

## **AUTOMAÇÃO DO ACIONAMENTO DE UM AMBU PARA UTILIZAÇÃO COMO RESPIRADOR EMERGENCIAL**

### **AUTOMATION OF THE ACTIVATION OF AN AMBU FOR USE AS AN EMERGENCY RESPIRATOR**

### **AUTOMATIZACIÓN DE LA ACTIVACIÓN DE UN AMBU PARA SU USO COMO RESPIRADOR DE EMERGENCIA**

José Bismark de Medeiros<sup>1</sup>  
Jadsonlee da Silva Sá<sup>2</sup>  
Edna Santiago Benta<sup>3</sup>  
Max Santana Rolemberg Farias<sup>4</sup>

#### **RESUMO**

Diante aos riscos impostos pela pandemia do Coronavirus, em todo mundo, a sociedade em geral foi desafiada a enfrentar um problema com perspectivas catastróficas e, devido a pouca experiência e conhecimento do assunto mundialmente, muitas linhas de ação foram abertas, desde abordar temas para prevenção da doença até os cuidados com pacientes infectados e em situações de extrema gravidade. Dentre essas inúmeras linhas de ação, sendo a infecção por Coronavirus, uma doença que afeta o sistema respiratório, houve uma grande demanda por respiradores artificiais, o que por um lado levou a falta desse equipamento no mercado, e por outro, a busca urgente por sistemas mecanizados capazes de ser utilizados como respiradores emergenciais, mesmo que fosse para utilização em pacientes em situações de menores gravidades para liberação dos leitos hospitalares com respiradores certificados e disponíveis em UTI. Nessa linha, vários setores da sociedade, civis, militares, empresas, inventores independentes, instituições de ensino, etc., também buscaram contribuir de alguma forma, desenvolvendo equipamentos capazes de ser utilizados como respiradores emergenciais. Neste sentido, este trabalho apresenta o desenvolvimento e construção de um protótipo testado e que mostrou-se em condições de ser produzido em quantidades suficientes para enfrentamento de

---

<sup>1</sup> Engenheiro Mecânico (UFPB). Doutor em Engenharia Mecânica (COPPE-UFRJ). Docente do Colegiado de Engenharia Mecânica da UNIVASF, Campus Juazeiro. E-mail para contato: [jose.bismark@univasf.edu.br](mailto:jose.bismark@univasf.edu.br).

<sup>2</sup> Engenheiro Elétrico (UFCEG). Doutor em Engenharia Elétrica (UFCEG). Docente do Colegiado de Engenharia da Computação, UNIVASF, Campus Juazeiro.

<sup>3</sup> Engenheira Química (UFSC). Mestre em Engenharia Química (UNICAMP). Doutora em Engenharia Mecânica (UNICAMP). Docente do Colegiado de Engenharia Mecânica, UNIVASF, Campus Juazeiro.

<sup>4</sup> Bacharel em Ciência da Computação (UNIT), Mestrado em Modelagem Computacional de Conhecimento (UFAL) e Doutorado em Ciência da Computação (UFPE). Docente do Colegiado de Engenharia de Computação, UNIVASF, Campus Juazeiro.

uma situação extrema. É apresentada uma breve revisão das propostas que, até o início deste trabalho, vinham sendo estudadas e a partir daí, a escolha de uma maneira de automatizar um AMBU (acrônimo para unidade de respiração artificial manual, do inglês, Artificial Manual Breathing Unit), dentro da realidade de fornecimento de peças e serviços pela indústria em torno da região de inserção da UNIVASF.

**Palavras-chave:** COVID-19; Respiradores Emergenciais; AMBU; Respiradores.

### **ABSTRACT**

Faced with the risks posed by the Corona Virus pandemic, everywhere in the world, society in general was challenged to face a problem with catastrophic perspectives and, due to little experience and knowledge of the subject worldwide, many lines of action have been opened, since to address topics from disease prevention to care for infected patients and in extremely serious situations. Among these countless lines of action, being Corona Virus infection, a disease that affects the respiratory system, there was a great demand for artificial respirators, which on the one hand led to the lack of this equipment on the market, and on the other, the urgent search by mechanized systems capable of being used as emergency respirators, even if it was for use in patients in situations of lower severity to release hospital beds with certified respirators available in the ICU. Along these lines, various sectors of society, civilians, military, companies, independent inventors, educational institutions, etc., also sought to contribute in some way, by developing equipment capable of being used as emergency respirators. In this sense, this work presents the development and construction of a tested prototype that proved to be capable of being produced in sufficient quantities to face an extreme situation. A brief review of the proposals is presented that, until the beginning of this work, had been studied and from there, the choice of a way to automate an AMBU (Artificial Manual Breathing Unit), within the reality of supplying parts and services by the industry around the insertion region of UNIVASF.

**Keywords:** COVID-19; Emergency Respirators; AMBU; Respirators.

### **RESUMEN**

Frente a los riesgos planteados por la pandemia del Virus Corona, en general, la sociedad en general se enfrentó a un problema con perspectivas catastróficas y, debido a la poca experiencia y conocimiento del tema en todo el mundo, se abrieron muchas líneas de acción, ya que para abordar problemas desde la prevención de enfermedades hasta la atención de pacientes infectados y en situaciones extremadamente graves. Entre estas innumerables líneas de acción, como la infección por el virus Corona, una enfermedad que afecta el sistema respiratorio, hubo una gran demanda de respiradores artificiales, lo que, por un lado, condujo a la falta de este equipo en el mercado y, por otro, la búsqueda urgente mediante sistemas mecanizados capaces de usarse como respiradores de emergencia, incluso si fuera para uso en pacientes en situaciones de menor gravedad para liberar camas de hospital con respiradores certificados y disponibles en la UCI. En este sentido, varios sectores de la sociedad, civiles, militares, empresas, inventores independientes, instituciones educativas, etc., también buscaron contribuir de alguna manera, desarrollando equipos capaces de ser utilizados como respiradores de emergencia. En

este sentido, este trabalho apresenta el desarrollo y la construcción de un prototipo probado que demostró ser capaz de producirse en cantidades suficientes para enfrentar una situación extrema. Se presenta una breve revisión de las propuestas que, hasta el inicio de este trabajo, se habían estudiado y a partir de ahí, la elección de una forma de automatizar un AMBU (acrónimo de unidad de respiración manual artificial, del inglés, Artificial Manual Breathing Unit), dentro de la realidad de suministrar repuestos y servicios por parte de la industria alrededor de la región de inserción de UNIVASF.

