



UNIVERSIDADE ANHEMBI MORUMBI

BRUNO STUDER

GABRIEL SCARLATO

GUSTAVO SOARES DE BRITO

MATHEUS VAZQUÉZ GRANDO

**SISTEMA DE AR-CONDICIONADO:
INFLUÊNCIA NA PROPAGAÇÃO DE DOENÇAS EM AERONAVES**

São Paulo

2022

BRUNO STUDER

GABRIEL SCARLATO

GUSTAVO SOARES DE BRITO

MATHEUS VAZQUÉZ GRANDO

**SISTEMA DE AR-CONDICIONADO:
INFLUÊNCIA NA PROPAGAÇÃO DE DOENÇAS EM AERONAVES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Aviação Civil da Universidade Anhembi Morumbi como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Francisco Conejero Perez, Dr.

São Paulo

2022

BRUNO STUDER

GABRIEL SCARLATO

GUSTAVO SOARES DE BRITO

MATHEUS VAZQUÉZ GRANDO

**SISTEMA DE AR-CONDICIONADO:
INFLUÊNCIA NA PROPAGAÇÃO DE DOENÇAS EM AERONAVES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Aviação Civil da Universidade Anhembi Morumbi como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

_____. _____ de _____ de 20____.
Local Dia Mês ano

Prof. Francisco Conejero Perez, Dr.

Universidade Anhembi Morumbi

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar a nossa profunda gratidão aos professores do curso de Aviação Civil da Universidade Anhembí Morumbi e ao coordenador Alexandre Faro Kaperaviczus por todo o ensinamento que nos foi passado ao longo do curso, além do grande esforço no momento de adaptação repentina das aulas ao modelo online, para que não houvesse prejuízo à nossa formação. Agradecemos, em especial, ao Professor Dr. Francisco Conejero Perez por ter nos orientado durante este trabalho, sanando as dúvidas existentes e nos guiando para um resultado cada vez melhor.

RESUMO

A proposta final deste trabalho é demonstrar e discutir como o sistema de ar-condicionado das aeronaves comerciais modernas impacta na propagação de doenças dentro da cabine de passageiros. Para tanto, foi utilizada a metodologia de pesquisa bibliográfica, a partir da qual foram analisadas diversas pesquisas e monografias internacionais sobre o assunto. Inicialmente, esta monografia oferece uma análise breve das diferentes patologias sobre as quais existem registros de possível transmissão a bordo de aeronaves ao longo da história. Então, discorre-se acerca do próprio sistema de ar-condicionado e filtragem de ar que equipa a maioria das aeronaves comerciais atualmente, detalhando seu funcionamento e analisando de maneira mais específica um de seus componentes, que possui grande relevância no que se refere ao tema deste documento: o filtro HEPA. O último capítulo, por sua vez, trata da atuação deste sistema na pandemia de COVID-19, que impulsionou as pesquisas sobre o comportamento de agentes etiológicos dentro de aeronaves, visto que afetou o mundo de maneira extremamente significativa deixando milhares de mortos, impactos socioeconômicos e grande insegurança a respeito do transporte aéreo e seu aspecto sanitário. A análise contida nesta dissertação evidencia que o ambiente interno de uma aeronave comercial, considerando que todos os componentes do sistema de ar-condicionado estejam funcionando corretamente, pode ser comparado a ambientes hospitalares no que diz respeito ao controle de vírus, bactérias e fungos.

Palavras-chave: Ar-condicionado. HEPA. Doenças. Aeronaves. Propagação.

ABSTRACT

The purpose of this monograph is to demonstrate and discuss the impact that the air-conditioning system of modern commercial aircraft has on disease transmission inside the passenger cabin. In order to do so, the methodology used to elaborate this document was the bibliographic research, from which we were able to access and analyze a variety of researches and other international monographs on the subject. At first, this work offers a succinct analysis on the different diseases about which there are records that indicate transmission has possibly occurred within an aircraft cabin. The next chapter expatiates on the air conditioning and filtration system used on modern airliners itself, detailing its operation and analyzing more specifically one of its components, which has great relevance with regard to the subject of this document: the HEPA filter. The last chapter, in turn, discusses the role of this system in the COVID-19 pandemic, which boosted research on how etiological agents behave within spaces such as aircraft cabins, as it affected the world in an extremely significant manner, causing thousands of deaths, expressive socioeconomic impacts and insecurity regarding air transport and its sanitary aspect. The analysis contained in this dissertation shows that an aircraft cabin, provided the air conditioning system is working appropriately, can be compared to hospital environments regarding the control of viruses, bacteria and fungi.

Keywords: Air-conditioning. HEPA. Disease. Aircraft. Transmission.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Resultados dos testes tuberculínicos dos 760 passageiros e membros da tripulação de acordo com o voo.....	14
Figura 2 – Localização dos assentos e resultado dos testes tuberculínicos de passageiros e membros da tripulação no voo 4 que não possuíam fatores de risco.....	14
Figura 3 - Diagrama esquemático do surto de SARS a bordo do voo de Hong Kong para Pequim.....	15
Figura 4 - Fluxo de circulação de ar dentro da cabine de aeronaves.....	18
Figura 5 – Manutenção do Filtro HEPA em uma aeronave.....	20
Figura 6 – Método de funcionamento do Filtro HEPA.....	21

LISTA DE SÍMBOLOS

μm Micrômetro

LISTA DE SIGLAS

APU – *Auxiliary Power Unit*. Unidade de Potência Auxiliar.

CDC – *Centers for Disease Control and Prevention*. Centro de Controle e Prevenção de Doenças.

HEPA – *High Efficiency Particulate Air*. Ar Particulado de Alta Eficiência.

IATA – *International Air Transport Association*. Associação Internacional de Transportes Aéreos.

