

ANÁLISE DA VARIAÇÃO DE FILTRAGEM E DA VAZÃO DO AR EXTERNO SOBRE PARÂMETROS DA QUALIDADE DO AR INTERIOR

Andre Fransolin Rollo – andrerollo90@gmail.com

Antonio Luis de Campos Mariani – camposmariani@gmail.com

Marcos de Mattos Pimenta - mmpimenta@uol.com.br

Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, www.poli.usp.br

F2 – Qualidade Ambiental Interna

Resumo. *A qualidade do ar interior é um assunto de grande relevância para o bem-estar e saúde dos ocupantes de uma edificação. Com o advento da pandemia causada pelo coronavírus este assunto ganhou ainda mais importância para o dimensionamento de um sistema de ar condicionado e ventilação e para a sociedade como um todo, em uma fase de reocupação de ambientes internos, visando maior segurança para os ocupantes. Instituições reconhecidas confirmaram a possibilidade de transmissão do vírus através das vias aéreas. Este contexto reforça a importância de uma melhor compreensão sobre o comportamento dos parâmetros da qualidade do ar interior e sua relação com as considerações de projeto dos sistemas AVAC. Seguindo este tema, o presente artigo visa apresentar os resultados obtidos através de ensaio experimental realizado em uma sala de aula, no qual foram variados o número de caixas de renovação de ar em operação e a classe de filtragem adotada para o ar externo, para avaliar os efeitos da alteração destes parâmetros sobre o nível de contaminantes no interior do ambiente. O foco é dado na concentração de materiais particulados finos e na análise microbiológica acerca dos fungos viáveis identificados no ar interior e no ar externo. São ainda avaliadas as concentrações de dióxido de carbono e as condições psicrométricas no interior do ambiente, comparando-se os resultados com recomendações de Normas nacionais e internacionais vigentes.*

Palavras-chave: *Qualidade do ar interior, Filtragem, Renovação de ar, Ambientes de ensino*

1. INTRODUÇÃO

A qualidade do ar em ambientes internos é um assunto de crescente importância nos estudos referentes não apenas ao dimensionamento dos sistemas de condicionamento de ar, mas também quanto à saúde e ao bem-estar dos ocupantes de uma dada edificação. Com o advento da pandemia do coronavírus (SARS-CoV-2, COVID-19) estudos para a melhor compreensão do comportamento dos diversos contaminantes presentes no ar interior de um ambiente ocupado tiveram sua relevância incrementada.

Ao longo da pandemia, instituições internacionais de reconhecidas contribuições técnicas, como ASHRAE (2021) e REHVA (2020), baseadas em estudos científicos, confirmaram a possibilidade de transmissão de microrganismos pelo ar, com contágio através das vias aéreas, como sendo um dos principais meios de contágio do coronavírus. Este risco de disseminação do vírus se intensifica em ambientes com ventilação deficiente e grande ocupação, motivando a emissão por parte de instituições especializadas de guias e recomendações para a retomada da ocupação de ambientes internos, para ambientes com diferentes perfis de ocupação. Dentre eles destacam-se os ambientes de ensino, como abordado em ASHRAE (2020).

Alinhado com este objetivo de estudo do comportamento dos contaminantes em ambientes internos, o presente artigo apresenta os resultados de ensaio experimental desenvolvido no dia 20/11/2021, em sala de aula localizada nas dependências da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Neste ensaio, o impacto de dois parâmetros essenciais para a obtenção de uma boa qualidade do ar interior (QAI) foi avaliado, sendo: a renovação do ar interior, com uma determinada vazão de ar exterior, e o nível de filtragem utilizado para a admissão deste ar de renovação.

De forma geral, as características do ar no interior dos edifícios são afetadas tanto pela qualidade local do ar externo quanto pela produção de contaminantes e particulados no interior do ambiente (ANVISA, 2013). No presente experimento, realizado em um ambiente sem ocupação, com exceção da própria equipe de medição, o foco é a avaliação da influência das características do ar externo e do tratamento a ele dedicado sobre o nível de contaminantes verificado no interior do ambiente estudado, Sala A2 do Depto. de Engenharia Mecânica.

A vazão de ar externo utilizada e o nível de filtragem adotado, exercem também influência sobre a carga térmica e as perdas de carga presentes no sistema, para as quais devem ser dimensionados os equipamentos de ar condicionado e ventilação que atendem o ambiente. Desta forma, um melhor entendimento acerca dos níveis de renovação e filtragem de ar requeridos pode contribuir na adoção de critérios de projeto que conciliem a obtenção de uma adequada QAI com uma maior eficiência energética da instalação.

Os parâmetros da qualidade do ar interior monitorados neste ensaio experimental englobam contaminantes físicos, químicos e biológicos. Como foco do estudo apresentado está a análise dos materiais particulados finos e dos fungos viáveis presentes no ar interior e no ar externo.

2. OBJETIVOS

O objetivo central deste trabalho é apresentar os resultados obtidos em estudo experimental desenvolvido através da medição de parâmetros relacionados à qualidade do ar interior em um ambiente de ensino. O foco principal é dado na análise da influência da taxa de renovação de ar e da classe de filtragem de ar externo sobre o comportamento dos níveis de contaminantes no interior do ambiente estudado.