**Palabras clave:** COVID-19; Respiradores de emergencia; AMBU; Respiradores.

## INTRODUÇÃO

Tendo em vista a possibilidade de uma crise no sistema de saúde na região de inserção da UNIVASF, devido a pandemia causada pelo Coronavírus, com apoio da coordenação institucional de enfrentamento da pandemia, formaram-se grupos de docentes, técnicos, estudantes e voluntários para estudar, acompanhar e avaliar maneiras de minimizar os problemas de saúde da população, bem como do sistema de saúde. Dentre essas iniciativas, uma imediata por um desses grupos foi o estudo e análise de ventiladores pulmonares de emergência desenvolvidos e disponibilizados livremente em todo o mundo. Dessa forma, após a análise de protótipos tanto nacionais, UFRJ e UNICAMP ([1] e [2]) quanto internacionais [3], foi dada atenção especial aos trabalhos disponibilizadas nas referências de [4] a [9], dentre 40 iniciativas avaliadas e ranqueadas sob alguns critérios técnicos importantes, [9].

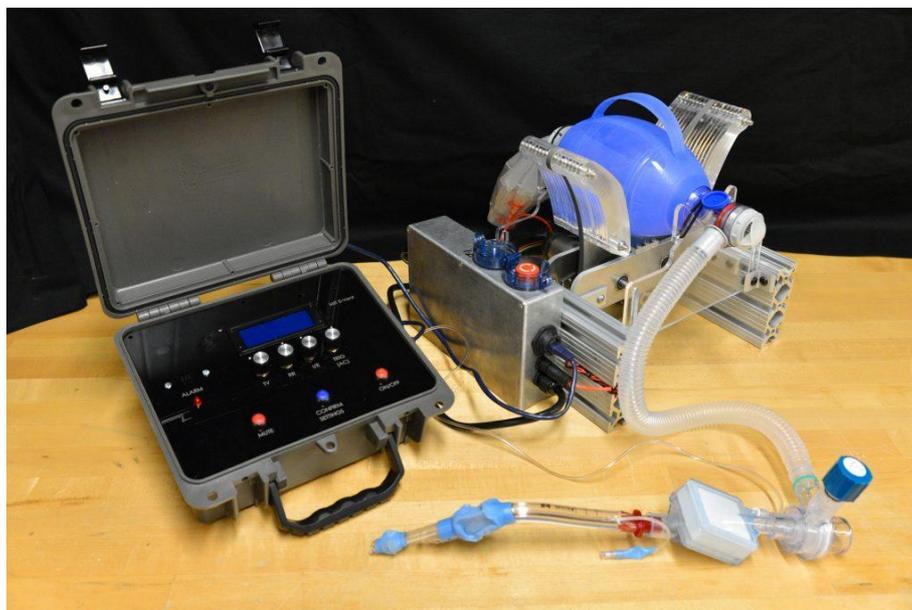
Inicialmente, o foco foi a análise da facilidade de construção e a capacidade da indústria local vir a construí-lo, caso se conseguisse chegar a um protótipo funcional. Dentre as opções estudadas, o da referência [9] - MIT Emergency Ventilator Project, foi o escolhido para um primeiro protótipo tendo em vista a disponibilização de todos os parâmetros de projeto, podendo os mesmos ser adequados a outras configurações, conforme as realidades tecnológicas de interessados. Dessa maneira, seguindo-se essa proposta, chegou-se a um protótipo que permitiu a realização de testes de funcionamento, mostrando a viabilidade construtiva do mesmo em quantidades suficientes para atender uma eventual crise.

## METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste projeto foi necessário um levantamento acerca de requisitos gerais para se garantir um produto confiável, adequado para ser utilizado em ambientes hospitalares e, principalmente, capaz de reproduzir a respiração humana dentro de uma faixa de frequência respiratória adequada.

### *Considerações Gerais*

Para construção do primeiro protótipo se seguiu o desenvolvimento apresentado na referência [9], projeto que vem sendo testado e refinando continuamente com o objetivo de aumentar a robustez dos protótipos. O conceito, apresentado em [9] e atualmente conforme a Figura 1 consiste em uma garra robótica constituída por duas alavancas (braços) que seguram um sistema de prensagem, pinças, que, acionadas por um motor elétrico, se fecham suavemente em sincronia para comprimir uma bolsa (AMBU - Artificial Manual Breathing Unit) sob a ação de um sistema de controle em malha aberta ou fechada.



**Figura 1.** Projeto do Ventilador de emergência do MIT. Fonte: Adaptado da Referência [9].

Conforme sugerido em [9], os principais requisitos de projeto mecânico devem estar intimamente ligados aos itens de 1 a 4 a seguir:

1) Cuidados com a bolsa AMBU e as mangueiras auxiliares do sistema. Esses cuidados são essenciais tendo em vista que o sistema deverá funcionar pelo menos 7 dias  $\times$  24 horas  $\times$  60 minutos  $\times$  30 bpm (respirações por minuto, do inglês, sigla para breath per minute)  $\times$  2 ciclos de tensão (compressão e descompressão) = 604.800 ciclos. Portanto, atenção especial aos mecanismos de segurar, apertar e prender a bolsa deverá ser feita, preferencialmente, de ambos os lados a fim de reduzir o risco de fadiga do material do AMBU, reduzindo sua vida útil. As pinças, portanto, também devem ser lisas e modeladas para maximizar o ar expelido sem danificar a bolsa. A bolsa deve ser apoiada com flexibilidade para permitir movimento durante a operação.

2) Operação à prova de falhas. O critério de confiabilidade de funcionamento é essencial, mas caso haja alguma falha, é importante um sistema de aviso e um profissional da saúde deve para desligar facilmente o acionamento, abrir o dispositivo manualmente, caso seja fechado, remover a bolsa e acioná-la manualmente.

