

A qualidade do ar interno nas escolas e a performance dos estudantes: Recomendações da Cátedra UNESCO^A de Educação para a Saúde e Desenvolvimento Sustentável e a Sociedade Italiana de Medicina Ambiental (SIMA)

Manuela Pulimeno^{1,2}, Prisco Piscitelli^{1,3*}, Salvatore Colazzo^{1,4}, Annamaria Colao^{1,5}, e Alessandro Miani^{1,3}

¹ Cátedra UNESCO de Educação para a Saúde e Desenvolvimento Sustentável, Nápoles, Itália

² Doutorado em Ciências de Relações Humanas, Universidade de Bari "Aldo Moro", Bari, Itália

³ Sociedade Italiana de Medicina Ambiental (SIMA), Milão, Itália

⁴ Departamento de História, Sociedade e Estudos Humanos, Universidade de Salento, Lecce, Itália

⁵ Departamento de Medicina Clínica e Cirurgia, Escola Universitária de Medicina Federico II, Nápoles, Itália

INFORMAÇÕES DO ARTIGO

Histórico do Artigo: Recebido: 8 de março de 2020 - Aceito: 24 de abril de 2020

Publicação eletrônica: 12 de julho de 2020

Keywords: Qualidade do ar interno, escolas, estudantes, performance, saúde, COVID-19

*Autor correspondente: Prisco Piscitelli, e-mail piscitelli@unescochairnapoli.it

Resumo

A questão da qualidade do ar interno (QAI) preocupa 64 milhões de estudantes por toda a Europa, mas ainda é um assunto negligenciado apesar de impactar tanto a saúde quanto o resultado da aprendizagem destes alunos.

O microclima nas salas de aula é o fator chave para determinar se o ambiente escolar é saudável ou não, e é influenciado pelos níveis de ventilação, temperatura e umidade. Salas de aula são normalmente lotadas, superaquecidas e mal ventiladas, resultando, portanto, na possibilidade de aumento de dióxido de carbono (CO₂), que pode causar diversos problemas quando sua concentração excede o valor de 0.15% do volume de CO₂ (1500 ppm) ou até níveis menores (1000 ppm).

O CO₂ produzido pela combustão de fósseis e tráfego rodoviário fora das escolas também contamina as salas de aula. As ações antrópicas^B também são responsáveis pela emissão de dióxido de nitrogênio (NO₂) e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH), que são outra possibilidade de contaminação por poluentes externos que potencialmente comprometem a qualidade do ar interno.

Outras exposições nocivas à saúde dos estudantes são as relacionadas à emissão natural do gás Radônio, que tipicamente se acumula em salas de aula mal ventiladas, e os compostos orgânicos voláteis (VOCs, oriundos de materiais de construção, tintas, móveis, detergentes), e ainda às substâncias químicas que os materiais escolares podem conter (como ciano acrilato, chumbo, cádmio, níquel).

E finalmente, os materiais particulados (PM_{2.5} e PM₁₀) originados pelo tráfego rodoviário, aquecimento ou atividades industriais, que também são contaminantes que impactam a qualidade do ar interno nas escolas.

O ar interno com baixa qualidade pode ter efeitos adversos leves (como dor de cabeça, náusea etc.) ou até causar problemas respiratórios. E com muita frequência a qualidade do ar interno afeta a concentração e a performance dos estudantes, como já largamente documentado por diversos estudos. Testes científicos padronizados aplicados a alunos expostos à baixa qualidade do ar interno (acessando habilidades de leitura e matemática) resultaram sistematicamente em resultados piores do que aos alunos alocados em ambientes escolares saudáveis.

Neste artigo, apresentaremos as recomendações da Cátedra UNESCO de Educação para a Saúde e Desenvolvimento Sustentável e da Sociedade Italiana de Medicina Ambiental (SIMA) para garantir excelente qualidade do ar interno nas escolas, inclusive pós-pandemia da COVID-19.

A) Nota do tradutor: Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura.

B) Nota do tradutor: Ação antrópica representa qualquer ação realizada pelo homem. Essa expressão ganhou força por causa dos impactos ambientais, sociais e ecológicos provocados pela ação do homem.

