



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA MECÂNICA

DIEGO DE MELO CAVALCANTI

**CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE UM DESIGN DE SWAB NASOFARÍNGEO
FABRICADO POR MANUFATURA ADITIVA, UTILIZANDO O PROCESSO
MULTIJET PRINT (MJP)**

CAMPINA GRANDE – PB

2024

DIEGO DE MELO CAVALCANTI

**CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE UM DESIGN DE SWAB NASOFARÍNGEO
FABRICADO POR MANUFATURA ADITIVA, UTILIZANDO O PROCESSO
MULTIJET PRINT (MJP)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – PPGEM do Centro de Ciências e Tecnologias da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito essencial para a conclusão do mestrado em engenharia mecânica.

Linha de Pesquisa: Análise e Projeto de Sistemas Termomecânicos.

Área de Concentração: Sistemas Termomecânicos.

CAMPINA GRANDE – PB

2024

C377c

Cavalcanti, Diego de Melo.

Caracterização mecânica de um design de swab nasofaríngeo fabricado por manufatura aditiva, utilizando o Processo Multijet Print (MJP) / Diego de Melo Cavalcanti. – Campina Grande, 2024.

74 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2024.

"Orientação: Prof. Dr. Wanderley Ferreira de Amorim Júnior".

Referências.

1. Ensaio Mecânicos. 2. Swab Nasal. 3. Manufatura Aditiva. 4. Processo MultiJet Print (MJP). I. Amorim Júnior, Wanderley Ferreira de. II. Título.

CDU 621.01(043)

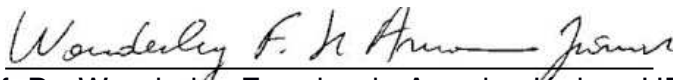
DIEGO DE MELO CAVALCANTI

**CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE UM DESIGN DE SWAB NASOFARÍNGEO
FABRICADO POR MANUFATURA ADITIVA, UTILIZANDO O PROCESSO
MULTIJET PRINT (MJP)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – PPGEM do Centro de Ciências e Tecnologias da Universidade Federal de Campina Grande, pertencente à linha de pesquisa de Análise e Projeto de Sistemas Termomecânicos e área de concentração em Sistemas Termomecânicos, como requisito essencial para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mecânica.

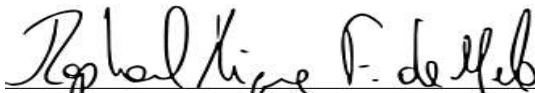
Aprovado em: 28 de março de 2024.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Wanderley Ferreira de Amorim Junior - UFCG

Orientador



Prof. Dr. Raphael Henrique Falcão de Melo - UFCG

Examinador Interno



Prof. Dr. Rodolfo Ramos Castelo Branco - UEPB

Examinador Externo

DEDICATÓRIA

À Deus.

“Que me adianta medir a distância do sol e analisar a configuração do átomo de urânio, se desconheço a largura, a altura, a profundidade do meu próprio ser? De que me serve ganhar o universo se ando perdido de minha alma?”

Gustavo Corção

AGRADECIMENTOS

E mais um ciclo se encerra para outro começar. Assim Deus escreve nossa trajetória. Não podia começar este texto sem falar de Deus, Ele que está sempre presente em minhas escolhas. E uma coisa é sempre certa: quando confiamos nosso caminho ao Senhor, Ele sempre nos surpreende com algo ainda mais grandioso. Obrigado por tudo, meu Deus.

Também gostaria de expressar minha gratidão a todas as pessoas envolvidas nessa jornada, especialmente à minha esposa, Larissa Cavalcanti, pelo apoio, cuidado e compreensão durante as noites em claro dedicadas ao mestrado. Amo você. Agradeço aos meus filhos, Clara e Antônio, por serem meu combustível para que eu continuasse nos dias mais difíceis.

Além disso, gostaria de estender meus agradecimentos a todo o corpo técnico envolvido nos bastidores desta dissertação. O Professor Rodolfo Castelo Branco foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho, com sua valiosa contribuição e disponibilidade para a realização do projeto. Agradeço também ao meu orientador, Professor Wanderley Amorim, por mostrar os caminhos a serem seguidos, e ao Professor Raphael Falcão, que, com toda sua experiência, orientou-me para as melhores soluções possíveis.

Não poderia esquecer da minha Qualidade (NUTES), equipe que sempre me incentivou, compreendeu e ajudou nessa construção. A Mateus Antunes, Valério Batista, Sheilla Santana, Jordão Moreira e toda a equipe, muito obrigado.

Também gostaria de agradecer à minha família, que sempre foi um suporte e um incentivo para a conclusão deste mestrado, especialmente à minha mãe, meus irmãos e a todos os familiares. Agradeço também a meu sobrinho Andrew Melo, também em nome do Grupo P&O por confiar no meu trabalho e sempre estar presente.

A providência divina é apaixonante. Quando confiamos nossa vida ao Senhor, Ele sempre nos apresenta o melhor caminho a ser seguido, e, sim, esse sempre será o melhor caminho para nós!

Deixo aqui também os meus agradecimentos às instituições e aos profissionais que fizeram parte dessa conquista: Núcleo de Tecnologias Estratégicas em Saúde (NUTES), Laboratório de Avaliação e Desenvolvimento de Biomateriais do Nordeste (CERTBIO), SENAI – Centro de Educação Profissional Prof. Stenio Lopes, Hospital de

Emergência e Trauma Dom Luiz Gonzaga Fernandes (HETDLGF) e Hospital das Clínicas Campina Grande.

“A santidade é para todos e não só para uns quantos privilegiados: não consiste em realizar coisas extraordinárias, mas em cumprir, com amor, os pequenos deveres de cada dia. Queres de verdade ser santo? Cumpre o pequeno dever de cada momento: faz o que deves e está no que fazes. A santidade "grande" consiste em cumprir os "deveres pequenos" de cada instante”.

*São Josemaría Escrivá
(Caminho)*

CAVALCANTI, Diego de Melo. **CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE UM DESIGN DE SWAB NASOFARÍNGEO FABRICADO POR MANUFATURA ADITIVA, UTILIZANDO O PROCESSO MULTIJET PRINT (MJP)**. Campina Grande, 2024. Universidade Federal de Campina Grande, UFCG.

RESUMO

A presente dissertação aborda a caracterização mecânica de um design de swab nasal fabricado por manufatura aditiva por meio do processo *MultiJet Print* (MJP). O design do swab nasal foi modelado em *Computer Aided-Design* (CAD) com base em pesquisa acadêmica, destacando-se o dispositivo que apresentasse melhor desempenho na coleta de muco e uma boa relação entre flexibilidade e resistência mecânica. Os designers escolhidos foram impressos pela CONNEX350 pelo processo *MultiJet Print*, utilizando parâmetros específicos. Os ensaios mecânicos de tração e flexão foram conduzidos pela Máquina de Ensaio Universal Instron 3366, evidenciando a resistência e o comportamento dos swabs quando submetidos a cargas durante sua utilização. Além disso, para os ensaios de torção, uma bancada experimental foi desenvolvida. Ao final dos ensaios de caracterização os resultados foram comparados com alguns modelos de swabs comerciais já ensaiados mecanicamente, proporcionando uma compreensão mais fidedigna acerca do desempenho do dispositivo em relação aos já existentes.

Palavras-chaves: swab nasal, manufatura aditiva, processo MultiJet Print (MJP), ensaios mecânicos.

CAVALCANTI, Diego de Melo. **MECHANICAL CHARACTERIZATION OF A NASOPHARYNGEAL SWAB DESIGN MANUFACTURED BY ADDITIVE MANUFACTURING, USING THE MULTIJET PRINT PROCESS.** Campina Grande, 2024. Federal University of Campina Grande, UFCG.

SUMMARY

The present dissertation addresses the mechanical characterization of a nasal swab design manufactured through additive manufacturing using the MultiJet Print (MJP) process. The design of the nasal swab was modeled in Computer Aided Design (CAD) based on academic research, highlighting a device with optimal performance in mucus collection and a good balance between flexibility and mechanical strength. The chosen designs were printed by the CONNEX350 using the MultiJet Print process, employing specific parameters. Mechanical tests of traction and flexion were conducted using the Instron 3366 Universal Testing Machine, demonstrating the resistance and behavior of the swabs when subjected to loads during their use. Additionally, for torsion tests, an experimental setup was developed. At the end of the characterization tests, the results were compared with some commercially available swab models already mechanically tested, providing a more accurate understanding of the device's performance compared to existing ones, highlighting the feasibility of additive manufacturing in this context.

Keywords: nasal swab, additive manufacturing, MultiJet Print (MJP) process, mechanical testing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Aplicação dos resultados das escalas de transmissibilidade e gravidade clínica da Covid-19 no gráfico.	17
Figura 2 - Testagem com swab	20
Figura 3 - Realização do teste RT-PCR	20
Figura 4 - Geometrias da ponta do Swab	21
Figura 5 - Projetos iniciais alternativos de swab 3D.	22
Figura 6 - Materiais Impressos por manufatura aditiva durante pandemia COVID-19	23
Figura 7 - Tecnologias de Manufatura Aditiva	24
Figura 8 - Swab Otimizado pela Formlabs.....	25
Figura 9 - Swab da EnvisionTEC.....	26
Figura 10 - Swab Desenvolvido pelo CTC com o Hospital Virtual Valdecilla.....	26
Figura 11 - a) Esfregaços nasofaríngeos disponíveis comercialmente e esfregaços impressos em 3D. De cima para baixo: COPAN 1, COPAN 2, cerdas BU e favo de mel BU. b) Renderização 3D (esquerda) e fotografias em close (direita) do design da cabeça do cotonete com cerdas BU (acima) e favo de mel BU (inferior). c) Esfregaços impressos em 3D antes (esquerda) e depois (direita) do processo de esterilização mostrando que a haste permanece flexível e intacta após a esterilização.	27
Figura 12 - (a) Cotonetes convencionais (C, R) e impressos em 3D (1,2,3,4) (b) Close-ups das cabeças dos cotonetes	28
Figura 13 - Teste mecânico de swabs com um Instron 4206	30
Figura 14 -- Imagens dos cotonetes na configuração do teste de tração. A imagem à esquerda mostra o cotonete.....	30
Figura 15 - Realização do teste de tração	31
Figura 16 - Imagens do cotonete antes durante e após o ensaio de flexão.	32
Figura 17 - Ensaio de flexão por três pontos.	32
Figura 18 - Teste de Flexão Manual 180º.....	33
Figura 19 - Dispositivo de fadiga por torção fixado na máquina de ensaios pulsantes	33
Figura 20 - Teste de torção	34

