Relatório Técnico: Impactos da Pandemia de COVID-19 sobre Sistemas de Ar Condicionado e Climatização

ERICK C. CAMPOS[1], BRUNO AUGUSTO MACIEL GUEDES[2]

[1]*Engenheiro Mecânico, Setor de Infraestrutura, UFJF-GV*
Rua São Paulo, 745, Centro, Governador Valadares - MG, BRASIL
E-mail: erick.campos@ufjf.edu.br

[2]*Professor Adjunto, Departamento de Ciências Básicas da Vida, Instituto de Ciências Básicas da Vida, UFJF-GV*
Rua São Paulo, 745, Centro, Governador Valadares - MG, BRASIL
E-mail: bruno.guedes@ufjf.edu.br

RESUMO

Em Wuhan, capital da província de Hubei, na China, no final de 2019, foi detectado um surto de síndrome respiratória aguda grave, com alta transmissibilidade [1]. Uma nova linhagem viral de coronavírus, denominado SARS-CoV-2 (Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2), responsável pela doença denominada COVID-19, foi identificada através de técnicas laboratoriais.

Estudos recentes tem demonstrado que a transmissão do vírus SARS-CoV-2 ocorre de forma rápida entre seres humanos, por permanecer viável em aerossol por horas e em superfícies, por dias [2].

Em função da presença desta nova doença respiratória, com indícios de transmissão pelo ar, ambientes climatizados que não possuem sistema de adequado de renovação e tratamento de ar tornam-se fatores de riscos, podendo contribuir para o aumento na transmissão desta doença [3], [4].

ESTADO ATUAL DOS AMBIENTES CLIMATIZADOS

O aumento na renda média das famílias brasileiras proporcionou importantes mudanças no cotidiano e, dentre as demandas por conforto, observou-se um aumento na presença de sistemas de climatização nas residências [5].

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética, então pertencente ao Ministério de Minas e Energia, entre 2005 e 2017, o consumo de energia no setor residencial triplicou, isto devido a condicionadores de ar [5], indicando a magnitude da transformação. Apesar desse levantamento ter focado no setor residencial, esta expansão também ocorreu em outros setores. Gradualmente o padrão construtivo tem sofrido alterações, de modo que a climatização dos ambientes tem se deslocado do patamar de elemento opcional para elemento essencial (principalmente em cidades de clima quente).

Os códigos de obras locais têm sido elementos que contribuem para assegurar um mínimo de controle nos espaços com climatização, exigindo a presença de janelas e outros elementos visando a ventilação adequada, mas nem sempre são suficientes ou efetivos para garantir condições sanitárias adequadas [6]–[8].

Apesar de inadequados, ambientes climatizados sem renovação de ar suficiente estão normalizados socialmente, resultando em espaços que foram concebidos com a instalação de climatização para compensar todos os outros elementos de ventilação. Resultando em ambientes sem janelas, salas

com janelas blindadas, compartimentalização por divisórias que isolam as fontes de ar externo, dentre outros diversos exemplos do cotidiano.

No entanto, a conjuntura atual demanda uma revisão do que é aceitável, pois convive-se atualmente com uma pandemia de uma doença respiratória grave, com fortes indícios de transmissão aérea e não somente por contato, como imaginava-se originalmente. Sendo assim, ambientes climatizados que não possuem condição adequada de renovação e/ou tratamento de ar são fator de risco adicional de transmissão desse tipo de doença [4]–[7].

INFLUÊNCIA DA RENOVAÇÃO DE AR SOBRE OS SISTEMAS JÁ INSTALADOS

A renovação de ar é um importante parâmetro e precisa ser considerado em projetos de climatização, e tem como intuito garantir a qualidade do ar interior, se fazendo presente em diversas regulamentações em todo o mundo, e no Brasil é normatizado pela NBR 16401-3 [9]. Em muitos casos as instalações de ar condicionado contam apenas com a renovação de ar através de infiltração por frestas de portas, janelas, pela entrada e saída de pessoas.

Apesar do público em geral tratar qualquer entrada de ar exterior como algo a ser combatido em ambientes climatizados, com eventuais comportamentos enérgicos em busca desse objetivo (como selamento de janelas e portas), a entrada de ar na verdade trata-se de um elemento essencial para a manutenção da salubridade de ambientes confinados [9].

Os projetos de sistemas de ar condicionado que consideram renovação mecânica de ar utilizam equipamentos que insuflam o ar exterior de acordo com as condições de projeto. As figuras 1 e 2 abaixo apresentam dois exemplos dos processos descritos.

A renovação mecânica está mais presente em ambientes dotados de sistema de climatização central ou em instalações do tipo que seguem normatização mais rigorosa, como hospitais ou laboratórios. Quando o ambiente é dotado de ar condicionado do tipo *split* ou mesmo modelos de janela, é incomum haver equipamentos adicionais como gabinetes de ventilação ou exaustores/insufladores de ar. É importante esclarecer que é possível a instalação de equipamentos de renovação em ambientes que não os possuem atualmente, mas existem algumas ressalvas que devem ser feitas.

Figura 1: Em primeiro plano na imagem é possível identificar um sistema de renovação mecânica utilizando gabinete de ventilação [10]

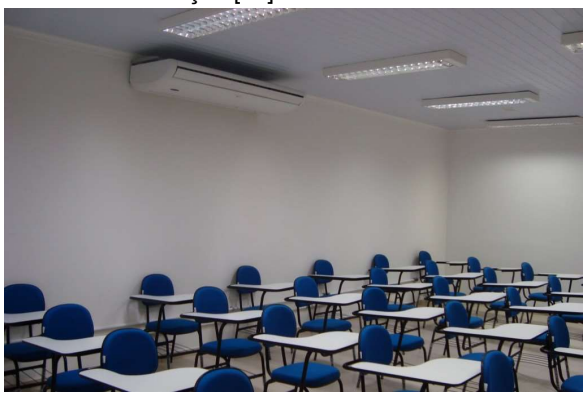

Figura 2: Sala de aula com equipamento de ar condicionado do tipo split (ou ductless) sem renovação mecânica [11]

Considerando a adaptação de ambientes para que passe a contar com renovação mecânica de ar, é preciso avaliar o impacto da troca do ar interior pelo ar exterior (que está a uma temperatura mais alta) e se os equipamentos atuais suportarão o consequente incremento da carga térmica, isto é, a quantidade de calor que precisará ser extraída do ambiente para atingir a temperatura e umidade esperadas.

Como os cálculos de carga térmica são realizados buscando designar os equipamentos de ar condicionado de acordo com a real necessidade dos ambientes, o processo de cálculo, conforme preconiza a NBR 16401-1 [12], considera as cargas máximas simultâneas

de cada unidade de tratamento de ar e do conjunto do sistema, bem como as épocas de suas respectivas ocorrências. Nas metodologias de cálculo, busca-se fazer um levantamento criterioso para tornar o sistema eficiente e econômico, não é comum haver excedente de capacidade de refrigeração se não houver justificativa.

Como os sistemas já instalados foram dimensionados em um contexto diferente do atual, se os mesmos não possuíam previamente a necessidade de lidar com renovação constante do ar ambiente, podem não estar preparados para uma nova fonte de calor dessa magnitude.

Para atingir os parâmetros desejados os equipamentos empregam a contínua recirculação do ar que fica confinado no ambiente por seu trocador de calor [13]. A cada vez que o ciclo se repete, o ar do ambiente torna-se um pouco mais frio e viabiliza uma nova redução de temperatura na próxima passagem do ar pelo interior do equipamento. Um equipamento *split* convencional de 60.000 BTU/h é projetado para recircular completamente o ar de uma sala de 60 m² e pé direito de 3 m por até 13 vezes [14].

Durante todo o processo as fontes de calor (insolação, pessoas, iluminação, equipamentos, ar externo) continuam contribuindo para o aumento da temperatura interna do ambiente. Portanto, o projeto dos sistemas de climatização dimensiona o equipamento para ter capacidade de refrigeração suficiente para vencer essa fase transiente em um tempo aceitável para a aplicação (fase inicial em que a temperatura diminui gradualmente) e ser capaz de manter o regime estacionário (no qual a temperatura se estabiliza) ao longo do tempo.

