



# LEARNING TOXICOLOGY THROUGH OPEN EDUCATIONAL RESOURCES

## Poluição “*indoor*”

Dana PERNIU, Ileana MANCIULEA  
Transilvania University of Brasov  
[d.perniu@unitbv.ro](mailto:d.perniu@unitbv.ro), [i.manciulea@unitbv.ro](mailto:i.manciulea@unitbv.ro)

Traduzido e adaptado por Bárbara Silva ([barbarapolerisilva@gmail.com](mailto:barbarapolerisilva@gmail.com)),  
Telma Soares ([telmabsoares@gmail.com](mailto:telmabsoares@gmail.com)) e Fernando Remião  
([remiao@ff.up.pt](mailto:remiao@ff.up.pt)) do Laboratório de Toxicologia da Faculdade de Farmácia  
da Universidade do Porto (Portugal)



**U. PORTO**



Erasmus+

This work is licensed under a Creative  
commons attribution – non commercial 4.0  
international license



## 1. INTRODUÇÃO

A poluição “indoor”, é um assunto bastante importante, uma vez que as pessoas da atualidade passam a maioria do seu tempo “indoor” - casa, local de trabalho, espaços para lazer. Estes espaços são muito diversos e a qualidade do ar é caracterizada por ser heterogénea e muitas vezes pode produzir efeitos adversos para a saúde.

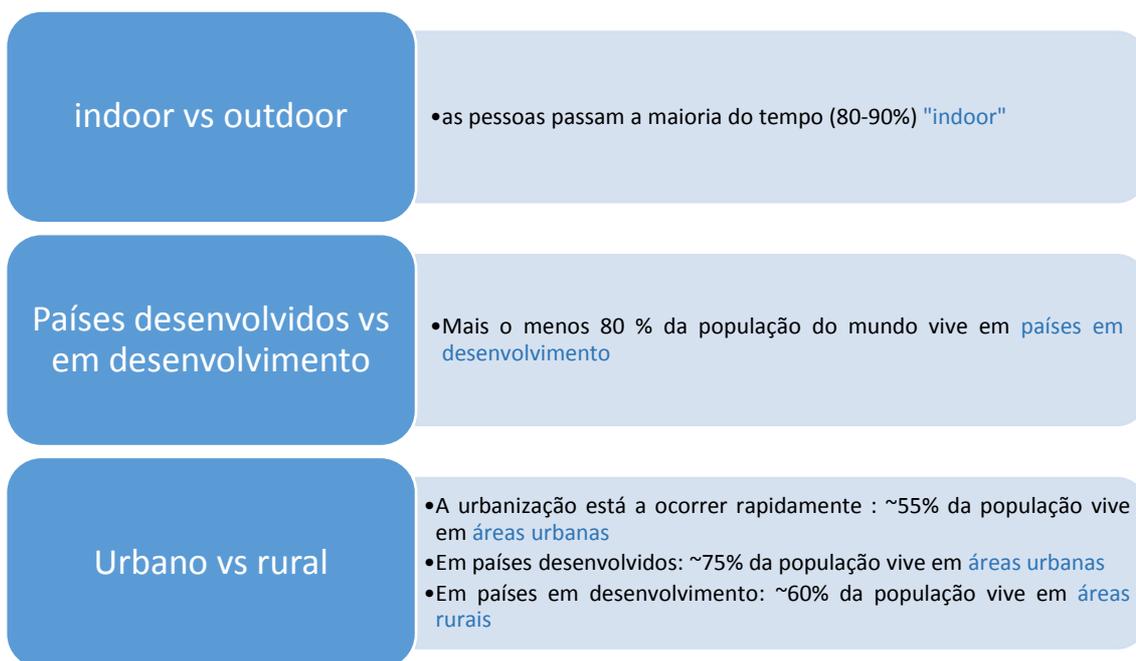
## 2. MICROAMBIENTES

A exposição humana a poluentes ocorre quando estes estão em contato com um poluente com determinada concentração, durante um determinado período de tempo. A exposição ocorre, portanto, no local onde as pessoas frequentemente permanecem, numa área referenciada genericamente como "microambiente". O microambiente é definido como o espaço tridimensional onde, o nível de poluente, em algum tempo específico, é uniforme. O microambiente é caracterizado por uma constante concentração das espécies. Considerando um esquema de classificação do ambiente global, incluindo o ambiente natural e socioeconômico, e também considerando as estatísticas internacionais, pode-se deduzir que a maioria da população vive, na maior parte do tempo, nos microambientes rurais “indoors”, em países em desenvolvimento.

