

DESENVOLVIMENTO, FABRICAÇÃO E TESTE DE UM PROTETOR FACIAL FABRICADO POR MANUFATURA ADITIVA

Alex Ferreira de Lima

Joyce Ingrid Venceslau de Souto

Universidade Federal de Campina Grande, R. Aprígio Veloso, 882, Universitário, Campina Grande – PB
alexferreira.labem@gmail.com, joyceingrid.cg@gmail.com

Vanderlino Barbosa Sena Júnior

Phaser Studio 3D Print, R. Emílio Rosendo da Silva, 115 - Sala 08 - Novo Bodocongó, Campina Grande – PB
junior.sena@phaserstudio3d.com

Wanderley Ferreira De Amorim Júnior

Universidade Federal de Campina Grande, R. Aprígio Veloso, 882, Universitário, Campina Grande – PB
engenhariabrasileira1@gmail.com

Resumo: A fim de prevenir a contaminação pelo novo corona-vírus (Covid-19), a Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda o uso de protetores faciais ou faceshields que ajudam a impedir a propagação da doença, ganhando popularidade, ao mesmo tempo que se tornou uma nova linha de investimento para a comunidade em geral. Partindo do modelo de código aberto proposto por Joseph Prusa, fundador da empresa de impressoras 3D 'PRUSA', iniciou-se a sua impressão imediata do modelo e doação dos objetos para os profissionais da área e trabalhadores que estavam diretamente ligados ao combate do Covid-19. Obteve-se um feedback de qualidade do produto, depois de alguns dias e mais de 200 protetores impressos e distribuídos, e a principal reclamação foi o desconforto gerado pelo equipamento de proteção depois de poucas horas de uso. Sendo assim, o objetivo do presente trabalho é o desenvolvimento, fabricação e teste de um novo modelo de protetor facial, fabricado a partir de Manufatura Aditiva, utilizando a tecnologia FDM (Fused Deposition Modeling). Para esse novo modelo, buscou-se satisfazer as necessidades da coletividade brasileira, adotando um limite de confiança de 95% para a análise ergonômica do conceito. Objetivando cumprir isso, foi realizado um estudo na literatura científica e, a partir dos resultados dos índices cefálicos, iniciou-se o desenvolvimento de um modelo mais confortável, cumprindo requisitos de flexibilidade, resistência e conforto. Frente a isso, e depois de diversas reuniões internas com todos os colaboradores da equipe, chegou-se numa concepção de projeto, que se deu a partir da modelagem e fabricação de 3 modelos semelhantes, com variações na quantidade de material e tempo de impressão, sendo este o último critério de escolha dentre os fatores para decisão do modelo final. Ao final da fabricação, foi gerado um manual de montagem e utilização que foi entregue ao cliente, com o objetivo de instruir o usuário para utilização correta do aparato. O modelo final foi testado e aprovado, sem reclamações quanto o conforto, durabilidade, facilidade de higienização, substituição de componente e design.

Palavras-chave: protetor facial; manufatura aditiva; Fused Deposition Modeling; análise ergonômica; índice cefálico

1. INTRODUÇÃO

O coronavírus (COVID-19) é uma doença infecciosa causada pelo vírus SARS-CoV-2. O COVID-19 afeta pessoas diferentes de maneiras diferentes, mas dentre os sintomas mais comuns, destacam-se: febre, tosse, cansaço, perda de paladar ou olfato. As pessoas infectadas com o vírus podem apresentar a doença respiratória de forma leve a moderada, e seus casos mais graves exigem tratamento médico específico, e qualquer pessoa, independente de idade ou de apresentar condições médicas subjacentes, pode apresentar o quadro grave da doença e, em decorrência dela, vir a óbito ("Coronavirus disease (COVID-19)", 2023). Dados coletados em 28 de fevereiro de 2023, de acordo como reportado pelo periódico *Our World in Data* (MATHIEU, RITCHIE, et al., 2020), foram confirmados 675057913 casos e 6870547 mortes de COVID-19 no mundo ("Coronavírus (COVID-19)", 2022). Para prevenir a infecção e retardar a transmissão do COVID-19, a Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda seguir uma série de instruções, dentre elas: ser vacinado assim que possível tendo em vista o grupo etário, profissão, e condição imunológica; respeitar o distanciamento social e o uso adequado de máscaras ("Coronavirus disease (COVID-19)", 2023).

Nesse contexto, é importante ressaltar outro conceito fundamental no combate a atual pandemia, que é a biossegurança. Conceitua-se como sendo um conjunto de procedimentos, ações, técnicas, metodologias, equipamentos e dispositivos capazes de eliminar ou minimizar riscos inerentes às atividades de pesquisa, produção, ensino, desenvolvimento tecnológico e prestação de serviços, que podem comprometer a saúde do homem, dos animais, do meio ambiente ou a qualidade dos trabalhos desenvolvidos (CIBio, 2020). Assim, as normas de biossegurança englobam todas

as medidas que visam evitar riscos físicos, ergonômicos, químicos, biológicos e psicológicos, sendo um processo funcional e operacional de fundamental importância em serviços de saúde. São abordadas medidas de controle de infecção para proteção da equipe de assistência e usuários em saúde, e tem um papel essencial na promoção da consciência sanitária na comunidade onde atua (Patrício, Martins, *et al.*, 2012). Diante desses fatos, existe a necessidade de que os ambientes clínicos e hospitalares, sob o ponto de vista das instalações, da capacitação dos recursos humanos e da dinâmica de trabalho, estejam perfeitamente adequados e permitam a eliminação ou minimização desses riscos para o trabalhador e para o ambiente.

