



XVII CONBRAVA - CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR
São Paulo Expo - 23 a 25 de novembro de 2021

AValiação EXPERIMENTAL DE PROCESSOS DE VARRIÇÃO PNEUMÁTICA NA PRESENÇA DE POLUENTES NO AR ATMOSFÉRICO E NO AR DE AMBIENTES INTERNOS

PAPER 57

RESUMO

A qualidade do ar interior é tema de significativo interesse para a sociedade e para a área de AVAC, e tem sua relevância ampliada quando se considera o contexto atual da pandemia causada pelo vírus Sars Cov2. Neste contexto são considerados os processos de transporte de microrganismos em suspensão no ar. A presença de partículas de menor tamanho que estão presentes no ar estão sendo monitoradas, partículas chamadas de finas, e que podem ser meios de transporte para os componentes microbiológico que se tornaram preocupação mais contundente. Em um experimento realizado em 2018 foi verificada uma ampliação muito expressiva da concentração de partículas finas suspensas no ar quando ocorria uma atividade de deslocamento de resíduos vegetais em área de estacionamento próxima a tomada de ar externo. Este evento foi motivador para um novo experimento realizado em 2020, e que é apresentado neste trabalho, em que está sendo também avaliada a concentração de microrganismos medidos no ar externo e no ar interior. Os resultados obtidos indicam que as atividades de varrição pneumática podem ampliar a concentração de particulados finos em suspensão no ar exterior, superando os limites recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS). Apresentam também a importância de realizar filtragem do ar externo para melhorar a qualidade do ar interior.

Palavras-chave: Qualidade do ar interior. Partículas finas em suspensão. Microrganismos.

ABSTRACT

Indoor air quality is a topic of significant interest to society and to the HVAC area, and its relevance is increased when considering the current context of the pandemic caused by the Sars Cov2 virus. In this context, the transport processes of airborne microorganisms are considered. The presence of smaller-sized particles that are present in the air are being monitored, particles called fines, and which may be a means of transport for the microbiological components that have become a major concern. In an experiment carried out in 2018, a very expressive increase in the concentration of fine particles suspended in the air was verified when there was an activity of displacement of vegetable residues in a parking area close to the external air intake. This event was the motivation for a new experiment carried out in 2020, which is presented in this work, in which the concentration of microorganisms measured in outdoor and indoor air is also being evaluated. The results obtained indicate that pneumatic sweeping activities can increase the concentration of fine particles suspended in outdoor air, exceeding the limits recommended by the World Health Organization (WHO). They also show the importance of filtering the outside air to improve indoor air quality.

Keywords: Indoor air quality. Fine particles in suspension. Microorganisms.

1 INTRODUÇÃO

Os ambientes internos das edificações passaram a ter maior atenção com relação ao seu ar interior com o advento da pandemia do Corona Virus. As recomendações para que as pessoas utilizem os locais de convívio coletivo, em ambientes de trabalho, de comércio, e de lazer, com restrição nos períodos críticos da transmissão da COVID evidenciaram a importância sobre os cuidados que devem ser adotados nestes espaços.

A ASHRAE(2021) e a REHVA (2020), instituições internacionais de reconhecidas contribuições técnicas, apresentam informações baseadas em estudos científicos que confirmam a transmissão de microrganismos pelo ar, pelas vias aéreas. Desta forma, os cuidados com o processo de ventilação dos ambientes internos, envolvendo dois fatores essenciais para obter um bom resultado, são tratados no foco deste trabalho: renovação do ar interior com determinada vazão de ar exterior, e resultados da filtragem do ar.

A motivação para o presente estudo surgiu de experimentos anteriores realizados para avaliar os parâmetros de QAI, em que foi verificada um aumento muito significativo da concentração de particulados finos (PM_{2,5}) em ambiente externo, quando da ocasião que ocorria a varrição com equipamento soprador de folhas e resíduos vegetais.

Este estudo realizado em 2018 monitorou a qualidade do ar interior em uma sala de aula localizada no prédio de Instituição de ensino, a fim de analisar a influência da variação da vazão de ar exterior nesses parâmetros, assim como a influência da filtragem do ar externo

Em 2020, foi realizado novo experimento, aproveitando a ocasião em que o meio exterior, área de estacionamento e vizinhanças, estavam recebendo serviços de jardinagem, nos quais estava sendo utilizado novamente um soprador de ar. As medições foram feitas nos mesmos locais que os experimentos realizados em 2018, utilizando instrumentação que faz leituras pontuais, e sistemas que permitem a realização de monitoramento contínuo de parâmetros de interesse, tanto no ambiente interno como no meio exterior. Este sistema de monitoração contínua fez medições e registros desde o dia anterior ao dia principal do ensaio, em que ocorreu a varrição, até os dias seguintes, ampliando a qualidade e quantidade de informações com seus registros.

A concentração dos agentes contaminantes internos pode ser decorrente das condições do ar exterior e de agentes poluidores internos e externos. Assim, a medida da concentração de agentes como Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO₂), partículas em suspensão, aldeídos, compostos orgânicos voláteis (COV), microrganismos podem ser usadas para avaliar a taxa de ventilação, determinando a proporção de ar renovado que está misturado com o ar recirculado. Os citados agentes possuem a capacidade de agredir o ser humano, em função da concentração e exposição constatadas em ambientes fechados (FUJII, 2006).

No momento atual, com a chegada da pandemia há forte tendência em

ampliar as vazões de renovação de ar de ambientes climatizado e não climatizados, mas que tenham sistemas de ventilação. Este acréscimo de vazão de ar exterior deve ser considerado juntamente com as condições em que este ar se encontra e com os recursos de filtragem que estão sendo empregados.

