

MERCOFRIO 2020 - 12º CONGRESSO INTERNACIONAL DE  
AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO

ESTUDO DE PROTOTIPAGEM, ADAPTAÇÕES E ANÁLISES DE FLUIDODINÂMICA  
COMPUTACIONAL (CFD) DA UTILIZAÇÃO DA CABINE DE PROTEÇÃO EM PACIENTES COM  
COVID-19

Sidclei Benevides da Conceição – sidclei.engenhariaclinica@gmail.com

Edson Palhares Leite – epleite@ufba.br

Camila Rocha da Silva - camila.silva@gmail.com

Érica Cristiane Oliveira de Jesus – ericaoliveira@martagaogesteira.org.br

Mário Sérgio – mario@msa.com.br

Liga Álvaro Bahia contra a Mortalidade Infantil, martagaogesteira.com.br/

F1 - Princípios – Termodinâmica, Mecânica dos Fluidos e Transferência de Calor

**Resumo.** Oficialmente nomeada pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como COVID- 19, a doença causada pelo Coronavírus, da família Coronaviridae, causa uma variedade de doenças no homem e nos animais, especialmente no trato respiratório. Em fevereiro de 2020, foi confirmado o primeiro caso da COVID-19 no Brasil, mais precisamente no Estado de São Paulo. Desde então, o número de casos começou a crescer exponencialmente, exigindo assim, que medidas a fim de aumentar a segurança da população em geral, dos profissionais de saúde e dos pacientes viessem a ser apresentadas. A comunidade científica vem realizando significativas contribuições no que diz respeito ao melhor entendimento da doença em si, trazendo discussões sobre contaminação, sintomas, possíveis medicamentos para tratamento, bem como, equipamentos e produtos com o intuito de agregar positivamente o combate a pandemia. Neste sentido, uma ferramenta que pode ajudar no combate a disseminação da coronavírus e doenças infecto contagiosas é a Cabine de Proteção. O equipamento visa gerar um sistema de exaustão, o qual garante que o ar dentro da cabine, em contato com o paciente contaminado, seja direcionado para um filtro HEPA para ser filtrado. Deste modo, a contribuição deste estudo vem ao realizar a prototipagem e adaptações no projeto inicial da cabine de proteção, além de utilizar de simulações de fluidodinâmica computacional para compreender o padrão de fluxo do ar contaminado, para então certificar o produto para uso. Por meio das análises realizadas foi possível chegar a uma versão final do protótipo da cabine que atende as especificações normativas exigidas por órgãos de referência na área da saúde.

**Palavras-chave:** Sistema de Exaustão; Cabine de Proteção; Fluidodinâmica Computacional; COVID-19;

## 1. INTRODUÇÃO

Após crescimento exponencial da contaminação da população pelo Covid-19, a Organização Mundial da Saúde (OMS) decretou estado de pandemia. A doença causada pelo coronavírus, da família *Coronaviridae*, causa uma variedade de doenças no homem e nos animais, especialmente no trato respiratório (PFARMA, 2020). A comunidade científica vem realizando significativas contribuições no que diz respeito ao melhor entendimento da doença em si, trazendo discussões sobre contaminação, sintomas, possíveis medicamentos para tratamento, bem como, equipamentos e produtos que vêm agregando positivamente no combate a pandemia (Bonilla, 2020).

Para embasar esta pesquisa, foram realizadas buscas em plataformas conhecidas e renomadas no cenário científico da área de saúde, como, por exemplo, a biblioteca virtual da SciELO, biblioteca de saúde pública da Elsevier, site do Ministério da Saúde, Biblioteca Nacional de Medicina, entre outros. Buscou-se também realizar intensa revisão bibliográfica em fontes destinadas a publicações de engenharia, focados em análises de fluidodinâmica computacional. O recorte temporal buscou cobrir o período de janeiro de 2019 a maio de 2020, contemplando um espaço de tempo que vai além do registro oficial do primeiro caso da Covid-19, até os dias atuais.

Em uma revisão sistemática Morales (2020), contabilizou 9 estudos que descreveram as características clínicas e laboratoriais da doença, e, concluiu que, em relação às manifestações clínicas, febre, tosse e dispneia foram as mais prevalentes. No que diz respeito aos pacientes, estimou-se que cerca de 20,3% necessitaram de UTI.

O único produto encontrado que possui características semelhantes ao desenvolvido neste projeto foi o capacete para VNI. Não foram identificadas quaisquer publicações que abordem o uso de sistemas de VNI especificamente no tratamento de pacientes com COVID-19. Guan (2020) afirma que o capacete para VNI poderia ser uma opção para reduzir o risco de transmissão aérea do coronavírus, mas ressalta que esse capacete é um recurso limitado e que não é frequentemente utilizado na prática clínica de rotina. Por isso, o autor não considera a utilização viável para o tratamento de pacientes com COVID-19 que necessitem de suporte ventilatório.

Desse modo, o único produto encontrado na então citada referência de apoio, para combate a disseminação da COVID-19 e doenças infecto contagiosas, foi a cabine de proteção. O equipamento visa gerar um sistema de exaustão, garantido que o ar que está dentro da cabine, em contato com o paciente contaminado, seja direcionado para um filtro HEPA para ser filtrado (Ministério da Saúde, 2020).

O Ministério da Saúde (2020) emitiu um parecer técnico realizando um estudo sobre a cabine de proteção produzida pela rede de Hospitais Samel em parceria com instituto Transire. Em suma, a Instituição conclui que a tecnologia é bem-vinda como mais uma ferramenta no combate a transmissão de doenças infectocontagiosas, entretanto, afirma a necessidade da incorporação de mais evidências para então certificar a sua eficácia no combate ao COVID-19.

Em Nota Técnica Conjunta (2020) publicada sobre a utilização das cabines de proteção, a AMIB, ABRAMEDE, ASSOBRAFIR e a SOBRASP concluíram que, em tempos de pandemia, todas as ações são louváveis para driblarmos da melhor forma possível as consequências que o COVID-19 traz para a sociedade mundial, porém precisamos levar em consideração os riscos reais que as alternativas podem trazer para os profissionais de saúde e pacientes internados em UTI.

