

X-019 - COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS: QUALIDADE DO AR EM AMBIENTE INTERIOR E EXTERIOR DE UMA ESCOLA NO MUNICÍPIO DE AMERICANA - SP

Lúcia Ariele Lúcio⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental pelo Centro Universitário Salesiano de São Paulo – UNISAL.

Ana Claudia Camargo de Lima Tresmondi

Engenheira Química. Doutora. Docente dos cursos de Engenharia Ambiental - UNISAL e Engenharia Ambiental - UNIPINHAL. Pesquisadora colaboradora da Faculdade de Engenharia Química da UNICAMP.

José Arnaldo Duarte

Tecnólogo em Obras de Solo pela Universidade Estadual de Campinas. Graduando em Engenharia Ambiental pelo Centro Universitário Salesiano de São Paulo – UNISAL.

Edson Tomaz

Engenheiro Químico. Doutor. Docente da Faculdade de Engenharia Química (FEQ) da UNICAMP e coordenador do Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologias Ambientais (LPDTA-FEQ-UNICAMP).

Eliana Aparecida Henriques Marqui

Química do LPDTA-FEQ-UNICAMP.

Endereço⁽¹⁾: Rua dos Jambeiros, 265 - Jardim São Pedro - Americana – SP – CEP 13466-470 - Brasil - Tel: (19) 34071124 - e-mail: lucia.arielle@gmail.com

RESUMO

A poluição do ar interior tem recebido crescente atenção nos últimos anos, devido à Síndrome dos Edifícios Doentes ou a outros sintomas associados, sendo que as concentrações de certos compostos são em geral superiores às encontradas em ambientes externos. Algumas fontes de emissão de agentes químicos em ambientes interiores são combustão, máquinas copiadoras, materiais de limpeza, inseticidas, materiais usados na construção e nos móveis, sendo que a maior parte destas emite compostos orgânicos voláteis (COV). Poucos são os trabalhos desenvolvidos no Brasil sobre a qualidade de ar em interior e a legislação aborda padrões de qualidade do ar interior apenas para algumas substâncias, dentre as quais se excluem os COV (exceto para higiene ocupacional). Este trabalho teve por objetivo monitorar a concentração de COV selecionados, em ambientes interno e externo de uma escola em Americana-SP. A amostragem foi realizada da forma passiva, em campanhas distintas, com adsorção dos compostos em tubos de aço empacotados com a resina Tenax-TA, os quais ficam expostos ao ambiente interno e à atmosfera num período de dez dias cada campanha. A identificação e quantificação dos compostos foram feitas por dessorção térmica (ATD 400 – Perkin Elmer) e cromatografia gasosa com detecção por ionização em chama. As concentrações registradas em cada campanha variaram em função das características do local e de fatores sazonais e meteorológicos, porém verificou-se que na maior parte dos estudos realizados, os COV encontrados em maiores concentrações foram tolueno, m,p-xileno e o-xileno. No ambiente interno e externo das escolas as concentrações foram próximas, para a grande maioria dos COV, sendo que a relação entre a concentração interior e concentração exterior, (I)/(O), variou de modo geral entre 0,9 e 1,5, com valor médio para todos igual a 1,09. Para BTEX (benzeno, etilbenzeno, tolueno e xilenos) nota-se que as relações I/O são foram próximas à unidade, exceto para etilbenzeno, quando a concentração interior foi sempre inferior à exterior. Exceção foi observada quanto a m,p-xileno e o-xileno, na campanha 1, quando a relação foi aproximadamente igual a 6 e tolueno, nas campanhas 3 e 5, quando a relação foi igual a 2.

PALAVRAS-CHAVE: Compostos orgânicos voláteis, amostragem passiva, poluição atmosférica.

OBJETIVO

Esse trabalho tem por objetivo estudar os compostos orgânicos voláteis no interior e exterior de sala de aula de uma escola no município de Americana-SP, tendo como objetivos específicos a avaliação das concentrações de compostos orgânicos voláteis selecionados no interior (*indoor*) da sala de aula, de forma a avaliar a exposição de funcionários, crianças e jovens que frequentam os locais e a avaliação simultânea das concentrações de

compostos orgânicos voláteis presentes no ar externo (*outdoor*) no mesmo local, de forma a estabelecer a relação entre a concentração interna do poluente (I) e concentração externa do poluente (O) e avaliar possíveis contribuições de fontes de emissão.

INTRODUÇÃO

O aumento da população na área urbana associado ao crescente número de veículos em circulação gera inevitáveis impactos ambientais como a poluição do solo, da água e do ar e encontrar formas de combate à poluição ou até mesmo formas de prevenir tais impactos é um desafio muito grande para a sociedade moderna. A poluição do ar interior tem recebido crescente atenção nos últimos anos, devido à Síndrome dos Edifícios Doentes ou outros sintomas associados (BRICKUS e AQUINO NETO, 1998). Os poluentes ficam confinados em ambientes internos, diferente do que ocorre em ambientes externos, onde os poluentes podem ser dispersos na atmosfera pelas condições meteorológicas.

Estudos relatam que nos Estados Unidos, no final do anos 80, as pessoas passavam 90% de seu tempo em ambientes fechados (U.S. EPA, 1989), estando expostas a diversos contaminantes como microrganismos, particulados, dióxido de carbono e de nitrogênio, ozônio, formaldeído, fumo de tabaco, compostos orgânicos voláteis e semi-voláteis, entre outros.

