



## **Concepção estrutural e fabricação por manufatura aditiva de estruturas para um ventilador pulmonar de baixo custo**

### **Structural conception and fabrication by additive manufacturing of an enclosure for a low cost mechanical ventilator**

**Eduardo Rebello de Paula**

[eduardopaula@alunos.utfpr.edu.br](mailto:eduardopaula@alunos.utfpr.edu.br)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

**Luciano Zart Olanyk**

[olanyk@utfpr.edu.br](mailto:olanyk@utfpr.edu.br)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

#### **RESUMO**

Devido a pandemia de COVID-19, diferentes projetos acadêmicos surgiram visando o desenvolvimento de ventiladores pulmonares, dentre eles, o VENT-U2 que foi projetado e concebido na UTFPR. Este projeto de extensão tem como objetivo, a concepção de uma estrutura (carcaça) utilizando técnicas de projeto por Manufatura Aditiva (Design For Additive Manufacturing - DFAM) e a sua fabricação pelo processo de manufatura aditiva (Additive Manufacturing – AM) por extrusão de material (Material Extrusion – ME). Esta carcaça tem como função para acomodar os sistemas embarcados desenvolvidos por colaboradores da UTFPR durante a pandemia. Como resultado, foi possível projetar e fabricar uma carcaça que atendesse as necessidades específicas deste ventilador pulmonar pelo processo de fabricação de AM, mantendo as exigências do projeto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Covid-19. Ventilador pulmonar. Manufatura aditiva (AM).

#### **ABSTRACT**

Due to the pandemic of Covid-19, distinct academic projects arise aiming to develop mechanical ventilators. Among them the VENT-U2 was designed and conceived at UTFPR. This extension project aims to conceive an enclosure using Design For Additive Manufacturing (DFAM) techniques and the fabrication of it by the Additive Manufacturing (AM) by Material Extrusion (ME). This enclosure has the function to accommodate the embedded systems that were developed by collaborators and teachers of UTFPR during the pandemic. As a result, it was possible to design and fabricate an enclosure that meets most of the specific needs of this mechanical ventilator using AM process and maintaining the requirements of the project.