As instituições ainda reforçam que, situações que tratam de pacientes em UTI envolvem processos em que todos os medicamentos, equipamentos hospitalares e procedimentos de saúde precisam tramitar para ter validação científica e aprovação das agências reguladoras de saúde, seguindo os rigores do procedimento científico padrão. Esta afirmação evidencia a importância de um processo de prototipagem para se chegar a um produto final cujas características atendam a todas as especificações normativas e possua qualidade conforme padrões pré-estabelecidos (Barbosa, 2009).

Embora ainda não se tenha nenhum parecer técnico que recomende a utilização da cápsula, alguns hospitais no Brasil e no mundo vem buscando realizar testes para garantir a inserção do produto e similares no combate a pandemia, realizando, quando necessário, alterações para melhorar o equipamento (O GLOBO, 2020).

Deste modo, afirmamos que a contribuição deste projeto vem por meio da construção da Cápsula de Proteção e, estudo dos possíveis impactos que este produto poderá causar em uma Unidade de Terapia Intensiva, para então obter parâmetros que permitam discorrer sobre a viabilidade da sua utilização.

## 1.1 OBJETIVOS

Realizar adaptações no protótipo, validar, certificar e produzir a cabine de proteção para garantir sua eficácia no combate a disseminação de doenças infectocontagiosas em hospitais com pacientes com Covid-19.

Realizar a contagem do decaimento de partículas no interior da cabine de proteção e classificar o produto em uma das classes de zona limpa conforme parâmetros disponíveis na ABNT 14644-1.

Analisar o padrão do fluxo do ar que flui no interior da cabine buscando compreender qual a melhor configuração para o sistema de exaustão.

## 2. DESCRIÇÃO DO PRODUTO E COMPONENTES

Trata-se de uma estrutura protetora em formato retangular que funciona como uma espécie de barreira física, sendo posicionada sobre o paciente com COVID-19. O protótipo inicial da cabine é composto basicamente por plástico e tubos de PVC conectados entre si no formato apresentado na Fig. 1.

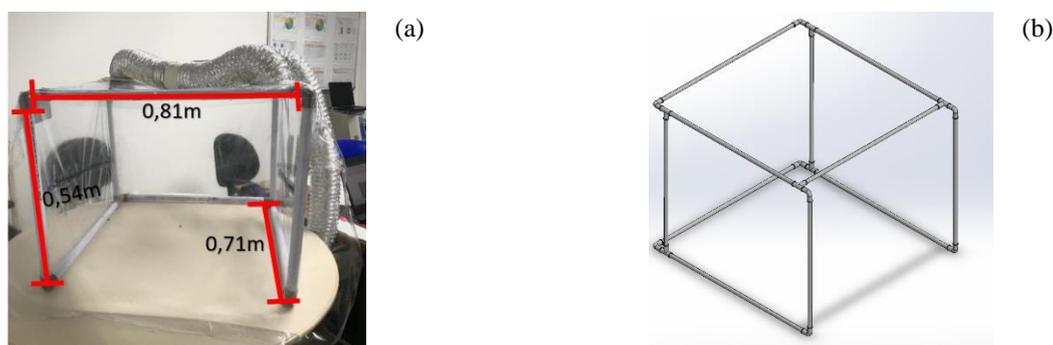


Figura 1. Cabine de Proteção: (a) acesso frontal fechado; (b) desenho da estrutura da cabine

Para montagem da Cabine de Proteção, foram utilizados os seguintes materiais:

- 11 metros de tubo do tipo PVC de 3/4”;
- 08 conexões de 90° do tipo “joelho”;
- 06 conexões de 90° do tipo “Te”;
- 02 zíperes de 50cm;
- Fita de fixação 3M;
- “Tê” de esgoto de 100mm;
- Porta Grelha de 100mm;
- 3 Metros de lona de polietileno transparente (0,3mm x 1,4 mm x 4m);
- Conexão de plástico impresso em impressora 3D.

A Figura 1 ilustra uma visão geral da Cápsula vista na (a) diagonal com suas dimensões representadas e (b) com o plástico de acesso aberto. Esta entrada foi desenvolvida com objetivo de permitir o acesso direto ao paciente que estará dentro da cabine, podendo ser levantada completamente, deixando assim, toda a área frontal exposta. Além da entrada frontal existem duas aberturas laterais que podem ser acessadas por meio da abertura dos zíperes acoplados nas laterais. Esta abertura garante uma área de contato (ar/cabine), menor que a entrada frontal.

Com o intuito de não gerar desconforto ao paciente, considerou-se as maiores dimensões possíveis para a cabine, ao mesmo tempo em que se considerou uma área que fosse possível obter renovações constante de ar sem necessitar de equipamentos mais robustos. Esse modelo inicial antes de ser montado e finalizado, já tinha passado por um processo de ajustes chegando por fim neste modelo apresentado na Fig.1.

É importante salientar que no projeto inicial da cabine não constava a presença do exaustor. O objetivo inicial era utilizar a cabine como uma barreira física, impedindo a propagação do vírus. Entretanto, notou-se a necessidade da inserção de um sistema de exaustão para garantir que os particulados liberados pelo paciente não se dispersassem no ar.

O primeiro modelo de exaustor proposto foi um de pequeno porte, semelhante a um cooler utilizado para ventilação de equipamentos. O critério inicial para considerar este equipamento foi o nível de ruído, além de não ter levado em consideração nos cálculos a utilização do filtro HEPA (*High Efficiency Particulate Air*). Brevemente percebeu-se que este modelo não atenderia as necessidades e escolheu-se um equipamento da linha MAXX, cujas curvas de perda de carga versus vazão se encontram na Fig.2 (b).

Os equipamentos da linha MAXX são projetados para serem instalados ao longo de tubulações compridas, oferecendo um reforço de linha com alta pressão e alta vazão de ar. Também são utilizados em amplos ambientes, sendo utilizados para tomada de ar externa e reforço para coifas com filtro. A Figura 2. (a) ilustra uma foto do exaustor centrífugo utilizado.