No entanto, uma parte significativa da população vive na área urbana e trabalha em ambiente de escritório, uma vez que a era pós-industrial levou a uma mudança do setor de manufatura para o setor de serviços e conhecimento.

Nesta seção, apresentaremos aspectos relacionados ao problema da qualidade do ar interior, em diferentes microambientes, de diferentes zonas.

Obviamente, a qualidade do ar interior depende de fatores como a qualidade do ambiente ao ar livre, características socioeconômicas dos ocupantes e também o seu estilo de vida.



### 3. QUALIDADE DO AR “INDOOR” – TERMINOLOGIA

Considerando a terminologia, devemos prestar atenção a vários termos usados com frequência.

O ambiente “indoor” está situado dentro de edifícios ou outros espaços fechados, ocupados por pessoas. Como por exemplo, um prédio de escritórios, um apartamento num bloco de apartamentos, o interior de um autocarro.

A qualidade do ar interior é a qualidade do ar dentro do edifício (ou espaço fechado) onde é analisado.

A poluição “indoor” é causada pela presença de concentrações aumentadas de espécies químicas (monóxido de carbono), processos físicos (ruído) ou contaminantes biológicos (ácaros) no ar.

Entre as fontes de poluição atmosférica interna, mencionamos a queima de combustíveis fósseis para aquecimento e cozimento, o fumo, as emissões de materiais de construção, móveis, tapetes, o uso de produtos químicos para limpeza, ventilação incorreta ou manutenção inadequada de sistemas de ar condicionado, infiltração de poluentes atmosféricos por proximidade.

Ambiente "indoor"	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ambiente situado no interior de um edifício ou outro espaço fechado ocupado por humanos</li></ul>
Qualidade do ar "indoor"	<ul style="list-style-type: none"><li>• Qualidade do ar dentro de edifícios</li></ul>
Poluição "indoor"	<ul style="list-style-type: none"><li>• Causada por concentrações de químicos, contaminantes físicos e biológicos no ar presente dentro de edifícios e outros espaços fechados ocupados por humanos</li></ul>
Fontes de poluição "indoor"	<ul style="list-style-type: none"><li>• Combustão de combustíveis fósseis para aquecimento e cozimento</li><li>• Fumo de tabaco</li><li>• Emissão dos materiais de construção</li><li>• Uso de químicos de limpeza</li><li>• Manutenção imprópria dos sistemas de ventilação e ar condicionado</li><li>• Penetração dos poluentes "outdoor"</li></ul>

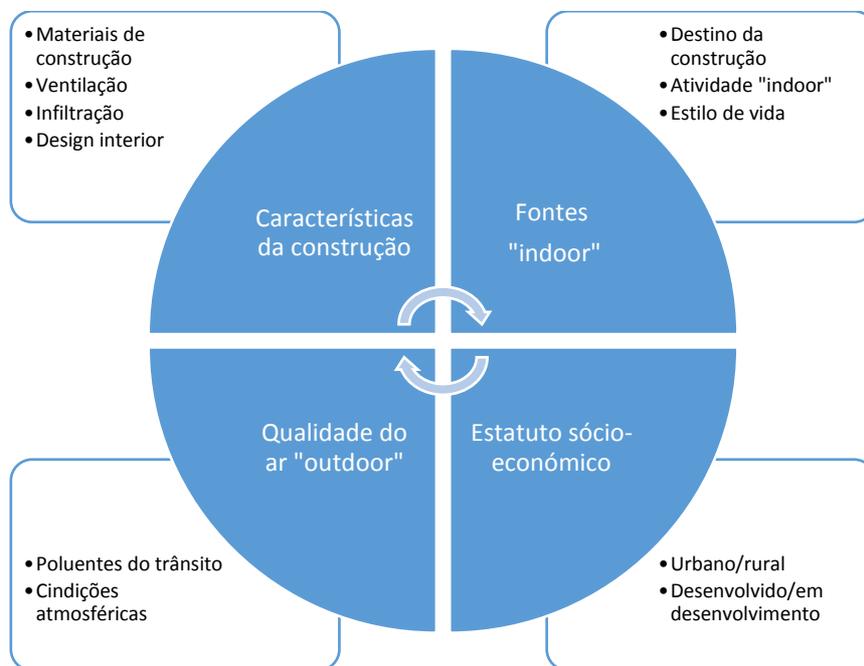
#### 4. FATORES QUE AFETAM A QUALIDADE DA QUALIDADE DO AR

A qualidade do ar interior depende de vários fatores, aqui mencionados.

