



XVIII CONBRAVA - CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR
São Paulo Expo –13 à 15 de setembro de 2023

ESTUDO EXPERIMENTAL AVALIANDO FATORES FÍSICOS E MICROBIOLÓGICOS PARA A QUALIDADE DO AR INTERIOR

PAPER 81

RESUMO

Este estudo apresenta resultados de medições realizadas em experimento desenvolvido em ambiente escolar, em uma sala de aula prática, em que são fabricados protótipos. O evento principal é identificado como "Oficina de Fabricação Brinquedos Técnicos". Este ambiente possui unidades de ar condicionado tradicionais associadas a equipamentos de tratamento do ar exterior que atende a renovação de ar deste local. Os parâmetros físicos monitorados são: Temperatura de Bulbo Seco (TBS), Umidade Relativa (UR), Concentração de particulados (PM₁₀). O parâmetro químico é a concentração de CO₂. E o parâmetro biológico é a concentração de fungos e de bactérias. A metodologia e os procedimentos experimentais para o presente estudo foram estabelecidos de modo a permitir o estudo comparativo das variações dos fatores monitorados em diferentes condições de vazão de ar exterior, duplamente filtrado com elementos filtrantes G4+M5. Os resultados obtidos possibilitam dar continuidade a análises realizadas em experimentos similares realizados nos últimos 6 anos, comparar variação dos parâmetros entre si, e principalmente avaliar os fatores biológicos, que passa a ter maior destaque com a pandemia da COVID 19. Nos resultados do trabalho há destaque para a taxa de redução na concentração de microrganismos em suspensão no ar, que é similar a taxa de variação da concentração do particulado PM₁₀, causadas pelo aumento da vazão de ar exterior.

Palavras-chave: AVAC. Qualidade do Ar Interior. Particulados. Microrganismos

ABSTRACT

This study presents results of measurements carried out in an experiment developed in a school environment, in a practical classroom, where prototypes are manufactured. The main event is identified as "Technical Toys Manufacturing Workshop". This environment has traditional air conditioning units associated with outdoor air treatment equipment that serves the air renewal of this location. The physical parameters monitored are: Dry Bulb Temperature:(TBS), Relative Humidity (RH), Particulate Concentration (PM₁₀). The chemical parameter is the CO₂ concentration. And the biological parameter is the concentration of fungi and bacteria. The methodology and experimental procedures for the present study were established in order to allow the comparative study of the variations of the monitored factors in different conditions of outdoor air flow, double filtered with G4+M5 filtering elements. The results obtained make it possible to continue analyzes carried out in similar experiments carried out in the last 6 years, to compare variation of parameters with each other, and mainly to evaluate biological factors, which now have greater prominence with the COVID 19 pandemic. emphasis on the rate of reduction in the concentration of microorganisms suspended in the air, which is similar to the rate of variation in the concentration of particulate PM₁₀, caused by the increase in the flow of outside air.

Keywords: HVAC. Indoor Air Quality, Particle matter, microorganism.

1 INTRODUÇÃO

A sociedade que está estabelecida nos ambientes urbanos está experimentando novos tempos do ponto de vista da Qualidade do Ar Interior de ambientes. Com a experiência da situação de emergência trazida pela pandemia do coronavírus (SARS-CoV-2, COVID-19) os ocupantes de ambientes internos passaram a preocupar-se com o estado deste importante elemento vital para a vida dos seres humanos, o ar.

As pesquisas na área da qualidade do ar seguem procurando entender cada vez mais como os parâmetros que podem expressar o estado de um ambiente comportam-se em função da operação de sistemas de ar condicionado e ventilação que estão instalados para oferecer principalmente conforto e saúde para as pessoas que permanecem por determinado período nos ambientes interiores.

Textos tradicionais e fundamentais estabeleceram para o estudo da Qualidade do Ar Interior (QAI), parâmetros relacionados a fatores classificados em três categorias: Físicos, Químicos e Biológicos, como propõe o manual da SMACNA *Indoor Air Quality* de 2004. Em função do contexto da pandemia, ocorre uma valorização dos estudos que tenham propostas para entender como pode ser viabilizado o controle, a redução, e que correlações com outros fatores e parâmetros podem ser estabelecidas e relacionadas com a presença de elementos biológicos, avaliada pela concentração de colônias em amostras de ar interior. É neste contexto que o presente trabalho é desenvolvido, e pretende ser uma contribuição para melhorar o conhecimento nesta área. Este trabalho tem relação com outros já apresentados em Congressos e com relatórios publicados como os realizados pelos autores: Fakhoury (2016), Rollo et al. (2019), Guilhotti et AL (2021) e Rollo et al. (2021)

2 OBJETIVOS

O objetivo primeiro deste trabalho é apresentar e discutir os resultados obtidos em estudos experimentais desenvolvidos por meio da medição de parâmetros relacionados à qualidade do ar interior em ambientes internos a edificações de instituições educacionais, isto é, salas de aula em que ocorrem atividades acadêmicas específicas.