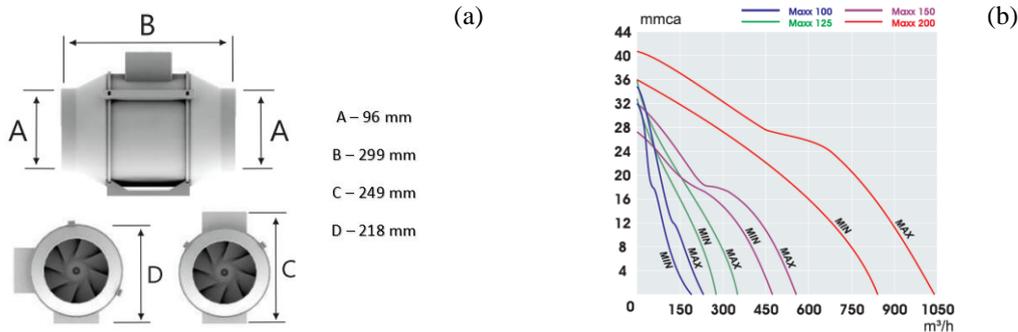


Figura 2. (a) Exaustor Centrifugo da Linha MAXX; (b) Curvas de Desempenho da Linha de Exaustores MAXX

Os exaustores centrífugos podem ser projetados e fabricados sob encomenda conforme as especificações de cada cliente, permitindo insuflar ar em um ambiente, tomando-o externo, ou exaurir ar desse mesmo ambiente para o exterior. As especificações técnicas do exaustor escolhido estão dispostas na Tab. 1.

Tabela 1. Informações técnicas gerais sobre o exaustor

Informação Técnica	Valores
Vazão Máxima – Velocidade 1	145 m³/h
Vazão Máxima – Velocidade 2	248 m³/h
Nível de Pressão Sonora	38 dBA
Potência	77 W
Tensão Monofásica	220 V
Peso	2,97 Kg

O duto que conduz o ar que será filtrado da cabine é feito de alumínio, possui as paredes internas enrugadas, alta flexibilidade, contendo 1,5m de comprimento, 0,1m de diâmetro e está ilustrado na Fig. 3 (a). Este material foi escolhido justamente por conta da sua flexibilidade. As unidades de terapia intensiva em que a cabine será utilizada são locais com uma quantidade expressiva de equipamentos médicos, gerando uma limitação de espaço, sendo assim, essa flexibilidade no posicionamento é algo extremamente importante a se considerar.



Figura 3. Duto Condutor (a); Filtro HEPA H-14 (b); Pré-Filtro (c)

Para garantir que o ar que está sendo retirado do sistema seja filtrado antes de ser liberado na sala, na seção de entrada do exaustor, foi-se instalado um filtro adaptado do tipo HEPA H-14. Os filtros absolutos HEPA possuem tecnologia de separação de partículas capaz de eliminar até 99,9% das impurezas do ar, suprimindo microrganismos como ácaros, vírus e bactérias. Composto por meio filtrante de papel de microfibras de vidro, este tipo de filtro é eficiente pois funciona a partir de uma combinação de três passos: interceptação, impacto e difusão. O filtro utilizado neste projeto possui duração recomendada de até dois anos e está ilustrado na Figura 3 (b).

Para garantir a vedação completa do sistema o filtro adaptado foi fixado internamente a um duto de 100mm e a zona de contato impermeabilizada por uma resina branca. Os filtros adaptados possuem laudos e estão dentro dos padrões técnicos exigidos. Para garantir durabilidade e evitar saturação precoce do filtro HEPA, recomenda-se que antes dele seja instalado um pré-filtro para capturar as partículas maiores, a Fig. 3 (c) ilustra o pré-filtro utilizado.

No mais, a cabine de proteção deverá ser posicionada acima do leito, criando um sistema de isolamento que evita que o ar possivelmente contaminado, liberado pelo paciente, seja dispersado sem um tratamento prévio. A tomada de ar da cabine ocorre por duas saídas na parte superior. Uma mais próxima a abertura frontal e outra na diagonal oposta, mais próxima ao fundo da cabine.

A cabine deve ser considerada como uma extensão do leito, sendo, portanto, de uso único e individual do paciente que ocupa o mesmo. Após a troca do paciente, a cabine e o duto condutor, deverão ser higienizados pelo funcionário que fizer a limpeza do leito, sendo utilizado os mesmos produtos higienizadores (álcool 70 e/ou optigerm).

## 2.1 ANÁLISES DE FLUIDODINAMICA COMPUTACIONAL

A geometria e a malha computacional foram criadas usando o módulo ANSYS CFD® Release 2020 – Academic. Os domínios de estudo foram criados por meio da definição de pontos, curvas, superfícies e sólidos descrevendo o seu tamanho e o seu formato. A cabine foi representada em suas dimensões exatas, ilustradas na Fig. 4. A malha não-estruturada possui 181.189 elementos tetraédricos e 45.875 nós.

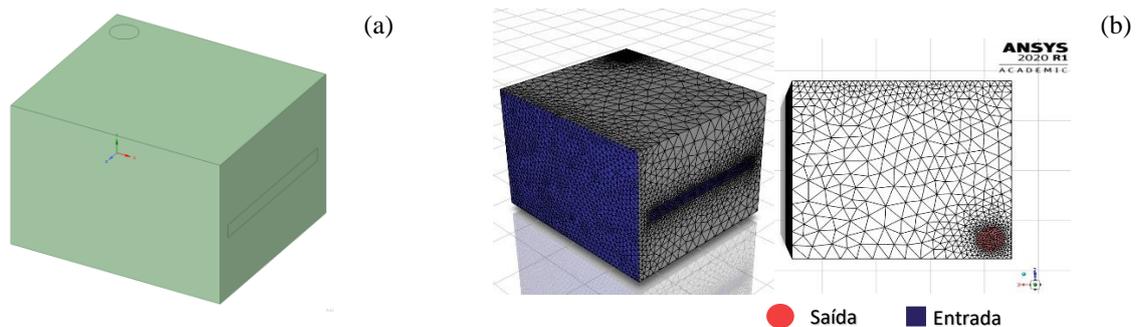


Figura 4. (a) Geometria da cabine de proteção; (b) Malha não-estruturada da cabine de proteção