Figura 21 - Demonstração do teste de torção	34
Figura 22 - Fases do Projeto	35
Figura 23 - Modelo do Swab (Croqui).....	36
Figura 24 - The Connex350 3D Printer.....	38
Figura 25 a) Resina VeroWhitePlus RGD835; b) Material Suporte Tipo Gel da Polyjet – SUP705	39
Figura 26 - Níveis dos materiais utilizados na impressão.....	39
Figura 27 a) Disposição dos swabs na bandeja; b) Vista aproximada dos swabs....	40
Figura 28 a) deposição e cura do material (resina + suporte); b) peça finalizada; c) retirada do swab da bandeja; d) material aguardando limpeza; e) limpeza em imersão aquosa; f) retirada do material de suporte; g) swabs nasais limpos; h) acomodação	41
Figura 29 - Instron 3366 (tipos de fixação)	43
Figura 30 - Ensaio de Microscopia Ótica	44
Figura 31 - Fluxo para resolução de problemas “caixa preta”	45
Figura 32 - Modelo de protótipo a ser desenvolvido	46
Figura 33 - Croqui (esboço).....	46
Figura 34 - Arquitetura do sistema.	48
Figura 35 - Confecção do suporte dos mandris em MDF e alumínio.....	48
Figura 36 - Montagem do circuito	50
Figura 37 - Início da montagem da bancada (parte mecânica).	50
Figura 38 - Montagem do circuito.....	51
Figura 39 - Conclusão da bancada experimental de torção.	51
Figura 40 - Torquímetro Digital DTW-265i.....	52
Figura 41 - Tacômetro Digital MDT-2238 ^a	53
Figura 42 - Verificação do ângulo - Goniômetro	53
Figura 43 - Amostra de teste impressa por manufatura aditiva. a) Ruptura do ponto de quebra durante a limpeza; b) Fragilidade do coletor durante a limpeza.....	55
Figura 44 - Tipo de fratura (ensaio de tração) - a) Ensaio de microscopia óptica; b) corpos de prova ensaiados; c) tipos de fratura segundo o Callister (2014).....	57

Figura 45 - Ruptura do material.....	59
Figura 46 - Interface da bancada experimental de torção	60
Figura 47 - Swab comercial.....	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Concepção do design do captador de muco.	36
Quadro 2 - Propriedades Mecânicas da Resina <i>VeroWhitePlus</i> RGD835	38
Quadro 3 - Parâmetros Quantitativos e Qualitativos	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros de projeto de swab nasofaríngeo manufaturado em 3D.....	29
Tabela 2 - Parâmetros definidos para impressão - Connex350.....	40
Tabela 3 - Especificações do motor de passo Nema 17.....	49
Tabela 4 - Resultados obtidos no ensaio de tração	57
Tabela 5 - Resultados obtidos no ensaio de flexão.	59
Tabela 6 - Resultados obtidos no ensaio de torção.	61
Tabela 7 - Tabela comparativa entre os swabs nasais.	62
Tabela 8 - Comparação entre outras marcas do mercado.....	66

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	11
1. INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS.....	13
1.1.1 Objetivo Geral.....	13
1.1.2 Objetivos específicos.....	13
1.2 JUSTIFICATIVA.....	13
CAPÍTULO II	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 INFECÇÕES RESPIRATÓRIAS AGUDA GRAVE: COVID-19.....	15
2.1.1 Transmissão e Gravidade.....	15
2.2 DIAGNÓSTICOS LABORATORIAIS (TESTES).....	17
2.2.1 Reverse Transcription-Polymerase Chain Reaction (RT-PCR).....	19
2.2.1.1 Realização do Teste do Swab.....	19
2.2.1.2 Modelos Existentes de Swab Nasal.....	21
2.2.2 A Contribuição da Manufatura Aditiva Durante a Pandemia da COVID-19.....	22
2.2.3 Swabs Desenvolvidos pelo o Processo de Manufatura Aditiva.....	25
2.2.4 Requisitos e Parâmetros para a Fabricação do Swab Nasal.....	27
2.2.4.1 Parâmetros Utilizados no Projeto.....	28
2.3 TIPOS DE ENSAIOS MECÂNICOS REALIZADOS NO SWAB.....	29
2.3.1 Tração.....	29
2.3.2 Flexão.....	31
2.3.3 Torção.....	33
CAPÍTULO III	35
3. MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1 FASE 1 - FABRICAÇÃO DE DESIGN DE SWAB POR MANUFATURA ADITIVA PELO PROCESSO MULTIJET PRINT (MJP).....	35
3.1.1 Software Utilizados na Fabricação.....	37
3.1.2 Definição do Método de Impressão.....	37
Tipo de Impressão 3D – <i>MultiJet (MJP)</i>	37
3.1.3 Especificação dos Materiais Utilizados.....	38
3.1.4 Parâmetros para a Fabricação do Swab.....	41

3.2 FASE 2 – CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA: ENSAIOS DE TRAÇÃO E FLEXÃO	42
3.2.1 Ensaio de Tração e Flexão	42
3.3 FASE 3 – MICROSCOPIA ÓTICA	43
3.4 FASE 4 - DESENVOLVIMENTO DA BANCADA EXPERIMENTAL DE TORÇÃO	44
3.4.1 Etapa 4.1 – Projeto Informacional	45
3.4.2 Etapa 4.2 – Projeto Conceitual	46
3.4.3 Etapa 4.3 – Projeto Preliminar	47
3.4.4 Etapa 4.4 – Projeto Detalhado.....	48
3.4.5 Etapa 4.5 - Fabricação	50
3.4.6 Etapa 4.6 - Validação	51
CAPÍTULO IV.....	54
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	54
4.1 DESENVOLVIMENTO DO SWAB NASAL	54
4.1.1 Dimensionamento do Swab Nasal.....	54
4.1.2 Fabricação do Swab Nasal.....	54
4.2 ENSAIOS DE DESEMPENHO REALIZADOS	56
4.2.1 Ensaio de Tração.....	56
4.2.2 Ensaio de Flexão	58
4.2.3 Desenvolvimento da Bancada Experimental de Torção	59
4.3 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS	61
5. CONCLUSÃO	67
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

As doenças respiratórias agudas estão espalhadas por todo o mundo e são responsáveis por grande parte das internações nos hospitais. Os vírus são largamente conhecidos como os agentes responsáveis pelas Infecções Respiratórias Agudas (IRA), podendo atuar como patógenos primários ou aumentando a vulnerabilidade a infecções bacterianas secundárias (OPAS, 2020).

Recentemente, o mundo foi acometido por uma pandemia causada pela COVID-19. Em dezembro de 2019, na cidade de Wuhan na China foi constatado o primeiro caso dessa infecção, relatado como pneumonia de causa desconhecida. Identificando o agente causal, denominado por *Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2* (SARS-CoV-2), a OMS reconheceu a gravidade da situação e, em janeiro de 2020, declarou estado de emergência global. A partir disso, a COVID-19 tem representado um dos desafios epidemiológicos mais expressivos vivenciados no século, superando, em gravidade, a gripe espanhola ocorrida em 1918 (OLIVEIRA *et al.*, 2022).

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), no ano de 2023, foram registrados cerca de 671 milhões de casos de COVID-19 em todo o mundo. Destes, sete milhões evoluíram para óbito, tendo a infecção aguda no trato respiratório inferior como uma das causas para evolução do quadro da doença.

No Brasil, o primeiro caso foi diagnosticado em 26 de fevereiro de 2020. Tratava-se de um idoso residente em São Paulo, que havia chegado recentemente de uma viagem da Itália. Devido a sua alta taxa de contaminação, o vírus, se espalhou rapidamente por todo o país, e em menos de um mês veio a confirmação do primeiro óbito pelo COVID-19 (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

Para facilitar o diagnóstico de doenças respiratórias, como resfriados, gripes e infecções virais, vários tipos de testes foram desenvolvidos buscando trazer um resultado de forma rápida, prática e fidedigna. Durante a pandemia da COVID-19, o teste RT-PCR (Reação de Transcriptase combinada com a Reação em Cadeia da Polimerase) tornou-se fundamental para detecção de antígenos presentes no organismo dos seres humanos, devido a sua alta sensibilidade e especificidade, sendo reconhecido pela OMS como o “método padrão ouro” para o diagnóstico da COVID-19 (INTERIM GUIDANCE, 2020).

O Teste RT-PCR é realizado através do swab nasal, no trato nasofaríngeo. O teste consiste na retirada de uma amostra biológica na mucosa nasal que permite a identificação da presença de material genético de vírus, em amostras clínicas analisadas em laboratórios, a fim de proporcionar um diagnóstico preciso para infecções virais (PINILLA, G. B.; CRUZ, C. A.; NAVARRETE, J., 2020).

Com uma alta taxa de transmissibilidade do SARS-CoV-2, gerou-se uma grande procura dos testes para detecção desse vírus. O propósito desses testes é identificar a presença do vírus no organismo, monitorar os infectados e avaliar a agressividade do vírus no organismo de cada indivíduo (IQBAL et al., 2021).

Além dos testes para detecção do vírus, outros equipamentos e suprimentos médicos também estavam em escassez neste período. Para atender à demanda durante a pandemia, as tecnologias de impressão 3D pelo processo de manufatura aditiva, auxiliaram na fabricação dos produtos e insumos que estavam em falta no mercado (BELHOUIDEG, 2020).

Consequentemente, a atenção médica voltou-se para o processo de manufatura aditiva, especialmente por meio do processo de impressão 3D. Esse método foi fundamental para fabricação de equipamentos e suprimentos essenciais, como ventiladores mecânicos, máscaras faciais, kits para detecção do antígeno, cotonetes para testes rápidos, protetores faciais, dentre outros produtos voltados ao contexto pandêmico que estavam em escassez (AIMAR et al., 2019).

Os swabs nasais fabricados por manufatura aditiva são utilizados para detecção de doenças infecciosas que afetam o sistema respiratório, incluindo a COVID-19, desempenhando um papel crítico para obtenção dos resultados de maneira segura e eficaz. Contudo, à medida que a procura por swabs nasais aumenta, faz-se necessário garantir sua qualidade, desempenho e segurança durante a sua utilização. A integridade mecânica desses dispositivos deve assegurar na realização do teste, a eficácia na coleta e o conforto do paciente. Para atingir esse objetivo, testes mecânicos devem ser realizados para assegurar que as propriedades mecânicas do material impresso tridimensionalmente serão mantidas (KALKAL et al., 2022).

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo atestar a eficácia do design escolhido, fabricado por manufatura aditiva através do processo *MultiJet Print* (MJP), quando comparado com produtos já validados e comercializados. Para isso, foi fabricado um swab nasofaríngeo produzido por meio de manufatura aditiva e, em seguida, foram

realizados testes mecânicos de tração, flexão e torção para avaliar o seu desempenho. O processo MultiJet Print (MPJ), é um método de fabricação que utiliza jatos de tinta simultâneos, ao mesmo tempo que são curados por lâmpada UV camada por camada, formando o produto. Para o teste de torção, foi desenvolvida uma bancada experimental para analisar o comportamento do swab quando submetido a esforços de torção.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Caracterização mecânica de um design de swab nasofaríngeo fabricado por manufatura aditiva, utilizando o processo MultiJet Print (MJP).

1.1.2 Objetivos específicos

- Fabricar swab nasal por manufatura aditiva através do processo *MultiJet Print* (MJP);
- Realizar ensaios de mecânicos de tração e flexão;
- Desenvolver bancada experimental para conduzir o ensaio de torção;

1.2 JUSTIFICATIVA

A utilização do Swab Nasofaríngeos por sua precisão, tem se tornado comum e essencial na identificação de doenças infecciosas no sistema respiratório. A exemplo do contexto pandêmico vivenciado pela COVID-19, o swab, teve papel fundamental na identificação do vírus SARS-CoV-2, sendo considerado padrão-ouro pela Anvisa, por sua acurácia e precisão nos resultados obtidos no exame de RT-PCR. Esse dispositivo é utilizado para coletar amostras biológicas na mucosa nasal, que serão levadas em seguida para um laboratório biomédico que realizará a extração do material genético e os testes para identificação ou não do antígeno.

A presente dissertação visa proporcionar uma análise acerca da fabricação de um design de swab nasofaríngeo fabricado por manufatura aditiva, pelo processo multiJet Print (MJP). O seu principal objetivo é contribuir para o estudo desse tipo de processo de fabricação, visando assegurar a confiabilidade e segurança do dispositivo, quando submetido a esforços mecânicos durante a sua utilização na área da saúde. A escolha do tema foi motivada pela relevância dos testes RT-PCR, durante cenário pandêmico vivenciado recentemente.