A inserção de ar externo com a frequência requerida na conjuntura atual de risco alto de contaminação pelo vírus SARS-CoV-2, que é o equivalente à troca por completo do ar ambiente várias vezes por hora, tem potencial para aumentar a carga térmica do ambiente a um patamar maior do que os projetos originais de climatização comportam, pois isso interrompe os diversos ciclos responsáveis pela redução da temperatura e reinicia o processo do zero.

A título de ilustração, um ambiente de 60m² com pé direito de 3m teria um acréscimo de aproximadamente 33.000 BTU em sua carga térmica caso realizasse 5 trocas de ar (considerando ar interno a 23ºC e 40% de umidade relativa e ar externo a 30ºC e 65% U.R). A figura 3 apresenta o resultado de uma gama de simulações.

Considerando que este incremento soma-se à carga térmica derivada das outras fontes já citadas (pessoas, equipamentos, iluminação, insolação, etc.) e que os equipamentos previamente instalados não tenham excedente de capacidade de refrigeração, torna-se pouco provável que as condições de conforto térmico desejadas sejam alcançadas caso ocorra a renovação do ar diversas vezes por hora.

Como os espaços simplesmente não foram pensados para a atual realidade de enfrentamento de uma pandemia de doença respiratória aguda grave com fortes indícios de transmissão aérea, é preciso assegurar que há potência suficiente para alcançar os mesmos parâmetros.

Forçar que sistemas climatização inadequados para a demanda a coexistir com a renovação de ar constante pode representar a anulação da finalidade dos equipamentos por não haver condições de alcançar a temperatura desejada e também um consumo adicional de energia significativo. Como pode ser visto na figura 3, a cada 10.000 BTU adicionado ao ambiente, aumenta-se aproximadamente 1 kWh no consumo por hora por aparelho. Apenas um único aparelho nessas condições por oito horas diárias em vinte dias traria um aumento de 160 kWh mensal, se forem dois aparelhos, 320 kWh e assim por diante, e se o aumento na carga térmica for maior que 10.000 BTU, este valor também aumenta [14].

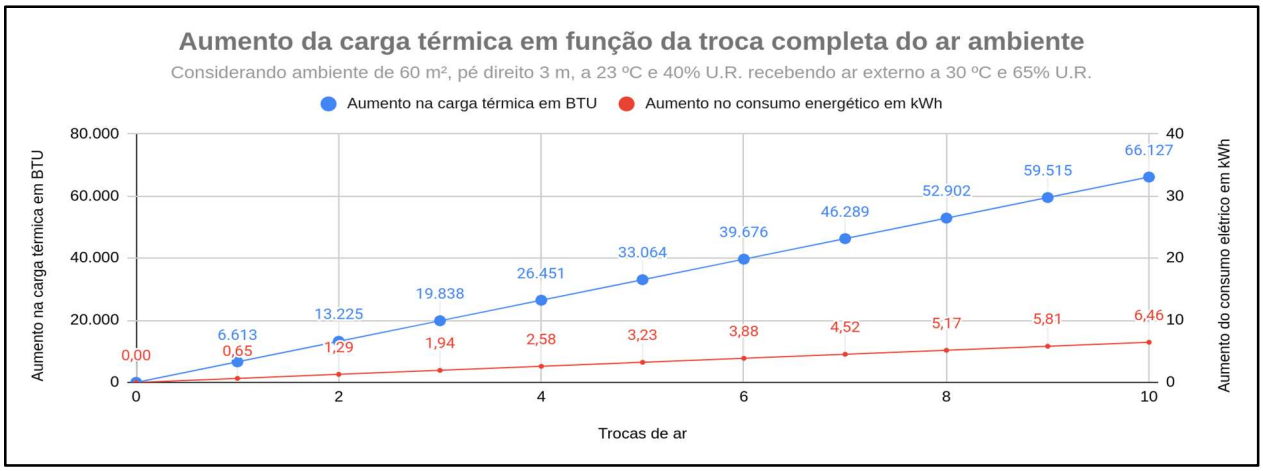

Figura 3: Projeção do aumento de carga térmica e do consumo energético em função do número de trocas completas do ar ambiente para as seguintes condições: ambiente de 60 m², pé direito 3 m, a 23 ºC e 40% U.R. recebendo ar externo a 30 ºC e 65% U.R. Para o cálculo de consumo foram consideradas que as trocas ocorreram num prazo de uma hora. Elaborada pelos autores.

Desta forma, antes de buscar qualquer adaptação, é de fundamental importância que seja analisada se a infraestrutura possui condições de lidar com o desafio e o impacto financeiro sobre as instituições, para que sejam realizadas tomadas de decisão conscientes em relação à climatização, pois não há solução plena para uma variedade tão grande de cenários.

TRANSMISSÃO DO VÍRUS SARS-CoV-2

Desde a deflagração da pandemia provocada pelo vírus SARS-CoV-2, uma das frentes de contenção na propagação viral buscou compreender os mecanismos de transmissão da COVID-19.

Dbouk e Drikakis (2020a) observaram que gotículas de saliva de humanos contaminados percorrem distâncias consideráveis (2 a 6 metros), dependendo das condições ambientais, o que torna necessário o distanciamento social e a utilização de equipamento de proteção individual [15].

Um dos estudos relacionados com maior repercussão até o momento, e significativa cobertura na mídia brasileira [16]–[19], relata o rastreamento de três famílias contaminadas por um único indivíduo através do sistema de ar condicionado de um restaurante [3].

Ao analisar os elementos em comum entre os indivíduos contaminados constatou-se que as mesas das três famílias se encontravam alinhadas com a mesma unidade evaporadora do sistema de ar condicionado, conforme a figura 4, portanto, todas recebiam a projeção do mesmo fluxo de ar. Não houve identificação de qualquer contato físico entre os contaminados ou compartilhamento de objetos, conflitando com a forma de contágio conhecida até então, que se dá através de gotículas de saliva. Tampouco outro indivíduo presente no restaurante na mesma ocasião, clientes ou funcionários, se contaminou [3].

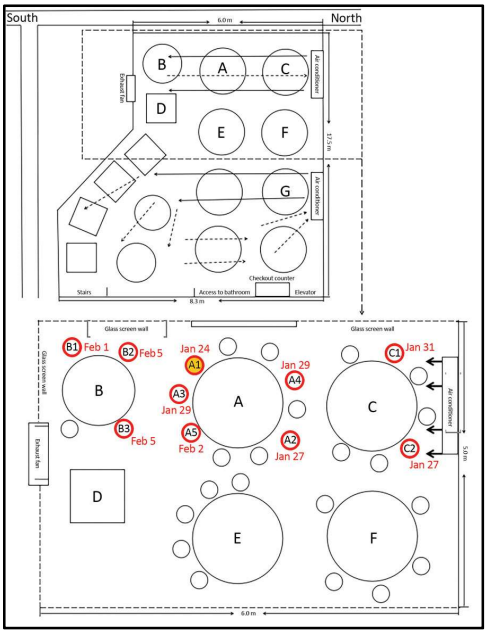

Figura 4: Representação esquemática da posição dos clientes do restaurante contaminados, das unidades de ar condicionado e do fluxo de ar. Os círculos em vermelho representam os indivíduos contaminados durante a exposição e a marcação em amarelo o único indivíduo com indicativo de contaminação previamente ao ocorrido [3]

Lu e colaboradores concluíram a transmissão do vírus neste caso não pode ser explicado apenas pelas vias do contato (não houve interação entre os indivíduos) ou gotículas maiores de saliva devido às distâncias entre as mesas (partículas maiores que 5µm permanecem no ar pouco tempo e não alcançam distâncias maiores que 1m facilmente) [3]. A conclusão do estudo foi de que gotículas aerolizadas (abaixo de 5µm) que são capazes de permanecer por longos períodos suspensas no ar e alcançar longas distâncias foram propagadas pelo ar condicionado para as outras mesas [3], assim como suspeita-se que tenha ocorrido durante as epidemias de SARS e MERS [3], [20]–[22].