WHO – *World Health Organization*. Organização Mundial da Saúde

SARS – Síndrome Respiratória Aguda Grave

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. HISTÓRICO DA PROPAGAÇÃO DE DOENÇAS NO TRANSPORTE AÉREO	12
2.1. Tuberculose	13
2.2. SARS	14
2.3. Resfriado	16
2.4. Influenza	16
2.5. Sarampo	16
3. O SISTEMA DE AR-CONDICIONADO EM AVIÕES	17
3.1. Funcionamento dos sistemas atuais	17
3.2. Filtro HEPA e sua aplicação nas aeronaves	19
4. ATUAÇÃO DO SISTEMA DE AR-CONDICIONADO NO COMBATE À PANDEMIA DE COVID-19	21
5. CONCLUSÃO	23
REFERÊNCIAS	24

1. INTRODUÇÃO

O transporte aéreo é objeto de fascínio e estudo desde seu surgimento. Ao colocar máquinas mais pesadas que o ar para voar, levando pessoas e cargas por distâncias imensas em períodos relativamente curtos, a aviação torna possível que a sociedade global atual funcione no acelerado ritmo que é possível ser observado no dia a dia. O segmento viabiliza encontros entre pessoas de diferentes países, entrega e envio de produtos de um continente para outro em poucas horas, além de diversos outros benefícios indispensáveis no contexto atual da Quarta Revolução Industrial. As aeronaves são alguns dos equipamentos mais tecnológicos em existência. Projetadas para operarem do modo mais eficiente e com maior segurança possível, lideram a indústria de tecnologia mundial, servindo de modelo para tecnologias utilizadas em outros setores. Entretanto, sempre existiu a preocupação com a questão sanitária dentro das aeronaves comerciais, que aumentou expressivamente após o início da pandemia de COVID-19. Visto que são ambientes fechados onde existe grande proximidade de indivíduos por às vezes longos períodos, a cabine de uma aeronave seria o ambiente perfeito para a propagação de doenças.

O objetivo deste trabalho diz respeito justamente a este tema, dado que visa explicar como o sistema de ar-condicionado das aeronaves influencia nesta disseminação de doenças dentro da cabine de passageiros. Como será visto no decorrer desta monografia, este sistema consegue fazer com que a pureza do ar que circula dentro da aeronave possa ser comparada àquela de ambientes hospitalares e cirúrgicos. Como objetivos específicos do trabalho, é possível citar: a) analisar padrões de transmissibilidade de doenças das quais se tem registro de possível propagação dentro de aeronaves, relacionando-os ao funcionamento do sistema de ar-condicionado dos voos em questão; b) explicar como funciona este sistema com enfoque no filtro HEPA; c) demonstrar que o sistema de filtragem e ar-condicionado das aeronaves é extremamente eficiente em impedir que agentes etiológicos se propaguem pelo ar da cabine; d) analisar como se dá a transmissão de COVID-19 dentro de aeronaves e como o sistema em questão consegue conter a propagação da doença.

A motivação desta monografia possui caráter informativo, visando combater a insegurança ainda existente por parte dos usuários do transporte aéreo no que diz respeito aos riscos de contrair alguma doença dentro de uma aeronave. A pandemia de COVID-19, por ter gerado um impacto imenso sobre o setor, impulsionou os estudos acerca desta matéria para estudar qual seria o tamanho real deste risco. Estes estudos foram utilizados como base da pesquisa bibliográfica na qual a presente monografia está fundamentada.

No capítulo 2 da dissertação, o enfoque está em expor casos de voos nos quais possivelmente houve a transmissão de alguma doença. São analisados os casos da tuberculose, da Síndrome Respiratória Aguda Grave (SARS), do resfriado comum, da gripe (vírus Influenza) e do Sarampo. Para cada doença das mencionadas, é feita uma análise da relevância do sistema de ar-condicionado da aeronave na propagação das mesmas, além de um estudo acerca dos padrões de transmissão considerando tempo de exposição e distância entre passageiros. No terceiro capítulo, o foco do estudo é o próprio sistema de ar-condicionado das aeronaves. É feita uma explicação detalhada do padrão de circulação do ar na cabine de passageiros, além do processo pelo qual o ar passa desde sua admissão até purificação e posterior introdução na cabine. Ademais, é analisado o filtro HEPA, de particular interesse no que concerne ao tema deste trabalho, dado que é nele que ocorre a purificação do ar que será circulado na aeronave. É explicada a sua origem, os seus métodos de funcionamento, além da taxa de eficiência que apresenta. O quarto capítulo, por sua vez, diz respeito à influência do sistema de filtragem e ar-condicionado na propagação de COVID-19. A especificidade deste capítulo no que tange à referida doença surge a partir do fato de ser uma pandemia extremamente recente e devido ao impacto que a enfermidade causou no mundo inteiro, inclusive no setor aeronáutico, com as restrições impostas a viagens e a insegurança dos operadores e usuários com relação às viagens aéreas. Assim, no julgamento dos autores, é de grande relevância que exista um enfoque na atuação do sistema com relação a esta doença em específico.

2. HISTÓRICO DA PROPAGAÇÃO DE DOENÇAS NO TRANSPORTE AÉREO

Em decorrência do constante transporte de milhares pessoas diariamente, a aviação é considerada um grande vetor na propagação de doenças. Ao concentrar diversas pessoas muitas vezes de origens diferentes em um ambiente fechado por longos períodos, como no caso da maioria dos voos internacionais, surge o questionamento acerca da segurança sanitária desta realidade, principalmente com relação à propagação de doenças dentro das aeronaves e à disseminação inadvertida de enfermidades antes locais para regiões do mundo onde não havia incidência de tais doenças. Visto que a aeronave constitui um ambiente fechado, a principal preocupação com relação aos meios que os agentes etiológicos utilizariam para se propagar é com o sistema de ventilação e o ar-condicionado dos aviões. Neste capítulo, serão analisados e apresentados casos de diferentes doenças transmitidas por aerossóis que possivelmente ocorreram dentro de aeronaves.