Qualidade do ar interno nas escolas

Qual o tipo de ar que os jovens respiram nas escolas e como isso afeta sua performance acadêmica? A questão da qualidade do ar interno (QAI) preocupa 64 milhões de estudantes (e 4.5 milhões de professores) na Europa, mas ainda está sendo negligenciada apesar de seu significativo impacto tanto na saúde quanto nos resultados educacionais destes alunos.¹

Os fatores básicos que determinam se o microclima na escola é saudável ou não são: nível de ventilação, temperatura e umidade.²⁻⁶ As salas de aula estão normalmente lotadas, superaquecidas e mal ventiladas, ou até mesmo contaminadas por poluentes originados tanto dentro quanto fora do ambiente (tráfego rodoviário, aquecimento central, atividades industriais, agricultura intensa etc.).^{1,2,7}

Com relação à lotação, algumas evidências disponíveis mostram que o número de estudantes está direta e significativamente associado às altas concentrações de dióxido de carbono (CO₂) na sala de aula (até +25%).⁶ A respiração normal de uma criança de 7-9 anos gera 14 litros de CO₂ por hora, que é 50% mais baixo que a quantidade produzida por um adolescente (em condições de moderada atividade física, um aluno de 15 anos pode emitir até 85 litros de CO₂ por hora).⁶

A concentração de CO₂ deixa as salas de aula desconfortáveis. Normas internacionais (como a DIN1946 UNI EM) limita a tolerância máxima a 0.15% do volume de CO₂ (1500 ppm), mas – dependendo da idade – os limites de tolerância individuais podem ser atingidos mais cedo (1000 ppm of CO₂). Quando este limite é ultrapassado, o ar se torna estagnado e pode causar dores de cabeça, taquicardia, náusea, distúrbios de memória, falta de concentração, visão turva, sudorese, vômitos, pele avermelhada, e até mesmo ataques de pânico.⁷

O CO₂ pode surgir de fora da escola, sendo amplamente produzidos pela combustão de fósseis e tráfego rodoviário, e por ações antrópicas que são responsáveis pelas emissões de dióxido de nitrogênio (NO₂) e de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH, como benzopireno).⁸⁻¹¹

Certamente, NO₂ representa outra possibilidade de contaminação originada de fontes externas que podem impactar a qualidade do ar interno na escola e causar problemas respiratórios nos alunos (como agravamento de asma, aumento da suscetibilidade a infecções virais etc.).^{12,13}

Além de materiais com asbestos (que devem ser retirados imediatamente por empresas autorizadas), outra fonte potencial de risco à saúde dos estudantes é a emissão natural do gás Radônio a partir de cavidades subterrâneas. O Radônio acumula-se tipicamente em salas de aula mal ventiladas e pode causar infecção pulmonar em casos de exposição crônica.¹⁴

Os compostos orgânicos voláteis (VOCs) – como formaldeído, tolueno, benzeno – podem ser liberados por materiais de construção, tintas, móveis e detergentes.¹⁵⁻¹⁷

Como o Radônio, muitos VOCs não são perceptíveis pelo cheiro, mas afetam negativamente a saúde mesmo a concentrações abaixo de 3 µg/m³. Exposição a estes compostos na escola podem causar tontura, dor de cabeça, alergias, irritação nos olhos, nariz e garganta, dispneia, fadiga e déficit de atenção.¹⁸

Materiais particulados (PM2.5 e PM10) também são poluentes que impactam a qualidade do ar interno nas escolas.¹⁹

Na verdade, um estudo publicado por Branis e colegas identificou que a qualidade do ar interno nas salas de aula é influenciada não apenas por fatores internos como lotação e microclima (má ventilação e superaquecimento), como já mencionado, mas também por materiais particulados atribuídos a emissões de tráfego rodoviário.²⁰

A pesquisa demonstra que as concentrações de PM10 em ambientes internos pode atingir níveis de 40 µg/m³, com picos até maiores que 75 µg/m³ (média limite diária é de 50 µg/m³).

A Comissão Europeia realizou em 2015 uma pesquisa específica (*SinPHONiE- Schools Indoor Pollution and Health Observatory Network in Europe*)^c para analisar a qualidade do ar em 114 escolas de educação fundamental (5575 alunos) em 23 países europeus. De acordo com o estudo, aproximadamente 85% dos estudantes estão expostos a concentrações de PM2.5 e PM10 acima das consideradas seguras pela Organização Mundial da Saúde em 2005 para a prevenção de doenças cardiorrespiratórias.²¹

^c Nota do tradutor: - Rede de Observatórios de Poluição do Ar Interno e Saúde nas Escolas da Europa.