Sendo assim, de acordo com a experiência chinesa, o equipamento de proteção individual (EPI) para médicos inclui máscaras, roupas de proteção, luvas descartáveis, óculos e protetores faciais. A proteção dos olhos e rosto é muito importante, visto que esta mantém a grande maioria das gotículas potencialmente infecciosas a uma distância física razoável e oferece proteção localmente aprimorada (Huang, Yang, *et al.*, 2021). No entanto, é inconveniente e desconfortável para a equipe médica, e comunidade em geral, usar protetores faciais e óculos de proteção tradicionais simultaneamente (especialmente por longos períodos), devido ao peso extra da armação do protetor facial e pelo incômodo ergonômico advindo de acomodação inadequada e presença de suor/umidade.

Com a pandemia do SARS-COV-2, houve uma demanda de forma urgente e em grande quantidade por EPIs (especificamente para equipamentos de proteção facial), de forma que os protetores faciais produzidos comercialmente não poderiam ser fornecidos a tempo considerando os tempos de manufatura e envio (Celik, Kose, *et al.*, 2020). Por outro lado, em muitos casos, instituições educacionais e governamentais, organizações comerciais e não comerciais e fabricantes domésticos/individuais produziram máscaras de proteção facial através da Manufatura Aditiva (MA) para projetos de protótipos originais, sendo esta uma forma de prototipagem rápida, visando a doação desses itens para os setores públicos de saúde e usuários de maneira geral.

Vários projetos conceituais para produtos de proteção facial gerados pela MA para prototipagem rápida foram introduzidos, além dos já existentes comercialmente. No entanto, a maioria desses produtos não foi cuidadosamente projetada com a devida consideração aos princípios de *design* de produtos profissionais e ergonômicos e às abordagens de *design* para MA, o que resultou em muitas experiências negativas e desconfortáveis com o equipamento médico em questão. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é desenvolver, fabricar e testar um protetor facial (*faceshield*), partindo de um modelo comercial utilizado mundialmente, manufaturar os novos modelos projetados através da tecnologia FDM da MA e testar o item, recebendo o feedback dos segmentos de clientes consumidores. Especificamente, o *design* do novo modelo de *faceshield* foi desenvolvido a partir de uma análise antropométrica dos brasileiros, para promover melhor ergonomia no uso desse dispositivo médico.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A crise sanitária global desencadeada pelo novo coronavírus (Covid-19) instituiu um novo acessório no dia a dia da população: a fim de prevenir a contaminação, a Organização Mundial da Saúde (OMS) passou a recomendar o uso de máscaras de proteção que ajudam a impedir a propagação da doença. Antes conhecidos apenas como equipamentos utilizados pelos profissionais da área de saúde, os protetores faciais ou *faceshields* ganharam popularidade devido à pandemia (“Maquetaria do Curso de Arquitetura e Urbanismo da UCPel: fabricação digital de EPI’s no combate à COVID-19.”, 2020).

A Manufatura Aditiva (MA), ou impressão 3D, é um processo de fabricação que consiste em obter um objeto tridimensional a partir do qual camadas sucessivas de material são colocadas sob comandos de controle de computador. A produção de modelos 3D tem grande faixa de complexidade geométrica e tamanho (Singh, Ashok Kumar, *et al.*, 2020). O uso da tecnologia de impressão 3D com equipamento relativamente profissional (marcas registradas) e Fabricantes de Equipamentos Originais (OEM) de fácil acesso tornou-se muito popular e é produtiva o suficiente para atender a demanda emergencial de EPIs durante a pandemia do corona vírus (Celik, Kose, *et al.*, 2020). Em especial, a tecnologia FDM de MA é a que mais se destacou para cumprir as demandas de mercado que surgiram nesse período de recessão. A tecnologia FDM (*Fused Deposition Modeling*) foi desenvolvida pela Stratasys e, neste processo, um material de plástico é extrudado através de um bico que traça a geometria da seção transversal das peças, camada por camada. O insumo de fabricação é majoritariamente fornecido na forma de filamento, mas algumas configurações de máquinas utilizam *pellets* de plástico alimentados por um funil. Somado a isso, o bico extrusor contém aquecedores resistivos que mantêm o plástico a uma temperatura acima de seu ponto de fusão, para que ele escoe facilmente pelo bocal e forme a camada eficientemente. O plástico endurece quase imediatamente após fluir do bico e se liga à camada abaixo. Depois que uma camada é formada sobre a mesa de impressão, a plataforma abaixa, ou o bico extrusor sobe, e o bico de extrusão deposita outra camada (Singh, Ashok Kumar, *et al.*, 2020).

Inicialmente, a ideia surgiu com base no projeto público da máscara, desenvolvido pelo fundador da empresa de impressoras 3D ‘PRUSA’. Joseph Prusa disponibilizou gratuitamente para *download* uma versão simplificada do *faceshield* em um site da companhia dele (“Pesquisadores desenvolvem máscaras de proteção em impressoras 3D”, 2020). Conceitualmente, um produto de proteção facial possui recursos de *design* estrutural e funcional simples, que consistem em dois componentes principais: a estrutura (à base de material metálico ou polimérico) e a proteção transparente da viseira (principalmente à base de material polimérico). Ademais, também podem ser incluídos componentes adicionais,

como faixas elásticas (suporte da cabeça da armação), materiais amaciadores de contato facial (esponja, espuma, borracha etc.) e cliques para fixação da proteção transparente à armação (Celik, Kose, *et al.*, 2020).