Para melhor compreender como é possível que a hipótese de transmissão por aerossol seja uma explicação minimamente viável, sem que tenha ocorrido a disseminação para outros indivíduos presentes no restaurante, é importante esclarecer como ocorre a movimentação de correntes de ar.

A movimentação do ar é influenciada por uma série de fatores, podendo facilmente assumir padrões com baixa troca em regiões vizinhas, como se houvessem compartimentos delimitados por barreiras invisíveis, nem sempre as correntes se misturam. Desta forma é possível que mesmo num ambiente fechado haja concentração desigual de contaminantes na área e este é o caso levantado no artigo [23]–[25]

O estudo presume que as pessoas sofreram exposições a diferentes concentrações de ar contaminado devido às correntes de ar, justificando a contaminação somente dos indivíduos das mesas A, B e C da figura 4 e não de todos os presentes no ambiente [3].

Com o auxílio visual proveniente de análises de fluidodinâmica computacional (CFD) tais comportamentos de dispersão heterogênea do ar tornam-se mais facilmente compreendidos. Tan e colaboradores realizaram uma simulação para planejamento de disposição de equipamentos de ar condicionado, em que foi possível perceber as linhas de fluxo do ar bastante concentradas somente em uma região do ambiente [26]. O resultado da análise computacional pode ser visto na figura 5, e ajuda a compreender a hipótese descrita por Lu e seus colaboradores [3].

A hipótese de que é possível a transmissão de SARS-CoV-2 por aerossol tem um desdobramento alarmante, pois diferente das gotículas de saliva carregadas de vírus que sofrem forte ação da gravidade e decaem imediatamente sem atingir distâncias maiores que poucos metros os aerossóis permanecem diversas horas em suspensão no ar, alcançam grandes distâncias através das correntes de ar. Além disso são leves o bastante para ser aspirados pelos sistemas de ar condicionado e ao mesmo pequenos o suficiente para atravessar qualquer filtro de ar condicionado convencional [9].

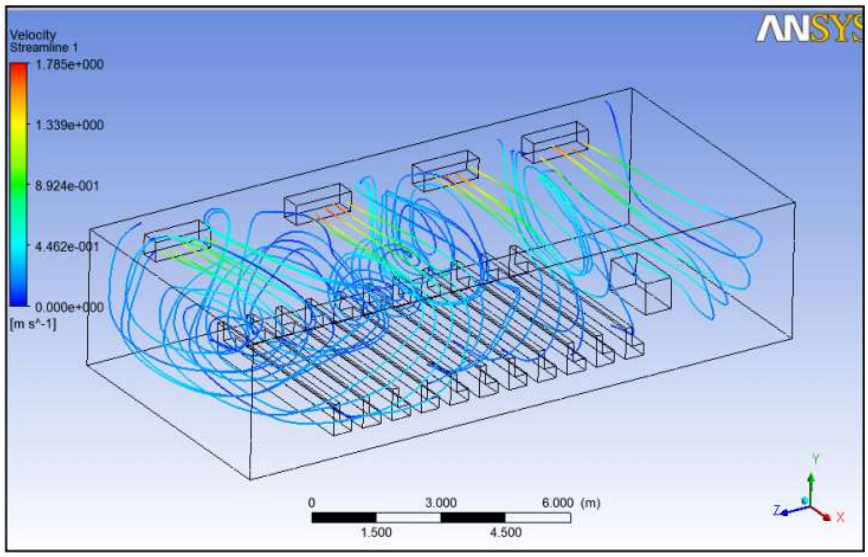

Figura 5: Linhas de fluxo ilustrando como a distribuição do ar recirculado pelas unidades de ar condicionado tende a se concentrar em regiões em detrimento de um espalhamento abrangente [26]

O Quadro 1 possui uma relação dos filtros determinados pela NBR 16401 para diversas aplicações, demonstrando a permeabilidade desses filtros para partículas da faixa dimensional do aerossol [9].

Quadro 1: Nível de filtragem para diversas aplicações, destacando que equipamentos residenciais e para escritórios possuem filtros incapazes de reter partículas de aerossol [9]

Aplicação típica	Nível de filtragem para aerossol (0.4 μm)
Supermercado, mall de centros comerciais, agências bancárias e de correios, lojas comerciais e de serviços	Não possui
Escritórios, sala de reunião, CPD, sala de digitação, call center, consultórios	40% a 60%
Residências	Não possui
Sala de controle - ambiente eletrônico sensível	60% a 80%

Isso transforma qualquer ambiente confinado em propício à contaminação coletiva por SARS-CoV-2, pois um único indivíduo contaminado terá as emissões respiratórias disseminadas para todos os indivíduos do mesmo ambiente. Na presença de climatização isso se agrava porque as correntes de ar são mais intensas, acelerando o espalhamento [4], [27], [28].

Outro estudo, Doremalen e colaboradores, se debruçou sobre a questão para compreender por quanto tempo o SARS-CoV-2 permanece viável no ambiente em diversas condições, dentre elas em suspensão no ar na forma de aerossol [29], conforme a figura 6.

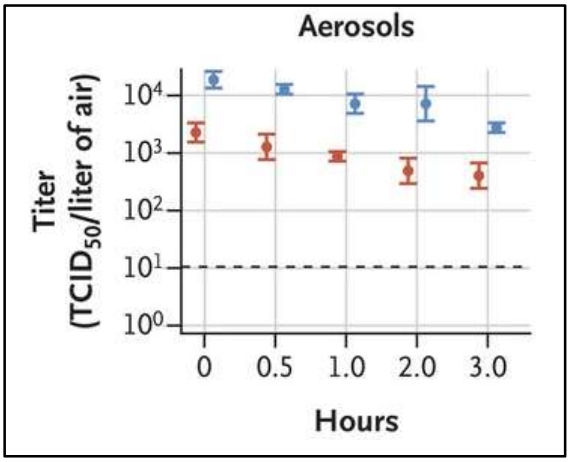

Figura 6: Decaimento do título de SARS-CoV-2 viável no ar ao longo de 3 horas [29]

Doremalen e colaboradores concluíram que o SARS-CoV-2 permanece viável no ambiente na forma de aerossol por no mínimo 3 horas (que foi a duração do experimento) com pouca redução do título durante esse período [29].

Apesar de se tratar de condições experimentais e de não se ter até o momento uma referência consolidada da concentração de SARS-CoV-2 em suspensão necessária para viabilizar uma contaminação, os indícios merecem atenção. Sobretudo por síndromes respiratórias anteriores causadas por outros coronavírus (SARS-CoV e MERS-Cov) terem também fortes indícios de transmissão por via aérea [20]–[22] por isso considera-se que o SARS-CoV-2 também o seja.

POSSÍVEIS SOLUÇÕES

O ineditismo e dinamismo da situação atual ainda não permitiram a existência de soluções exaustivamente validadas para a adequação de espaços de uso coletivo climatizados. Portanto, é necessária a construção das soluções considerando o conjunto de características específicas de cada cenário.

Serão apresentadas uma série de opções conhecidas atualmente, com diferentes graus de custo, facilidade de implementação e robustez, para que se possa escolher de forma analítica e consciente qual a melhor abordagem para cada caso concreto, diante do conjunto de pontos positivos e negativos de cada uma delas.

1. Utilização de máscaras de proteção por todos os usuários dos espaços

Este método de adequação se encontra alinhado com a recomendação atual de órgãos de saúde. Por isso, tem como vantagens o fato de já estar sendo adotada massivamente, ser de baixo custo, possibilidade de implementação imediata e sem qualquer necessidade de intervenção na infraestrutura dos ambientes [30].

Seu mais relevante ponto negativo é a incerteza do grau de segurança provido aos

usuários ao manter os ambientes fechados, pois ao implantar essa medida assume-se o risco da existência de ambientes saturados de partículas contaminadas e a única proteção dos usuários serão suas máscaras. Em um ambiente fechado com recirculação do ar (como nos ambientes com ar condicionado), as partículas respiratórias, incluindo as partículas contaminantes, podem ter sua concentração elevada a níveis de maior risco aos usuários com máscaras caseiras [23], [24].