Os parâmetros da qualidade do ar foram monitorados ao longo do ensaio tanto no ambiente interno como no ar externo, sendo analisados principalmente os níveis de concentração de materiais particulados finos e de fungos viáveis no ar, mensurados através de análise microbiológica.

Como objetivo complementar, visa-se realizar a comparação dos resultados experimentais obtidos com patamares recomendados por Normas brasileiras e internacionais e resultados obtidos em estudos anteriores, como em Fakhoury (2016), Dal Pogeto et al. (2018), Rollo et al. (2019), Guilhotti (2021) e Rollo et al. (2021).

3. METODOLOGIA

3.1 Ambiente de estudo

O ambiente monitorado refere-se à Sala de Aula A2 do Depto. de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Esta sala possui um formato retangular, com área de 195 m², atendida por duas máquinas de condicionamento de ar do tipo “Split”, de recirculação, com capacidade de 14 kW cada.

O fornecimento de ar externo ao ambiente condicionado é realizado através de quatro unidades de renovação de ar (caixas de ventilação de ar externo) que podem ser acionadas individualmente, de forma independente. Uma representação em corte do sistema presente na sala estudada pode ser visualizada na Figura 1.

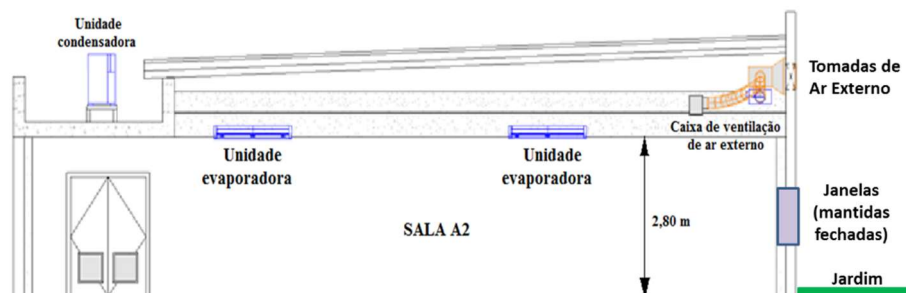


Figura 1. Representação do sistema de condicionamento de ar da sala (adaptado de Fakhoury, 2017).

3.2 Instrumentação empregada

As principais características dos instrumentos empregados nas medições dos parâmetros realizadas ao longo do ensaio são detalhadas abaixo:

- Concentração de partículas em suspensão no ar: contador de partículas portátil, com funcionamento à dispersão ótica: faixa nominal de medição de 0 a 4×10^6 partículas/ft³, com exatidão de $\pm 5\%$, resolução de 0,01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Concentração de CO₂: sensor portátil com o funcionamento através de um sensor infravermelho: faixa nominal de medição de 0 a 5000 ppm, com exatidão de $\pm (75 \text{ ppm} + 3\% \text{ do valor medido})$, resolução de 1 ppm.
- Temperatura e umidade relativa: termo-higrômetro: faixa de temperatura de 0°C a 50°C, exatidão de $\pm 0,5^\circ\text{C}$, resolução de 0,1°C, faixa de umidade relativa de 0% a 100%, com exatidão de $\pm 2\%$, resolução de 0,1%.
- Coletor de amostras de ar para análises microbiológicas: amostrador de Andersen, por impactação, de um estágio, dotado de bomba de vácuo acoplada.
- Cultura microbiológica: Placas de Petri de ágar dextrose para coleta das amostras através da impactação do ar no amostrador de Andersen e posterior cultura dos micro-organismos, em ambiente com condições de temperatura e umidade controlados no laboratório.

Simultaneamente às medições realizadas com os instrumentos manuais, o levantamento dos níveis de concentração de materiais particulados, CO₂ e parâmetros psicrométricos foi também efetuado através de um sistema de monitoração, contínua de grandezas associadas à qualidade do ar, identificado por Spiri, instalado no interior da sala.

3.3 Procedimento experimental

As medições dos parâmetros da qualidade do ar foram realizadas no interior do ambiente estudado e na área externa, próximo às tomadas de ar das unidades de renovação. A altura definida para a tomada das medições foi de 1,5 m em relação ao piso, no interior da zona de ocupação, conforme recomendado por ANVISA (2003).

A frequência adotada para medição dos parâmetros de concentração de materiais particulados, CO₂, temperatura e umidade no ar interior foi de 10 min, sendo a cada 20 min monitorados os níveis de particulados no ambiente externo. As coletas de materiais para as medições biológicas de fungos viáveis, por sua vez, foram realizadas em intervalos de 30 min, com auxílio de amostradores de Andersen, sendo duas unidades posicionadas no interior da sala e uma terceira na área externa.