Para desenvolver um modelo que promovesse melhor conforto ao uso por tempo prolongado, foi necessária uma análise antropométrica. A antropometria, segundo Pheasant (2003), é um ramo da antropologia que lida com as medidas do corpo, particularmente com as medidas do tamanho e a forma. A importância das medidas antropométricas ganhou especial interesse na década de 1940, provocada de um lado pela necessidade da produção em massa, pois um produto mal dimensionado pode provocar o incremento dos custos e, por outro lado, devido ao surgimento dos sistemas de trabalho complexos onde o desempenho humano é crítico e o desenvolvimento desses sistemas depende das dimensões antropométricas dos seus operadores (Rodriguez-Añez, 2001). O conhecimento da forma da cabeça humana é uma informação essencial para uma variedade de campos, incluindo *design*, medicina, antropometria, entre outros (Catapan Ab, Okimoto, *et al.*, 2014).

Por outro lado, segundo Iida (2005), alguns produtos atualmente produzidos em determinados países, são comercializados em todo o mundo, como por exemplo, aviões, computadores, televisores, armas, carros e outros, que possuem padrões praticamente mundiais. Em termos de alianças militares como a Organização do Tratado do Atlântico Norte - OTAN - e o Pacto de Varsóvia exigiam certa padronização internacional dos produtos militares, com diversas implicações para a indústria em geral (Catapan Ab, Okimoto, *et al.*, 2014). Frente a isso, segundo Silva *et al.* (2006), o levantamento antropométrico de uma determinada população é uma ferramenta importante nos estudos ergonômicos, porque fornece subsídios para dimensionar e avaliar máquinas, equipamentos, ferramentas e postos de trabalho. Ainda assim, é necessário realizar sua adequação às características antropométricas dos usuários - em critérios ergonômicos adequados, para que a atividade exercida não se torne fator de desconforto e prejuízos à saúde. A principal variável que influencia a análise antropométrica é o índice cefálico do ser humano, apresentando um gradiente relativamente elevado de valores, que assumem a seguinte classificação: dolicocefalos (de cabeças estreitas ou longas), cujo índice cefálico varia entre 70 e 74,9; mesocéfalos (de cabeças intermediárias), cujo índice varia entre 75,0 e 79,9; braquicefalos (de cabeças arredondadas), cujo índice varia entre 80 e 84,9; e hiperbraquicefalos (de cabeças muito arredondadas), cujo índice é maior que 85. No contexto do desenvolvimento do protetor facial desenvolvido pela Prusa, foi realizada uma pesquisa acerca das medidas antropométricas da cabeça dos norte-americanos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Concepção inicial

Partindo da proposta inicial, desenvolvida pela Prusa, iniciou-se a manufatura e distribuição imediata do modelo (Figura 1) pela Phaser Studio 3D, em ações de doação para os profissionais da área e trabalhadores que estavam diretamente ligados ao combate do Covid-19.



Figura 1. Protetor facial modelo da Prusa (“Prusa Face Shield”, 2020)

Depois de alguns dias, sendo impressos e distribuídos mais de 200 protetores, foi possível realizar uma pesquisa de opinião com o público usuário do protetor facial, para que, a partir dele, a equipe de projeto pudesse extrair pontos de melhoria para o projeto. Após o uso em longa duração do protetor, os profissionais da saúde puderam elaborar um feedback valioso para a empresa que foi, contudo, negativo para a maioria dos entrevistados. A principal reclamação foi o desconforto gerado pelo equipamento de proteção depois de poucas horas de uso, sob a alegação recorrente da pressão exagerada na região superior frontal da cabeça do usuário. Sendo assim, foi necessário um estudo antropométrico para justificar um processo de modelagem 3D e fabricação de um novo modelo de protetor facial.

3.2. Estudo antropométrico

Visando melhor atender ao público-alvo brasileiro, foi necessário conhecer também as medidas antropométricas dos brasileiros, analogamente ao que a empresa Prusa desenvolveu para a modelagem do seu protetor facial. Para isso, partiu-se do estudo realizado por Alves (2012) que descreveu que, no Brasil, ainda não existiam estudos que definiam o perfil antropométrico da cabeça dos brasileiros, dificultando o desenvolvimento de projetos ergonômicos, a exemplo da adaptação dos militares das Forças Armadas brasileiras quanto ao uso de capacetes de proteção, que são confeccionados com medidas baseadas em perfis antropométricos de outros países, acarretando grande desconforto para seus usuários. Nesse estudo, foi levantada a medição da cabeça de 286 mulheres e 290 homens, sendo todos discentes da Escola de Especialistas de Aeronáutica (EEAR), localizada na cidade de Guaratinguetá (SP), cuja população é composta de pessoas de todas as regiões do Brasil. A caracterização amostral se deu pela idade, massa corporal total (peso) e estatura, cujo resultado se encontra na Tabela 1.

Tabela 1. Resultado das medidas da caracterização amostral, por gênero (Alves, 2012)

Estatística/ Variáveis	Gênero	Resultados		Média	Desvio Padrão
		Mínimo	Máximo		
Idade (anos)	Feminino	17	25	20,84	±1,90
	Masculino	17	36	22,72	±3,16
Peso (kg)	Feminino	45	84	58,11	±6,93
	Masculino	53	110	72,66	±8,76
Estatura (cm)	Feminino	155	185	164	± 5
	Masculino	160	195	176	± 6

A partir da caracterização das amostras, foram realizadas as medidas antropométricas da cabeça, em relação à Largura (largura da cabeça, de frente), Comprimento (largura da cabeça, de perfil) e Índice Cefálico (Equação 1).

$$\text{Índice Encefálico} = \frac{\text{diâmetro transverso} (x 100)}{\text{diâmetro ântero-posterior}} \quad (1)$$

