



CAPTAR
ciência e ambiente para todos

volume 13 • 2024 • art. 6

Estudo exploratório de poluentes gasosos em escolas primárias de Luanda

Em várias salas de aula e nos pátios exteriores de quatro escolas primárias de Luanda foi realizado um estudo preliminar envolvendo a monitorização por métodos passivos de vários poluentes gasosos: benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX), ozono (O_3), dióxido de azoto (NO_2) e compostos de carbonilo. As concentrações registadas não excederam os limites de exposição e padrões de qualidade do ar estabelecidos por organismos internacionais. Os valores de NO_2 observados nas salas foram muito próximos dos obtidos no exterior, enquanto os de BTEX no interior excederam ligeiramente os registados nos pátios. Estes compostos tiveram origem maioritariamente nas emissões do tráfego rodoviário. Os níveis de O_3 nas salas de aula foram, em média, 2,3 vezes inferiores aos do exterior. Para a generalidade dos compostos de carbonilo, as concentrações nas salas de aula foram 1,8 a 3,8 mais elevadas do que as medidas nos pátios, sugerindo a presença de fontes de emissão ativas no interior. O butiraldeído, formaldeído e hexaldeído foram os compostos de carbonilo mais abundantes. Enquanto os níveis de BTEX, O_3 e NO_2 em Luanda se situaram nos intervalos reportados para escolas de países europeus, as concentrações de formaldeído nos estabelecimentos de ensino da capital angolana foram mais baixas, refletindo as melhores condições de ventilação natural, com aberturas frequentes de portas e janelas, propiciadas por um clima mais ameno.

Palavras-chave

escolas
Luanda
BTEX
ozono
dióxido de azoto
compostos de carbonilo

Célia Alves^{1*}

Yago Cipoli¹

Estela Vicente¹

Joaquim Ituamba²

Anabela Leitão²

¹ Departamento de Ambiente e Ordenamento, Centro de Estudos do Ambiente e do Mar, Universidade de Aveiro, Portugal.

² Laboratório de Engenharia da Separação, Reação e Ambiente, Universidade Agostinho Neto, Avenida Ho Chi Minh n° 201, Luanda, Angola.

* celia.alves@ua.pt

ISSN 1647-323X

Artigo em acesso aberto sob [licença CC-BY](#)

© 2024 Autores



INTRODUÇÃO

Na África subsaariana, a taxa de mortalidade por poluição atmosférica é de 155 mortes por 100 mil pessoas, quase o dobro da média mundial (HEI, 2020). As crianças são um dos grupos mais vulneráveis à poluição do ar por possuírem um sistema respiratório, nervoso e imunológico ainda em desenvolvimento e inalarem maiores volumes de ar por unidade de massa corporal quando comparadas com os adultos (EEA, 2023). As crianças em idade escolar passam uma grande parte do seu tempo em microambientes confinados, como as salas de aula, onde os níveis de poluentes atmosféricos podem ser significativamente mais altos do que os registados no exterior (Pegas et al., 2011a,b; Rivas et al., 2014). Uma má qualidade do ar pode afetar negativamente o desempenho escolar, contribuindo para o défice de atenção e o absentismo, sobretudo por doenças do foro respiratório, como a asma (Sadrizadeh et al., 2022). A poluição do ar interior e exterior afeta milhões de crianças em idade escolar em África e noutras regiões de baixos rendimentos. África tem a população mais jovem do mundo, com 40% dos seus habitantes com idades compreendidas entre os 0 e os 15 anos, em comparação com a média mundial de 26% (UN, 2022). No entanto, a qualidade do ar em ambiente escolar é praticamente desconhecida na maioria dos países africanos. Os escassos estudos de monitorização focaram essencialmente material particulado atmosférico com diâmetro aerodinâmico inferior a 2,5 e 10 μm ($\text{PM}_{2,5}$ e PM_{10} , respetivamente) em escolas de Kigali, Rwanda (Kalisa et al., 2023), Tiaret, Argélia (Khadidja et al., 2019), Akwa Ibom, Nigéria (Ite et al., 2019), Nairobi, Quênia (deSouza et al., 2019; Were et al., 2020) e nas cidades sul africanas de Durban (Reddy et al., 2012; Naidoo et al., 2013) e Gauteng (Nkosi et al., 2017). Poluentes gasosos, como o NO_2 , NO e SO_2 , foram medidos com dispositivos eletrónicos de baixo custo apenas em 4 escolas de Nairobi (deSouza et al., 2017). Tanto quanto sabemos, vários outros poluentes com possíveis efeitos na saúde, como o benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos, conhecidos como BTEX, ozono (O_3) e os compostos de carbonilo, nunca foram alvo de estudo em escolas africanas. Os BTEX estão entre os poluentes atmosféricos mais tóxicos para os seres humanos, em particular o benzeno, que há muito é classificado como cancerígeno do Grupo I, de acordo com a Agência Internacional para a Investigação do Cancro (IARC). As principais fontes são processos industriais, especialmente aqueles que envolvem solventes, emissões de veículos e combustão de biomassa. Em espaços interiores, além do fumo do tabaco e da infiltração da poluição originada no exterior, os solventes de tintas, o mobiliário, as colas e alguns produtos de limpeza podem representar fontes emissoras importantes. Os BTEX podem ainda formar-se através de reações fotoquímicas entre outros poluentes e por reações de condensação e adsorção à superfície de partículas transportadas pelo ar (Tran et al., 2020). O O_3 é um poluente secundário resultante de reações fotoquímicas, promovidas pela radiação solar, entre precursores primários como os óxidos de azoto (NO_x) e os compostos orgânicos voláteis (COV). No interior, as concentrações podem ser elevadas em espaços com impressoras a laser, fotocopiadoras e purificadores de ar. Por ser um oxidante forte, a exposição ao poluente pode provocar irritação nos olhos e vias respiratórias, diminuir a capacidade pulmonar e intensificar problemas cardiovasculares. O NO_2 é um gás tóxico com origem na queima de combustíveis fósseis a temperaturas elevadas. Quando presente em altas concentrações pode irritar seriamente as vias respiratórias, contribuindo para o desenvolvimento ou agravamento de várias doenças, em particular a asma. Os compostos de carbonilo são produtos encontrados nas emissões de motores de combustão interna, algumas unidades industriais e outras fontes de combustão, e formados na atmosfera a partir da oxidação de hidrocarbonetos ou por reações fotoquímicas de moléculas precursoras com o O_3 (Li et al., 2018). Em ambientes interiores, são emitidos por