O processo de manufatura aditiva, em particular o *MultiJet Print* (MJP), destaca-se por sua versatilidade em lidar com mudanças na geometria da peça a ser fabricada sem acarretar custos adicionais. Além disso, pode ser impresso em qualquer direção sem comprometer as propriedades mecânicas da peça. Adicionalmente, o processo apresenta outros benefícios como tempo rápido de impressão, excelente detalhamento e precisão da peça, entre outras qualidades.

CAPÍTULO II

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 INFECÇÕES RESPIRATÓRIAS AGUDA GRAVE: COVID-19

Ao término do ano de 2019, o mundo testemunhou uma das maiores crises sanitárias e humanitárias já registradas nas últimas décadas com a descoberta do vírus SARS-CoV-2. Trata-se de uma mutação de um vírus já existente, o coronavírus, agora denominado como o novo coronavírus. O vírus afeta primariamente o sistema respiratório, podendo agravar-se em indivíduos com sistema imunossuprimido ou doenças preexistentes, como enfraquecimento do sistema imunológico, diabetes ou hipertensão arterial (SOUZA *et al.*, 2021).

Considerada uma zoonose, doença transmissível entre animais vertebrados e seres humanos, sendo que o animal responsável por sua origem ainda está sob investigação. Porém, com base no sequenciamento genético do vírus, há especulações de morcegos ou um mamífero da espécie *Manis javanica*, o pangolim, que possam ser a origem mais provável da doença (LAM *et al.*, 2020).

Na cidade Wuhan, na China, em dezembro de 2019, ocorreu um surto de pneumonia de origem desconhecida, que em seguida foi reconhecida como uma doença infecciosa causada pelo novo coronavírus. Considerada como epicentro da COVID-19, Wuhan, acumulou inicialmente o maior número de mortes causada pelo vírus SARS-CoV-2, sendo superada em número de óbitos pela Itália meses depois (WHO, 2019).

Com a descoberta recente do novo coronavírus, pertencente à ordem dos Nidovirales, da família do Coronaviridae e subfamília Orthocoronavirinae, foi designado de síndrome respiratória aguda grave – Coronavírus-2 (SARS-CoV-2), pelo Comitê Internacional de Taxonomia de vírus (ICTV). E em fevereiro de 2020, a Organização Mundial da Saúde (OMS) nomeou a doença resultante do coronavírus como COVID-19 (CASCELLA *et al.*, 2023).

2.1.1 Transmissão e Gravidade

A disseminação do vírus foi muito rápida e alarmante, segundo a OMS, em 18 de março de 2020, o número de casos confirmados de COVID-19 ultrapassava 214 mil em escala global. No período, não havia planos estratégicos prontos para o enfrentamento de uma pandemia de coronavírus, tudo era novo. (WHO, 2019).

A transmissão do COVID-19 está associada à quantidade de carga viral presente no trato respiratório superior. Na maioria dos casos, a propagação do vírus ocorre por meio de gotículas expelidas durante a tosse, espirros e pela saliva. Além disso, a transmissão pode ocorrer por contato direto, como aperto de mãos e abraços fraternos, ou até mesmo por contato indireto, como o compartilhamento de objetos contaminados como telefones, celulares, maçanetas, computadores e chaves. Através do contato com os objetos contaminados, o indivíduo, em seguida entra em contato com as membranas mucosas, que é uma das principais portas de entrada para o vírus no organismo (Lima, *et al.*, 2020).

Os indivíduos infectados pela COVID-19 podem se apresentar como assintomáticos ou manifestar sintomas leves, sendo permitido ficar em casa, evitando contato com outras pessoas e, assim, prevenir a propagação do vírus. Adicionalmente, essas pessoas terão à sua disposição medicamentos para aliviar desconfortos, como febre e desidratação (KANNAN, *et al.*, 2020)

O agravamento da doença varia entre os indivíduos e dependem de alguns fatores como idade e doenças pré-existentes, esses fatores podem gerar o desenvolvimento da Síndrome Respiratória Aguda (SRAG). Os sintomas aparecem após o período de incubação do vírus que é de aproximadamente cinco dias, sendo a dispneia conhecida como falta de ar um dos principais sinais, em conjunto com a tosse seca, febre e fadiga no corpo. Além disso, o indivíduo pode desenvolver sintomas gastrointestinais, como a diarreia (MCINTOSH, 2020).

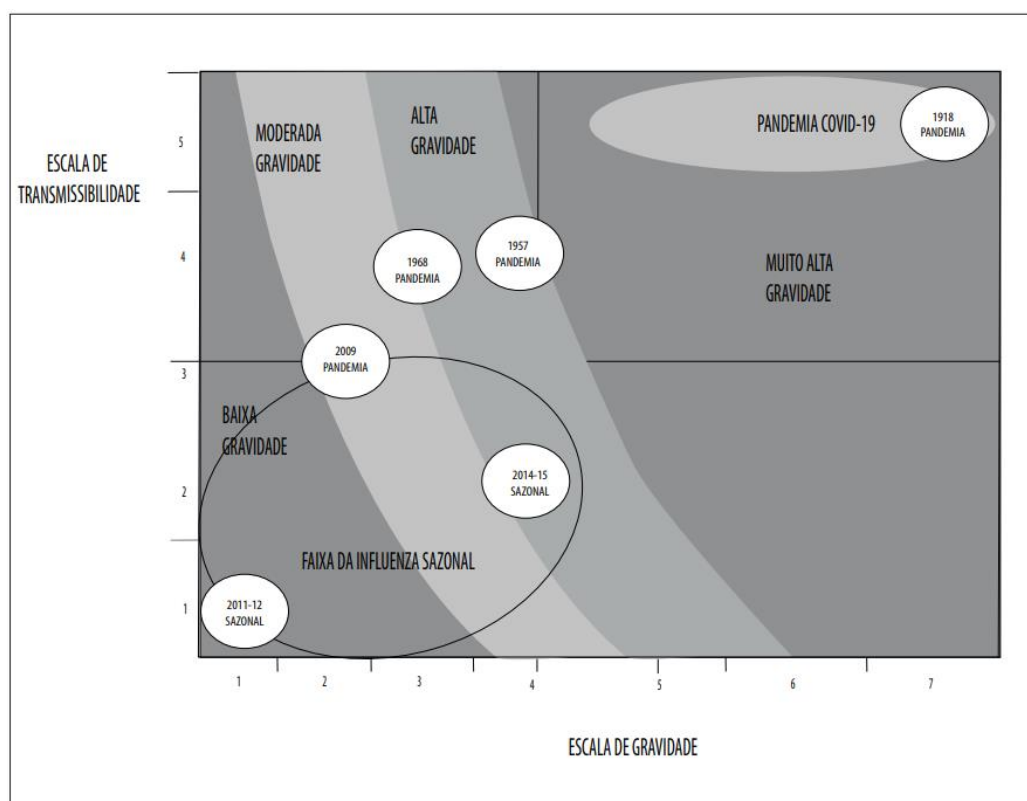
Inicialmente devido sua semelhança com o vírus da Influenza, foi recomendado pela OMS, do Ministério da Saúde do Brasil, do Centers for *Disease Control and Prevention* (CDC, Estados Unidos) e outras organizações nacionais e internacionais, que utilizassem os planos de contingência de influenza e suas ferramentas para o combate ao COVID-19 (FREITAS *et al.*, 2020).

Elaborado pelo Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos Estados Unidos (*Department of Health and Human Services*), o plano de contingência inclui medidas proporcionais à gravidade da situação, o Quadro de Avaliação de Gravidade Pandêmica (*Pandemic Severity Assessment Framework – PSAF*) é utilizado como ferramenta de avaliação de risco (*PANDEMIC INFLUENZA PLAN, 2017*).

O PSAF propõe uma análise em duas dimensões. Na primeira, a dimensão da transmissibilidade, a pontuação varia de 1 a 5, levando em consideração indicadores como taxa de ataque sintomático em diferentes cenários, além de R0

(número reprodutivo básico) e o percentual de consultas de síndrome gripal em prontos-socorros. Já na dimensão da gravidade clínica, temos um escore que varia de 1 a 7, utilizando variáveis como letalidade, proporção de casos hospitalizados entre os atendidos e taxa de mortalidade hospitalar (considerando apenas casos de influenza na situação atual da COVID-19). A Figura 1 apresenta graficamente a aplicação dos resultados das escalas de transmissibilidade e gravidade clínica da Covid-19 (FREITAS *et al.*, 2020).

Figura 1 – Aplicação dos resultados das escalas de transmissibilidade e gravidade clínica da Covid-19 no gráfico.



Fonte: FREITAS *et al.*, (2020)

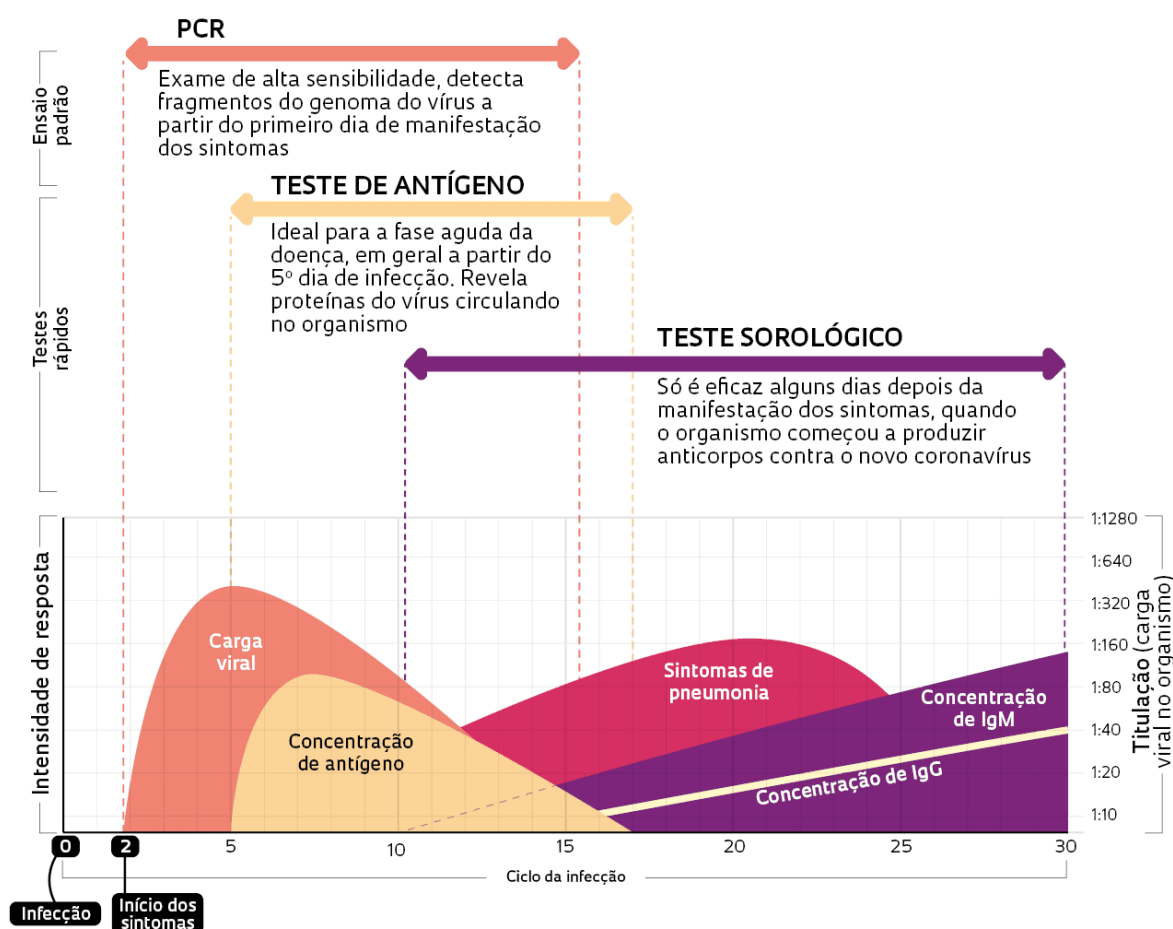
2.2 DIAGNÓSTICOS LABORATORIAIS (TESTES)

Com o avanço do COVID-19, gerou-se a necessidade de diagnosticar e quantificar a população infectada pelo vírus através da testagem de indivíduos que apresentem algum sintoma ou tenham tido contato recentemente com alguém sintomático. Por meio do diagnóstico, são definidos os tipos tratamentos precoces dos sintomas mais leves como febre, tosse náuseas, com intuito de reduzir o desenvolvimento de formas mais graves da doença. Quando necessário, ocorre a intervenção medicamentosa, caso contrário, é realizado o isolamento e acompanhamento do paciente assintomático. Vale

ressaltar que, no momento, ainda não existe um detalhamento histórico específico da patologia, nem acervo a acerca das técnicas efetivas de similaridade clínica dos casos (SILVA *et al.*, 2021).