<https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/sinphonie-schools-indoor-pollution-and-health-observatory-network-europe-final-report>

A qualidade do ar interno nas escolas e a performance dos estudantes

Muitas pesquisas já documentaram a associação entre a qualidade do ar interno e a performance dos alunos nas escolas.²²⁻²⁶

Em um estudo envolvendo 100 escolas nos Estados Unidos, Haverinen-Shaughnessy e colegas demonstraram que os níveis de ventilação nas salas de aula estão diretamente associados com os resultados acadêmicos dos estudantes, e que progressos mensuráveis em matemática e leitura (avaliado através de testes padronizados) podem ser observados quando a qualidade do ar interno é melhorada nas salas de aula.²⁷

Estas conclusões são confirmadas por revisões sistemáticas e por um grande estudo de coorte aplicado a mais de 8000 crianças no Reino Unido.²⁸⁻³⁰

Hutter et al examinaram 436 alunos nas áreas urbanas da Áustria e observaram redução na performance cognitiva nas salas de aula onde altas concentrações de material particulado (PM10, PM2.5) e de CO₂ foram medidas.³¹

Em um estudo coorte envolvendo 60 escolas escocesas, os níveis de CO₂ foram associados à baixa média de frequência anual e às pontuações ruins em testes de leitura, escrita e aritmética – mesmo quando segmentados por nível sociocultural e por número de estudantes por sala de aula.³²

O aumento de níveis de CO₂ foram responsáveis pela redução no desempenho da atenção de curto prazo dos alunos em experimento realizados em 20 classes de aula aleatórias na Alemanha e em 51 escolas de ensino fundamental em Portugal.^{33,34}

A relação entre a poluição do ar gerada pelo tráfego rodoviário e a baixa qualidade do ar interno, assim como suas consequências à performance escolar, foram avaliadas por um estudo coorte espanhol – publicado por Sunyer et al - aplicado em alunos de 19 escolas em Barcelona. Os autores mostraram uma tendência positiva (até +13%) nos indicadores de desenvolvimento cognitivo – como atenção e capacidade de memorização – nas escolas com baixos níveis de poluentes relacionados a partículas ultrafinas, partículas de carbono e NO₂.³⁵

A correlação entre a qualidade do ar interno ligada ao tráfego rodoviário e a performance cognitiva de crianças em idade escolar foi confirmada por extensões anuais do mesmo estudo em 39 escolas.³⁶ Entretanto, de acordo com outros autores, os fatores internos que afetam negativamente a qualidade do ar interno parecem ter um impacto maior do que os poluentes vindo de fora.^{3,37,38}

Algumas soluções têm sido propostas para melhorar a qualidade do ar interno nas salas de aula e para reduzir o impacto de poluentes na saúde dos estudantes e em seus resultados acadêmicos.

Polidori et al demonstraram – em um estudo realizado em 2013 em 9 salas de aula em escolas da Califórnia – que é possível melhorar significativamente a qualidade do ar interno nas salas de aula com o uso de sistema de filtros de alta performance para ar-condicionado integrados a purificadores de ar, que podem gerar uma redução de 90%-96% na concentração de material particulado ultrafino (PM<1), particulado fino (PM2.5, PM10), e partículas de carbono (o perigoso “carbono negro”).³⁹

Outros estudos publicados sobre o mesmo assunto confirmam estes resultados positivos.⁴⁰⁻⁴⁵

Com relação aos benefícios à saúde, Martenies e Batterman mostraram a possibilidade de reduzir a incidência de asma de 16% a 13% entre crianças com a simples instalação de filtros para PM2.5 nas salas de aula.⁴⁶

Um estudo realizado por Gilraine – sobre a capacidade de filtros de ar removerem os poluentes internos e consequentemente melhorarem os resultados acadêmicos dos estudantes – foi publicado recentemente pelo Instituto para Reforma Escolar da Universidade Brown na Província de Rhode Island (EUA).⁴⁷

O estudo confirma que a performance escolar dos estudantes aumentou em apenas um ano após a instalação de filtros de ar nas escolas de Porter Ranch, em San Fernando Valley (sul da Califórnia, EUA). Os filtros foram instalados pelas autoridades locais em 2016 devido a um alarme sobre o vazamento de metano de um grande gasoduto na Califórnia.

Estes dados de longo prazo confirmam os resultados de estudos similares realizados diariamente por Sefi Roth na Faculdade de Economia de Londres.⁴⁸

Recomendações propostas pela Cátedra UNESCO de Educação para a Saúde e Desenvolvimento Sustentável & SIMA

Com evidências suficientes de que a qualidade do ar interno nas salas de aula impacta tanto a saúde dos estudantes quanto seus resultados no aprendizado, é muito importante adotar todas as medidas necessárias para garantir uma qualidade do ar interno excelente nas escolas.

