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1. OBJETIVO GERAL	13
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1. RISCO OCUPACIONAL.....	14
2.2. RISCOS AMBIENTAIS	16
2.3. AGENTES QUÍMICOS	17
2.4. COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS (COVS)	18
2.4.1. BTEX.....	19
2.4.2. Principais efeitos do BTEX na saúde humana	20
2.4.3. Limites de Concentração de BTEX	21
3. METODOLOGIA.....	24
3.5. CARACTERIZAÇÃO DAS ESCOLAS	24
3.5.1. Escola 1	25
3.5.2. Escola 2	26
3.5.3. Escola 3	26
3.5.4. Escola 4	26
3.6. AMOSTRAGEM	26
3.6.1. Locais de amostragem.....	29
3.6.2. Monitoramento da Temperatura	30
3.7. EXTRAÇÃO DOS AMOSTRADORES	31
3.8. ANÁLISE CROMATOGRÁFICA.....	31
3.9. ANÁLISE DE INDICAÇÃO DE FONTES	32
3.10. AVALIAÇÃO DO RISCO À SAÚDE.....	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
4.1. CONCENTRAÇÃO DE BTEX NAS ESCOLAS	37
4.2. ANÁLISE DO RISCO À SAÚDE.....	39
5. CONCLUSÕES.....	42
REFERÊNCIAS.....	44

1. INTRODUÇÃO

O trabalho é concebido como uma atividade em que o homem, orientado por uma finalidade, transforma um determinado objetivo em um produto final (GONÇALVES, 1994). Através do trabalho os homens são capazes de construir, interagir e transformar o ambiente e suas relações. Entretanto as atividades laborais, intrinsicamente, trazem riscos à integridade física e mental dos trabalhadores tendo efeitos diretos na sua saúde. A fim de evitar tais danos a promoção de condições salubres de trabalho e de uma cultura de comportamento prevencionista são de essencial importância para um desenvolvimento mais eficiente e seguro das atividades laborais.

Os riscos nos ambientes de trabalho estão associados aos agentes físicos, químicos, biológicos, ergonômicos e mecânicos (ou acidentes), que podem gerar doenças e acidentes ocupacionais que prejudicam os trabalhadores e a sociedade como um todo. Nesse contexto os agentes químicos se apresentam como um ponto importante para a área de segurança e saúde do trabalho, já que os riscos relacionados às substâncias químicas são de difícil percepção e rastreabilidade tanto em efeitos agudos como crônicos.

Muitos compostos são alvos de monitoramento contínuo tanto em ambientes ocupacionais como para a regulamentação de poluentes atmosféricos. Contudo, o grupo conhecido como compostos orgânicos voláteis têm sido monitorados mais intensamente devido a sua ocorrência e alto grau de toxicidade. Esse é o caso dos BTEX (acrônimo para benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno).

Esses compostos, mesmo em baixas concentrações, podem ser facilmente assimilados pelo corpo humano, através do ar, causando riscos para a saúde quando a exposição ocorrer por um longo período de tempo. O benzeno, por exemplo, é considerado carcinogênico para os seres humanos e sendo responsável por inúmeros casos de leucemia no mundo (BUCZYNSKA *et al.*, 2009). A Organização Mundial da Saúde (OMS), em 2000, estimou que concentrações de $1,7 \mu\text{g m}^{-3}$ de benzeno, podem causar cerca de 10 casos de leucemia por milhão de habitantes em grandes cidades.

Presentes na emissão de automóveis, principalmente aqueles movidos à gasolina, e em inúmeros processos industriais, tanto os trabalhadores quanto a população urbana estão sujeitos a concentrações de BTEX em seus lares, trabalhos e áreas públicas. Dentre esses locais, os ambientes escolares se destacam por ser o posto de trabalho de profissionais de ensino e por ser frequentado por crianças e adolescentes, uma parcela da população mais suscetível a doenças respiratórias (OMS, 2006). Nesses ambientes podem existir fontes

internas de BTEX que podem prejudicar as atividades escolares. Estas fontes incluem subprodutos de combustão, preparação de alimentos, materiais de construção, mobília, tintas, vernizes, solventes, adesivos, selantes, equipamentos de escritório e produtos de consumo (GUO *et al.*, 2002). Além disso, as concentrações externas a salas de aulas possuem um grande efeito nas concentrações internas, definindo assim um contexto de responsabilidade compartilhada das escolas e das atividades em seu entorno para promover a segurança e proteção de seus frequentadores.

1.1. OBJETIVO GERAL

O presente estudo teve como principal objetivo avaliar o risco à saúde de professores e alunos de escolas localizadas no município de Curitiba-PR devido à exposição contínua aos compostos orgânicos voláteis (COVs) presentes no ar, especificamente os compostos BTEX.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos são:

- Determinar as concentrações de benzeno, tolueno, etilbenzeno e os isômeros orto-, meta- e para-xilenos nas salas de aula amostradas;
- Determinar e analisar a relação I/E (Concentração Interna/Concentração Externa) para cada composto, buscando localizar a fonte desses poluentes;
- Avaliar o risco a saúde de professores e alunos expostos a determinadas concentrações de BTEX nas salas de aulas;
- Comparar o risco obtido para as concentrações determinadas na escola com o risco relacionado aos limites de tolerâncias previstos nas normativas de segurança do trabalho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. RISCO OCUPACIONAL

O conceito de risco está associado a inúmeras atividades do cotidiano e se apresentam em ambientes de lazer, trabalho, residencial, entre outros. Entretanto a percepção dos riscos nem sempre é compartilhada ao mesmo nível pelos envolvidos, principalmente em ambientes de trabalho. Assim o conhecimento, avaliação e divulgação dos riscos associados à atividade ocupacional são de fundamental importância para a manutenção do bem-estar e integridade física dos trabalhadores, assim como para a proteção do meio ambiente e dos recursos naturais (MTE, 1994).

Risco pode ser definido como toda e qualquer possibilidade, advindos da combinação entre frequência de ocorrência e consequência, de que um elemento ou circunstância possa causar um efeito negativo nos envolvidos ou no próprio ambiente (CETESB, 2015).

Em ambientes ocupacionais, o risco está associado à possibilidade de que algum processo ou atividade causar dano à saúde do trabalhador por meio de acidentes, doenças ou sofrimento dos trabalhadores, ou ainda por poluição ambiental (SILVA *et al.*, 2012). O risco ocupacional também pode ser entendido como a chance ou probabilidade de uma pessoa sofrer dano ou experimentar efeitos adversos à saúde quando exposto a um perigo. Exemplos desses perigos incluem: substâncias químicas, materiais, processos, práticas, fontes de energia ou/e condições ambientais que possam causar algum tipo de dano (CCOHS, 2015).

Existem maneiras diferentes para avaliar o risco ocupacional, entretanto os principais fatores que influenciam na sua classificação são: tempo de exposição, via de exposição e relação efeito/dose. Dessa maneira, é possível classificar os riscos considerando a sua probabilidade, severidade e nível (CCOHS, 2015).

Quando classificado pela probabilidade, o risco é dividido segundo a possibilidade de ocorrência para um indivíduo em um determinado período de tempo (OHSMS, 2004):

- Muito provável: risco observado pelo menos uma vez durante 6 meses;
- Provável: risco observado uma vez em cinco anos;
- Improvável: risco observado uma vez durante o período todo o período de trabalho;

- Muito improvável: menor que 1% de chance de ocorrer durante todo o período de trabalho.

Quando rotulado pela severidade leva-se em consideração a parte do corpo afetada e a natureza do risco. Lesões superficiais, irritação nos olhos, pequenos cortes e desconforto temporário são exemplos de um risco levemente nocivo. Um risco nocivo é associado a lacerações, queimaduras, pequenas fraturas, dermatites, surdez e agravamento de problemas respiratórios. Já o risco classificado como extremamente nocivo está relacionado a casos de amputação, envenenamento, contaminação, lesões fatais, câncer ocupacional e doenças fatais agudas (OHSMS, 2004). Ainda o risco ocupacional pode ser avaliado em relação ao seu nível de ação, ou seja, quão rápidas e fortes devem ser os esforços para a mitigação ou redução desse risco (**Quadro 1**):

Muito baixo	Os riscos são considerados aceitáveis. Nenhuma ação adicional é necessária.
Baixo	Nenhuma ação de controle é exigida a menos que sua implementação possua baixo custo (em termos de tempo, orçamento e esforço). Ações para reduzir o risco são consideradas de baixa prioridade.
Médio	Primeiramente considerar se o risco é passível de redução. Se for o caso ele deve ser reduzido a um nível aceitável, levando-se em consideração os custos dessa redução. As medidas de redução do risco devem ser implementadas dentro de um curto período de tempo. As medidas de controle de risco devem ser revistas.
Alto	Esforços substanciais devem ser realizados para a redução do risco. A supressão do risco deve ser implementada com urgência e pode ser necessária a suspensão ou a restrição das atividades, ou até a aplicação de medidas provisórias de controle de risco, até que o risco seja reduzido completamente.
Muito alto	O risco se torna inaceitável. Melhorias substanciais nas medidas de controle de risco devem ser implementadas imediatamente até que o risco seja reduzido a patamares toleráveis ou aceitáveis. As atividades de trabalho devem ser interrompidas até que as medidas de controle reduzam o risco de maneira significativa. Se a redução do risco não for possível, o trabalho deve permanecer proibido.

Quadro 1 - Definição do risco em relação ao seu nível de tolerância, necessidade de ação e prazo para medidas de controle.

Fonte: OHSMS, 2004 (modificado).

Assim para que a execução das atividades não acarrete em danos a saúde dos trabalhadores, são necessárias condições adequadas de trabalho. Essas condições ambientais,

quando não controladas podem gerar risco a saúde dos trabalhadores e produzir comportamentos inseguros durante a atividade (ZAPPAROLI & MARZIALE, 2006). Dessa forma é possível definir o risco ocupacional como agentes presentes no ambiente, de natureza química, física, biológica, entre outros que podem causar dano à saúde do trabalhador de forma crônica ou aguda (OMS, 2004).