2 OBJETIVOS

Este artigo tem como objetivo principal apresentar resultados de medições experimentais de parâmetros do ar interior e exterior monitorados durante processos em que ocorrem varrição pneumática no ambiente externo onde está sendo realizada varrição pneumática.

Os principais parâmetros medidos e analisados são a concentração de materiais particulados, especialmente de menores dimensões, chamadas partículas finas (PM_{2,5}), e a presença de microrganismos, como fungos e outros similares.

A análise realizada pretende verificar as tendências e correlações entre o aumento de concentração destes diferentes parâmetros monitorados, e a avaliação destes parâmetros como resultados dos efeitos da filtragem deste ar e a variação da vazão da parcela de ar exterior inserido no ambiente interno.

3 METODOLOGIA

3.1 Procedimento experimental

O ambiente monitorado é uma sala de aula possui formato retangular, com área de 195 m² e pé direito de 3,0 m. Nela estão instalados um sistema de climatização de ar que utiliza duas unidades evaporadoras de 14 kW e promove uma vazão máxima de 1.785 m³/h. A renovação de ar, é realizada por quatro Unidades de Renovação de ar que insuflam uma vazão máxima de ar externo individual de 600 m³/h. Cada Unidade de Renovação de Ar é uma caixa de ventilação que conta com um par de filtros associados em série especificados como G4 e M5.

As medições das grandezas foram realizadas por instrumentação manual e por sistema de monitoração contínua. Foram estabelecidos intervalos de tempo da ordem de 15 minutos para as leituras dos instrumentos manuais e foram realizados registros no sistema de monitoração automatizado com intervalos de 1 minuto.

Os procedimentos experimentais, o ambiente e a instrumentação são similares àqueles utilizados em edições do evento “Oficina de Brinquedos” realizada em diferentes anos, como o ano de 2018, evento aqui referenciado, visando manter similaridade de condições e possibilitar a comparação de resultados.

As medições foram realizadas em uma sala de aula na qual os equipamentos do sistema de climatização e de ventilação para renovação do ar ambiente são apresentados na tabela 1.

Tabela 1: Equipamentos de ventilação e de climatização do ambiente interior

UNIDADES DE RENOVAÇÃO DE AR		UNIDADES DE CONDICIONAMENTO DE AR		
Fabricante	MULTIVAC	Unidade	Evaporadora	Condensadora
Modelo	CFM 1000	Fabricante	CARRIER	CARRIER
Vazão máxima (m³/h)	600	Modelo	42XQM48C5	38CQEP048535MC
Pressão máxima (Pa)	620	Capacidade (kW)	14	14
Filtros usados (classe ABNT 16401-2008)	G4 + M5	Vazão de ar (m³/h)	1785	6420

3.2 Instrumentação adotada

Os instrumentos empregados nas medições dos parâmetros analisados são descritos abaixo:

- 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.
- Concentração de partículas em suspensão no ar de dimensões caracterizadas por PM₁₀ e PM_{2,5}: contador de partículas portátil, com funcionamento a dispersão ótica: com faixa nominal de medição de 0 a 4×10^6 partículas/ft³, com exatidão de $\pm 5 \%$, resolução de 0,01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Temperatura e umidade relativa: termo-higrômetro: faixa de temperatura de 0°C a 50°C, com 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%.
- Sistema de monitoração contínua de grandezas associadas ao ar, Spiri: medição de temperatura, umidade relativa, concentração de particulados (PM₁₀; PM_{2,5}; PM_{1,0}), CO₂, COV.
- Velocidade e direção dos ventos: estação meteorológica portátil, modelo AcuRite 02064C/999143.
- Distância do varredor pneumático à tomada de ar: medidor e totalizador tipo trena analógico com roda.
- 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 dextrosi para coleta das amostras através da impactação do ar no amostrador de Andersen e posterior cultura dos microorganismos em ambiente com condições de temperatura e umidade controlados no laboratório.

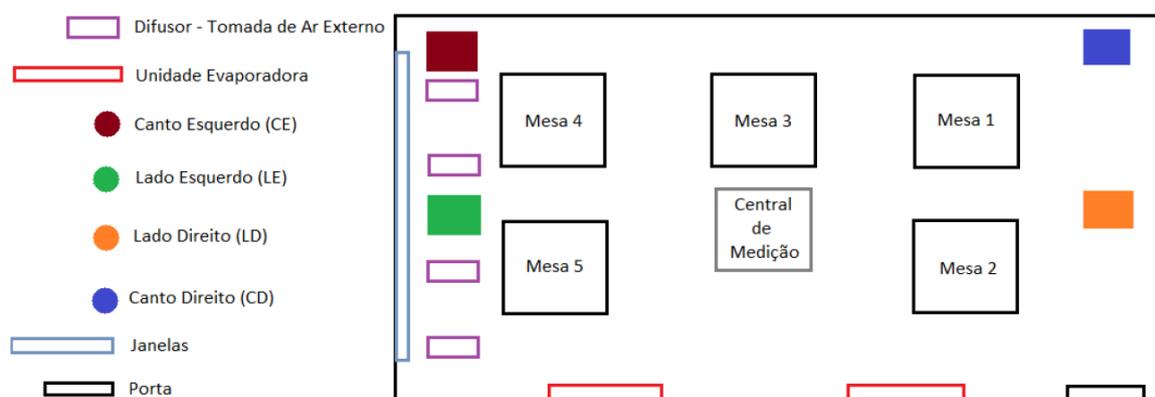
3.3 Caracterização de pontos de medição no interior da sala

O ambiente climatizado foi descrito no tópico 3.1 anterior e está representado esquematicamente na Figura 1 a seguir.