diversos materiais e produtos de uso comum, tais como colas, vernizes e adesivos, materiais de isolamento, mobiliário, produtos de limpeza e ambientadores, desodorizantes e outros itens de higiene pessoal. São também emitidos durante a confeção de alimentos, combustão de biomassa e na decomposição de resíduos orgânicos. Podem ainda ser formados quando o monóxido de carbono reage com superfícies metálicas em processos de oxidação e corrosão (Salthammer, 2023).

Em locais sem energia ou com falhas persistentes no abastecimento elétrico, os amostradores passivos representam uma alternativa aos equipamentos ou monitores convencionais. São dispositivos capazes de fixar compostos gasosos da atmosfera a um fluxo controlado por processos físicos, tais como difusão e permeação, não requerendo bombas de sucção ruidosas para a amostragem do ar (Rocha e Campos, 2023). Por serem considerados uma alternativa de baixo custo e de fácil manuseamento, têm sido utilizados na monitorização da qualidade do ar em escolas de vários países (Pegas et al., 2011a,b; Madureira et al., 2016a,b; Canha et al., 2016; Fsadni et al., 2018; Settimo et al., 2020; Vallecillos et al., 2020). Dado que em Angola nunca foram efetuadas monitorizações da qualidade do ar interior, este estudo teve como objetivo o primeiro rastreio dos níveis de poluentes atmosféricos gasosos em várias salas de aula de escolas primárias de Luanda e, simultaneamente, no exterior, recorrendo a métodos de amostragem passivos.



METODOLOGIA

Amostragem

A monitorização teve lugar em setembro e outubro de 2023 em 4 estabelecimentos de ensino básico de Luanda: escola 1138 no Largo das Escolas, escola 1603 no bairro Neves Bendinha, escola 1116 no bairro Cassenda e escola 1207 (ex escola 8) na Ingombota (Figura 1). Em cada estabelecimento foram colocados tubos de amostragem passiva em 4 ou 5 salas e no pátio exterior. Os tubos ficaram expostos em contínuo durante 2 semanas consecutivas. Foram utilizados tubos da marca Radiello (Sigma Aldrich) para os seguintes compostos (Figura 2):

- Benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX, código RAD145) - cilindros de malha de aço inoxidável, com poro de $3 \times 8 \mu\text{m}$ e um diâmetro de 4,8 mm, preenchidos com aproximadamente 350 mg de carvão ativado (Carbograph 4), com granulometria de 35 e 50 mesh, que atua como adsorvente dos compostos orgânicos voláteis;
- NO_2 (código RAD166) - constituídos por polietileno microporoso revestido com trietanolamina (TEA) que adsorve quimicamente o NO_2 como ião nitrito;
- O_3 (código RAD172) – constituídos por polietileno microporoso preenchido com sílica gel impregnada com 4,4'-dipiridiletileno que reage com o ozono, formando 4-piridilaldeído, o qual pode ser medido espectrofotometricamente;
- Compostos de carbonilo (código RAD165) – constituídos por aço inoxidável preenchido com Florisil® revestido com 2,4-dinitrofenilhidrazina (DNPH) que reage com os aldeídos e as cetonas convertendo-os nas correspondentes 2,4-dinitrofenilhidrazonas.

Após as duas semanas de exposição, os dispositivos de amostragem foram colocados em tubos de ensaio da própria marca, selados, embalados numa caixa com acumuladores de gelo e expedidos imediatamente para o laboratório.