Segundo um levantamento realizado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) no ano de 2020, estão registrados aproximadamente de 64 testes para o diagnóstico de COVID-19, sendo comercializados no Brasil. Dentre eles, destacam-se o RT-PCR, os testes de imunocromatográficos, ELISA, imunoenaios por quimioluminescência (CLIA) e imunofluorescência para a detecção e diferenciação de anticorpos, como IgA, IgG ou IgM contra o novo coronavírus. Entre os testes, o maior nível de acurácia é o RT-PCR apresentando uma elevada sensibilidade e especificidade (BRASIL, 2020). Para realização da testagem da COVID-19, é necessário observar o tempo em que o indivíduo começou a apresentar sintomas. O tempo tem relação com o tipo de teste que será realizado para detecção do vírus conforme apresenta o Gráfico 1 – Tipo de Ensaio x Ciclo de Infecção.

Gráfico 1 - Tipo de Ensaio x Ciclo de Infecção



Fonte: Vasconcelos, (2020).

2.2.1 Reverse Transcription-Polymerase Chain Reaction (RT-PCR)

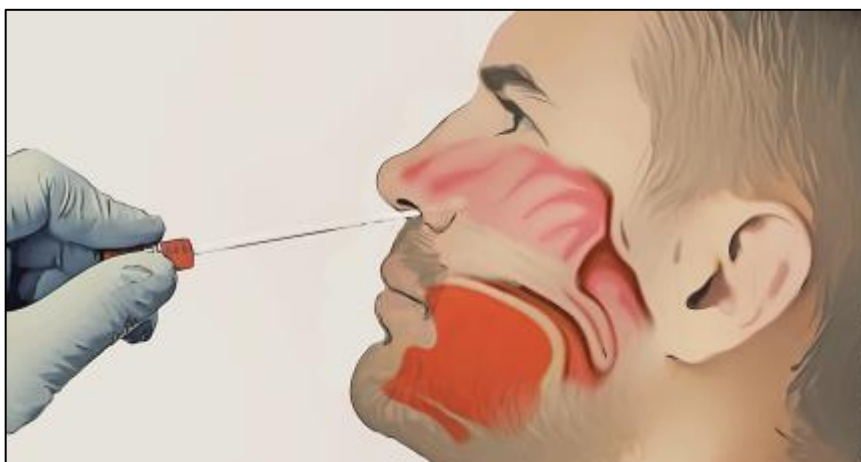
O RT-PCR é um teste utilizado para identificar a presença de material genético do SARS-CoV-2 no organismo. Para obter um alto nível de precisão durante o teste, é necessário realizá-lo durante a primeira semana após o início dos sintomas até o 12º dia, nesse período é concentrada a maior carga viral no organismo. A coleta da secreção respiratória é realizada por meio de um swab nasal ou esfregaço, apresentado aproximadamente 90% de grau de confiabilidade (SILVA *et al.*, 2021).

O diagnóstico molecular de infecção utiliza técnicas de RT-PCR, a fim de identificar o sequenciamento do genoma SARS-CoV-2. Em linhas gerais, como triagem, a recomendação é detectar uma área menos específica, o gene do envelope ou o gene E. Entretanto, existem várias possibilidades de combinações de sequenciamento, a depender da técnica utilizada pelos laboratórios, resultando em diferentes taxas de sensibilidade e especificidade. Mesmo obtendo uma alta taxa de sensibilidade e especificidade, os testes RT-PCR podem ainda apresentar falsos negativos (Souza *et al.*, 2021).

Ao realizar o teste de RT-PCR, e obter um resultado falso negativo, mesmo o paciente apresentando fortes suspeitas da doença e todos os sintomas associados ao COVID-19, é recomendável realizar uma nova coleta, com intervalo mínimo de um dia, esta reamostragem deverá ser feita em diferentes locais do trato respiratório, como nariz, escarro e endotraqueal. Adicionalmente, poderão ser solicitadas amostras de fezes, urina e sangue para monitorar a presença do vírus no organismo. Se, após o período de um dia, resultar um falso negativo pelo teste de RT-PCR, a COVID-19 será descartada (BRASIL, 2020).

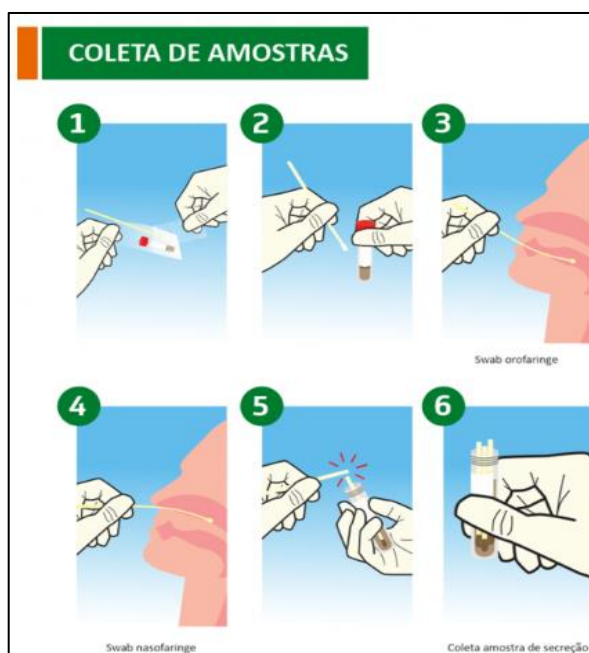
2.2.1.1 Realização do Teste do Swab

Para realização do teste RT-PCR, uma das principais recomendações é utilizar um swab combinado de nasofaringe ou orofaringe. O swab é semelhante a um “cotonete”, com hastes longas e tem a finalidade de coletar secreções no fundo das fossas nasais e na garganta do paciente, comumente é utilizado por profissionais da área da saúde para verificar se o indivíduo está infectado com a COVID-19. Na extremidade da haste, existe um material sintético poroso para melhor absorção das secreções. A Figura 1, apresenta como é feita a coleta com o swab. (VARELA *et al.*, 2020).

Figura 2 - Testagem com swab

Fonte: <https://jornal.usp.br/ciencias/laboratorio-da-usp-pode-realizar-100-testes-diarios-de-coronavirus-mas-recebepoucas-amostras/>.

A coleta de amostras de secreção a partir do teste RT-PCR, são realizadas em indivíduos com suspeita de contrair a COVID-19, especialmente em indivíduos que apresentem a Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) ou outras complicações respiratórias. Deve-se seguir as instruções apresentadas na Figura 3, nela está exemplificado como é efetuada a coleta da secreção e como é realizado o seu acondicionamento. Após a coleta, o frasco é encaminhado para o laboratório onde será realizada a análise da amostra (LACEN, 2020).

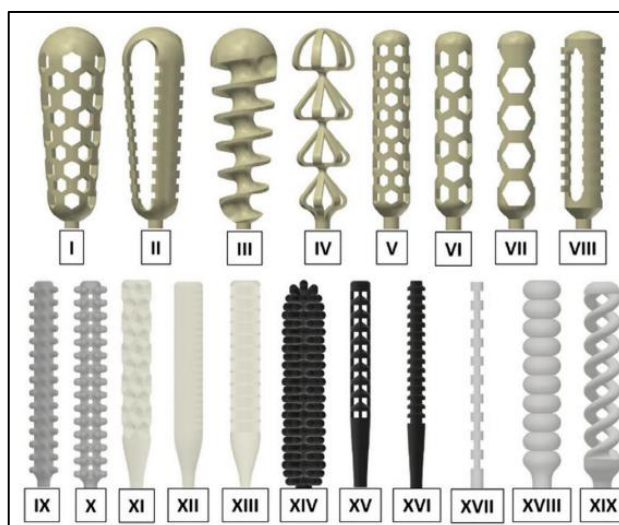
Figura 3 - Realização do teste RT-PCR

Fonte: <https://www.ceara.gov.br/2020/04/01/lacen-realiza-mais-de-5-mil-exames-para-identificar-covid-19-no-ceara-2/>

2.2.1.2 Modelos Existentes de Swab Nasal

Como apresentado no item 2.2.1.1, o swab nasofaringe é uma haste alongada estreita e flexível e sua extremidade é composta por cerdas ou superfície porosa, fabricada com um material absorvente para aderência da secreção durante a realização do teste (FORD, *et al.*, 2020). A Figura 4, apresenta diversas geometrias de swabs nasais já desenvolvidas no mercado, cada uma delas, tem como finalidade a absorção de material genético das mucosas nasais (SINGH *et al.*, 2022).

Figura 4 - Geometrias da ponta do Swab

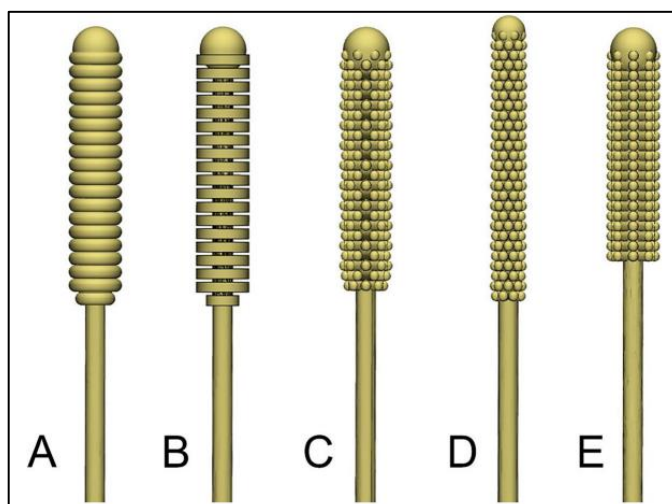


Fonte: SINGH *et al.*, (2022)

Diversos tipos de swabs nasais foram desenvolvidos em meio a pandemia da COVID-19. O intuito de desenvolver tantos modelos de dispositivos era obter designs que coletassem uma maior quantidade de muco nasal. Para alcançar esse propósito, a manufatura aditiva (impressão 3D) teve papel fundamental no desenvolvimento dessa diversidade de esfregaços nasais.