Para a medição das grandezas no interior do ambiente posicionou-se os sensores no centro da sala, a uma altura de 1,5 m do piso. A medição dos parâmetros relacionados ao ar exterior foi realizada com o posicionamento dos sensores o mais próximo possível das tomadas de ar exterior associadas às unidades de renovação de ar.

Pontos de medição no interior da sala foram diversificados para permitir a análise sobre variações e estratificação de valores nos parâmetros medidos, e verificar e investigar motivação de causas de alteração nos valores medidos para determinada grandeza.

Tabela 1: Esquema da sala monitorada e localização dos pontos de medição internos adotados, identificados por retângulos coloridos. (Dante, F. e Bisordi, G. , 2020)



3.4. Locais da varrição pneumática no ambiente externo à sala monitorada

O meio exterior à sala onde há a monitoração de parâmetros para avaliar a Qualidade do Ar Interior teve as condições do ar influenciada por processos de varrição pneumática com um soprador de folhas durante a maior parte do período em que foram realizadas as medições. Uma imagem da região externa vizinha a sala monitorada foi obtida no aplicativo "Google Earth". Foram indicados os locais onde foram realizadas varrições nesta imagem representada esquematicamente na Figura 2.

Figura 2: Imagem do Google Earth, com registros da área que recebeu varrição em vermelho e da sala em amarelo, e processo de varrição sendo executado (Dante, F. e Bisordi, G. , 2020)



4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

As medições das concentrações de CO₂, PM_{2,5} e PM₁₀ foram realizadas no interior da sala e no exterior da edificação, na região da tomada de ar exterior, em função do tempo, em intervalos não exatamente constantes, mas em valores próximos. Foram também medidas as grandezas relacionadas aos a outros fatores físicos da QAI, como Temperatura de Bulbo Seco (TBS) e Umidade Relativa (UR). Resultados de dois experimentos estão apresentados, o primeiro realizado em junho de 2018 e o segundo em outubro de 2020.

4.1. Medições nos experimentos de junho de 2018

No dia 09 de junho de 2018 foi realizado experimento no qual foram medidos parâmetros relacionados à qualidade do ar no ambiente interno (QAI) e no ar exterior em conformidade com o apresentado no tópico 3. Metodologia. A monitoração da QAI ocorreu durante todo o dia em que ocorreu a realização de um evento similar à uma aula prática de laboratório identificada como “Oficina de Brinquedos” na sala interna de um prédio de instituição de ensino.

A dinâmica do evento proporcionou diferentes comportamentos dos ocupantes e tipos de atividades diversificadas, as quais estão registradas na tabela 2 a seguir.

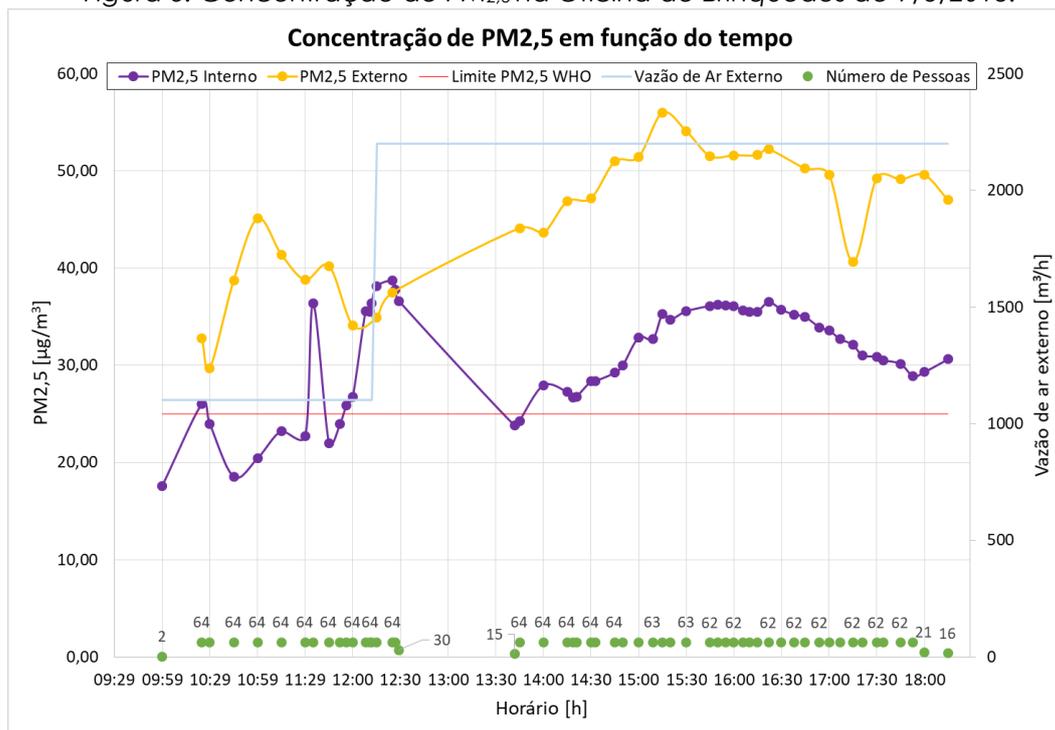
Tabela 2: Tipo de atividade em função do horário

