



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

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA CAIXA CORSI-ROSENTHAL NA MELHORIA DA QUALIDADE DO AR INTERIOR

PAPER 71

RESUMO

Ao longo do período da pandemia, a questão da qualidade do ar interior foi avaliada e estudada na busca de soluções e formas de melhorar as condições dos ambientes internos. Dentre as diversas soluções que surgiram neste período, a caixa Corsi-Rosenthal foi difundida nos Estados Unidos como um sistema complementar aos demais protocolos (uso de máscara, higienização das mãos etc.).

O objetivo desta tecnologia é prover um sistema de baixo custo que reduzisse o nível de particulados em ambientes internos (especialmente salas de aula) de forma a diminuir o potencial de contaminação pelo vírus COVID-19. Esta tecnologia consiste em um cubo em que 4 ou 5 faces são filtros usualmente encontrados no mercado e um ventilador de pequeno porte disponível em lojas de artigos domésticos. A montagem da caixa, usualmente, é feita com fita multiuso reforçada (conhecida como "silver tape") nas laterais de forma a estruturar o conjunto de filtros e ventilador na forma de um cubo.

Este artigo propõe a avaliação da eficiência da caixa Corsi-Rosenthal no tocante a retenção de particulados (PM1, PM2,5, PM5 e PM10) bem como fungos filamentosos e avaliar o seu potencial de aplicação como estratégia para a redução da contaminação da COVID-19.

Palavras-chave: Qualidade do Ar Interior. Caixa Corsi. Baixo custo

ABSTRACT

Throughout the pandemic period, the issue of indoor air quality was evaluated and studied in the search for solutions and ways to improve the conditions of indoor environments. Among the various solutions that emerged during this period, the Corsi-Rosenthal box was disseminated in the United States as a complementary system to other protocols (use of the use of mask, hands hygiene, etc.).

The objective of this technology is to provide a low-cost system that would reduce the level of particulates in indoor environments (especially classrooms) to reduce the potential for contamination by the COVID-19 virus. This technology consists of a cube in which 4 or 5 faces are filters usually found on the market and a small fan available at home goods stores. The assembly of the box is usually done with reinforced multipurpose tape (known as "silver tape") on the sides to structure the set of filters and fan in the form of a cube.

This article proposes to evaluate the efficiency of the Corsi-Rosenthal box regarding the retention of particulates (PM1, PM2.5, PM5 and PM10) as well as filamentous fungi to evaluate its potential application as a strategy for the reduction of the contamination of COVID-19.).

Keywords: Indoor air quality. Corsi box. Low cost.

1 INTRODUÇÃO

A escolha de equipamento para melhoria da qualidade do ar interior em residências ou salas de aula passa pela avaliação dos parâmetros principais: eficiência de retenção de particulados, nível de ruído, consumo de energia e custo do equipamento e de operação/manutenção do equipamento. O mercado brasileiro oferece diversos equipamentos denominados purificadores de ar cujos custos variam entre R\$400 a R\$4000 com pouca ou nenhuma informação sobre a eficiência de retenção de particulados.

No Brasil há uma lacuna no que diz respeito a avaliação destes equipamentos. Uma referência internacional é a *Association of Home Appliances Manufacturers* (AHAM,2014). Dentre as diversas recomendações sugeridas pela AHAM está na definição da taxa de fornecimento de ar limpo (em inglês: CADR) que coloca, por exemplo, para redução de fumaça de tabaco que a CADR (em pes^3/min) do equipamento a ser adquirido permita uma renovação de ar de pelo menos 2/3 da área do ambiente (em pés^2).