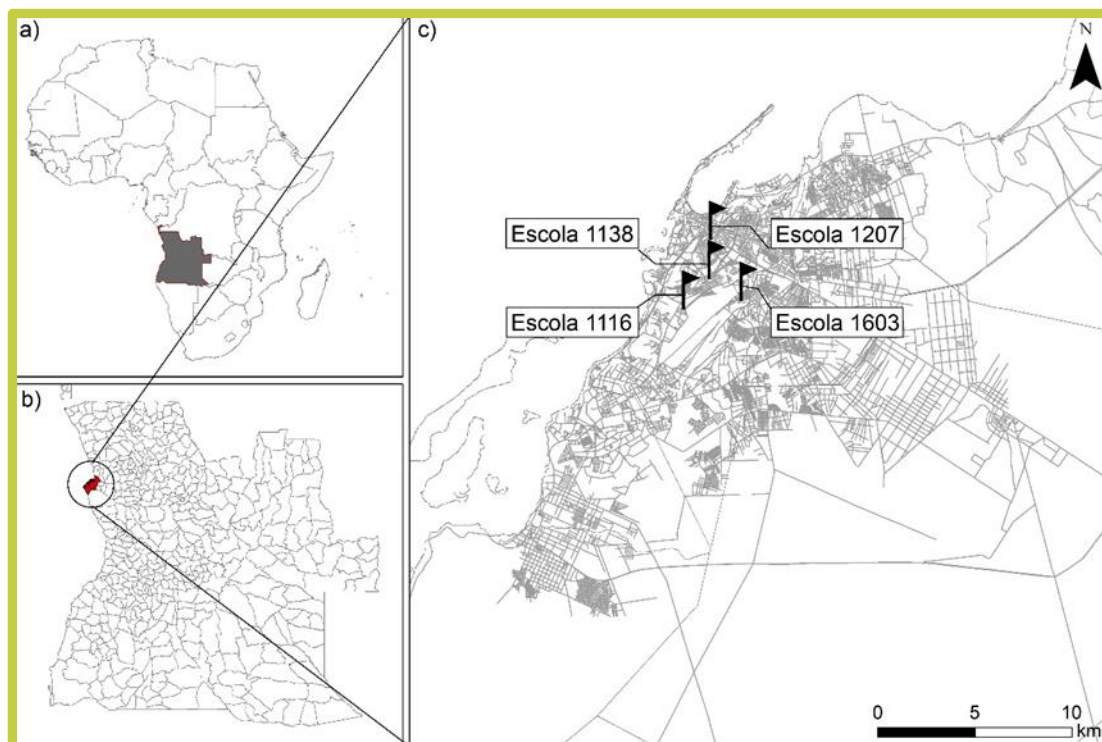


FIGURA 1: Localização da área de estudo: a) continente africano, b) Angola, c) área urbana de Luanda com indicação das escolas monitorizadas. Escola 1138: -8,831° S, 13,241° W; Escola 1603: -8,839° S, 13,259° W; Escola 1116: -8,846° S, 13,229° W; Escola 1207: -8,813° S, 13,242° W.

Análises laboratoriais

Os tubos de BTEX, NO₂ e O₃ foram analisados no *Instituti Clinici Scientifici Maugeri*, em Itália, enquanto os compostos de carbonilo foram determinados no Centro de Estudos do Ambiente e do Mar da Universidade de Aveiro. Os detalhes quer da amostragem, quer das técnicas analíticas, podem ser encontrados no manual da Radiello, o qual pode ser solicitado em <https://radiello.com>, ou diretamente visualizado em https://hpst.cz/sites/default/files/download/2023/05/radiello_manual_final.pdf. Em resumo:

- BTEX – A análise é feita por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa (GC-MS) com injetor de dessorção térmica e unidade de criofocagem. O GC-MS é equipado com uma coluna J&W HP-5MS (comprimento 60 m, diâmetro interno 0,25 mm, espessura de filme 0,25 µm).
- NO₂ – Os tubos de amostragem são extraídos com água. À solução de extração são adicionados sulfanilamida e dicloridrato de N-(1-naftil)etilenodiamina. O poluente, na forma de nitrito, é medido num espectrofotómetro a 537 nm.
- O₃ – No laboratório, o 4-piridilaldeído é condensado com hidrazona de 3-metil-2-benzotiazolinona (MTBH) para produzir a azida correspondente, de cor amarela. A absorvância da solução é medida por espectrofotometria a 430 nm.

- Compostos de carbonilo – Os seus derivados, na forma de 2,4-dinitrofenilhidrazonas, são extraídos dos tubos de amostragem com acetonitrilo e analisados por cromatografia líquida de alta eficiência com detetor de matriz de díodos e coluna Ascentis C18 Supelco (15 cm x 4,6 mm, 5 μ m). A análise de gradiente começa com uma mistura composta por 70% da fase móvel A (20% de acetonitrilo, 60% de água MilliQ e 20% de tetrahydrofurano) e 30% da fase móvel B (60% de acetonitrilo e 40% de água MilliQ). Após 30 minutos, o gradiente é ajustado para 100% da fase móvel B, mantendo-se nesta condição durante 30 minutos. Aos 85 minutos, o gradiente retorna à condição inicial (70% A e 30% B), marcando o fim da análise.



FIGURA 2: Imagem dos tubos Radiello usados para amostragem passiva de poluentes gasosos e das 4 escolas sujeitas a monitorização.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As concentrações de BTEX nas escolas de Luanda podem ser consultadas na Tabela I. Nas salas de aula, os níveis foram, em média, 1,1 vezes mais elevados do que os observados no exterior (Figura 3). Não foram registadas diferenças estatisticamente significativas ($p \geq 0,5$) entre as concentrações médias de BTEX obtidas no interior, para quaisquer escolas, e as concentrações médias no exterior. As salas de aula da escola 1207 apresentaram níveis significativamente mais baixos ($p \leq 0,05$) do que os medidos no interior dos outros três estabelecimentos.

TABELA I: Concentrações individuais de BTEX ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nas salas de aulas e pátios exteriores das 4 escolas objeto de monitorização.

Escola	Ambiente	Benzeno	Tolueno	Etilbenzeno	m,p-Xileno	o-Xileno
1138	Sala de aula	$1,30 \pm 0,16$	$5,28 \pm 0,57$	$1,30 \pm 0,08$	$3,95 \pm 0,25$	$1,78 \pm 0,10$
	Exterior	1,20	4,70	1,20	3,70	1,60
1603	Sala de aula	$1,21 \pm 0,51$	$7,18 \pm 2,51$	$1,78 \pm 0,62$	$5,42 \pm 1,82$	$2,48 \pm 0,85$
	Exterior	0,90	5,00	1,30	3,90	1,80
1116	Sala de aula	$0,97 \pm 0,03$	$8,13 \pm 0,49$	$1,93 \pm 0,15$	$5,73 \pm 0,32$	$2,53 \pm 0,15$
	Exterior	1,00	7,50	1,80	5,30	2,30
1207	Sala de aula	$0,85 \pm 0,15$	$4,78 \pm 0,28$	$1,42 \pm 0,08$	$3,18 \pm 0,19$	$1,32 \pm 0,04$
	Exterior	0,89	5,5	1,5	3,3	1,4