O núcleo principal deste estudo está relacionado com a verificação da influência dos sistemas de ventilação que promovem a renovação do ar em ambiente climatizado sobre os parâmetros físicos – concentração de particulados e parâmetros biológicos – concentração de microrganismos presentes nas amostras de ar interno e externo. Esta avaliação é realizada associada a alterações nos valores de vazão de ar externo dentro de um intervalo, e na consideração das características de filtragem deste ar. O parâmetro químico, que é a monitoração da concentração de CO₂, também foi medida nos ensaios, e pode ser relacionada às outras variáveis.

Também é meta neste trabalho estabelecer metodologia e procedimentos

que possam estar alinhadas com estudos anteriores realizados pelo mesmo grupo de pesquisa, ou outros obtidos no levantamento bibliográfico, de modo a permitir comparação das análises, e consolidação de correlações.

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).

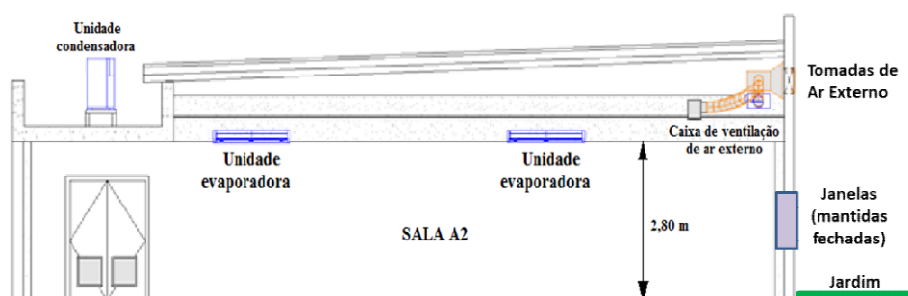
3. METODOLOGIA

3.1 Ambiente dos experimentos

O estudo é realizado em uma sala de aula do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Esta sala é identificada como sala A-02 tem dimensões compatíveis com uma área de 195 m². Seu condicionamento de ar é realizado por duas máquinas unitárias do tipo “Split”, com capacidade de 14 kW cada.

O ar externo é insuflado diretamente no ambiente condicionado, fora da zona de ocupação, por meio de quatro unidades de renovação de ar, que são caixas de ventilação. Difusores de uma via insuflam o ar externo próximo ao forro na direção perpendicular ao ar que sai da unidade evaporadora para que a mistura ocorra antes do ar entrar na zona ocupada pelas pessoas. Estas unidades podem ser ligadas por um sistema de controle individual do tipo liga-desliga. Uma vista em corte da sala com indicação das unidades instaladas está apresentada na Figura 1. Cada unidade de renovação de ar está conectada a um difusor de uma via.

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



3.2 Instrumentação

Os instrumentos empregados nas medições das grandezas de interesse no presente estudo estão descritas a seguir:

- Concentração de partículas em suspensão no ar: contador de partículas portátil, com funcionamento à dispersão ótica: faixa nominal de medição de (0 a 4x10⁶) partículas/ft³, com exatidão de ±5 %, resolução de 0,01 µg/m³.

- 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 microrganismos, em ambiente com condições de temperatura e umidade controlados no laboratório.

Simultaneamente às medições realizadas com os instrumentos manuais, é feita a monitoração contínua e automática em que são registrados os valores para a concentração de materiais particulados, de CO₂ e medidos os parâmetros psicrométricos. Para tanto é utilizado equipamento identificado por Spiri, instalado no interior da sala e no exterior próximo à tomada de ar externo.

3.3 Procedimentos experimentais

Nos procedimentos experimentais são feitas as medições de concentrações de poluentes químicos com destaque para o CO₂, para os elementos físicos em suspensão no ar PM₁₀ e para avaliar também os microrganismos, presença microbiológica, com concentração de fungos e de bactérias. As leituras foram realizadas no interior da sala e no exterior da sala que é objeto do estudo. Foram considerados intervalos de tempo uniformes e registrados o tipo de atividade que estava sendo realizada pelos ocupantes e, também, a quantidade de pessoas presente no instante da medida.

São também medidas as grandezas relacionadas aos fatores físicos da QAI, como Temperatura de Bulbo Seco (TBS) e Umidade Relativa (UR), que não são apresentados como resultados detalhados neste trabalho por questão de prioridade, destinada aos parâmetros relacionados aos objetivos, e que estão focados nos elementos que estão em suspensão no ar.