A figura 7 apresenta uma simulação computacional da dispersão do aerossol em um ambiente fechado, decorridos aproximadamente 20 minutos [31].

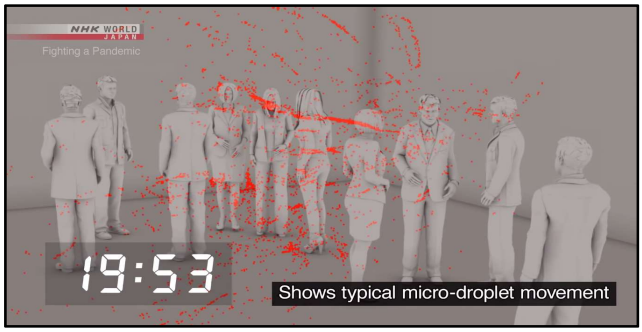

Figura 7: Dispersão de aerossóis em ambiente fechado após 20 minutos [31]

Como a transmissão do SARS-CoV-2 por via aérea ainda está sendo estudada, não se tem definido qual a concentração de partículas contaminadas suspensas no ar é suficiente para gerar uma infecção viável, tornando difícil estabelecer o grau de risco de ambientes confinados. Soma-se a isso a variabilidade da capacidade de retenção das máscaras caseiras às partículas na faixa dimensional do aerossol.

Para melhor conhecer o grau de segurança da utilização de máscaras não profissionais, Konda e colaboradores (2020) analisaram o desempenho de máscaras caseiras quando comparadas à máscara profissional de referência para estes casos, a N95 (denominada PFF2 no Brasil).

As análises foram feitas considerando somente a faixa dimensional do aerossol (adotado como < 6 *μm* neste estudo) dividido em duas categorias: 1: < 300 nm; 2: 300 nm até 6 *μm*. Os resultados apresentados no quadro 2, produzidos sob condições controladas, indicam excelentes resultados de certas combinações de tecido e um alerta preocupante sobre o quanto o bom ajuste da máscara interfere na eficiência de filtragem [32].

Quadro 2: Eficiência média de filtragem de máscaras com diversos tipos de material com partículas até 300 nm e entre 300 nm e 6 μm com sua respectiva perda de carga a uma vazão de 1.2 CFM (~34 litros/min) [32]

	Eficiência do filtro (%)		Pressão
Amostra ou tecido	<300 nm (média ± erro)	> 300 nm (média ± erro)	ΔP (Pa)
N95 (Sem Folga)	85 ± 15	99,9 ± 0,1	2.2
N95 (Com Folga)	34 ± 15	12 ± 3	2.2
Máscara Cirúrgica (Sem Folga)	76 ± 22	99,6 ± 0,1	2,5
Máscara Cirúrgica (Com Folga)	50 ± 7	44 ± 3	2,5
Colcha De Algodão	96 ± 2	96,1 ± 0,3	2,7
Algodão (80 Tpi), Uma Camada	9 ± 13	14 ± 1	2.2
Algodão (80 Tpi), 2 Camadas	38 ± 11	49 ± 3	2,5
Flanela	57 ± 8	44 ± 2	2.2
Algodão (600 Tpi), Uma Camada	79 ± 23	98,4 ± 0,2	2,5
Algodão (600 Tpi), 2 Camadas	82 ± 19	99,5 ± 0,1	2,5

Chiffon, Uma Camada	67 ± 16	73 ± 2	2,7
Chiffon, 2 Camadas	83 ± 9	90 ± 1	3,0
Seda Natural, Uma Camada	54 ± 8	56 ± 2	2,5
Seda Natural, 2 Camadas	65 ± 10	65 ± 2	2,7
Seda Natural, 4 Camadas	86 ± 5	88 ± 1	2,7
Híbrido 1: Algodão / Chiffon	97 ± 2	99,2 ± 0,2	3,0
Híbrido 2: Algodão / Seda (Sem Folga)	94 ± 2	98,5 ± 0,2	3,0
Híbrido 2: Algodão / Seda (Com Folga)	37 ± 7	32 ± 3	3,0
Híbrido 3: Algodão / Flanela	95 ± 2	96 ± 1	3,0

Konda e colaboradores concluíram que o desempenho de certos tecidos, individualmente e em combinações, podem ser comparáveis à N95. Dentre as combinações com tecidos mais facilmente encontrados no mercado nacional temos algodão + chiffon e algodão + flanela sobrepostos. A perda de carga/diferencial de pressão, que pode ser compreendido como resistência à passagem de ar nos tecidos, em ambos os casos foi superior à N95 ou a máscaras cirúrgicas, oscilando entre 0.5 a 0.8 Pascal de diferença observada [32].

Apesar de ser necessário um teste em condições reais para aferir elementos subjetivos, como o desconforto dos usuários ao se deparar com uma maior dificuldade de se respirar, a mera possibilidade de alcançar o mesmo desempenho da N95 com materiais de amplo acesso é formidável.

De acordo com Konda e colaboradores, o bom desempenho de tecidos porosos se deve à combinação de diferentes mecanismos de filtragem e no aproveitamento bem direcionado deles. A primeira camada realiza a filtragem mecânica, mais adequada às partículas de maior volume, enquanto a segunda consegue filtrar partículas menores sem ter um tecido de trama demasiadamente obstrutiva através de filtragem eletrostática. Partículas diminutas, como é o caso da faixa abaixo de 300nm, possuem tão pouca massa que sua movimentação sofre influência de sua carga elétrica e por isso aderem a tecidos ionizáveis (como é o caso dos tecidos mais bem sucedidos na segunda camada). A figura 8 ilustra a combinação dos mecanismos de filtragem [29].

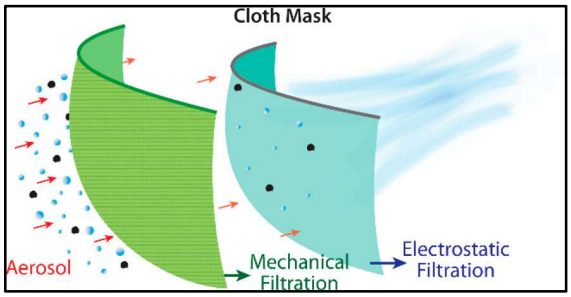

Figura 8: Montagem de máscaras com camadas para filtragem mecânica e eletrostática [32]

Para mensurar o impacto do ajuste da máscara sobre o usuário, Konda e colaboradores verificaram o quanto um orifício correspondendo a 0.5 a 2% da área superficial alteraria no desempenho de filtragem. Mesmo utilizando a N95, uma pequena falha na vedação é determinante para a perda de segurança do usuário, derrubando a eficiência de filtragem para níveis muito baixos. Apesar de não haver testes equivalentes para todas as combinações, o resultado da pequena falha de vedação na combinação algodão + seda segue a mesma tendência observada na N95. Sendo assim, os autores concluíram que independentemente do tipo de máscara utilizada, erros de utilização comprometem severamente a função de filtragem de aerossol. A figura 9, um exemplar de peça educativa dentre muitas que têm feito parte do cotidiano, elenca erros comuns na utilização das máscaras [32].

Figura 9: Erros mais comuns na hora de utilizar máscaras [33]

Dbouk e Drikakis observaram computacionalmente o fluxo das partículas proveniente da tosse e a utilização de uma máscara facial confeccionada com fibras porosas e permeável ao ar. A partir dos experimento observaram que as gotículas dispersam por cerca de 70 cm, sem a proteção da máscara. Utilizando a máscara, esta distância pode diminuir para a metade, porém, em alguns casos pode alcançar os mesmos 70 cm, mostrando que a eficiência de filtragem não é constante, isto é, dependente de diferentes fatores. Os autores também observaram que o perfeito ajuste da máscara ao rosto, influencia diretamente na eficiência da proteção, ou seja, pequenas aberturas podem acarretar em vazamentos de uma maior quantidade de gotículas na tosse. Neste trabalho chegou-se a conclusão de que a máscara não fornece prevenção completa contra a transmissão de gotículas de tosse, sendo necessária a completa utilização equipamentos de EPI, como máscaras com filtro embutido, face shield, traje descartável e um conjunto duplo de luvas [34].