Para otimizar a coleta na mucosa nasal pelo teste RT-PCR, foram desenvolvidos vários designs de pontas do swab com o objetivo de otimizar a área da superfície, a retenção da amostra e o conforto. Os protótipos foram submetidos a testes e avaliações por médicos especializados em radiologia, doenças infecciosas e otorrinolaringologia. A Figura 5 ilustra alguns desses dispositivos (FORD *et al.*, 2020).

Figura 5 - Projetos iniciais alternativos de swab 3D.



Fonte: FORD *et al.*, (2020)

2.2.2 A Contribuição da Manufatura Aditiva Durante a Pandemia da COVID-19

Após a Organização Mundial da Saúde decretar pandemia em março de 2020. Observou-se no mundo, além do avanço da mortalidade e da morbidade dos acometidos pela doença, a pandemia afetou diretamente a cadeia abastecimento global de produtos médicos e insumos essenciais para a manutenção do sistema de saúde. A escassez que suprimentos médicos como mascarás, equipamentos de proteção individual e coletivo, respiradores entre outros tipos de equipamentos (RANNEY *et al.*, 2020).

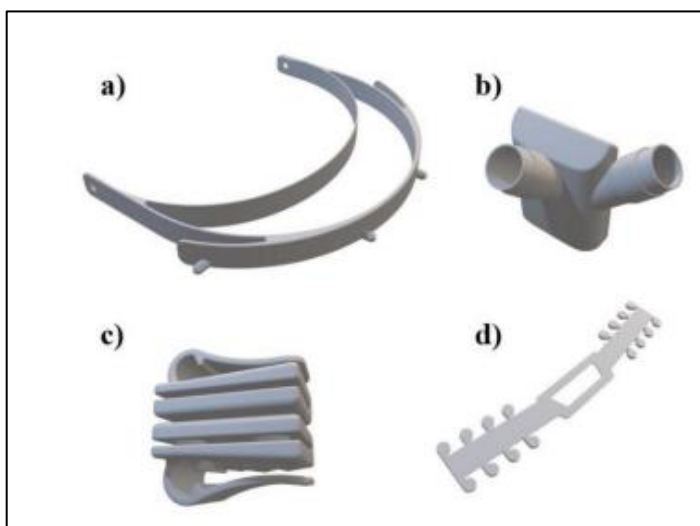
Diante da escassez de suprimentos médicos, no mês de abril de 2020, no Estados Unidos, foi gerada uma iniciativa por parte de empresas, universidades e pesquisadores para impulsionar o uso da tecnologia de impressão 3D. Com objetivo de apoiar a fabricação de dispositivos que estavam em falta no mercado devido à grande demanda causada pela COVID-19 (TINO *et al.*, 2020).

Os principais processos de fabricação fundamentam-se em princípios que abrangem a moldagem do material, podendo envolver sua fusão ou não. Diversas técnicas são incluídas, a exemplo de fundição de metais em moldes permanentes ou não, moldagem por injeção de plástico, metalurgia do pó e moldagem de peças em fibra de vidro, soldagem de peças e componentes, entre uma infinidade de outros processos de fabricação de materiais. Ao final da década de 1980 e fundamentado na fabricação por adição de material, surgiu a impressão 3D conhecido atualmente como manufatura aditiva (MA) (VOLPATO, 2021).

Originado de um sistema CAD (*Computer-Aided Design*) e, obtendo geométrica 3D, o processo de manufatura aditiva viabiliza a produção de componentes físicos e, quando necessário, utiliza diversos tipos de materiais em formas diferentes e seguindo diversos princípios. O processo de construção é inteiramente automatizado e rápido, quando comparado aos métodos tradicionais de fabricação (VOLPATO, 2021).

O processo de manufatura aditiva consiste em uma gama de tecnologias que fabricam produtos pelo método de sobreposição de camadas, resultando em objetos tridimensionais com alto nível de precisão dimensional. Dentre as tecnologias de manufatura aditiva as mais empregadas são estão a FDM (Modelagem por Fusão e Deposição), SLA (Estereolitografia), SLM (Fusão a Laser Seletiva), SLS (Sinterização a Laser Seletiva) e DLP (Processamento Digital de Luz). Além disso, existem outras tecnologias de impressão 3D, como EBM (Fusão por Feixe de Elétrons) e LOM (Manufatura de Objetos Laminados) (INÁCIO *et al.*, 2020). A Figura 6 apresenta alguns dos principais produtos fabricados durante a pandemia da COVID-19 por alguns desses processos de fabricação.

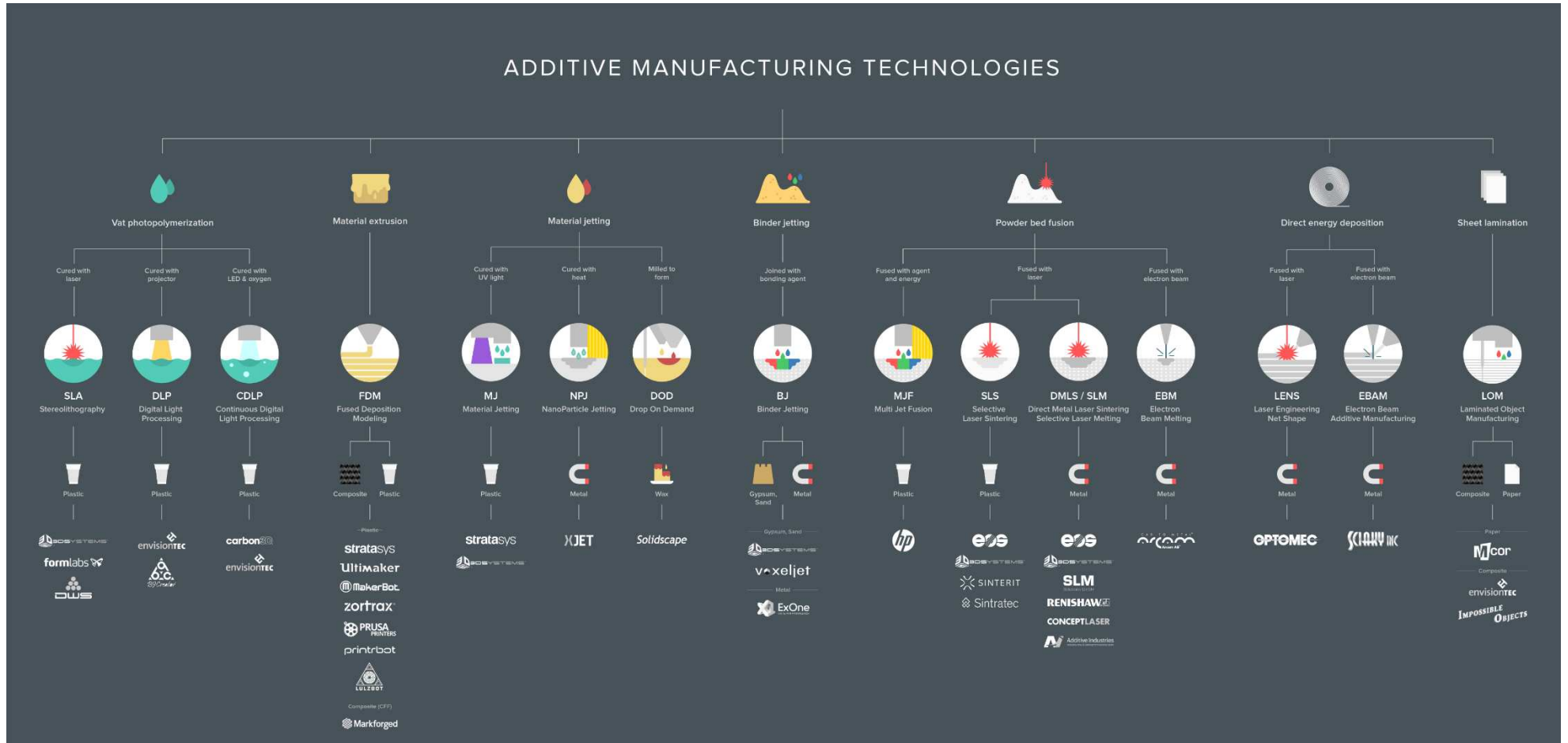
Figura 6 - Materiais Impressos por manufatura aditiva durante pandemia COVID-19
a) Protetor facial (HxS) b) Conector do ventilador c) Clipes para protetor facial alternativo (HxS) d) cinta da máscara facial)



Fonte: Colorado *et al.*, (2022)

E a Figura 6 apresenta os principais tipos de impressão tridimensional utilizados na atualizada.

Figura 7 - Tecnologias de Manufatura Aditiva



Fonte: Kuongshun Electronic Limited (2018).

2.2.3 Swabs Desenvolvidos pelo o Processo de Manufatura Aditiva

Os swabs são classificados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), como dispositivos médicos de classe I, considerados de baixo risco. Esses dispositivos são projetados em material polimérico e, em sua grande parte são fabricados com material biocompatível por meio processo de manufatura aditiva. O swab é composto por uma haste flexível, que possui, em uma extremidade, uma ponta coletora e, na outra, a base de manipulação, como mostrado na Figura 6. Além disso, apresenta um ponto de quebra proposital, permitindo seu transporte em tubos de ensaio até os laboratórios. As dimensões do swab, são: Comprimento total 150mm, diâmetro do captador de 3,85mm, diâmetro do pescoço de 1,50mm, diâmetro da haste 2,45mm e uma distância de 70mm da ponta do captador até o ponto de quebra (MANOJ *et al.*, 2021).

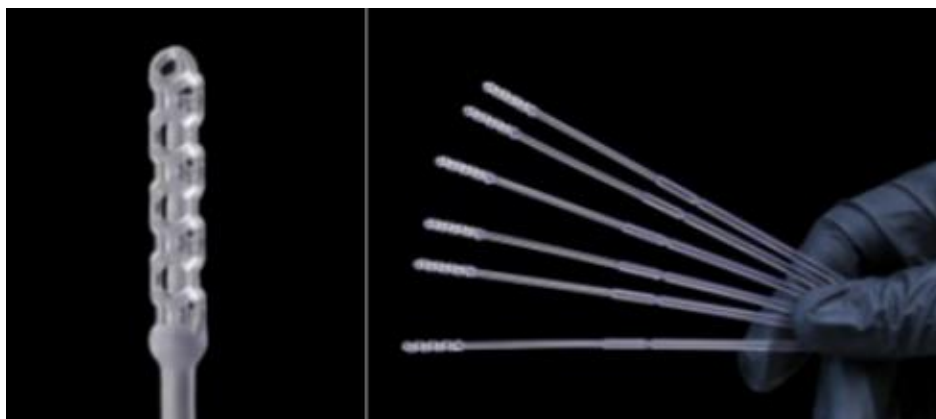
Figura 8 - Swab Otimizado pela Formlabs



Fonte: <https://www.etmm-online.com/3d-printed-nasal-swabs-for-testing-for-covid-19-a-921374/>.

Durante a elaboração do projeto, são levados em conta diversos requisitos, dentre eles, sendo de grande importância o comprimento total da haste, que deve ser aproximadamente 150mm. Além disso, a haste deve ser rígida o suficiente para realizar a coleta na nasofaringe, contudo, deve apresentar boa flexibilidade para evitar lesões nos tecidos ao longo do caminho, conforme apresenta a Figura 6. Outro ponto importante são os materiais que compõe o swab. Devido à sensibilidade do teste RT-PCR, é fundamental que esses materiais não interfiram quimicamente no resultado da amostra (VARELA *et al.*, 2020).

Figura 9 - Swab da EnvisionTEC.



Fonte: <https://envisiontec.com/envisiontec-covid-19-efforts/>.