Acompanhando os valores crescentes dos parâmetros físicos e químicos, é realizada a variação da vazão de ar exterior filtrado. Na primeira série de experimentos, identificados por **A**, foram realizadas trocas de filtro e variação da vazão de ar exterior. No experimento **B**, apenas variação da vazão de ar exterior.

O posicionamento dos instrumentos seguiu referências adotadas em medições similares, localizando-os na região central do ambiente na altura de 1,5 m do piso, e em distâncias em que o operador do instrumento não

influencie os resultados.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

As medições que estão analisadas neste trabalho foram realizadas em duas datas:

Experimentos **A** realizados em 20 de novembro de 2021

Experimentos **B** realizados em 15 de outubro de 2022

As medições realizadas no experimento **A**, em novembro de 2021, em função da pandemia, não foi relacionada a um evento específico de atividades dentro da sala.

As medições realizadas no experimento **B** foram realizadas durante a atividade similar a um Laboratório de ensino de manufatura de protótipos de madeira, em que ocorreram projeto e fabricação de um Brinquedo, versão simplificada de um guindaste hidráulico. Neste caso há processos de lixação e furação, fontes de produção de particulado.

Os valores de vazão de ar exterior são determinados pela quantidade de unidades de renovação de ar (caixas de ventilação) que estão colocadas em operação. Os valores das vazões de ar exterior estão apresentados nos gráficos. Sendo que para os experimentos **A** considerando a Tabela 1 relaciona a quantidade de caixas de ventilação com a vazão de ar exterior filtrado insuflado.

Tabela 1: Vazão de ar exterior filtrado em função da quantidade de caixas de ventilação operando para Experimento **A (20/11/2021)**

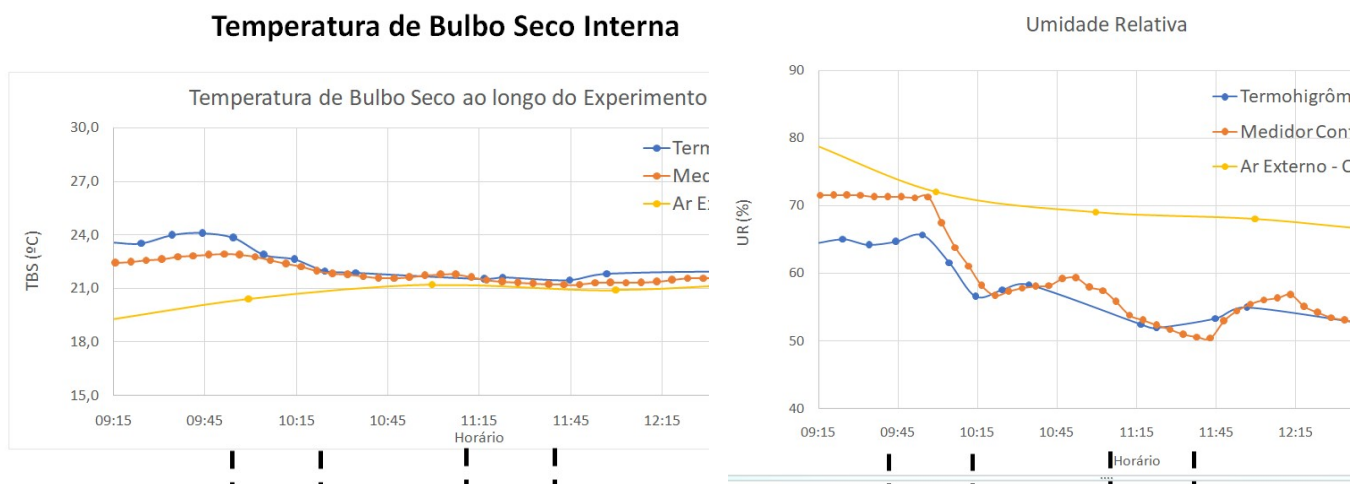
Unidades de renovação – caixas de ventilação em operação	Vazão de ar exterior insuflado (L/s) (+/- 5% valor medido)	Vazão de ar exterior insuflado (m³/h) (+/- 5% valor medido)
0 – sem operação	0	
2	300	1080
4	600	2160

Nota: as vazões das caixas não são exatamente iguais e foram medidas com medidor de vazão no difusor de insuflação, adotando massa específica padrão para o ar (1,2 kg/m³).

4.1 Medição de temperatura e umidade relativa

Como referências para as condições psicrométricas do ar durante o estudo estão apresentadas as condições para os experimentos **A**. As curvas dos gráficos da Figura 2 apresentam os resultados da temperatura de bulbo seco (TBS) e da umidade relativa (UR) medidas com um termohigrômetro, e dados monitorados medidor-registrador contínuo. As condições destas grandezas para o ar externo foram obtidas da estação meteorológica do Sistema Qualar (CETESB – SP).