Nesse sentido, a caixa Corsi-Rosenthal é um dispositivo desenvolvido para reduzir a quantidade de particulados em ambientes fechados com boa eficiência de particulados e custo baixo e que pode ser utilizada em residências e salas de aula.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Dal Porto et al. (2022) analisaram uma Caixa Corsi-Rosenthal (denominada a partir deste ponto como CCR) (Rosenthal, 2020) e dois purificadores de ar com filtros HEPA (designados HEPA#1 e HEPA#2) utilizando como critérios o decaimento do nível de particulados em uma sala de aula (168 m^3) e um escritório em uma residência (*home office*) não ocupados ($36,2 \text{ m}^3$). Para cada equipamento, foi verificado o decaimento de partículas de sal e foi avaliada o número de renovações por hora (NRH) que melhor adere a curva de decaimento com base na Equação 1.

$$C_{p,t} = C_{p,ref} + C_{p,t=0} \cdot \exp[-NRH \cdot t] \quad (1)$$

onde:

$C_{p,t}$ = concentração de particulado no instante t, [particulados];

$C_{p,ref}$ = concentração de particulados de referência. [particulados];

$C_{p,t=0}$ = concentração de particulados no instante inicial, [particulados];

NRH = número de renovações por hora, [renovações/hora];

t= tempo de decaimento, [horas].

Nos testes realizados por Dal Porto et al. (2022), foi acionado um ventilador adicional para aumentar a turbulência nos ambientes analisados. Para avaliar o NRH apenas com o efeito da CCR (NRH_{CCR}) nos ambientes analisados, foi calculada a diferença entre o NRH avaliado com uso da CCR combinado com a ventilação ($NRH_{CCR+ventilação}$) e com o uso apenas da ventilação ($NRH_{ventilação}$) (Equação 2).

$$NRH_{CCR} = NRH_{CCR+ventilação} - NRH_{ventilação} \quad (2)$$

Com base na avaliação do NRH_{CCR} , é calculada a taxa de fornecimento de ar limpo (TFAL – em inglês: *clean air delivery rate* (CADR)) pela Equação 3, parâmetro utilizado para avaliação de purificadores de ar segundo a *Association of Home Appliance Manufacturers* (AHAM) (AHAM,2014). TFAL é definido em função da faixa do tamanho da partícula (fumaça: 0,09 a 1 μ m; poeira: 0,5 a 3 μ m e pólen: 0,5 a 11 μ m) medidos em uma câmara selada com 0,03 m³. No caso do estudo de Dal Porto et al.(2022), os valores do TFAL para as diferentes partículas ficaram muito próximos (vide Tabela 1).

$$TFAL = V_{sala} \cdot NRH_{CCR} \quad (3)$$

Um resumo dos principais resultados obtidos por Dal Porto et al.(2022) para diferentes níveis de velocidade da CCR e os purificadores de ar HEPA#1 e HEPA#2 são apresentados na Tabela 1. Pode-se observar que a CCR fornece níveis de redução de particulados mais altos com níveis de potência e custo por TFAL mais baixos que os dois equipamentos analisados (HEPA#1 e HEPA#2).

Tabela 1 – Comparação de parâmetros da CCR, HEPA#1 e HEPA#2 para sala de aula e *home office*

Equipamento	sala de aula	<i>home office</i>	Nível de ruído [dB]	Potência/TFAL [W/ m ³ /h]	US\$/TFAL [US\$/ m ³ /h] (1)
	TFAL [m ³ /h]	TFAL [m ³ /h]			
CCR (baixa vel.)	1043±61	1018±46	58	0,065	0,06 (2)
CCR (média vel.)	1325 (5)	1325±54	63	0,063	0,04 (2)
CCR (alta vel.)	1398 (5)	1448±83	67	0,069	0,04 (2)
HEPA#1	549±75	484±3	59	0,172	0,51 (3)
HEPA#2	194±41	219±5	54	0,208	0,44 (4)

(1) Valores médios entre a situação da sala de aula e o *home office*; (2) Custo do CCR: US\$58,43; (3) Custo do HEPA#1:US\$261; (4) Custo do HEPA#2: US\$90; (5) realização de 01 medida

Yin et al. (2015) avaliam o conceito de área adequada (em inglês: *suitable area*) para a avaliação de purificadores de ar para particulados e contaminantes gasosos. Países como Estados Unidos, Japão e Canadá desenvolveram normas para o cálculo desta área adequada (Tabela 2). Os autores mencionam que na China não há normas que avaliam a área adequada ou TFAL em função das condições atmosféricas chinesas, como pode ser observado na Figura 1, nas quais os níveis de particulados são muito altos que os níveis tolerados pela OMS ($35 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Os autores mencionam que os purificadores de ar são classificados na China com base na redução de formaldeídos. Porém os autores verificam que o uso deste parâmetro fornece valores menores de área adequada em relação aos valores calculados com base na concentração de particulados PM2.5. Dessa forma, os autores propõem um cálculo modificado da área adequada em função das concentrações de PM2.5 e formaldeídos.