O swab fabricado pelo Centro Tecnológico CTC em parceria com o Hospital Virtual Valdecilla, ambos na Espanha, apresenta uma variação no diâmetro da haste e uma ponta para coleta e retenção de amostras. O diâmetro da haste varia entre (1,3 – 3) mm, essa variação tem formato cônico e seu comprimento total é de 16,9 mm. Além disso, o captador é formado por 10 espirrais de 3mm de diâmetro, a Figura 10 apresenta esse dispositivo. A material prima utilizada para fabricação desse swab é composta por uma resina biocompatível e uma alternativa, fornecidas pela empresa Formlabs (VEGA *et al.*, (2020)).

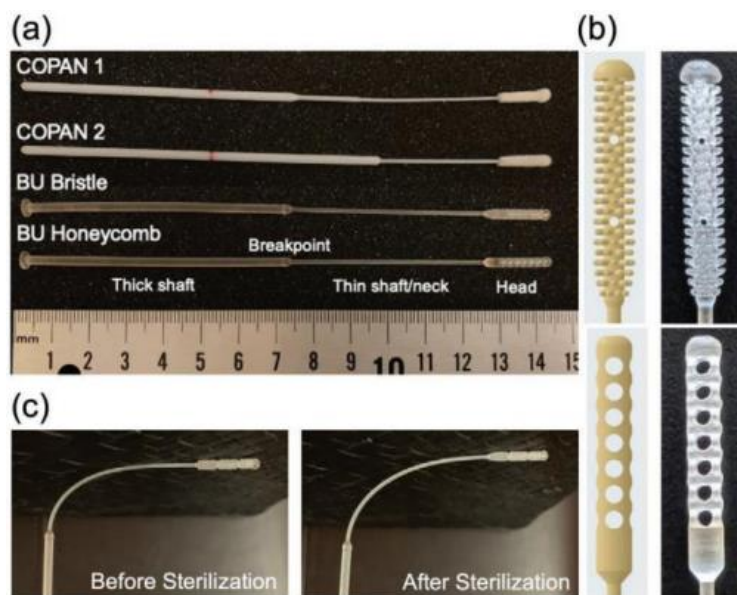
Figura 10 - Swab Desenvolvido pelo CTC com o Hospital Virtual Valdecilla



Fonte: VEGA *et al.*, (2020).

Apresentando o mesmo formato de haste, porém com captadores diferentes, os designs fabricados pelas empresas COPAN e BU são amplamente comercializados devidos à boa quantidade de amostra coletada. A Figura 11 mostra os designs de ambas as empresas; a empresa BU tem o design de Favo de Mel, enquanto a empresa COPAN apresenta um modelo de captador em formato de cerdas (SONG *et al.*, 2021).

Figura 11 - a) Esfregaços nasofaríngeos disponíveis comercialmente e esfregaços impressos em 3D. De cima para baixo: COPAN 1, COPAN 2, cerdas BU e favo de mel BU. b) Renderização 3D (esquerda) e fotografias em close (direita) do design da cabeça do cotonete com cerdas BU (acima) e favo de mel BU (inferior). c) Esfregaços impressos em 3D antes (esquerda) e depois (direita) do processo de esterilização mostrando que a haste permanece flexível e intacta após a esterilização.



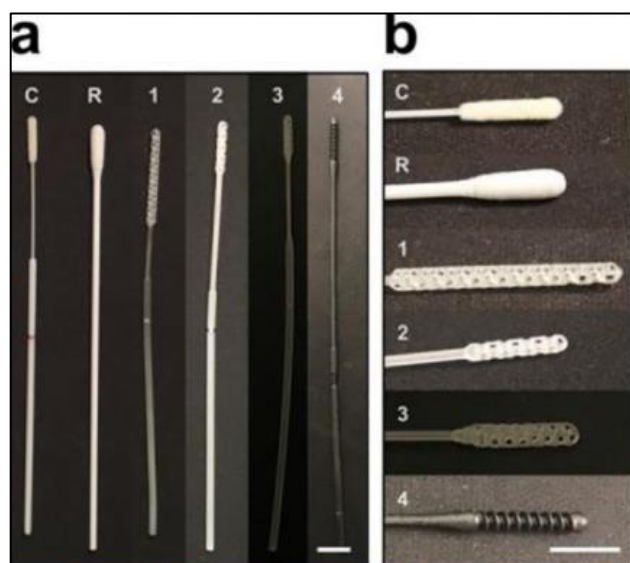
Fonte: SONG *et al.*, (2021)

2.2.4 Requisitos e Parâmetros para a Fabricação do Swab Nasal

Os requisitos e parâmetros são fundamentais para uma boa execução de projeto. O objetivo de defini-los previamente aumenta consideravelmente as chances de sucesso do projeto. Para isso, foi realizada uma pesquisa acadêmica acerca dos principais requisitos e parâmetros utilizados para fabricação dos swabs nasais pelo processo de manufatura aditiva, tendo em vista suas dimensões, geometria, capacidade de coleta, resistência mecânica e boa flexibilidade.

Callahan, *et al.*, (2020) avaliou aproximadamente 160 designs de swab fabricados por manufatura aditiva. Dentre esses, foram selecionados quatro tipos de dispositivos de fabricantes distintos que apresentaram melhor desempenho frente aos outros analisados, demonstrando melhor resistência mecânica e flexibilidade. A Figura 12, mostra os dispositivos utilizados em seu estudo.

Figura 12 - (a) Cotonetes convencionais (C, R) e impressos em 3D (1,2,3,4) (b) Close-ups das cabeças dos cotonetes



Fonte: CALLAHAN *et al.*, (2020).

A geometria do coletor “cabeça” do swab nasal utilizada em sua pesquisa variou entre a do tipo colmeia de núcleo vazio e espiral de núcleo sólido. Adicionalmente, observou-se também que os dispositivos prototipados tinham as seguintes características: comprimento total entre 15-16cm; comprimento da cabeça entre 1,5-3,5mm; diâmetro da cabeça entre 1-4mm; diâmetro do pescoço entre 1-2mm; comprimento do pescoço entre 3-3,5cm; e localização do ponto de ruptura de 7-10cm.

Utilizando o método de fabricação de Modelamento de Deposição Fundida (FDM), no qual ocorre a sobreposição de camada fundidas para criar um objeto, Cox; Koepsell, (2020) desenvolveram um swab nasal e de formar distinta a maioria dos processos de impressão tridimensionais. Eles imprimiram a peça paralela ao eixo, e isso lhes trouxe maior resistência à tração e menor probabilidade de o dispositivo colapsar durante a realização do teste.

2.2.4.1 Parâmetros Utilizados no Projeto

Para realizar a impressão tridimensional de alguns modelos de swab nasal disponíveis no mercado, Carvalho, (2023) efetuou um levantamento relacionando as medidas mais utilizadas pelos desenvolvedores de swab nasais e as incluiu conforme apresenta a Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros de projeto de swab nasofaríngeo manufaturado em 3D.

Parâmetro Fonte	Cabeça		Haste		Pescoço		Breakpoint	L _T
	L	∅	L	∅	L	∅	Distância da Cabeça	
SONG <i>et al.</i> (2021)	15 - 35	1 - 4	60 - 105	25	30 - 55	1 - 2	70 - 100	N/I
FORD <i>et al.</i> (2020)	15	3,85	N/I	2,45	N/I	1,5	70	150
HUANG <i>et al.</i> (2022)	6	0,5	N/I	10	N/I	N/I	80	160
ARJUNAN <i>et al.</i> (2021)	15,3	3,5	N/I	2,5	N/I	1,4	65,8	150
GALLUP <i>et al.</i> (2020)	22,3	3,3	N/I	2,45	54,6	1,05	N/I	156, 57

L – Comprimento [mm]; ∅ – Diâmetro [mm]; L_T – Comprimento Total [mm]; N/I – Não Informado.

Fonte: Adaptado Carvalho, (2023).

A definição das dimensões será realizada utilizando uma média das medidas encontradas nesta seção. O modelo de swab nasal desenvolvido neste estudo, através da manufatura aditiva será o de geometria tipo colmeia, utilizado por Callahan *et al.*, (2020) em seu estudo.

2.3 TIPOS DE ENSAIOS MECÂNICOS REALIZADOS NO SWAB

2.3.1 Tração

O objetivo ao realizar o teste de tração é simular a retirada do cotonete da cavidade nasofaríngea. Desta forma, o teste busca garantir a eficácia da coleta, evitando a quebra do material durante a inserção do swab na mucosa nasal, visando assim evitar possíveis danos ao usuário.

No estudo de Gallup *et al.*, (2020), foram empregados experimentos utilizando um projeto de swab de código aberto. Durante a pandemia, algumas empresas fabricantes desse tipo tecnologia, devido à escassez dos insumos médicos, disponibilizaram seus projetos, já validados pelos órgãos reguladores, como a ISO 13485 e *Federal Drug Administration* (FDA), para facilitar a produção do swab. A Figura 13 apresenta como é realizado o teste de tração.

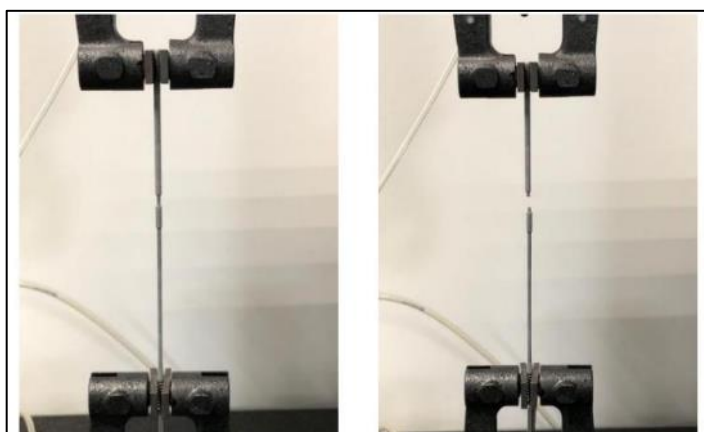
Figura 13 - Teste mecânico de swabs com um Instron 4206



Fonte: Gallup *et al.*, (2020)

Os swabs são submetidos a testes de tração, para verificar o comportamento de suas propriedades mecânicas. No contexto voltado para área da saúde, o processo de esterilização dos materiais e equipamentos é realizado para garantir a limpeza e desinfecção desses itens. Esse procedimento é feito na maioria das vezes pelo processo de autoclavagem, utilizando vapor em alta temperatura. Com isso, o objetivo do teste de tração é avaliar o impacto da esterilização no desempenho mecânico do material. Além disso, o teste de tração visa simular o pior dos cenários durante a realização da testagem, ficando preso no trato nasofaríngeo. A Figura 14 apresenta como é realizado esse teste, mostrando o antes e depois de aplicado a carga no cotonete (SPADACCINI *et al.*, 2020).

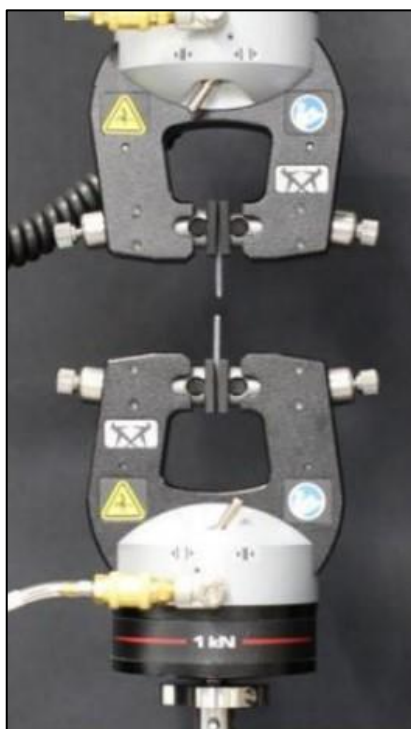
Figura 14 -- Imagens dos cotonetes na configuração do teste de tração. A imagem à esquerda mostra o cotonete



Fonte: SPADACCINI *et al.*, (2020)

O teste de tração é de extrema importância após a fabricação dos swabs nasofaríngeos. Ele garante ao paciente e ao profissional de saúde uma segurança e confiabilidade durante a realização do teste, imitando uma obstrução completa das vias nasais até a nasofaringe. A Figura 15 ilustra como é realizado o teste de tração. Adicionalmente, o processo de esterilização por autoclave é utilizado no dispositivo após a sua confecção e, em seguida, é realizado o teste de tração para verificar seu desempenho mecânico (TOOKER *et al.*, 2021).