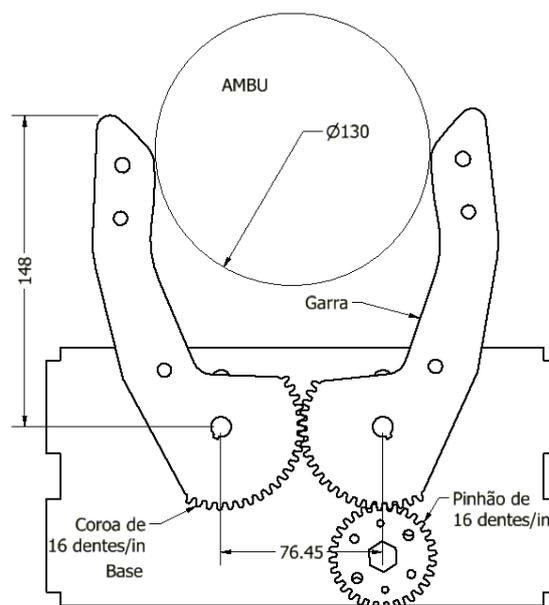
3) Projeto simples. É importante capacitar e dar suporte necessário para que outras pessoas possam fabricá-lo. Portanto, nesse tipo de iniciativa deve ser um sistema de especificação simples, de código aberto e, se possível, ser adequado às cadeias de suprimentos locais.

4) Motor de acionamento. Devem ser analisados e avaliados várias configurações de motores que possam ser encontrados no mercado local, bem como a facilidade de implementar o mecanismo de compressão do AMBU.

Com foco nos requisitos apresentados nos itens de 1 a 4, mas sem perder de vista os demais requisitos para projetos de máquinas, [10] – [12], consegue-se definir as dimensões básicas de um protótipo de forma que qualquer profissional qualificado em mecânica poderá executá-lo e ajustá-lo para se adequar aos materiais e tecnologias de fabricação disponíveis localmente. Na nossa região de inserção, por exemplo, temos acesso imediato a cortadores a

plasma, a laser e impressão 3D. No entanto, deve-se considerar que os componentes projetados também possam ser fabricados por fresadoras, tornos mecânicos, CNC, centro de usinagem, valendo a mesma observação para os elementos de união utilizados.

Conforme a Figura 2, a equipe envolvida decidiu se valer do recurso de prototipagem rápida e construir um sistema de acionamento do AMBU semelhante a do protótipo do MIT, [9], o qual utiliza engrenagens para transmissão da potência de acionamento requerida, com uma relação de transmissão de 1,6.



**Figura 2.** Diagramático do mecanismo de acionamento do AMBU. Fonte: Adaptado da Referência [9].

As duas garras ilustradas na Figura 2, utilizadas para comprimir o AMBU, têm engrenagens na parte inferior, para garantir movimento sincronizado e reduzir os efeitos da deformação do AMBU se o mesmo fosse apertado apenas por um dos lados, contra uma base fixa. Tais engrenagens, (denominadas coroas), foram construídas com passo diametral 16 dentes/pol, 48 dentes, diâmetro primitivo de 3 pol., ângulo de pressão de 14,5°, espessura de

0,25 pol. O pinhão (engrenagem condutora/solidária ao eixo do motor de acionamento), Figura 2, foi construída seguindo as condições cinemáticas essenciais para a fabricação de engrenagens, com passo diametral de 16 dentes/pol, 30 dentes, diâmetro primitivo de 1,875 pol., ângulo de pressão de  $14,5^\circ$ , 0,5 pol de espessura. Observe-se que essa maior espessura do pinhão, foi com o objetivo de acomodar o desalinhamento axial com as engrenagens dos braços, inicialmente.

A escolha do material é extremamente importante. Os protótipos foram construídos com materiais disponíveis localmente. No entanto, teve-se atenção especial à vida útil da engrenagem do braço e do pinhão de acionamento quanto à fadiga por tensão de contato e flexão nos dentes dessas engrenagens, [10] – [12], por se tratar de uma carga oscilante, com aplicação de força no curso de aperto, enquanto o curso de retorno acontece praticamente descarregado, sendo necessário a estimativa da força necessária para o acionamento.

#### *Determinação da potência requerida*

Para especificação e dimensionamento dos componentes do mecanismo de acionamento do sistema foi necessária uma estimativa da potência máxima requerida para comprimir a bolsa AMBU. Inicialmente os cálculos foram realizados usando um mecanismo de garra dupla, acionado a partir da parte inferior (coroa). Observe-se que projetos diferentes, com outros mecanismos de atuação, alteram as especificações do motor, mas a potência deve permanecer aproximadamente a mesma.

Muitos projetos que disponibilizados gratuitamente subestimam significativamente as pressões necessárias para inflar os pulmões de uma pessoa. Além disso, pacientes comprometidos com COVID-19 podem exigir perfis de movimento mais agressivos, ou seja, respirações curtas e rápidas e tempos de expiração mais longos. Especificamente, os médicos estão relatando razões I:E de 1: 4 (inspiração/respiração) em pacientes com COVID-19. Sendo assim, para fins de dimensionamento, neste projeto seguimos as recomendações da referência [9].

*Potência teórica requerida*

Independentemente do projeto mecânico da pinça, a potência necessária pode ser calculada considerando-se os maiores valores das seguintes variáveis, referência [9]:

- Pressão máxima nas vias aéreas:  $P_{airway, max} = 40 \text{ cm H}_2\text{O}$  (pressão de ruptura)
- Taxa máxima de respiração:  $RR_{max} = 40 \text{ bpm}$  (verificando)
- Proporção mínima de inspiração / expiração de 1: 4:  $I_{E_{ratio, min}} = 4$
- Volume máximo de saída:  $V_{max} = 800 \text{ cm}^3$

Sendo assim, na pior das hipóteses, o dispositivo precisa comprimir o AMBU de maneira que o ar saia a uma pressão de 40 cm H<sub>2</sub>O, em 0,3 segundos, conforme a Equação (1):

$$t_{inhale} = \frac{\frac{60}{RR_{max}}}{(1+I_{E_{ratio, min}})} \quad (1)$$

A vazão volumétrica necessária no pior cenário (pico) pode então ser calculada conforme a Equação (2):

$$Q_{airway} = \frac{V_{max}}{t_{inhale}} = 0,0027 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (2)$$

A potência (na forma de fluxo pressurizado de volume nas vias aéreas) é:

$$Power_{airway} = P_{airway, max} \times Q_{airway} = 10,46 \text{ W} \quad (3)$$