Em primeiro lugar, o estatuto socioeconômico da área onde o edifício está construído. Em seguida, os edifícios diferem entre si pelas características da construção e design. Assim, consoante o design e construção, o edifício permite a ventilação natural ou artificial e/ou favorece a infiltração de poluentes. A ventilação e a infiltração são processos que envolvem a troca de poluentes entre o exterior e o interior. A ventilação, um processo intencional, está ligada aos hábitos dos ocupantes e depende da estação e das condições meteorológicas. A infiltração não é intencional e permite a penetração de poluentes do exterior com dimensões muito baixas, geralmente partículas na casa dos micrometros.

Geralmente os poluentes do transporte rodoviário passam do exterior para o interior. Assim, o edifício estar localizado na proximidade de uma fonte de poluição é um dos fatores que afetam a qualidade do ar interior.

As fontes de poluição interna dependem do local da construção, das atividades dos ocupantes, do estilo de vida e dos hábitos e de elementos que influenciam fortemente a qualidade do ar interior.



## 5. Poluentes “indoor” e exemplos das suas fontes

Em interiores, uma infinidade de poluentes podem existir, produzidos por atividades/fontes internas e por fontes externas.

Os poluentes gasosos, como o monóxido de carbono, o dióxido de nitrogênio e o dióxido de enxofre são gerados principalmente pela combustão de combustíveis fósseis. Em caso de uso de aparelhos de combustão não ventilados, a concentração de dióxido de nitrogênio em lares pode exceder em grande parte a forma externa, especialmente nas cozinhas.

O monóxido de carbono é um gás insípido, inodoro, incolor e não irritante produzido pela combustão incompleta de material orgânico e é uma das principais causas de intoxicação. É emitido em interiores onde são utilizados aparelhos a gás, aquecedores de querosene não ventilados, e também está presente no tabaco. O principal efeito do CO é resultado da sua capacidade de prejudicar a capacidade de ligação do oxigênio á hemoglobina. O efeito do envenenamento depende da concentração, do tempo de exposição e do estado geral de saúde da pessoa exposta.

Os radicais livres, como o hidroxilo, hidroxiperoxilo e também ozônio, são produzidos por reações químicas. O ozônio, um poluente secundário, chega ao interior através do exterior, especialmente durante o verão, em edifícios situados na proximidade de estradas com trânsito intenso. Uma fonte importante para o ozônio interno é o uso de purificadores de ar que ajudam em numerosas doenças respiratórias, reduzem os odores e destroem micróbios.

As partículas, que podem acomodar uma grande variedade de poluentes, como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, pesticidas, compostos orgânicos voláteis e contaminantes biológicos, são resultado da queima, no interior, dos combustíveis, do tabaco e também da contaminação ao ar livre. As partículas podem ser libertadas diretamente ou podem ser o resultado de reações químicas de precursores de fase gasosa (partículas secundárias) provenientes de fontes internas e externas. As características das partículas dependem da forma das fontes que são produzidas e dos processos pós-emissão envolvendo partículas.

Outra fonte de poluição interna, geradora de aerossóis ricos em compostos orgânicos voláteis e semi-voláteis é o uso de produtos químicos para limpeza. Entre as fontes de emissões de compostos orgânicos voláteis (COV) em interiores, mencionam-se os novos móveis, tapetes, azulejos, revestimentos de paredes de vinil, tintas e adesivos. O formaldeído, um composto tóxico, pode existir em interiores onde são utilizados móveis de madeira e vários adesivos. A combinação de fontes que libertam COV em interiores pode resultar na exposição de expositores a uma "sopa química" compreendendo entre 50 a 300 VOC individuais diferentes.