A agência de proteção ambiental americana EPA, que há muitos anos estabeleceu normas específicas e uma equipe fixa para os assuntos relacionados à QAI, publicou um guia de referência para a qualidade do ar interno em escolas específico para os Coordenadores de QAI (normalmente apontados nas escolas ou pelo menos em nível distrital) sobre os assuntos mais comuns relacionados ao gerenciamento da QAI.⁴⁹

Em 2020, a questão da qualidade do ar interno nas escolas se tornou particularmente relevante devido à pandemia da COVID-19.

Com base nas evidências disponíveis e em conformidade com as Orientações para Qualidade do Ar Interno da OMS¹ e da Comissão Europeia (desenvolvido na Itália pela agência governamental ISPRA^D e pelo Instituto Nacional de Saúde ISS), a Cátedra da UNESCO de Educação para a Saúde e Desenvolvimento Sustentável e a Sociedade Italiana de Medicina Ambiental (SIMA) propõem as seguintes recomendações que incluem sugestões úteis também para lidar com as questões relacionadas à pandemia da COVID-19:

- Lotação das salas de aula deve ser evitada;
- Professores e staff devem ser informados que a má qualidade do ar interno afeta tanto a saúde dos alunos quanto sua performance acadêmica;
- A higiene pessoal dos estudantes deve ser estimulada para prevenir que levem à escola fontes potenciais de contaminantes (pelos de animal nas roupas, mofo ou outras sujidades nas solas de sapato etc.);
- As salas de aula devem ser ventiladas adequadamente antes do início das aulas e durante cada intervalo. Para calcular o intervalo máximo entre cada mudança de ar (abertura de janelas), muitos fatores devem ser levados em consideração como o volume da sala, idade e quantidade de crianças na sala de aula, o número de horas gastas nas atividades e os tipos de atividades realizadas nas salas. É importante ressaltar que janelas basculantes não suprem todas as áreas da sala com ar fresco, portanto janelas e portas devem ser abertas simultaneamente para criar uma troca de ar completa;
- As superfícies de carteiras e cadeiras, assim como os materiais escolares, devem ser limpas com panos molhados todas as manhãs. Deve ser levado em consideração que há evidências de que crianças desenvolvem sintomas alérgicos se as salas de aula forem limpas apenas às tardes, principalmente se aspiradores de pó não forem utilizados.²¹ Atenção particular deve ser dada na remoção de mofo ou focos de umidade. Além disso, ao limpar as salas de aula, as janelas devem ser abertas ou os sistemas de ventilação devem ser ligados para reduzir com eficiência as poeiras, particulados e concentrações de Radônio.
- Equipamentos como fotocopiadoras e impressoras que emitam particulados e VOCs devem ser colocados fora das salas de aula;
- Materiais escolares contendo substâncias químicas (como ciano acrilato, chumbo, cádmio, níquel etc.) devem ser evitados;
- A adoção de protocolos e medidas para monitorar a qualidade do ar interno deve ser promovida em todas as escolas;
- Os prédios escolares devem ser cercados por espaços verdes e árvores sempre que possível no intuito de criar uma “barreira verde” em relação às fontes externas de poluentes. Além disso, plantas específicas que possam absorver contaminantes internos (como formaldeído, tolueno, benzopireno etc.) como filtros naturais podem ser colocadas dentro das escolas para melhorar a qualidade do ar interno;⁵¹⁻⁵³
- Termostatos devem ser instalados em cada sala de aula para monitorar a temperatura (e possivelmente também umidade que deve ser de 45%-55%) e evitar superaquecimento ou ar seco. A instalação de desumidificadores (com manutenção adequada dos filtros) deve ser considerada, caso necessário.
- Fumar deve ser proibido dentro das escolas (nas salas de aula, banheiros, corredores) e nos espaços vizinhos, mesmo que leis não proibam expressamente;
- Reformas nos prédios escolares devem ser promovidas sempre que possível, priorizando remoção de asbestos (apenas por empresas especializadas), e com atenção ao uso de tintas resistentes a água ou móveis que possam emitir moléculas nocivas (como tolueno, benzeno, xilenos, etil benzeno), assim como potenciais fontes de compostos fatais