Para as análises de renovação de ar e filtragem, foram realizadas durante o ensaio experimental trocas sucessivas dos filtros das unidades de renovação de ar da sala. No total foram avaliadas três configurações de filtragem, conforme classificação dada pela Norma NBR 16.101 (ABNT, 2012), sendo:

- Filtro Grosso G4 + Filtro Médio M5 (configuração de projeto)
- Somente Filtro Grosso G4
- Filtro Médio M5 + Filtro Médio M5

Para cada combinação de filtros estudada variou-se a vazão de renovação da sala, por meio da alteração do número de unidades de ventilação de ar externo ativadas. Foram adotados dois estágios para cada caso, o primeiro com duas unidades ligadas, representando metade da vazão de projeto da sala, e o segundo com todas as unidades em operação. Entre cada alteração de variável realizada aguardou-se um período de estabilização dos dados no interior do ambiente, da ordem de 20 a 30 minutos, para realizar as medições dos parâmetros e a montagem da nova configuração.

A Figura 2 apresenta uma linha do tempo, que ilustra as combinações de filtros e de equipamentos mantidos em operação ao longo do experimento. Unidades de renovação de ar em operação estão indicadas em verde e unidades desligadas em vermelho).

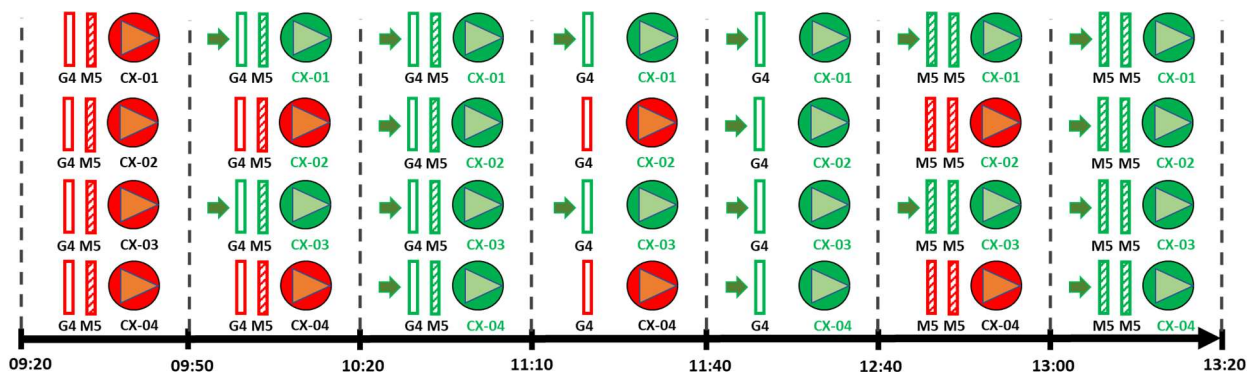


Figura 2. Sequência de operação e classes de filtragem das unidades de renovação em função do horário.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

São apresentados neste tópico os gráficos obtidos para os parâmetros da qualidade do ar monitorados no interior do ambiente estudado e no ar externo, com o emprego da instrumentação detalhada no item 3.2, comparando-se os valores levantados com os patamares de referência recomendados pelas principais Normas nacionais e internacionais.

4.1 Condições psicrométricas

Para o acompanhamento das condições ambientais na sala foram monitorados ao longo do experimento os parâmetros psicrométricos de temperatura de bulbo seco (TBS) e umidade relativa (UR) do ar no interior do ambiente. Para tal, utilizou-se um sensor portátil, cujas tomadas de medições foram realizadas em intervalos próximos de 10 minutos ao longo do experimento, e um monitor contínuo de parâmetros da qualidade do ar, posicionado na parede oposta à lousa, sendo realizada a comparação dos dados obtidos com os dois instrumentos.

No intuito de monitorar as características meteorológicas do ar externo no dia do experimento, utilizou-se como referência os dados disponibilizados pela estação meteorológica do programa Qualar da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), disponível em CETESB (2021), para estação localizada na Marginal Tietê- Ponte dos Remédios.

Como condição de referência proposta pela Norma NBR 16401-2 (ABNT, 2008), têm-se para condições de verão a faixa recomendada de temperatura de bulbo seco de 22,5 a 26°C, enquanto para condição de inverno de 21 a 24°C. Já para a umidade relativa à faixa recomendada de conforto térmico para o verão é de 35% a 65% e para as condições de inverno de 30% a 60%.

As curvas obtidas para os parâmetros psicrométricos interno ao ambiente com as medições realizadas ao longo do experimento, utilizando o termohigrômetro e medidor contínuo, assim como as condições do ar externo obtidas da estação meteorológica do Qualar são apresentadas no Gráfico 1 para TBS e UR respectivamente.