2.1. Tuberculose

A tuberculose é uma doença bacteriana causada pela *Mycrobacterium tuberculosis*, também conhecida como bacilo de Koch, que afeta principalmente os pulmões. A transmissão ocorre pelas vias respiratórias através da expulsão de aerossóis quando um indivíduo com a forma ativa da doença fala, espirra ou tosse. (BRASIL, 2020).

Existem duas situações registradas nas quais se sugere que a tuberculose pode ter sido transmitida dentro da cabine de passageiros de uma aeronave. Na primeira delas, um membro da tripulação de um voo comercial nos Estados Unidos estava com a forma ativa da doença e, posteriormente, outros tripulantes também foram diagnosticados com tuberculose. (DRIVER, et al., 1994). A segunda situação, sobre a qual existem mais detalhes, diz respeito a uma passageira com tuberculose pulmonar que embarcou em uma viagem de Baltimore para Chicago em 1994, seguindo para Honolulu. Após os voos e o monitoramento dos demais passageiros, constatou-se que quatro dos quinze indivíduos que estavam sentados em até duas fileiras de distância da passageira doente foram infectados. (KENYON, et al., 1996).

De posse destes dados, foi possível observar que a transmissão na cabine parece ser mais provável de ocorrer quando há proximidade entre um indivíduo saudável e outro doente de até duas fileiras, principalmente em longas viagens, cuja duração seja igual ou maior do que 8 horas, do que de ser proveniente da parcela de ar reutilizada na cabine, a ser demonstrada mais adiante. (MANGILI, GENDREAU, 2005). Ademais, estima-se uma probabilidade geral da ordem de 1 em 1.000 de contrair tuberculose a bordo de uma aeronave. (KO, et al., 2004). Esta probabilidade é semelhante à chance de infecção em outros ambientes fechados. (MUSHER, 2003).

Figura 1 - Resultados dos testes tuberculínicos dos 760 passageiros e membros da tripulação de acordo com o voo.

Table 1. Results of Tuberculin Skin Tests for the 760 Passengers and Crew Members, According to Flight.*

TEST RESULT	FLIGHT 1 (N= 298)	FLIGHT 2 (N= 104)	FLIGHT 3 (N= 109)	FLIGHT 4 (N= 249)	TOTAL (N= 760)
	<i>number (percent)</i>				
Positive	7 (2.3)	4 (3.8)	3 (2.8)	15 (6.0)	29 (3.8)
No previous test†	7 (2.3)	4 (3.8)	3 (2.8)	9 (3.6)	23 (3.0)
Conversion	0	0	0	6 (2.4)	6 (0.8)
Negative‡	291 (97.7)	100 (96.2)	106 (97.2)	234 (94.0)	731 (96.2)

*Flight 1 was from Honolulu to Chicago in April, flight 2 from Chicago to Baltimore in April, flight 3 from Baltimore to Chicago in May, and flight 4 from Chicago to Honolulu in May.

†These contacts had no results of previous skin tests in their medical records.

‡All 10 contacts who were exposed on two connecting flights had negative tuberculin skin tests.

Fonte: KENYON, Thomas A. et al., 1996

Figura 2 - Localização dos assentos e resultado dos testes tuberculínicos de passageiros e membros da tripulação no voo 4 que não possuíam fatores de risco

Table 3. Seat Locations in Aircraft and Results of Tuberculin Skin Tests of Passengers and Crew Members on Flight 4 Who Had No Risk Factors.*

SEAT LOCATION	NO. WITH POSITIVE SKIN TESTS/NO. TESTED (%)	RATE RATIO (95% CI)†	P VALUE
Not same cabin section as index patient	0/136	Reference value	—
Same cabin section as index patient	6/68 (8.8)	Undefined	0.001
Within 2 rows	4/13 (30.8)	8.5 (1.7–41.3)	0.01
Elsewhere in same section	2/55 (3.6)	Reference value	

*Data for the flight crew exclude seven flight attendants who could not recall their work assignments on flight 4; all had negative tuberculin skin tests. Risk factors for a positive tuberculin skin test included having been born or having lived in a country where the rate of tuberculosis is at least 10 times higher than in the United States,⁷ having had possible occupational exposure, having received the bacille Calmette–Guérin vaccine, or having had exposure to a family member or friend with tuberculosis.

†CI denotes confidence interval.

Fonte: KENYON, Thomas A. et al., 1996

2.2. SARS

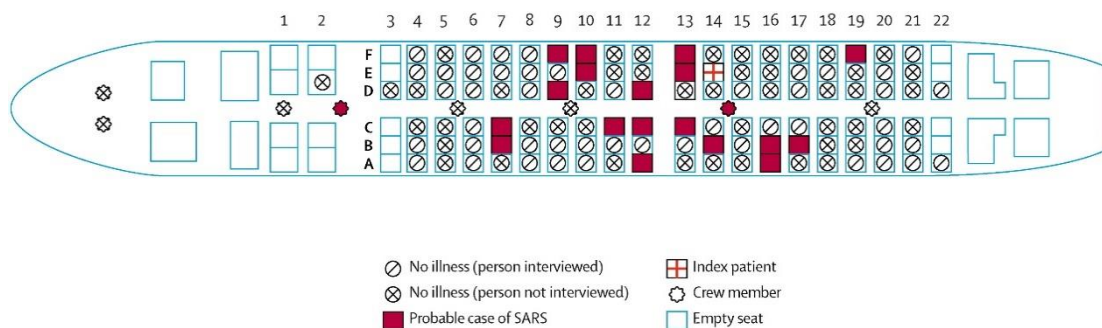
Normalmente confundido com o novo Coronavírus (COVID-19), a Síndrome Respiratória Aguda Grave (SARS) é um tipo de pneumonia causada pelos coronavírus, sem ser exclusivamente o mencionado acima.