O fumo do tabaco contém mais de 4000 produtos químicos na forma de partículas e gases, muitos dos quais são conhecidos como suscetíveis de ser carcinógenos.

Também é necessário mencionar a presença de contaminantes biológicos, como ácaros domésticos e bactérias no interior.

<b>Monóxido de carbono</b> - Combustão de combustível/tabaco; outdoor	<b>Óxidos de nitrogénio</b> - Combustão de combustível; outdoor (trânsito)	<b>Dióxido sulfúrico</b> - Combustão de carvão; outdoor	<b>Radicais livres e ozônio</b> - Química indoor; outdoor
<b>Partículas finas</b> - Combustão de combustíveis/tabaco; limpeza; cozimento; outdoor(trânsito)	<b>Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos</b> - Combustão de combustíveis/tabaco; limpeza; outdoor (trânsito)	<b>Asbestos</b> - Demolição/remodelação	<b>Pesticidas</b> - Produtos domésticos; Pó do exterior
<b>Aldeídos</b> - Móveis; materiais de construção; cozimento; adesivos	<b>Compostos orgânicos voláteis</b> - Combustão; operações domésticas; materiais de construção; outdoor (trânsito)	<b>Radônio</b> - solo sob construção; materiais de construção	<b>Contaminantes Biológicos</b> - Materiais húmidos; mobília; Componentes de ar condicionado; ocupantes; ar outdoor; animais

## 6. Efeitos da exposição na poluição “indoor”

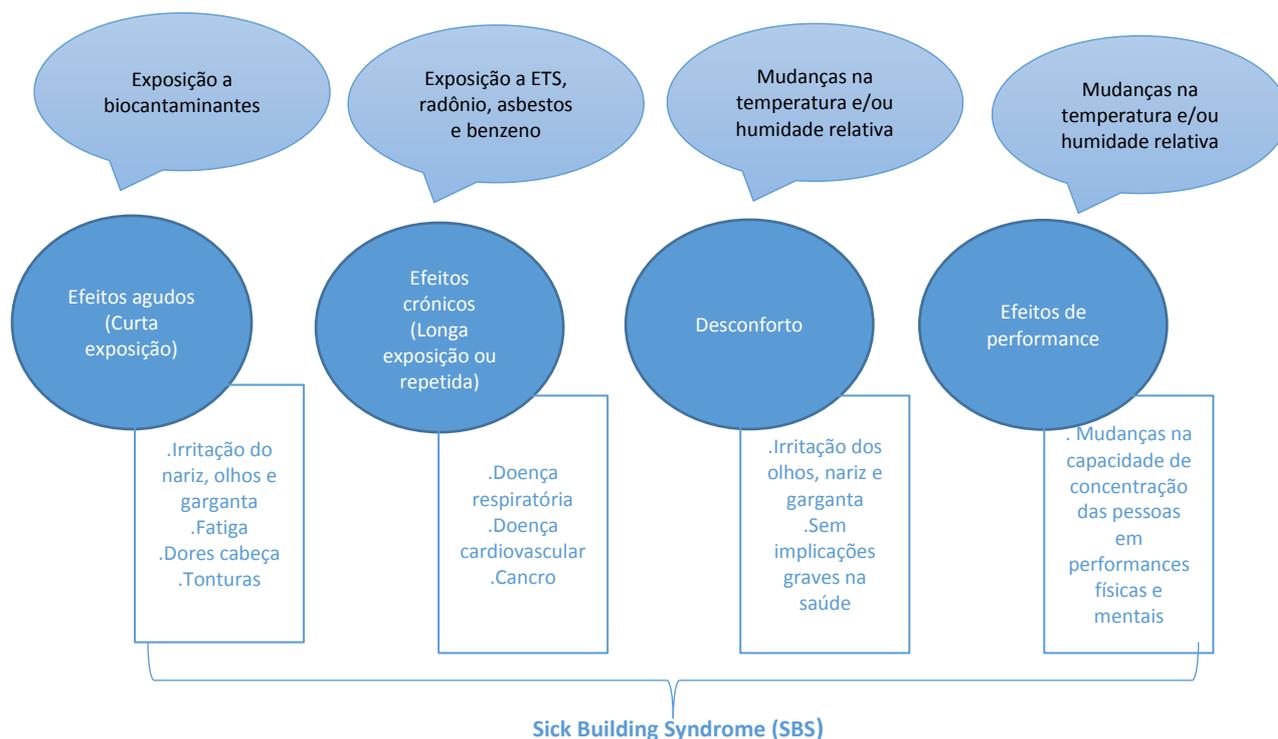
O efeito da exposição individual à poluição interna depende principalmente do tipo de poluente e da duração da exposição. O tempo de resposta após a exposição é um fator importante na avaliação efetiva. Os efeitos agudos manifestam-se imediatamente após a exposição, tal como irritações, fadiga, dores de cabeça e tonturas. Normalmente, estes efeitos são causados pela exposição a contaminantes biológicos, emissões de materiais de construção, mas principalmente por ventilação inadequada do local.