No entanto, parte da energia usada para comprimir a bolsa é perdida (deformação, atrito, etc.) sendo necessário estimar, com larga margem de tolerância, devido à segurança operacional necessária, que apenas 50% dessa potência é convertida em fluxo de volume pressurizado. Levando em consideração essa eficiência, a energia necessária na garra é:

$$Power_{gripper} = 2 \times Power_{airway} = 20,92 \text{ W} \quad (4)$$

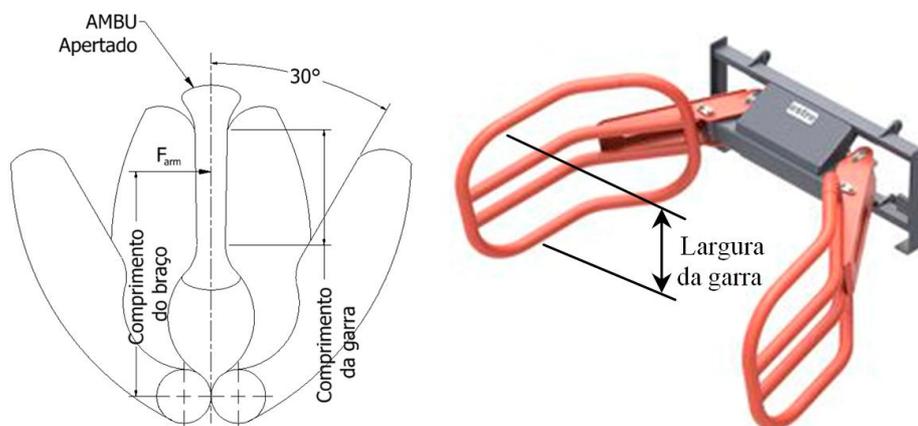
A potência real necessária do motor será ainda maior, quanto menor for à eficiência dos projetos mecânico e elétrico. Supondo que metade da potência do motor seja perdida por ineficiências mecânicas e elétricas (defeitos de montagem, atritos, dissipação térmica, etc.), a potência necessária do motor é dada por:

$$Power_{motor} = 2Power_{gripper} = 41,84 W \quad (5)$$

Na Equação (5) novamente se considera um fator de segurança alto, porém necessário, por se tratar de um equipamento onde a confiabilidade de funcionamento é um requisito importante.

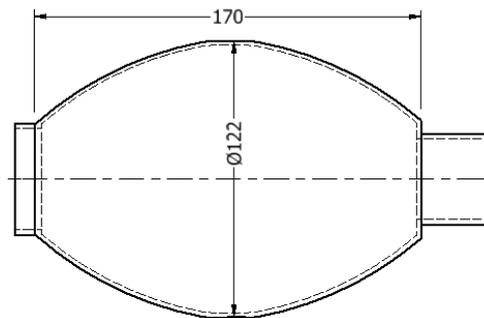
#### *Potência requerida para acionamento do mecanismo de compressão do AMBU*

Uma abordagem alternativa para calcular a potência requerida para o motor é considerando-se o diagrama apresentado na Figura 3, onde ilustra-se um mecanismo de garras de dois braços.



**Figura 3.** Diagrama esquemático de um mecanismo de garra de dois braços. Fonte: Autores.

Conforme a Figura 3, sendo possível estimar a área de contato da bolsa AMBU com as garras, o comprimento do braço da garra e o ângulo de varredura, pode-se estimar o torque necessário para o completo fechamento do mesmo. Portanto, a partir das dimensões de um AMBU comercial, conforme a Figura 4, essas dimensões podem ser estimadas considerando-se os requisitos de projeto.



**Figura 4.** Dimensões de um AMBU, em mm. Fonte: Autores.

Para configuração proposta, a área de contato máxima da bolsa com a garra  $A_{bag}$  é de 90 mm (comprimento da garra)  $\times$  115 mm (largura da garra). O braço tem comprimento,  $l_{arm}$  de 120 mm e o um ângulo de varredura é  $\alpha_{sweep} = 30^\circ$ , determinado a partir do comprimento do braço e do diâmetro do AMBU. Dessa forma, pode-se calcular a força máxima da bolsa em um braço (quando totalmente espremida), considerando-se a mesma eficiência de transmissão de pressão de 50%:

$$F_{arm} = 2A_{bag}P_{airway,max} = 81,99 N \quad (6)$$

O torque máximo necessário em cada braço é então:

$$\tau_{arm} = F_{arm}l_{arm} = 9,74 N.m \quad (7)$$

Dessa forma, a potência necessária para a garra de dois braços usando a taxa angular de varredura (em 0,3 segundo) é:

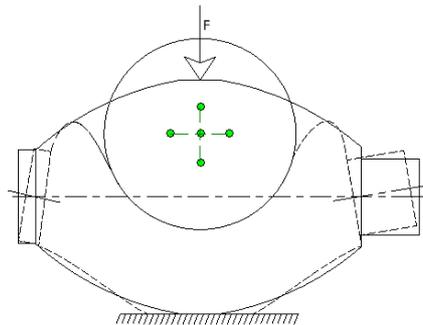
$$P_{gripper} = 2 \times \tau_{gripper}\omega_{finger} = 34,01W \quad (8)$$

Ao se considerar a mesma eficiência de 50%, para o motor e caixa de velocidades, a potência total do motor (assumindo um único motor), fica dada por:

$$P_{motor} = 2 \times P_{gripper} = 68,03W \quad (9)$$

### *Validação em bancada*

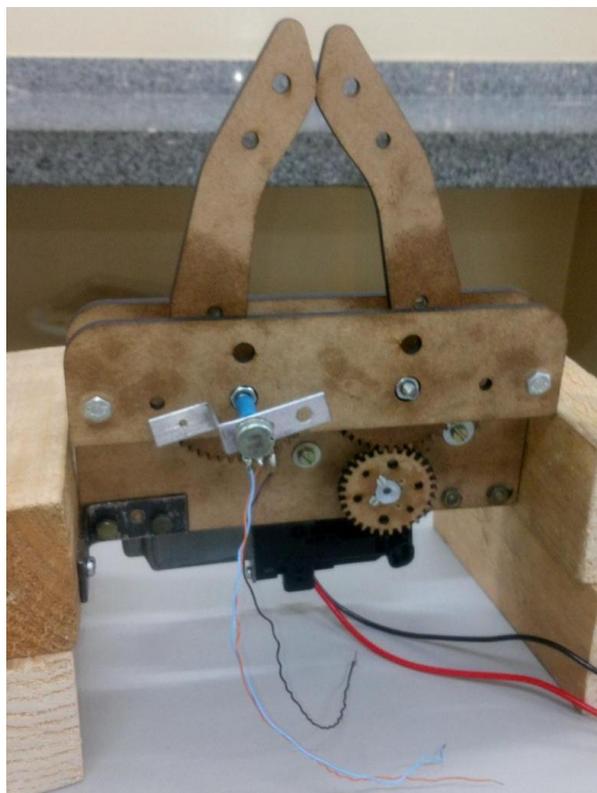
Além das estimativas realizadas utilizando-se as equações de (1) a (9), também se desenvolveu experimentos para validação desses resultados encontrados para potência do motor de acionamento. Em primeiro lugar foi colocado o AMBU sobre uma superfície plana e pesos sobre a superfície livre até o mesmo fechar completamente como na figura 5:



**Figura 5.** Verificação experimental da carga necessária para fechar o AMBU. Fonte: Autores.

A partir desses cálculos foi feita uma modelagem tridimensional do sistema do mecanismo apresentado na referência [7] e foram realizados novos testes.

Na Figura 6 temos uma fotografia de um dos primeiros protótipos construídos. Observe que o mesmo é todo em mdf, cortado a laser, mas o ponto de partida para avaliar as condições cinemáticas de funcionamento do mecanismo, as quais não serão apresentadas aqui. Portanto, foi uma prototipagem rápida para análise dimensional, interferência de peças em movimento, fixação de suportes para sensores, testes dos sensores de posição e calibração do ângulo máximo e mínimo da garra, tendências de travamentos, visão geral, etc., utilizando-se um material inadequado às condições operacionais necessárias para esses componentes do mecanismo, mas que, podendo ser cortado a laser, que proporciona rapidez e precisão na confecção das peças, permitiu avaliações essenciais em tempo curtíssimo.



**Figura 6.** Primeiro protótipo construído. Fonte: Autores.

Na figura 7, são apresentados um par de braços componentes da garra e um pinhão de acionamento, construídos em náilon utilizando-se uma impressora 3D, um pinhão de acionamento cortado a laser em mdf, um par de pinhões em náilon, usinados em tornos da oficina mecânica e um par de braços da garra em aço, cortados em plasma. Novamente cabe a observação que o emprego de alguns materiais e processos foi apenas avaliações de prototipagem rápida, para fins de avaliações dimensionais e cinemáticas.



**Figura 7.** Componentes construídos para avaliação de processos de fabricação. Fonte: Autores.

Durante os testes, também foram realizadas medições de corrente do motor para validação da potência requerida.

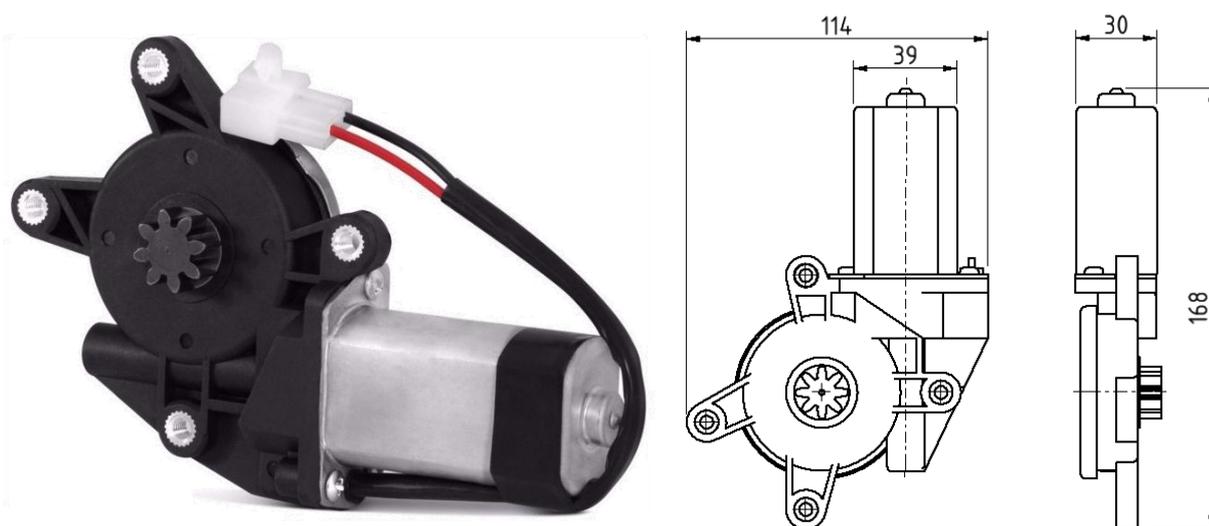
#### *Recomendação Potência mínima*

Conforme mencionado na referência [7] e também comprovado no desenvolvimento aqui apresentado, a potência mínima do motor é de aproximadamente 70 W. Portanto, uma fonte de alimentação em 12 V deve ser especificada com uma fonte mínima de 5,8 (~ 6 A). No entanto, o torque exigido do motor será uma função do comprimento dos braços e da relação de transmissão com o pinhão de acionamento. É essencial consultar as curvas do motor escolhido, e também empregar um fator de segurança.

#### *Estrutura mecânica utilizada na versão final*

Após o trabalho de construção de um protótipo referente ao da referência [7], a qual foi acionada por alguns motores disponíveis em laboratórios da UNIVASF, a equipe desenvolveu conhecimento suficiente para propor outras formas de automatizar o AMBU, utilizando-se do que se dispunha localmente, tanto em termos de materiais, quanto de fabricação e fornecimento

de peças e componentes. Feito um levantamento desses itens, percebeu-se que os motores seriam um desafio. Sendo assim, analisaram-se motores elétricos utilizados em equipamentos agrícolas e na indústria automotiva, pois estes já são construídos sob rigorosos critérios de confiabilidade e capazes de trabalhar em condições severas de ambiente. Foram analisados motores utilizados em limpadores de para-brisas e vidros elétricos veiculares, pois os mesmos têm potência e torque dentro da faixa calculada. Conforme a Figura 8 foi focada análise no motor redutor mabucchi de 12 V [13], que utiliza um motor elétrico universal, utilizado em vidros elétricos de diversos automóveis, cujas características estão apresentadas na Tabela 1.