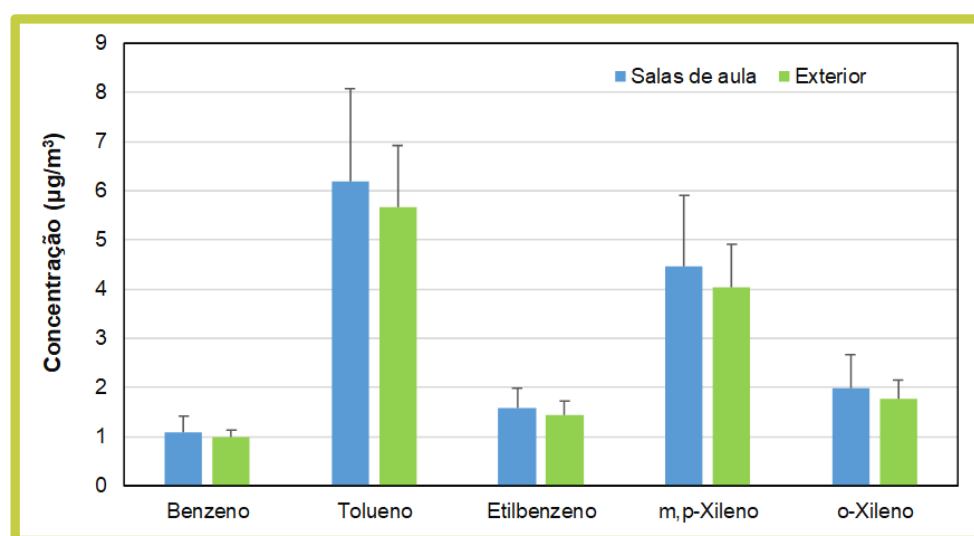


FIGURA 3: Concentrações de BTEX em salas de aula de 4 estabelecimentos de ensino básico em Luanda e nos pátios exteriores.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) não estabeleceu um limite para as concentrações de benzeno no ambiente, afirmando que não existe um nível seguro de exposição (WHO, 2010). No entanto, muitos países adotaram um padrão de qualidade do ar de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (média anual). Alguns organismos internacionais instituíram limites de exposição para ambientes ocupacionais: *International WELL Building Institute* - $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (média anual; IWBI, 2018), Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho (EU-OSHA, 2014) – $3,25 \text{ mg}/\text{m}^3$ (média de 8 h), e Conferência Americana Governamental de Higienistas Industriais (ACGIH, 2023) – $1,6 \text{ mg}/\text{m}^3$ (média de 8 h). Apesar das comparações merecerem reservas, pelo facto das concentrações limite respeitarem a períodos de exposição diferentes, os valores registados em Luanda situaram-se abaixo dos padrões estabelecidos internacionalmente. Embora os métodos passivos forneçam dados para períodos mais longos do que os habitualmente considerados em regulamentos de saúde ocupacional, fornecem uma média representativa da concentração de poluentes no ar. Ao comparar esses valores médios com as normas internacionais, obtém-se uma ideia geral sobre o nível de poluição e a sua conformidade com os padrões de qualidade do ar. Mesmo que os tempos de medição não coincidam, se os valores médios forem elevados, isso pode ser indicativo de que há exposições significativas ao longo de períodos mais curtos, que podem ultrapassar os limites estabelecidos para 24 horas ou 8 horas, por exemplo. Os níveis de tolueno não ultrapassaram os $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valor máximo registado numa sala da escola

nº 1603, situando-se também abaixo dos limiares internacionais: média anual da WELL de 150 µg/m³ (IWBI, 2018), média de 8 h de 375 mg/m³ estipulada pelo Instituto Nacional de Segurança e Saúde no Trabalho dos EUA (NIOSH, 2019) e média de 8 h de 75 mg/m³ da ACGIH (ACGIH, 2023). As concentrações de BTEX nas escolas de Luanda são da mesma ordem que as documentadas para estabelecimentos de ensino básico em Lisboa (Pegas et al., 2011b), Porto (Madureira et al., 2016a,b), Eskişehir, Turquia (Demirel et al., 2014) e várias cidades italianas (Lucialli et al., 2020), nos quais também se efetuou monitorização por métodos passivos.

O rácio tolueno/benzeno (T/B) tem sido apontado como um indicador para distinguir emissões do tráfego rodoviário de outras fontes. Valores de T/B inferiores a 1 são caraterísticos de emissões de combustão de biomassa e carvão. Rácios entre 1 e 10 são típicos de emissões automóveis, embora para processos industriais, sobretudo os que envolvem solventes, o T/B apresente sobreposição no limite superior deste intervalo (Zhang et al., 2016; Qin et al., 2022). Neste estudo, os rácios oscilaram entre 3,4 e 9,3, com uma média de 5,9, indicando que o tráfego rodoviário é a principal fonte emissora destes compostos aromáticos voláteis. Pelo facto de Luanda beneficiar de um clima ameno, as janelas dos estabelecimentos de ensino permanecem muitas vezes abertas, pelo que as emissões do setor rodoviário se infiltram nas salas de aula. O m,p-xileno e o etilbenzeno estão presentes em proporção relativamente constante (2,8-4,6) nas emissões das principais fontes antropogénicas (e.g., veículos, refinarias, etc.) (Monod et al., 2001). Nas escolas de Luanda alvo do presente estudo, o rácio médio entre os dois compostos foi de 2,8, variando de 2,2 a 3,1. A constante reacional a 298 K do m,p-xileno com os radicais OH· (18,8×10¹² cm³/molécula/s) é mais alta do que a do etilbenzeno (7,1 cm³/molécula/s), pelo que os xilenos têm tempos de vida mais curtos na atmosfera (Alves et al., 2018). Assim, o rácio mais baixo (2,2) obtido para a escola 1207 é indicativo de que as emissões do tráfego na atmosfera envolvente sofreram reações fotoquímicas mais intensas comparativamente com os restantes estabelecimentos. O “envelhecimento” atmosférico mais acentuado pode estar associado à radiação solar mais intensa e temperaturas mais elevadas durante o período de monitorização naquela escola que potenciam os processos fotoquímicos na atmosfera.