^{D)} Nota do tradutor: Instituto Italiano para Pesquisa e Proteção Ambiental (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale).

como monóxido de carbono (como sistemas de aquecimento que devem passar por manutenção anual e sempre ser instalados em áreas separadas do prédio principal);^{6,55}

- Monitoramento anual para verificar a concentração de Radônio e de material particulado PM2.5/PM10, com a supervisão de especialistas ou em colaboração com autoridades de saúde locais ou regionais;
- Instalação de filtros de alta performance para equipamentos de ar-condicionado e purificadores de ar (fazendo a manutenção dos filtros mensalmente) que neutralizem particulados finos devem ser considerados, pelo menos em escolas situadas próximo a vias com alta circulação de veículos ou próximo a semáforos, portos, estradas, aeroportos, áreas industriais e fazendas;⁵⁶
- A instalação de filtros que descontaminem o ar e sejam capazes de erradicar microrganismos e vírus (até 0.1 micron), já utilizados em instalações públicas e privadas, pode ser considerada no momento da reabertura de escolas após a pandemia da COVID-19.⁵⁷

Aprovação Ética: não aplicável.

Interesses Conflitantes: todos os autores declararam não haver interesses conflitantes.

Financiamento: sem financiamento externo.

Contribuição dos autores: MP, PP, SC, AC e AM conceberam, escreveram prepararam e revisaram o manuscrito.

Agradecimentos:

A Cátedra UNESCO de Educação para a Saúde e Desenvolvimento Sustentável e a Sociedade Italiana de Medicina Ambiental agradecem o Diretor-Assistente Geral para Educação Dra. Stefania Giannini e seu staff.

Para mais detalhes sobre os objetivos, programas e organização da Cátedra UNESCO, visite <https://www.unescochairnapoli.it>.

Referências

1. World Health Organization (WHO). WHO Guidelines for Indoor Air Quality. Available from: <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/policy/who-guidelines-for-indoor-air-quality>. Accessed February 6, 2020.
2. Lee SC, Chang M. Indoor air quality investigations at five classrooms. *Indoor Air*. 1999;9(2):134-8. doi: 10.1111/j.1600-0668.1999.t01-2-00008.x.
3. Dorizas PV, Assimakopoulos MN, Helmis C, Santamouris M. An integrated evaluation study of the ventilation rate, the exposure and the indoor air quality in naturally ventilated classrooms in the Mediterranean region during spring. *Sci Total Environ*. 2015;502:557-70. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.09.060.
4. Krawczyk DA, Gładyszewska-Fiedoruk K, Rodero A. The analysis of microclimate parameters in the classrooms located in different climate zones. *Appl Therm Eng*. 2017;113:108896. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2016.11.089.
5. Cai W, Yoshino H, Zhu S, Yanagi U, Kagi N, Hasegawa K. Investigation of microclimate and air pollution in the classrooms of a primary school in Wuhan. *Procedia Eng*. 2015;121:415-22. doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.1087.
6. Coley DA, Beisteiner A. Carbon dioxide levels and ventilation rates in schools. *International Journal of Ventilation*. 2002;1(1):45-52. doi: 10.1080/14733315.2002.11683621.
7. Poscia A, Burali A, Calzoni J, Colaiacomo E, Csobod E, De Maio F, et al. "How good is my classroom?" Italian results from the International SEARCH II Project on energy, indoor air quality and comfort at school: Andrea Poscia. *Eur J Public Health*. 2014;24(Suppl 2):cku162-073. doi: 10.1093/eurpub/cku162.073.
8. Amato F, Rivas I, Viana M, Moreno T, Bouso L, Reche C, et al. Sources of indoor and outdoor PM2.5 concentrations in primary schools. *Sci Total Environ*. 2014;490:757-65. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.05.051.
9. Rivas I, Viana M, Moreno T, Bouso L, Pandolfi M, Alvarez-Pedrerol M, et al. Outdoor infiltration and indoor contribution of UFP and BC, OC, secondary inorganic ions and metals in PM2.5 in schools. *Atmos Environ*. 2015;106:129-38. doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.01.055.
10. Rivas I, Viana M, Moreno T, Pandolfi M, Amato F, Reche C, et al. Child exposure to indoor and outdoor air pollutants in schools in Barcelona, Spain. *Environ Int*. 2014;69:200-12. doi: 10.1016/j.envint.2014.04.009.
11. Oliveira M, Slezakova K, Delerue-Matos C, Pereira MC, Morais S. Children environmental exposure to particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbons and biomonitoring in school environments: a review on indoor and outdoor exposure levels, major sources and health impacts. *Environ Int*. 2019;124:180-204. doi: 10.1016/j.envint.2018.12.052.
12. Chauhan AJ, Inskip HM, Linaker CH, Smith S, Schreiber J, Johnston SL, et al. Personal exposure to nitrogen dioxide NO2 and the severity of virus-induced asthma in children. *Lancet*. 2003;361(9373):1939-44. doi: 10.1016/s0140-6736(03)13582-9.
13. Wichmann J, Lind T, Nilsson MAM, Bellander T. PM2.5, soot and NO2 indoor-outdoor relationships at homes, pre-schools and schools in Stockholm, Sweden. *Atmos Environ*. 2010;44(36):4536-44. doi: 10.1016/j.atmosenv.2010.08.023.
14. Giovani C, Cappelletto C, Garavaglia M, Scruzzi E, Peressini G, Villalta R. Radon survey in schools in north-east Italy. *Radiat Prot Dosimetry*. 2001;97(4):341-4. doi: 10.1093/oxfordjournals.rpd.a006685.
15. Neamtiu IA, Lin S, Chen M, Roba C, Csobod E, Gurzau ES. Assessment of formaldehyde levels in relation to respiratory and allergic symptoms in children from Alba County schools, Romania. *Environ Monit Assess*. 2019;191(9):591. doi: 10.1007/s10661-019-7768-6.
16. Pegas PN, Evtugina MG, Alves CA, Nunes T, Cerqueira M, Franchi M, et al. Outdoor/indoor air quality in primary schools in Lisbon: a preliminary study. *Quim Nova*. 2010;33(5):1145-9. doi: 10.1590/S0100-40422010000500027.
17. Lim SK, Shin HS, Yoon KS, Kwack SJ, Um YM, Hyeon JH, et al. Risk assessment of volatile organic compounds benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene (BTEX) in consumer products. *J Toxicol Environ Health A*. 2014;77(22-24):1502-21. doi: 10.1080/15287394.2014.955905.
18. Sofuoglu SC, Aslan G, Inal F, Sofuoglu A. An assessment of indoor air concentrations and health risks of volatile organic compounds in three primary schools. *Int J Hyg Environ Health*. 2011;214(1):36-46. doi: 10.1016/j.ijheh.2010.08.008.