2.2. RISCOS AMBIENTAIS

Os riscos ocupacionais estão diretamente relacionados aos riscos ambientais. Dessa maneira, a execução de atividades laborais em condições inseguras, existentes no ambiente de trabalho, expõe os trabalhadores a agentes causadores de risco que podem ser classificados em cinco categorias: (i) físicos, (ii) químicos, (iii) biológicos, (iv) ergonômicos e (v) mecânicos (ou de acidentes) (GOMES & OLIVEIRA, 2011; PROMINAS, 2015):

(i) Riscos Físicos: São as diversas formas de energias a que os trabalhadores possam estar expostos, tais como: ruído, vibrações, temperaturas extremas (frio, calor), radiações ionizantes (raios-X) e não ionizantes, umidade (BRASIL, 2014a);

(ii) Riscos Químicos: São substâncias ou compostos químicos, em geral, que possam penetrar no organismo na forma de poeira (vegetal ou mineral), fumos (de reações químicas), neblinas, gases e vapores (GLP e solventes), ou, ainda que pela natureza da atividade de exposição, possam ter contato ou serem absorvidos pelo organismo (BRASIL, 2014a);

(iii) Riscos Biológicos: Microorganismos presentes no ambiente de trabalho que podem trazer doenças de natureza moderada e, até mesmo grave. São invisíveis a olho nu, mais visível ao microscópio: vírus (gripe, hepatite, meningite, AIDS, sarampo) bactérias, fungos, parasitas, bacilos (tuberculose) e outros (BRASIL, 2014a);

(iv) Riscos Ergonômicos: são os fatores que podem afetar a integridade física ou mental do trabalhador, proporcionando-lhe desconforto ou doença, tais como: esforço físico, levantamento de peso, postura inadequada, controle rígido de produtividade, situação de estresse, trabalhos em período noturno, jornada de trabalho prolongada, monotonia e repetitividade, imposição de rotina intensa; e outros (BRASIL, 2007; PROMINAS, 2015);

(v) Riscos Mecânicos (Acidentes): são todos os fatores que colocam em perigo o trabalhador ou afetam sua integridade física ou moral, tais como: arranjo físico deficiente; máquinas e equipamentos sem proteção; ferramentas inadequadas; ou defeituosas; eletricidade; incêndio ou explosão; armazenamento inadequado; e outros (VIEIRA, 2008; RODRIGUES, 2011).

Segundo a Norma Regulamentadora (NR) 9 (Ministério do Trabalho e Emprego), no item 9.1.5, consideram-se riscos ambientais os agentes físicos, químicos e biológicos presentes no ambiente de trabalho, que em função de sua natureza, concentração ou intensidade e tempo de exposição, são capazes de causar danos à saúde do trabalhador. Os riscos ergonômicos estão apresentados na NR-17 e os mecânicos (ou acidentes) estão diluídos em diferentes normas e em maior profundidade na NR-18, que trata da construção civil (GOMES & OLIVEIRA, 2011).

Inerentemente, cada agente de risco possui, no mínimo, uma fonte geradora. O espaço existente entre a fonte do risco e o trabalhador é chamado de trajetória. Assim qualquer medida de controle da exposição ao risco deverá focar, pelo menos, um destes três focos: fonte, trajetória ou trabalhador (GOMES & OLIVEIRA, 2011).

2.3. AGENTES QUÍMICOS

Consideram-se agentes químicos as substâncias, compostos ou produtos que possam penetrar no organismo pela via respiratória, ou então aqueles que, pela natureza da atividade de exposição, possam ter contato ou ser absorvido pelo organismo através da pele ou por ingestão (BRASIL, 2014a).

Trabalhadores em diferentes atividades ocupacionais estão expostos a milhares de substâncias químicas, sendo que algumas dessas substâncias podem causar efeitos deletérios à saúde humana e são conhecidos como doenças ocupacionais. Esses compostos podem ser classificados de acordo com seu estado físico, composição química ou ação fisiológica (OMS, 2001).

A NR-9 (BRASIL, 2014) define que formas de poeiras, fumos, névoas, neblinas, gases e vapores são características físicas que os agentes químicos podem ser encontrados. Além disso, expõe a via respiratória como o principal meio de contaminação dos trabalhadores em relação aos agentes químicos.

Os gases são substâncias cujo estado natural nas CNTP (Condições Naturais de Temperatura e Pressão – 25 °C e 1 atm) é gasoso. Os vapores, no entanto, são sólidos ou líquidos nas CNTP, mas que devido a alterações na temperatura e/ou pressão se encontra no estado gasoso. As poeiras, neblinas e névoas são substâncias sólidas nas CNTP, entretanto as poeiras são formadas pela ruptura mecânica de outros sólidos em partículas menores. Já as neblinas e névoas são partículas líquidas provenientes da ruptura de líquidos que estão suspensas no ar, entretanto as névoas possuem partículas menores que as da neblina, resultantes da condensação de vapores (GOMES & OLIVEIRA, 2011).

Os efeitos negativos provenientes da exposição a agentes químicos podem ser classificados segundo a sua ação fisiológica em: asfixiantes (nitrogênio – N_2 , metano – CH_4 , monóxido e Dióxido de carbono – CO e CO_2 , etc.), irritantes (ozônio – O_3 , amônia – NH_3 , cloro – Cl_2 , etc.), anestésicos (éter etílico – $C_4H_{10}O$, óxido nitroso – N_2O , etc.) e organometálicos (hidreto de arsênio – AsH_3 , níquel tetracarbonilo – $Ni(CO)_4$) (OMS, 2001). Podem ainda ser incluídos nessa classificação efeitos tóxicos sistêmicos no sistema nervoso, órgãos viscerais e sistema hematopoético (hidrocarbonetos halogenados, benzeno, fenóis, dissulfeto de carbono, etc.). Por fim, ainda existem os efeitos carcinógenos e mutagênicos, ou seja, substâncias capazes de produzir câncer ou que podem causar dano ao material genético, respectivamente (GOMES & OLIVEIRA, 2011).

2.4. COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS (COVS)

Dentre os agentes químicos, os COVs são um grupo importante devido a sua toxicidade e ocorrência devendo ser alvos de monitoramento contínuo. Os COVs podem ser encontrados tanto em ambientes externos como em ambientes internos, visto que, são constituintes essenciais de muitos produtos e materiais (USEPA, 2015a). Nos ambientes externos os COVs podem acentuar diversos fenômenos: efeito estufa, formação de ozônio troposférico (JUNQUEIRA, ALBUQUERQUE & TOMAZ, 2005) e o smog fotoquímico (USEPA, 2015a). No entanto, esses compostos são comumente encontrados em ambientes internos, e em maiores concentrações que nos ambientes externos, sendo que nas últimas décadas centenas de substâncias químicas deste grupo foram identificadas nesses ambientes (MACHADO, 2003).

Em ambientes externos as principais fontes de COVs são as emissões veiculares e industriais (SCHIRMER & QUADROS, 2010), podendo ser emitidos também através de

processos naturais (SCHIRMER & QUADROS, 2010; GODOI *et al.*, 2010). Já em ambientes internos as fontes são mais específicas: tintas, solventes, vernizes, sprays aerossóis, desinfetantes, repelentes de traças, purificadores de ar, fumaça de cigarro, mobílias, máquinas fotocopadoras, inseticidas, carpetes e tapetes (MACHADO, 2003; SERRANO-TRESPALACIOS *et al.*, 2004).

Em muitos estudos, o interesse na determinação dos COVs se concentra principalmente no benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX), compostos voláteis presentes na gasolina e em inúmeros processos industriais. O interesse na sua determinação se deve, principalmente, aos seus altos índices de toxicidade e por serem encontrados em maiores quantidades em ambientes internos (DURMUSOGLUA *et al.*, 2009).

2.4.1. BTEX

Os hidrocarbonetos monoaromáticos benzeno, tolueno, etilbenzeno, meta-, orto- e para-xileno (BTEX), além de serem encontrados em derivados de petróleo, também são largamente utilizados em indústrias químicas como matérias-primas para síntese de outros produtos (PHELPS & YOUNG, 1998). As fórmulas estruturais do BTEX estão apresentadas na Figura 1.

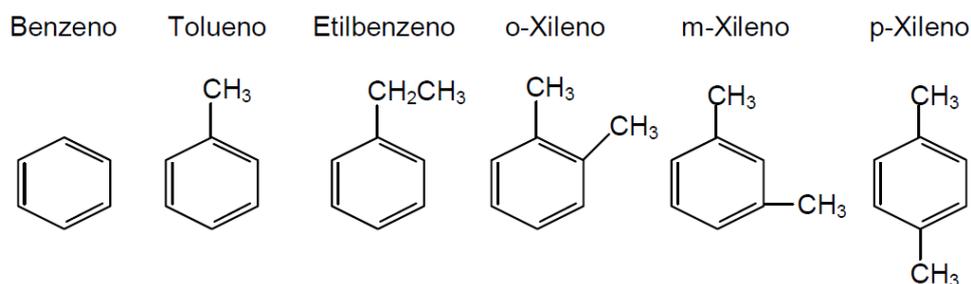


Figura 1 - Fórmulas Estruturais dos Compostos BTEX.
Fonte: Trigueiros, 2008.

O benzeno é utilizado na produção de borrachas, plásticos, Nylon, pesticidas e tintas. Já o tolueno é um importante produto químico comercial usado geralmente como um agente de diluição de tintas, como solventes na produção de resinas e colas (TRIGUEIROS, 2008) e é produzido no processo de refinamento do petróleo (FORSTER *et al.*, 1994). O etilbenzeno é usado na produção do estireno e outros polímeros sintéticos. Os xilenos geralmente são

usados como solventes em borrachas e nos processos de tingimento de couro, além de serem utilizados na produção do anidridoftálico, bactericidas, herbicidas, óleos lubrificantes e ácido para-ftálico (TRIGUEIROS, 2008).

Os compostos BTEX também são utilizados como aditivos para impulsionar a octanagem na gasolina (GODISH, 2005), em porcentagens de 18% a 25% (TRIGUEIROS, 2008), e são considerados os compostos mais tóxicos de sua composição (IRWIN, 1997).

No meio ambiente, MARIANO (2006) e MAZZEO & MARIN-MORALES (2008) explicam que os compostos BTEX possuem uma grande capacidade de migração, apresentando maior solubilidade em água que outras substâncias presentes na gasolina. Com isso as águas subterrâneas são facilmente atingidas, os solos rapidamente contaminados e a concentração no ar majorada, devido sua principal característica química, volatilização.