**Figura 8.** Motor redutor 12 V, mabucchi para vidros elétricos automotivos.

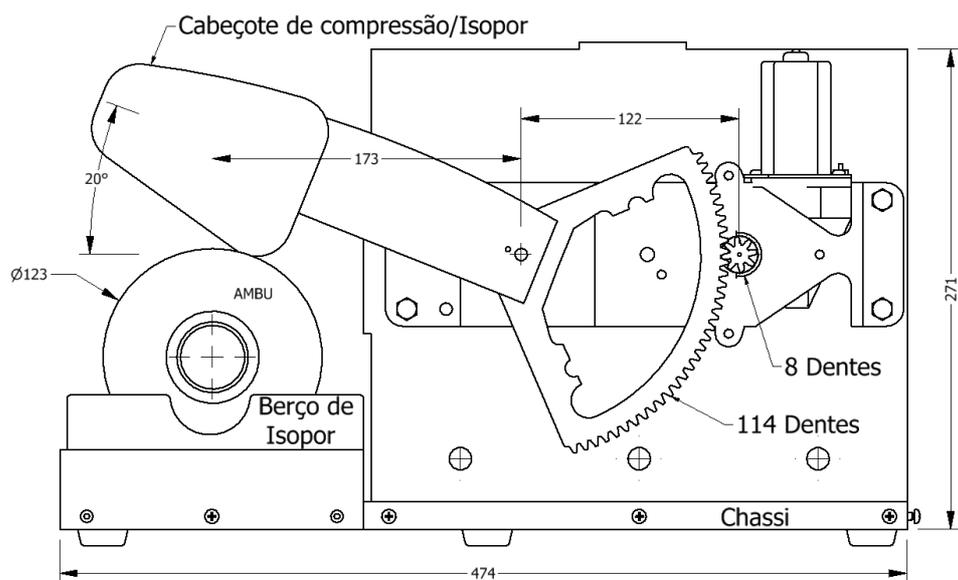
**Tabela 1.** Especificações técnicas do motor redutor 12 V, mabucchi para vidros elétricos automotivos.

Especificações técnicas	
Tensão nominal DC	12 V
Corrente Nominal	7,5 A
Velocidade nominal	65 +/- 15 rpm
Torque máximo do motor	9 Nm
Potência Nominal	90 W

As informações constantes na Tabela 1, foram medidas experimentalmente dado que, o motor novo, fornecido nas lojas de autopeças vem sem essas informações, e algumas

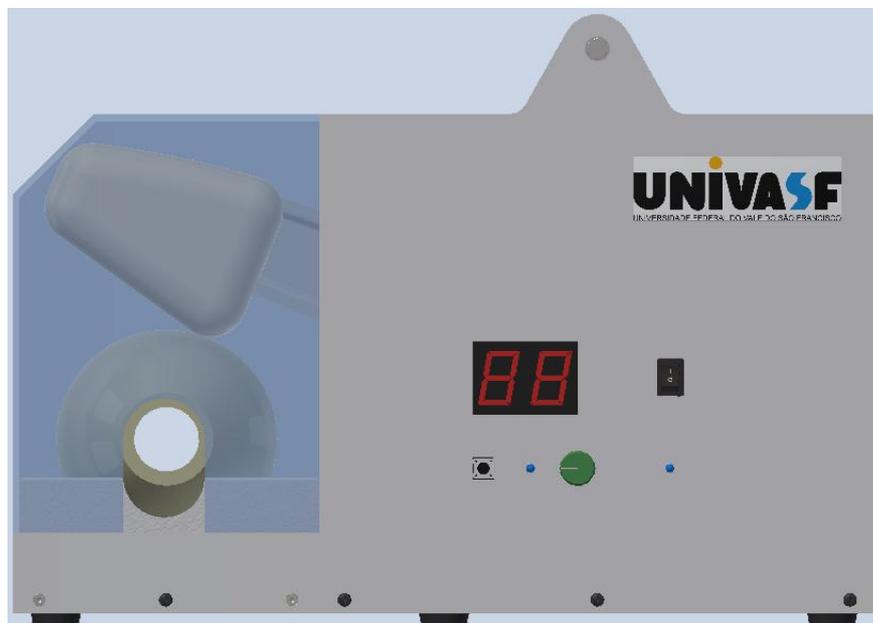
disponibilizadas na internet divergem. Continuando-se estes estudos, percebeu-se que dentro de uma perspectiva de uso em curtíssimo prazo, poder-se-ia optar pela utilização de um conjunto completo do mecanismo do vidro elétrico utilizado em alguns automóveis, ganhando-se na facilidade de construção/adequação do mecanismo a necessidade estudada, sacrificando a vida do AMBU em termos de fadiga, porque o aperto por apenas um lado impõe maiores deformações ao corpo da bolsa. No entanto, partiu-se para construção de um protótipo e testes.

Nas Figura 9, 10 e 11 é apresentado o terceiro protótipo desenvolvido e que está dimensionado/modelado para ser construído e seguir para testes em manequim.



**Figura 9.** Diagrama esquemático do terceiro protótipo construído com mecanismo de vidro elétrico automotivo. Fonte: Autores.

Na figura 9 é apresentado um diagrama esquemático do mecanismo de automatização da bolsa AMBU, mostrando as dimensões principais e a disposição dos elementos mecânicos utilizados. Na figura 10 é apresentado o modelo em CAD, utilizando o Autodesk Inventor [14], do protótipo que será construído, dando-se atenção especial ao visor da frequência respiratória e aos botões de liga e desliga e seleção da frequência respiratória desejada. Na figura 11 é apresentado uma vista em perspectiva do modelo da versão final.