Há que se considerar que enquanto a utilização de máscaras de proteção por todos os usuários dos espaços tem pontos favoráveis, como a facilidade de implantação, os usuários que, por imperícia ou negligência, não utilizarem corretamente suas máscaras (qualquer que seja o tipo de máscara) poderão comprometer significativamente o resultado.

Portanto, a manutenção da infraestrutura de ambientes climatizados, sem modificar a forma de uso dos equipamentos ou os equipamentos em si, contando com o uso de máscaras, precisa ser acompanhada de monitoramento dos usuários. Sem isso, permitirá que o cometimento de qualquer um dos erros elencados na figura 9 viabilize a disseminação de partículas contaminadas por indivíduos em ambientes fechados e a aspiração por indivíduos saudáveis.

2. Contratar serviço de simulação fluidodinâmica computacional para estruturar a abordagem adequada para cada ambiente

Como há diferentes ambientes, com pluralidade de condições demandando adequações, uma medida que pode ser adotada para viabilizar uma intervenção precisa em cada um deles, é a simulação computacional.

As análises de fluidodinâmica computacional (CFD) têm sido empregadas de forma cada vez mais difundida, em diversos campos, porque viabilizam o refinamento de concepções diferentes de solução, análises complexas, antecipação da fadiga sobre sistemas e tudo isso sem os custos da experimentação. O CFD torna possível estimar de forma bastante robusta o comportamento de diferentes sistemas de ventilação, como os contaminantes se distribuem em ambientes e condições diferentes, a distribuição de temperaturas, etc [23], [24], [26], [35].

O Hospital Leishenshan, um hospital de campanha construído em pouquíssimo tempo na China, para atender à demanda gerada pela COVID-19, é um exemplo de aplicação das tecnologias de simulação [35]. Para minimizar os riscos de contaminação foram feitos testes com diferentes layouts do sistema de ventilação (Figura 10).

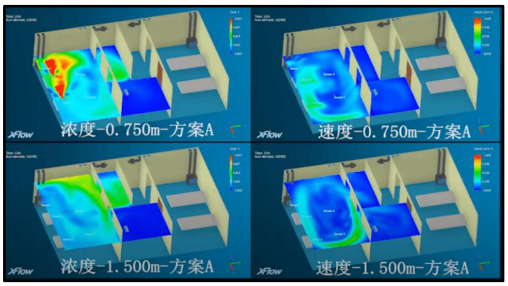

Figura 10: Testes de design do sistema de ventilação do Hospital Leishenshan visando a menor dispersão de contaminantes [35]

A opção de validação de soluções em ambiente computacional é certamente mais rápido e seguro, do que o equivalente feito de forma física. O custo deste serviço (custo de softwares e capacitação ou o de contratação de empresa especializada) torna-se pouco ou muito representativo de acordo a magnitude das intervenções que serão feitas. A vantagem dessa opção se torna maior conforme aumenta a escala do projeto. Porém, o inverso também é válido, e em projetos pequenos, o investimento financeiro em simulação pode ultrapassar o valor das intervenções físicas.

A título de informação dos valores de mercado de empresas especializadas em simulação, foi realizada uma cotação em maio/2020 para prestação de serviço de análise por CFD da instalação de renovação mecânica de ar em dois prédios ocupados pela Universidade Federal de Juiz de Fora, campus Governador Valadares - UFJF-GV (Sede administrativa e Clínica escola integrada totalizando 1.981,03 m²) obtendo-se o valor de R$ 35.600,00. A simulação forneceria:
- o padrão médio de velocidade e direção de escoamento do ar;
- regiões de renovação potencialmente ineficaz, com bolsões de recirculação de ar;
- regiões de velocidade do ar potencialmente excessiva, com prejuízo de conforto térmico.
Para avaliar uma alternativa à terceirização deste serviço, que seria o desenvolvimento internamente das simulações, foi feita a cotação do *Solidworks* da *Dassault Systemes*, uma plataforma CAD/CAE bastante popular no mercado. Sua escolha se baseou em ser capaz de cuidar desde a criação da geometria até a realização das simulações, minimizando o prazo demandado para capacitação dos responsáveis por não haver necessidade de domínio de diversas ferramentas. O valor da licença vitalícia em maio/2020 é US$ 7.995,00 (aproximadamente R$ 41.000,00).

Não há uma única alternativa open source completa aos pacotes de software, mas é possível fatiar o desenvolvimento da solução para eliminar o custo com licenças. Por exemplo: ter a geometria construída no Freecad e simulação no Openfoam. O principal diferencial é que as soluções open source possuem acentuada curva de aprendizagem.

Em síntese, a simulação computacional permite intervenções precisas e por esse motivo já é bastante utilizada em diversos campos, porém, não é uma solução em si [36]. Trata-se de um subsídio para tomada de decisão, podendo impactar na qualidade da solução e na redução de custos na implementação. Apesar de não ser um elemento tangível possui um custo elevado por ser um serviço altamente especializado que precisa ser analisado pois pode impactar na viabilidade de seu uso.

3. Desativar condicionadores de ar e manter os ambientes naturalmente ventilados

Pelo mecanismo de recirculação de ar presente nos sistemas de ar condicionado convencionais, onde o ar do ambiente é aspirado constantemente pela unidade interna (evaporadora), resfriado e posteriormente insuflado de volta ao ambiente, há o risco de que estes equipamentos atuem como espalhadores de contaminantes. A figura 11 ilustra esse mecanismo.

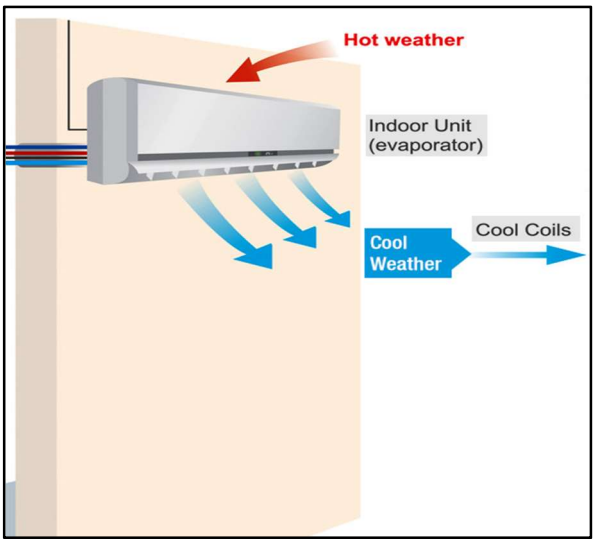

Figura 11: Ilustração indicando como o ar recircula numa unidade interna (evaporadora) [37]

Em função disso o tempo que partículas contaminadas exaladas por um único indivíduo demandaria para alcançar toda a área de um ambiente, é substancialmente reduzida graças às turbinas da evaporadora, que são concebidas para fazer com que o ar resfriado alcance as maiores distâncias possíveis. E

essa capacidade de fazer o ar alcançar o mais longe possível, é importante esclarecer, não é de forma alguma um defeito e se faz essencial ao bom funcionamento dos aparelhos.

Considerando que os ambientes climatizados se mantêm fechados e a ausência de sistemas de renovação mecânica na instituição (contando apenas com renovação por infiltração), considerando também a possibilidade da transmissão de SARS-CoV-2 por aerossol [28], o resultado é de que estes ambientes climatizados atuem como multiplicadores de infecções respiratórias, conforme figura 12.