2.4.2. Principais efeitos do BTEX na saúde humana

Os sintomas relacionados à exposição aos BTEX incluem: cansaço, dores de cabeça, tonturas, fraqueza, sonolência, irritação dos olhos e pele. Em níveis próximos de $0,3 \text{ mg m}^{-3}$, irritação e desconforto podem aparecer em resposta à presença desses poluentes combinados com condições inadequadas de conforto (temperatura e umidade) (CARMO & PRADO, 1999; AVIGO JUNIOR, 2008). Concentrações mais altas podem causar danos ao sistema nervoso central, ao sistema respiratório, gastrointestinal e reprodutivo (TRIGUEIROS, 2008).

O benzeno é comprovadamente o composto mais tóxico entre os BTEX. Para esse estudo será utilizado o limite máximo de benzeno permitido no ar definido pela DIRECTIVA EUROPÉIA 2000/69/CE de 16 de Novembro de 2000, que é de $5 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$. A exposição aguda ao benzeno pode causar dor de cabeça, tontura, sonolência, confusão mental, tremores e perda de consciência. Além disso, para a contaminação de longo prazo, a *International Agency for Research on Cancer* (Agência Internacional de Pesquisa do Câncer) classifica o benzeno como carcinogênico para humanos. Geralmente são encontrados níveis entre 5 e $112 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ de benzeno no ar de áreas urbanas e cerca de $1 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$ na área rural (CETESB, 2010a).

A concentração média de tolueno no ar de áreas urbanas varia de 2 a $200 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$, com valores mais elevados em locais com tráfego intenso. Em ambientes internos as concentrações variam entre 7 a $1.000 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$. Os efeitos da exposição a baixa concentração pode causar fadiga, sonolência, debilidade. A inalação em longo prazo pode causar irritação das vias aéreas superiores e olhos, dor de garganta, tontura e dor de cabeça. Em exposições graves

pode ocorrer diminuição auditiva e até surdez (CETESB, 2010b). Dentre os BTEX, este composto é um dos encontrados em maior concentração.

Segundo a USEPA (2015), os efeitos mais relevantes do etilbenzeno são: constrição no peito, tontura e irritação na garganta e nos olhos. Em áreas urbanas o valor médio encontrado varia entre 0,74 e 100 $\mu\text{g m}^{-3}$ (CETESB, 2010c). Já a exposição aguda (curto prazo) de xilenos mistos em seres humanos resulta em irritação dos olhos, nariz e garganta, efeitos gastrointestinais, irritação nos olhos e efeitos neurológicos. Quando o efeito é crônico esses compostos causam disfunções no sistema nervoso central (USEPA, 2015a). A concentração média dos xilenos em ambientes internos variam entre 5,2 e 29 $\mu\text{g m}^{-3}$, sendo mais elevadas na presença de fumaça de cigarro (CETESB, 2010d).

Cabe ressaltar que os efeitos causados pelos BTEX e por qualquer outro COV pode variar em relação a cada individuo, tempo de exposição, interação com outros poluentes e concentração do composto no ambiente. Esse último é função principalmente da localização geográfica, das condições metrológicas e dos mecanismos de ventilação das edificações.

2.4.3. Limites de Concentração de BTEX

Em relação aos compostos BTEX, no Brasil, a Portaria nº 3.214 de 08 de junho de 1978, que trata da consolidação da legislação do trabalho referente a segurança e medicina do trabalho, estabelece na NR-15 (Normativa de Atividades e Operações Insalubres) os limites de tolerância para cada um dos compostos, assim como o tempo de exposição e grau de insalubridade a ser considerado.

Para uma jornada de trabalho de 48 horas semanais o Anexo nº 11 da NR-15 preconiza um limite de tolerância é de 340 mg m^{-3} , para o etilbenzeno e para os xilenos. Já para o tolueno o anexo da norma prevê uma concentração de 290 mg m^{-3} , também em uma exposição de 48 horas semanais.

Para o benzeno, estão estabelecidas no Anexo nº 13-A da NR-15 as ações, atribuições e procedimentos de prevenção da exposição ocupacional ao benzeno, visando à proteção da saúde do trabalhador, já que essa substância é comprovadamente cancerígena. Esse anexo se aplica as empresas que produzem, transportam, armazenam, utilizam ou manipulam o benzeno, entretanto não se aplica a logística de distribuição e venda de combustíveis derivados do petróleo (BRASIL, 2014b)

O limite para o benzeno é expresso pelo Valor de Referência Tecnológico (VRT), que se refere à concentração de benzeno no ar considerada exequível do ponto de vista técnico. Mais especificamente a norma preconiza o VRT-MPT, que corresponde à concentração de benzeno média no ar ponderada pelo tempo, para uma jornada de trabalho de 8 horas diárias, obtida próxima à zona de respiração dos trabalhadores. Dessa forma, o limite a concentração de benzeno permitida para indústrias siderúrgicas é de 7,97 mg m⁻³ e de 3,19 mg m⁻³ para outros tipos de indústrias citadas no anexo (BRASIL, 2014b).

Vale ressaltar que qualquer nível de poluição é motivo de preocupação e a inexistência de valores de referência aceitáveis não significa uma licença para poluir (OMS, 2000).

Nos Estados Unidos a EPA, a Administração de Segurança e Saúde Ocupacional (OSHA) e o Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional (NIOSH) estabelecem os limites de exposição apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Limites de Exposição Estabelecidos pela EPA, OSHA e NIOSH.

Substância	EPA RfC (mg m⁻³)	NIOSH REL (mg m⁻³)	OSHA PEL (mg m⁻³)
Benzeno	0,03	0,32	3,19
Tolueno	0,4	377	750
Etilbenzeno	1	435	435
Xilenos	-	435	435

Fonte: O Autor (2015).

Nota: Dados retirados de EPA (2011b) e OSHA (2012). EPA RfC: concentração de inalação de referência para exposição ao longo da vida; NIOSH REL: limite recomendado para um período de 10 horas; OSHA PEL: limite de exposição ocupacional médio para uma jornada de trabalho de 8 horas.

O Limite EPA *RfC* indica a concentração de inalação de referência para a exposição da população durante toda a vida que, provavelmente, não cause efeitos deletérios a sua saúde. O NIOSH *REL* apresenta o limite de exposição recomendado para um período de 10 horas e a OSHA *PEL* o limite de exposição ocupacional médio durante uma jornada de trabalho de 8 horas sem efeitos adversos para a saúde dos trabalhadores. Esses dois últimos são estabelecidos para ambientes industriais, onde também se recomenda a utilização de EPIs (Equipamentos de Proteção Individual).

Os xilenos não possuem valores de *RfC* estabelecidos, porém a EPA calcula que o nível mínimo de risco para inalação crônico dessas substâncias é de 0,4 mg m⁻³.

A OMS determina que a concentração aceitável para o tolueno é de $0,26 \text{ mg m}^{-3}$ durante uma semana, e de $4,8 \text{ mg m}^{-3}$ para os xilenos, durante o período de um dia. Para o benzeno a DIRECTIVA 2000/69/CE do PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 16 de novembro de 2000, sobre os valores limites do benzeno e do monóxido de carbono no ar ambiente, delibera uma concentração máxima de $5 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$. Entretanto o benzeno, é um composto reconhecidamente carcinogênico, não existindo concentrações recomendadas como seguras para esse composto (OMS, 2010; UE, 2015).

3. METODOLOGIA

O presente estudo foi realizado na cidade de Curitiba, Paraná, localizada na latitude 25°25'48" S, longitude 49°16'15" O e altitude de 934 m acima do nível do mar. Primeiramente foram escolhidas as escolas que seriam amostradas. A amostragem dos gases foi realizada com amostradores passivos no interior e no exterior das salas de aula. Após a amostragem de as amostras foram levadas ao laboratório para análise por cromatografia a gás acoplado a um detector DIC (Detector de Ionização por Chama). Os resultados de concentração foram usados para o cálculo de risco a saúde em determinadas condições de exposição para os professores. Toda a metodologia utilizada neste estudo será explicada mais detalhadamente a seguir.

3.5. CARACTERIZAÇÃO DAS ESCOLAS

As amostragens ocorreram em 3 escolas de ensino fundamental privado e em 1 escola de ensino fundamental público, localizadas na cidade de Curitiba. Para manter o sigilo das escolas que autorizaram a realização da pesquisa, não serão divulgados os nomes e as coordenadas das escolas, apenas uma breve descrição das características da construção e o contexto ambiental em que estão inseridas. Assim cada escola foi identificada com um número para facilitar a análise realizada neste estudo. Essas escolas foram escolhidas por se localizarem em regiões com intenso tráfego de veículos movidos (escolas 1, 2 e 3) ou por estar próximas a uma região industrial (escola 4). A Figura 2 apresenta a localização aproximada das escolas escolhidas no município de Curitiba-PR.