O vírus pode se espalhar por contato direto, indireto, mas principalmente pelas vias aéreas através de partículas contaminadas que ficam em suspensão no ar. Por conta disso, a

transmissão em ambientes fechados, como a cabine das aeronaves, é muito maior, havendo inclusive diversos casos em que esse cenário se concretizou com diferentes passageiros sendo acometidos pela doença. (MANGILI, GENDREAU, 2005).

Uma pesquisa realizada por Olsen, Chang, et al. (2003) apresentou dados de um voo que transportava 120 pessoas, sendo uma infectada e sintomática. Das 119 pessoas não infectadas, 16 contraíram a doença com exames de confirmação sendo realizados em laboratório, outras duas tiveram diagnóstico de possível caso de SARS e quatro afirmaram terem sido infectadas, mas não puderam ser entrevistadas. Pouco se sabe a respeito dos casos secundários (de pessoas que tiveram contato com os indivíduos presentes no voo), mas estima-se que o número ultrapassa a marca de 300 infectados. Por fim, a pesquisa conclui que a doença pode ser transmitida durante a fase sintomática da mesma.

Figura 3 - Diagrama esquemático do surto de SARS a bordo do voo de Hong Kong para Pequim.



Fonte: OLSEN, Sonja J. et al., 2003

Um fator interessante levantado pela pesquisa é justamente o padrão de infecção na cabine. Até então o modelo mais plausível seguia a linha de voos longos (em média 8h de duração), sendo infectados passageiros alocados em até duas fileiras de distância do infectado. Porém, nesse voo em específico (3h de duração), foram infectados passageiros em até sete fileiras de distância, levantando-se a possibilidade de ter ocorrido um problema com o sistema de filtragem da aeronave, proporcionando contaminação por via aérea e não por contato direto. Além disso, a possibilidade de a contaminação ter ocorrido antes ou após o voo também deve ser considerada, sendo assim importante analisar diversos fatores externos à cabine

2.3. Resfriado

Devido ao fato de resfriados serem extremamente comuns, é difícil realizar uma investigação precisa acerca da propagação dos vírus causadores da condição exclusivamente a bordo de aeronaves. (MANGILI, GENDREAU, 2005). Em 2002, foi publicado um estudo que comparava a probabilidade de um indivíduo contrair um resfriado em aeronaves que reutilizavam 50% do ar na cabine de passageiros com aquelas em que 100% do ar era fresco, não sendo encontradas evidências de que a reutilização de parte do ar da cabine aumentava o risco de infecção. (ZITTER, et al., 2002).

2.4. Influenza

Quando se trata de influenza, a preocupação com relação ao transporte aéreo é maior no sentido de ser um vetor para a disseminação da doença em escala global, do que com a transmissão no voo em si, visto que no passado o transporte aéreo facilitou a disseminação de cepas de influenza que levaram a surtos ao redor do mundo. (MANGILI, GENDREAU, 2005).

Existem três estudos que relatam casos de propagação de influenza em aeronaves. O primeiro estudo descreve um surto da cepa A/Texas/1/ (H3N2) de influenza a bordo de um voo comercial em 1979, no qual 72% dos passageiros foram diagnosticados com a doença em até 72 horas após a viagem. Como explicação para uma taxa de infecção tão alta, considera-se o fato de que a aeronave foi mantida em solo durante três horas durante uma manutenção com todos os passageiros embarcados e o sistema de ventilação inoperante. (MOSER, et al., 1979). O segundo estudo, por sua vez, versa sobre um surto de influenza A/Taiwan/1/86 em uma estação naval em 1989 entre militares que retornavam de serviço temporário. (KLONTZ, et al., 1989). De acordo com o estudo, a transmissão da doença ocorreu tanto em solo quanto a bordo de duas aeronaves DC-9 que transportavam o esquadrão de Porto Rico para a Flórida. Já o terceiro estudo, por sua vez, ocorreu em 1999, quando trabalhadores de minas viajavam em uma aeronave. Quinze passageiros que viajavam com uma pessoa contaminada desenvolveram sintomas em até 4 dias. Destes 15 passageiros, 9 estavam sentados em até duas fileiras de distância do indivíduo doente, e todos os quinze estavam em um raio de 5 fileiras do mesmo. (MARSDEN, 2003).

2.5. Sarampo

O Sarampo é um vírus RNA do gênero *Morbilivirus* sendo pertencente à família *Paramyxoviridae* e considerado um vírus de tipo único, apesar de possuir diversas variações genéticas. (ECDC, 201?). É transmissível desde 4 dias antes da erupção cutânea até 4 dias após,

através de gotículas de saliva, estejam elas em suspensão no ar ou quando são diretamente expelidas pela fala, tosse, espirro ou respiração. Quando suspensas ou depositadas em superfícies, podem permanecer em atividade por até duas horas. (WHO, 2019).

Certas regiões do mundo apresentam raros casos de sarampo, sendo a doença praticamente erradicada nessas localidades. Os poucos casos existentes são oriundos de pessoas que trouxeram o vírus de outra região do planeta, principalmente através do transporte aéreo internacional. Em 1994, foram identificados oito casos da doença em um voo originário de Nova Iorque com destino em Tel Aviv. O ocupante da aeronave que embarcou com a doença não foi identificado, porém, supõe-se que fora um dos tripulantes. (MANGILI, GENDREAU, 2005).

O único método de prevenção para o Sarampo é a vacinação, fator no qual a maioria das recomendações dos órgãos de saúde estão pautadas. O CDC (2019) recomenda que as empresas aéreas alertem seus tripulantes no que diz respeito aos sintomas para que possam identificá-los nos passageiros. Além disso, os tripulantes devem ser informados dos riscos que o sarampo constitui em voos internacionais e, acima de tudo, da importância da vacinação. Para os passageiros é recomendada a vacinação e a alteração da data da viagem em casos de febre e erupção cutânea, sinalizando possível caso de Sarampo.