No Brasil, tornou-se crescente o número de pessoas que permanecem em ambientes fechados durante um grande número de horas, seja por questões de trabalho, estudo ou mesmo lazer, nos dias úteis e até mesmo nos finais de semana.

As principais fontes de poluição em ambientes interiores são as fontes de combustão, incluindo-se cigarros, fogões ou lareiras, os quais liberam subprodutos como monóxido de carbono e material particulado; materiais de limpeza, perfumes e cosméticos, inseticidas, materiais de construção, móveis, tapetes, tintas, entre outros, os quais emitem os compostos orgânicos voláteis (COV); e a contribuição de poluentes presentes no ar externo, inseridos através dos sistemas de ventilação, janelas, portas ou rachaduras nas construções.

Poucos são os trabalhos relacionados à qualidade do ar interior no Brasil (GIODA e AQUINO NETO, 2003). Dados obtidos em países desenvolvidos não podem servir de parâmetros ao Brasil, por causa das diferenças climáticas, arquitetônicas, dos tipos de combustíveis consumidos e fatores sócio-econômicos.

Dessa maneira, é importante que os poluentes em ar interior de locais públicos sejam monitorados em municípios do país, de tal forma que os dados possam ser utilizados pelas administrações e autoridades competentes, viabilizando a avaliação da potencialidade dos riscos à saúde da população exposta e a tomada de ações corretivas em prol da diminuição da exposição aos poluentes.

Americana é um município localizado na Região Metropolitana de Campinas, distante 30 km do município de Campinas. Localiza-se a 22°44'20''S e 47°19'51''O, no centro-oeste do Estado de São Paulo, região Sudeste do Brasil. Possui área de 133.630 km², altitude de 545m e clima tropical, com temperatura média mínima de 15,3°C e máxima de 28,2°C. A população é de 205.473 habitantes, sendo 99,5% população urbana e 0,5% população rural (PREFEITURA MUNICIPAL DE AMERICANA, 2010).

O município possui 38 escolas estaduais de ensino fundamental e médio, um centro estadual de ensino supletivo (CEESA), um centro estadual de educação tecnológica (Centro Paula Souza – ETEPA Polivalente), duas escolas municipais de ensino fundamental (EMEF), 31 escolas municipais de ensino infantil (EMEI), quatro centros integrados de educação pública (CIEP), um centro de atendimento integrado à comunidade (CAIC), doze creches, quatro casas de ensino infantil integrado (Casa da Criança), nove escolas privadas de ensino fundamental e médio, 35 escolas privadas de educação infantil, duas escolas privadas de educação especial, onze escolas técnicas profissionalizantes e quatro escolas de ensino superior.

Em Americana, o principal problema de qualidade do ar é ozônio troposférico (CETESB, 2010) e os COV são precursores do ozônio, o que justifica a importância de se obter um maior conhecimento de suas concentrações, associando-as se possível às possíveis fontes, de forma a minimizar os impactos negativos dos mesmos.

MATERIAIS E MÉTODOS

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE AMOSTRAGEM

A área de estudo localiza-se no município de Americana-SP, pertencente à RMC (Região Metropolitana de Americana, localizada na região oeste do Estado de São Paulo. Tal qual a maioria dos municípios brasileiros, apresenta problemas relativos ao crescimento da frota veicular, principalmente quando se observa que a cidade possui um dos maiores índices de carro per capita do Estado (SETRANSV – Secretaria de Transportes e Sistema Viário). Encontra-se em avançado estágio de conurbação com os municípios de Nova Odessa e Santa Bárbara d'Oeste. Além da frota de veículos cadastrada no município, conta com significativo impacto decorrente da frota flutuante.

A cidade torna-se um grande pólo de atração de trânsito, pois além de ser servida por uma excelente malha viária formada pelas rodovias Anhanguera (SP – 330), Rodovia Luiz de Queiróz (SP – 304) e Rodovia dos Bandeirantes, possui localização estratégica na RMC; inúmeros atrativos (comércio diversificado, parque industrial considerável); várias faculdades e instituições de ensino profissionalizante; cinco hospitais e uma rede de saúde que atende toda a região, dentre outros. Este panorama potencializa a tendência de aumento do número de veículos que trafegam pelas ruas da cidade, podendo ser fator relevante para o agravamento da poluição atmosférica, representando assim as fontes de emissões móveis.