**KEYWORDS:** Covid-19. Mechanical ventilator. Additive manufacturing(AM).

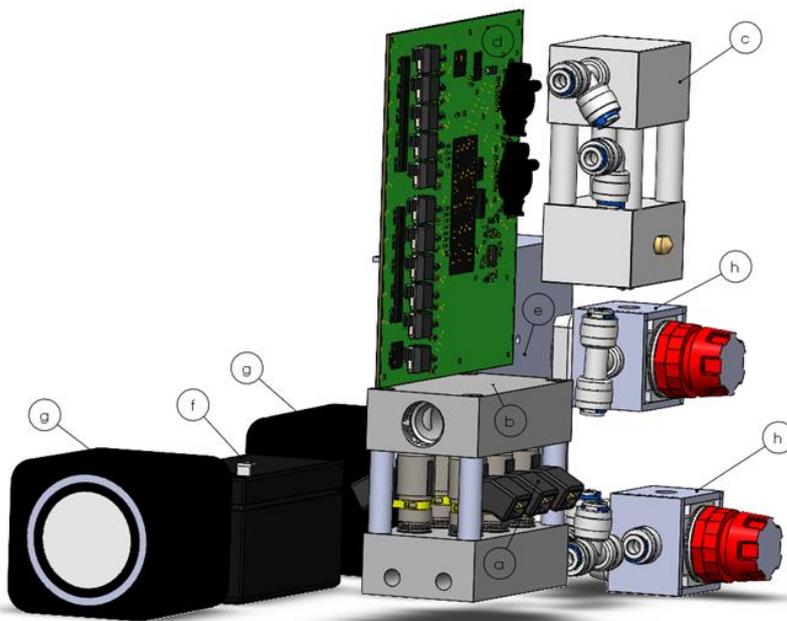


## INTRODUÇÃO

Tendo em vista as dificuldades impostas pela pandemia Covid-19, diversos profissionais de saúde, pesquisadores, professores e alunos da comunidade acadêmica se uniram com o intuito de ajudar no seu combate. Dentre estes destacam-se alunos e servidores da UTFPR, que criaram mais de 200 ações, projetos e pesquisa para combater o Corona vírus (UTFPR, 2020). Dessas ações, o ventilador pulmonar concebido na Universidade para Você (Vent-U2) (AÇÃO, 2020) é resultado do esforço conjunto de professores e alunos da UTFPR campus Curitiba e do campus Pato Branco e ainda, com a colaboração de alunos e colaboradores do Instituto Federal do Paraná de campo Largo (IFPR). O esforço de desenvolver um ventilador pulmonar (similar aos comerciais), teve como preceito, o baixo custo e o uso de peças de fácil aquisição no mercado nacional. Esse trabalho decorre da necessidade de criar e fabricar uma estrutura (carcaça) para acomodar os sistemas embarcados (pneumático, eletrônico e elétrico) em uma única estrutura. Para tanto foram utilizadas técnicas de DFAM e, para fabricação, o processo de AM por ME.

O sistema pneumático do ventilador é composto por (a) seis bicos injetores para Gás Natural Veicular (GNV), que substituem as válvulas reguladoras de pressão (geralmente utilizadas em equipamentos comerciais), (b) um manifold principal, um (c) segundo manifold para controle da válvula expiratória do sistema, tubos e conexões pneumáticas. O sistema eletrônico possui (d) uma placa de circuito impresso que contempla todos os componentes eletrônicos, sensores e microcontrolador e o sistema elétrico possui (e) uma fonte, (f) uma bateria em caso de queda de energia, (g) caixas de som e (h) reguladores de pressão, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Sistemas embarcados do VENT-U2 (pneumático, elétrico e eletrônico)



Fonte: autoria própria (2021).



Diferentemente da maioria dos ventiladores projetados por universidades durante a pandemia, o VENT-U2 não opera com Unidade Manual de Respiração Artificial (Artificial Manual Breathing Unit – AMBU), mas com um sistema similar a ventiladores pulmonares comerciais. As válvulas reguladoras de pressão têm como função, reduzir a pressão do oxigênio medicinal e do ar atmosférico (gases utilizados no respirador e que são provenientes da rede de gases do hospital). Dois sensores de alta pressão fazem a leitura da entrada desses gases no equipamento, antes da pressão ser reduzida pelos dois reguladores de pressão. Como a premissa do projeto é o uso de materiais altamente disponíveis no mercado e de baixo custo, após pesquisa por melhores alternativas, o grupo entendeu que o uso de bicos injetores para GNV e produzidos no Brasil com material inerte, seria a melhor alternativa em substituição às válvulas proporcionais, que são importadas e de custo muito elevado. Assim, para este projeto são utilizados seis bicos injetores no manifold principal, três para admissão de ar e os outros três para admissão de oxigênio medicinal. Um sétimo bico localizado em um manifold secundário, realiza o controle da válvula expiratória do sistema e um terceiro sensor de baixa pressão realiza a medição da pressão inspiratória próximo ao paciente. O microcontrolador, montado na placa controladora, em conjunto com os outros componentes eletrônicos é responsável pelo processamento. Um software monitora as pressões do sistema, comanda o funcionamento dos bicos injetores e emite os sinais sonoros quando necessário. Um monitor com tela sensível ao toque (*touch screen*) de 10,1 polegadas é utilizado como interface entre o usuário e o sistema. O sistema é alimentado por uma fonte AC-DC e contém uma bateria interna capaz de manter o funcionamento do ventilador em caso de falta de energia. Todos estes componentes precisam ser alocados em uma única estrutura (carcaça) compacta e ao mesmo tempo, resistente para uso em ambiente externo. Neste trabalho, optou-se em utilizar técnicas de DFAM para o projeto e, para a fabricação da carcaça, o processo de AM por ME.