Figura 2. Temperatura e umidade relativa no interior do ambiente nos experimentos **A**



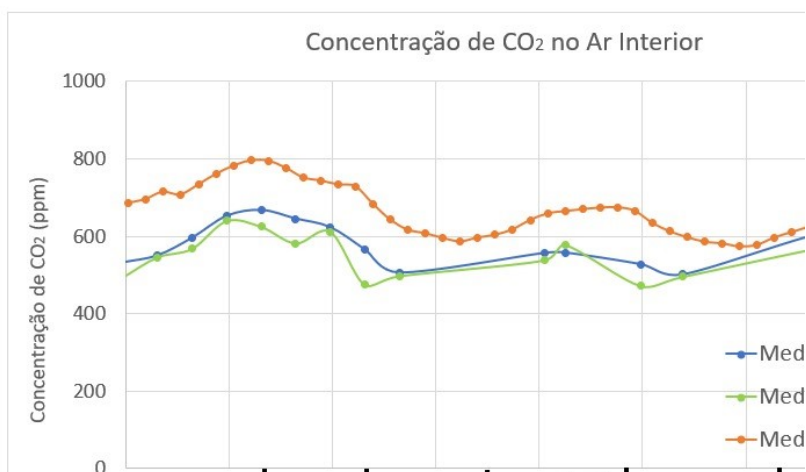
No experimento **B** os resultados para TBS e UR apresentaram as mesmas tendências do experimento **A**. e, portanto não serão reproduzidas aqui também por não ser o ponto principal do trabalho.

A análise das grandezas psicrométricas (TBS e UR) apresenta estabilidade e tendência em permanecer em faixas dentro das quais não são fator de influência para os resultados relacionados com os pontos centrais deste estudo, que são a concentração de poluentes.

4.2 Dióxido de Carbono (CO₂)

A avaliação da concentração do dióxido de carbono foi realizada com cuidado, adotando dois tipos de instrumentação, um medidor manual (portátil) e outro registrador contínuo de valores, de modo a obter segurança e exatidão nestes resultados. Os valores obtidos, consideradas as suas incertezas, indicaram similaridade e validaram os dois processos de medição. O cuidado na monitoração desta substância tem especial relevância pelo motivo de que ela é um indicador considerado tradicionalmente como representativo de bioefluentes produzidos por humanos. Os resultados encontrados estão apresentados no gráfico da Figura 3.

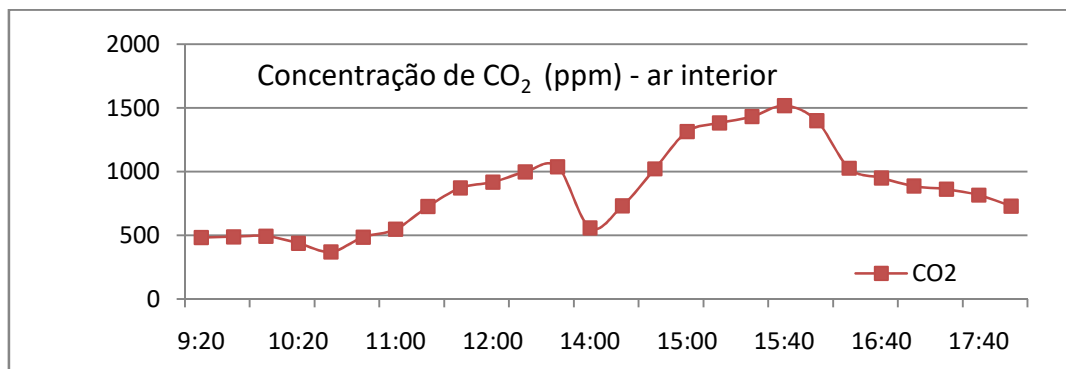
Figura 3: Concentração de CO₂ no dia 20 de novembro de 2021 – Experimento **A**



Deve-se registrar que nos experimentos **A** não há presença significativa de pessoas, apenas a equipe de medição, por consequência da pandemia.

No experimento **B**, realizado durante a Oficina de Brinquedos a ocupação retorna para os padrões usuais e os resultados para concentração de dióxido de carbono estão apresentados na Figura 4

Figura 4: Concentração de CO₂ em 15 de outubro de 2022 – Experimento **B**



Analisando os valores de concentração de CO₂ verifica-se que apresentam variação coerente e compatível com a variação da vazão de ar exterior. A sala com poucas pessoas inicialmente, possui baixa concentração de CO₂ no início do experimento **B**, sendo que antes e durante a ocupação foi adotada vazão de ar exterior de 45 m³/(h*pessoa). A partir das 11:10 horas a vazão de ar exterior é reduzida para valores menores que 10 m³/(h*pessoa) e o CO₂ sai de valores de 500 ppm para 1000 ppm. No horário da parada para o almoço a vazão de ar exterior faz com que a concentração retorne para 500 ppm.