Como resposta à exposição prolongada, ou a exposições repetidas, os efeitos crônicos são manifestados, sendo o cancro um dos exemplos. Entre os poluentes, são mencionados o fumo do tabaco, o radônio, o benzeno e o amianto.

Os efeitos sem graves implicações para a saúde, são o desconforto e a diminuição do desempenho do trabalho, causados pelas mudanças nos parâmetros físicos do ar interior.

Como consequência de uma ventilação inadequada e de poluentes gasosos e / ou acumulação de contaminantes biológicos em interiores, os ocupantes do edifício relatam uma série de queixas para as quais não há causa óbvia e os exames médicos não revelam anormalidades específicas.

Os sintomas estão presentes quando os indivíduos estão no edifício, mas desaparecem quando eles saem. Geralmente estes sintomas levam ao absentismo e / ou à diminuição do desempenho e eficiência do trabalho das pessoas expostas.



## EXEMPLOS

Uma miríade de poluentes internos, com natureza inorgânica, orgânica ou biológica, com risco potencial para a saúde humana, têm níveis de concentração internos superiores ao exterior. Assim, a exposição da população pode ser significativamente maior no interior do que no exterior. Neste contexto, selecionamos exemplos de microambientes com risco potencial para a saúde dos ocupantes

## 7. ACESSO DE ENERGIA EM DOMICÍLIOS

O uso de energia em casas é uma característica vital da sociedade humana. A energia é usada para uma grande variedade de propósitos, incluindo cozinhar, aquecimento, iluminação entre várias tarefas domésticas e de entretenimento.

Como foi mencionado no início desta seção, a maioria da população gasta a maior parte do tempo em ambientes fechados, em ambiente rural, em países em desenvolvimento.

Devido ao baixo nível de vida, o acesso aos recursos necessários para as necessidades básicas como alimentação define a existência de uma parte significativa da população mundial. As estatísticas internacionais recentes mencionam 2,8 bilhões de pessoas sem acesso a combustível limpo para cozinhar e 1,1 bilhão sem acesso à eletricidade. Para garantir as necessidades

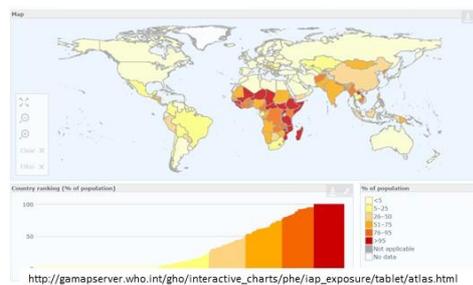
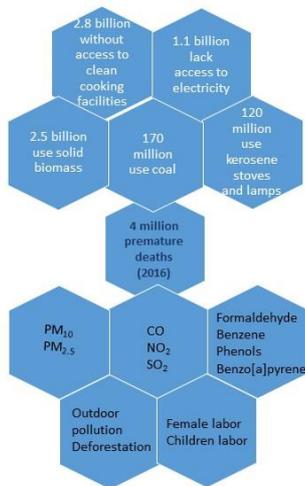
básicas, 2,5 milhões de pessoas utilizam biomassa sólida, 170 milhões utilizam carvão e 120 milhões utilizam querosene como combustível. Assim, um grande número de pessoas está exposto, nas próprias casas, a poluentes como partículas, monóxido de carbono, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre, compostos orgânicos voláteis e semi-voláteis. Conforme mencionado pela Organização Mundial da Saúde, a poluição atmosférica dos agregados familiares de combustível é o risco de saúde ambiental global mais importante atualmente.