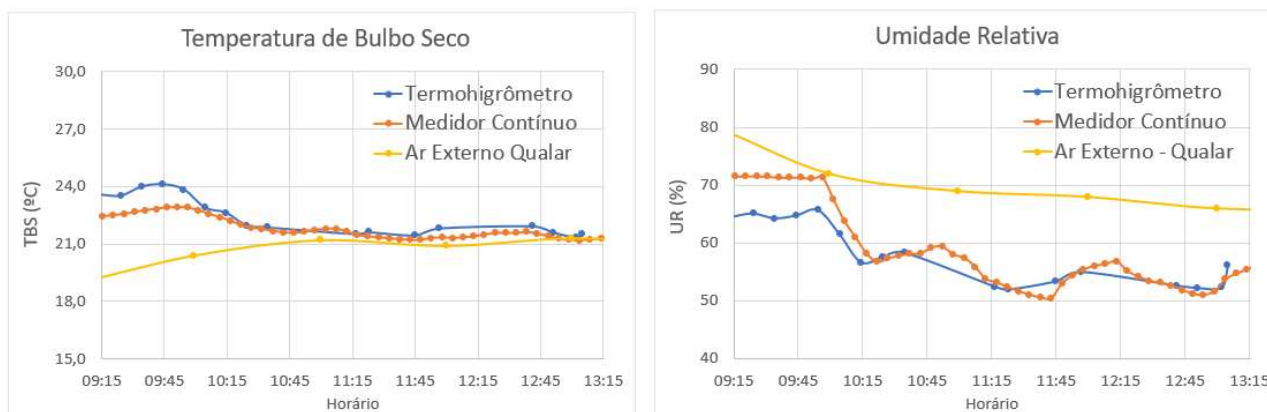


Gráfico 1. Temperatura de bulbo seco e umidade relativa ao longo do experimento.

Analisando o comportamento das curvas de TBS, verifica-se que a temperatura no interior do ambiente manteve-se em um valor entre 24°C e 22°C, que se encontra dentro do intervalo recomendado pela NBR 16401-2 (ABNT, 2008).

A umidade relativa interna, por sua vez, manteve-se na maior parte do experimento dentro da faixa recomendada pela NBR 16401-2 (ABNT, 2008), de 30% a 60%, apesar de suas condições na área externa terem sido em sua maioria superiores a este valor. Em relação à comparação entre o instrumento portátil (termohigrômetro) e medidor contínuo, suas medições em geral apresentaram valores próximos entre si, com pequenas flutuações.

4.2 Vazão de renovação de ar

Conforme sequência de operação apresentada na Figura 2, o número de unidades de renovação de ar ativas foi variado ao longo do experimento, com a operação de duas ou quatro caixas de ventilação insuflando ar externo, com a troca da classe dos filtros utilizados em intervalos pré-determinados. A vazão de ar externo em cada difusor dedicado à renovação foi medida através do uso de um medidor de vazão tipo coifa (*flow hood meter*). Os dados de vazão de renovação de ar para a sala são apresentados no Gráfico 2.



Gráfico 2. Vazão de renovação de ar longo do experimento.

Conforme pode-se visualizar no Gráfico 2, a vazão de ar externo para renovação variou ao longo do experimento entre os patamares de 1.000 m³/h e 2.150 m³/h para as condições em que duas ou quatro caixas de ventilação estavam em operação, respectivamente.

As substituições dos filtros de ar, que poderiam apresentar diferenças de perdas de pressão associadas às classes de filtros, não provocaram uma mudança significativa na vazão total de ar de renovação. O que pode ser explicado pelo fato de os filtros utilizados serem novos, e, portanto, operando com valores baixos de perdas (perdas típicas de início de operação).

4.3 Concentração de CO₂

A concentração de CO₂ foi monitorada ao longo do experimento no interior da sala, ela é um fator valorizado como indicador da qualidade do ar interior, o que pode ser importante quando a ocupação está relacionada a presença de pessoas. Para tal, utilizaram-se diferentes modelos de instrumentos, dentre eles um medidor exclusivo de CO₂, que utiliza o princípio ótico para mensuração da concentração do gás, e um equipamento de monitoramento contínuo de parâmetros da qualidade do ar. Os valores obtidos são apresentados no Gráfico 3.

De Gids e Wouters (2010) ressaltam que o emprego do CO₂ como indicador para a ventilação de ar, utilizado como um marcador dos bioefluentes produzidos pelos ocupantes, é apropriado para o caso em que não haja outro poluente que seja dominante no ambiente, e considerando as fontes de contaminantes internas presentes. A Resolução RE-09 (ANVISA, 2003) propõe um limite máximo de 1.000 ppm. No apêndice informativo da Norma NBR 16.401-3 (ABNT, 2008), por sua vez, é recomendado como limite no ar interior um valor de até 700 ppm acima da concentração verificada no ar externo, ao invés da determinação de um valor fixo para essa concentração.

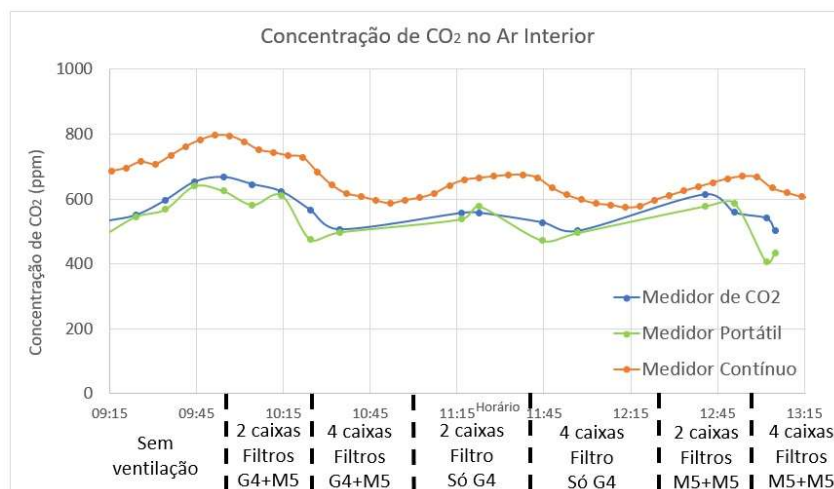


Gráfico 3. Concentração de CO₂ no ar interior ao longo do experimento.