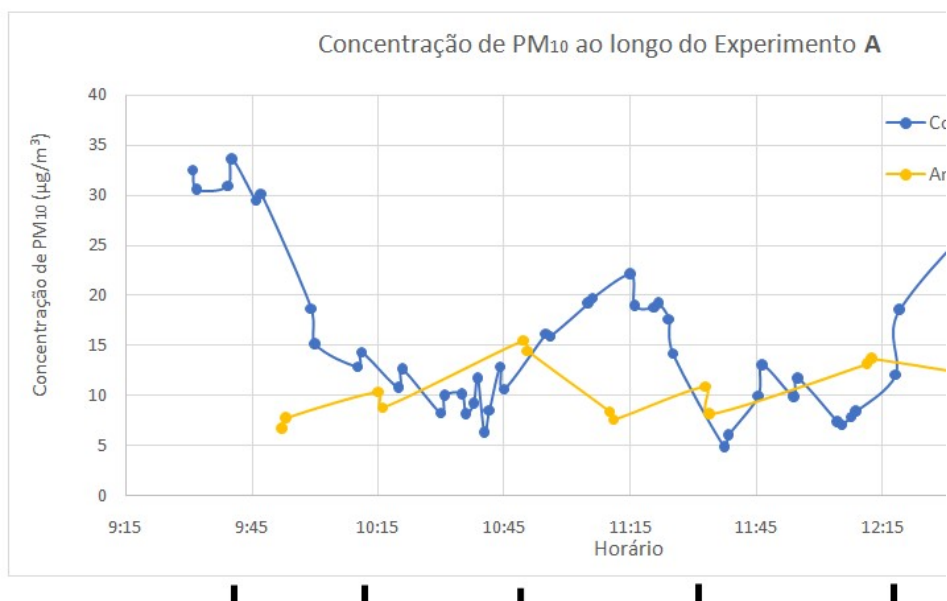
No período da tarde, quando a sala recebe a ocupação a renovação de ar fica desligada até às 15:15 horas, permitindo que as concentrações aumentem chegando até 1500 ppm. E para avaliar os efeitos da vazão de ar exterior, inicia-se a renovação com 9 m³/(h*pessoa), passando para 27 m³/(h*pessoa) às 15:40 horas, e para 41 m³/(h*pessoa) às 16:45.

4.3 Particulado tamanho de 10 µm

Considerando os resultados apresentados por ROLLO, MARIANI E PIMENTA (2022), em que foram investigadas correlações entre a presença de particulado fino (PM_{2,5}) e o número de unidades formadoras de colônias, e o resultado indicou valores pouco expressivos, outra direção foi dada no presente estudo, investigando a correlação da presença dos microrganismos com o particulado de maiores dimensões (PM₁₀).

Para os experimentos **A** há análise dos dois efeitos, variação da vazão e troca de elementos filtrantes, e os resultados estão no gráfico da Figura 5.

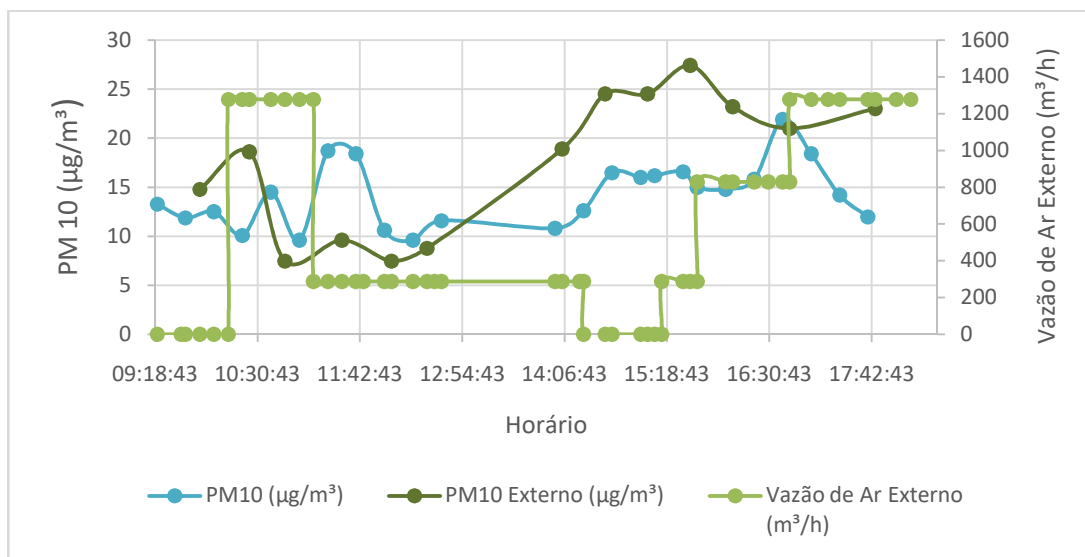
Figura 5: Concentração de PM₁₀ - 20 de novembro de 2021 – Experimento **A**



Os resultados apresentam os efeitos do decaimento da concentração de particulado PM_{10} relacionados com a variação da vazão de ar exterior e com a troca de filtros. Neste caso, como a mudança nos elementos filtrantes utiliza classes de filtro próximas, este efeito é menos sensível que aqueles resultantes do aumento da vazão de ar exterior.