Nº do período	Horário: início-fim	Atividade dos ocupantes
1	10:25 - 10:45	Ocupantes sentados
2	11:00 - 11:35	Movimentação média e 40% dos ocupantes lixando
3	11:45 - 11:56	Ocupantes sentados realizando a fabricação
4	12:00 - 12:25	90% dos ocupantes realizando lixamento de madeira
5	12:29 - 13:45	Pausa para almoço
6	14:00 - 16:54	Furação e montagem do brinquedo
7	17:00 - 17:30	Finalização da montagem
8	17:34 - 17:53	Alunos Sentados após a montagem
9	18:00 - 18:15	Limpeza da Sala

4.1.1. Concentração de particulados finos

No gráfico da Figura 3, há uma grande variação da concentração do particulado PM_{2,5} no ar exterior, cujo valor usualmente tem pequena variação em função do tempo, como registrados em experimentos em anos anteriores. Neste particular experimento esta variação foi relacionada à realização de limpeza dos jardins das proximidades deste prédio com varredor pneumático, o que levou a concentração deste tipo de particulado a valores acima do limite estabelecido pela OMS – Organização Mundial da Saúde.

Figura 3: Concentração de PM_{2,5} na Oficina de Brinquedos de 9/6/2018.



concentração de CO₂, particulados e agentes microbiológicos para a sala ainda sem nenhum equipamento de ar condicionado ou de renovação de ar acionados.

Às 08:20 foram acionadas duas caixas de ventilação de ar externo, totalizando a vazão de renovação de 1.100 m³/h na sala. Deste horário até as 08:55 foram realizadas mais um conjunto de medições de referência no ambiente interno e externo, para a sala com renovação de ar e ainda sem o início do processo de varrição.

Os valores médios obtidos nestas medições das condições de referência ("baseline") são apresentados nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3: Condições médias de referência dos parâmetros de termo-hidrométricos e de concentração de CO₂ e de particulados.

Local	Nº de Medições	PM _{0,5} (µg/m ³)	PM ₁ (µg/m ³)	PM _{2,5} (µg/m ³)	CO ₂ (ppm)	TBS (°C)	UR (%)
Interior da Sala (sem Renovação)	9	2,7	3,6	6,3	425	20,3	67%
Interior da Sala (com Renovação)	4	2,0	2,8	5,3	490	20,2	69%
Ar Externo	11	1,5	2,4	7,3	364	18,4	73%

Tabela 4: Condições médias de referência dos agentes microbiológicos.

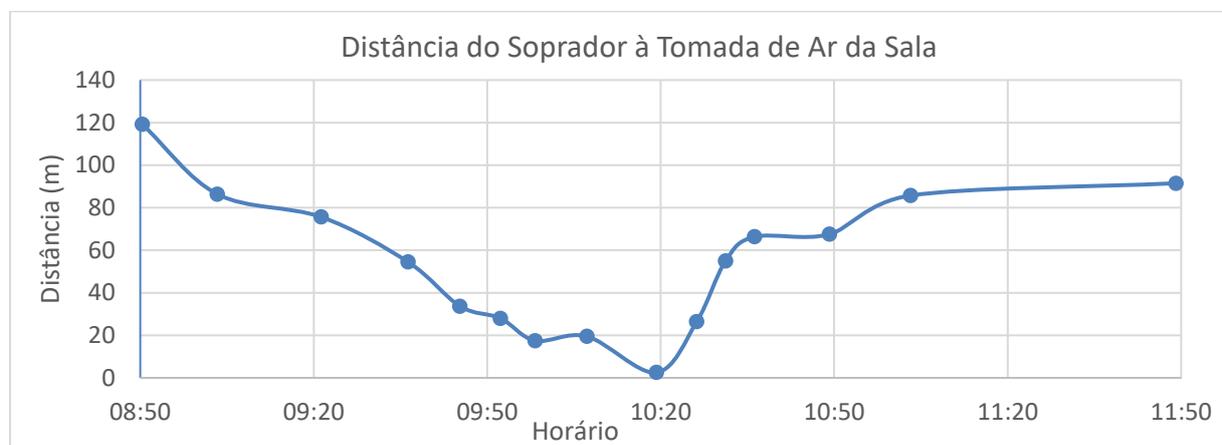
Agentes Microbiológicos (UFC/m ³)			
Local	Interior da Sala (sem renovação)	Interior da Sala (com renovação)	Ar Externo
Nº de Medições	2	2	2
Cladosporium	123	516	661
Penicillium	11	38	0
Rhizopus	0	0	3,5
Fusarium	7	0	0
Aspergillus	0	0	0
Phoma	0	0	0
Não esporulado	201	46	89
Fungos Viáveis - Total:	343	601	753

4.2.2. Posição do Soprador Pneumático

A varrição com a utilização do soprador pneumático foi iniciada às 08:49 do dia do experimento, tendo sido iniciada em um ponto do edifício distante da tomada de ar da sala estudada e se aproximando progressivamente. As 10:20 foi o horário em que a varrição ocorreu mais próxima do ambiente estudado, à apenas 2 metros da tomada de ar de renovação da sala. Após este horário

o soprador voltou a se distanciar progressivamente do ambiente estudado. A progressão das distâncias de varrição em relação ao ponto de tomada de ar da sala pode ser visualizada na Figura 4.