Nas salas de aula das escolas de Luanda, os níveis de O₃ registados (Tabela II) foram, em média, 2,3 vezes inferiores aos observados no exterior. Apesar da comparação ser apenas indicativa, os valores obtidos situaram-se bem abaixo dos limites de saúde ocupacional e da recomendação da OMS. Num estudo de monitorização de qualidade do ar em escolas de 54 cidades de 23 países europeus foram reportadas concentrações de ozono de 7,42 ± 8,37 µg/m³, 1,84 ± 3,8 µg/m³, 6,16 ± 17,8 µg/m³ e 10,2 ± 13,2 µg/m³ para os países do norte, oeste, centro-leste e sul da Europa, respetivamente (Balosh et al., 2020).

TABELA II: Concentrações de ozono e dióxido de azoto registadas em Luanda e limites de exposição estipulados por organismos internacionais. **OSHA** - Occupational Safety and Health Administration; **NIOSH** - National Institute for Occupational Safety and Health; **OMS** – Organização Mundial de Saúde

	Referências	O ₃ (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)
Sala de aula	Mínimo - Máximo	1,6 - 22	13 - 27
	(Média ± desvio padrão)	(13 ± 7,3)	(19 ± 3,4)
Exterior	Mínimo - Máximo	18 - 35	12 - 26
	(Média ± desvio padrão)	(29 ± 7,6)	(19 ± 5,5)
OSHA (8 h)	OSHA (2021)	200	9000
NIOSH (10 h)	NIOSH (2019)	200	1800
OMS (8 h)	WHO (2021)	100	
OMS (24 h)	WHO (2021)		25
OMS (anual)	WHO (2021)		10

Os valores de NO₂ registados nas salas foram muito próximos dos obtidos no exterior. As concentrações mais elevadas nas salas de aula foram observadas na escola 1138, nas imediações da qual se registam maiores volumes de tráfego. Os níveis obtidos neste estabelecimento excederam ligeiramente a diretriz diária da OMS e foram estatisticamente mais elevados ($p < 0,025$) do que os medidos nas outras unidades de ensino. Os níveis de NO₂ obtidos na primavera, outono e inverno em 14 escolas do ensino básico em Lisboa foram 15-37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 12-46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 10-34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respetivamente (Pegas et al., 2011b). Usando sensores de baixo custo, deSouza et al. (2017) reportaram concentrações médias de 15-23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para escolas em Nairobi, Quênia.

Entre os compostos de carbonilo analisados, o mais abundante foi o butiraldeído, seguido do formaldeído e do hexaldeído (Figura 4). O o-tolualdeído, m-tolualdeído, p-tolualdeído e 2,5-dimetilbenzaldeído não foram detetados em quaisquer amostras. Para os compostos presentes, os níveis situaram-se abaixo dos regulamentados a nível internacional para ambientes ocupacionais e qualidade do ar, embora as comparações mereçam cautela por envolverem períodos de exposição

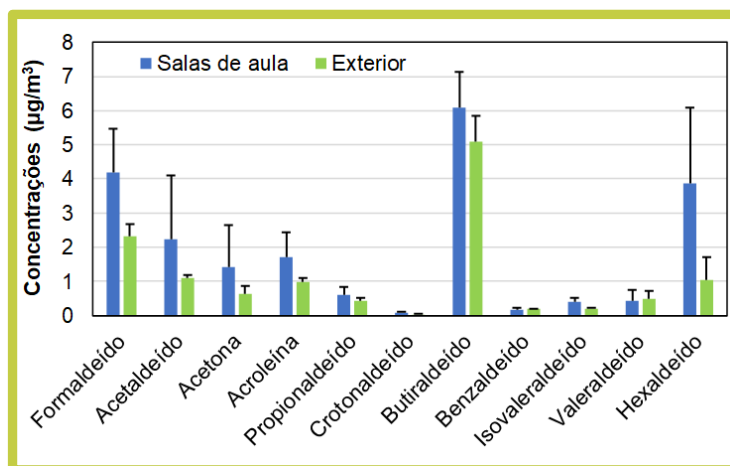


FIGURA 4: Concentrações de compostos de carbonilo nas salas de aula em Luanda e no exterior dos 4 estabelecimento de ensino básico.