Para os experimentos **B** são investigados os efeitos da variação da vazão combinados com a variação do número de ocupantes e com mudanças no tipo de atividade realizada. Os resultados estão no gráfico da Figura 6.

Figura 6: Concentração de PM_{10} - 15 de outubro de 2022 – Experimento **B**

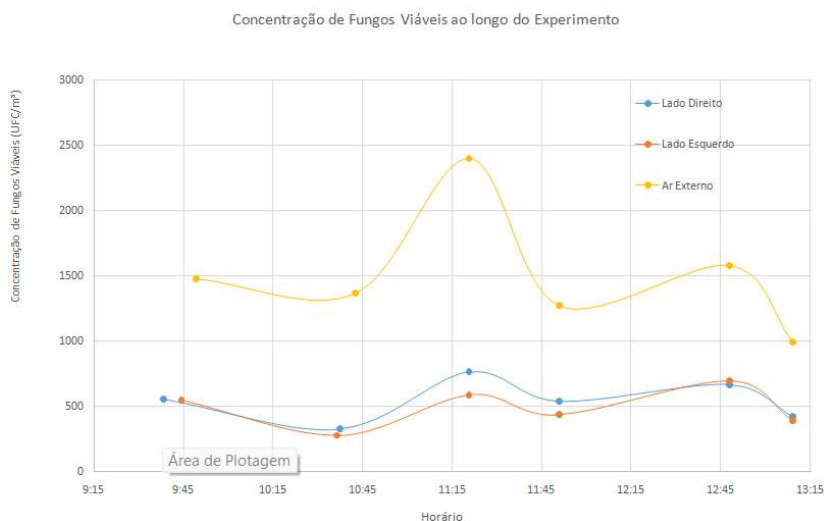


4.4 Microrganismos

Os microrganismos foram investigados considerando o crescimento de unidades formadoras de colônias (UFC) para fungos viáveis e no experimento **B** foi avaliada a presença de bactérias mesófilas.

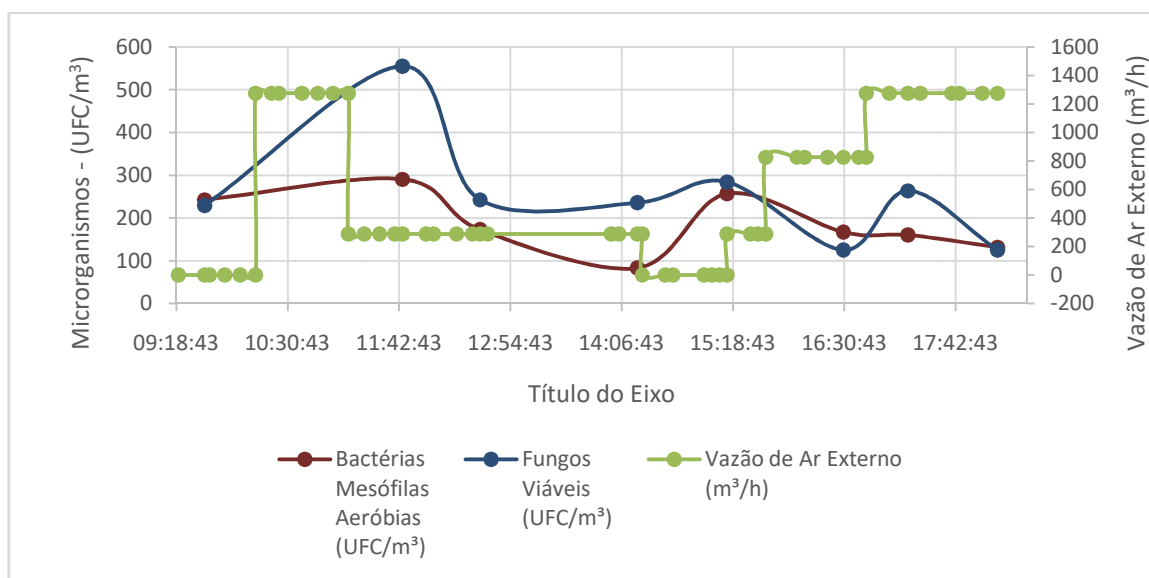
Da mesma forma que já foi descrito nos experimentos **A** há análise dos dois efeitos, variação da vazão e troca de elementos filtrantes, e os resultados estão no gráfico da Figura 7.