3. O SISTEMA DE AR-CONDICIONADO EM AVIÕES

O sistema de ar-condicionado é de suma importância para as aeronaves comerciais em operação atualmente. Além de proporcionar mais conforto aos passageiros e à tripulação, tornando o voo mais agradável para todos, este sistema tem papel fundamental no que se refere à circulação de ar e à purificação do mesmo. Neste capítulo serão analisados o funcionamento deste sistema, bem como o filtro mais empregado nele: o *High Efficiency Particulate Air* (HEPA).

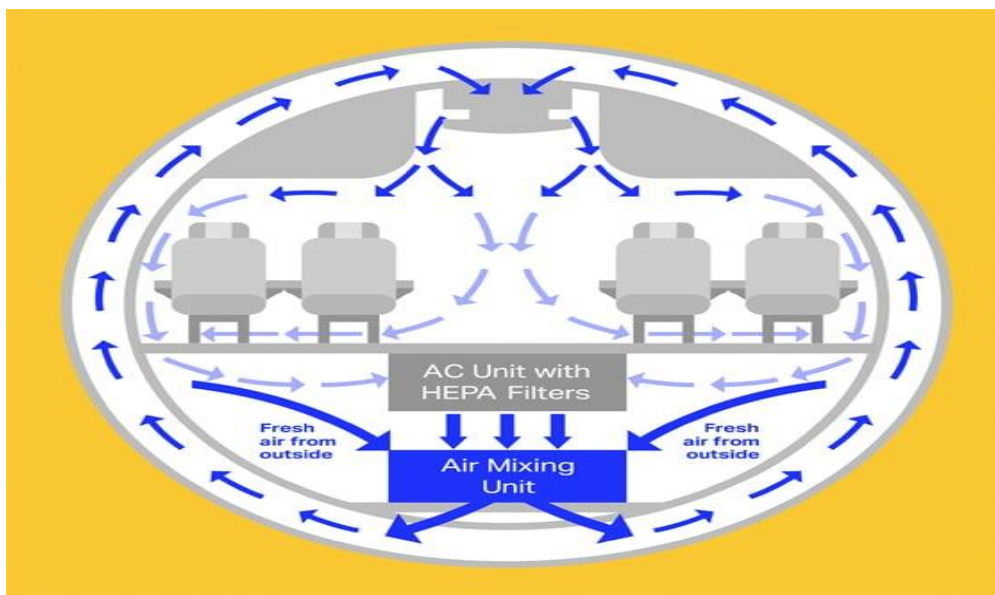
3.1. Funcionamento dos sistemas atuais

Quando uma aeronave está parada no terminal aguardando pelo embarque da tripulação e de passageiros, seu ambiente interno necessita ser agradável, inclusive sob a ótica de temperatura. Enquanto os motores não estão em funcionamento, o sistema de ar-condicionado do avião é alimentado por fontes auxiliares como a *Auxiliary Power Unit* (APU), que comprime o ar externo e o envia sob pressão ao sistema de ar-condicionado da aeronave, ou por uma fonte externa de ar-condicionado em solo. (MANGILI, GENDREAU, 2005). Já em voo, são os motores que enviam o ar sob pressão para que o ar-condicionado e o sistema de pressurização possam funcionar corretamente: os compressores do motor comprimem o ar e o repassam às

packs de ar-condicionado. Entretanto, devido à alta temperatura de operação do motor, o ar chega às packs muito quente e deve ser resfriado, quando é então utilizado o ar frio externo, admitido por um duto na parte inferior da aeronave. As duas parcelas de ar são enviadas a um trocador de calor, onde ocorre a transferência de calor de uma massa de ar para a outra. São utilizados mecanismos e válvulas que dosam a mistura de ar quente e ar frio para que o ar-condicionado opere com a temperatura desejada. Por fim, o ar recém-admitido e resfriado do motor é enviado ao filtro HEPA, semelhante aos filtros utilizados em hospitais, e será parte constituinte do ar utilizado no ar-condicionado. (AERO, 2021)

O ar-condicionado das aeronaves, assim como os outros sistemas, é elaborado para operar da maneira mais eficiente possível, desde a fase de admissão do ar até a circulação na cabine e posterior expulsão. O ar é introduzido na cabine de passageiros por dutos localizados na parte superior da mesma e circula de modo vertical e descendente. A circulação longitudinal, ou seja, aquela que ocorre da parte dianteira à traseira do avião, acontece de modo muito menos expressivo do que o fluxo vertical. No que se refere à propagação de agentes etiológicos, o próprio fluxo de ar vertical já funciona como mecanismo de prevenção, visto que pelo fato de ser descendente, evita que partículas, vírus, bactérias e fungos fiquem suspensos no ar por períodos prolongados. (MANGILI, GENDREAU, 2005). Após ter circulado pela cabine, o ar sai do ambiente por aberturas laterais no piso, de modo que parte retorna ao filtro HEPA, e a outra parte é expelida para o ambiente pelas válvulas de exaustão do avião. (AERO, 2021)

Figura 4 - Fluxo de circulação de ar dentro da cabine de aeronaves.



Fonte: IATA, 2021

No que diz respeito à renovação do ar utilizado no ar-condicionado das aeronaves, tem-se que cerca de 50% do ar existente na cabine é reutilizado (já passado por novas filtragens) e os outros 50% são provenientes de uma massa nova de ar recém-admitida pelos motores em detrimento de igual parcela da massa anterior já utilizada que foi expulsa. O ar reutilizado é misturado com o ar novo, passado pelo filtro HEPA e levado para a parte superior da fuselagem, a partir de onde é inserido novamente na cabine. Este processo constitui uma troca de ar e ocorre em intervalos de 2 a 3 minutos, totalizando mais de 20 trocas por hora. (BOEING, 2020). A cada troca, 63% das partículas que estavam em suspensão na massa de ar anterior são removidas. Combinando esta purificação do ar decorrente das frequentes trocas com o fluxo descendente dentro da cabine e a utilização constante do filtro HEPA, é possível reduzir significativamente o risco de propagação de doenças dentro das cabines das aeronaves. (MANGILI, GENDREAU, 2005).