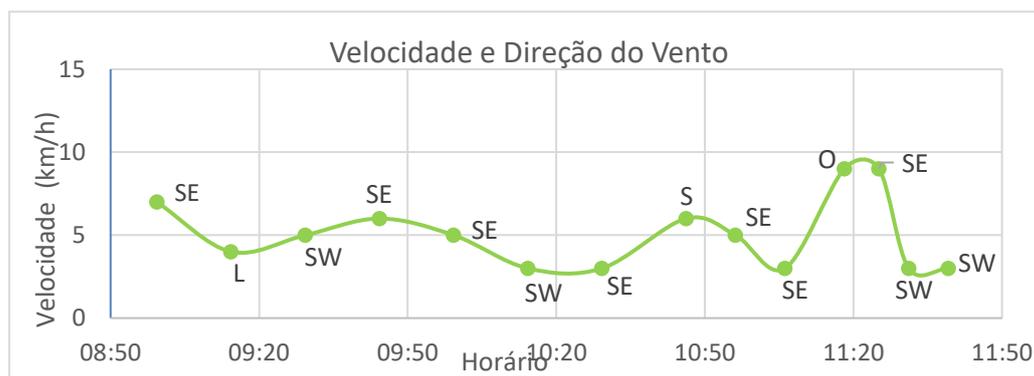
Figura 4: Gráfico indicando a distância do soprador à tomada de ar da sala.



4.2.3. Condições Meteorológicas

As condições da velocidade e direção do vento no local das medições foram monitoradas ao longo do desenvolvimento do experimento, para verificação da possível influência deste fator sobre os níveis dos contaminantes analisados. Os dados eólicos medidos são apresentados no gráfico da Figura 5, onde verificamos que a velocidade do vento variou entre 2 e 10 km/h ao longo da manhã, com direções principais concentradas em sua maioria entre sudeste e sudoeste.

Figura 5: Gráfico com as velocidade e direção do vento ao longo do experimento.



4.2.3. Concentrações de Particulados

Ao longo do experimento proposto foram monitoradas as concentrações dos particulados finos (PM-0,5, PM-1,0 e PM-2,5) no ambiente interno da sala e no ar exterior. O foco nos particulados finos deu-se devido às condições atípicas verificadas para estes elementos no experimento anterior de 2018 e à análise da possível relação entre os níveis destes particulados e a estudo dos agentes

microbiológicos.

O comportamento dos materiais particulados ao longo do experimento no ar externo e ambiente interior, pode ser visualizado respectivamente nos Gráficos 6 e 7 a seguir.

Figura 6: Concentrações de materiais particulados finos no período do experimento de 17 de outubro de 2020.

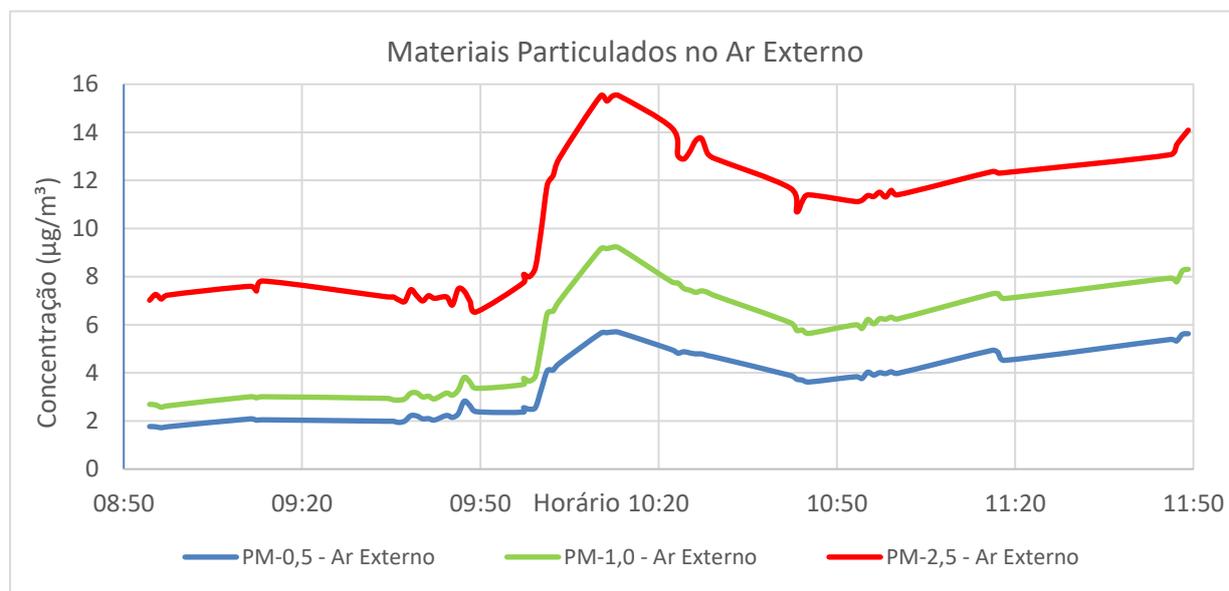
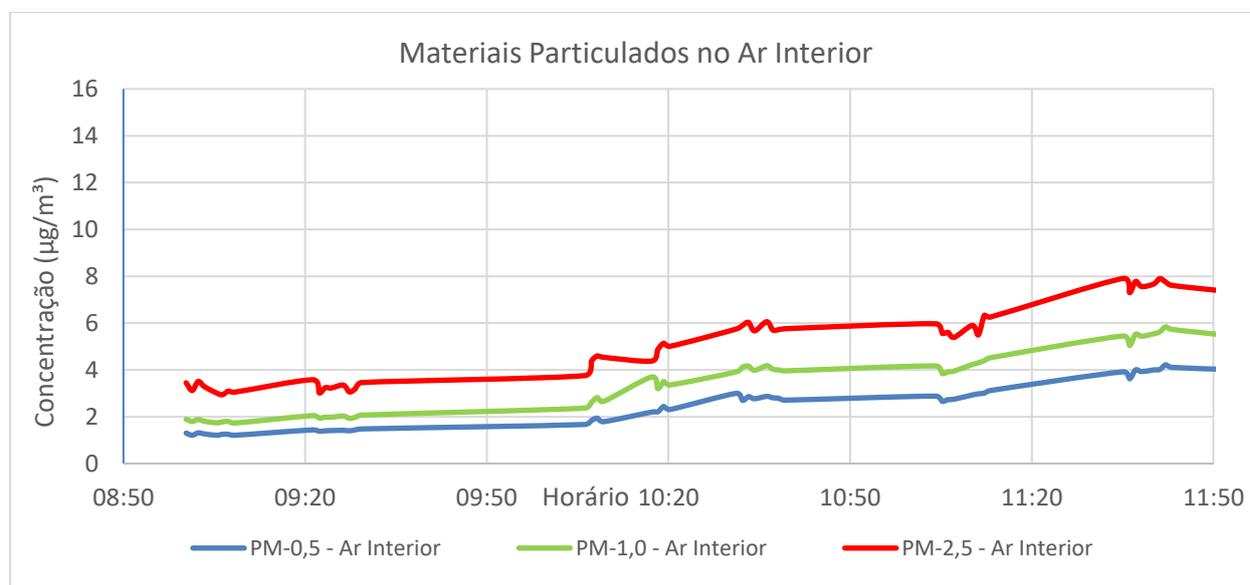