Verifica-se no Gráfico 3 que a diferença entre as medidas dos instrumentos se encontra dentro da faixa de valores das respectivas incertezas, os valores de concentração de CO₂ do ar interior ao longo do experimento se mantiveram abaixo do limite de 1.000 ppm recomendado por ANVISA (2003), sendo que a ocupação da sala se restringiu à equipe de medição.

Outro ponto interessante verificado foi a tendência de redução da concentração de CO₂ no interior do ambiente nos momentos em que foram acionadas as quatro unidades de renovação de ar, conforme linha do tempo indicada no inferior do gráfico. Isso se deve ao efeito de diluição promovido pela maior taxa de ar externo empregada.

4.4 Concentração de materiais particulados

Para o monitoramento da concentração de materiais particulados presentes no ar interior e no ar externo utilizou-se um contador de partículas. O foco foi dado para os particulados finos e ultrafinos (PM_{2,5}, PM₁ e PM_{0,5}). O tamanho das partículas está diretamente associado ao seu potencial de causar problemas à saúde, sendo que quanto menores as partículas maiores os efeitos provocados (CETESB, 2022), em função da capacidade de atingir áreas mais profundas do sistema respiratório.

Os valores obtidos na monitoração da concentração de materiais particulados finos, para os diferentes tamanhos avaliados, podem ser visualizados no Gráfico 4 e no Gráfico 5. o ar interior e o ar externo, respectivamente.

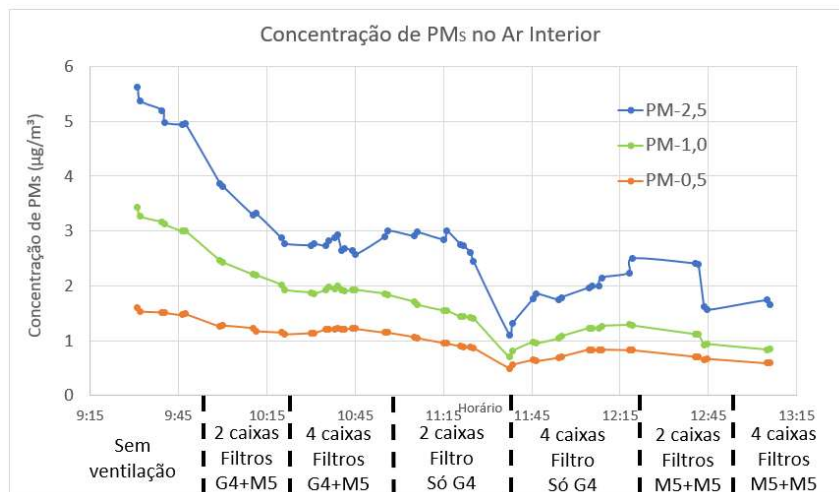


Gráfico 4. Concentração de materiais particulados no ar interior ao longo do experimento.

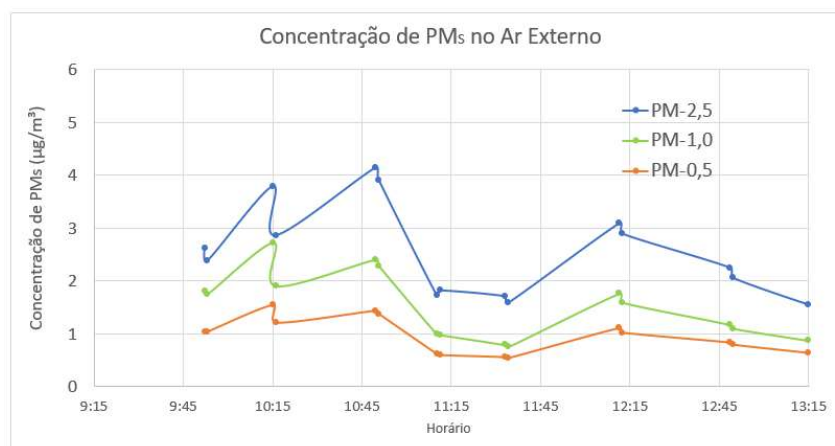


Gráfico 5. Concentração de materiais particulados no ar externo.

Visualiza-se no Gráfico 5 que a concentração de materiais particulados presentes no ar externo variou no período de realização dos ensaios, atingindo seus menores valores próximos das 11:30. As tendências de variação na concentração de particulados de diferentes tamanhos apresentam valores próximos, apontando que o perfil de composição dos materiais particulados no ar manteve-se aproximadamente constante ao longo do período monitorado.

De forma geral, os valores de concentração de particulados verificados no ar externo foram relativamente baixos, com o pico de PM_{2,5} obtido da faixa de 4 µg/m³. A título de comparação, no Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução N° 491, de 19 de novembro de 2018 (CONAMA, 2018), baseada em WHO (2005), que estabelece os limites para os padrões de qualidade do ar, prevê um valor limite de 20 µg/m³ para exposição média anual de PM_{2,5}, na atual a Etapa 1 (PI-1) em vigor.