Como resultado da poluição atmosférica “indoor”, em 2016, foram registradas 4 milhões de mortes prematuras, em países em desenvolvimento, por doenças cardiovasculares, cancro de pulmão e doenças respiratórias agudas.

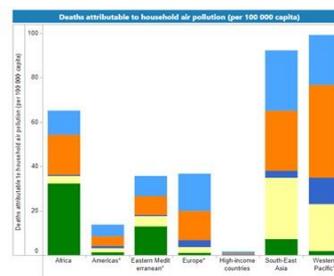
Além dos efeitos diretos sobre a saúde humana, a poluição interna causada pelo uso de combustível fóssil para cozinhar e para o aquecimento, leva à poluição do ar exterior na proximidade.

As mulheres e as crianças são mais afetadas por esse tipo de poluição. As mulheres são as que

**ENERGY ACCESS IN HOUSEHOLDS**



Exposure to household air pollution  
 Population using solid fuels - 2013



Mortality from household air pollution

<http://apps.who.int/gho/data/view/rappor.ENVHEALTH7HAPV?lang=en>

tradicionalmente asseguram o alimento para toda a família, de modo que a exposição à poluição interna é longa. As crianças, devido ao sistema imunológico incompletamente desenvolvido, são fortemente afetadas por poluentes internos.

## 8. Microambiente do sono

Em todo o mundo as pessoas dormem em média, 8-9 horas por dia, o que significa um terço do tempo. Assim, o microambiente do sono é significativo em termos de exposição a poluentes internos.



This work is licensed under a Creative Commons attribution – non commercial 4.0 international license

O microambiente do sono pode ser definido como o espaço que abrange um colchão, travesseiro, materiais de cama e o volume de ar acima destes. Todos estes componentes podem ser assumidos como fontes de poluição interna, uma vez que estão imediatamente próximos dos indivíduos, portanto a exposição durante um longo período de tempo ocorre por inalação e contato dérmico. A exposição é muito mais intensa no caso das crianças, especialmente para as mais pequenas, considerando os longos tempos alocados para dormir e também para o baixo peso corporal.

Nos microambientes do sono, um grande espectro de espécies com efeitos prejudiciais para a saúde humana pode ser encontrado. Os colchões, almofadas e materiais de cama acumulam material biológico, como ácaros, fungos e bactérias. São também fontes de poluentes emitidos diretamente ou acumulados em partículas de poeira. Apresentamos aqui vários exemplos.

Os compostos químicos para a categoria de plastificantes e retardadores de chama adicionados à espuma dos colchões, são conhecidos como substâncias com efeitos adversos ao sistema respiratório e podem produzir danos na pele e cancro. Mesmo que alguns destes produtos químicos sejam proibidos em artigos de cama, eles podem estar presentes nos artigos de quarto.

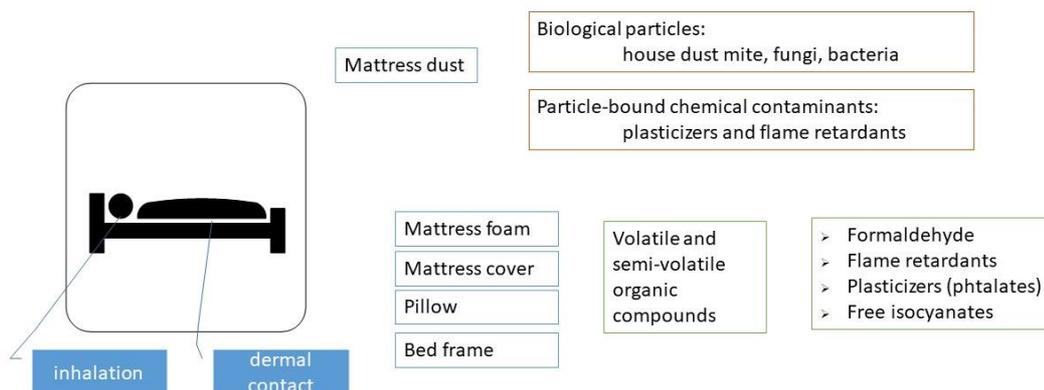
Os retardadores de chama são introduzidos na fabricação de colchões de espuma de poliuretano. Ao longo do tempo, foram utilizados compostos orgânicos diferentes, como difenilos polibromados e organofosfatos.