Especificamente com relação à área de estudo onde se encontra a escola monitorada, localiza-se na região sudoeste do município, no Bairro Cidade Jardim, que pertence a um aglomerado de bairros na AP 10 (Área de Planejamento 10) da Prefeitura de Americana, denominada Região da Cidade Jardim. O sistema viário principal é composto pela Rodovia SP 304 (Rodovia Luiz de Queiroz), pela Avenida de Cillo, Avenida Gioconda Cibir, Avenida Prefeito Abdo Najar, Rua D. Pedro II/Estrada de ligação Americana - Nova Odessa. Para a caracterização do entorno, considerou-se um raio de 2 km a partir da escola, onde foi constatado que o limite abrange terras do município de Nova Odessa e de Santa Bárbara D'Oeste. A área caracterizada é predominantemente residencial, sendo que ao longo das avenidas citadas se concentram as atividades comerciais e de prestação de serviços como, por exemplo, supermercados, bancos, postos de combustíveis (sendo que o mais próximo da escola está a 360m de distância), serralherias, oficinas mecânicas, funilarias, borracharias, bares, restaurantes, hotéis, farmácias, igrejas, escolas, consultórios, escritórios, imobiliárias, lojas e outros. Na área de estudo cujos limites abrangem terras das cidades de Nova Odessa e de Santa Bárbara D'Oeste, encontram-se na porção que inclui o território de Nova Odessa áreas de cultivo de cana de açúcar, e um distrito Industrial, que fica a aproximadamente 1,7 km da escola. Neste distrito industrial encontram-se empresas com atividades no ramo de tecelagem, tinturaria, estamparia, metalurgia que utilizam caldeiras nos processos industriais, contribuindo assim com emissões de poluentes e de material particulado, representando assim as fontes fixas de emissões. Na porção que inclui o território de Santa Bárbara D'Oeste, encontramos apenas pastagens e áreas de cultivo de cana de açúcar.

A Figura 1 apresenta a área do entorno da escola envolvida na pesquisa.



Figura 1. Entorno caracterizado da Escola amostrada.

Fonte: Google Earth. Acesso em Novembro de 2010.

ESCOLHA DO LOCAL DE AMOSTRAGEM

Foram pré-selecionadas escolas públicas de ensino básico e fundamental (basicamente escolas de primeiro a sexto ano), por se tratarem de escolas em que os alunos, crianças e pré-adolescentes na sua maioria, permanecem em tempo integral (cerca de seis horas por dia) em ambiente fechado (sala de aula).

Dentre as escolas que cederam autorização para a realização das campanhas, foi selecionada a que apresentava melhores condições de acesso para colocação e retirada dos amostradores, em um bairro potencialmente impactado, pelo número de fontes ao redor (Figura 1).

AValiação DAS POSSÍVEIS FONTES DE EMISSÃO

Foi aplicado um questionário no local de amostragem no início da primeira campanha, a fim de estabelecer e identificar as possíveis fontes de emissão dos COV, e, ao longo do ano, foram verificadas possíveis alterações da situação inicial. O questionário era composto das seguintes questões:

- 1) Houve reforma ou construção recentemente no local?
- 2) Houve reforma ou construção no período da amostragem?
- 3) Houve aquisição de novos móveis?
- 4) Qual a composição dos móveis?
- 5) Qual a tinta utilizada na pintura da sala de aula?
- 6) Quais são os produtos de limpeza utilizados?
- 7) Quais foram os materiais utilizados em aula durante a campanha (colas, fitas adesivas, lápis coloridos, etc)?
- 8) Qual o tipo de ventilação do local?

AMOSTRAGEM

As amostragens foram feitas por meio de amostragem passiva, método no qual o adsorvente é exposto à atmosfera sem o bombeamento do ar, por um determinado período de tempo, onde os analitos são adsorvidos a uma taxa controlada por difusão molecular. (RODRIGUES et al, 2007).

Foram realizadas cinco campanhas de monitoramento, sendo que em cada campanha foi utilizado um amostrador branco de campo e foram colocados dois amostradores no ambiente interno e dois amostradores no ambiente externo.

Os amostradores foram deixados no local por um período de dez dias em cada campanha, com exceção da terceira, cujos tubos foram deixados no local por um período de treze dias, devido a um feriado prolongado, impossibilitando a retirada dos tubos.

Como amostradores, foram utilizados tubos de aço inoxidável, da Perkin Elmer, em tamanho padrão, de 6 mm de diâmetro externo, 5 mm de diâmetro interno e 89 mm de comprimento, com 1,5 cm de distância entre a entrada do tubo e a superfície do adsorvente, empacotados com 200mg de adsorvente resina Tenax-TA (óxido de 2,6 difenileno), apropriada para a coleta de compostos orgânicos apolares, utilizada para adsorção de compostos na faixa de C_7 a C_{26} . Um tubo de aço Perkin Elmer é apresentado na Figura 2.



Figura 2. Tubo de aço Perkin Elmer usado nas amostragens.

Os amostradores foram transportados aos locais de amostragens acondicionados em recipientes fechados contendo carvão ativado granular, envoltos em papel alumínio.

A Figura 3 (a) apresenta os amostradores instalados no ambiente interior (sala de aula). No ambiente externo, figura 3 (b), utilizou-se dois tubos, da mesma forma que no procedimento interno e as tampas metálicas ficaram voltadas para baixo, visando evitar a entrada de água em caso de chuvas.



Figura 3. (a) Tubos amostradores instalados dentro da sala de aula. (b) Tubos amostradores instalados fora da sala de aula

Após o tempo indicado, os tubos foram retirados dos locais onde estavam afixados. As tampas metálicas foram substituídas pelas tampas de teflon. Os tubos foram envoltos por papel alumínio, acondicionados em recipiente fechado e levados para análise em laboratório.

MÉTODO ANALÍTICO

As amostras foram analisadas no Laboratório de Pesquisas e Desenvolvimento de Tecnologias Ambientais (LPDTA) da Faculdade de Engenharia Química da Unicamp, em um sistema de dessorção térmica Perkin Elmer ATD 400 acoplado a um cromatógrafo gasoso com detector de ionização em chama.