19. Mohammadyan M, Shabankhani B. Indoor PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ and outdoor PM_{2.5} concentrations in primary schools in Sari, Iran. *Arh Hig Rada Toksikol.* 2013;64(3):371- 7. doi: 10.2478/10004-1254-64-2013-2346.
20. Braniš M, Řezáčová P, Domasová M. The effect of outdoor air and indoor human activity on mass concentrations of PM₁₀, PM_{2.5}, and PM₁ in a classroom. *Environ Res.* 2005;99(2):143-9. doi: 10.1016/j.envres.2004.12.001.
21. Schools Indoor Pollution and HealthObservatory Network in Europe. Guidelines for Healthy Environments within Schools. Available from: https://www.ediliziascolastica.it/wp-content/uploads/2018/03/II_Italian-Guidelines.pdf. Accessed February 3, 2020.
22. Porta D, Narduzzi S, Badaloni C, Bucci S, Cesaroni G, Colelli V, et al. Air pollution and cognitive development at age 7 in a prospective Italian birth cohort. *Epidemiology.* 2016;27(2):228-36. doi: 10.1097/ede.0000000000000405.
23. Brabhukumr A, Malhi P, Ravindra K, Lakshmi PVM. Exposure to household air pollution during first 3 years of life and IQ level among 6-8-year-old children in India - a cross-sectional study. *Sci Total Environ.* 2020;709:135110. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135110.
24. Harris MH, Gold DR, Rifas-Shiman SL, Melly SJ, Zanobetti A, Coull BA, et al. Prenatal and childhood traffic-related pollution exposure and childhood cognition in the project viva cohort (Massachusetts, USA). *Environ Health Perspect.* 2015;123(10):1072-8. doi: 10.1289/ehp.1408803.
25. Pujol J, Martínez-Vilavella G, Macià D, Fenoll R, Alvarez- Pedrerol M, Rivas I, et al. Traffic pollution exposure is associated with altered brain connectivity in school children. *Neuroimage.* 2016;129:175-84. doi: 10.1016/j.neuroimage.2016.01.036.
26. Chiu YH, Bellinger DC, Coull BA, Anderson S, Barber R, Wright RO, et al. Associations between traffic-related black carbon exposure and attention in a prospective birth cohort of urban children. *Environ Health Perspect.* 2013;121(7):859-64. doi: 10.1289/ehp.1205940.
27. Haverinen-Shaughnessy U, Moschandreas DJ, Shaughnessy RJ. Association between substandard classroom ventilation rates and students' academic achievement. *Indoor Air.* 2011;21(2):121-31. doi: 10.1111/j.1600-0668.2010.00686.x.
28. Fisk WJ. The ventilation problem in schools: literature review. *Indoor Air.* 2017;27(6):1039-51. doi: 10.1111/ina.12403.
29. Mendell MJ, Heath GA. Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? a critical review of the literature. *Indoor Air.* 2005;15(1):27- 52. doi: 10.1111/j.1600-0668.2004.00320.x.
30. Midouhas E, Kokosi T, Flouri E. Outdoor and indoor air quality and cognitive ability in young children. *Environ Res.* 2018;161:321-8. doi: 10.1016/j.envres.2017.11.026.
31. Hutter HP, Haluza D, Pieglar K, Hohenblum P, Frohlich M, Scharf S, et al. Semivolatile compounds in schools and their influence on cognitive performance of children. *Int J Occup Med Environ Health.* 2013;26(4):628-35. doi: 10.2478/s13382-013-0125-z.
32. Gaihre S, Semple S, Miller J, Fielding S, Turner S. Classroom carbon dioxide concentration, school attendance, and educational attainment. *J Sch Health.* 2014;84(9):569-74. doi: 10.1111/josh.12183.
33. Twardella D, Matzen W, Lahrz T, Burghardt R, Spiegel H, Hendrowarsito L, et al. Effect of classroom air quality on students' concentration: results of a cluster-randomized cross-over experimental study. *Indoor Air.* 2012;22(5):378- 87. doi: 10.1111/j.1600-0668.2012.00774.x.