Figura 7: Microrganismos – Fungos - 20 de novembro de 2021 – Experimentos **A**



Para os experimentos **B** estão apresentados no gráfico da Figura 8 o comportamento da concentração de fungos no ar interior durante a Oficina de Brinquedos em que foram adotadas diferentes vazões de ar externo combinados com a variação do número de pessoas na sala, e com mudanças no tipo de atividade realizada.

Figura 8: Microrganismos – Fungos viáveis e bactérias mesófilas no ar interior – Oficina de Brinquedos em 15 de outubro de 2022 – Experimentos **B**



A variação da concentração dos microrganismos no ar interior ao ambiente medida em UFC/m³ mostrou-se sensível às variações de vazão do ar exterior filtrado. Ainda que os valores tenham sofrido alterações, indicando significativa influencia do sistema de renovação de ar, não foram verificados valores acima de limites recomendados pela legislação brasileira que adota o padrão de 750 UFC/m³.

4.5 Relações entre o aumento da vazão de ar externo e as reduções de concentração de substâncias no ar interior

Nos experimentos apresentados foram selecionados quatro períodos para avaliar o efeito do aumento da vazão de ar externo filtrado sobre três grandezas que expressam a concentração de substâncias em suspensão no ar interior: concentração de particulado de até 10 µg (PM₁₀), concentração de microrganismos (UFC/m³), e concentração de Dióxido de Carbono (CO₂). Para definir os períodos foram consideradas as premissas: iniciar o período logo após atividades que promovam aumento da concentração de poluentes internos, duração acima de 30 minutos até 60 minutos, e vazão de ar externo filtrado com valores acima de referências normativas e da legislação durante o período ou imediatamente antes dele. A duração foi definida com base nos estudos e simulações apresentados por Bordini (2017), em que foi verificado que o processo de diluição de poluentes com ar exterior tende a estabilizar-se para o intervalo de tempo em torno de 40 minutos.

A visualização do comportamento das concentrações no tempo total do experimento apresentada nos gráficos combinadas com as mudanças na vazão de ar externo, também auxiliaram a escolha de 4 períodos para analisar. São dois períodos em cada um dos experimentos realizados, e identificados como **A1**, **A2**, **B1** e **B2**, apresentados na Tabela 2.

Assim, estes períodos são recortes do experimento em que foram estabelecidas condições favoráveis para atingir o objetivo deste estudo, ou seja, entender como o aumento da vazão de ar externo filtrado causa variação (Δ) na concentração das substâncias selecionadas, e também como estas variações (Δ) podem ter comportamentos semelhantes ou divergentes quando comparadas entre si.

Tabela 2: Valores para parâmetros indicadores da Qualidade do Ar Interior em períodos determinados. Destaque para as variações (Δ) das concentrações de cada substância entre valor inicial e final de cada período

Exper./ Period.	Data	Horário intervalo análise	Interva- lo Tempo (min)	Vazão Ar Exterior Q _{AE}		Filtros no Ar Exterior	Número pessoas	Q _{AE} por pessoa (m ³ /h*p)	CO ₂		
				(L/s)	(m ³ /h)				Início (ppm)	Final (ppm)	Varia- ção Δ CO ₂ (%)
A1	20 nov. 2021	11:20 às 11:55	35	300	1080	G4	10	108	557	502	10
A2	20 nov. 2021	12:41 às 13:15	33	600	2160	M5+M5	10	216	614	503	18
B1	15 out. 2022	11:40 às 12:40	60	80	288	G4+M5	34	9	872	1039	-19
B2	15 out. 2022	16:40 às 17:40	60	355	1278	G4+M5	32	40	951	816	14

Nota: Efeitos no período B1 podem estar relacionados ao aumento da vazão de ar externo que ocorreu no horário entre 10:20 e 11:10 horas - mantida em 1278 m³/h

Tabela 2 (conclusão)

Exper./ Period	Data	Horário intervalo análise	PM ₁₀			Fungos Viáveis			Bactérias Mesófilas		
			Início	Final	Varia- ção ΔPM_{10}	Início	Final	Varia- ção ΔF	Início	Final	Varia- ção ΔB
			(ppm)	(ppm)	(%)	UFC/m ³	UFC/m ³	(%)	UFC/m ³	UFC/m ³	(%)
A1	20 nov. 2021	11:20 às 11:55	19	11	42	763	540	29	--	--	--
A2	20 nov. 2021	12:41 às 13:15	20	12	40	699	389	44	--	--	--
B1	15 out. 2022	11:40 às 12:40	18	12	37	555	243	56	291	173	41
B2	15 out. 2022	16:40 às 17:40	22	12	45	264	125	53	160	132	18