Para os valores de concentração de particulados no ar interior, verifica-se no Gráfico 4 que os níveis encontrados no ambiente durante o início do ensaio eram consideravelmente superiores àqueles verificados no ar externo. Na medida em que o sistema de condicionamento e renovação de ar foram acionados, por sua vez, estes níveis de concentração no ar interior tenderam a apresentar uma redução progressiva, aproximando-se daqueles obtidos na área externa.

Após esta primeira fase de diluição de contaminantes na sala, os perfis das curvas de concentração de particulados no ar interno tenderam a acompanhar as variações verificadas nos níveis presentes no ar exterior, dados no Gráfico 5, em geral com um certo atraso na resposta no ar interior em relação à variação no ar externo.

Em alguns momentos as concentrações no interior do ambiente atingiram valores inferiores àquelas verificadas no ar externo, indicando a atuação dos filtros das unidades de renovação de ar na redução dos níveis de concentração de particulados no interior da sala. Não se percebeu, porém, uma diferença significativa entre o comportamento com as diferentes classes de filtragem, por exemplo entre G4+M5 e M5+M5, em função também da própria variação dos níveis de concentração no ambiente externo, que influenciou os resultados no ambiente interno.

4.5 Concentração de fungos viáveis

Os agentes microbiológicos foram avaliados no presente trabalho por meio da análise da concentração de fungos viáveis presentes no ar interior e no ar externo. Para tal, foram coletadas amostras em intervalos de tempo pré-definidos, através de um amostrador de Andersen, com o emprego de placas de Petri, com ágar dextrose, devidamente preparadas e identificadas.

Posteriormente, estas amostras coletadas foram encaminhadas para o laboratório, onde passaram por um período de incubação de uma semana, em condições de temperatura e umidade controladas, para permitir o crescimento das colônias, a identificação dos principais gêneros fúngicos presentes e contagem morfológica das Unidades Formadoras de Colônias (UFC), com o auxílio de um microscópio.

Os resultados de concentração de fungos viáveis totais obtidos após a análise laboratorial, com base nas amostras coletadas ao longo do experimento, são apresentados no Gráfico 6, onde estão representadas as curvas obtidas para as medições realizadas em dois pontos definidos no interior da sala, no lado esquerdo e no lado direito, e um ponto na área externa, posicionado próximo às tomadas de ar das caixas de renovação.

Visualiza-se no Gráfico 6 que, apesar de terem sido verificados valores altos de concentração de fungos viáveis no ar externo, da ordem de até 2.400 UFC/m³ por volta das 11:20, os níveis verificados no interior do ambiente, em ambos os lados da sala, mantiveram-se em geral inferiores ao limite de 700 UFC/m³, conforme recomendado pela Resolução RE-09 (ANVISA, 2003). Os principais gêneros fúngicos identificados foram *Cladosporium sp.* e *Penicillium sp.*

Em relação ao comportamento das curvas, pôde-se verificar uma tendência de acompanhamento dos perfis das curvas no ar interior com as variações de concentração no ar externo, porém com uma grande atenuação nos picos e valores significativamente inferiores. Isso indica uma atuação do sistema de filtragem de ar das caixas de renovação da sala para a retenção de parte dos fungos viáveis antes de atingirem o ambiente.

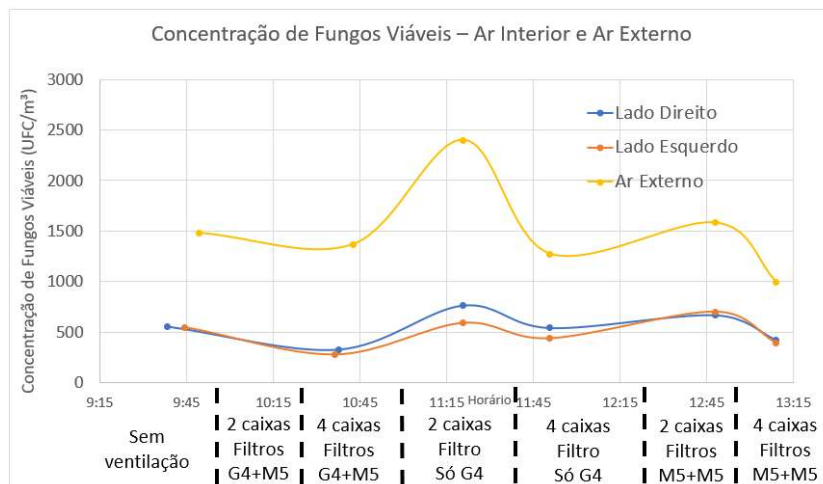


Gráfico 6. Concentração de fungos viáveis no ar interior e ar externo ao longo do experimento.

Da mesma forma que para os materiais particulados, não foi possível isolar e identificar diferenças significativas entre o comportamento dos contaminantes no ar interior com a mudança das classes de filtragem utilizadas nas caixas de renovação de ar da sala, sendo o perfil das curvas obtidas para o ar interior fortemente influenciadas pelas variações do nível de contaminantes no ar externo.