34. Ferreira AM, Cardoso M. Indoor air quality and health in schools. *J Bras Pneumol.* 2014;40(3):259-68. doi: 10.1590/s1806-37132014000300009.
35. Sunyer J, Esnaola M, Alvarez-Pedrerol M, Fornis J, Rivas I, López-Vicente M, et al. Association between traffic-related air pollution in schools and cognitive development in primary school children: a prospective cohort study. *PLoS Med.* 2015;12(3):e1001792. doi: 10.1371/journal.pmed.1001792.
36. Sunyer J, Suades-González E, García-Esteban R, Rivas I, Pujol J, Alvarez-Pedrerol M, et al. Traffic-related air pollution and attention in primary school children: short-term association. *Epidemiology.* 2017;28(2):181-9. doi: 10.1097/ede.0000000000000603.
37. Grineski SE, Clark-Reyna SE, Collins TW. School-based exposure to hazardous air pollutants and grade point average: a multi-level study. *Environ Res.* 2016;147:164-71. doi: 10.1016/j.envres.2016.02.004.
38. Petersen S, Jensen KL, Pedersen AL, Rasmussen HS. The effect of increased classroom ventilation rate indicated by reduced CO₂ concentration on the performance of schoolwork by children. *Indoor Air.* 2016;26(3):366-79. doi: 10.1111/ina.12210.
39. Polidori A, Fine PM, White V, Kwon PS. Pilot study of high-performance air filtration for classroom applications. *Indoor Air.* 2013;23(3):185-95. doi: 10.1111/ina.12013.
40. Bakó-Biró Z, Clements-Croome DJ, Kochhar N, Awbi HB, Williams MJ. Ventilation rates in schools and pupils' performance. *Build Environ.* 2012;48:215-23. doi: 10.1016/j.buildenv.2011.08.018.
41. Coley DA, Greeves R, Saxby BK. The effect of low ventilation rates on the cognitive function of a primary school class. *Int J Vent.* 2007;6(2):107-12. doi: 10.1080/14733315.2007.11683770.
42. Rosbach JT, Vonk M, Duijm F, van Ginkel JT, Gehring U, Brunekreef B. A ventilation intervention study in classrooms to improve indoor air quality: the FRESH study. *Environ Health.* 2013;12:110. doi: 10.1186/1476-069x-12- 110.
43. Wargocki P, Wyon DP. The effects of moderately raised classroom temperatures and classroom ventilation rate on the performance of schoolwork by children (RP-1257). *HVAC&R Res.* 2007;13(2):193-220. doi: 10.1080/10789669.2007.10390951.
44. Mendell MJ, Eliseeva EA, Davies MM, Lobscheid A. Do classroom ventilation rates in California elementary schools influence standardized test scores? results from a prospective study. *Indoor Air.* 2016;26(4):546-57. doi: 10.1111/ina.12241.
45. Toftum J, Kjeldsen BU, Wargocki P, Menå HR, Hansen EMN, Clausen G. Association between classroom ventilation mode and learning outcome in Danish schools. *Build Environ.* 2015;92:494-503. doi: 10.1016/j.buildenv.2015.05.017.
46. Martenies SE, Batterman SA. Effectiveness of using enhanced filters in schools and homes to reduce indoor exposures to PM_{2.5} from outdoor sources and subsequent health benefits for children with asthma. *Environ Sci Technol.* 2018;52(18):10767-76. doi: 10.1021/acs.est.8b02053.
47. Gilraine M. Air Filters, Pollution and Student Achievement. Available from: <https://www.semanticscholar.org/paper/Air-Filters%2C-Pollution%2C-and-Student-Achievement-Gilraine/8ae08d308f25e0834ad5fb9b5b9c6a775ccae1c4>. Accessed April 5, 2020.
48. Roth S. The Effect of Indoor Air Pollution on Cognitive Performance: Evidence from the UK. Available from: <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Effect-of-Indoor-Air-Pollution-on-Cognitive-the-Roth/6d210d6b55f2a3e908047ede9a716455c9ff34d4>. Accessed April 5, 2020.