A coluna analítica utilizada foi uma coluna capilar NST-01 (60m x 0,25mm de diâmetro interno x 0,20µm de espessura do filme). Os tubos foram dessorvidos a 300°C por 15 minutos e pré-concentrados em um *trap* contendo Tenax TA mantido a -30°C. O *trap* é então rapidamente aquecido e os analitos são injetados no cromatógrafo gasoso. A temperatura do detector foi igual a 250°C. A Tabela 1 apresenta as condições usadas na análise.

Tabela 1. Condições de análise em cromatografia gasosa.

	Taxa (°C.min ⁻¹)	Temperatura T (°C)	Tempo de espera (min)
Inicial		35	13
Passo 1	2,0	60	10
Passo 2	1,5	80	5
Passo 3	7,0	100	10

A Figura 4 apresenta um cromatograma típico, obtido a partir das análises cromatográficas. Para identificação das substâncias presentes, a partir dos cromatogramas resultantes, foi avaliado o tempo de retenção e a posição relativa entre as diferenças substâncias para averiguação entre substância identificada pelo software e a sua real posição no cromatograma.

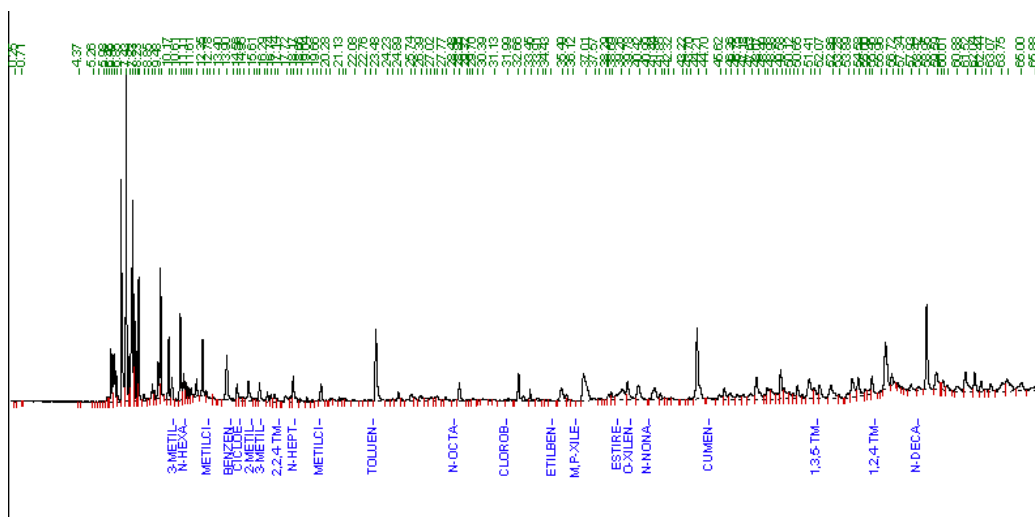


Figura 4. Cromatograma obtido com a amostragem de ar interior

Os dados do monitoramento foram tratados a partir dos resultados, da taxa de amostragem e do tempo de exposição.

A massa obtida para cada composto foi convertida em concentração, através da equação (1):

$$C_1 = \frac{(m_{pi} - m_{bi})}{t \cdot U_{ti}} \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

C_i = concentração de cada substância i (ppm);

m_{pi} = massa adsorvida da substância i na amostragem passiva no tubo (ng);

m_{bi} = massa adsorvida da substância i na amostragem passiva no branco de campo (ng);

t = tempo de amostragem (min);

U_{ii} = taxa de amostragem de cada substância i para um determinado tempo t de exposição (ng. ppm⁻¹ min⁻¹).

Os valores das taxas de amostragens (U , uptake rate) para as substâncias foram obtidos do trabalho de Albuquerque (2007) e são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Taxas de amostragem (U) de COV (ng ppm⁻¹ min⁻¹)

Composto	U para 10 dias (ng ppm ⁻¹ min ⁻¹)
3-metilpentano	0,96
n-hexano	1,23
metilciclopentano	1,11
benzeno	2,75
cicloexano	1,04
2-metilhexano	1,26
3-metilhexano	0,73
n-heptano	1,28
metilciclohexano	1,53
tolueno	0,90
n-octano	1,87
etilbenzeno	1,56
m,p-xileno	1,39
estireno	1,28
o-xileno	1,05
1,3,5-TMB	1,38
1,2,4-TMB	2,35
n-decano	2,30

Fonte: Albuquerque (2007)

RESULTADOS E DISCUSSÕES

AVALIAÇÃO DAS POSSÍVEIS FONTES DE EMISSÃO

A Tabela 3 apresenta os resultados para o questionário aplicado.

Tabela 3. Dados obtidos no questionário aplicado nos locais de amostragem.