3.2. Filtro HEPA e sua aplicação nas aeronaves

A grande maioria das aeronaves comerciais em operação atualmente utilizam o filtro HEPA (abreviação de “*High Efficiency Particulate Air*”, ou em uma tradução literal, “Ar particulado de alta eficiência”) para filtrar e purificar o ar em circulação no sistema de ar-condicionado e na cabine de passageiros. Projetado na década de 1940 por Arthur D. Little, o objetivo original do filtro HEPA era conter partículas radioativas que eram dispersadas durante a criação de bombas nucleares no Projeto Manhattan no contexto da Segunda Guerra Mundial. (HIPPERQUÍMICA, 2022). Os primeiros testes do filtro foram realizados em humanos, que o utilizavam de maneira portátil, porém os testes foram rapidamente descontinuados dada a impraticabilidade de fazer tal uso portátil da tecnologia visto seu volume e complexidade. Após a extinção do Projeto Manhattan, o filtro passou a ser comercializado, melhorado e fabricado por diversas empresas ao redor do mundo. (MEIO FILTRANTE, 2012). Atualmente, o filtro HEPA possui uma eficiência calculada em 99.97% no que diz respeito à capacidade de remover partículas com tamanhos entre 0.1 e 0.3 μm , e de 100% na remoção de partículas maiores. (MANGILI et al., 2015). Sendo assim, é extremamente eficiente no combate à propagação de vírus, bactéria e fungos, motivo pelo qual pode ser comparado aos filtros de ar utilizados em hospitais e salas cirúrgicas, por exemplo. (IATA, 2021).

Figura 5 - Manutenção do filtro HEPA em uma aeronave

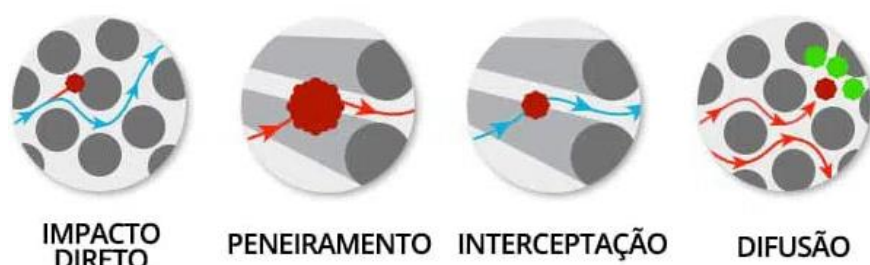


Fonte: APC Filters, 2021

O filtro HEPA funciona por meio de quatro métodos: impacto direto, peneiramento, interceptação e difusão. O método do impacto direto consiste no fato de que elementos contaminantes um pouco maiores percorrem uma trajetória retilínea até atingirem uma das fibras do filtro, na qual se aderem. O método de peneiramento, por sua vez, acontece quando uma partícula de tamanho maior do que o espaço entre as fibras do filtro é transportada pelo ar e, por seu tamanho, não passa por tal espaço, ficando então retida no filtro. Já o método de interceptação pode ser explicado pela lei da inércia: o fluxo de ar consegue alterar sua trajetória rapidamente quando encontra as fibras do filtro. As partículas que este fluxo carrega, por outro lado, não conseguem acompanhar com a mesma agilidade as mudanças de direção por conta de serem corpos maiores (portanto com mais inércia), e acabam ficando retidas nas fibras. Já a difusão é explicada pelo fato de que partículas menores em circulação no ar se movem de modo mais errático. Quando o fluxo de ar contendo estas partículas chega ao filtro HEPA, este movimento errático faz com que elas atinjam as fibras do filtro, ficando retidas nelas. (HIPPERQUÍMICA, 2022).

Para garantir o bom funcionamento do sistema de filtragem da aeronave e que ele execute a sua função de maneira apropriada, os filtros HEPA devem ser trocados com a periodicidade estipulada pelo fabricante do mesmo.

Figura 6: Métodos de funcionamento do filtro HEPA



Fonte 1: HIPPERQUÍMICA, 2022

4. ATUAÇÃO DO SISTEMA DE AR-CONDICIONADO NO COMBATE À PANDEMIA DE COVID-19

O ano de 2020 ficou marcado na história pela pandemia de COVID-19 causada pelo coronavírus SARS-Cov-2. A World Health Organization (WHO) foi alertada em 31 de dezembro de 2019 sobre diversos casos de pneumonia na cidade de Wuhan na China, e posteriormente foi identificado que se tratava de um diferente tipo de coronavírus jamais visto em seres humanos anteriormente. A doença se espalhou rapidamente pelo mundo, levando a um total de mais de 6 milhões de mortos. (Our World In Data, 2022). Dada a facilidade e a agilidade com que a doença se espalhava, diversos países, estados e cidades entraram em isolamento para tentar conter a disseminação do vírus, que continuava a se espalhar e fazer mais vítimas. No que diz respeito à atividade aeronáutica, o SARS-Cov-2 foi o causador de um brutal impacto, diminuindo expressivamente a quantidade de voos, levando funcionários a serem demitidos e empresas a falirem. No Brasil, por exemplo, houve uma queda de 53% da quantidade de passageiros transportados em 2020 em comparação ao ano anterior. (IBGE, 2021). A falta de informação devido à novidade e imprevisibilidade do comportamento da doença fez com que houvesse um sentimento geral de insegurança no transporte aéreo tanto por parte dos passageiros, como dos operadores e das agências reguladoras. Atualmente, existem diversos estudos acerca do tema, cujas conclusões serão expostas nos seguintes parágrafos.