As condições matemáticas adotadas são referentes a um estudo Euleriano-Euleriano com abordagem homogênea. As condições gerais do escoamento monofásico foram: escoamento isotérmico, estacionário, tridimensional, sem transferência de massa, incompressível, propriedades termo físicas constantes e presença de força de corpo. Para modelar o escoamento monofásico, utilizou-se das seguintes equações:

- Equação da Continuidade

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho) + \nabla \cdot \rho \vec{v} = 0 \quad (1)$$

- Equação da Quantidade de Movimento

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla \cdot [\rho \otimes \vec{v}] - \nabla p + \nabla \cdot \left\{ \mu \left[ \nabla \vec{v} + (\nabla \vec{v})^T \right] \right\} = S_M + M \quad (2)$$

onde assume-se que  $\rho$  é a densidade,  $\vec{v}$  é o vetor velocidade,  $\mu$  é a viscosidade dinâmica,  $\nabla p$  é o gradiente da pressão, o termo  $S_M$  descreve as forças de momento devido às forças de corpo externas (força gravitacional) enquanto  $M$  descreve as forças interfaciais (força de arraste, força *lift*, força de massa virtual, força de lubrificação na parede e força de dispersão). O escoamento do ar ocorre em regime turbulento, deste modo, foi escolhido o modelo k- $\epsilon$  para calcular estes efeitos, sendo assim temos:

$$\varepsilon = \frac{C_\mu q^3}{l} \quad (3)$$

$$K = \frac{q}{2} \quad (4)$$

onde  $l$  é o comprimento de escala espacial,  $q$  é a velocidade escalar,  $C_\mu$  é uma constante empírica calculada por

$$C_\mu = 4\mu^2 \quad (5)$$

Foram adotados como condição de contorno, as condições de Neumann. A cabine de proteção representa todo o domínio  $\Omega$ , entradas e saídas foram definidas conforme sua influência para com o domínio. Enquanto a cabine estiver sendo utilizada, espera-se que a abertura frontal e as laterais permanecerem fechadas, sendo abertas somente quando necessário realizar intervenções no paciente. No caso de acesso ao paciente, as aberturas se tornam uma possível região de entrada de massa no domínio, e por assim pensar, as propriedades associadas a esta região foram consideradas como propriedades de entrada. Deste modo, obteve-se:

$$v_d = v_e = v_f = 1 \times 10^{-10} \text{ m/s} \quad (6)$$

onde  $v_d$  é a abertura lateral direita,  $v_e$  a abertura lateral esquerda e  $v_f$  a abertura frontal. A área das aberturas foi pré-definida no projeto inicial, sendo as aberturas laterais com área total de 0,03m<sup>2</sup> cada, e a abertura frontal 0,57m<sup>2</sup>.

Ao se considerar um valor expressivamente baixo para a velocidade nas aberturas, indica-se uma velocidade praticamente nula, o objetivo dessa consideração é, inicialmente, não gerar nenhuma influência no sentido do fluxo do ar, mas considerar as aberturas como possíveis regiões de troca (entrada/saída), e assim capturar os efeitos que a força produzida pelo exaustor possui nestas regiões.

A vazão de exaustão foi medida de maneira experimental com o auxílio do anemômetro digital Minipa MDA-10A. Por meio da utilização deste aparelho foi possível verificar o valor exato da vazão de ar que estava sendo retirado do interior da cabine e direcionado para o filtro. Desse modo obteve-se:

$$\dot{q}_s = 0.03675 \text{ kg/s} \quad (7)$$

assumindo a massa específica do ar  $\rho_{ar}$  como:

$$\rho_{ar} = 1.225 \text{ kg/m}^3 \quad (8)$$

O método dos volumes finitos foi utilizado para encontrar e solucionar as integrais de área e de superfície, utilizando das proposições do teorema de Gauss, para então, chegar as soluções aproximadas. O critério de convergência adotado foi 10<sup>-7</sup>.

## 2.2 CONTAGEM DO DECAIMENTO DE PARTICULAS

A contagem de partículas foi realizada com o auxílio do LASAIR II 310 A59457, equipamento calibrado e certificado conforme exigências normativas vigentes. Esta etapa de validação foi feita seguindo todos os parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR ISO 14644-2:2006, e a *layout* dos pontos de medição encontra-se na Fig.5.

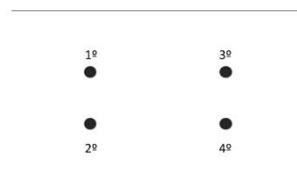


Figura 5. *Layout* dos Pontos de Medição no Interior da Cabine de Proteção

Com os valores obtidos por meio do processo de medição, por meio das diretrizes dispostas na ABNT ISO 14644-1 é possível verificar se o ambiente em estudo pode ou não ser classificado como sala/zona limpa. Sala ou zona limpa são

definidas como a regiões construídas e utilizadas de maneira a minimizar a introdução, geração e retenção de partículas dentro de determinado ambiente, na qual outros parâmetros relevantes, como por exemplo, temperatura, umidade e pressão, são controlados conforme necessário.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os primeiros resultados obtidos foram em termos de validação. Após validação do modelo numérico o processo de prototipagem ganhou mais uma ferramenta no que se refere a compreensão das influências causadas pelas alterações do protótipo inicial. Por meio da ferramenta computacional foi possível analisar a influência da ampliação das aberturas laterais, alteração da quantidade e localização dos acessos superiores para tomada de ar, entre outros pontos.

#### 3.1 Escoamento em Cavidade Quadrada com Tampa Móvel – Validação da Simulação

Para realizar análises de fluidodinâmica computacional foi necessário confrontar nosso modelo com *benchmarks* dispostos na literatura. O problema clássico utilizado para validar códigos de CFD, foi o trabalho publicado por Ghia *et al* (1982) onde o escoamento dentro de uma cavidade fechada é movido pelo cisalhamento provocado pelo movimento da tampa.

Apesar de antiga, esta é a referência mais utilizada para validar este tipo de problema, os resultados de Ghia *et al*. (1982) mostram a formação de um vórtice principal e dois vórtices secundários nos cantos inferiores, que crescem conforme o número de Reynolds aumenta, demonstrando uma tendência do escoamento a desordem, comportamento comum ao escoamento turbulento.