Em relação às medições realizadas em diferentes pontos da sala, no lado direito, mais próximo à porta de entrada, e do lado esquerdo, mais próximo ao insuflamento dos difusores das caixas de renovação, não se verificou em geral diferenças significativas entre as medições realizadas em cada ponto em um dado momento, com exceção do instante próximo ao pico de concentração no ar externo, às 11:20, no qual a concentração do lado direito foi um pouco superior àquela obtida do lado esquerdo, porém ambas ainda dentro da margem de incertezas das medições.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho ilustrou os principais resultados obtidos a partir da monitoração de parâmetros relacionados à qualidade do ar interior, em ensaio experimental realizado em uma sala de aula do Depto. de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da USP. De acordo com procedimento pré-definido, foram variados ao longo do ensaio o número de unidades de renovação de ar em operação e os tipos de filtros utilizados, de forma a possibilitar avaliar os efeitos da vazão de ar externo e da filtragem sobre o comportamento dos parâmetros da QAI no interior do ambiente.

Além dos contaminantes foram monitorados também no interior da sala as condições psicrométricas, referentes à temperatura de bulbo seco e à umidade relativa. Em relação a temperatura, verificou-se que as condições no interior do ambiente tenderam a se aproximar daquela do ambiente externo. Já para a umidade relativa, apesar de o valor na área externa ter sido superior, as condições no ambiente interno mantiveram-se dentro da faixa recomendada para conforto térmico pela Norma NBR 16401-2 (ABNT, 2008).

A concentração de CO₂ foi medida ao longo do experimento através de diferentes instrumentos, portátil e medidor contínuo de parâmetros da QAI, sendo que os valores obtidos no interior da sala mantiveram-se sempre dentro do limite máximo estabelecido pela Resolução RE-09 (ANVISA, 2003), de 1.000 ppm. Em relação aos níveis de CO₂, verificou-se ainda uma tendência de decaimento da concentração na sala nos momentos em que eram acionadas as quatro caixas de renovação de ar, indicando a ação diluidora deste contaminante promovida pelo maior insuflamento de ar externo.

Para os materiais particulados, o foco das análises foi dado para os ditos particulados finos, com dimensões de até 2,5 µm, devido à sua capacidade de atingir áreas mais internas do sistema respiratório, com estudos ao redor do mundo, como em Pope et al. (2002), relacionando a exposição prolongada a particulados finos ao aumento da mortalidade por doenças cardiorrespiratórias e câncer de pulmão, principalmente em grupos de riscos como crianças e idosos.

Os valores de PM_{2,5} obtidos ao longo do experimento mostraram níveis baixos da faixa de 4 µg/m³, consideravelmente inferiores ao limite estabelecido pela Etapa 1 em vigor da Resolução N° 491 (CONAMA, 2018), que prevê um valor máximo tolerável de 20 µg/m³ para exposição média anual PM_{2,5}. As curvas de concentração de particulados no interior do ambiente tenderam a apresentar significativa influência das variações dos níveis verificados no ar externo local, com perfis similares para os diferentes diâmetros de particulados monitorados (PM_{2,5}, PM₁ e PM_{0,5}). Em relação à classe de filtragem utilizada nas caixas de renovação de ar, porém, não foi possível identificar claramente as diferenças providas pelos diferentes filtros utilizados, em função da própria influência, mais evidente, das condições externas.

Em relação à análise microbiológica, foram coletadas amostras no ar interior e no ar externo ao longo dos ensaios, posteriormente encaminhadas ao laboratório para incubação e contagem das unidades formadoras de colônias (UFC). Trabalhados os resultados, apesar de terem sido verificados valores da ordem de 2.400 UFC/m³ no ar externo, os níveis de concentração de fungos viáveis no interior do ambiente mantiveram-se dentro do limite recomendado pela Resolução

RE-09 (ANVISA, 2003). Foram ainda obtidas poucas diferenças entre os resultados das medições realizadas em dois pontos diversos da sala, indicando uma ausência de estratificação do ar no interior do ambiente.

Finalmente, assim como o ocorrido para os níveis de materiais particulados, não foi possível individualizar os efeitos referentes às alterações das classes de filtragem sobre a concentração de fungos viáveis na sala, em função da influência da variação dos níveis de contaminantes no ar externo ao longo do experimento.

De uma forma geral, o sistema de filtragem das caixas de renovação de ar apresentou uma atuação importante na redução da concentração de fungos viáveis no interior da sala, quando comparado aos altos níveis verificados na área externa. O mesmo pode-se dizer em relação aos materiais particulados, que, apesar de terem sido obtidos níveis baixos no ar externo, a concentração obtida no ar interior foi ainda inferior em muitos momentos, indicando uma retenção de parte dos contaminantes pelo sistema de filtragem.

Dado não terem sido obtidas evidências significativas de incremento da qualidade do ar interior com a alteração do nível de filtragem para duplo M5, recomendamos manter as classes de filtragem de projeto (G4 + M5) para as caixas de renovação de ar da sala. Essa configuração apresentou bons resultados durante os ensaios realizados, sem incorrer em variações significativas em relação à vazão de ar insuflado, decorrentes das perdas de carga inseridas no sistema.