Como não é possível projetar espaços de trabalho que atendam as pessoas em condições anatômicas de extremidade, na ergonomia, trabalha-se com um limite de confiança de 95% de modo a satisfazer as necessidades da grande maioria da coletividade. Com isso, a partir dos valores médios dos resultados de Alves (2012) e das pesquisas norte-americanas de Iida (2005) e Grandjean (1998), em relação à largura e ao comprimento, utilizou-se a Eq. (1) do índice cefálico, para obter os resultados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados dos índices cefálicos dos brasileiros e norte-americanos (Adaptado de Alves, 2012)

Pesquisa/Gênero	Resultados da pesquisa americana		Resultados da pesquisa de (Alves, 2012)	
	Feminino	Masculino	Feminino	Masculino
Largura (cm)	14,4	15,2	15,02	15,65
Comprimento (cm)	18,7	19,7	19,12	19,75
Índice Encefálico	77,0	77,15	78,55	79,24

Nota-se que os resultados apresentados para o valor do índice cefálico na pesquisa americana são menores em ambos os gêneros que os resultados apresentados na pesquisa realizada por Alves (2012), demonstrando que a amostra pesquisada no Brasil tem a relação largura/comprimento maior que a amostra da pesquisa americana e que os profissionais da saúde entrevistados pela Phaser estão em conformidade com a média brasileira.

3.3. Modelagem do protetor facial

A partir dos resultados do estudo antropométrico, descritos por Alves (2012) com contribuições de outros autores, além de inúmeras reuniões internas com todos os colaboradores da Phaser, iniciou-se o desenvolvimento de um modelo mais confortável que pudesse atender ao público brasileiro. Para o projeto conceitual do protetor facial, utilizou-se o software CAD Autodesk Inventor para realização da modelagem 3D. Com relação a modelagem do protetor facial, houve um processo iterativo de evolução do modelo conceitual à medida que testes exploratórios foram feitos com o *faceshield*, seja na etapa de fatiamento 3D, para verificação de tempo de impressão e quantidade de filamento gasto, seja com o modelo de protetor facial fabricado e utilizado internamente pela equipe da Phaser, criando novos feedbacks para modificações no modelo projetado.

3.4. Manufatura do protetor facial

Para o processo de MA, optou-se pela tecnologia FDM (*Fused Deposition Modeling*) e a fabricação dos componentes definidos dos modelos conceituais foi feita através da impressora 3D modelo GTMax3D Core A3, com mesa de impressão de área 900 cm², utilizando o bico padrão da máquina, com 0,5 mm de diâmetro, e filamento ABS do fabricante 3D Fila, cor natural marfim, com 1,75 mm de diâmetro. Vale ressaltar que as escolhas referentes ao modelo de impressora 3D e o filamento (cor e fabricante) tiveram como justificativa, principalmente, as impressoras com maior quantidade de exemplares na empresa, de forma que a produção em escala pudesse ser melhor planejada e, de forma análoga, a cor e fabricante de filamento foi escolhido por ter maior quantidade em estoque e, dessa forma, conseguir realizar toda a fase de fabricação e testes dos diferentes modelos a partir de um único material já que entende-se que cores de um determinado filamento para impressão 3D de diferentes fabricantes podem sofrer variações grosseiras de propriedades físicas e mecânicas.

Destaca-se que detalhes específicos de fabricação da viseira transparente e do elástico ajustável não fazem parte do escopo do presente estudo, de forma que a análise foi enfatizada apenas aos componentes fabricados por MA. Para a etapa de fatiamento 3D, utilizou-se do software Ultimaker Cura, aplicando os parâmetros mostrados na Tab. 3.

Tabela 3. Parâmetros do Fatiamento 3D (Autoria própria, 2023)

Velocidade de impressão (mm/s)	120
Altura de Camada (mm)	0,30
Preenchimento (%)	100
Padrão de Preenchimento	Retilíneo
Temperatura do extrusor (°C)	235
Temperatura da mesa (°C)	110

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Projeto conceitual do protetor facial

Destaca-se que o primeiro avanço, em relação ao modelo de referência – o da Prusa – foi separar o protetor facial em duas partes: uma parte externa (Lado A), na qual é fixada a viseira transparente; e uma parte interna (Lado B), na qual seria fixado o elástico de ajuste na cabeça. Este procedimento objetivou otimizar o processo de manufatura dos protetores, garantir sua flexibilidade mecânica e melhor acomodação na cabeça dos usuários. Dessa forma, a primeira concepção para o protetor facial foi dada de acordo com a Figura 2.

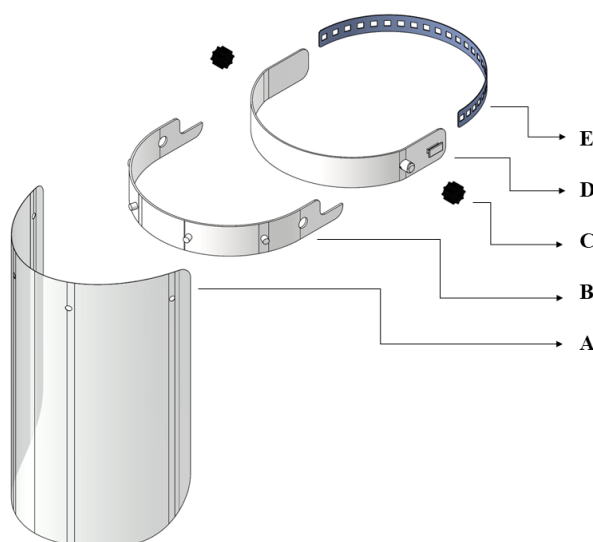


Figura 2. Primeira concepção (Modelo 1) para o protetor facial da Phaser Studio 3D. A: Viseira transparente, B: Estrutura principal (Lado A), C: Porca borboleta, D: Estrutura secundária (Lado B) e E: Elástico ajustável (Autoria própria, 2023)