Os plastificantes, como os ftalatos, são adicionados para aumentar a suavidade e a flexibilidade na maioria dos colchões infantis.

Os diisocianatos são utilizados como aditivos em colchões de espuma de poliuretano, portanto, podem ser fonte de emissão de isocianato residual altamente tóxico.

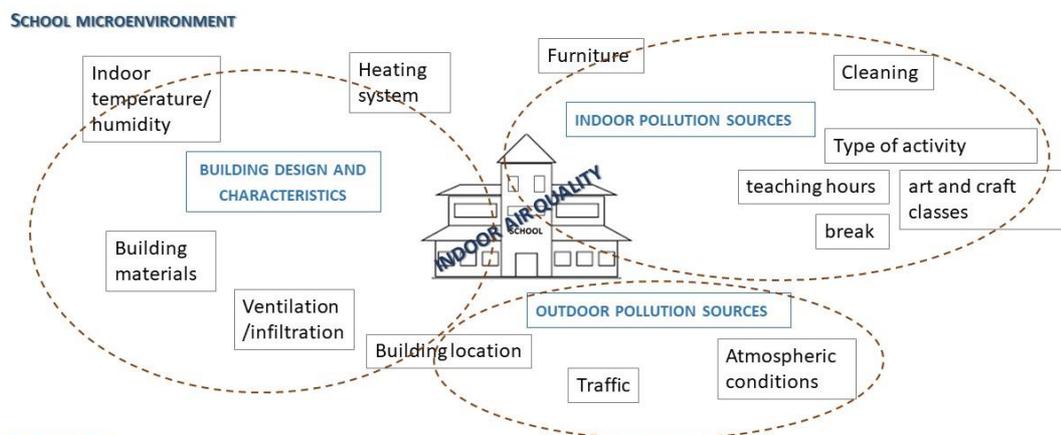
A partir da categoria de compostos orgânicos voláteis emitidos no microambiente do sono, mencionamos o formaldeído, pois é amplamente utilizado em compósitos de madeira e adesivos para a construção de estruturas de cama.

A concentração de poluentes é influenciada pela ventilação da sala, mas também por fatores pessoais como a temperatura corporal durante o sono, humidade corporal, higiene pessoal e comportamento durante o sono.



## 9. Microambiente escolar

Sem dúvida, a escola é um elemento-chave no desenvolvimento da humanidade. Assim, oferecer escolas de qualidade para as crianças é uma obrigação para cada geração. A qualidade da escola refere-se não apenas a questões didáticas, mas também à qualidade do microambiente onde as crianças aprendem e se desenvolvem.



### Pollutants:

- **Gaseous inorganic pollutants:** SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>
- **Organic pollutants:** volatile and semi-volatile organic compounds
- **Particulates:** biological, primary and secondary particulates PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>

Os microambientes das escolas são críticos em termos de qualidade do ar interior, porque geralmente estão localizadas na proximidade de zonas com trânsito rodoviário intenso. Por outro lado, os alunos desenvolveram vulnerabilidade à qualidade do ar, devido à sua idade, mas também como consequência do grande número de horas passado nas escolas. Na escola, a densidade de ocupação é alta, as crianças são muito ativas e os espaços nem sempre são bem ventilados.