diferentes (Tabela III). Excetuando o benzaldeído e o valeraldeído, as concentrações nas salas de aula foram 1,8 a 3,8 mais elevadas do que as medidas nos pátios, sugerindo a presença de fontes de emissão ativas no interior. A escola 1116 no bairro de Cassenda foi a que apresentou, em média, a concentração global de carbonilos mais baixa (15,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), enquanto nas salas de aula das outras unidades de ensino os níveis médios totais variaram de 21,0 a 24,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por ser classificado como cancerígeno pela IARC, o formaldeído tem sido o carbonilo mais estudado (Alves e Aciole, 2012; Salthammer, 2019, 2023). Em salas de aula de estabelecimentos de ensino básico de 23 países europeus foram obtidas concentrações médias para este carbonilo genericamente mais altas do que as medidas em Luanda: $11,7 \pm 8,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no norte, $17,5 \pm 9,91 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na parte ocidental, $13,7 \pm 8,13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no centro-leste e $9,73 \pm 4,48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na região sul (Balosh et al., 2020). Embora as concentrações de formaldeído nos pátios das escolas de Luanda ($2,31 \pm 1,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sejam muito próximas das reportadas por Madureira et al. (2016b) para os espaços exteriores de estabelecimentos do Porto ($2,9 \pm 0,74 \mu\text{g}/\text{m}^3$), os níveis nas salas de aula da cidade portuguesa ($19,8 \pm 10,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) superaram os observados no interior das unidades da capital angolana ($4,19 \pm 1,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$). As concentrações mais elevadas nas salas das escolas do Porto podem dever-se às reduzidas taxas de ventilação. O clima mais frio obriga ao encerramento de portas e janelas, impedindo a renovação do ar e contribuindo para a acumulação de poluentes no interior das salas de aula (Madureira et al., 2016b). As reduzidas taxas de ventilação das salas de aula de estabelecimentos de ensino em Portugal foram também comprovadas, através da medição dos níveis de CO₂, num estudo levado a cabo na região de Aveiro (Alves et al., 2013).

TABELA III: Limites de exposição ocupacional e diretrizes de qualidade do ar estipulados na legislação portuguesa e por vários organismos internacionais para os compostos de carbonilo alvo de regulamentação. **Portaria n.º 138-G/2021** de 1 de julho - Estabelece os requisitos para a avaliação da qualidade do ar interior nos edifícios de comércio e serviços, incluindo os limiares de proteção, condições de referência e critérios de conformidade, e a respetiva metodologia para a medição dos poluentes e para a fiscalização do cumprimento das normas aprovadas; **OSHA** - *Occupational Safety and Health Administration*; **NIOSH** - *National Institute for Occupational Safety and Health*; **ACGIH** - *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*; **OMS** – Organização Mundial de Saúde; **OEHHA** - *Office of Environmental Health Hazard Assessment*

Referências	Formaldeído	Acetaldeído	Acroleína	Acetona	Propionaldeído	Benzaldeído
Portaria 138-G/2021	100 µg/m ³					
OSHA (2021)	920 µg/m ³ (8 h)	360 mg/m ³ (8 h)	250 µg/m ³ (8 h)	2400 mg/m ³ (8 h) 590 mg/m ³ (10 h)		360 mg/m ³ (8 h)
NIOSH (2019)	20 µg/m ³ (10 h)		250 µg/m ³ (10 h) 250 µg/m ³ (limite de exposição de curta duração)	600 mg/m ³ (8 h)		
ACGIH (2023)	370 µg/m ³ (nunca pode ser excedido)	45 mg/m ³ (8 h)	230 µg/m ³ (8 h)	600 mg/m ³ (8 h) 1200 mg/m ³ (limite de exposição de curta duração)	47 mg/m ³ (8 h)	110 mg/m ³ (8 h)
OMS	100 µg/m ³ (30 min)					
OEHHA (2015)		300 µg/m ³ (8 h) 140 µg/m ³ (limite de exposição crónica)				

CONCLUSÃO

Foi realizada, pela primeira vez em Angola, a monitorização de poluentes gasosos em várias salas de aula e no exterior de estabelecimentos de ensino básico de Luanda. Dado que Angola não possui legislação de qualidade do ar, as concentrações obtidas foram comparadas com os limites de exposição ocupacional e padrões de qualidade do ar estipulados por organismos internacionais. Os níveis registados situaram-se genericamente abaixo dessas diretrizes. A comparação das concentrações registadas no interior com as do exterior e os rácios entre alguns compostos permitiram apontar o tráfego rodoviário como a principal fonte de NO₂ e BTEX e de precursores que levam à produção fotoquímica de ozono. O tráfego contribui também para os níveis de compostos de carbonilos, mas estes têm também origem em várias fontes no interior, uma vez que as concentrações nas salas excederam as registadas no exterior. Os níveis de formaldeído obtidos nas escolas de Luanda foram mais baixos do que os reportados para unidades de ensino de vários países

europeus, sugerindo que a frequente abertura de portas e janelas, proporcionada por temperaturas amenas, favoreça a renovação natural do ar e possa contribuir para o decréscimo dos níveis de poluentes.

Uma vez que as concentrações dos poluentes podem apresentar variações sazonais, este estudo exploratório deverá ter continuidade, objetivando-se medições adicionais em distintos períodos do ano com condições meteorológicas variáveis. É também desejável incorporar na monitorização outros poluentes com importância do ponto de vista da saúde, nomeadamente o material particulado de granulometria inalável. As concentrações e composição química deste poluente permitem aplicar metodologias de análise de risco e quantificar o contributo das várias fontes emissoras, ajudando a estabelecer planos e programas de prevenção e mitigação para melhorar a qualidade de vida da população escolar.