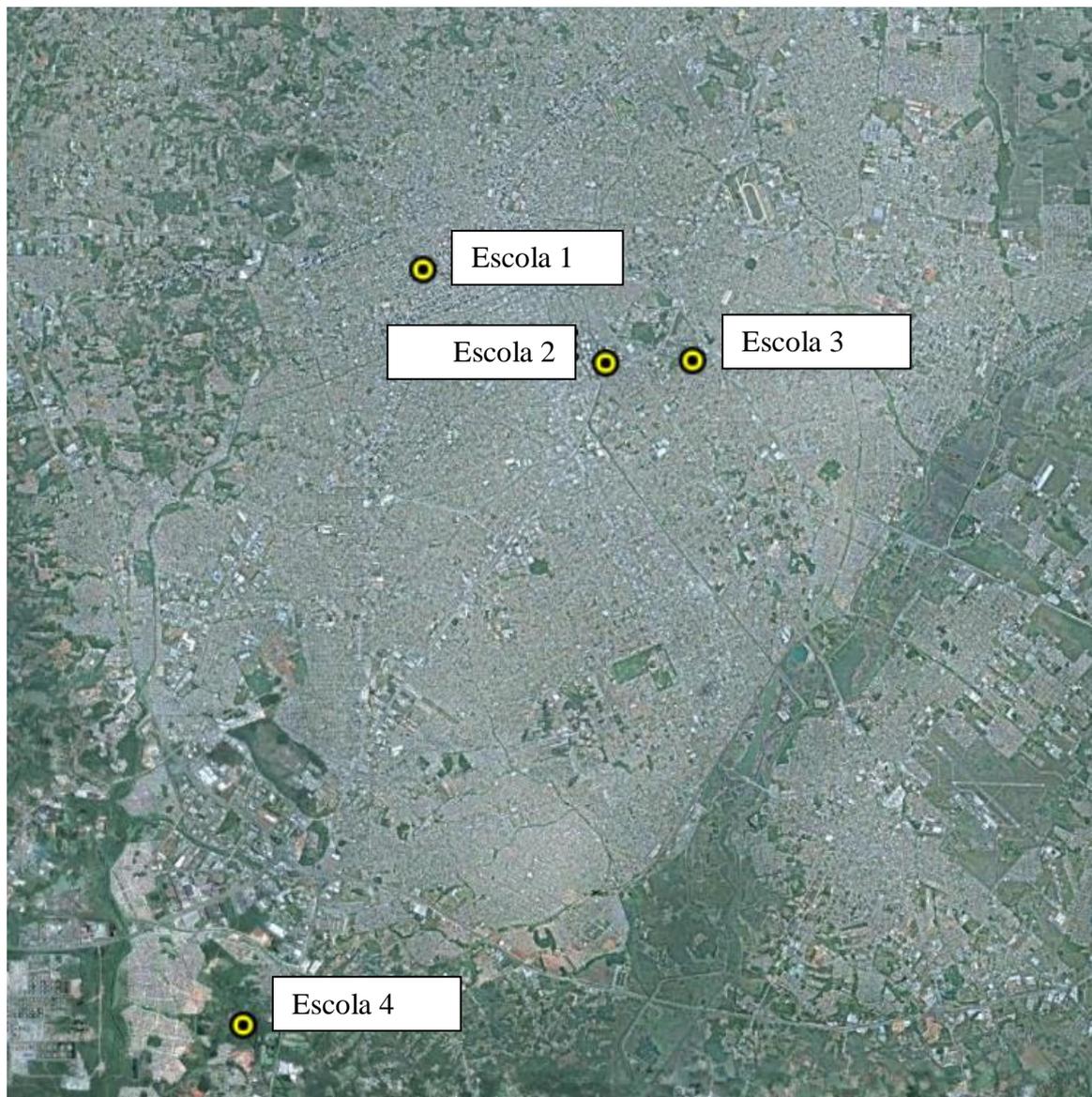


Figura 2 – Localização das Escolas.
Fonte: GeoEye, 2009

3.5.1. Escola 1

A Escola 1, de ensino privado, possui construção em alvenaria, a qual é caracterizada pela utilização de blocos, tijolos e pedras unidas por ligantes, como argamassa e cimento. As amostragens foram realizadas em 3 salas de aula com uma delas localizada no segundo pavimento.

A escola está próxima ao cruzamento de duas vias de tráfego intenso e se encontra próxima à região central da cidade, a qual é densamente ocupada. A escola 1 foi monitorada

durante duas semanas consecutivas de amostragem, divididas em duas campanhas amostrais de 7 dias cada.

3.5.2. Escola 2

A Escola 2 é uma escola privada situada próximo a uma área de zoneamento industrial e ao lado de duas vias de tráfego intenso, tanto de veículos de passeio quanto de veículos pesados. Nessa escola as amostragens ocorreram em duas semanas consecutivas e em 3 salas diferentes, duas no pavimento térreo e uma no segundo pavimento.

3.5.3. Escola 3

A escola 3 é uma escola privada e encontra-se próxima ao cruzamento de duas rodovias com intensa circulação de automóveis e caminhões. Sua construção é de alvenaria possuindo janelas grandes nos corredores e nas salas de aula. No caso, os dois períodos de 7 dias de amostragem não foram consecutivos devido a um recesso escolar.

3.5.4. Escola 4

A Escola 4, é uma escola municipal localizada próxima a uma região industrial, especificamente próxima a uma indústria petroquímica e a uma indústria de papel. Por determinação da Prefeitura Municipal de Curitiba as janelas de todos os ambientes permanecem abertas no período de aula. As amostragens ocorreram em duas semanas consecutivas. Essa escola não possui outros pavimentos.

3.6. AMOSTRAGEM

Neste estudo, a amostragem de ar foi realizada utilizando-se amostradores passivos da marca italiana Radiello[®], conhecidos como tubos de difusão, fabricados pela Fondazione Salvatore Maugeri e comercializados no Brasil pela empresa Sigma-Aldrich. Esses tubos não

necessitam de energia elétrica para funcionar, são dispositivos pequenos e leves, sendo facilmente instalados no ambiente externo ou interno a ser amostrado.

Os componentes essenciais para a amostragem se resumem a: cartuchos adsorventes, corpos de difusão, placa de suporte e etiqueta adesiva com a indicação do código de barras. Dependendo dos poluentes a serem amostrados, deve-se utilizar diferentes tipos de cartuchos adsorventes, mas a sua dimensão é a mesma para todos os casos, possuindo 60 mm de comprimento e 4,8 ou 5,8 mm de diâmetro. Esses cartuchos são para uso único, sendo que após a retirada deste do vidro que o acondiciona, as amostragens já se iniciam.

No caso da determinação de BTEX, deve-se utilizar o amostrador de código 130, destinado a compostos orgânicos voláteis, indicado na Figura 3.



Figura 3 - Amostrador da Marca Radiello® para COVs (Código 130).

Fonte: O autor, 2011.

Esses amostradores passivos são compostos por uma malha cilíndrica de aço inoxidável, com 100 mesh de abertura e 5,8 mm de diâmetro, preenchida com aproximadamente 530 ± 30 mg de carvão ativado com tamanho de partícula de 35-50 mesh. Os COVs são retidos através da adsorção, sendo posteriormente recuperados pela extração química com dissulfeto de carbono (CS_2).

A adsorção dos gases presentes na atmosfera pelos amostradores passivos segue o princípio da difusão. Após o período de exposição dos amostradores, que para este estudo foi de uma semana (7 dias), é possível obter o valor acumulado de compostos orgânicos voláteis durante o período de amostragem. Porém, este método não prevê flutuações das concentrações diárias dos poluentes e não representa com fidelidade a exposição direta aos poluentes já que não utiliza de alguma técnica ativa de captação de ar. Entretanto para a

aplicação do modelo de risco à saúde são necessárias concentrações médias dos poluentes no ar, tornando assim a amostragem passiva ideal para esse tipo de análise.

Durante o período de amostragem, o cartucho adsorvente deve ser inserido dentro de um tubo permeável, chamado de corpo de difusão, que possui 60 mm de altura e 16 mm de diâmetro Figura 4. Estes corpos de difusão têm como objetivo proteger os cartuchos adsorventes e ao mesmo tempo permitir a passagem específica dos gases amostrados. Para este estudo utilizou-se o tubo permeável de cor branca (código 120). Este tubo deve ser acoplado na placa de suporte, fabricada em policarbonato, que vem com um “prendedor” e um bolso para colocar a fita adesiva, que posteriormente é colada no vidro da embalagem do respectivo cartucho adsorvente, para sua identificação. Na fita adesiva, foi colocada a data e o horário de início e fim da amostragem.



Figura 4- Conjunto de Amostragem de COVs da Marca Radiello®.
Fonte: Radiello®, 2011.

Nos amostradores Radiello®, a adsorção acontece de maneira radial, que em comparação aos modelos axiais, permitem uma taxa de amostragem maior, ou seja, possuem uma superfície de difusão maior.

A taxa de amostragem (Q_k) é função do coeficiente de difusão do produto químico estudado, que varia com a temperatura. Taxas de amostragem medidas a 25°C e 1013 hPa são tabeladas e devem ser corrigidas para as condições observadas no momento da amostragem, de acordo com a Equação 1. Assim é de extrema importância conhecer a temperatura média durante a amostragem para garantir a exatidão dos dados obtidos experimentalmente.

$$Q_k = Q_{298} \left(\frac{K}{298} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (\text{Eq.1})$$

Onde:

Q_k é a taxa de amostragem ($\text{cm}^3 \text{min}^{-1}$) à temperatura da amostragem (Kelvin);

Q_{298} é a taxa de amostragem tabelada a 298 K;

K é a temperatura medida durante a amostragem.

A taxa de amostragem não varia com a umidade na faixa de 15 a 90%, e com a velocidade do vento entre 0,1 a 10 m.s^{-1} . Já com relação à temperatura a taxa chega a 5% de variação quando a temperatura difere em 10°C (ou acima ou abaixo) da temperatura ambiente de 25°C (AVIGO JUNIOR, 2008). As taxas de amostragem do benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno são, respectivamente, 80 ml.min^{-1} , 74 ml.min^{-1} , 68 ml.min^{-1} e 61 ml.min^{-1} .

Para o cálculo da concentração média de determinado composto químico, deve-se levar em consideração o tempo de exposição da amostra, de acordo com a Equação 2.

$$C = \frac{m}{Q \cdot t} \cdot 10^6 \quad (\text{Eq.2})$$

Onde:

C é a concentração média ($\mu\text{g m}^{-3}$);

m é a massa do analito (μg) obtida multiplicando-se a quantidade presente no amostrador em ppm pela massa de dissulfeto de carbono (CS_2) em gramas utilizada para extração;

t é o tempo de exposição em minutos;

Q é a taxa de adsorção do composto analisado, encontrada a partir da Equação 1.

3.6.1. Locais de amostragem

As amostragens foram realizadas tanto nos ambientes internos como externos das salas de aula. Internamente os amostradores foram instalados dentro das salas de aula a aproximadamente 1 – 1,5 m do chão, afastados do quadro negro, portas, janelas e de algum sistema de aquecimento. O local selecionado também foi escolhido levando-se em consideração possíveis materiais que pudessem interferir nas medições ou danificar os amostradores. No exterior das escolas os amostradores foram instalados próximos às entradas de ar, como portas e janelas, protegidos da chuva, a uma altura variando entre 1,5 a 2 m.

3.6.2. Monitoramento da Temperatura

Para o monitoramento da temperatura dentro das salas de aula e para a exposição dos professores e alunos, foi utilizado um termômetro desenvolvido pela Radiello® (código 126), que foi acoplado junto com os amostradores, segundo mostra a Figura 5.



Figura 5 - Termômetro Acoplado ao Amostrador de COVs.
Fonte: O autor (2001).

Estes termômetros não necessitam de bateria para recarregar, não precisam de manutenção e funcionam apropriadamente, mesmo com más condições atmosféricas. Além disso, apresentam precisão de $\pm 0,5$ °C entre -20 e 80 °C, e são equipados com um registrador de dados com capacidade de até 2048 leituras. Para a calibração do sensor e para a transferência dos dados registrados, foi utilizado um leitor do tipo “datalogger” (código 127). Como o período de amostragem de cada escola foi de duas semanas, o sensor de temperatura foi calibrado para registrar a temperatura do local a cada 20 minutos.