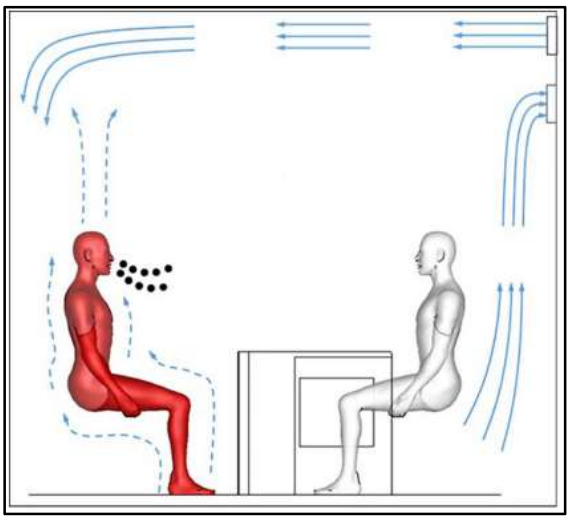

Figura 12: Exemplo de como a contaminação pode migrar de um indivíduo para outro com o auxílio do ar condicionado [22]

Por outro lado, os ambientes naturalmente ventilados com janelas e portas bastante abertas, tem a vantagem de ter seu ar renovado (mesmo que numa frequência variável de dependendo das condições internas e externas) pelas correntes naturais de convecção do ambiente, diluindo os contaminantes presentes no ar e minimizando os riscos de contaminação [4], [38].

Segundo Põder, para minimizar os riscos de contaminação por SARS-CoV-2 em ambientes coletivos, é recomendado que as janelas sejam mantidas abertas 24 horas por dia, 7 dias por semana, com a finalidade de remover as partículas virais do ambiente. Caso não seja possível, recomenda que as janelas sejam abertas algumas horas antes e que sejam fechadas após um tempo da utilização destes ambientes. Outra orientação é que a recirculação do ar não deva ser utilizada em sistemas com ar condicionado central, pois as partículas virais podem se disseminar ao ambiente pelos ductos [37].

Após essa breve contextualização, uma das possibilidades para enfrentamento dessa nova realidade, é basicamente, a desabilitação de todos os sistemas de climatização que não estejam estritamente adequados para tratamento de ar contaminado (o que representa a totalidade dos sistemas em muitas instituições) e manter todos os ambientes naturalmente ventilados.

Essa é uma medida de aplicação imediata, e é esperado que os custos com eventual instalação de ventiladores, remoção de divisórias, substituição de janelas blindadas por janelas móveis, dentre outras adequações, sejam amortizados a curto prazo com a redução de custos gerada pela economia de energia.

Segundo as observações dos autores, há diferença significativa na concentração de uma nuvem de aerossóis antes e após a inserção de ventilação natural [31], como pode ser visto nas figuras 13 e 14.

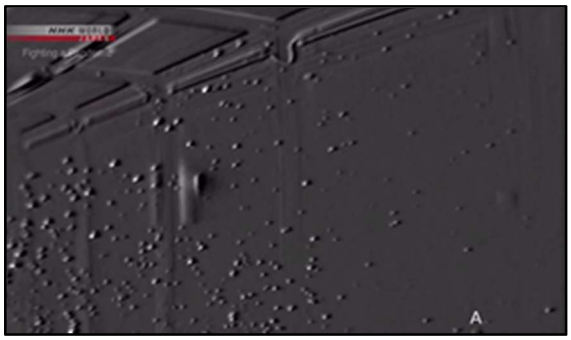

Figura 13: Efeito da ventilação natural sobre aerossóis. Na fig. A a concentração em ambiente fechado [31]

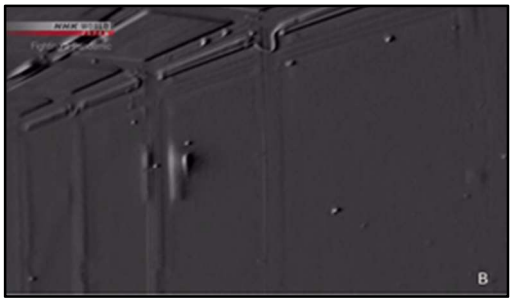

Figura 14: Efeito da ventilação natural sobre aerossóis. Na fig. B o resultado logo após a inserção de ventilação natural [31]

Entretanto, é de fundamental importância considerar que em cidades quentes e/ou úmidas, haverá a redução do conforto térmico dos usuários, sendo este o principal ponto negativo e que, eventualmente, poderá gerar resistência à adoção desta opção de solução.

Como já descrito, existem espaços tão fortemente influenciados pela expectativa de utilização de condicionadores de ar que o layout não é propício a ventilação natural. São os casos de ambientes sem janelas ou com janelas diminutas, ambientes muito distantes das entradas de ar do prédio, etc. Nestes casos seria necessário a instalação de conjuntos de exaustores ou gabinetes de ventilação para que se assegure o alcance do ar limpo até esses pontos. Por estes fatores essa solução pode não ser viável em todos os casos, mas seus benefícios são significativos.

3.1. Incorporação de refrigeradores evaporativos

Complementarmente à desativação dos equipamentos condicionadores de ar, pode-se incorporar aos ambientes (principalmente em cidades quentes) refrigeradores evaporativos, popularmente conhecidos como climatizadores. Estes equipamentos funcionam injetando partículas de água (o tamanho da partícula varia de acordo com a tecnologia) que reduzem a temperatura do ar ambiente com a mudança de fase da água de líquido para vapor.

A água converte o calor sensível do ar em calor latente para mudança de fase, reduzindo a temperatura do ar e aumentando a umidade [39]. Como este processo de redução de temperatura cessa quando o binário ar-água atinge a saturação de umidade, caso não haja renovação do ar ambiente, a temperatura voltará a aumentar (mas dessa vez num ambiente úmido resultando numa piora geral do conforto térmico dos usuários).

Por isso tem-se a necessidade de que os ambientes tenham seu ar renovado (por ventilação natural ou mecânica) de forma abundante para melhor aproveitamento desta forma de climatização. O que torna a refrigeração evaporativa uma complementação natural a manter os ambientes naturalmente ventilados [39].

Os custos de implantação variam de acordo com as condições de cada ambiente. É necessário que no mínimo esteja disponível canalização de água, pois o equipamento demanda de alimentação constante e também pontos de energia. Eventualmente pode-se fazer necessária a instalação de dutos de ar para alimentar ambientes inacessíveis por outras vias.

Os custos aproximados de alguns modelos de refrigeradores evaporativos portáteis, que possuem instalação mais fácil e estão dispostos nas figuras 15 a 17, são:

- Climatizador portátil de médio porte, 400W, 65dB: R$4.859
- Climatizador portátil grande porte, 550W, 65dB: R$7.618
- Climatizador por aspersão de parede de médio porte, 400W: R$ R$1.400 (Não foi encontrada informação sobre emissão sonora, mas sensorialmente ela é substancialmente menor)

Figura 15: Climatizador portátil de médio porte [40]

Figura 16: Climatizador portátil de grande porte [40]

Figura 17: Climatizador por aspersão [41]

Além dos modelos apresentados, há uma vasta gama de modelos, que variam em potência e funcionalidades. Os valores naturalmente variam de acordo com as características dos equipamentos e, como pode ser visto a partir das cotações, são valores que margeiam R$10.000,00, podendo ser um impeditivo para aquisição de muitas unidades.

A redução de temperatura obtida por eles é dependente da condição climática, quanto mais seco e quente o ar, maior a redução. O oposto também é válido, quanto mais frio e úmido o ar, menor o efeito. A título de informação, a redução de temperatura pela mudança de fase da água em dias chuvosos é aproximadamente zero porque o ar ambiente normalmente já se encontra saturado de umidade (em dias chuvosos a umidade relativa normalmente é 100%).

Portanto, a escolha necessita de uma avaliação das condições climáticas para assegurar que os efeitos da refrigeração evaporativa serão significativos. De forma alguma a propaganda feita pelos fabricantes deve ser encarada de forma absoluta, há diversos fatores variáveis a serem considerados para avaliar se a refrigeração evaporativa é uma boa opção.