	Questão 1	Questão 2	Questão 3	Questão 4	Questão 5	Questão 6	Questão 7	Questão 8
Campanha 1	não	não	sim	madeira/aço	óleo	detergentes, desinfetantes, álcool limpadores multiuso	Cola, lápis de cor, giz de cera, papéis coloridos	Natural/ventiladores
Campanha 2	não	não	sim	madeira/aço	óleo	detergentes, desinfetantes, álcool limpadores multiuso	Cola, lápis de cor, giz de cera, papéis coloridos	Natural/ventiladores
Campanha 3	não	não	não	madeira/aço	óleo	detergentes, desinfetantes, álcool limpadores multiuso	Cola, lápis de cor, giz de cera, papéis coloridos	Natural/ventiladores
Campanha 4	não	não	não	madeira/aço	óleo	detergentes, desinfetantes, álcool limpadores multiuso	Cola, lápis de cor, giz de cera, papéis coloridos	Natural/ventiladores
Campanha 5	não	não	não	madeira/aço	óleo	detergentes, desinfetantes, álcool limpadores multiuso	Cola, lápis de cor, giz de cera, papéis coloridos	Natural/ventiladores

As salas de aula da escola receberam novos móveis da prefeitura (por se tratar de escola municipal), sendo carteiras e armários em mdf e aço, pintados com tintas de cor branca e laranja, cuja troca aconteceu entre as 2ª e 3ª amostragens e os entrevistados não souberam dizer que tipo de tinta foi utilizada na pintura dos móveis. Todas as salas de aula que foram amostradas possuem tintura na parede, que apresenta-se como uma tinta brilhante, aparentemente tinta a óleo. Basicamente são usados os mesmos tipos de produtos para a limpeza e higienização no local, como detergentes, desinfetantes, limpadores multiuso, álcool e água. Os alunos utilizam semanalmente materiais para artes, como papéis coloridos, tinta guache, cola branca, EVA, lápis de cor, giz de cera, papel crepom, pós de brilho, como gliter e purpurinas, além do material escolar básico. Todas as salas possuem ventiladores e a ventilação natural é provida de portas e janelas, que permaneceram abertas a maior parte do tempo.

CONCENTRAÇÕES DOS COMPOSTOS EM AMBIENTE INTERIOR E EXTERIOR

A Tabela 4 apresenta as concentrações, em ppb, dos principais compostos analisados, no ambiente interior *indoor* (I) e no ambiente exterior *outdoor* (O) das salas de aula da escola amostrada. As campanhas de amostragem foram realizadas nos seguintes períodos ao longo do ano de 2010: 19 a 29/03 (campanha 1), 23/04 a 03/05 (campanha 2), 25/05 a 07/06 (campanha 3), 11 a 21/06 (campanha 4) e 13 a 23/08 (campanha 5). Nota-se que nas campanhas 3, 4 e 5 as concentrações foram mais elevadas, de modo geral, do que nas campanhas 1 e 2. As campanhas 3 a 5 foram realizadas no fim do outono e no inverno, com condições mais desfavoráveis para a dispersão dos poluentes e com menor precipitação no estado de São Paulo. Soma-se a isto a época de colheita da cana-de-açúcar (a partir de maio), com a queimada para colheita manual em alguns locais. Esses fatores poderiam explicar parcialmente as concentrações mais elevadas, uma vez que para a grande maioria dos poluentes atmosféricos as concentrações são mais elevadas no outono e inverno nessa região (CETESB, 2010).

Tabela 4. Concentrações em ppb dos compostos analisados.

Compostos	Campanha 1		Campanha 2		Campanha 3		Campanha 4		Campanha 5	
	(I)	(O)	(I)	(O)	(I)	(O)	(I)	(O)	(I)	(O)
3-metilpentano	0,68	0,57	0,57	0,41	6,11	4,05	8,19	8,51	9,25	4,46
n-hexano	0,14	0,14	0,19	0,13	1,69	2,36	1,71	1,81	1,36	3,48
metilciclopentano	0,17	0,28	0,22	0,24	3,33	5,09	4,08	3,59	4,06	8,99
benzeno	0,44	0,43	0,43	0,48	6,60	6,92	10,92	11,28	7,52	6,00
cicloexano	0,20	0,21	0,19	0,15	6,44	3,65	4,39	4,36	3,37	2,47
2-metilhexano	0,16	0,11	0,07	0,07	2,01	4,93	4,70	4,06	1,81	4,48
3-metilhexano	0,46	0,51	0,37	0,36	7,63	5,33	5,89	8,86	7,59	6,04
n-heptano	0,37	0,43	0,25	0,26	4,19	4,30	6,77	8,09	4,80	3,34
metilciclohexano	0,34	0,39	0,19	0,20	2,68	38,46	4,18	4,60	3,00	18,37
Tolueno	4,40	4,32	3,87	3,50	61,19	30,74	78,17	86,12	40,17	18,14
etilbenzeno	0,70	1,95	0,54	0,57	15,92	21,89	10,45	11,41	6,75	11,24
m,p-xileno	1,88	0,30	1,42	1,45	28,08	18,19	10,98	14,19	6,70	12,99
Estireno	0,42	1,03	0,28	0,27	5,80	13,14	8,17	6,10	6,87	3,50
o-xileno	0,97	0,15	0,62	0,65	13,80	19,07	14,62	19,70	7,28	7,76
1,3,5-TMB	0,44	0,68	0,23	0,19	2,88	6,46	4,71	5,05	4,02	3,90
1,2,4-TMB	0,28	ND	0,39	0,25	4,09	2,86	6,05	0,90	8,10	5,10

ND= não determinado

Nota-se pela Tabela 4 que as maiores concentrações no ar interior foram benzeno, tolueno, m,p-xileno e o-xileno e no ar exterior foram tolueno, m,p-xileno e etilbenzeno e na campanha 4 foi obtida a maior concentração de tolueno (concentração média de 86,12 ppb no ambiente externo).