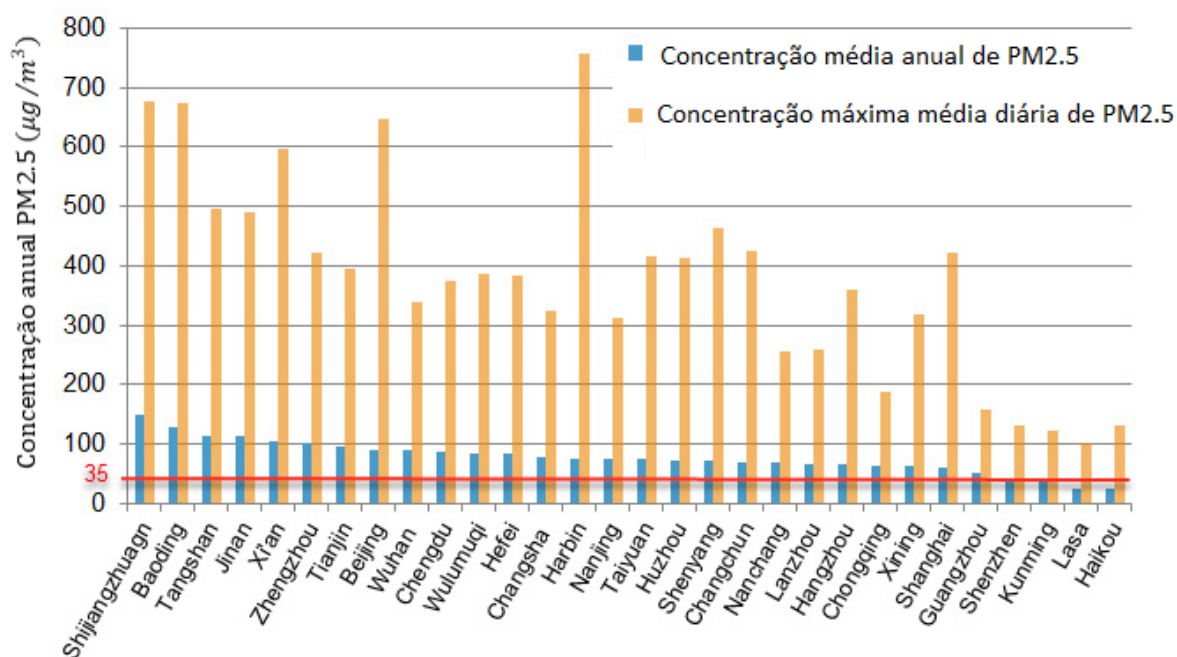
Tabela 2 – Comparação de cálculos da área adequada

País	Norma	Área adequada [m ²]
Estados Unidos	ANSI/AHAM AC-1 2016	$A = 0,085 \cdot TFAL$
Japão	JEM 1467-2013	$A = 0,13 \cdot P' (1)$
Canadá	NRCC-54013-2011	$A = 0,26 \cdot TFAL$

(1) P' é semelhante a TFAL porém P' é avaliado em dois pontos da curva de decaimento e TFAL é avaliado em múltiplos pontos da curva de decaimento

Fonte: Adaptado de (Yin et al. 2015).