Em se tratando de AM, o processo de elaboração de projetos pode utilizar técnicas de DFAM, que considera princípios relativos às características do processo de AM, que aproveita a facilidade de se gerar geometrias curvas complexas, anatômicas e saliências para adaptar o projeto em função de suas restrições de espaço e posicionamento de eventuais componentes externos. Além disso, o DFAM em conjunto com a fabricação por AM permite a economia de material, agilidade na correção de uma versão de projeto para outra e a obtenção de protótipos funcionais sem a complexidade de outros processos de fabricação tradicionais, como usinagem ou injeção de materiais.

O processo de fabricação por AM geralmente considera como dados de entrada, o tipo de matéria prima e a tecnologia empregada. Segundo a norma ISO/ASTM 52900:2015 a AM possui sete tipos de tecnologias, sendo a de extrusão de material (material extrusion – ME) a mais popular. A tecnologia de ME usualmente utiliza como matéria prima, polímeros como Poliacido láctico (PLA) e a Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS). A fabricação ocorre pelo aquecimento do polímero, pelo seu amolecimento e a deposição deste material em camadas. Após o resfriamento, o polímero depositado toma a forma do arquivo digital que originou o processo.

Assim como em outros processos de fabricação, a AM também necessita de prévio planejamento do processo. No caso da tecnologia de ME, o planejamento pode ser dividido em etapas, como orientação; estruturas de suporte; fatiamento e planejamento da trajetória ou preenchimento (Volpato 2017). A orientação está relacionada com as propriedades mecânicas e com o acabamento da peça a ser impressa. O sentido de impressão do objeto a ser impresso exerce grande relevância na resistência do mesmo, pois a



peça impressa pela tecnologia de ME apresenta anisotropia, ou diferentes valores de resistência mecânica em direções diferentes. A determinação das estruturas do suporte tem grande influência no que diz respeito ao custo do material e também em relação ao acabamento. Isto porque um suporte posicionado de forma inadequada, pode resultar em possíveis problemas na extração do material, danificando o elemento impresso. Finalmente o planejamento da trajetória ou preenchimento, tem grande influência na quantidade de material utilizado, ou seja, no custo e também na resistência da peça final. Como é possível observar, as diferentes etapas do processo de fabricação influenciam em características similares como resistência, acabamento e quantidade (custo) de material utilizado e, portanto, estão relacionadas. O uso das técnicas de DFAM auxilia na escolha das opções para que a fabricação de peças pelo processo de AM por ME tenha um resultado adequado.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Como a impressão 3D é realizada a partir de um arquivo digital, este projeto foi executado por meio de um software de (computer-aided design-CAD). Neste caso, optou-se pelo uso do SolidWorks para o design da carcaça e de eventuais suportes e estruturas internas do ventilador pulmonar.