Em função de fatores sazonais e meteorológicos, as concentrações variaram, porém os compostos que apareceram em maiores concentrações (não necessariamente nessa mesma ordem) foram o tolueno, etilbenzeno, m,p-xileno e o-xileno, o que indica possíveis fontes de combustão de combustíveis fósseis ou emissões evaporativas dos mesmos, em veículos ou em tanques de armazenamento.

Foi identificado benzeno em todas as campanhas realizadas, substância comprovadamente carcinogênica. Não são estabelecidos limites de tolerância para exposição ocupacional para benzeno e seu limite de percepção odorífera é de 4,68 ppm (Tresmondi, 2010).

Considerando-se que a escola recebeu novos móveis da Prefeitura Municipal, acredita-se que as fontes de emissão interna dos isômeros do xileno sejam providas de materiais de limpeza, da madeira nova processada e das tintas e vernizes que foram usados na fabricação dos móveis, pois isômeros de xileno são amplamente utilizados como agentes de limpeza, bem como diluentes de tintas e vernizes e em trabalhos de transformação da madeira (ECO-USA, 2010). No ar exterior, acredita-se que as emissões dos isômeros do xileno são providas de combustão em fontes industriais e em veículos automotores. O limite de percepção odorífera varia de 0,8 a 3,7 ppm e pode prejudicar a saúde causando irritação da pele, olhos, nariz e garganta, dificuldade em respirar, disfunção dos pulmões, atraso da resposta a um estímulo visual, memória prejudicada, desconforto no estômago, e possíveis alterações no fígado e nos rins (ECO-USA, 2010).

A substância encontrada com maior concentração foi o tolueno, o qual apresenta limite de percepção odorífera de 0,17 ppm (CETESB, 2010). Acredita-se que as concentrações no ambiente interior sejam providas principalmente do ar externo, pois o tolueno está presente na gasolina e em solventes de combustíveis automotivos e, segundo Foster et al. (1994), grandes quantidades de tolueno são introduzidas no ambiente anualmente através do uso da gasolina, porém são intensificadas pelos produtos de limpeza utilizados na higienização dos ambientes e nas colas utilizadas nas atividades dos alunos, pois o tolueno também está presente na cola, agentes de limpeza e solventes. Não há padrões nacionais de qualidade do ar para essas substâncias (ambiente externo e interno), apenas com foco em ambiente de trabalho. A legislação nacional (NR15) estabelece como limites de tolerância para concentração média em exposição ocupacional (48h semanais) o valor de 78 ppm, enquanto o valor teto é de 117 ppm. As concentrações médias no interior das escolas (no período de 10 dias) foram muito inferiores ao padrão apesar de não se tratar da mesma situação, uma vez que as crianças não permanecem esse período no ambiente. A NIOSH estabelece a concentração

média (40h semanais) igual a 100 ppm, com valor teto de 150 ppm, enquanto a OSHA estabelece a concentração média de 200 ppm para não ser excedida em 8h, com teto de 300 ppm (Tresmondi et al., 2010).

RELAÇÕES I/O

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos das relações I/O de cada composto analisado em campanha de monitoramento.

Tabela 5. Relações I/O nas campanhas 1 a 5.

Compostos	Campanha 1	Campanha 2	Campanha 3	Campanha 4	Campanha 5
3-metilpentano	1,19	1,40	1,50	0,96	2,07
n-hexano	1,00	1,41	0,71	0,94	0,39
metilciclopentano	0,60	0,92	0,65	1,13	0,45
benzeno	1,03	0,90	0,95	0,96	1,25
ciclohexano	0,97	1,26	1,76	1,00	1,36
2-metilhexano	1,55	1,03	0,40	1,15	0,40
3-metilhexano	0,90	1,02	1,43	0,66	1,25
n-heptano	0,86	0,92	0,97	0,83	1,43
metilciclohexano	0,87	0,97	0,06	0,90	0,16
Tolueno	1,01	1,10	1,99	0,90	2,21
etilbenzeno	0,35	0,96	0,72	0,91	0,60
m,p-xileno	6,22	0,97	1,54	0,77	0,51
estireno	0,41	1,02	0,44	1,33	1,96
o-xileno	6,35	0,94	0,72	0,74	0,93
1,3,5-TMB	0,64	1,22	0,44	0,93	1,03
1,2,4-TMB	0,00	1,58	1,43	6,71	1,58

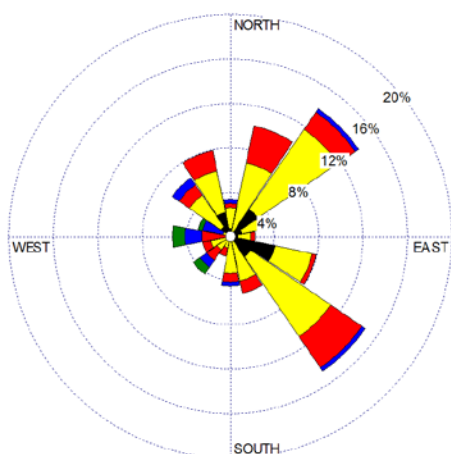
Nota-se pela Tabela 5 que a relação média para a campanha 1 foi de 1,50; para a campanha 2 de 1,10; para a campanha 3 de 0,98; para a campanha 4 de 1,30 e para campanha 5 de 1,95. A relação máxima foi de 6,71 na campanha 4 para 1,2,4-TMB e a mínima de 0,16 para metilciclohexano na campanha 5. Ressalta-se ainda as elevadas relações para m,p-xileno (6,22) e o-xileno (6,35) na campanha 1, indicando possíveis fontes internas.