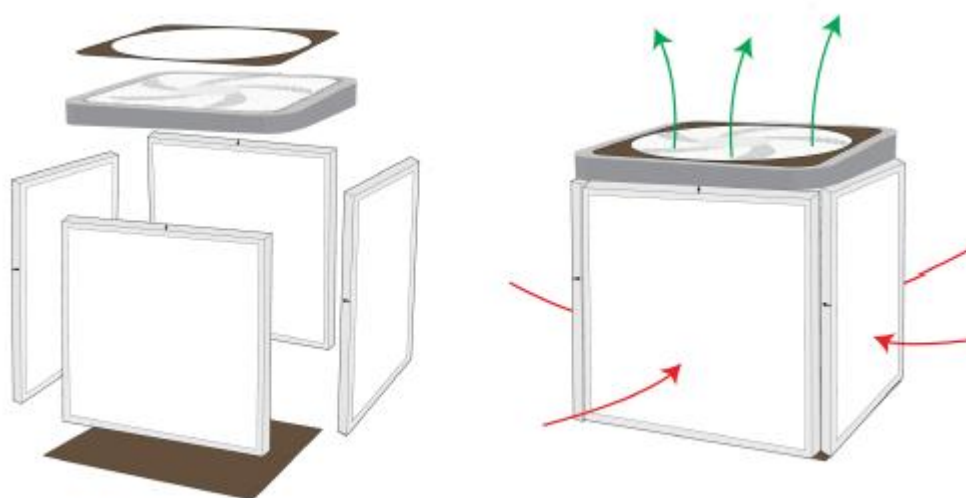
Figura 1 – Níveis de concentração de PM2.5 em cidades chinesas (Fonte: Adaptado de (Yin et al. 2015)).



3 Caixa Corsi-Rosenthal (CCR)

Em função da demanda por soluções para reduzir a contaminação pelo vírus SARS-Cov-2, Jim Rosenthal (CEO de uma empresa de filtros) e Dr. Richard Corsi (pesquisador) desenvolveram a caixa Corsi-Rosenthal que consiste na montagem de 04 filtros MERV13 e um ventilador doméstico sendo que um esquema da montagem é apresentado na Figura 2. Diversos *websites* e *white papers* tem sido publicados demonstrando a aplicação da CCR em diferentes situações, principalmente em salas de aula em escolas ((Western Cooling Efficiency Center 2021),(Pistochini 2021), (California Department of Public Health 2020)).

Figura 2 – Esquema simplificado da montagem da caixa Corsi-Rosenthal (Fonte: Adaptado de (Neustrom 2022)).



3 Testes realizados

Para a realização dos testes aqui propostos, foi construída uma CCR com 4 filtros G3 e um ventilador doméstico (Figura 3) (custo total: R\$300,00) que teve a sua vazão avaliada nos três níveis disponíveis de velocidade e, em seguida, foi avaliada a eficiência de redução de particulados e microrganismos em condições controladas.

3.1 Avaliação da vazão

Para a avaliação da vazão da CCR, foi montada uma grade de pontos e um anemômetro de turbina (Figura 4(a e b), respectivamente), sendo que anemômetro possui uma incerteza de $\pm 5\%$ da medida e a incerteza da medição da área é de $\pm 10^{-4} \text{ m}^2$.

Foram realizadas 03 medições em cada um dos pontos da grade (Q1 a Q9) posicionando o anemômetro no plano que fornecia a maior medida em cada ponto. As medidas foram repetidas 03 vezes e o valor médio da velocidade

foi usada para calcular a vazão do equipamento nos três níveis de velocidade disponíveis no ventilador resultando nos seguintes valores: $0,43 \pm 0,02 \text{ m}^3/\text{s}$ (baixa); $0,50 \pm 0,02 \text{ m}^3/\text{s}$ (média) e $0,57 \pm 0,03 \text{ m}^3/\text{s}$ (alta).

Figura 3 – CCR usada nos testes.



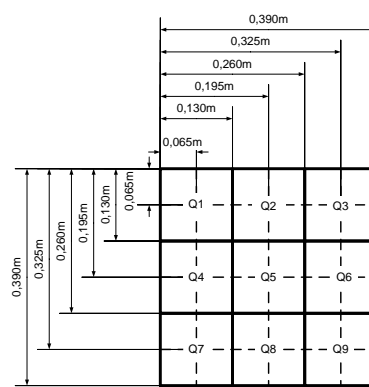
Figura 4 – Grade de medição (a), anemômetro (b) e posição dos pontos de medição na grade (c).