4. Sistema de ar condicionado central com renovação e filtragem do ar recirculante

Os sistemas de climatização hospitalares e também de outros ramos que demandam controle refinado da qualidade do ar, como laboratórios de certificação e indústria de precisão, já lidam com a necessidade de tratar o ar recirculante. Nestes casos é comum que sejam adotados sistemas centrais de ar condicionado.

Em sistemas centrais o ar resfriado é distribuído através de dutos para os ambientes (existem exceções, mas não serão discutidas aqui) e o ar com contaminante é tratado antes de recircular [13]. Nestes sistemas também é possível descartar o ar recirculante é integralmente, trabalhando sempre com ar renovado.

Atualmente somente sistemas centrais tem condição de acoplamento aos filtros denominados *HEPA* (*High Efficiency Particulate Arrestance*) que são adequados para retenção de partículas virais [42].

Estes sistemas de ar condicionado são adotados geralmente em faixas de potência superiores, onde o ganho em escala se mostra maior e o elevado investimento inicial se dilui pela quantidade de ambientes atendidos ou pelas funcionalidades oferecidas (como o tratamento do ar recirculante).

É importante discutir os valores dessa opção, ainda mais por serem valores elevados. No entanto, não há uma métrica estabelecida em relação ao custo padrão deste tipo de sistema porque cada projeto é único devido à necessidade de se adequar à finalidade do sistema, à infraestrutura pré-existente no caso de imóveis já construídos e também à tríade orçamento-qualidade-prazo.

Para avaliar fidedignamente os custos seria necessário um projeto específico para cada prédio em que pretende-se a adaptação, e diante da urgência da situação não é viável despender todo este tempo em projetos complexos e demorados.

Para não esvaziar a discussão de valores desta opção, ilustrativamente será citado um projeto de climatização de maior complexidade que foi conduzido desde o início na UFJF-GV. Reforça-se que os valores devem ser interpretados com as devidas ressalvas, pois os projetos são específicos para o contexto.

O projeto é referente a um prédio de laboratórios e clínicas de 2.895,96 m² e 3 pavimentos, cujo ar de alguns laboratórios deveria ser integralmente descartado devido aos contaminantes químicos presentes [43]. Optou-se por uma solução mista, incorporando condicionadores de ar do tipo *split* em alguns ambientes e o sistema central em outros, de acordo com a vantajosidade ou necessidade. Neste projeto, com poucas exceções, foi adotada a renovação mecânica de ar para os ambientes climatizados.

A carga térmica do projeto foi 2.351.000 BTU/h e a totalidade da instalação custará R$ 941.609,61 incluindo 100% dos equipamentos (climatização, tratamento e renovação de ar), insumos (inclusive os dutos) e mão de obra. Neste caso o custo por unidade de refrigeração foi R$ 0,40 por BTU/h. Na instalação de equipamentos *split* de 60.000 BTU/h, que é o típico para a instituição, tem o custo médio por unidade de refrigeração de R$ 0,17 por BTU/h.

Apesar de uma unidade do tipo *split* e o sistema discutido possuírem complexidade muito distinta, com sistemas centrais contando com diversos recursos diferenciais, ainda assim os valores em voga não são investimentos insignificantes. Considerando a conjuntura atual de baixo orçamento das instituições, estes investimentos podem ser inviáveis. Por isso foram estudadas alternativas buscando alguma forma de implementar as funcionalidades dos sistemas centrais de ar condicionado nos sistemas já instalados.

Durante os meses de abril e maio de 2020 foram realizadas repetitivas consultas a fabricantes de sistemas de filtragem, fornecedores de soluções de climatização, dentre outros em busca de soluções para equipamentos do tipo *split* que possuíssem equivalente grau de segurança. Infelizmente sem sucesso.

Tinha-se a expectativa de que a indústria tivesse se adaptado em função da pressão da pandemia e possuísse alguma solução, mas até o momento não se tem conhecimento de nenhuma alternativa para municiar equipamentos do tipo *split* ou janela com os recursos necessários.

O mais próximo de uma “solução razoável” foi alcançada com fornecedores de equipamentos autodenominados *purificadores de ar*, nos quais o ar é filtrado por métodos diversos e reinserido no ambiente. Estes equipamentos variam de R$ 900,00 a R$ 5000,00, de acordo com a potência, fabricante, recursos e descontos para compras em volume. Como os equipamentos de ar condicionado convencionais demandariam adaptações pouco usuais para funcionar em conjunto com os purificadores e considerando que nenhum fabricante ou revendedor forneceu documentação técnica para avaliar os sistemas de filtragem, a ideia de adaptação foi abortada por seu elevado grau experimental e baixa segurança.

CONCLUSÃO

A pandemia causada pelo vírus SARS-CoV-2 e seus recentes indícios de transmissão do vírus por via aérea trouxeram a necessidade de revisão de práticas e infraestrutura de climatização. Este relatório buscou elencar os principais pontos para embasar a discussão dos problemas e possíveis soluções. No entanto, ele não é exaustivo, novas informações podem mudar drasticamente todo o panorama.

Dentre as opções apresentadas não há nenhuma que seja absolutamente melhor que a outra, a escolha deve ser precedida de uma análise conjuntural para determinar seu grau de viabilidade. Lamentavelmente, enquanto não houver vacina e tratamentos eficazes para a COVID-19, não há possibilidade de regressar a antigos padrões, sem incorrer em riscos sérios à saúde pública.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com a participação dos integrantes do Grupo de Trabalho Extraordinário (GTE) da Universidade Federal de Juiz de Fora - Campus Governador Valadares. Os integrantes, Alexandra Paiva Araújo Vieira, Andréia Cristiane Carrenho Queiroz, Érica Barbosa Magueta Silva, Fábio Alessandro Pieri, Guilherme de Andrade Ruela prestaram valiosas contribuições na revisão textual para que os dados, métodos e resultados estivessem alinhados ao rigor científico e à seriedade que este momento demanda.

REFERÊNCIAS

[1] J. F.-W. Chan *et al.*, "A familial cluster of pneumonia associated with the 2019 novel coronavirus indicating person-to-person transmission: a study of a family cluster", *The Lancet*, vol. 395, nº 10223, p. 514–523, fev. 2020, doi: 10.1016/S0140-6736(20)30154-9.

[2] G. Kampf, D. Todt, S. Pfaender, e E. Steinmann, "Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents", *Journal of Hospital Infection*, p. 6, 2020.

[3] "Early Release - COVID-19 Outbreak Associated with Air Conditioning in Restaurant, Guangzhou, China, 2020 - Volume 26, Number 7—July 2020 - Emerging Infectious Diseases journal - CDC". https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/26/7/20-0764_article#tnF1 (acessado maio 07, 2020).

[4] Y. Liu *et al.*, "Aerodynamic analysis of SARS-CoV-2 in two Wuhan hospitals", *Nature*, p. 1–4, abr. 2020, doi: 10.1038/s41586-020-2271-3.

[5] M. de M. e E. Brasil, "Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética", *NOTA TÉCNICA EPE 030/2018*, p. 43, dez. 2018.

[6] "Código de Obras de Belo Horizonte - MG". https://leismunicipais.com.br/codigo-de-obras-belo-horizonte-mg (acessado jun. 22, 2020).

[7] "Prefeitura Municipal de Governador Valadares - Lei Complementar-196/2015", *Prefeitura Municipal de Governador Valadares*. https://www.valadares.mg.gov.br/detalhe-da-legislacao/info/lei-complementar-196-2015/422 (acessado jun. 22, 2020).

[8] "Código de Obras de Juiz de Fora - MG". https://leismunicipais.com.br/codigo-de-obras-juiz-de-fora-mg (acessado jun. 22, 2020).

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, "NBR 16401-3: Instalações de ar condicionado - Sistemas centrais e unitários. Parte 3: Qualidade do ar interior." 2008, Acessado: maio 27, 2020. [Online]. Disponível em: http://www.caramuru.com.br/pdf/NBR_16401-3_2008.pdf.

[10] "SISTEMAS DE EXAUSTÃO E VENTILAÇÃO", *Centrovent*. http://centrovent.com.br/sistemas-de-exaustao-e-ventilacao/ (acessado maio 27, 2020).