49. United States Environmental Protection Agency (EPA). Reference Guide for Indoor Air Quality in Schools. Available from: <https://www.epa.gov/iaq-schools/reference-guide-indoor-air-quality-schools>. Accessed April 5, 2020.
50. Davvand P, Nieuwenhuijsen MJ, Esnaola M, Fornis J, Basagaña X, Alvarez-Pedrerol M, et al. Green spaces and cognitive development in primary schoolchildren. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2015;112(26):7937-42. doi: 10.1073/pnas.1503402112.
51. Brilli F, Fares S, Ghirardo A, de Visser P, Calatayud V, Muñoz A, et al. Plants for sustainable improvement of indoor air quality. *Trends Plant Sci*. 2018;23(6):507-12. doi: 10.1016/j.tplants.2018.03.004.
52. Sriprapat W, Suksabye P, Areephak S, Klantup P, Waraha A, Sawattan A, et al. Uptake of toluene and ethylbenzene by plants: removal of volatile indoor air contaminants. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2014;102:147-51. doi: 10.1016/j.ecoenv.2014.01.032.
53. Dingle P, Tapsell P, Hu S. Reducing formaldehyde exposure in office environments using plants. *Bull Environ Contam Toxicol*. 2000;64(2):302-8. doi: 10.1007/s001289910044.
54. Garrahan K. Friable asbestos in schools must be found by May 1988, removal plan must start by 1989. *JAMA*. 1987;257(12):1570-1. doi: 10.1001/jama.257.12.1570.
55. Bluysen PM. The role of flooring materials in health, comfort and performance of children in classrooms. *Cogent Psychol*. 2016;3(1):1268774. doi: 10.1080/23311908.2016.1268774.
56. McCarthy MC, Ludwig JF, Brown SG, Vaughn DL, Roberts PT. Filtration effectiveness of HVAC systems at near-roadway schools. *Indoor Air*. 2013;23(3):196-207. doi: 10.1111/ina.12015.
57. De Waegemaeker P, Bovyn N, Vanneste M, Verschraegen G. The effect of a mobile air purification unit on the air quality of a room contaminated with *Aspergillus* sp. *J Hosp Infect*. 2010;76 Suppl 1:S35. doi: 10.1016/s0195-6701(10)60116-8.

© 2020 Os Autores.

Este é um artigo de livre acesso distribuído nos termos da *Creative Commons Attribution License* (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer mídia desde que o trabalho original seja devidamente citado.

Trabalho original

Pulimeno M, Piscitelli P, Colazzo S, Colao A, Miani A. Indoor air quality at school and students' performance: Recommendations of the UNESCO Chair on Health Education and Sustainable Development & the Italian Society of Environmental Medicine (SIMA). *Health Promot Perspect*. 2020 Jul 12;10(3):169-174. doi: 10.34172/hpp.2020.29. PMID: 32802752; PMCID: PMC7420173.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7420173/>