3.7. EXTRAÇÃO DOS AMOSTRADORES

As extrações das amostras foram realizadas por meio de dessorção química, com 2 ml de dissulfeto de carbono (CS_2). Em campo, logo após o término das amostragens os cartuchos adsorventes de aço inoxidável (Figura 3) foram colocados novamente dentro da embalagem original. No laboratório, o vidro foi aberto, preenchido com 2 ml de dissulfeto de carbono e agitado. Após aproximadamente 1 hora em repouso, o extrato foi transferido para um frasco (vial) de 2 ml, que foi vedado até ser analisado por cromatografia a gás com detecção por ionização em chama (CG/DIC).

3.8. ANÁLISE CROMATOGRÁFICA

Antes de iniciar as análises das amostras foi construída uma curva analítica utilizando-se um padrão de BTEX de 2000 ppm, da marca Supelco. Para a construção dos pontos da curva, o padrão foi diluído com CS_2 , primeiramente em um estoque de 100 ppm, e em seguida, a partir do estoque, foram preparadas (diretamente nos vials) as concentrações dos pontos da curva: 0,1 ppm, 0,3 ppm, 0,5 ppm, 0,7 ppm, 1,0 ppm, 1,5 ppm, 2,0 ppm, 3,0 ppm, 4,0 ppm, 6,0 ppm, 15 ppm, 20 ppm, 25 ppm, 32 ppm, 52 ppm, 68 ppm, 85 ppm e 100 ppm.

Para a análise das amostras e dos padrões foi utilizado um cromatógrafo a gás da marca Varian® equipado com um Detector de Ionização em Chama. Para a separação dos analitos, foi utilizada uma coluna capilar de fase polar intermediária de sílica fundida modelo AT-624, com 30 m de comprimento x 0,32 mm (diâmetro interno), e espessura da fase estacionária de 1,8 μm . O gás de arraste utilizado foi o hélio, e o volume injetado de 1 μL , no modo splitless. Cada padrão e amostra foi injetada em triplicata.

A temperatura do injetor foi de 250°C e a programação da temperatura do forno seguiu as seguintes etapas: (1) temperatura inicial mantida a 50°C por 1 minuto, em seguida (2) elevada a 150°C a uma velocidade de 10°C por minuto e mantida nesta temperatura por 1 minuto e, finalmente, (3) elevada novamente até 250°C, por dois minutos, a 50°C por minuto. O tempo total por injeção foi de 16 minutos.

Um cuidado importante para a análise cromatográfica com o dissulfeto de carbono é a injeção desse reagente puro, antes da injeção das amostras e dos pontos da curva analítica. Dessa forma é possível corrigir os valores das áreas da curva cromatográfica descontando

possíveis interferências ou contaminações, já que o CS₂ apresenta um grande poder de retenção de substâncias, especialmente do benzeno.

Com as determinações dos brancos foi possível calcular o Limite de Quantificação (L.Q.) e o Limite de Detecção (L.D.) conforme as normas da IUPAC. O L.D. corresponde ao início do intervalo em que é possível distinguir com uma dada confiança estatística (normalmente 95%). Já o L.Q. corresponde ao início da gama em que o coeficiente de variação do sinal e o erro relativo se reduziram a valores razoáveis (normalmente 10%) para efetuar uma avaliação quantitativa; deste modo, na prática deve usar-se o LQ como início da zona em que se reportam valores numéricos (IPAC, 2011).

Seguindo as já citadas recomendações da IUPAC, o valor do LD situa-se acima do sinal médio do branco (x_0), a cerca de 3 vezes o desvio-padrão do branco ($LD = x_0 + 3,3 s_0$), enquanto o LQ situa-se a 10 vezes o referido desvio-padrão ($LQ = x_0 + 10 s_0$). Salienta-se que estas fórmulas pressupõem que o número de ensaios para estimar o LQ é estatisticamente significativo (IPAC, 2011).

Toda a preparação das amostras e padrões foram realizadas em capela com a utilização de máscaras de proteção específicas para compostos orgânicos. Além disso, os materiais foram armazenados em um refrigerador separado e em local com exaustão de ar. A sala onde foram realizadas as análises cromatográficas permaneceu a 16 °C e possuía sistema de exaustão de gases. Para evitar a volatilização dos compostos dos vials durante as análises, assim que a amostra era injetada, era novamente vedada e levada para a geladeira.

3.9. ANÁLISE DE INDICAÇÃO DE FONTES

Um parâmetro importante para análise de poluentes, em ambientes internos, é a relação entre as concentrações interna/externa (I/E – na língua inglesa indoor/outdoor). Se esta relação apresentar valores próximos de 1, significa que as concentrações de determinado elemento encontram-se nas mesmas proporções nos dois ambientes enquanto que valores acima de 1 indicam que as concentrações são maiores no ambiente interno o que normalmente ocorre com os compostos orgânicos voláteis (ALVES, 2009). Com essa análise é possível determinar possíveis fonte internas de BTEX ou se as concentrações determinadas dentro das salas de aulas tem uma fonte externa. Assim valores acima de 1 indicam a existência de um fonte interna e valores menores que 1 indica fontes externas.

3.10. AVALIAÇÃO DO RISCO À SAÚDE

O risco a saúde do trabalhador, quando avaliados os agentes químicos presentes no ar, está relacionado à probabilidade de uma determinada substância produzir um efeito adverso em seu organismo. Esses efeitos dependem da potencialidade intrínseca das substâncias causarem efeitos tóxicos, da sua ocorrência (concentração, frequência, tempo de exposição) e da susceptibilidade da população exposta. De modo geral, os efeitos podem possuir características sistêmicas ou carcinogênicas. Os agentes químicos sistêmicos são aqueles que podem produzir efeitos tóxicos de maneira crônica que não sejam câncer ou mutação genética. Já os compostos carcinogênicos, como o próprio nome explica, são aqueles que podem levar a um processo carcinogênico (BRILHANTE E CALDAS, 1999; USEPA, 2005), como é o caso dos compostos BTEX.

Com isso, surge a necessidade de fazer a avaliação do risco à saúde do trabalhador, não apenas do ponto de vista normativo, ou seja, comparando com as concentrações obtidas no ambiente de trabalho com os limites de tolerâncias e exposição, mas também do ponto de vista toxicológico. Para isso, a Agência de Proteção Ambiental Americana (USEPA) desenvolveu um sistema de avaliação de risco, no qual são calculadas as probabilidades de efeitos tóxicos sistêmicos e carcinogênicos. Esses cálculos consideram as informações de exposição crônica e informações toxicológicas sobre os agentes estudados presentes em inúmeros bancos de dados. Para facilitar o acesso às bases de dados criou-se o Sistema de Informação de avaliação de Risco (RAIS, 2014) que tem o objetivo facilitar o cálculo e a avaliação do risco para diferentes condições.

Assim, segundo a USEPA (2014), o risco considerando sistêmico é representado pela equação:

$$QR = \frac{CDI}{RfC} \quad (\text{Eq.3})$$

Onde:

QR é o quociente de risco;

CDI é a quantidade diária inalada do poluente;

RfC é a concentração de referência para inalação (concentração para a qual não se observam efeitos adversos, incluindo grupos sensíveis).

O valor da RfC representa a concentração de referência de inalação para o poluente e pode ser entendido como um limite, que se ultrapassado pode acarretar riscos para a saúde humana. Os valores da RfC utilizadas pelo RAIS são provenientes do Sistema Integrado de Informação de Risco - IRIS. O IRIS é um programa de avaliação de saúde humana que analisa informações sobre os efeitos na saúde que podem resultar da exposição a contaminantes ambientais. Por meio do Programa IRIS, a USEPA fornece com alta qualidade e base científica avaliações de saúde humana para apoiar as atividades de regulação da Agência. A base de dados IRIS contém informações sobre mais de 550 substâncias químicas e sobre os efeitos na saúde humana que podem resultar da exposição a essas várias substâncias no ambiente. A base de dados IRIS é preparada e mantida pelo Centro Nacional de avaliação ambiental da USEPA no âmbito do Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento (GRASEL, 2014).

O CDI foi calculado utilizando os parâmetros de exposição que vão desde a concentração do contaminante no ar até a duração da exposição em anos, seguindo a seguinte equação:

$$CDI_{res-air-nc} \left(\frac{mg^3}{m} \right) = \frac{C_{air} \left(\frac{\mu g^3}{m} \right) \times EF_{resa} \left(\frac{350 \text{ days}}{year} \right) \times ED_{resa} (30 \text{ years}) \times ET_{resa} \left(\frac{24 \text{ hours}}{day} \right) \times \left(\frac{1 \text{ day}}{24 \text{ hours}} \right)}{AT_{resa} \left(\frac{365 \text{ days}}{year} \times ED_{resa} (30 \text{ years}) \right) \times \left(\frac{1000 \mu g}{1 \text{ mg}} \right)} \quad (\text{Eq.4})$$

Onde:

C: concentração do poluente no ar em $\mu g \text{ m}^{-3}$;

EF: frequência de exposição (dias ano⁻¹);

ED: duração da exposição (anos);

ET: tempo de exposição (horas dia⁻¹);

AT: tempo de exposição durante a vida (anos).

Todos os parâmetros da equação (C, EF, ED, ET e AT) são fornecidos pelo usuário sendo possível a realização de simulações para diferentes concentrações e tempo de exposição.

O Quociente de Risco (QR) indica um nível de exposição abaixo do qual a ocorrência de efeitos adversos a saúde são improváveis. Dessa forma, valores de QR menores que 1, indicam que não existe risco significativo para o trabalhador. Entretanto, quando apresenta valores maiores que 1 risco deve ser considerado, podendo gerar efeitos adversos a

saúde do trabalhador. O QR não deve ser considerado como uma probabilidade de um indivíduo dentro da população sofrer algum dano a saúde, mas deve ser entendido como uma chance de ocorrência de dano estar alto ou baixo. Com isso, quanto maior o valor de QR acima da unidade, maior será o nível de importância da exposição ao agente químico.