O Modelo 1 consta das partes já citadas anteriormente, sendo elas a viseira transparente, sendo montada na estrutura principal do protetor facial (Lado A), através de pinos. A estrutura principal é, então, acoplada à estrutura secundária (Lado B) através de pinos e porcas borboleta, cujo fim seria permitir a estrutura principal ser rotacionada, juntamente a

viseira, para permitir que o usuário pudesse exercer algumas atividades, como alimentação, por exemplo, sem a necessidade de retirar o protetor facial. Como se previu que a fabricação das porcas seria dispendiosa frente a demanda emergencial dos *faceshields*, bem como a baixa confiabilidade na montagem das suas duas partes, projetou-se a segunda concepção do protetor facial, visualizada na Figura 3, para sanar essas limitações.

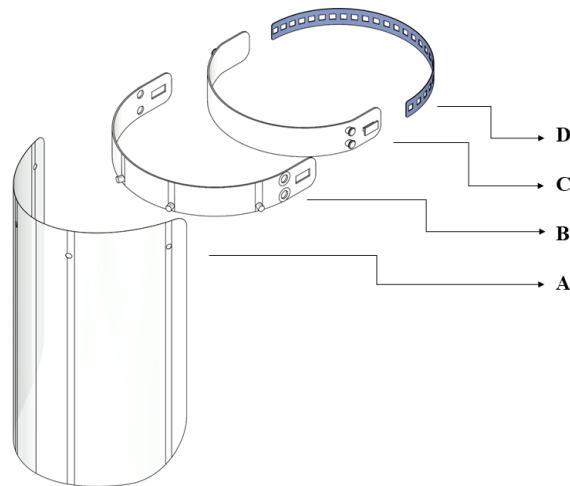


Figura 3. Segunda concepção (Modelo 2) para o protetor facial da Phaser Studio 3D. A: Viseira transparente, B: Estrutura principal (Lado A), C: Estrutura secundária (Lado B) e D: Elástico ajustável (Autoria própria, 2023)

O Modelo 2 consta das mesmas partes conceituadas para o Modelo 1 porém, com a análise das limitações descritas, a sua segunda concepção do protetor facial (Figura 3) refletiu a retirada das porcas, bem como o aumento de pinos laterais no componente “Lado B” para melhorar a fixação da estrutura primária na secundária do protetor, além do reprojeto no componente “Lado A”, para incrementar o mesmo quesito, no que tange a região que acopla o ressalto lateral da estrutura secundária. Durante testes preliminares com a segunda concepção fabricada, percebeu-se que ambas as estruturas primária e secundária podem ser ainda mais flexíveis para incrementar o conforto após o uso ao longo de muitas horas seguidas e esse quesito poderia ser concretizado através da redução da espessuras dos lados A e B do protetor facial, bem como sua redução de área para melhorar o contato entre o protetor e a cabeça do usuário, além de reduzir o aumento de temperatura causada pelo atrito causado por uma área superior da estrutura secundária do protetor.

No contexto abordado pela evolução dos modelos conceituais apresentados, projetou-se a terceira e final concepção do *faceshield*, apresentada na Figura 4.

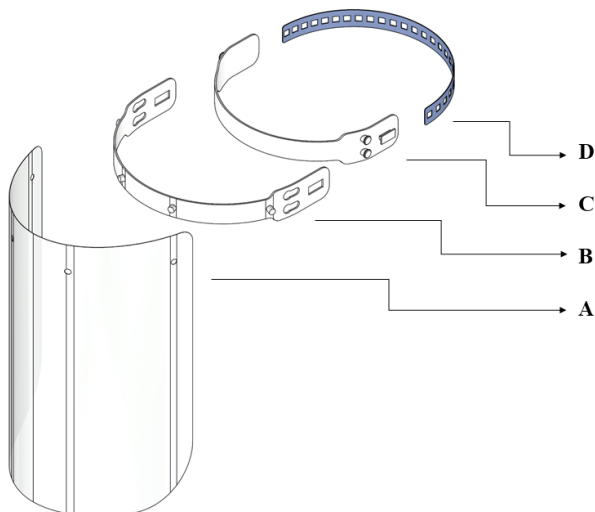


Figura 4. Terceira concepção (Modelo 3) para o protetor facial da Phaser Studio 3D. A: Viseira transparente, B: Estrutura principal (Lado A), C: Estrutura secundária (Lado B) e D: Elástico ajustável (Autoria própria, 2023)

O Modelo 3 (Fig. 4) consta dos mesmos componentes projetados no Modelo 2, porém sua concepção refletiu a redução de área superficial das estruturas primária e secundária do protetor facial, bem como a redução de suas espessuras. Com este modelo, pode-se verificar o cumprimento dos requisitos levantados, já que se obteve um modelo plano e flexível o suficiente para se ajustar a circunferência craniana dos usuários, e com resistência considerável para suportar longos

períodos de uso. Os requisitos cumpridos com o Modelo 3, para além dos aspectos de uso, seria preliminarmente menos custoso de se fabricar do que os demais anteriormente conceituados, dada a suas menores espessuras e área superficial, sendo um quesito de avaliação, tendo em vista uma fabricação em maior quantidade, posteriormente neste estudo.