A malha utilizada nessa simulação é de 129x129, mesma malha utilizada no experimento numérico de referência. O domínio discretizado tinha 1x1m, sua parte inferior e laterais consideradas como fixas, e a região superior, responsável por causar a perturbação no meio, considerada móvel. A Fig. 6 contém a ilustração do esquema simulado.

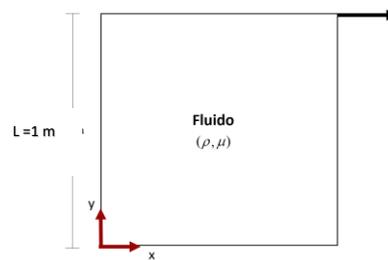


Figura 6. Esquema do Clássico Problema da Cavidade Quadrada com Tampa Móvel

Os resultados de GHIA *et al*. (1982) mostram a formação de um vórtice principal e dois vórtices secundários nos cantos inferiores, que crescem conforme o Reynolds aumenta. O fluido considerado no esquema tinha massa específica de 10kg/m<sup>3</sup> e densidade de 0.25 m<sup>2</sup>/s A Fig. 9 possui uma comparação entre as linhas de corrente encontradas por Ghia *et al* (1982) em preto e branco e as deste trabalho em escala de cores.

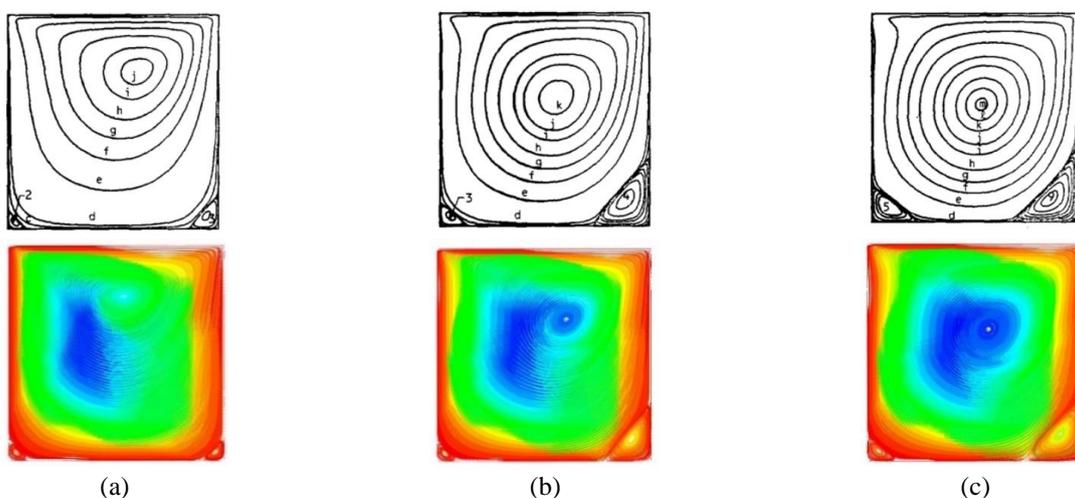


Figura 9. Linhas de Corrente: a)  $Re = 100$ ; b)  $Re = 400$ ; c)  $Re = 1000$

A Fig. 7 mostra que as características principais do escoamento são bem representadas para todos os números de Reynolds simulados. Essas características são descritas com detalhes em GHIA *et al.* (1982), como aposição do vórtice principal e as dimensões e posições dos vórtices secundários.

### 3.2 Processo de prototipagem e adaptações

As principais adaptações realizadas na cabine ocorreram levando em conta as possibilidades que levassem a falha do sistema de exaustão projetado, desse modo as aberturas laterais, frontal e saída superior foram o foco do estudo e das análises e intervenções.

#### 3.2.1 Protótipo 01

O primeiro modelo de cabine apresentado obtinha apenas uma tomada de ar na região superior localizada nas proximidades do fundo da cabine e duas saídas laterais construídas com zíper de 0.05 x 0.60m de abertura total cada. Os perfis de velocidade e as linhas de fluxo obtidas para este modelo estão ilustrados na Fig. 7.

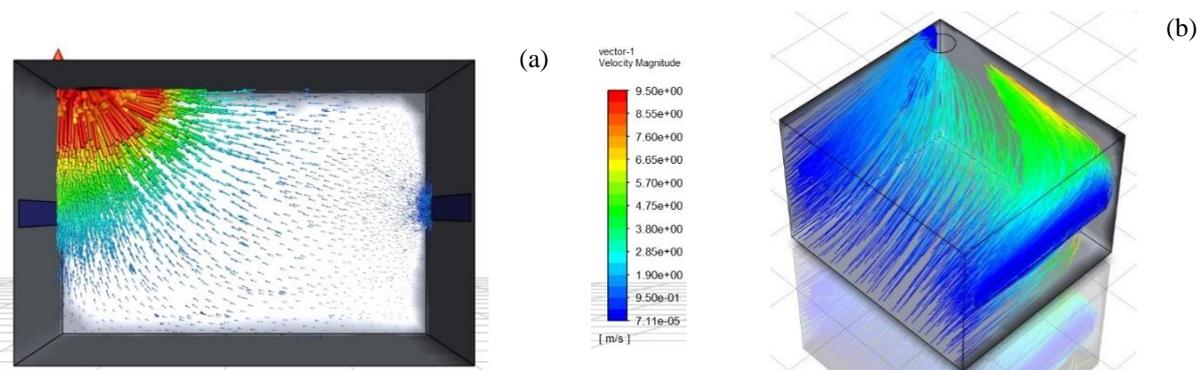


Figura 7. Campo Vetorial de Velocidades e (b) Linhas de Fluxo do Protótipo 01

Nesse primeiro momento é perceptível a influência da força exercida pelo exaustor no sistema, o campo vetorial de velocidade formado indica que o fluido contido no interior da cabine está sendo direcionado para a fora da mesma, indo em direção ao filtro HEPA por meio do duto de alumínio. Existe uma concentração de vetores na região superior da cabine, indicando alto fluxo de ar na proximidade da saída, entretanto, na região oposta o fluxo é praticamente nulo.