O projeto baseado nas técnicas de DFAM considerou os seguintes princípios: (1) Projetar pensando de forma aditiva ao invés de subtrativa: Durante o desenvolvimento desse projeto desejou-se esboçar uma estrutura, que possuísse uma resistência mecânica satisfatória, utilizando uma menor quantidade possível de material de impressão, de maneira que o custo fosse baixo e o tempo de produção fosse otimizado; para atingir esse objetivo, foram testadas carcaças com diferentes espessuras e dimensões de encaixe. (2) Projetar considerando a orientação: Uma vez que a anisotropia se faz presente nesse processo de fabricação, a orientação tem grande influência no mesmo; logo, para a impressão da carcaça levou-se em conta, a orientação desse elemento para verificar a orientação que a resistência mecânica era mais adequada e ainda, mais econômica. (3) Considerar trajetória e preenchimento: Durante o processo de fatiamento do arquivo STL (para isso foi usado os softwares Slicer 3D e Insight para a carcaça e para o suporte da placa de circuito impresso na devida ordem), experimentou-se realizar a carcaça com diferentes níveis de preenchimento, estimando-se o benefício de um preenchimento maior (consumo elevado de material e maior tempo de fabricação) em relação à um menor preenchimento (menor consumo de material e menor tempo de fabricação); sabendo ainda que com poucas linhas de preenchimento já é possível obter-se geometrias funcionais e resistentes. (4) Projetar pensando na segmentação em peças menores: Ao final do projeto, foram examinadas diferentes possibilidades de segmentação da carcaça, devido a limitação de dimensões do volume de impressão das impressoras utilizadas. Neste sentido, também se estudou como o uso de diferentes materiais na mesma peça poderia beneficiar o projeto. (5) Inclusão de componentes externos: Tendo em vista a viabilidade de geometrias complexas, tirou-se proveito das mesmas para incluir peças que auxiliassem na fixação e na resistência mecânica. (6) Projetar pensando em superfícies críticas: Dado que, em algumas regiões do projeto, os esforços mecânicos poderiam ser maiores que em outras, foi avaliado o uso de reforços com maior quantidade de material em algumas regiões.

Para a manufatura da carcaça foi utilizada a impressora 3D 2004 Vantage 3D printer e o material para esse processo foi o ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno); em contrapartida para a impressão do suporte da placa de circuito impresso a impressora empregue foi uma Anet A8 Plus e o material utilizado foi o PLA (Poliácido láctico).

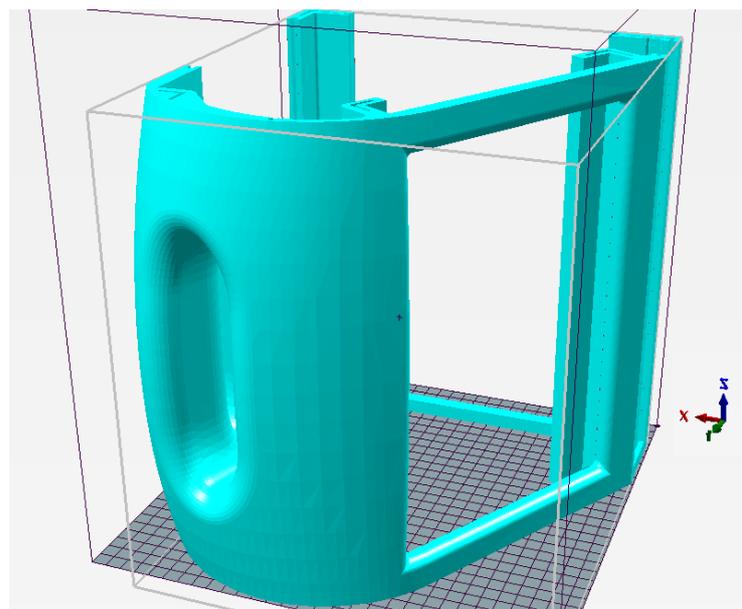
## RESULTADOS E DISCUSSÕES



Os resultados foram obtidos a partir dos princípios das técnicas de DFAM, conforme apresentados na seção materiais e métodos. Com relação ao item (1), optou-se por projetar uma carcaça de 5mm de espessura ao invés de 10mm. Esta alternativa tinha sido inicialmente pensada, porém observou-se que a espessura de 5mm atingindo uma resistência mecânica satisfatória, utilizando uma menor quantidade possível de material de impressão, de maneira que o custo fosse baixo e o tempo de produção fosse otimizado os objetivos desse item.

Em relação ao item (2), após uma análise da direção de impressão, observou-se que a mais adequada para o projeto, que evitasse o uso de material de suporte e permitisse maior resistências, seria aquela mostrada pela orientação na direção “z”, conforme mostra a Figura 2.