**Figura 10.** Modelo em CAD da última versão do protótipo. Fonte: Autores.

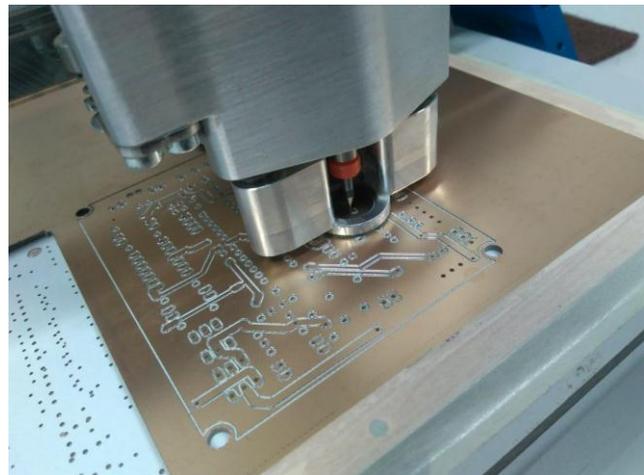
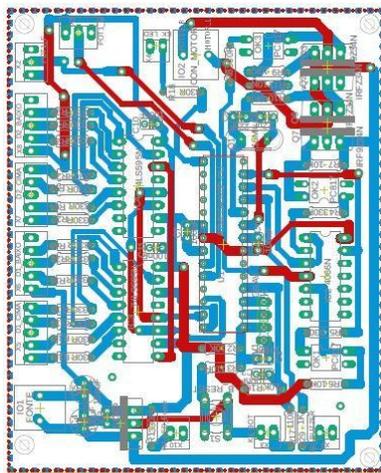


**Figura 11.** Vista em perspectiva do modelo em CAD da última versão do protótipo. Fonte: Autores.

### *Considerações do projeto eletrônico*

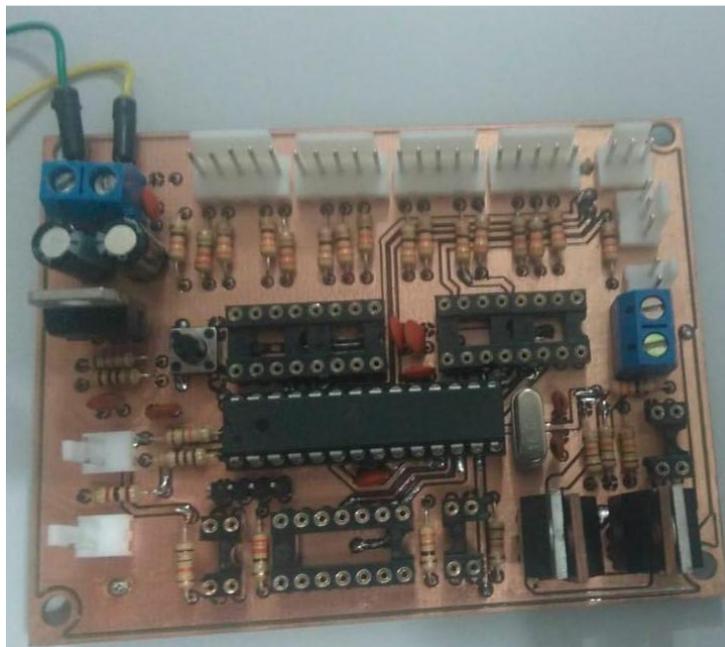
Se um por um lado, a simplificação do projeto mecânico do sistema de automatização do AMBU foi conseguida utilizando-se um mecanismo de vidro elétrico automotivo, justificado também pelo fato desses mecanismos poderem ser adquiridos de imediato e a qualquer tempo em grandes quantidades, um desafio passou a ser o desenvolvimento do sistema de controle eletrônico, capaz de identificar e se manter operando dentro do posicionamento angular desejado, Figura 9, sem perder esse posicionamento. Além disso, esse sistema precisa operar com correntes da ordem de 7,5 Ampères, conforme a Tabela 1. Esse sistema de controle foi desenvolvido utilizando-se o microcontrolador ATMEGA328P, [15]. O microcontrolador é responsável por controlar a posição e a rotação do motor, adquirir informações da posição angular do braço mecânico e atualizar a frequência respiratória por meio de dois displays de sete segmentos. A frequência respiratória é ajustada em tempo real via um potenciômetro analógico, conforme a necessidade do paciente.

A placa foi confeccionada no software Eagle [16] e prototipada na máquina CNC E33 [17], Figura 12.



**Figura 12.** Circuito eletrônico/placa construído no Eagle e prototipagem. Fonte: Autores.

A Figura 13 apresenta a placa construída, a qual será devidamente apresentada em outra oportunidade. A rotina de controle foi implementada utilizando a linguagem de programação C, no ambiente de desenvolvimento integrado ATMEL Studio 7.0, [18].



**Figura 13.** Placa construída para controle da automatização do AMBU. Fonte: Autores.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O objetivo deste trabalho foi atingido na íntegra. O desafio de especificar, projetar e construir um sistema eletromecânico capaz de automatizar um AMBU, para ser utilizado por pelo menos 7 dias ininterruptos foi alcançado, seguindo-se metas bem definidas: estudo sistematizado de projetos semelhantes em desenvolvimento; fazer a modelagem 3D em CAD de um projeto de referência e utilização de prototipagem rápida para confecção dos componentes necessários para construção de um protótipo de referência inicial em curto período de tempo. Feito isso e em paralelo estudando-se a capacidade tecnológica local para auxílio ao desenvolvimento do projeto, eliminando ao máximo a dependência de grandes centros industrializados/importações também foi analisado e assim conseguiu-se projetar algo totalmente adequado a nossa realidade.

O protótipo construído assemelha-se a outros para mesma aplicação, conforme descrito, e apesar de ter a desvantagem de submeter o AMBU a um maior carregamento dinâmico cíclico, por que as tensões e as deformações mesmo são maiores do que as sofridas pelo protótipo do MIT, por exemplo, o que pode levar a fadiga em tempo menor, a utilização de espuma e/ou isopor no mecanismo de aperto e também no berço de fixação do AMBU melhoram sua condição de trabalho. Isso aparentemente foi comprovado porque um dos testes que submetemos o protótipo, o de utilização contínua, alcançou 5 dias ininterruptos sem qualquer sinal de fadiga do AMBU ou outras peças.