Figura 7: Gráfico com as concentrações de materiais particulados no ar interior.



4.2.4. Concentração de agentes microbiológicos

Concomitantemente à análise dos demais parâmetros da qualidade do ar, foram realizadas ao longo do experimento uma série de amostras referentes à agentes microbiológicos, especificamente de fungos no ar externo e no interior do ambiente. As amostras foram coletadas em placas de Petri, obtidas

através do amostrador de Andersen, e posteriormente cultivadas durante sete dias em ambiente com condições termo-higrométricas controladas em laboratório, sendo feita a respectiva contagem de diferentes tipos de fungos presentes nas amostras. Os resultados obtidos estão apresentados nos gráficos das Figuras 8 a 11 a seguir.

Figura 8: Gráfico de concentrações de fungos viáveis totais.

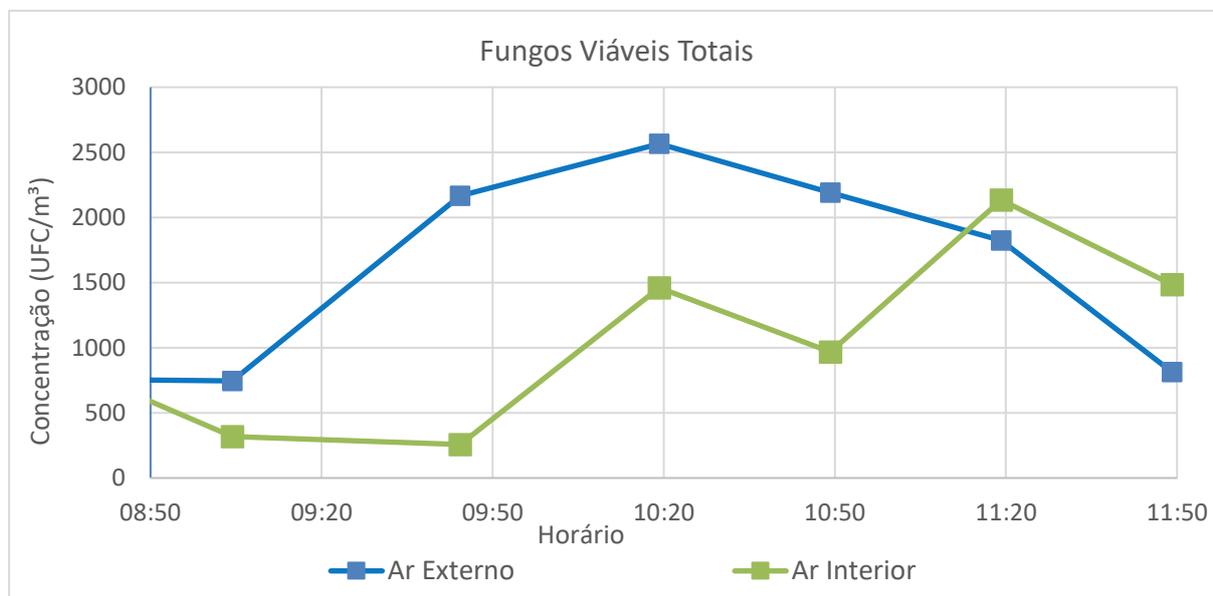


Figura 9: Gráfico com concentrações de Cladosporium.