[11] "Leonardo Cozac: a qualidade do ar nas salas de aula está sendo negligenciada? - WebArCondicionado". https://www.webarcondicionado.com.br/leonardo-cozac-a-qualidade-do-ar-nas-salas-de-aula-esta-sendo-negligenciada (acessado maio 27, 2020).

[12] Associação Brasileira de Normas Técnicas, *ABNT NBR 16401-1: Instalações de ar-condicionado - sistemas centrais e unitários : Pt. 1: projetos das instalções*. Rio de Janeiro (RJ): ABNT, 2008.

[13] F. Kreith, S. K. Wang, e P. Norton, *Air Conditioning and Refrigeration Engineering*. CRC Press, 1999.

[14] Carrier, "Manual Carrier 60.000 BTU/h split", 2020. http://cdn.carrierdobrasil.com.br/downloads_docs/b95fa-IOM-Space_42XQM_256.08.731-D-01-15--view-.pdf (acessado jun. 22, 2020).

[15] T. Dbouk e D. Drikakis, "On coughing and airborne droplet transmission to humans", *Physics of Fluids*, vol. 32, nº 5, p. 053310, maio 2020, doi: 10.1063/5.0011960.

[16] "Ar-condicionado pode espalhar coronavírus, mostra pesquisa - Época Negócios | Mundo". https://epocanegocios.globo.com/Mundo/noticia/2020/04/ar-condicionado-pode-espalhar-coronavirus-mostra-pesquisa.html (acessado maio 26, 2020).

[17] "Coronavírus pode ser transmitido pelo ar sem contato físico, mostra estudo chinês | Fantástico | G1". https://g1.globo.com/fantastico/noticia/2020/05/03/coronavirus-pode-ser-transmitido-pelo-ar-sem-contato-fisico-mostra-estudo-chines.ghtml (acessado maio 26, 2020).

[18] “Coronavírus: estudo chinês diz que ar-condicionado pode espalhar covid-19”. https://noticias.uol.com.br/internacional/ultimas-noticias/2020/04/19/estudo-chines-diz-que-ar-condicionado-pode-espalhar-coronavirus.htm (acessado maio 26, 2020).
[19] “Novo estudo indica que ar-condicionado pode espalhar coronavírus | Exame”. https://exame.com/ciencia/novo-estudo-indica-que-ar-condicionado-pode-espalhar-coronavirus/ (acessado maio 26, 2020).
[20] M. E. Killerby, H. M. Biggs, C. M. Midgley, S. I. Gerber, e J. T. Watson, “Middle East Respiratory Syndrome Coronavirus Transmission - Volume 26, Number 2—February 2020 - Emerging Infectious Diseases journal - CDC”, doi: 10.3201/eid2602.190697.
[21] R. Tellier, Y. Li, B. J. Cowling, e J. W. Tang, “Recognition of aerosol transmission of infectious agents: a commentary”, *BMC Infect Dis*, vol. 19, nº 1, p. 101, dez. 2019, doi: 10.1186/s12879-019-3707-y.
[22] H. Qian e X. Zheng, “Ventilation control for airborne transmission of human exhaled bio-aerosols in buildings”, *J. Thorac. Dis.*, vol. 10, nº S9, p. S2295–S2304, jul. 2018, doi: 10.21037/jtd.2018.01.24.
[23] N. Gao, J. Niu, e L. Morawska, “Distribution of respiratory droplets in enclosed environments under different air distribution methods”, *Build. Simul.*, vol. 1, nº 4, p. 326–335, dez. 2008, doi: 10.1007/s12273-008-8328-0.
[24] Q. He, J. Niu, N. Gao, T. Zhu, e J. Wu, “CFD study of exhaled droplet transmission between occupants under different ventilation strategies in a typical office room”, *Building and Environment*, vol. 46, nº 2, p. 397–408, fev. 2011, doi: 10.1016/j.buildenv.2010.08.003.
[25] “Pollutant dispersion in downtown Montreal”. http://www.urbanphysics.net/Gas%20dispersion%20in%20downtown%20Montreal.htm (acessado jun. 22, 2020).
[26] S. Lin, B. T. Tee, e C. F. Tan, “Indoor Airflow Simulation inside Lecture Room: A CFD Approach”, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 88, p. 012008, set. 2015, doi: 10.1088/1757-899X/88/1/012008.
[27] E. L. Anderson, P. Turnham, J. R. Griffin, e C. C. Clarke, “Consideration of the Aerosol Transmission for COVID-19 and Public Health”, *Risk Analysis*, vol. 40, nº 5, p. 902–907, 2020, doi: 10.1111/risa.13500.
[28] J. Wang e G. Du, “COVID-19 may transmit through aerosol”, *Ir J Med Sci*, mar. 2020, doi: 10.1007/s11845-020-02218-2.
[29] N. van Doremalen *et al.*, “Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1”, *New England Journal of Medicine*, vol. 382, nº 16, p. 1564–1567, abr. 2020, doi: 10.1056/NEJMc2004973.
[30] “When and how to use masks”. https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/when-and-how-to-use-masks (acessado jun. 22, 2020).
[31] *COVID-19: Fighting a Pandemic - NHK Documentary | NHK WORLD-JAPAN On Demand*. .
[32] A. Konda, A. Prakash, G. A. Moss, M. Schmoldt, G. D. Grant, e S. Guha, “Aerosol Filtration Efficiency of Common Fabrics Used in Respiratory Cloth Masks”, *ACS Nano*, abr. 2020, doi: 10.1021/acsnano.0c03252.
[33] “Os erros mais comuns no uso de máscaras para se proteger do coronavírus – e como usar corretamente”, *G1*. https://g1.globo.com/bemestar/coronavirus/noticia/2020/04/23/os-erros-mais-comuns-no-uso-de-mascaras-para-se-proteger-do-coronavirus-e-como-usar-corretamente.ghtml (acessado maio 28, 2020).
[34] T. Dbouk e D. Drikakis, “On respiratory droplets and face masks”, *Physics of Fluids*, vol. 32, nº 6, p. 063303, jun. 2020, doi: 10.1063/5.0015044.
[35] *Creating Safe Hospital Room Environments with Simulation | SIMULIA of Dassault Systemes*. .
[36] J. Tu, G. H. Yeoh, e C. Liu, *Computational Fluid Dynamics: A Practical Approach*. Butterworth-Heinemann, 2018.
[37] “Q&A : How Do Portable Air Conditioners Work? What Size Do You Need?” https://www.chainsawjournal.com/how-do-portable-air-conditioners-work/ (acessado maio 29, 2020).
[38] J. F. Montgomery, S. Storey, e K. Bartlett, “Comparison of the indoor air quality in an office operating with natural or mechanical ventilation using short-term intensive pollutant monitoring”, *Indoor and Built Environment*, vol. 24, nº 6, p. 777–787, out. 2015, doi:

10.1177/1420326X14530999.
[39] N. Lechner, *Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods for Architects*. John Wiley & Sons, 2014.
[40] “Produtos – Climatizze”. https://www.climatizze.com.br/produtos/ (acessado maio 29, 2020).
[41] Ventisol, “Produtos | Ventisol”. http://www.ventisol.com.br/produtos.html (acessado maio 29, 2020).
[42] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, “EN1822-1: High efficiency air filters (EPA, HEPA and ULPA) Part 1: Classification, performance testing, marking”. 2009, Acessado: jun. 18, 2020. [Online]. Disponível em: http://www.gttlab.com/uploads/soft/161025/EN1822-1-2009Highefficiencyairfilters(EPA,HEPAandULPA)Part1Classification,performance.pdf.
[43] UFJF-GV, “Trabalhos de construção do prédio da UFJF-GV no bairro Santa Rita começam no próximo dia 4”, *Notícias UFJF*, jan. 31, 2019. https://www2.ufjf.br/noticias/2019/01/31/segunda-feira-comecam-trabalhos-de-construcao-do-predio-da-ufjf-gv-no-bairro-santa-rita/ (acessado jun. 18, 2020).