(a)



(b)

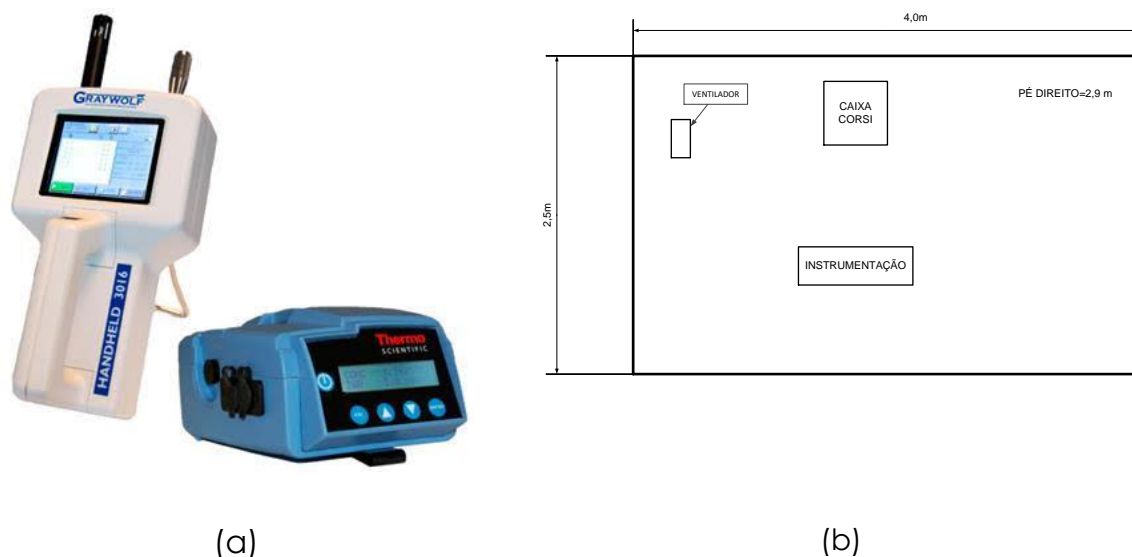


(c)

3.2 Testes de decaimento de particulados

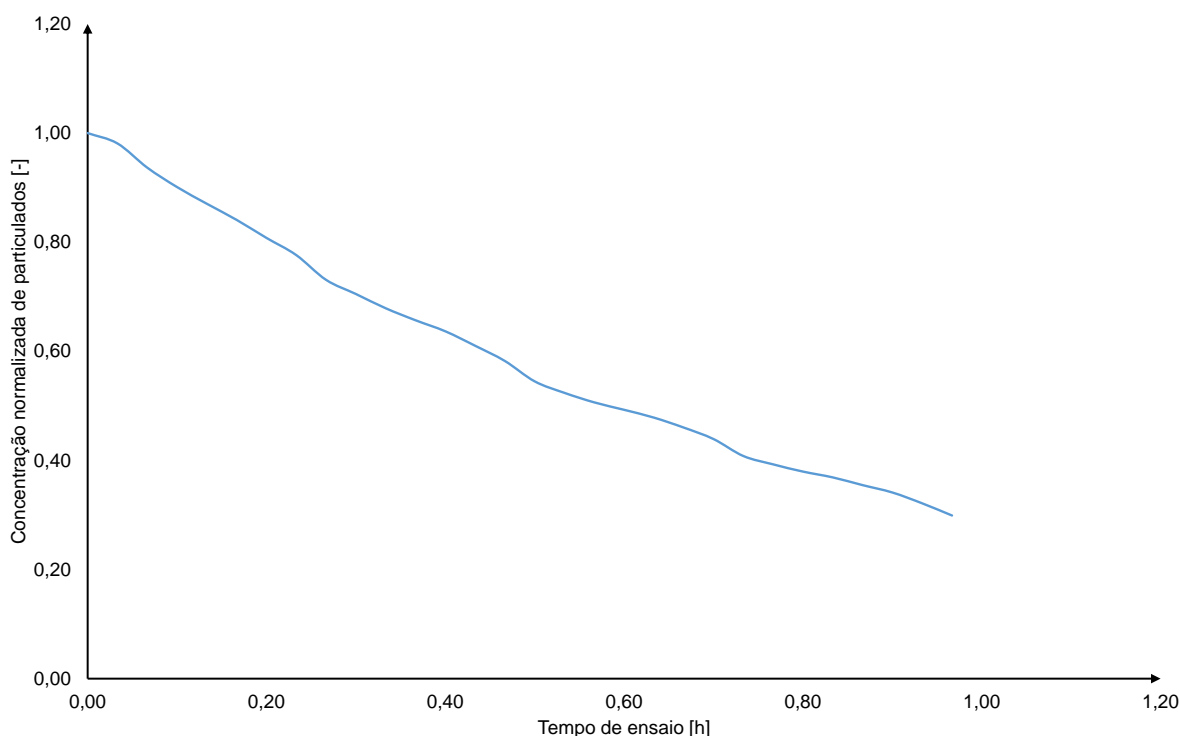
Os testes com particulados foram realizados em uma sala isolada (dimensões: 4 m X 2,5 m X 2,9 m=29m³) baseados na norma ISO 21501 (ISSO, 2018) onde foram utilizados contadores de partículas Gray Wolf IAQ-3016 (Figura 5a) para PM_{2,5}, PM₅ e PM₁₀. As medições foram feitas a cada 2 minutos no intervalo de tempo de 60 minutos de teste e, durante as medições, um ventilador foi usado para aumentar a turbulência na sala, sendo que a disposição aproximada dos equipamentos é mostrada na Figura 5b. Todas as amostras foram coletadas a uma altura de 94 cm do chão. Os resultados obtidos são referentes a média da concentração de partículas observadas durante o período de amostragem de 2 minutos. O volume de sucção da bomba é 2,83 L/min, totalizando a amostragem de aproximadamente 5,66 litros de ar por medição.