Para uma análise mais detalhada dos efeitos das classes de filtragem empregadas, propõe-se a realização de novos experimentos direcionados, que permitam individualizar em um maior grau os efeitos da retenção de contaminantes dos filtros, em relação às variações dos níveis de poluentes na área externa e da vazão de ar de renovação empregada.

Agradecimentos

Os autores agradecem às empresas Conforlab Engenharia Ambiental e Omni Electronica e aos estudantes da EPUSP, da equipe do LEQAI – Laboratório de Estudos da Qualidade do Ar Interior da Escola Politécnica da USP, que atuaram nas atividades experimentais realizadas para viabilizar o presente trabalho.

4 REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma NBR 16401-2-2008. Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários - Parte 2: Parâmetros de Conforto Térmico. Brasil, 2008.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma NBR 16401-3-2008. Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários - Parte 3: Qualidade do Ar Interior. Brasil, 2008.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16101: Filtros para partículas em suspensão no ar. Determinação da eficiência para filtros grossos, médios e finos. Brasil, 2012.
- ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução: RE no. 9. Brasília, 2003.
- ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Guia da Qualidade para Sistemas de Tratamento de Ar e Monitoramento Ambiental. Brasil, 2013.
- ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers. ASHRAE Reopening Schools and Universities C19 Guidance. Atlanta, 2020.
- ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers. ASHRAE Epidemic Task Force Releases Updated Airborne Transmission Guidance. Atlanta, 2021.
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Qualidade do Ar – Dados Horários. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/dados-horarios/>. Acessado em julho de 2022.
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Poluentes. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>. Acessado em julho de 2022.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº491, de 19 de novembro de 2018 - Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Ministério do Meio Ambiente. Brasil, 2018.
- DAL POGETO, F.; MARIANI, A. L. C.; GUILHOTTI, S. L.; PIMENTA, M. M. Avaliação Experimental da Qualidade de Ar em Salas de Aula. Trabalho apresentado no 11º Congresso Internacional de Ar Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação – Mercofrio. Porto Alegre, 2018.
- DE GIDS, W.F.; WOULTERS P. CO2 as Indicator for the Indoor Air Quality: General Principles. Air Filtration and Ventilation Centre (AIVC) Ventilation Information Paper, Nº 33, July, 2010.
- FAKHOURY, N. A. Estudo da qualidade do ar interior em ambientes educacionais. Dissertação de Mestrado apresentadas na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2017.
- GUILHOTTI, S.L. Estudo do comportamento dinâmico de poluentes em um laboratório educacional climatizado. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2021.
- POPE, C.A., III; BURNETT, R.T.; THUN, M.J.; CALLE, E.E.; KREWSKI, D.; ITO, K.; THURSTON, G.D. Cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. Journal of American Medical Association, 287, p.1132-1141, 2002.
- REHVA - Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations. REHVA COVID-19 guidance document. Version 4.0. How to operate HVAC and other building service systems to prevent the spread of the coronavirus (SARS-CoV-2) disease (COVID-19) in workplaces. Brussels, 2020.
- ROLLO, A. F; MARIANI, A. L. C.; TRIGO, F.C. Análise do Comportamento de Parâmetros da Qualidade do Ar Interior e Proposta de Correlações a Partir de Séries de Ensaios em Ambientes de Instituições Educacionais. Trabalho apresentado no XVI CONBRAVA. São Paulo, 2019.

ROLLO, A. F; MARIANI, A. L. C.; AIKAWA, A. S.; PETRONI, R. Avaliação Experimental de Processos de Varrição Pneumática na Presença de Poluentes no Ar Atmosférico e no Ar de Ambientes Internos. Trabalho apresentado no XVII CONBRAVA. São Paulo, 2021.
WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. Air quality guidelines: Global update 2005: Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. 2005.

EVALUATION OF THE EFFECTS OF VARIATION OF OUTDOOR AIR FILTERING CLASSES ON INDOOR AIR QUALITY PARAMETERS IN A TEACHING ENVIRONMENT

***Abstract.** Indoor air quality is a matter of great importance for the well-being and health of building occupants. With the advent of the pandemic caused by the coronavirus, this issue has gained even more relevance for the design of an air conditioning and ventilation system and for the society, with the reoccupation of internal environments, aiming at a greater safety for the occupants. Recognized institutions have confirmed the possibility of transmission of the virus via airborne. This context reinforces the importance of better understanding the behavior of indoor air quality parameters and their relationship with the design considerations of HVAC systems. Following this issue, the present article aims to present the results developed through an experimental test carried out in a classroom, in which the number of air renewal fans in operation and the filtering class adopted for the external air were varied, to evaluate the effects of changing these parameters on the level of contaminants inside the environment. The focus is on the concentration of fine particulate materials and on the microbiological analysis of viable fungi identified in indoor and outdoor air. The carbon dioxide concentrations and psychrometric conditions inside the environment are also evaluated, comparing the results with the recommendations of current national and international standards.*

***Keywords:** Indoor air quality, Filtration, Air renewal, Teaching environments*