Os testes foram interrompidos devido a uma falha no sensor de posição o que aparentemente já foi resolvido, mas ainda está em fase de implementação. Se conseguiu um sistema de fácil interface operacional, apenas com um botão liga-desliga, um controle de variação da frequência respiratória e um botão do tipo “press button” para confirmar. A frequência respiratória, que é um parâmetro de grande importância, também atingiu resultados satisfatório, se conseguindo variações de 10 a 30 respirações por minuto. O peso e tamanho também ficaram semelhantes às demais iniciativas analisadas. O peso ficou um pouco mais elevado, na ordem de 3,8 kg, mas deverá ser baixado na versão final. No entanto, considera-se que esta variação não tem impactos significativos sobre as pretensões do projeto. A confiabilidade e resistência tiveram peso maior e esperamos dentre em breve, construir a versão final deste protótipo e disponibilizar de forma aberta com todos os detalhes construtivos.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O desenvolvimento deste projeto foi extremamente desafiador e gratificante. Desafiador porque apesar de parecer simples, traz consigo requisitos intrínsecos de confiabilidade operacional, algo extremamente relevante para todos os ramos da engenharia. Além disso, forçou os envolvidos a buscar uma forma rápida de desenvolver um equipamento existente, mas adaptado à determinada realidade e condições regionais. De certa forma exigiu convergência rápida na escolha de soluções para os problemas que surgiram e nos forçou a prática da prototipagem rápida, evidenciando a dinâmica moderna exigida no desenvolvimento

de produtos, assim como a realidade da indústria 4.0. Também trouxe consigo a lembrança da falta de desenvolvimento de nossos próprios equipamentos médicos hospitalares tão importantes para sociedade. Por fim, mostrou a solidariedade humana expressa de maneira inequívoca, em função da observação que se teve de tantas entidades, instituições e pessoas buscando ajudar uns aos outros e a empreender esforços que nos levassem a capacidade máxima de enfrentar esse momento grave pelo qual estamos passando.

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem o apoio da UNIVASF e da Comissão de Enfrentamento à COVID-19. Agradecemos também ao HU UNIVASF, a EBSERV, a TV Caatinga, a TV Grande Rio, ao Laboratório de Usinagem CENMEC/UNIVASF e ao Laboratório de Hardware COMP/UNIVASF. Agradecemos as contribuições de várias empresas da região que se disponibilizaram a construir peças e fornecer componentes (Sucatão Moraes, Frutimak Petrolina, FabVale - Fabricação digital, Cabral Store, Thermovalle Telhas Térmicas, entre outras). Agradecemos a vários profissionais, professores, técnicos, ex-alunos, que participaram ativamente da construção dos protótipos. Especialmente ao engenheiro mecânico, ex-aluno da UNIVASF e hoje servidor da prefeitura de Juazero/BA, Herberth Pionório Vilaronga, ao prof. Anderson Armstrong (Médico), ao prof. Prof. Itamar Santos (Médico), a profa Karen Ruggeri Saad, ao Prof. Rômulo Câmara, ao fisioterapeuta Fabrício Olinda (EBSERV), ao técnico em mecânica Francimário Nésio, ao técnico em eletrônica Wêdson Pereira da Silva, e tantos outros que contribuíram no desenvolvimento deste projeto. Pedimos desculpas aos que não citamos.

### **REFERÊNCIAS**

[1] **Ventilador Pulmonar (VExCO) para o COVID-19 da UFRJ**. Disponível em: <https://sites.google.com/peb.ufrj.br/ventiladorcoppe/projeto>. Acesso em: 2 jul. 2020.

[2] **INSPIRE - Ventilador Pulmonar Aberto de Baixo Custo**. Disponível em: <https://www.poli.usp.br/inspire>. Acesso em: 27 jun. 2020.

[3] **Analysis of Open Source COVID-19 Pandemic Ventilator Projects**. Disponível em: <https://docs.google.com/spreadsheets/u/1/d/e/2PACX-1vTYAfldxoliO46VAWH1NlhrwFBn9mguqS2bh1spnLEu4AVVN1cj1vaEm6vOp5Z6U>

naAbUwd8dslCXdM/pubhtml. Acesso em 13 jul. 2020.

[4] **MEDTRONIC**. Disponível em: <http://newsroom.medtronic.com/news-releases/news-release-details/medtronic-shares-ventilation-design-specifications-accelerate>. Acesso em: 10 jun. 2020.

[5] **AMBOVENT**. Disponível em: <https://members.smoove.io//view.ashx?message=h44700034O122368750O219654O122299192&r=1009>. Acesso em: 19 jun. 2020.

[6] **M.U.R – Minimal Universal Respirator**. Disponível em: <https://www.mur-project.org/>. Acesso em: 07 jun. 2020.

[7] **APOLLO BVM - Emergency Use Ventilator Automated Bag Valve Mask**. Disponível em: <http://oedk.rice.edu/apollobvm/>. Acesso em: 14 jun. 2020.

[8] **COVID-19 Rapid Manufacture Ventilator BVM Ambubag**. Disponível em: <https://www.instructables.com/id/COVID-19-Rapid-Manufacture-Ventilator-BVM-Ambubag/>. Acesso em: 10 jun. 2020.

[9] **MIT Emergency Ventilator (E-Vent) Project**. Disponível em: <https://e-vent.mit.edu/>. Acesso em: 13 jul. 2020.

[10] NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas – uma abordagem integrada**. 2. ed. Editora Bookman: Porto Alegre, 2004.

[11] SHIGLEY, J. E., MISCHKE, C. R., BUDYNAS, R. G., **Projeto de Engenharia Mecânica**. 7. ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2005.

[12] BUDYNAS, R.; NISBETT, K. **Elementos de Máquinas de Shigley**: projeto de engenharia mecânica. 8. ed. Porto alagre: AMGH, 2011.

[13] **Mabuchi Motor**. Disponível em: <https://www.mabuchi-motor.com/>. Acesso em: 5 jul. 2020.

[14] **Autodesk Inventor**. Disponível em: <https://www.autodesk.com.br/>. Acesso em: 7 jul. 2020.

[15] **MICROCHIP**. ATMEGA328P. Disponível em: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/atmega328p>. Acesso em :13 jul. 2020.

[16] **AUTODESK**. EAGLE. Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/eagle>. Acesso em: 13 jul. 2020.

[17] **LPKF**. Protomat E33. Disponível em:  
[https://www.lpkfusa.com/products/pcb\\_prototyping](https://www.lpkfusa.com/products/pcb_prototyping). Acesso em: 13 jul. 2020.

[18] **MICROCHIP**. ATMEL Studio. Disponível em:  
<https://www.microchip.com/mplab/avr-support/atmel-studio-7>. Acesso em: 13 jul. 2020.

**Artigo recebido em** 13 de julho de 2020.

**Artigo aprovado em** 16 de dezembro de 2021.