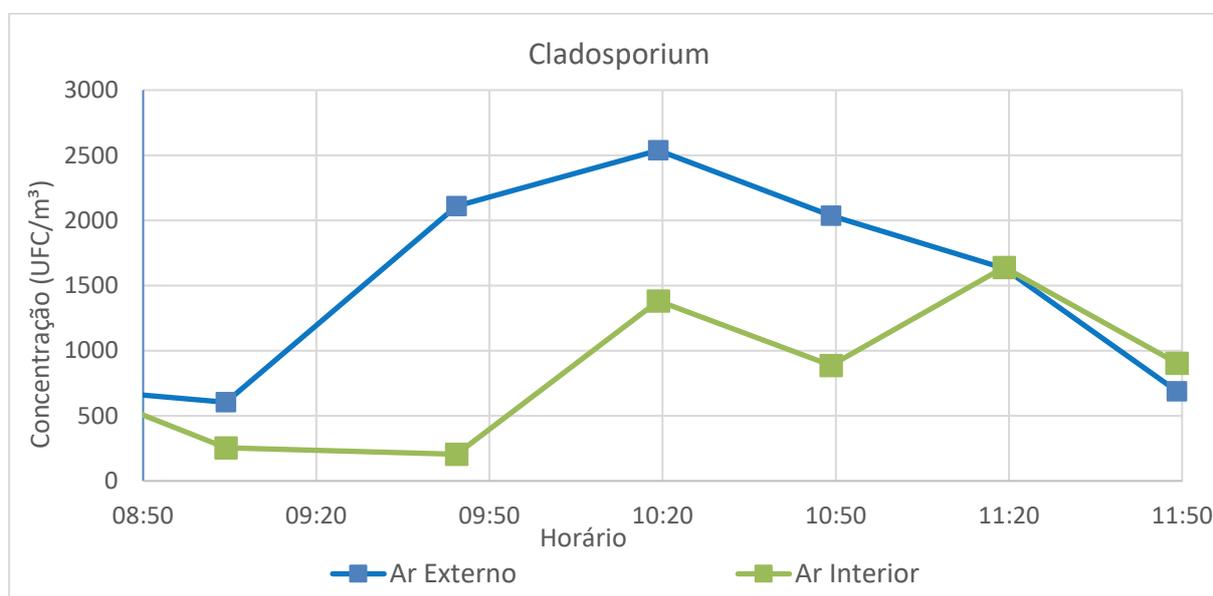


Figura 10: Gráfico com a concentrações de Penicillium.

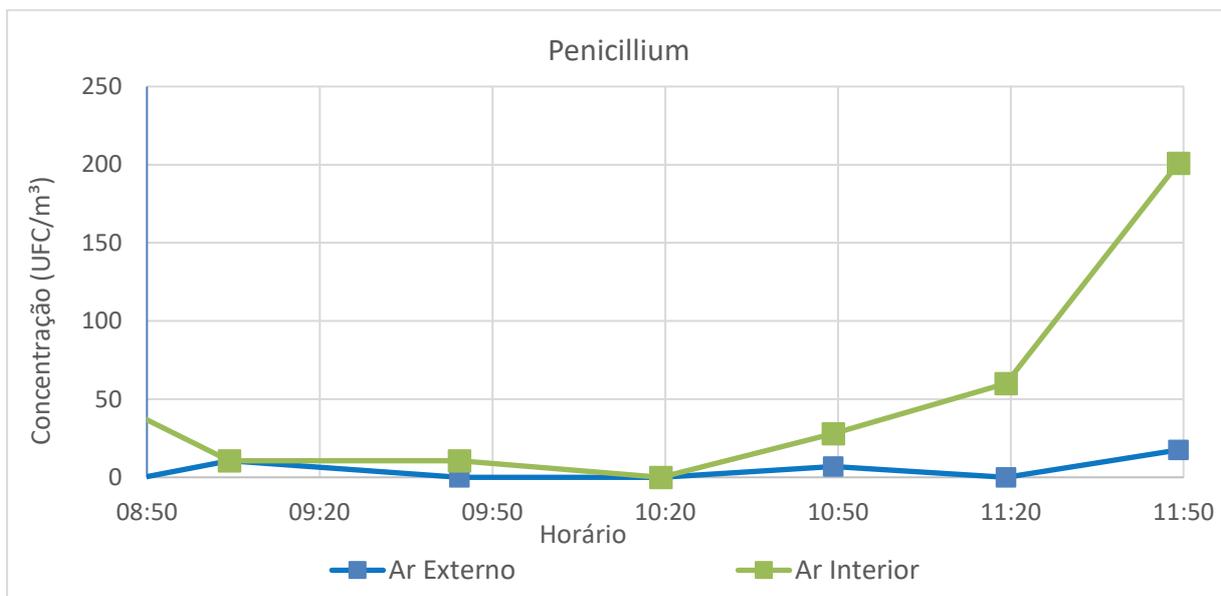
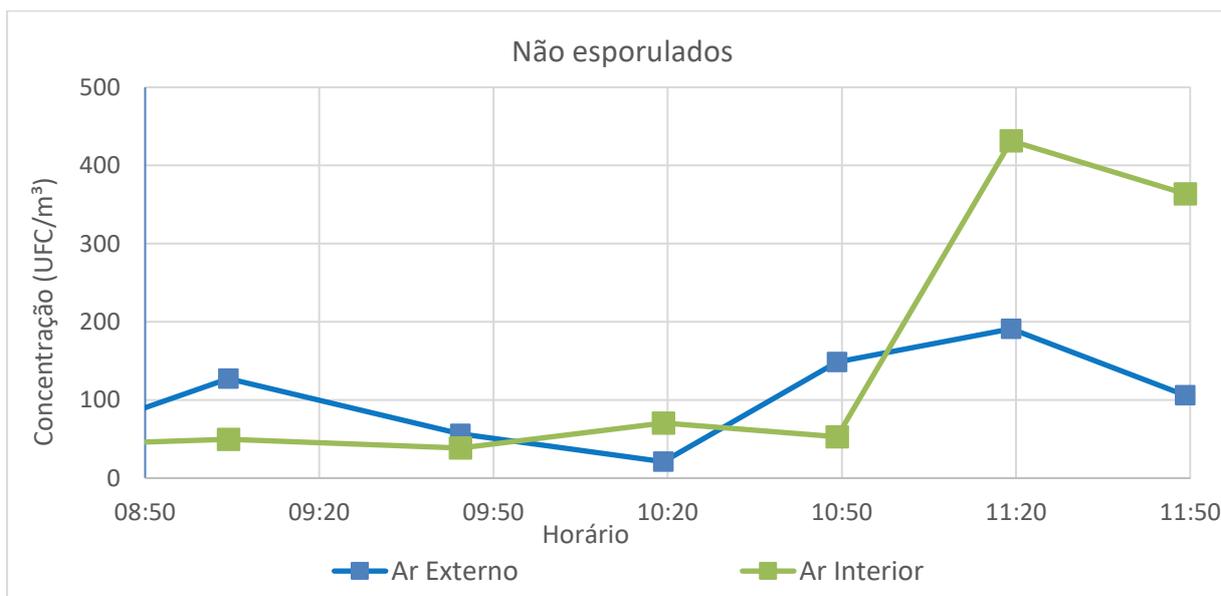