4.2. Fatiamento 3D e manufatura do protetor facial

Tendo em vista o modelo de impressora 3D utilizado para a fabricação e validação dos modelos conceituais de protetor facial previstos na seção anterior, bem como os parâmetros do fatiamento 3D aplicados, buscou-se utilizar o máximo da mesa de impressão da impressora 3D, visando demandas em grande quantidade, bem como se priorizou fabricar componentes iguais por vez, de forma que toda mesa de impressão fosse composta por peças iguais, para facilitar o Planejamento e Programação da Produção.

Daí, durante a etapa de fatiamento 3D dos lados A e B dos Modelos 1, 2 e 3, avaliou-se o tempo de impressão, a quantidade de insumo de fabricação (filamento) gasto no processo, e a quantidade máxima de componentes postos em uma única mesa de impressão por vez. Para obter esses dados, o software de fatiamento 3D utilizado apresenta boa estimativa ao simular a manufatura dos objetos na sua interface. Ao aplicar os parâmetros do fatiamento 3D, apresentados na Tabela 3, é possível verificar a quantidade de camadas de material depositado para compor o objetivo, além de se verificar o tempo estimado de fabricação e quantidade de material gasto. Utilizando o software Ultimaker Cura e simulando cada modelo conceitual definido anteriormente, obteve-se, para cada um dos modelos, o que se ilustra na Figura 5.

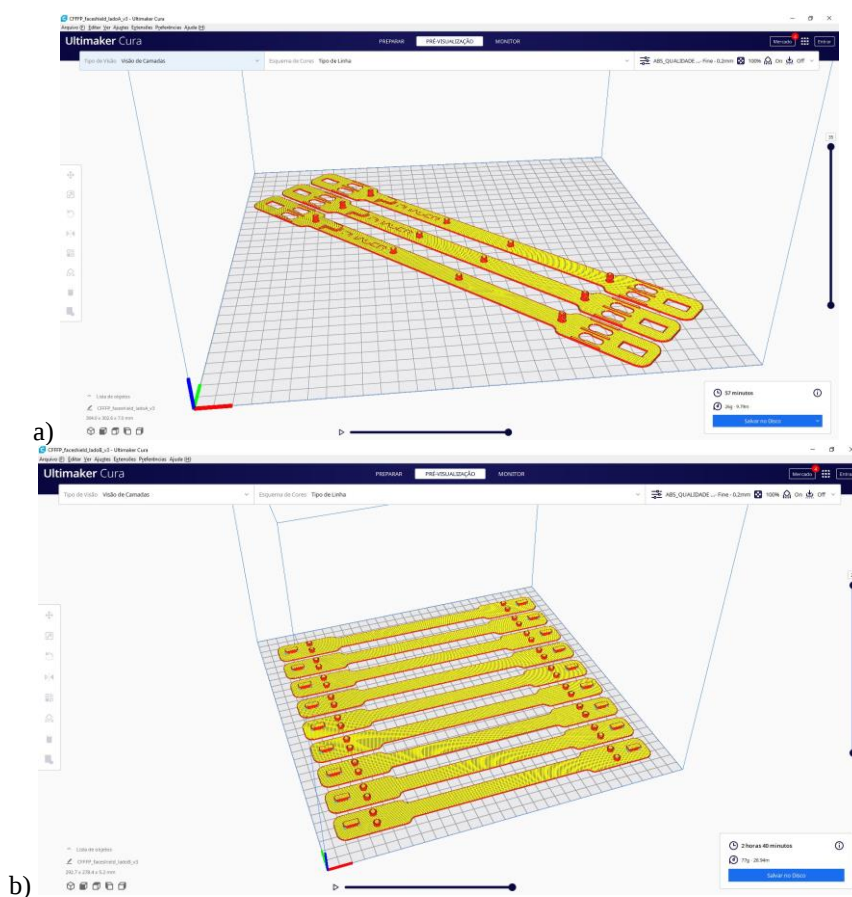


Figura 5. Fatiamento 3D dos componentes a) Lado A e b) Lado B do modelo 3 de protetor facial (Autoria própria, 2023)

A partir da Figura 5, consegue-se observar que a orientação do Lado A do modelo 3 do protetor facial na mesa de impressão difere do Lado A do mesmo modelo haja posto que, para cumprir as medidas antropométricas da cabeça humana, especialmente largura e comprimento, conforme retratado pelo estudo antropométrico de Alves (2012), e pelo próprio projeto conceitual do modelo de protetor facial, o Lado A possuiu um comprimento superior ao Lado B para o modelo 3, assim como foi o caso em todos os modelos antecessores. A forma como ambos os componentes foram dispostos na mesa de impressão foi preservada para todos os modelos analisados. Ao coletar os dados de interesse para ambos os componentes em comparação dentre os modelos conceituais propostos, obteve-se os resultados encontrados na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados de manufatura dos modelos conceituais projetados. (Autoria própria, 2022)

		Tempo (min)	Filamento gasto (g)	Quantidade
Modelo 1	Lado A	78	49	3
	Lado B	255	128	9
Modelo 2	Lado A	67	35	3
	Lado B	185	96	9
Modelo 3	Lado A	57	26	3
	Lado B	160	77	9

Para completar a estrutura do protetor era necessário o corte da viseira transparente, que representa a função principal do conjunto. Para tanto, foi realizada uma parceria com o SESC de Campina Grande (PB), que instruiu à equipe para a operacionalização da máquina de corte a laser. As folhas de PETG, com 90 x 100 cm, eram colocadas na mesa de trabalho da máquina e o resultado eram 12 viseiras, sendo dois cortes de 6. Por último, tendo em vista a demanda de outras empresas para a fabricação dos protetores faciais, estudou-se a possibilidade da personalização do lado A, com a superposição da logomarca de cada empresa.