Com relação às relações I/O, embora haja casos em que a concentração de poluentes externa seja maior do que a concentração interna, a média geral foi de 1,09, o que indica que, de modo geral, não há fontes específicas no ambiente interno dessa escola. Isso pode ser explicado pela intrusão de ar externo no interior da sala de aula, uma vez que a mesma permanece com janelas abertas grande parte do período.

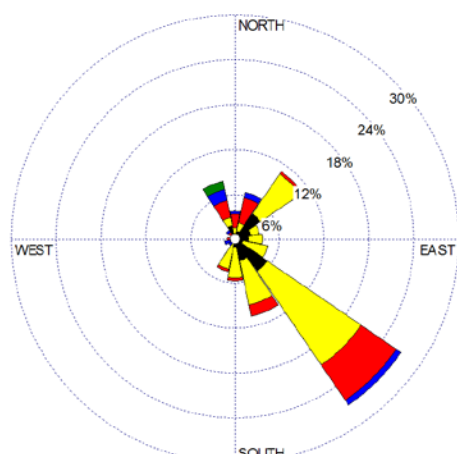
Esses resultados diferem dos encontrados por Tresmondi et al (2010), no interior de uma residência em Americana, quando possíveis fontes específicas internas (fumantes, combustão em fogão, dentre outras) resultaram em uma relação média I/O igual a 4.

As Figuras 5a e 5b, 6a e 6b e 7 apresentam as rosas dos ventos de cada campanha realizada, com dados meteorológicos obtidos da estação da CETESB em Americana, os quais são disponibilizados em seu sítio.

Pela Figura 5a e 5b nota-se uma predominância dos ventos de sudeste e nordeste. Na campanha 1 em cerca de apenas 3% dos casos há ocorrência de ventos de calmaria (0,5 a 1,5 m/s), enquanto que na campanha 2 a ocorrência de calmaria é de 5%.



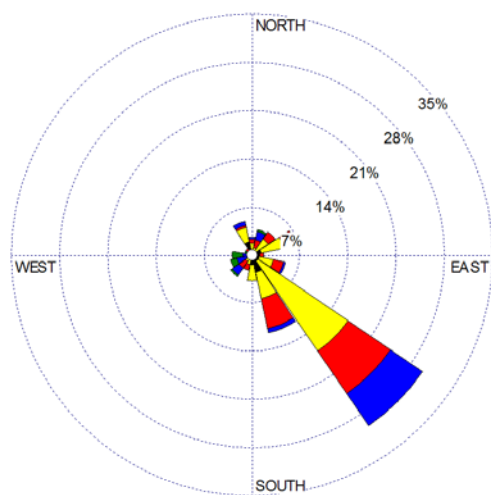
(a)



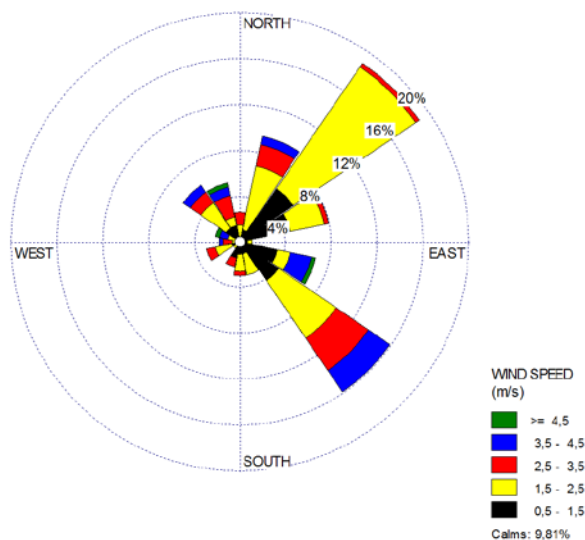
(b)

Figura 5. (a) Rosa dos ventos campanha 1 (b) Rosa dos ventos da campanha 2

Na Figura 6a, correspondente ao período da campanha 3, nota-se uma predominância dos ventos de sudeste, sendo aproximadamente 30% das ocorrências, e apenas 7% de ventos de nordeste. Em 10% das ocorrências houve calmaria. Na figura 6b nota-se 19% de ventos de nordeste e 16% de ventos de sudeste, com aproximadamente 10% de calmaria.



(a)



(b)

Figura 6. (a) Rosa dos ventos campanha 3 (b) Rosa dos ventos da campanha 4

Na figura 7, correspondente ao período da campanha 5, nota-se uma predominância dos ventos de sudeste, sendo aproximadamente 27% das ocorrências. Em cerca de 13% dos casos há ocorrência de calmaria (0,5 a 1,5 m/s).