Nos primórdios da pandemia, era fato a grande contribuição do transporte aéreo na disseminação da doença, mas pouco se sabia em relação aos padrões de transmissão da mesma em voo. (PAVLI, et al., 2020). Existiam modelos de prevenção já publicados a fim de minimizar ao máximo os riscos, porém os diferentes procedimentos adotados por companhias aéreas e o comportamento humano, por possuir caráter imprevisível no que diz respeito à circulação dentro da aeronave e ao contato direto entre pessoas, expuseram falhas nesses modelos. (BIELECKI, et al., 2020). Em uma fala do ex-presidente da *International Air Transport Association* (IATA),

Alexandre de Juniac, diz: “aparentemente o risco de contrair o vírus a bordo está na mesma categoria de ser atingido por um raio”. Sem teste obrigatório pré voos domésticos, ou acompanhamento consistente dos indivíduos no pós voo, a taxa de transmissão a bordo é desconhecida. (ANDERSON, 2022)

Pesquisas iniciais adotavam como metodologia de estudo o foco no acompanhamento de passageiros que estavam a menos de 2 metros do passageiro fonte da contaminação, por um tempo igual ou superior a 15 minutos, incluindo aqueles sentados a uma distância de dois assentos em todas as direções e tripulantes que tiveram contato direto com o mesmo. (PAVLI, et al., 2020). Após mais estudos, foi possível observar que áreas como os banheiros e *galleys* constituíam potenciais grandes focos de transmissão, e que a probabilidade de ser infectado é maior sentando-se em até dois assentos à frente do passageiro doente do que na mesma fileira ou para trás do mesmo. Além disso, a movimentação de passageiros pela cabine ao decorrer do voo também altera parcialmente o fluxo do ar-condicionado, que deixa de ser totalmente vertical para possuir certo componente horizontal, que pode facilitar a propagação do vírus. Este fato, conforme mencionado anteriormente, torna difícil que haja um modelo de alta precisão no que se refere aos padrões de disseminação no ambiente da aeronave, visto que não é possível prever a movimentação que existirá no voo. Assim, embora seja possível que a COVID-19 seja transmitida em voo, ainda não existe evidência direta desta transmissão. (GUO, et al., 2022).

Vale ressaltar que, conforme mencionado anteriormente, a filtragem de ar na maioria das aeronaves comerciais ocorre através do filtro HEPA. Embora o SARS-Cov-2 possua um tamanho entre 0.06 e 0.14 μm , portanto menor do que as partículas capturadas pelo filtro, as gotículas e os aerossóis nos quais o vírus viaja possuem tamanho de aproximadamente 5 a 10 μm , sendo então totalmente capturadas por ele. (MANGILI et al., 2015).

5. CONCLUSÃO

Esta pesquisa teve como principal objetivo explicar como o sistema de ar-condicionado das aeronaves modernas impacta na transmissão de doenças a bordo da mesma. Para isso, foi explorado o princípio de funcionamento do sistema, como atua o filtro HEPA, sua origem, seus métodos de ação, além da análise específica da operação do sistema de ar-condicionado durante a pandemia de COVID-19.

A explosão dos casos de COVID-19 ao redor do mundo tem, desde 2020, feito com que as companhias aéreas sofressem muito para se manterem ativas no mercado, visto que a desconfiança e as restrições sanitárias impostas ao setor impactaram de maneira muito significativa nos lucros e na atividade das empresas do meio. A recuperação destas está ocorrendo progressivamente, sendo que algumas já conseguiram alcançar o nível de suas operações observado antes da pandemia. O sistema de ar-condicionado das aeronaves possui papel fundamental nesta recuperação, visto que, por ser extremamente eficiente, impede que ocorra uma transmissão em larga escala dentro da cabine das aeronaves, onde centenas de passageiros permanecem por diversas horas. Se não fosse a eficiência deste sistema em conter agentes etiológicos, seriam observados muito rapidamente novos surtos da doença que teriam se originado dentro de aeronaves dada a proximidade entre os passageiros, o ambiente fechado e a ventilação, que seria insuficiente.

Existem potenciais melhorias ao sistema de filtragem de ar que se encontram atualmente em estudo, como a pesquisa sobre a utilização de cobre e seus compostos em filtros de ar contra o SARS-Cov-2 realizada pela Fundação Universidade de Caxias do Sul (UCS) em parceria com Universidade Federal de Santa Catarina e a UNICAMP. (UCS PLAY, 2021). Assim, eventuais descobertas e melhorias podem ser implementadas futuramente nos filtros de ar-condicionado das aeronaves comerciais.

Após a análise anteriormente exposta, torna-se possível concluir que a cabine de uma aeronave é um ambiente altamente seguro no que diz respeito à propagação de doenças, superando ambientes como escritórios e outros locais fechados, e aproximando-se da segurança encontrada em salas cirúrgicas.

REFERÊNCIAS

ALVES, Edmilson. **Fundamentos Da Filtragem De Ar**. 56. ed. Brasil, 2012. Disponível em: <https://www.meiofiltrante.com.br/Artigo/625/fundamentos-da-filtragem-de-ar>. Acesso em: 29 out. 2022.

ANDERSON, Judith. **COVID-19 in the Airline Industry: The Good, the Bad, and the Necessary**. NEW SOLUTIONS: A Journal of Environmental and Occupational Health Policy, v. 32, n. 2, p. 92–99, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/10482911221101429>.

BIELECKI, Michel; PATEL, Dipti; HINKELBEIN, Jochen; et al. **Reprint of: Air travel and COVID-19 prevention in the pandemic and peri-pandemic period: A narrative review**. Travel Medicine and Infectious Disease, v. 38, p. 101939, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1477893920304361>.

BOEING. **HEPA filters help passengers breathe easier**. [S. l.]: Boeing, 28 set. 2020. Disponível em: <https://www.boeing.com/features/2020/09/hepa-filters-help-passengers-breathe-easier.page>. Acesso em: 23 out. 2022.

CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. **Recommendations for Airlines to Help Reduce Risk of Measles Transmission through Air Travel**. [S. l.], 9 ago. 2019. Disponível em: <https://www.cdc.gov/quarantine/air/managing-sick-travelers/airline-recommendations.html>. Acesso em: 1 nov. 2022.