A partir da análise dos resultados, validou-se as previsões realizadas na etapa de modelagem dos protetores faciais. Nota-se uma crescente redução no tempo de impressão e de filamento gasto para os dois componentes ao longo da evolução de projeto dos modelos conceituais projetados, apesar de não se notar melhoria no que tange à quantidade máxima de componentes postos sobre a mesa de impressão. Tendo isso em vista, o Modelo 3 foi o que obteve os melhores resultados de fabricação, com relação ao tempo de manufatura e gasto de material, o que reflete diretamente no seu custo final para o cliente. Dando prosseguimento ao desenvolvimento, foi elaborado um manual de montagem e utilização, utilizando o Modelo 3 como nova referência, que foi entregue ao cliente final com o objetivo de suprir qualquer necessidade e sanar qualquer dúvida.

4.3. Testes do protetor facial

Por fim, com a fabricação do Modelo 3 validada, este foi comercializado e distribuído de acordo com a demanda da Phaser Studio 3D, sendo aprovado pelo feedback dos clientes, sem constatação de reclamações quanto o conforto, durabilidade, facilidade de higienização, substituição de componentes e *design*. Com relação a viabilidade de produção de modelos de *faceshield* personalizados com logos de empresa (Figura 6), as modelagens e protótipos foram bem aceitos pelas empresas contratantes com seus modelos personalizados, sendo impressos mais de 5 mil protetores faciais, em 2020.



Figura 6. Folder de comercialização do protetor facial (Autoria Própria, 2020)

5. CONCLUSÕES

No que tange ao objeto de pesquisa, foi realizado o desenvolvimento de um protetor facial, fabricado a partir da tecnologia FDM de Manufatura Aditiva, com um material polimérico resistente e flexível. Para a modelagem 3D, foram projetados modelos conceituais de *faceshield* levando em conta os requisitos levantados pelo feedback dos usuários com o uso do modelo de referência, inicialmente distribuído. Uma vez atendidos os requisitos de cliente, os modelos projetados

foram fabricados e passaram pela avaliação de fabricação. O protótipo finalizado e com os melhores resultados de fabricação, o Modelo 3, que atendeu os critérios de projeto estabelecidos como conforto, tempo e gasto de material de impressão, foi aprovado no que se refere à experiência do usuário, tornando-se um grande sucesso de vendas, tanto os modelos padrão quanto os personalizados.

Em face disso, enfatiza-se que o projeto dos novos modelos conceituais buscou conformar o modelo de referência com as medidas antropométricas de um conjunto amostral brasileiro, de forma a se ter uma experiência de usabilidade melhor por parte do usuário. A flexibilidade dos novos modelos propostos permitiu uma melhor distribuição de força na circunferência craniana, o que, aliado ao peso, melhora o conforto tendo em visto o uso em longos períodos de tempo dos protetores faciais. Ademais, com relação ao modelo de referência, os modelos 2 e 3 obtiveram redução em tempo de fabricação de 14,1% e 26,9%, respectivamente, para o componente “Lado A”, e de 27,45% e 37,2%, respectivamente, para o componente “Lado B”. Relativamente a quantidade de filamento gasto, os modelos 2 e 3 obtiveram redução de em comparação ao modelo de referência 28,6% e 46,9%, respectivamente, para o componente “Lado A”, e de 25,00% e 39,8%, respectivamente, para o componente “Lado B”.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço, especialmente, a Phaser Studio 3D e SESC Campina Grande, por permitir e incentivar o processo de pesquisa e desenvolvimento deste trabalho.

7. REFERÊNCIAS

- Alves, H. A. **Análise dos parâmetros antropométricos no projeto de capacetes balísticos**. 2012. 178 f. Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, SP, 2012. Disponível em: <https://biblioteca.univap.br/dados/000003/0000037E.pdf>. Acesso em: 1 dez. 2022.
- Catapan AB, M. F., Okimoto, M. L., Villas Boas, M., *et al.* "Anthropometric Analysis of Human Head to Identification of Height in Proper Use of Ballistic Helmets", **Proceedings of the 5th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics**, p. 12, 2014. .
- Celik, H. K., Kose, O., Ulmeanu, M.-E., *et al.* "Design and Additive Manufacturing of Medical Face Shield for Healthcare Workers Battling Coronavirus (COVID-19)", **International Journal of Bioprinting**, v. 6, n. 4, 2020. DOI: 10.18063/ijb.v6i4.286. .
- Comissão Interna de Biossegurança (CIBio)**. 2020. UNOESC. Disponível em: <https://www.unoesc.edu.br/pesquisa/cibio>. Acesso em: 2 jul. 2020.
- Coronavírus (COVID-19) - Google Notícias**. 28 fev. 2022. Google Notícias. Disponível em: <https://news.google.com/covid19/map?hl=pt-BR&mid=%2Fm%2F02j71&gl=BR&ceid=BR%3Apt-419>. Acesso em: 28 fev. 2023.
- Coronavirus disease (COVID-19)** . 15 fev. 2023. Organização Mundial da Saúde. Disponível em: https://www.who.int/health-topics/coronavirus#tab=tab_1. Acesso em: 6 mar. 2023.
- Grandjean, E. **Manual de ergonomia: adaptando o trabalho ao homem**. 4. ed. Porto Alegre, Editora Artes Médicas Sul Ltda., 1998.
- Huang, X.-L., Yang, J.-R., Sun, Y.-X., *et al.* "Novel combined shield design for eye and face protection from COVID-19", **Advances in Manufacturing**, v. 9, n. 1, p. 130–1345, 2021. DOI: 10.1007/s40436-020-00333-y. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40436-020-00333-y>. Acesso em: 27 nov. 2022.
- Ilda, I. **Ergonomia: Projeto e Produção**. 2. ed. São Paulo, Editora Edgard Blucher, 2005.
- Maquetaria do Curso de Arquitetura e Urbanismo da UCPel: fabricação digital de EPI's no combate à COVID-19**. 2020. REDELAB – REDE DE LABORATÓRIOS DA UFPEL. Disponível em: https://wp.ufpel.edu.br/redelab/files/2021/01/Relatorio_Maq_UCPel_2020.pdf. Acesso em: 2 dez. 2022.
- Mathieu, E., Ritchie, H., Ortiz-Ospina, E., *et al.* "Coronavirus (COVID-19) Vaccinations", **Our World in Data**, v. 5, n. 7, p. 947–953, 5 mar. 2020. DOI: 10.1038/S41562-021-01122-8. Disponível em: <https://ourworldindata.org/coronavirus>. Acesso em: 28 fev. 2023.
- Patrício, A., Martins, M. V., Figueiredo, Y. M. D., *et al.* **Manual de Biossegurança da Univale**. . Governador Valadares, Setor de Biossegurança Manual - Univale. Disponível em: <https://docplayer.com.br/16372571-Manual-de-biosseguranca-da-univale.html>. , 2012
- Pesquisadores desenvolvem máscaras de proteção em impressoras 3D**. 2020. Projeto Colabora. Disponível em: <https://projeto-colabora.com.br/ods4/pesquisadores-desenvolvem-mascaras-de-protecao-facial-em-impressoras-3d/>. Acesso em: 27 mar. 2020.
- Pheasant, S. **Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work, Second Edition**. 2. ed. Londres, Taylor & Francis Ltd, 2003. Disponível em: <https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/ip/BUKU-ANTROPOMETRI/Bodyspace Anthropometry, Ergonomics and the Design of the Work, Second Edition.pdf>. Acesso em: 2 jan. 2023.
- Prusa Face Shield**. mar. 2020. Printables by Joseph Prusa. Disponível em: <https://www.printables.com/model/25857->