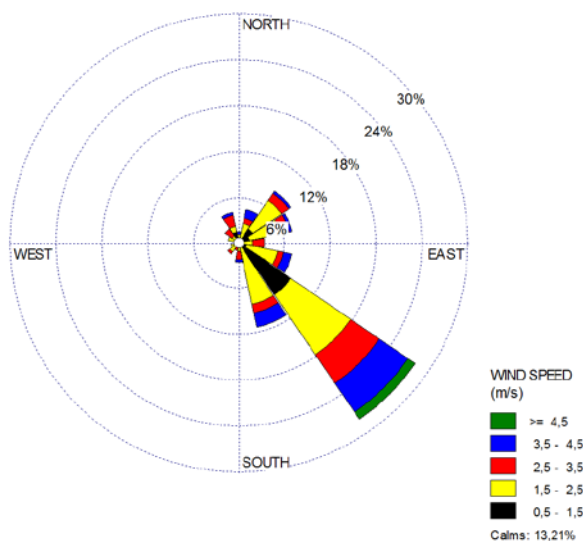


Figura 7. Rosa dos ventos campanha 5

Considerando-se a localização da escola e as rosas dos ventos nota-se que há influência das avenidas, em especial SP-304, com tráfego de aproximadamente 2.350 veículos. h^{-1} , considerando-se os ventos de nordeste; a influência das indústrias, considerando-se os ventos de sudeste, e as emissões dos veículos da Avenida Cillo (fluxo de 1.600 veículos. h^{-1}) considerando-se a proximidade da mesma à escola, além das emissões evaporativas dos postos de comercialização de combustíveis nas adjacências, conforme pode-se notar na figura 1. Além disso, nas campanhas 3, 4 e 5 os eventos de calmaria foram duas a três vezes superiores aos eventos das campanhas 1 e 2, o que pode resultar em maior influência das fontes próximas no local de monitoramento.

CONCLUSÕES

Avaliando-se as respostas das questões aplicadas no local de amostragem, conclui-se que existem diversas fontes de emissões dos compostos orgânicos voláteis no interior da escola, porém ao se verificar a posição da mesma no bairro e a distância das avenidas e indústrias, as fontes externas são igualmente ou mais importantes do ponto de vista de potenciais impactos.

Na maior parte dos casos, as concentrações no ambiente interior são iguais ou ligeiramente superiores às do ambiente exterior.

Acredita-se que boa parte das concentrações internas e externas de COV são providas de fontes de combustão externas (veículos em especial), uma vez que estão relacionadas às concentrações elevadas de substâncias associadas à queima de combustíveis fósseis (BTEX). Exceção aplica-se a xilenos e tolueno em alguns eventos isolados.

Pesquisas semelhantes poderiam ser realizadas em escolas com ambientes climatizados de forma aos dados serem utilizados pelas administrações e autoridades competentes para a avaliação da potencialidade dos riscos à saúde da população exposta, bem como para a elaboração de padrões para a legislação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALBUQUERQUE, E. L. Compostos orgânicos voláteis na atmosfera urbana da região metropolitana de São Paulo. Campinas. Universidade Estadual de Campinas. 2007. Tese (Doutorado). 2v.
2. BRICKUS, L.S.R.; AQUINO NETO, F.R. A qualidade de ar interiores e a química. Química Nova. v. 22, p. 65-74, 1999
3. CETESB. Relatório de Qualidade de Ar no Estado de São Paulo 2009. 290 p. [recurso eletrônico] / CETESB-- São Paulo: CETESB, 2010 Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/publicacoes.asp>>. Acesso em 03/08/2010.
4. CETESB. Ficha de Informações de Produtos Químicos, 2010. Disponível na internet: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Emergencia/produtos/produto_consulta_nome.asp>. Acesso em julho de 2010
5. ECO-USA. Xilenos. Disponível em: <<http://www.eco-usa.net/toxics/quimicos-p/xileno.shtml>>. Acesso em novembro de 2010. 2010.
6. FOSTER, L. M. K., TANNHAUSER, M., TANNHAUSER, S. L. Toxicologia do Tolueno: Aspectos relacionados ao Abuso. Rev. Saúde Pública, v.28, nº2, p.167-172, 1994.
7. GIODA, A.; AQUINO NETO, F. R. Poluição química relacionada ao ar de interiores no Brasil. Química Nova, v.26, nº3, p. 359-365, 2003.
8. GIODA, A.; AQUINO NETO, F. R. Exposure to high levels of volatile organic compounds and other pollutants in a printing facility in Rio de Janeiro, Brazil. Indoor Built Environment, v.11, p. 302-311, 2002.
9. PREFEITURA MUNICIPAL DE AMERICANA. Disponível em: <<http://www.americana-sp.org.br>>. Acesso em março. 2010.
10. TRESMONDI, A. C. L. L., UEDA, A. C., TOMAZ, E., MARQUI, E. A., BEPPU, L. Concentrações Exterior e Interior de Compostos Orgânicos Voláteis em Uma Residência em Americana – SP. Anais do VIII COBEQ, Congresso Brasileiro de Engenharia Química, p. 793-801, 2010.
11. U. S. EPA – Environmental Protection Agency, Report to Congress on indoor air quality: Volume 2. EPA/400/1-89/001C. Washington, DC. 1989. Disponível em: <<http://www.epa.gov/iaq/pubs/hpguide.html>>. Acesso em março. 2010.