agradecimentos • Agradece-se à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) pela bolsa de doutoramento SFRH/BD/04992/2021 a Y. Cipoli, contrato de E. Vicente no âmbito do programa de estímulo ao emprego científico (DOI:10.54499/2022.00399.CEECIND/CP1720/CT0012) e financiamento ao CESAM (UIDB/50017/2020, UIDB/50017/2020 e LAP/0094/2020). Este trabalho foi realizado no âmbito do projeto “Poluição do ar numa megacidade africana: fontes e implicações na saúde” (DOI: 10.54499/2022.04240.PTDC), financiado por fundos nacionais (OE), através da FCT/MCTES. Agradece-se ainda à Direção Municipal de Educação de Luanda e diretores, professores, alunos, pessoal administrativo e corpo de segurança das escolas que participaram no estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACGIH (2023). TLVs® and BEIs®: Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, OH, USA.
- Alves, C. A., & Aciole, S. D. G. (2012). Formaldeído em escolas: uma revisão. *Química Nova*, 35(10), 2025–2039. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012001000024>
- Alves, C. A., Candeias, C., Nunes, T. V., Tomé, M. J. C., Vicente, E. D., Ávila, P. F., & Rocha, F. (2018). Passive monitoring of particulate matter and gaseous pollutants in Fogo Island, Cape Verde. *Atmospheric Research*, 214, 250–262. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.08.002>
- Alves, C., Nunes, T., Silva, J., & Duarte, M. (2013). Comfort parameters and particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}) in school classrooms and outdoor air. *Aerosol and Air Quality Research*, 13, 1521–1535. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2012.11.0321>
- Baloch, R. M., Maesano, C. N., Christoffersen, J., Banerjee, S., Gabriel, M., Csobod, É., & Dewolf, M.-C. (2020). Indoor air pollution, physical and comfort parameters related to schoolchildren's health: Data from the European SINPHONIE study. *Science of the Total Environment*, 739, 139870. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139870>
- Canha, N., Mandin, C., Ramalho, O., Wyart, G., Ribéron, J., Dassonville, C., & Derbez, M. (2016). Assessment of ventilation and indoor air pollutants in nursery and elementary schools in France. *Indoor Air*, 26(3), 350–365. <https://doi.org/10.1111/ina.12222>
- Demirel, G., Özden, Ö., Döğeroğlu, T., & Gaga, E. O. (2014). Personal exposure of primary school children to BTEX, NO₂ and ozone in Eskişehir, Turkey: Relationship with indoor/outdoor concentrations and risk assessment. *Science of the Total Environment*, 473–474, 537–548. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.12.034>
- deSouza, P., Oriama, P. A., Pedersen, P. P., Horstmann, S., Gordillo-Dagallier, L., Christensen, C. N., Kinney, P. L. (2021). Spatial variation of fine particulate matter levels in Nairobi before and during the COVID-19 curfew: implications for environmental justice. *Environmental Research Communications*, 3(7), 071003. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/AC1214>
- deSouza, P., Nthusi, V., Klopp, J. K., Shaw, b., Ho, W. O., Saffell, J., & Ratti, C. (2019). A Nairobi experiment in using low-cost air quality monitors. *Clean Air Journal*, 27(2), 12. <https://doi.org/10.17159/2410-972X/2017/v27n2a6>
- EEA (2023). Air pollution and children's health. Briefing no. 07/2023. Environmental European Agency, Copenhagen, Denmark. <https://doi.org/10.2800/467949>
- EU-OSHA (2014). Exposure to carcinogens and work-related cancer: A review of assessment methods. European Risk Observatory Report. European Agency for Safety and Health at Work, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