Ao se aproximar da entrada frontal é perceptível também que quase não se tem movimentação de ar, o que não é desejado. Espera-se que o fluxo de ar direcionado para fora da cabine seja praticamente uniforme em toda a região interna, sem deixar pequenas regiões sem cobertura. Essas regiões onde o fluxo de ar é nulo podem ser possíveis pontos de decantação de particulado. Todos os aerossóis liberados pelo paciente devem ser direcionados para fora da cabine, sem possibilidade de aderência a qualquer superfície sólida, seja ela a roupa ou pele do paciente ou ainda o interior da cabine. As linhas de corrente demonstram o mesmo comportamento semelhante.

#### 3.2.2 Protótipo 02

Devido ao problema com a distribuição de ar buscou-se uma nova configuração para a tomada de ar da cabine. Nesse momento a principal preocupação era varrer todo o espaço interno evitando a presença de zonas mortas, sem fluxo de ar aparente. O protótipo 02 deslocou a tomada de ar do canto superior traseiro para a região central superior. Os campos de velocidade e a linhas de fluxos para este caso estão ilustrados na Fig. 8.

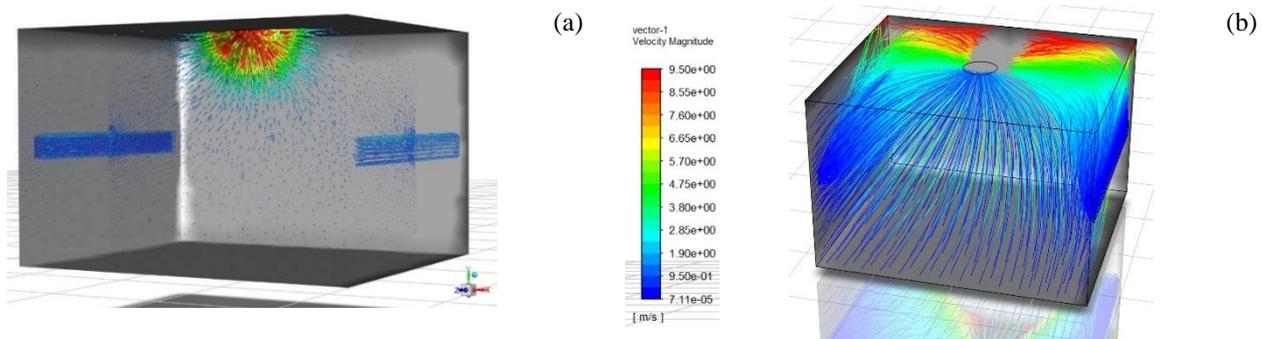


Figura 8. Campo Vetorial de Velocidades e (b) Linhas de Fluxo do Protótipo 02 da Cabine de Proteção

O campo vetorial de velocidades formado não é uniformemente distribuído. Os vetores indicam que o fluxo de ar se concentra no centro da cabine, local onde agora está posicionada a abertura superior. Nas proximidades das aberturas

laterais e nas proximidades da parede quase não se há vestígios de movimentação de ar. Esta configuração se mostrou pior que a anterior, visto que as regiões de maior interesse (laterais e frontal) não aparentam sofrer influência do sistema de exaustão.

Uma das maiores preocupações com o layout da cabine, é se chegar a uma configuração em que não haja não dissipação dos particulados liberados pelo paciente por meio aberturas. Desse modo, é interessante que quando os acessos estejam abertos o fluxo do ar seja de fora para dentro. As linhas de fluxo demonstram que existem regiões nas quais não se tem arraste nenhum, possíveis zonas mortas, regiões estas que se pretende evitar.

### 3.2.3 Protótipo 03

Com o objetivo de homogeneizar a distribuição de ar aspirado e garantir que, por meio das aberturas não ocorreria a saída de ar, principalmente na abertura frontal por ser a maior, considerou-se novo *layout* para a cabine, no qual a tomada de ar é realizada por dois pontos na superfície superior. Um ponto mais próximo a região frontal, e outro ponto oposto, localizado mais ao fundo. Os campos de velocidade e a linhas de fluxos para este caso estão ilustrados na Fig. 9.