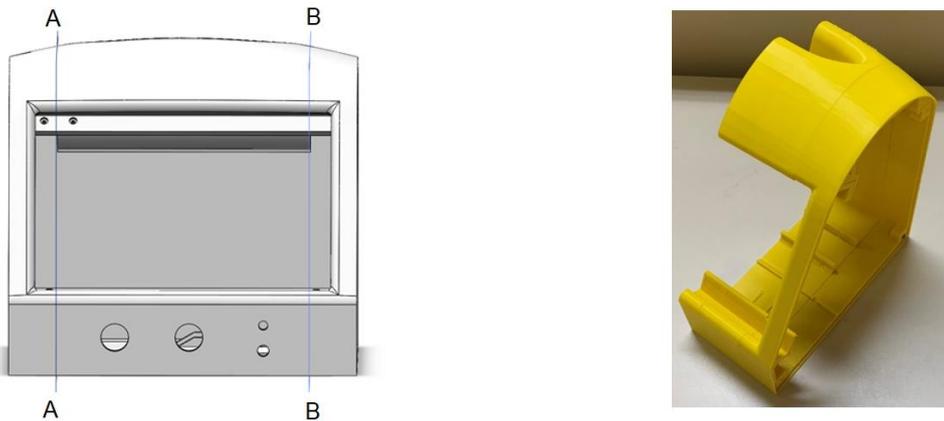
Figura 2 – Orientação da impressão da carcaça



Fonte: autoria própria (2021).

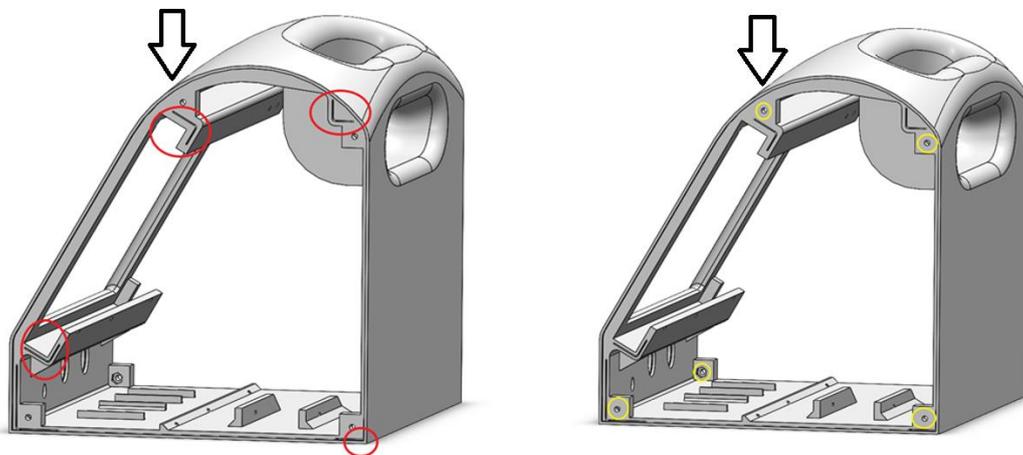
Em relação ao item (3) percebeu-se que um preenchimento ente 20 e 30% poderia se atingir geometrias funcionais resistentes e otimizando a quantidade de material utilizado. Com relação ao item (4) optou-se pela separação da carcaça em 3 partes como mostrado nas Figuras 3.a e 3.b, em que os planos (AA) e (BA) delimitam as seções. Isto foi feito de modo a diminuir o tempo de impressão e evitar o uso de material de suporte. Para a inclusão de componentes externos (item 5), foram elaboradas fendas para a inserção de cantoneiras, sinalizadas em vermelho na Figura 4.a, que amparam na sustentação da carcaça. Com respeito a fixação, foram projetados insertos para porcas M4, que serão utilizadas para fixação das laterais, de peças e suportes internos por meio de parafusos, conforme mostra a Figura 4.b. É importante citar que optou-se por mudar o posicionamento da Fonte AC-DC, resultando na economia de material, no acabamento e em um melhor aproveitamento do espaço interno da carcaça, devido ao posicionamento interno dos componentes de maneira mais conveniente. Ainda em se tratando da fixação, houve o desenvolvimento de um suporte para a placa de circuito impresso, que foi elaborado em função do posicionamento da placa de circuito impresso. Ao considerar o item (6) foram projetadas mãos francesas para aumentar a rigidez no local em que o monitor do ventilador será sustentado como mostrado na Figura 5 (sinalizado na cor roxa).