O risco carcinogênico (CR) é calculado pela seguinte equação:

$$CR = IUR \times \frac{(C \times ET \times EF \times ED)}{LT \times 365 \text{ dias} \times 24 \text{ h}} \quad (\text{Eq.5})$$

C: Concentração dos elementos encontrados no ar ($\mu\text{g m}^{-3}$);

ET: Tempo de exposição (horas dia^{-1});

EF: Frequência de exposição (dias ano^{-1});

ED: Duração da exposição (anos);

RfC: Concentração de referência de inalação ($\text{mg Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$);

IUR: Risco unitário de inalação ($\mu\text{g m}^{-3}$);

LT: Expectativa de vida (anos);

Diferente do risco para efeitos sistêmicos o risco para efeito carcinogênico é considerada como a probabilidade de uma pessoa desenvolver um processo carcinogênico dentro de uma população. Assim se o resultado possuir uma ordem de grandeza de 10^{-4} significa que uma pessoa em cada 10.000 desenvolverá câncer. A partir disso, foram estabelecidos limites aceitáveis para esse risco, que foram divididos em três níveis (HU *et al.* 2012; RAIS, 2014):

- Insignificante: $CR \leq 10^{-6}$;
- Aceitável: $10^{-6} < CR \leq 10^{-4}$;
- Necessitando remediação: $CR > 10^{-4}$.

Para a avaliação do risco neste estudo utilizou-se um tempo de exposição de 8 horas por dia (ET), com uma frequência de exposição durante o ano de 250 (EF), com uma vida de trabalho de 25 anos (ED ou AT) e com a expectativa de vida (LT) de 74,9 anos, definida pelo IBGE em 2013. Esses parâmetros representam a exposição de um trabalhador padrão,

segundo EPA EUA. O resultado final é expresso como uma soma dos riscos apresentados para cada composto.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para essa pesquisa foram necessárias a construção de três curvas analíticas devido a grande variação nas concentrações de tolueno e devido a não linearidade de detecção apresentada pelo equipamento, que variou com o aumento das concentrações dos padrões para esse composto. Como o padrão utilizado foi uma mistura dos compostos BTEX construiu-se também três curvas para cada substância, mas apenas uma das curvas foi utilizada para o benzeno, etilbenzeno e para os xilenos. O coeficiente de determinação (R^2) das curvas analíticas apresentaram valores entre 0,989 até 0,999. Os limites de detecção e de quantificação estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Limite de Quantificação e Limite de Detecção.

	Benzeno	Tolueno	Etilbenzeno	M,P-Xileno	O-Xileno
L.D. ($\mu\text{g m}^{-3}$)	0,61	1,51	0,35	0,26	0,23
L.Q. ($\mu\text{g m}^{-3}$)	0,36	0,69	0,19	0,26	0,16

Fonte: O autor (2012).

Todos os compostos (benzeno, tolueno, etilbenzeno, m,p-xileno e o-xileno) foram detectados nos locais amostrados.

Os resultados para as concentrações internas e externas apresentadas neste estudo representam a média e a mediana, para cada composto, de todas as escolas amostradas. Esses resultados foram utilizados para a análise do risco a saúde. Os resultados não serão detalhados para cada escola já que o objetivo do estudo é a avaliação do risco a que os professores e alunos estão exposto, mostrando assim um panorama geral das concentrações nas escolas e seu risco associado. Entretanto a análise da relação I/E foi realizada para cada escola e será apresentado de forma geral junto com os resultados de concentração.

4.1. CONCENTRAÇÃO DE BTEX NAS ESCOLAS

A Tabela 3 apresenta uma visão geral dos resultados obtidos para os compostos BTEX nos dois contextos de exposição estudados: interior e exterior das salas de aulas. A tabela contém a média, desvio-padrão, mínimo, mediana e máximo das concentrações detectadas nestes locais para cada composto.

Tabela 3 – Visão Geral das Concentrações de BTEX, em $\mu\text{g m}^{-3}$.

Substância	Local de Amostragem	Média	D.P.	Mínimo	Mediana	Máximo
Benzeno	Exterior	1,21	0,55	0,47	1,18	2,06
	Interior	1,20	0,75	0,21	1,26	3,21
Tolueno	Exterior	3,58	1,54	1,16	3,29	5,95
	Interior	19,7	32,1	0,37	4,70	108
Etilbenzeno	Exterior	1,00	0,35	0,53	1,03	1,63
	Interior	1,77	1,27	0,51	1,28	5,28
M, P - Xileno	Exterior	2,39	0,85	1,31	2,06	3,70
	Interior	3,22	2,31	0,18	2,39	9,91
O - Xileno	Exterior	0,49	0,20	0,24	0,42	0,75
	Interior	0,78	0,52	0,16	0,59	2,23

Fonte: O autor (2012); D.P.: Desvio Padrão; Nota: Tamanho da amostra (n): exterior: 13, interior: 30.

O tolueno foi o composto mais abundante em 85,7% das amostras, seguido pelo m,p-xileno em 10,7%. Esse cenário também foi encontrado em vários estudos nacionais e internacionais (STRANGER *et al.*, 2007; GODOI *et al.*, 2009; EPLUGUES *et al.*, 2010; GEISS *et al.*, 2011). O tolueno também apresentou altas concentrações em algumas salas de aula ($108 \mu\text{g m}^{-3}$). Para o benzeno não há limites de tolerância ou exposição considerando esse tipo de ambiente de trabalho, e nenhuma das amostras excederam o limite Europeu de $5 \mu\text{g m}^{-3}$. Nenhuma das concentrações encontradas para o tolueno, etilbenzeno e para os xilenos ultrapassaram os limites de tolerância previstos na NR-15.

A relação entre as concentrações no interior e no exterior das escolas, indicaram valores maiores que 1 para o tolueno, chegando a 16 na Escola 4, sugerindo que esse composto possui uma fonte interna ou está se concentrando no interior das salas de aula. Valores próximos a 1 foram determinados para o benzeno e o xileno, implicando que na igualdade de concentração tanto dentro como fora da escola. No geral, relações próximas a 1 foram calculadas para etilbenzeno e m,p-xileno, porém nas Escolas 2 e 4 a relação I/E ficaram próximas a 4, mostrando que esses contaminantes acumularam-se nas salas de aula destas

escolas ou possuíam fontes internas. GEISS *et al.* (2010) encontrou valores I/E próximos a 1 para todos os BTEX, revelando que as concentrações no interior depende das concentrações ao ar livre, também confirmado por GOU *et al.* (2002). A Figura 6 apresenta um gráfico comparando as concentrações médias de BTEX no exterior e no interior das salas de aulas.

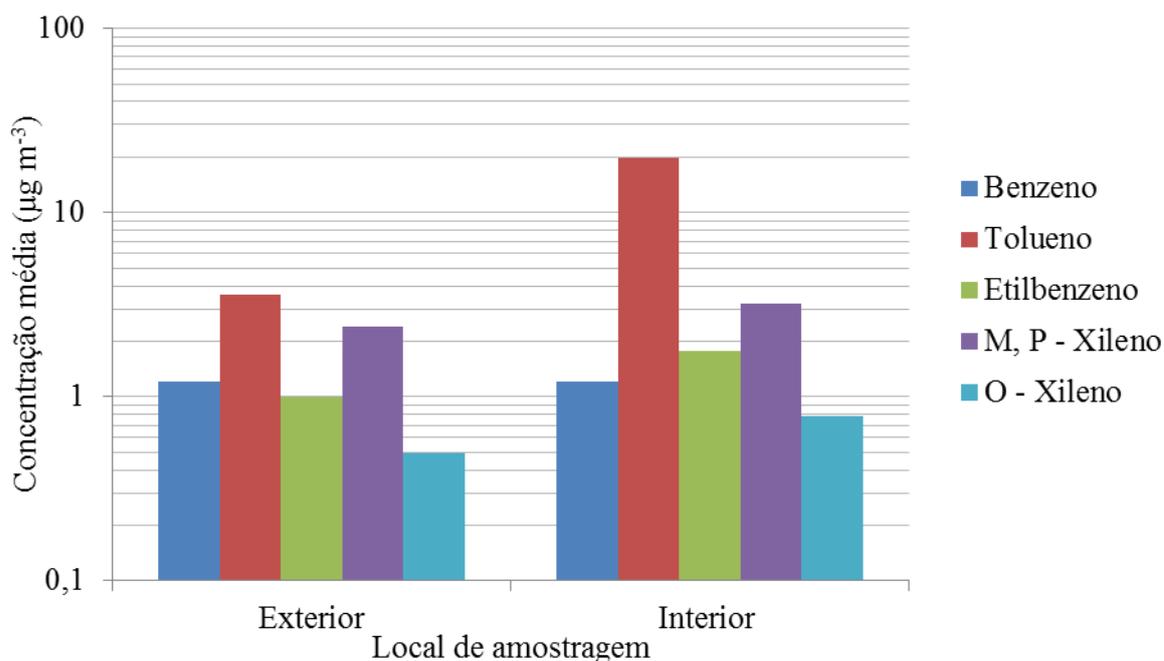


Figura 6 - Gráfico comparativo entre as concentrações médias, em escala logarítmica, de BTEX no interior e exterior das escolas.

Fonte: O Autor (2015).

Separando as escolas em áreas urbanas e suburbanas a correlação entre todos os compostos ficam mais definidas possibilitando a identificação de possíveis fontes. No interior das escolas localizadas nas áreas urbanas (1, 2 e 3) a correlação moderada a forte ($R = 0,692 - 0,942$) entre todos os compostos BTEX suporta que a principal fonte de BTEX provém da queima de combustíveis fósseis.

Nas áreas suburbanas (Escola 4), observou-se uma correlação de moderada a forte ($R = 0,581 - 0,993$) para benzeno, etilbenzeno e para os xileno, já o tolueno apresentou correlação fraca e moderada ($R = 0,276 - 0,627$) com as outras substâncias. Essas variações nos valores das correlações indicam a existência de inúmeras fontes de BTEX sendo possível supor que as indústrias e possíveis fontes internas pode ter gerado um efeito somático na concentração de tolueno e dos outros compostos.

GODOI *et al.* (2009) e STRANGER *et al.* (2008) também relataram esse nível de correlação em seus estudos identificando as emissões veiculares como a principal fonte desses

compostos em regiões urbanas. Adicionalmente, os dois últimos autores reportaram que a probabilidade de existência de fontes internas de benzeno é muito baixa. Por outro lado existe uma alta probabilidade de existirem fontes internas para os outros compostos.

Esse cenário indica que as escolas não são as fontes principais de compostos BTEX, apesar de apresentarem concentrações consideráveis, já que não são caracterizadas como ambientes industriais. Como premissa das normas regulamentadoras, preconizadas pelo Ministério do Trabalho e Emprego, é de responsabilidade do empregador garantir um ambiente salubre e seguro de trabalho. Entende-se assim que o empregador, mesmo não sendo gerador de contaminação, nesse caso, deve zelar para que dentro das salas de aulas não existam concentrações perigosas desses tipos de compostos. Essa responsabilidade é bem definida para escolas particulares, mas nebulosa para escolas públicas, já que é dever do município fiscalizar, controlar e punir emissões de poluentes por parte de indústrias e veículos.