Figura 11: Gráfico com concentrações de Não Esporulados.



5 ANÁLISE DE RESULTADOS E CONCLUSÕES

Conforme apresentado a principal motivação para o desenvolvimento desta investigação experimental de 2020 foi a situação intrigante de aumento nos níveis de concentração no ar exterior de particulados finos verificada durante medições efetuadas no evento da Oficina de Brinquedos de 2018. Tal aumento foi relacionado à ocorrência de uma varrição promovida por sopradores pneumáticos de resíduos depositados no chão, em áreas próximas à tomada de ar exterior nos arredores de ambiente monitorado.

Analisando o comportamento das variações das concentrações de particulados finos verifica-se a importância dos processos de dupla filtragem do ar externo para renovação do ar interior. Os valores para a concentração de PM_{2,5} com a varrição pneumática apresentou resultados muito acima daqueles usualmente encontrados em medições usuais para o ar exterior na cidade de São Paulo, que estão em ordens de grandeza que não costumam ultrapassar 10 µg/m³. Este fato chama atenção para riscos que estes processos de varrição pneumática podem trazer para a saúde das pessoas.

Os valores da concentração de partículas finas no ar exterior obtidos nos resultados dos experimentos foram menores no experimento de 2020 em relação a 2018. Este fato foi relacionado às condições de agregação provocada pelas chuvas que ocorreram nos dias anteriores à medição de 2020. Enquanto no experimento de 2018, realizado em estação climática em que ocorreram menor quantidade de chuvas nos dias anteriores ao evento, os resíduos estavam menos agregados, o que permitiu que um maior deslocamento de partículas finas saindo do solo e subindo para o ar nos locais onde ocorreu o processo de varrição com o soprador.

A presença de fungos no ar exterior também foi ampliada no intervalo de tempo em que ocorreu a máxima concentração de particulado fino, o que indica uma tendência de comportamento entre estes dois parâmetros.

O ar interno foi beneficiado pelos processos de filtragem, que reduziu significativamente os valores da concentração de particulados nos ambientes internos. A possibilidade de transporte de microrganismos pelo particulado é real e deve ser considerada.

A monitoração da velocidade do vento nas proximidades do local onde ocorria a varrição pneumática, também indicou que o período de maior concentração de particulado fino ocorreu para o intervalo de tempo em que o vento assumiu menor velocidade.

O momento atual, dentro do contexto da pandemia da COVID 19, em que está sendo incentivada a ampliação da vazão de ar externo para diluir poluentes e contaminantes no ar interior, exige que a caracterização das propriedades e condições deste ar exterior.

Atividades de varrição com sopradores pneumáticos devem ser analisadas e revisadas, especialmente em períodos em que o clima está muito seco, e em locais em que pode provocar o aumento de particulado fino em suspensão no ar. Novos experimentos devem ser realizados com condições climáticas bem definidas, e de modo que seja possível estabelecer paradigmas e eventuais restrições para aplicação desta técnica, de modo a preservar a saúde das pessoas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às empresas que apoiaram às atividades experimentais realizadas para o presente trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401**: Instalações de ar-condicionado. Sistemas centrais e unitários. Rio de Janeiro, 2008.

DAL POGETO, F. **Estudo de qualidade do ar em instituições de ensino**. Trabalho de conclusão de curso apresentado na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2017.

FAKHOURY, N. A. **Estudo da qualidade do ar interior em ambientes educacionais**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da USP. São Paulo. 2017.

GUSTAVSSON, J.; GINESTET, A.; TRONVILLE, P.; HYTTILNEN, M. **Manual REHVA nº 11: Filtragem de Ar nos Sistemas de AVAC**. REHVA - Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations. Lisboa, 2011.

JENKLINS, P.L.; PHILLIPS, T.J., MULBERG, J.M., HUI, S.P. **Activity patterns of Californians: Use of and proximity to indoor pollutant sources**. Atmospheric Environment, 26A, p. 291-297, 1992.

OLESEN, B. W. **Indoor Environment: Health, Comfort and Productivity**. In: 8th REHVA WORLD CONGRESS. Lausanne, Oct. 9-12, 2005.

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.

WHEELER, A.E. **A View of IAQ as the Century Closes**. ASHRAE Journal, p. 35-38, Nov., 1999.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Air quality guidelines - Global update 2005: Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide**. Geneva, 2005.