Figura 3.a (esquerda) mostra as seções (AA) e (BB) e 3.b (direita), que mostra duas partes impressas.



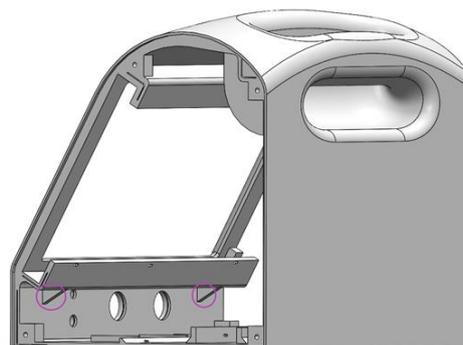
Fonte: autoria própria (2021).

Figura 4.a (esquerda) – Insertos para cantoneiras e 4.b (direita) – Insertos para porcas



Fonte: autoria própria (2021).

Figura 5 – Suporte simulando mãos francesas



Fonte: autoria própria (2021).



## CONCLUSÃO

Este projeto de extensão mostrou que é possível elaborar estrutura (carcaça) para o ventilador pulmonar projetado na UTFPR, atendendo aos requisitos do projeto em questão, por via da manufatura aditiva (Additive Manufacturing – AM), com o auxílio de técnicas de projeto por Manufatura Aditiva (Design For Additive Manufacturing - DFAM). O uso destes métodos de projeto e fabricação permitiram obter suporte para a placa de circuito interno e demais insertos para outras partes não impressas como cantoneiras e porcas para fixação de parafusos resultando em obtida uma carcaça robusta e econômica e que pudesse acondicionar todos os sistemas embarcados de forma compacta. Além disso os ventiladores mecânicos do projeto (Vent-U2) que serão fabricados e posteriormente doados, possui como intuito, auxiliar na aprendizagem de operação deste tipo de equipamento. Assim sendo, futuros médicos, médicos veterinários e profissionais da saúde em geral poderão usufruir dos ventiladores do projeto (Vent-U2) para amparar sua formação profissional, resultando em profissionais mais qualificados. Ademais, esses ventiladores que serão produzidos, abrem um leque de pesquisa de engenharia médica na UTFPR e também em outras universidades interessadas, também em relação à utilização da inteligência artificial para uma maior eficiência do equipamento bem como de modo a prever e evitar possíveis falhas nesse equipamento.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à UTFPR, todos os envolvidos nesse projeto, ao orientador Luciano Zart Olanyk e a toda equipe do NUFER.

## REFERÊNCIAS

AÇÃO, UTFPR em. VENT-U2 Ventilador Pulmonar concebido na Universidade para você. 22 mar. 2020. Disponível em: <https://acao.utfpr.edu.br/acao/13/> Acesso em: 10 set. 2021.

VOLPATO, NERI. Manufatura aditiva Tecnologias e aplicações da impressão 3D. Segunda Edição. São Paulo: Blücher, 2017.

UTFPR. Pesquisadores criam mais de 200 ações, projetos e pesquisas em combate ao coronavírus. 22 dez. 2020. Disponível em: <http://portal.utfpr.edu.br/noticias/geral/covid-19/pesquisadores-encerram-o-ano-com-mais-de-200-acoes-projetos-e-pesquisas-em-combate-ao-coronavirus>. Acesso em: 10 set. 2021.