Figura 15 - Realização do teste de tração



Fonte: TOOKER *et al.*, (2021).

2.3.2 Flexão

SPADACCINI *et al.*, (2020) em seus estudos, realizou um comparativo entre o swab fabricados e disponibilizados no mercado, com a intenção de realizar um comparativo entre as propriedades mecânicas adquiridas em cada cotonete. Desta forma, o ensaio de flexão avaliará a flexibilidade e a resistência do swab quando submetido à flexão. O swab foi engastado apenas de um lado da estrutura, sendo aplicada uma carga radial em sua outra extremidade que estava em balanço. O objetivo do teste de flexão é avaliar o grau de deformação e verificar a ocorrência de ruptura do material durante o teste, conforme apresenta a Figura 16.

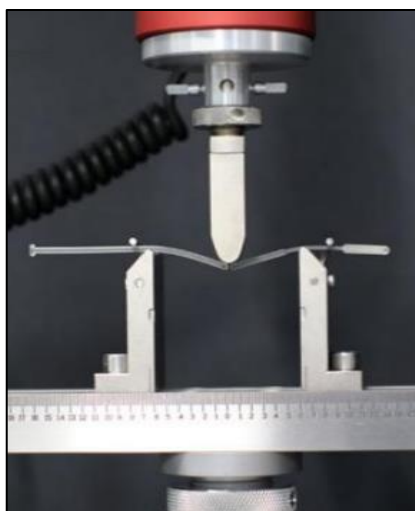
Figura 16 - Imagens do cotonete antes durante e após o ensaio de flexão.



Fonte: SPADACCINI *et al.*, (2020)

O ensaio de flexão buscar simular o dobramento do swab quando inserido na cavidade nasal do paciente, buscando verificar a flexibilidade da articulação entre a cabeça e o pescoço do swab. Outra maneira de fixação do cotonete para realizar o ensaio de flexão é em três pontos, o dispositivo fica engastado nas duas extremidades e sofre a ação de carga radial no meio do swab, A Figura 17 ilustra este ensaio (TOOKER *et al.*, 2021).

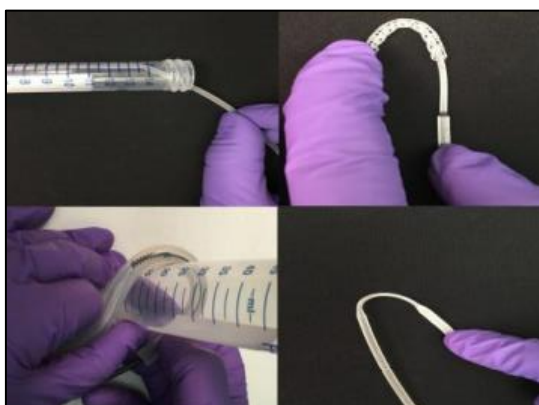
Figura 17 - Ensaio de flexão por três pontos.



Fonte: TOOKER *et al.*, (2021)

As cabeças dos swabs foram submetidas a teste de flexibilidade e robustez, verificando a resistência da cabeça e do pescoço à fratura e a robustez para a repetição da inserção e remoção do swab em um cano tortuoso e estreito. A flexibilidade do pescoço foi testada segurando o cotonete acima do ponto de quebra e realizado o dobramento em direção ao nariz do swab. A Figura 18, mostra como é realizado esse procedimento (CALLAHAN *et al.*, 2020).

Figura 18 - Teste de Flexão Manual 180°

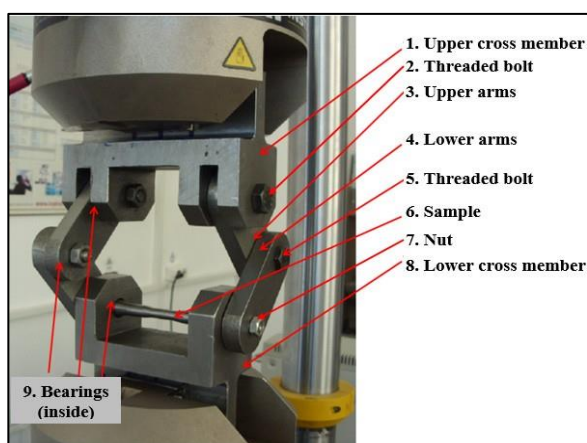


Fonte: CALLAHAN *et al.*, (2020)

2.3.3 Torção

O teste de torção visa determinar o limite de fadiga associado a um coeficiente específico de assimetria do ciclo. A análise desses resultados é conduzida em máquinas especializadas. Existem dois tipos de máquinas para realizar o ensaio de torção. A primeira delas é a máquina universal que incluem a capacidade de realizar o teste de torção, além de outros como tração, flexão e compressão. No segundo caso, são as máquinas especializadas dedicadas exclusivamente para o ensaio de torção. Em seu estudo Goanta, (2022) desenvolveu um dispositivo para adaptar a uma máquina de ensaio universal pulsante, buscando determinar o limite de fadiga por torção para diferentes matérias, conforme apresenta a Figura 19 (GOANTA, 2022).

Figura 19 - Dispositivo de fadiga por torção fixado na máquina de ensaios pulsantes

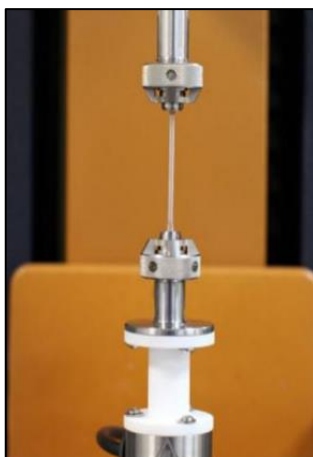


Fonte: GOANTA, (2022)

Os testes mecânicos têm como objetivo simular os piores cenários que possam ocorrer durante a utilização do dispositivo. O teste de torção, busca simular uma um

cenário no qual, durante a testagem, o swab fique preso por uma obstrução ao ser submetido a uma rotação dentro do trato nasofaríngeo. Nesse teste, as duas extremidades do swab são fixadas por duas garras pneumáticas, sendo uma extremidade mantida de forma estacionária enquanto a outra gira no sentido anti-horário até a ruptura do swab (TOOKER *et al.*, 2021). A máquina para realização do ensaio é ilustrada pela Figura 20.

Figura 20 - Teste de torção



Fonte: TOOKER *et al.*, (2021)

Seguindo o mesmo princípio de Tooker *et al.*, (2021), SPADACCINI *et al.*, (2020) realizou um experimento semelhante, desenvolvendo um dispositivo que realizasse a torção do swab, buscando verificar o quanto de torque rotacional o cotonete pode suportar antes de se romper. A seguir, a Figura 21 mostra como esse teste foi realizado (SPADACCINI *et al.*, 2020).

Figura 21 - Demonstração do teste de torção



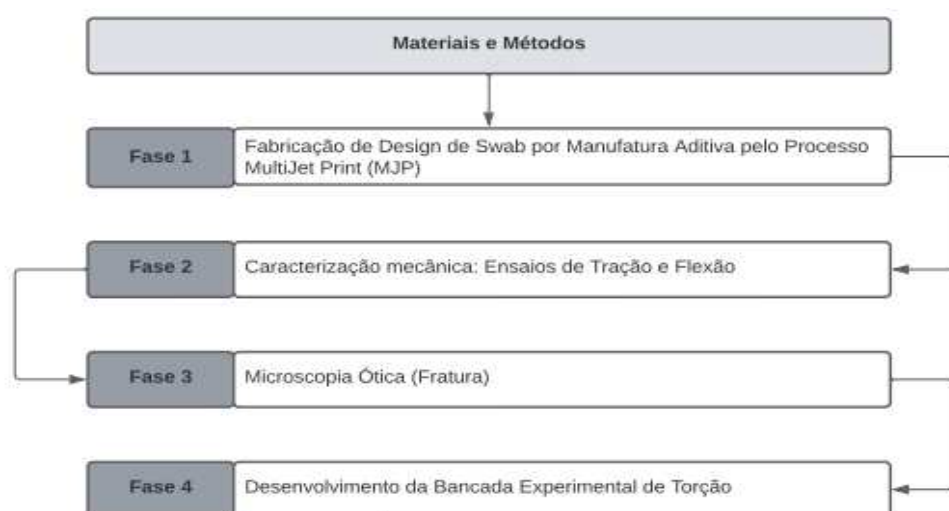
Fonte: SPADACCINI *et al.*, (2020)

CAPÍTULO III

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para proporcionar uma melhor compreensão e definição da metodologia do estudo, foi desenvolvido um fluxograma para apresentar as fases e etapas que serão abordadas no trabalho em questão. Seu objetivo é destacar, de forma rápida e didática, todo o processo definido para o projeto. A Figura 22 mostra de forma geral as etapas do projeto e ao decorrer da metodologia serão apresentadas as etapas inseridas dentro de cada fase.

Figura 22 - Fases do Projeto



Fonte: Autor

3.1 FASE 1 - FABRICAÇÃO DE DESIGN DE SWAB POR MANUFATURA ADITIVA PELO PROCESSO MULTIJET PRINT (MJP)

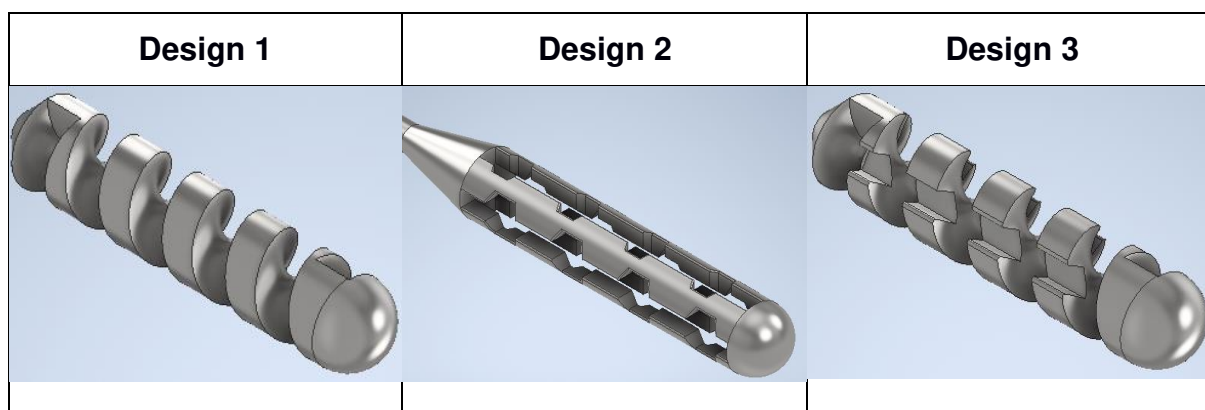
Para iniciar o desenvolvimento do swab nasal, foi realizada uma pesquisa acadêmica acerca da fabricação do dispositivo por manufatura aditiva, estando apresentada no Capítulo II deste trabalho.