COMO FUNCIONA O AR CONDICIONADO DOS AVIÕES? Direção: Fernando De Borthole. Produção: Luiza Mungo e Gisella Depiné Poffo. Intérprete: Fernando De Borthole. Roteiro: Jeferson de Paula e Fernando De Borthole. [S. l.]: Aero Por Trás da Aviação, 2021. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=OqSiq3Sde_Q&t=1s. Acesso em: 30 out. 2022.

DRIVER, Cynthia R; VALWAY, Sarah E; MORGAN, W Meade; et al. **Transmission of Mycobacterium tuberculosis Associated With Air Travel**. JAMA, v. 272, n. 13, p. 1031–1035, 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.1001/jama.1994.03520130069035>.

EUROPEAN UNION. European Centre for Disease Prevention and Control. **Factsheet about measles**. In: EUROPEAN UNION. European Centre for Disease Prevention and Control. Factsheet about measles. [S. l.], [201-?]. Disponível em: <https://www.ecdc.europa.eu/en/measles>. Acesso em: 30 out. 2022.

GOVERNO FEDERAL (Brasil). IBGE. **Estudo mostra retrato do setor aéreo nacional e impactos da Covid-19**. [S. l.]: Carlos Alberto Guimarães, 10 dez. 2021. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/32525-estudo-mostra-retrato-do-setor-aereo-nacional-e-impactos-da-covid-19>. Acesso em: 6 nov. 2022.

GOVERNO FEDERAL (Brasil). Ministério da Saúde. **Tuberculose**. Brasil: Ministério da Saúde, 24 nov. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/t/tuberculose>. Acesso em: 27 out. 2022.

GUO, Qiangqiang; WANG, Jianjian; ESTILL, Janne; et al. **Risk of COVID-19 Transmission Aboard Aircraft: An Epidemiological Analysis Based on the National Health Information Platform**. *International Journal of Infectious Diseases*, v. 118, p. 270–276, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1201971222001631>.

HIPPERQUÍMICA (Brasil). **O que é um filtro HEPA?** Brasil: Hipperquímica, 14 jan. 2022. Disponível em: <https://hipperquimica.com.br/filtro-hepa/>. Acesso em: 28 out. 2022.

IATA. **Cabin Air & Low Risk of On Board Transmission**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.iata.org/en/youandiata/travelers/health/low-risk-transmission/>. Acesso em: 9 nov. 2022.

KENYON, Thomas A; VALWAY, Sarah E; IHLE, Walter W; et al. **Transmission of Multidrug-Resistant Mycobacterium tuberculosis during a Long Airplane Flight**. *New England Journal of Medicine*, v. 334, n. 15, p. 933–938, 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.1056/NEJM199604113341501>.

KLONTZ, KARL C; HYNES, NOREEN A; GUNN, ROBERT A; et al. **AN OUTBREAK OF INFLUENZA A/TAIWAN/1/86 (H1N1) INFECTIONS AT A NAVAL BASE AND ITS ASSOCIATION WITH AIRPLANE TRAVEL**. *American Journal of Epidemiology*, v. 129, n. 2, p. 341–348, 1989. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a115137>.

KO, Gwangpyo; THOMPSON, Kimberly M; NARDELL, Edward A. **Estimation of Tuberculosis Risk on a Commercial Airliner**. *Risk Analysis*, v. 24, n. 2, p. 379–388, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.0272-4332.2004.00439.x>.

MANGILI, Alexandra; GENDREAU, Mark A. **Transmission of infectious diseases during commercial air travel**. *The Lancet*, v. 365, n. 9463, p. 989–996, 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140673605710898>.

MARSDEN, A. G. **Influenza outbreak related to air travel**. *Medical Journal of Australia*, v. 179, n. 3, p. 172–173, 2003. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20033144862>.

MOSER, MICHAEL R; BENDER, THOMAS R; MARGOLIS, HAROLD S; et al. **AN OUTBREAK OF INFLUENZA ABOARD A COMMERCIAL AIRLINER**. *American Journal of Epidemiology*, v. 110, n. 1, p. 1–6, 1979. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a112781>.

MUSHER, Daniel M. **How Contagious Are Common Respiratory Tract Infections?** *New England Journal of Medicine*, v. 348, n. 13, p. 1256–1266, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1056/NEJMra021771>.

OLSEN, Sonja J; CHANG, Hsiao-Ling; CHEUNG, Terence Yung-Yan; et al. **Transmission of the Severe Acute Respiratory Syndrome on Aircraft**. New England Journal of Medicine, v. 349, n. 25, p. 2416–2422, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1056/NEJMoa031349>.

OUR WORLD IN DATA (Reino Unido). **Daily new confirmed COVID-19 deaths per million people**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://ourworldindata.org/explorers/coronavirus-data-explorer>. Acesso em: 8 nov. 2022.

PAVLI, Androula; SMETI, Paraskevi; HADJIANASTASIOU, Sophia; et al. **In-flight transmission of COVID-19 on flights to Greece: An epidemiological analysis**. Travel Medicine and Infectious Disease, v. 38, p. 101882, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1477893920303781>.

PESQUISA investiga a utilização de cobre em filtros de ar para combater coronavírus. [S. l.]: UCS Play, 201. Disponível em: <https://ucsplay.ucs.br/video/pesquisa-investiga-a-utilizacao-de-cobre-em-mascaras-e-filtros-de-ar-para-combater-coronavirus/>. Acesso em: 10 nov. 2022.

WHO. **Measles**. [S. l.], 5 dez. 2019. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/measles>. Acesso em: 3 nov. 2022.

ZITTER, Jessica Nutik; MAZONSON, Peter D; MILLER, Dave P; et al. **Aircraft Cabin Air Recirculation and Symptoms of the Common Cold**. JAMA, v. 288, n. 4, p. 483–486, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1001/jama.288.4.483>.