4.2. ANÁLISE DO RISCO À SAÚDE

O modelo de risco à saúde utilizou os valores médios de concentração de BTEX no interior das salas de aulas das escolas estudadas. O cálculo levou em consideração que os professores possuem uma jornada de trabalho de 8 horas diárias em uma frequência anual de 250 dias, com 25 anos de trabalho e uma expectativa média de vida do brasileiro de 74,9 anos. A Tabela 4 apresenta os valores do risco crônico sistêmico (QR) e de câncer (CR) para as concentrações médias de BTEX no interior das salas de aulas.

Tabela 4 – Risco sistêmico e carcinogênico para as concentrações médias de BTEX no interior das salas de aulas.

Substância	Média ($\mu\text{g m}^{-3}$)	QR	CR
Benzeno	1,20	$9,1 \cdot 10^{-3}$	$7,1 \cdot 10^{-6}$
Tolueno	19,7	$8,1 \cdot 10^{-5}$	-*
Etilbenzeno	1,77	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$3,8 \cdot 10^{-7}$
m, p - Xileno	3,22	$7,4 \cdot 10^{-3}$	-*
o - Xileno	0,78	$1,8 \cdot 10^{-3}$	-*
Risco Total		$2,3 \cdot 10^{-2}$	$4,5 \cdot 10^{-6}$

Fonte: O Autor (2015). * não possuem efeito carcinogênico comprovado na base de dados utilizada.

Os resultados de risco para o efeito sistêmico (QR), ou seja, que pode causar doenças sem considerar câncer, indicam que apesar de existir o risco não é significativo, já que apresenta valores menores que 1, nas condições estudadas e modeladas. Os maiores valores para QR foram determinados para o benzeno e xilenos. A exposição à baixa concentração de tolueno pode causar fadiga, sonolência e debilidade. A inalação em longo prazo pode causar irritação das vias aéreas superiores e olhos, dor de garganta, tontura e dor de cabeça. Em exposições graves pode ocorrer diminuição auditiva e até surdez (OMS, 2010). Já a exposição aguda (curto prazo) a xilenos mistos causa irritação dos olhos, nariz e garganta, efeitos gastrointestinais, irritação nos olhos e efeitos neurológicos. Dentre os efeitos crônicos desses compostos, destacam-se disfunções no sistema nervoso central (USEPA, 2015b).

Para o risco de câncer (CR) apresentou valores somente para o benzeno e para o etilbenzeno, já que para os outros compostos não existe comprovação do efeito cancerígeno nas bases de dados utilizadas para a modelagem do risco. Para o etilbenzeno a biblioteca utilizada para valores de potencial carcinogênico foi do Escritório de Meio Ambiente e Risco à Saúde do governo da Califórnia, Estados Unidos (OEHHA, 2015). Os resultados para CR total indicam que 4,5 pessoas em um milhão poderão desenvolver câncer devido a exposição a concentrações de benzeno de $1,2 \mu\text{g m}^{-3}$ e $1,77 \mu\text{g m}^{-3}$. Esse nível de risco é considerado como aceitável, sendo que medidas de controle podem ser implementadas se os custos forem baixos e com um prazo longo. Entretanto, para esse tipo de ambiente de trabalho, não existem concentrações de exposição seguras para o benzeno.

A União Europeia (EU) define que um valor seguro no ar para esse composto é de $5 \mu\text{g m}^{-3}$. Modelando o risco apenas para o benzeno utilizando o parâmetro da UE e as mesmas condições de exposição, o resultado indica que 3 pessoas em um milhão poderão desenvolver câncer. Vale ressaltar, que esses resultados apresentam o risco à saúde apenas para a exposição desses compostos, sendo que existem outros fatores, como genética e outras condições ambientais e comportamentais, causadores de processos carcinogênicos que podem aumentar o valor do risco.

De modo geral os resultados de risco para as concentrações de BTEX nas escolas foram consideradas aceitáveis apresentando baixo risco. Nenhum dos valores de concentração ultrapassaram o limites de tolerância preconizados pela NR-15, considerados valores limites até os quais, do ponto de vista legal, existe a proteção da saúde do trabalhador. A fim de verificar o risco associadas a essa concentração foi realizada uma simulação com as concentrações previstas na NR-15 e com as condições de exposição utilizadas para a análise do risco nas escolas. Os resultados estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Risco sistêmico e carcinogênico para as concentrações limites estabelecidas na NR-15.

Substância	Média (mg m⁻³)	QR	CR
Benzeno	3,19**	24**	1,9 10 ^{-3**}
	7,97**	61**	4,7 10 ^{-2**}
Etilbenzeno	340	78	6,7 10 ⁻³
Tolueno	290	13	-*
Xilenos	340	776	-*
Risco Total		867	6,7 10⁻³

Fonte: O Autor (2015). * não possuem efeito carcinogênico comprovado na base de dados utilizada; ** não foram considerados no cálculo do risco total.

Os resultados apresentados na Tabela 5 indicam um risco associado afeitos sistêmicos (QR) muito elevando, cerca de mil vezes o valor unitário. Considerando a apenas cada um dos compostos, o QR ainda apresenta valores superiores a 1 indicando risco significativo, principalmente para os xilenos.

Para os riscos associados a efeitos carcinogênicos os resultados indicaram a probabilidade de 6,7 pessoas em 1000 desenvolverem câncer devido a exposição a esses compostos durante a vida de trabalho. Esse valor é considerado inaceitável necessitando de medidas de controle e redução de riscos urgentes. Nesta análise os valores de risco para o benzeno não foram utilizados para o cálculo do risco total. Para o benzeno, foram calculados os riscos para os dois tipos de locais de exposição previstos no Anexo 13-A da NR-15 apresentando valores altos, tanto para o QR quanto para o CR.

Apesar de serem considerados valores seguros, como é possível observar na Tabela 5 esses compostos, durante uma exposição em longo prazo, possuem valores altos de risco à saúde para efeitos sistêmicos e carcinogênicos. Desse modo, para a real proteção da saúde dos trabalhadores faz-se necessária à revisão dos limites para valores que garantam a segurança ocupacional e que proporcione, tecnicamente, a sua aplicação.

5. CONCLUSÕES

O risco a saúde dos professores que trabalham nas escolas estudadas foi considerado de baixa significância. Entretanto esses resultados não indicam que não existe risco, principalmente para os efeitos crônicos carcinogênicos. Além disso, a exposição ao benzeno nesse tipo de ambiente ocupacional não possui limites de tolerância, já que não existem valores de concentração seguros para esse tipo de composto.

Através da avaliação das concentrações médias dos compostos benzeno, tolueno, etilbenzeno e dos isômeros orto-, meta- e para-xileno nas salas de aulas de 4 escolas do município de Curitiba foi possível determinar duas fontes principais desses poluentes no contexto urbano e suburbano: as emissões veiculares e as indústrias petroquímicas, respectivamente. Essas fontes localizam-se em ambientes externos e possuem grande influência na qualidade do ar no interior das escolas estudadas, uma vez que os compostos BTEX podem acumular dentro desses locais. Esse fato é reforçado pelos valores maiores que 1 encontrados para as relações I/E na maioria das salas de aula e pela correlação entre os BTEX.

As maiores concentrações foram determinadas para o tolueno no interior das salas de aulas, sendo o composto mais abundante em 85,7% das amostras, seguido pelo m,p-xileno em 10,7%. O benzeno não apresentou concentrações acima de $5 \mu\text{g m}^{-3}$, considerado como um valor seguro pela EU.

O risco à saúde dos trabalhadores da área de ensino fundamental, principalmente professores, para efeitos sistêmicos (QR) foram baixas e são consideradas aceitáveis para as concentrações de BTEX encontradas. O risco associado a efeitos carcinogênicos (CR) indicaram que 4,5 pessoas em 1 milhão poderão desenvolver câncer devido a exposição a concentrações de benzeno ($1,2 \mu\text{g m}^{-3}$) e etilbenzeno ($1,77 \mu\text{g m}^{-3}$).

Quando o modelo de risco foi aplicado aos limites de tolerância para o tolueno, etilbenzeno e xilenos, presentes na NR-15, os resultados indicaram alto risco relacionados a doenças crônicas, exceto câncer, para uma exposição em longo prazo. Para efeitos carcinogênicos os resultados indicaram que 6,7 pessoas em 1000 poderão desenvolver câncer como resultado da exposição a esses compostos.

Este estudo deixa claro que existe a necessidade de uma revisão dos limites previstos nas normas regulamentadoras de segurança do trabalho, visto que esses limites não garantem a real proteção da saúde dos trabalhadores. Além disso, levanta uma discussão sobre a relação

de responsabilidade entre empregado, empregador e vizinhança, já que o descuido de um pode gerar a oneração de outro.

REFERÊNCIAS

- ALVES, R. Avaliação da Qualidade do ar em Escolas Fundamentais da Cidade de Colombo Através de Material Particulado em Suspensão e sua Relação com a Indústria Local de Cal. Dissertação mestrado. Universidade Positivo, Curitiba-PR, 2009.
- AVIGO JUNIOR, D. Qualidade do Ar em Escolas de Curitiba. Dissertação de mestrado, Universidade Positivo, Curitiba-PR, 2008.
- BRASIL, Ministério do Trabalho. Norma Regulamentadora NR-17: Ergonomia. Publicação junho de 1978, atualização junho de 2007.
- BRASIL, Ministério do Trabalho. Norma Regulamentadora NR-9: Programa de prevenção de riscos ambientais. Publicação junho de 1978, atualização setembro de 2014a.
- BRASIL, Ministério do Trabalho. Norma Regulamentadora NR-15: Atividades e operações insalubres. Publicação junho de 1978, atualização agosto de 2014b.
- BRILHANTE, O. M; CALDAS, L. Q. A. Gestão e avaliação de risco em saúde ambiental. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 1999. 155p.
- BUCZYNSKA, A. J.; KRATA, A.; STRANGER, M.; GODOI, A. F. L.; KONTOZOVA-DEUTSCH, V.; BENCS, L; NAVEAU, I.; ROEKENS, E. VAN FRIEKEN, R. Atmospheric BTEX-concentrations in an area with intensive street traffic. Atmospheric Environment, vol. 43, 311 – 318, 2009.
- CARMO, A. T.; PRADO, R. T. A. Qualidade do Ar Interior. Texto Técnico. Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, 1999.
- CCOHS – CANADIAN CENTRE FOR OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY. OSH Answers Fact Sheets – Hazard and Risk. Disponível em: http://www.ccohs.ca/oshanswers/hsp/rograms/hazard_risk.html. Acesso em fevereiro/2015.
- CETESB. Ficha de Informação Toxicológica – Benzeno. Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental, 2010a.
- CETESB. Ficha de Informação Toxicológica – Tolueno. Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental, 2010b.
- CETESB. Ficha de Informação Toxicológica – Etilbenzeno. Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental, 2010c.
- CETESB. Ficha de Informação Toxicológica – Xileno. Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental, 2010d.
- CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Conceito de Risco. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/gerenciamento-de-riscos/emergencias-quimicas/10-conceito-de-risco>. Acesso em janeiro/2015.