Devido às atividades no ambiente escolar, à infiltração ao ar livre e às características da construção do edifício, em função dos hábitos e comportamentos dos ocupantes, nas escolas existem um grande número de poluentes gasosos, com natureza inorgânica, orgânica ou biológica. Quando os combustíveis fósseis são utilizados para aquecimento, são emitidos poluentes gasosos como óxido de enxofre, dióxido de nitrogênio, óxido de carbono e dióxido de carbono. Se o local não for ventilado, estes poluentes podem atingir altas concentrações. Como resultado da infiltração de poluentes ao ar livre, o ozônio está presente em escolas situadas perto de trânsito intenso. O dióxido de carbono pode atingir concentrações muito altas em locais com pouca ventilação e com intensa atividade devido ao grande número de crianças. O dióxido de carbono é geralmente considerado um parâmetro de referência para a qualidade do ar interno e para a ventilação adequada. Os aumentos significativos da concentração de poluentes orgânicos estão correlacionados com o uso de tintas e colas e também com o uso de alguns detergentes utilizados durante as atividades de limpeza. Além disso, os tecidos, mobiliário e materiais de construção também podem ser fonte de compostos orgânicos com efeitos altamente adversos à saúde das crianças, como por exemplo o formaldeído e bifenilos policlorados. Para as partículas, tanto as fontes interiores como externas desempenham um papel importante. Às vezes, os valores de PM podem ser significativamente maiores no interior do que no exterior, em grande parte devido à ressuspensão e especialmente à fração de partículas mais finas. O potencial prejudicial da matéria em partículas está relacionado à sua capacidade de penetrar nas áreas mais profundas do trato respiratório humano, transportando compostos como metais pesados, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e dioxinas / furanos ligados à superfície da partícula. Durante o inverno, portas e janelas fechadas levam à acumulação destes poluentes no ambiente interno, e a restrição do espaço de ar também pode levar ao crescimento de contaminantes biológicos, como bactérias, fungos e mofo.

## 10. Referências

<http://www.who.int/indoorair/guidelines/hhfc/en/>  
<http://www.who.int/indoorair/publications/household-fuel-combustion/en/>  
[http://www.who.int/gho/phe/indoor\\_air\\_pollution/burden/en/](http://www.who.int/gho/phe/indoor_air_pollution/burden/en/)  
[http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/HAP\\_BoD\\_results\\_March2014.pdf?ua=1](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/HAP_BoD_results_March2014.pdf?ua=1)  
<http://apps.who.int/gho/data/view.wrapper.ENVHEALTH7HAPv?lang=en>  
[http://gamapserv.who.int/gho/interactive\\_charts/phe/iap\\_exposure/tablet/atlas.html](http://gamapserv.who.int/gho/interactive_charts/phe/iap_exposure/tablet/atlas.html)  
<https://www.iea.org/energyaccess/>  
[https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2017SpecialReport\\_EnergyAccessOutlook.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2017SpecialReport_EnergyAccessOutlook.pdf)

Bernstein, J., Alexis, N., Bacchus, H., Bernstein, I.L., Friz P., Horner E., Li, N., Mason S., Nel, A., Oullette, J., Reijula, K., reponen, T., Selzer, J., Smith A., Tarlo, S., The health effects on nonindustrial indoor air pollution, in: *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*, vol. 121 (3), 2008, 585 - 591

Barron, M., Torero, M., Household electrification and indoor air pollution, in: *Journal of Environmental Economics and Management*, 86 (2017) 81-92.

Boor, B.E., Spilak, M.P., Laverge, J., Novoselak, A., Xu, Y., Human exposure to indoor air pollutants in sleep microenvironments: A literature review, in: *Building and Environment*, 125 (2017) 528-555

Salthammer, T., Udhe, E., Schripp, T., Schieweck, A., Morawska, L., Mazaheri, M., Clifford, S., He, C., Buonanno, G., Querol, X., viana, M., Kumar, P., Children's well-being at schools: Impact of climatic conditions and air pollution, in: *Environmental International*, 94 (2016) 196-210

Pacitto, A., Stabile, L., Viana, M., Scungio, M., Reche, C., Querol, X., Alastuey, A., Rivas, I., Alvarez-Pedrerol, M., Sunyer, J., van Drooge, B.L., Grimalt, J.O., Sozzi, R., Vigo, P., Buonanno., Particle related exposure, dose and lung cancer risk of primary school children in two European countries, in: *Science of the Total Environment*, 616-617 (2018) 729-729



**VNIVERSIDAD  
D SALAMANCA**

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



South-Eastern Finland  
University of Applied Sciences

**U. PORTO**



**Universitatea  
TRANSILVANIA  
din Braşov**



**UNIVERZITA  
KARLOVA**



**ИКНТ**

<https://toxoeer.com>

Project coordinator: Ana I. Morales  
Headquarters office in Salamanca.  
Dept. Building, Campus Miguel de Unamuno, 37007.  
Contact Phone: +34 663 056 665