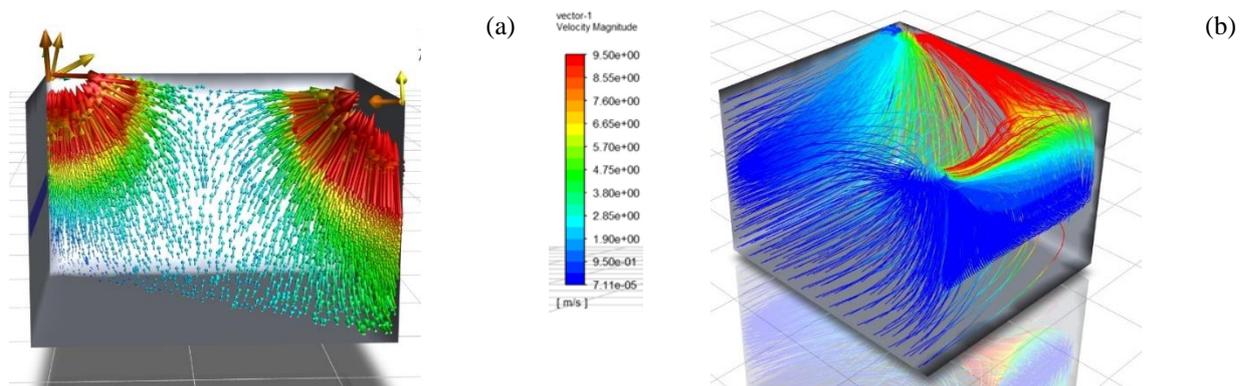


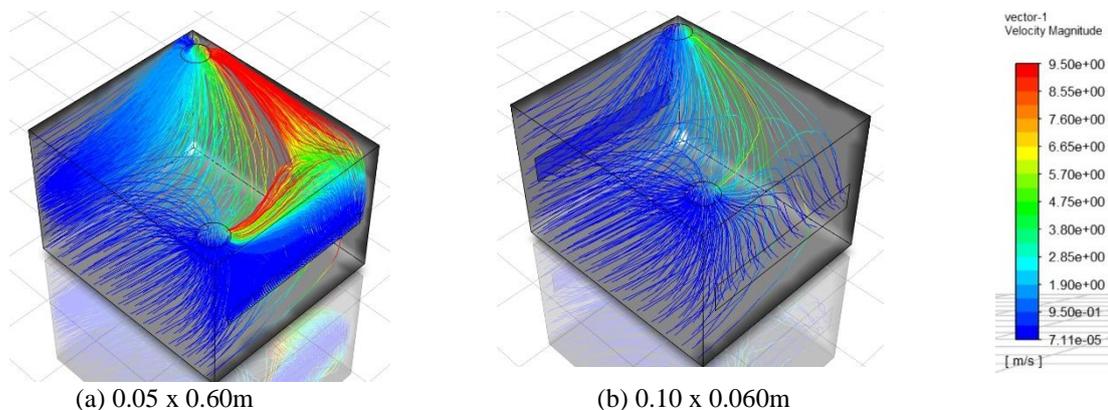
Figura 9. Campo Vetorial de Velocidades Transversal (b) e Linhas de Fluxo do Protótipo 03 da Cabine de Proteção

Nesta última configuração já é perceptível uma maior distribuição no que se refere ao fluxo de ar no interior da cabine. Ao observar o campo vetorial de velocidades ilustrado em um corte na transversal da cabine, dá para notar que ambas as tomadas de ar possuem uma concentração de vetores nas suas proximidades. Nota-se também que as linhas de fluxo preenchem todo o interior da cabine, confirmando que esta configuração seria a melhor dentre as apresentadas.

Um ponto importante a se considerar é que o fato de se dividir a região de tomada de ar na superfície superior da cabine acaba acarretando em uma maior perda de carga para o sistema. Entretanto, ainda com este empenho, obteve-se as quantidades de renovações necessárias para o ambiente estudado.

### 3.2.4 Protótipo 04

A quarta versão da cabine surgiu por conta de uma demanda da equipe multiprofissional em saúde que utiliza o equipamento. Segundo relato dos usuários, o tamanho do acesso lateral não era suficiente para garantir mobilidade no momento da assistência.



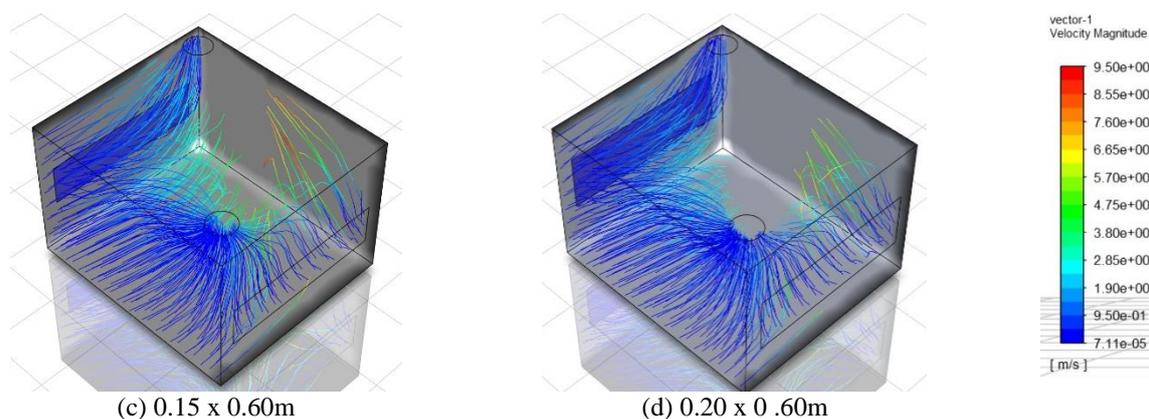


Figura 10. Linhas de Fluxo para Diferentes Tamanhos de Aberturas Laterais

Alguns procedimentos estavam sendo inviabilizados por conta da limitação do espaço sendo necessário aumentar a região lateral e criar mais um acesso na região traseira. O acesso traseiro somente seria utilizado em casos específicos como, por exemplo, no procedimento de intubação.

A Figura 10 apresenta os campos de velocidade para diferentes tamanhos de aberturas laterais. Nota-se que a configuração (b) é a mais indicada ao produto. Uma abertura maior que 0.10 x 0.060m, já não proporciona certa distribuição nas linhas de fluxo no interior do domínio, estas regiões não sobrem efeito da ação do exaustor.

### 3.3 Contagem de Partículas e Classificação de Zona Limpa

Ao longo do processo de adaptações e modificações do projeto, foi-se realizado um estudo para averiguar se a cabine de proteção estaria dentro dos parâmetros necessários para ser considerada uma zona limpa. Por meio de procedimentos já descritos anteriormente, e baseando-se nos critérios dispostos na ABNT-SIO 14644-1, foi possível classificar a cabine como ISO Classe 7. Os valores médios das contratações das partículas de diferentes tamanhos estão dispostos na Fig. 11.