Figura 5 – Equipamentos de medição (a) e disposição dos equipamentos na sala de teste (b).



A metodologia de avaliação do TFAL proposta pela AHAM (AHAM,2014) foi aplicada aos dados obtidos para as curvas de decaimento de concentração de particulados e a Figura 6 mostra a curva da concentração normalizada para a medição de particulados PM_{2,5}, como exemplo dos resultados obtidos.

Figura 6 – Concentração normalizada para PM_{2,5} para a CCR analisada.



Dessa forma, os valores de NRH_{CCR} para PM_{2,5}, PM₅ e PM₁₀ bem como os valores de TFAL para a sala analisada e de eficácia da redução de particulado da tecnologia são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores de NRH_{CCR} e TFAL para PM_{2,5}, PM₅ e PM₁₀ para a CCR analisada.

Tamanho de particulado	NRH _{CCR} [ren/h]	TFAL [m ³ /h]	Eficácia [%]
2,5	0,94±1,8%	27,3±1,8%	18,2 ± 5,4
5,0	1,30±4,8%	37,6±4,8%	18,1 ± 4,1
10,0	1,36±5,5%	39,6±5,5%	18,0 ± 4,0

3.2 Testes microbiológicos

Os testes microbiológicos foram feitos com base na análise de fungos viáveis no ar conforme procedimento descrito na Norma Técnica 001 da Resolução-RE nº 09 da ANVISA (amostragem por impactação) (ANVISA, 2003) na mesma sala usada para os testes de particulados. As amostras foram coletadas a uma altura de 1,5 m do chão, utilizando um sistema de amostragem composto por um tripé, um amostrador Andersen de 1 estágio (400 furos), bomba de sucção de ar com fluxo calibrado em 28,3 L/min e placa de Petri confeccionada com meio de cultura SDA (Saboureaud Dextrose Agar) (Figura 7). O volume de ar amostrado foi 141,5 L por amostra. Após a amostragem, as amostras coletadas em placa de Petri foram encaminhadas ao Laboratório de Microbiologia III da

Conforlab, onde foram incubadas por 7 dias sob temperatura controlada de $(25 \pm 1) ^\circ\text{C}$. Ao término do período de incubação fez-se a contagem do número de colônias em cada placa de Petri para cálculo da concentração de fungos viáveis no ar (UFC/m³) antes e após o uso ininterrupto da tecnologia por 60 minutos. Durante todo o teste, o ambiente permaneceu sem ocupação e com o sistema de renovação de ar desligado.