Os resultados apresentados graficamente e detalhados na Tabela 2 para os 4 períodos selecionados possibilitam as seguintes análises:

- a) A taxa de variação ΔPM_{10} , que apresenta a redução na concentração de particulado PM₁₀ oscila entre 40% e 45% nos quatro períodos selecionados;
- b) Nos mesmos períodos, a taxa de variação da concentração de fungos viáveis, ΔF , também sofre redução entre 30% e 56%, ordem de grandeza similar ao particulado PM₁₀;
- c) A taxa de variação ΔB da concentração de bactérias mesófilas, ainda que as amostras tenham ocorrido em número limitado, mostra redução entre 18% e 41%. Este valor, em parte está dentro do intervalo considerado nos itens anteriores, em que o centro da variação das reduções está com ordem de grandeza entre 40% e 45%;
- d) No período **B1** do experimento, a concentração de CO₂ tem um aumento de 19% = ΔCO_2 , resultado da redução da vazão de ar externo. Contudo ocorre o efeito contrário nos parâmetros de concentração de PM₁₀, fungos e bactérias, com $\Delta PM_{10} = 37\%$, $\Delta F = 56\%$, $\Delta B = 41\%$;
- e) No período **A1**, o processo de filtragem é ampliado com uso de dois elementos (M5) em série, e aumento de vazão, verifica-se a redução de particulado (42%) e de fungos viáveis (29%), indicando similaridade nesta paridade de redução. E que tem proporção diferente em relação à redução de CO₂ (10%), o que indica desconexão entre variações nestes dois parâmetros;
- f) No período **B2** a vazão de ar exterior que é ampliada de 27 m³/(h*p) para 41 m³/(h*p), verifica-se forte efeito de redução nas concentrações de particulados e microrganismos, $\Delta PM_{10} = 45\%$, $\Delta F = 53\%$, $\Delta B = 18\%$ e menor na concentração de CO₂, $\Delta CO_2 = 18\%$;

5 CONCLUSÕES

A verificação de associações de parâmetros para analisar e prever a Qualidade do Ar Interior é muito importante no momento atual. A sociedade deseja ter segurança no conhecimento dos efeitos da melhoria da ventilação com ar de renovação e da filtragem do ar para a garantia do bem estar dos ocupantes e especialmente de sua saúde.

Controlar a vazão de ar exterior apenas considerando um parâmetro traz um risco em não atender os requisitos para outras variáveis que podem prejudicar o estado do ar no ambiente interior.

O presente estudo confirma respostas dadas por estudos anteriores que demonstram que a taxa de decaimento provocado pela diluição do CO₂ interior é diferente da diluição do particulado. Controlar o CO₂ não é garantia de controle para todos os outros poluentes.

O ponto central dos resultados é que traz significativa contribuição demonstra que existe correlação entre o controle do particulado de maior tamanho (PM₁₀) e os elementos microbiológicos presentes no ar. Isto é, a diluição do material em suspensão com ar exterior, que é mais eficiente em relação ao particulado de maior tamanho, e a maior facilidade de retenção nos estágios de filtragem podem colaborar com eficácia no controle da presença de fungos e bactérias em suspensão no ar.

Esta é uma excelente informação para os tempos atuais, e demonstra que soluções de custo menos elevado também podem dar ótima contribuição para a qualidade dos ambientes interiores.

AGRADECIMENTOS

A equipe de pesquisadores agradece o apoio viabilizado pela disponibilidade da Escola Politécnica da USP, e especialmente pela parceria de empresas apoiadoras que viabilizaram equipamentos e instrumentação para os experimentos, com destaque para as empresas CONFORLAB Engenharia Ambiental e MULTIVAC-MPU.

REFERÊNCIAS

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

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING, AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS - ASHRAE. **Handbook of Fundamentals**. Atlanta. 2021

BORDINI, M.D. Qualidade do Ar no Interior de Ambientes Climatizados Medição de Parâmetros. **Trabalho de Conclusão de Curso** - Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2017.

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

CONBRAVA 2023 – São Paulo Expo, 13 à 15 de setembro de 2023 - São Paulo, Brasil

GUILHOTI, S.L. **Estudo do comportamento dinâmico de poluentes em um laboratório educacional climatizado**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2021

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.

ROLLO, A. F., MARIANI, A. L. C., PIMENTA, M. M. **Análise da variação da filtragem e da vazão do ar externo na qualidade do ar interior**. MERCOFRIO, Porto Alegre, 2022.

SOUZA CRUZ, L. R. **Estudo do impacto de parâmetros na qualidade de ar em instituições de ensino**. Trabalho de Conclusão de Curso - Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2022.

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