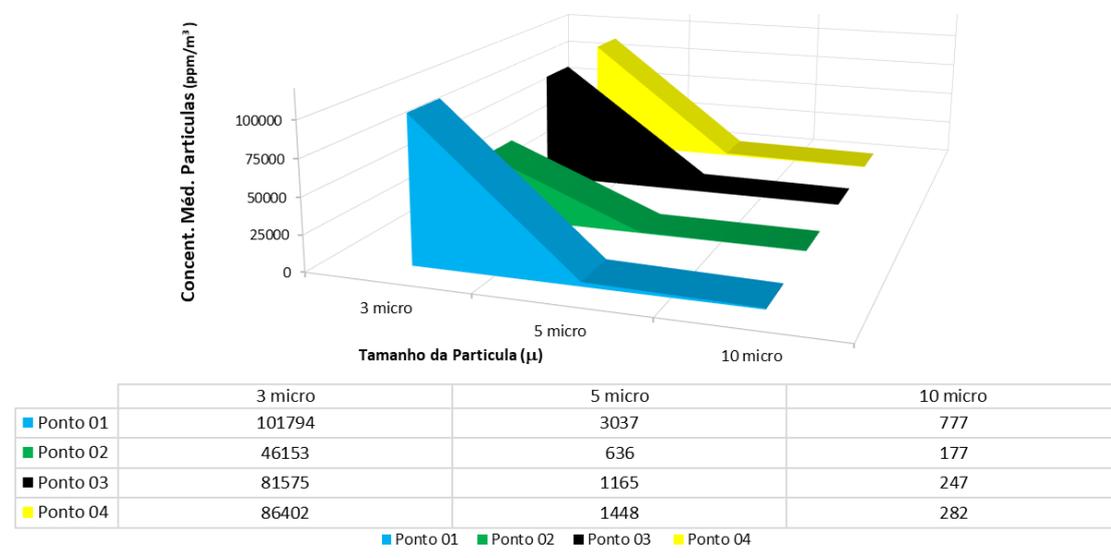


Figura 11. Concentração Média da Contagem de Partículas nos Quatros Pontos de Amostragem

## 4 CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Diante do exposto, é possível verificar que o processo de prototipagem e adequações se mostrou extremamente importante no que se refere a análises de variáveis críticas que influenciam diretamente no bom funcionamento do dispositivo. O produto final foi construído, distribuído e utilizado em uma Unidade de Terapia Intensiva do Hospital Martagão Gesteira e, análises preliminares apontem que a cabine de proteção se mostrou uma ferramenta de impacto nas unidades em que foi utilizada.

Procedimentos que geralmente liberam grande quantidade de aerossóis estavam sendo realizados somente em caso de faltas de alternativas. Por exemplo, a ventilação não invasiva (VNI), não estava sendo cogitada, direcionando o paciente diretamente para a intubação. Com a chegada da cabine, intubações foram evitadas e procedimentos de VNI foram

viabilizados, trazendo um ganho para o paciente. Assim, cabe um estudo mais aprofundado dos impactos da cabine na assistência aos pacientes com COVID-19.

## 5. REFERÊNCIAS

- ANSYS FLUENT – *Fluidodynamic Computational Analysis* – Academic Lincense.
- Brasil.2020. Norma Brasileira. Salas limpas e ambientes controlados associados (EAS) – Requisitos para projeto e execução das instalações - ABNT 14644-1.
- Brasil. 2005. Norma Brasileira. Tratamento de ar em estabelecimentos de saúde (EAS) – Requisitos para projeto e execução das instalações - ABNT 7256.
- Brasil. 2020. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. *Consultas. Produtos para Saúde*.
- Bonilla, A., Dhama, D. K., Morales, A. J. 2020. *Revisiting the One Health Approach in the Context of COVID-19: A Look into the Ecology of this Emerging Disease*. Adv Anim Vet Sci. 2020.
- Guan L., Zhou, L., Zhang, J., Peng, W., Chen, R. 2020. *More awareness is needed for severe acute respiratory syndrome coronavirus 2019 transmission through exhaled air during non-invasive respiratory support: Experience from China*. Eur Respir J Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1183/13993003.00352-2020>
- Barbosa, R. T. 2009. *Desing & prototipagem: conhecimento e uso da prototipagem rápida no design brasileiro*. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista, São Paulo.
- Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção Primária à Saúde (SAPS). 2020. *Protocolo De Manejo Clínico do Coronavírus (COVID-19) na Atenção Primária à Saúde*. Brasília.
- Nota técnica unificada. 2020. ABRAMEDE, Associação Brasileira de Medicina de Emergência; ASSOBRAFIR, Associação Brasileira de Fisioterapia Cardiorrespiratória e Fisioterapia em Terapia Intensiva; SOBRASP, Sociedade Brasileira para a Qualidade do Cuidado e Segurança Do Paciente. São Paulo.
- O GLOBO. Jornal de Notícias da Globo. Hospitais usam cubo acrílico para evitar contágio de equipe ao tratar pacientes graves de Covid-19. Acessado em 17/06/2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2020/04/15/hospitais-recebem-equipamento-importado-da-asia-para-tratar-dos-pacientes-graves-com-covid-19-no-rio.ghtml>
- PFARMA. 2020. A Origem do Sars-CoV-2. Acessado em: 21/05/2020. Disponível em: <https://pfarma.com.br/coronavirus/5439-origem-covid19.html>
- Morales, R., Ospina, J.A., Ocampo, E. g. 2020. *Clinical, laboratory and imaging features of COVID-19: A systematic review and meta-analysis*. Travel Medicine and Infectious Disease.

### STUDY ON PROTOTYPING, ADAPTATIONS AND ANALYSIS OF COMPUTATIONAL FLUIDODYNAMICS (CFD) OF THE USE OF THE PROTECTION CABIN IN PATIENTS WITH COVID-19

**Abstract.** Officially named by the World Health Organization (WHO) as COVID-19, the disease caused by the Coronavirus, Coronaviridae's family causes a variety of diseases in man and animals, especially in the respiratory tract. In February 2020, the first case of COVID-19 in Brazil was confirmed, more precisely in the State of São Paulo. Since then, the number of cases has started to grow exponentially, thus requiring that measures to increase the safety of the general population, health professionals and patients be presented. The scientific community has been making significant contributions with regard to better understanding of the disease itself, bringing discussions about contamination, symptoms, possible drugs for treatment, as well as equipment and products that have been positively adding to the fight against the pandemic. In this sense, the cabin can help to combat the spread of coronavirus and contagious infectious diseases is the Protection Cabin. The equipment aims to generate an exhaust system, ensuring that the air inside the cabin, in contact with the contaminated patient, is directed to a HEPA filter to be filtered. Thus, we affirm that the contribution of this study comes when carrying out prototyping and adaptations in the initial design of the protection cabin, in addition to using computational fluid dynamics simulations to understand the flow pattern of the contaminated air, to then certify the product for use. Through the analyzes carried out it was possible to arrive at a final version of the cabin prototype that meets the normative specifications required by reference bodies in the health area.

**Keywords:** Exhaust System; Protection Cabin; Computational Fluid Dynamics; COVID-19;