DURMUSOGLUA, E.; TASPINAR, F.; KARADEMIR, A. Health Risk Assessment of BTEX Emissions in the Landfill Environment. Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade de Kocaeli. Kartepe, Kocaeli, Turkey, 2009.

ESPLUGUES, A.; BALLESTER, F.; ESTARLICH, M.; LLOP, S.; FUENTES-LEONARTE, V.; MANTILLA, E.; INGUEZ, C. Indoor and Outdoor Air Concentrations of BTEX and Determinants in a Cohort of One-year old Children in Valencia, Spain. *Science of Total Environment*, vol. 409, 63 – 69, 2010.

FORSTER, L. M. K; TANNHAUSER, M.; TANNHAUSER, S. L. Toxicologia do Tolueno: Aspectos Relacionados ao Abuso. *Revista Saúde Pública*, 28(2):167-72. 1994.

GEISS, O.; GIANNOPOULOS, G.; TIRENDI, S.; BARRERO-MORENO, J.; LARSEN, B. R.; KOTZIAS, D. The AIRMEX study - VOC measurements in public buildings and schools/kindergartens in eleven European cities: Statistical analysis of the data. *Atmospheric Environment*, vol. 45, 3676 - 3684, 2011.

GODISH, T. *Air Quality*. Quarta edição. Editora: Lewis Publisher, 2005.

GODOI, R. H. M.; AVIGO, D.; CAMPOS, V. P.; TAVARES, T. M.; MARCHI, M. R. R.; VAN GRIEKEN, R.; GODOI, A. F. L. Indoor Air Quality Assessment of Elementary Schools in Curitiba, Brazil. *Water, Air & Soil Pollution: Focus*, vol 9, 171 – 177, 2009.

GODOI, A. F. L, GODOI, R. H. M.; AZEVEDO, R.; MARANHO, L. T. Poluição e a Densidade de Vegetação: BTEX em Algumas Áreas Públicas de Curitiba - PR, Brasil. 10 f. Artigo. Departamento de Engenharia Ambiental - Universidade Federal do Paraná e Universidade Positivo, Curitiba -PR, Brasil, 2010.

GOMES, P. C. R.; OLIVEIRA, P. R. A. *Introdução à Engenharia de Segurança do Trabalho*. Editora: WEducacional e Cursos LTDA, Brasília, 2011.

GONÇALVES, R. B. M. *Tecnologia e organização social das práticas de saúde: características tecnológicas de processo de trabalho na rede estadual de centros de saúde de São Paulo*. São Paulo (SP):Hucitec, 1994.

GOU., H.; LEE, S. C.; LI, W. M.; CAO, J. J. Source characterization of BTEX in indoor microenvironments in Hong Kong. *Atmospheric Environment*, vol. 37, 73 – 82, 2002.

GRASEL, A. M. Determinação de Sulfeto de Hidrogênio nas proximidades de estações de tratamento de esgoto em Curitiba-PR, Brasil. Dissertação de mestrado, 75 pág. Universidade Federal do Paraná, 2014.

HU, X.; ZHANG, Y.; DING, Z.; WANG, T.; LIAN, H.; SUN, Y.; WU, J. Bioaccessibility and health risk of arsenic and heavy metals (Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Zn and Mn) in TSP and PM 2,5 in Nanking, China. *Atmospheric Environment*, vol. 57, 146 – 152, 2012.

IRWIN, R. J. *Environmental Contaminants Encyclopedia: Entry for BTEX Compounds*. National Park Service with assistance from Colorado State University, 1997.

JUNQUEIRA, T. L.; ALBUQUERQUE, E. L.; TOMAZ, E. Estudo sobre compostos orgânicos voláteis em Campinas-SP. UNICAMP - Faculdade de Engenharia Química. Campinas –SP, 2005.

MACHADO, R. A. Avaliação de Compostos Orgânicos Voláteis em Ambientes Interiores Climatizados. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo – Departamento de Saúde Ambiental, São Paulo, 2003.

MARIANO, A. P. Avaliação do Potencial de Biorremediação de Solos e de Águas Subterrâneas Contaminados com Óleo Diesel. Universidade Estadual Paulista- Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro-SP, 2006.

MAZZEO, D. E. C.; MARIN-MORALES, M. A. Avaliação dos Efeitos Genotóxicos e Mutagênicos do BTEX, Utilizando o Sistema Teste de *Allium cepa*. Departamento de Biologia - Instituto de Biociências – UNESP, 2008.

OEHHA – Office of Environmental Health Hazard Assessment California. Air Toxicology and Epidemiology – Adoption of a unit risk for ethylbenzene. Disponível em: http://oehha.ca.gov/air/hot_spots/ebenz111407.html. Acesso em abril de 2015.

OHSMS - OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY MANAGEMENT SYSTEMS - GUIDE: BRITISH STANDARD. Normas britânicas BS8800, BSI 2004 e Managing Safety the Systems Way: Implementing OHSAS 1800, 2004.

OMS, World Health Organization. Air Quality Guidelines for Europe. In: OMS Regional Publications. European Series, second ed., N^o. 91. OMS, Copenhagen, 2000.

OMS – Organização Mundial da Saúde. Occupational Health: A manual for primary health care workers. Editora: World Health Organization, Cairo, 2001.

OMS – Organização Mundial da Saúde. Comparative Quantification of Health Risks – Global and regional burden of disease attributable to selected major risk factors. Editora: WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, volume 1, Capítulo 21, 2004.

OMS, World Health Organization. Air Quality Guidelines Global Update 2005: Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Escritório regional europeu da OMS, Copenhagen, Dinamarca, 2006.

OMS, Organização Mundial da Saúde. Sixtieth World Health Assembly – Workers' health: global plan of action. Editora: WHO, 2007.

OMS, Organização Mundial da Saúde. Air Guidelines for indoor air quality: selected pollutants. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2010.

PHELPS, C. D.; YOUNG, L. Y. Anaerobic biodegradation of BTEX and gasoline in various aquatic sediments. Rutgers, The State University of New Jersey, New Brunswick, NJ, USA, 1998

PROMINAS. Introdução à Engenharia de Segurança do Trabalho. Editora: Prominas e organizadores, Coronel Fabriciano – MG. Disponível em:

http://portaladm.portalprominas.com.br/_arqmaterialdidatico/INTRODU%C3%87%C3%83O%20%C3%80%20ENGENHARIA%20DE%20SEGURAN%C3%87A%20DO%20TRABALHO-MODULO1.pdf. Acesso em março de 2015.

RAIS. Rais contaminated media (Risk) calculator. Disponível em: <http://rais.ornl.gov/cgi-bin/prg/RISK_search?select=chem>. Acesso em dezembro de 2014.

RODRIGUES, L. P. Conceitos básicos sobre segurança do trabalho. In MATTOS, U.; MÁSCULO, F. Higiene e segurança do trabalho para engenharia de produção. Editora: Elsevier, Rio de Janeiro, 2011.

SCHIRMER, W. N.; QUADROS, M. E. Compostos Orgânicos Voláteis Biogênicos Emitidos a Partir de Vegetação e seu Papel no Ozônio Troposférico Urbano. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC, 2010.

SERRANO-TREPALACIOS, P. I.; RYAN, L.; SPENGLER, J. D. Ambient indoor and personal exposure relationships of volatile organic compounds in Mexico City Metropolitan Area. Article in Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology (2004). Harvard University, Boston, 2004.

STRANGER, M.; POTGIETER-VERMAAK, S. S.; VAN GRIEKEN, R. Comparative overview of indoor air quality in Antwerp, Belgium. Environment International, vol. 33, 789-797, 2007.

SILVA, E. J.; LIMA, M. G.; MARZIALE, M. P. P. O conceito de risco e seus efeitos simbólicos nos acidentes com instrumentos perfurocortantes. Revista Brasileira de Enfermagem, vol. 65, 809 – 814, 2012.

THADE - Towards Healthy Air in Dwellings in Europe. The THADE Report. European Federation of Allergy and Airways Diseases Patients Associations, 2006

VIEIRA, S. I. Manual de Saúde e Segurança do Trabalho. 2ª ed., Editora: LTr, São Paulo, 2008.

TRIGUEROS, D. E. G. Avaliação da Cinética de Biodegradação dos Compostos Tóxicos: Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, Xileno (BTEX) e Fenol. Programa de Pós-graduação em Engenharia Química – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Toledo-PR, 2008

UNIÃO EUROPEIA (EU). Diário Oficial de las Comunidades Europeas. DIRECTIVA 2000/69/CEDO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 16 de novembro de 2000 sobre os valores limite para o benzeno e o monóxido de carbono no ar ambiente. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2000:313:0012:0021:RES:PDF>. Acesso em março de 2015.

USEPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. Guidelines for Carcinogen Risk Assessment. Washington, DC, 2005.

USEPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. Risk Assessment Guidance for Superfund, Volume I. Disponível em: <http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/ragas/>. Acesso em dezembro de 2014.

USEPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. Indoor Air Quality (IAQ). Disponível em: <http://www.epa.gov/iaq.html>. Acesso em maio de 2015.

USEPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. Health Effects Notebook for Hazardous Air Pollutants. Disponível em: <http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/hapintro.html>. Acesso em março de 2015b.

ZAPPAROLI, A. S.; MARZIALE, M. H. P. Risco ocupacional em unidades de suporte básico e avançado de vida em emergências. Revista Brasileira de Enfermagem, vol. 59, 41 – 46, 2006.