Figura 7 – Equipamentos usados nos testes microbiológicos.



A avaliação de eficácia para redução da concentração de fungos viáveis no ar do ambiente de testes é realizada com base na amostragem no tempo de 0 minuto (concentração inicial, c_i) e 60 minutos (concentração final, c_f). Com o uso da tecnologia da CCR instalada no ambiente de teste, foi verificada uma redução de 23 % da concentração de fungos viáveis para o experimento desenvolvido no período matutino e 55 % da concentração de fungos viáveis para o experimento desenvolvido no período vespertino. Dessa forma, redução média percentual da concentração de fungos viáveis no ar do ambiente de estudo para os dois experimentos foi calculada em 39 %.

4 Análises

Com base nos resultados apresentados anteriormente, pode-se verificar que a CCR analisada tem níveis baixos de eficiência ($1,0 < \text{NRH} < 1,5$) comparados com os dados levantados na literatura ($6,0 < \text{NRH} < 8,0$) com relação a retenção de particulados. Níveis baixos de eficiência de microrganismos também foram encontrados no que diz respeito aos testes microbiológicos (redução média percentual de 39%).

5 Conclusões

Este artigo avaliou o comportamento de CCR com 4 faces com filtro para avaliar a eficiência deste tipo de tecnologia para ser aplicada como alternativa para melhoria da qualidade do ar em ambientes internos.

As análises mostraram que a CCR analisada apresenta níveis de eficiência de redução de particulados e microrganismos muito baixos para aplicações de melhoria de qualidade do ar interior.

Novos estudos serão realizados em um futuro próximo para melhorar a eficiência da tecnologia bem como reduzir os custos de construção do equipamento para torná-lo mais competitivo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da empresa Conforlab pelo apoio na pesquisa na execução e análise dos testes de particulados e aerossol e a Fundação Amigos da POLI pelo apoio por meio do financiamento do projeto de pesquisa fornecido no Edital 2022.2.

REFERÊNCIAS

AHAM - Association of Home Appliance Manufacturers (AHAM). ANSI/AHAM AC-1: Method for measuring the performance of portable household electric room air cleaners. Washington, DC: AHAM, 2014.

ANVISA. 2003. Norma técnica 01 – Resolução RE nº 09.

California Department of Public Health. 2020. "THE ROLE OF BUILDING VENTILATION AND FILTRATION IN REDUCING RISK OF AIRBORNE VIRAL TRANSMISSION IN SCHOOLS, ILLUSTRATED WITH SARS-COV-2."

Dal Porto, Rachael, Monet N. Kunz, Theresa Pistoichini, Richard L. Corsi, and Christopher D. Cappa. 2022. Characterizing the Performance of a Do-It-Yourself (DIY) Box Fan Air Filter. *Aerosol Science and Technology* 56 (6): 564–72. <https://doi.org/10.1080/02786826.2022.2054674>.

ISO. ISO 21501 -4:2018. Determination of particle size distribution — Single particle light interaction methods - Part 4: Light scattering airborne particle counter for clean spaces. Norma ISO, 25 páginas.

Neustrom, Philip. 2022. "Corsi-Rosenthal Cube." 2022. https://encycla.com/Corsi-Rosenthal_Cube.

Pistoichini, Theresa. 2021. "Considerations for Use and Selection of Portable Air Cleaners for Classrooms."

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

Rosenthal, J. 2020. A variation on the “box fan with merv 13 filter” air cleaner. Acesso: 08/04/2022. Disponível em: [https:// www.texairfilters.com/a-variation-on-the-box-fan-with-merv- 13-filter-air-cleaner/](https://www.texairfilters.com/a-variation-on-the-box-fan-with-merv-13-filter-air-cleaner/).

Western Cooling Efficiency Center. 2021. “Testing Different Configurations of Do-It-Yourself Portable Ir Cleaners.”

Yin, Xiaotong, Junjie Liu, Jingjing Pei, and Yuefei Hou. 2015. “A New Calculating Model for the Suitable Area of Air Cleaners Purifying Indoor Gaseous Chemical Contaminants.” *Procedia Engineering* 121: 1467–74. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.09.071>.