- prusa-face-shield. Acesso em: 7 mar. 2023.
- Rodriguez-Añez, C. R. "A antropometria e sua aplicação na ergonomia", **Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano**, v. 3, n. 1, p. 102–108, 2001. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/rbcdh/article/view/3966/16871>. Acesso em: 1 dez. 2022.
- Silva, K. R., Souza, A. P. De, Minette, L. J., *et al.* "Avaliação antropométrica de trabalhadores em indústrias do polo moveleiro de Ubá, MG", **Journal of Brazilian Forest Science**, v. 30, n. 4, p. 613–618, 10 maio 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/XbS5sKm9SPx5ZmGqgJBWF8w/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 2 dez. 2022.
- Singh, A. K., Ashok Kumar, U., Laxminarayana, P. "Design and Development of Face Shield by 3D Printing for the COVID-19 Epidemics", **International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology**, v. 8, n. VI, p. 380–384, 2020. DOI: 10.22214/ijraset.2020.6057. Disponível em: www.ijraset.com. Acesso em: 27 nov. 2022.

8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

DEVELOPMENT, MANUFACTURING AND TESTING OF A FACESHIELD MANUFACTURED BY ADDITIVE MANUFACTURING

Alex Ferreira de Lima

Joyce Ingrid Venceslau de Souto

Federal University of Campina Grande, St. Aprígio Veloso, 882, Universitário, Campina Grande – PB
alexferreira.labem@gmail.com, joyceingrid.cg@gmail.com

Vanderlino Barbosa Sena Júnior

Phaser Studio 3D Print, St. Emílio Rosendo da Silva, 115 - Room 08 - Novo Bodocongó, Campina Grande – PB
junior.sena@phaserstudio3d.com

Wanderley Ferreira De Amorim Júnior

Federal University of Campina Grande, St. Aprígio Veloso, 882, Universitário, Campina Grande – PB
engenhariabrasileira1@gmail.com

Abstract. *In order to prevent contamination by the new corona-virus (Covid-19), the World Health Organization (WHO) recommends the use of facial protectors or faceshields that help prevent the spread of the disease, whose practice has been gaining popularity, at the same time it has become a new line of investment for the community in general. Based on the open-source model proposed by Joseph Prusa, founder of the 3D printer company 'PRUSA', the printing of this model was immediately started, as well as its donation to health professionals and workers who were directly linked to combat practices to COVID-19. From this, feedback on the quality of the product was obtained, after a few days and more than 200 protectors printed and distributed, whose main complaint was the discomfort generated by the protective equipment after a few hours of use. Therefore, the objective of this work is the development, manufacture and testing of a new model of faceshield, manufactured from Additive Manufacturing, using the FDM (Fused Deposition Modeling) technology. For this new model, the demand was established to satisfy the needs of the Brazilian community, adopting a 95% confidence limit for the ergonomic analysis of the concept. Aiming to fulfill this, a study was carried out in the scientific literature and, based on the results of the cephalic indices, the development of the new model began, which is more comfortable and fulfills flexibility, resistance and comfort requirements. In view of this, and after several internal meetings with all the team's collaborators, a design conception was reached, which was based on the modeling and manufacture of 3 similar models, with variations in the amount of material and printing time, this being the last criterion for choosing among the factors for deciding the final model. At the end of manufacturing, an assembly and user manual were prepared, which was delivered to the customer, with the aim of instructing the user on the correct use of the apparatus. The final model was tested and approved, with no complaints regarding comfort, durability, ease of cleaning, component replacement and design.*

Keywords: *faceshield; additive manufacturing; Fused Deposition Modeling; ergonomic analysis; cephalic index*

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.