- Fsadni, P., Bezzina, F., Fsadni, C., & Montefort, S. (2018). Impact of school air quality on children's respiratory health. *Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 22(3), 156–162. https://doi.org/10.4103/ijoom.IJOEM_95_18
- HEI (2020). State of Global Air/2020. A Special Report on Global Exposure to Air Pollution and its Health Impacts. Health Effects Institute. Boston, MA, USA.
- Ite, A. E., Harry, T. A., Obadimu, C. O., & Ekwere, I. O. (2019). Comparison of indoor air quality in schools: Urban vs. industrial "Oil & Gas" zones in Akwa Ibom State-Nigeria. *Journal of Environment Pollution and Human Health*, 7(1), 15–26. <https://doi.org/10.12691/jephh-7-1-3>
- IWBI (2018). WELL v2TM. The next version of the WELL Building StandardTM. International WELL Building Institute, New York, NY, USA.
- Kalisa, E., Kuuire, V., & Adams, M. (2023). Children's exposure to indoor and outdoor black carbon and particulate matter air pollution at school in Rwanda, Central-East Africa. *Environmental Advances*, 11, 100334. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100334>
- Khadidja, N., Mhamed, M., Lazreg, B., Heilmeier, H., & Kharytonov, M. (2019). Quantification of mass concentrations aerosols PM_{2.5} in primary schools. Case study: Tiaret city (Algeria). *Environmental Research, Engineering and Management*, 75(2), 47–59. <https://doi.org/10.5755/J01.EREM.75.2.21601>
- Li, M., Li, Q., Nantz, M. H., & Fu, X.-A. (2018). Analysis of carbonyl compounds in ambient air by a microreactor approach. *ACS Omega*, 3(6), 6764–6769. <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b00503>
- Luciali, P., Marinello, S., Pollini, E., Scaringi, M., Sajani, S. Z., Marchesi, S., & Cori, L. (2020). Indoor and outdoor concentrations of benzene, toluene, ethylbenzene and xylene in some Italian schools evaluation of areas with different air pollution. *Atmospheric Pollution Research*, 11(11), 1998–2010. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.08.007>
- Madureira, J., Paciência, I., Rufo, J., Severo, M., Ramos, E., Barros, H., & de Oliveira Fernandes, E. (2016a). Source apportionment of CO₂, PM₁₀ and VOCs levels and health risk assessment in naturally ventilated primary schools in Porto, Portugal. *Building and Environment*, 96, 198–205. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.11.031>
- Madureira, J., Paciência, I., Pereira, C., Teixeira, J. P., & Fernandes, E. de O. (2016b). Indoor air quality in Portuguese schools: levels and sources of pollutants. *Indoor Air*, 26(4), 526–537. <https://doi.org/10.1111/ina.12237>
- Monod, A., Sive, B. C., Avino, P., Chen, T., Blake, D. R., & Rowland, F.S. (2001) Monoaromatic compounds in ambient air of various cities: a focus on correlations between the xylenes and ethylbenzene. *Atmospheric Environment*, 35, 135–149. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00274-0](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00274-0)
- Naidoo, R. N., Robins, T. G., Batterman, S., Mentz, G., & Jack, C. (2013). Ambient pollution and respiratory outcomes among schoolchildren in Durban, South Africa. *SAJCH: The South African Journal of Child Health*, 7(4), 127–134. <https://doi.org/10.7196/sajch.598>
- NIOSH (2019). NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards. National Institute for Occupational Safety and Health, Washington, D.C., USA. Nkosi, V., Wichmann, J., & Voyi, K. (2017). Indoor and outdoor PM₁₀ levels at schools located near mine dumps in Gauteng and North West Provinces, South Africa. *BMC Public Health*, 17(1), 42. <https://doi.org/10.1186/s12889-016-3950-8>
- OEHHA (2015). Air Toxics Hot Spots Program Guidance Manual for the Preparation of Health Risk Assessments 2015. California Office of Environmental Health Hazard Assessment, Sacramento, CA, USA.
- OSHA (2021). OSHA Occupational Chemical Database. Occupational Safety and Health Administration, U.S. Department of Labor, Washington D.C., USA.
- Pegas, P. N., Alves, C. A., Evtyugina, M. G., Nunes, T., Cerqueira, M., Franchi, M., Freitas, M. C. (2011a). Indoor air quality in elementary schools of Lisbon in spring. *Environmental Geochemistry and Health*, 33(5), 455–468. <https://doi.org/10.1007/s10653-010-9345-3>
- Pegas, P. N., Alves, C. A., Evtyugina, M. G., Nunes, T., Cerqueira, M., Franchi, M., & Freitas, M. C. (2011b). Seasonal evaluation of outdoor/indoor air quality in primary schools in Lisbon. *Journal of Environmental Monitoring*, 13(3), 657–667. <https://doi.org/10.1039/C0EM00472C>
- Qin, N., Zhu, Y., Zhong, Y., Tian, J., Li, J., Chen, L., & Wei, F. (2022). External exposure to BTEX, internal biomarker response, and health risk assessment of nonoccupational populations near a coking plant in Southwest China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(2). <https://doi.org/10.3390/ijerph19020847>
- Reddy, P., Naidoo, R. N., Robins, T. G., Mentz, G., Li, H., London, S. J., & Batterman, S. (2012). GSTM1 and GSTP1 gene variants and the effect of air pollutants on lung function measures in South African children. *American Journal of Industrial Medicine*, 55(12), 1078–1086. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ajim.22012>
- Rivas, I., Viana, M., Moreno, T., Pandolfi, M., Amato, F., Reche, C., & Querol, X. (2014). Child exposure to indoor and outdoor air pollutants in schools in Barcelona, Spain. *Environment International*, 69, 200–212. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.04.009>

- Rocha, F. O. C. da, & Campos, V. P. (2023). AnaliseAr: dispositivo de amostragem passiva para medições simultâneas a baixo custo de 16 contaminantes/poluentes atmosféricos gasosos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 28, e20220138. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220220138>
- Sadrizadeh, S., Yao, R., Yuan, F., Awbi, H., Bahnfleth, W., Bi, Y., & Li, B. (2022). Indoor air quality and health in schools: A critical review for developing the roadmap for the future school environment. *Journal of Building Engineering*, 57, 104908. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.job.2022.104908>
- Salthammer, T. (2019). Formaldehyde sources, formaldehyde concentrations and air exchange rates in European housings. *Building and Environment*, 150, 219–232. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.042>
- Salthammer, T. (2023). Analytical chemistry of carbonyl compounds in indoor air. *Analyst*, 148(15), 3432–3451. <https://doi.org/10.1039/D3AN00822C>
- Settimo, G., Indinnimeo, L., Inglessis, M., De Felice, M., Morlino, R., di Coste, A., & Avino, P. (2020). Indoor air quality levels in schools: Role of student activities and no activities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(18). <https://doi.org/10.3390/ijerph17186695>
- Tran, T. D., Nguyen, T. X., Nguyen, H. T. T., Vo, H. T. L., Nghiem, D. T., Le, T. H., Van Nguyen, N. (2020). Seasonal variation, sources, and health risk assessment of indoor/outdoor BTEX at nursery schools in Hanoi, Vietnam. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231(6), 273. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04635-6>
- UN (2022) 2022 Revision of World Population Prospects. Department of Economic and Social Affairs, Population Division, United Nations, New York, NY, USA. Obtido de <https://population.un.org/wpp/>
- Vallecillos, L., Borrull, A., Marcé, R. M., & Borrull, F. (2020). Passive sampling to control air quality in schools: Uptake rate determination and application. *Indoor Air*, 30(5), 1005–1017. <https://doi.org/10.1111/ina.12684>
- WHO (2010). WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants. World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark.
- Were, F. H., Wafula, G. A., Lukorito, C. B., & Kamanu, T. K. (2020). Levels of PM₁₀ and PM_{2.5} and respiratory health impacts on school-going children in Kenya. *Journal of Health and Pollution*, 10(27), 200912. <https://doi.org/10.5696/2156-9614-10.27.200912>
- WHO (2021). WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- Zhang, Z., Zhang, Y., Wang, X., Lü, S., Huang, Z., Huang, X., & Zhang, Q. (2016). Spatiotemporal patterns and source implications of aromatic hydrocarbons at six rural sites across China's developed coastal regions. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(11), 6669–6687. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/2016JD025115>