Após a conclusão pesquisa acadêmica, foi realizada a seleção do modelo de dispositivo “swab nasal” a ser fabricado pelo processo de manufatura aditiva. Os critérios para escolha do dispositivo foram: bom desempenho na capacidade de coleta de muco; equilíbrio adequado entre resistência mecânica e flexibilidade, e uma geometria que proporcionasse conforto e segurança ao paciente. Inicialmente, a geometria selecionada para o captador de muco neste estudo foi do tipo colmeia.

Ainda nesta fase, é realizada uma estruturação funcional do produto, sendo levados em consideração o croqui do dispositivo e a sua viabilidade técnica para a fabricação. Além disso, também são definidos os requisitos quantitativos e qualitativos. Os parâmetros quantitativos estão relacionados às dimensões do corpo de prova, como comprimento total da haste, variação dos diâmetros e todas as medidas relacionadas ao produto. Já os requisitos qualitativos, se remetem ao acabamento superficial, relação entre a flexibilidade/rigidez e a coleta de muco.

Conforme pesquisa realizada por Carvalho (2023) e por Callahan *et al.*, (2020). Em ambos os estudos, os modelos selecionados para este trabalho, demonstraram desempenho satisfatório em termos de absorção de muco e apresentaram uma boa relação entre resistência mecânica e flexibilidade. Conforme definido para este estudo, as geometrias do tipo colmeia e do tipo espiral estão representadas como ilustra a Quadro 1.

Quadro 1 - Concepção do design do captador de muco.



Fonte: Autor

Além disso, Carvalho (2023) revelou que após realizar a fabricação e análise de vários modelos de swab, identificou que o dispositivo mais efetivo, com a maior capacidade de absorção de muco dentre os modelos fabricados por ele e, ao mesmo tempo, com custos menores de impressão devido ao pouco material utilizada, foi o design 2 exibido da Figura 23.

Figura 23 - Modelo do Swab (Croqui)



Fonte: Autor

Através do estudo bibliográfico realizado para identificar um dispositivo (swab nasofaríngeo) que apresentasse um desempenho melhor perante outros durante seu trabalho, optou-se pelo design 2. Sendo este o modelo escolhido para fabricação neste estudo, conforme ilustrado pela Figura 23.

3.1.1 Software Utilizados na Fabricação

Para o dimensionamento do swab nasofaríngeo, foi utilizado o *Autodesk Inventor Professional 2023* e para preparação da impressão 3D do swab e avaliação das malhas, foi utilizado o software *Meshmixer*.

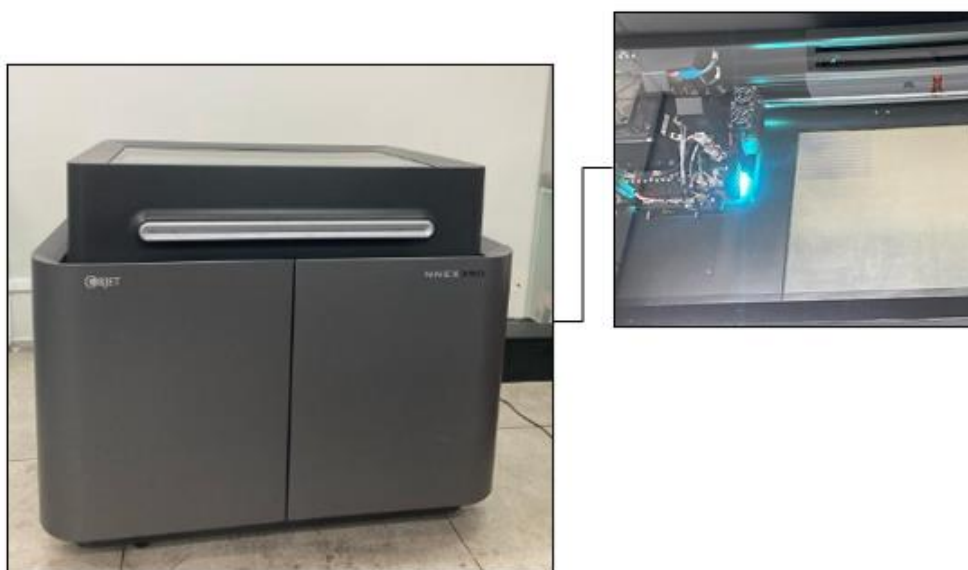
3.1.2 Definição do Método de Impressão

Tipo de Impressão 3D – *MultiJet (MJP)*

O processo de impressão tridimensional a ser utilizado neste estudo é o MJP, e a impressora é a CONNEX 350, fabricada pela empresa *Stratasys* que é comumente utilizado em processos de fabricação de peças com modelos complexos devido à sua alta precisão. Além disso, a impressora destaca-se pela capacidade de imprimir simultaneamente vários tipos de materiais, permitindo a criação de objetos com propriedades físicas distintas.

O funcionamento da CONNEX 350 baseia-se na tecnologia *PolyJet*, na qual o cabeçote da impressora deposita camadas extremamente finas, chegando até 16 micrômetros (0,016mm). Essa capacidade de deposição contribui para um alto nível de precisão nos modelos impressos. As gotículas de material polimérico depositadas sobre a plataforma de construção são curadas a cada camada por luz UV, auxiliando na solidificação do material, melhorando as propriedades mecânicas e a precisão dos objetos impressos. A Figura 24, ilustra o modelo de impressora utilizada.

Figura 24 - The Connex350 3D Printer



Fonte: Autor.

3.1.3 Especificação dos Materiais Utilizados

A resina utilizada no processo de fabricação dos swabs nasais foi a VeroWhitePlus RGD835, um polímero acrílico fotopolimerizável que apresenta uma combinação equilibrada de dureza e flexibilidade, sendo ideal para a fabricação dos swabs. O detalhamento de suas propriedades está apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Propriedades Mecânicas da Resina *VeroWhitePlus* RGD835

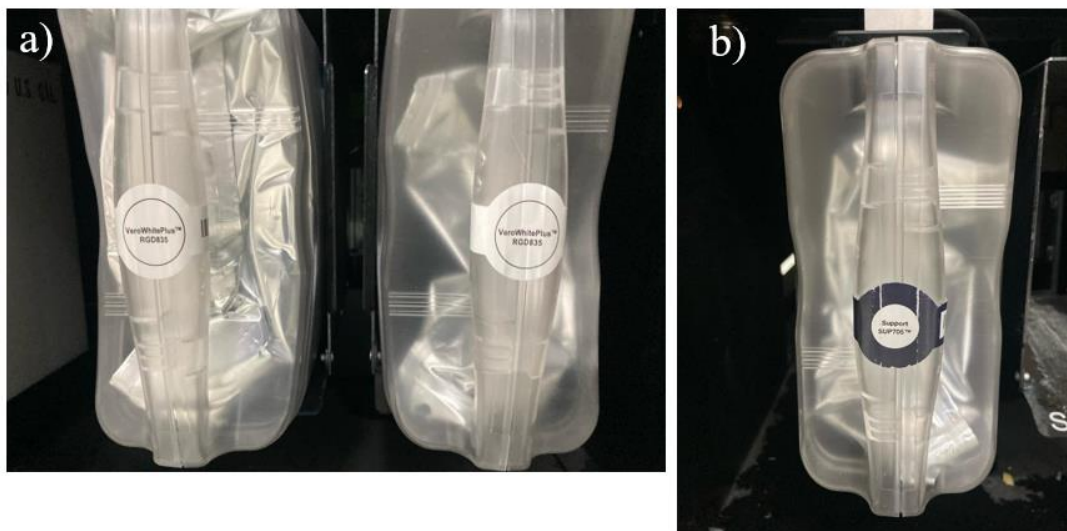
PROPRIEDADES MECÂNICAS	MÉTODO DE TESTE	INGLÊS	MÉTRICA
Cor/Aparência	Visual	White	White
Resistência à tração	ASTM D638	8,350 psi	58 MPa
Alongamento na ruptura	ASTM D638	10% - 25%	10% - 25%
Módulos de elasticidade	ASTM D638	362,500 psi	2,500 MPa
Resistência à Flexão	ASTM D790	13,500 psi	93 MPa
Módulo Flexural	ASTM D790	392,500 psi	2,700 MPa
Impacto entalhado Izod	ASTM D256	0.47 ft-lb/in	25 J/m
Dureza Shore D	-	85 D	85 D
Temperatura de deflexão térmica	ASTM D648 @ 264 psi	118°F	48°C

Fonte: Stratasy (2024).

O material suporte usado para manter a estabilidade da geometria durante a impressão é o Suporte Tipo Gel da PolyJet – SUP705. Este material auxilia como suporte da estrutura, evitando balanços, sendo solúvel em água e podendo ser

removido facilmente, seja manualmente ou com jatos de água. A Figura 25 a) e b) mostra os dois tipos de materiais a serem utilizados na impressora CONNEX350.

Figura 25 a) Resina VeroWhitePlus RGD835; b) Material Suporte Tipo Gel da Polyjet – SUP705



Fonte: Autor.

Para iniciar o processo de impressão os níveis de resina e material suporte foram verificados conforme apresenta a Figura 26.

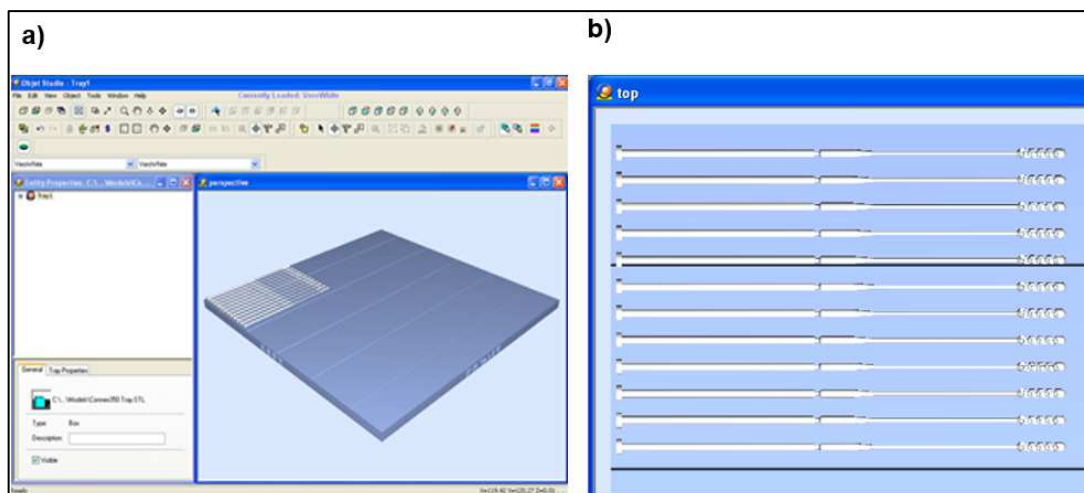
Figura 26 - Níveis dos materiais utilizados na impressão.



Fonte: Autor.

Em seguida, o arquivo do desenho deve ser encaminhado para o software da impressora, onde o modelo de impressão foi configurado. De acordo com o estudo de Cox; Koepsell, (2020), o modelo de impressão foi ajustado de maneira que as camadas depositadas da impressão ficassem paralelas ao longo do eixo, aumentando, assim, a resistência à tração do swab nasal em comparação com a impressão de ponta a ponta. A Figura 27 apresenta como será realizada esta impressão.

Figura 27 a) Disposição dos swabs na bandeja; b) Vista aproximada dos swabs



Fonte: Autor.

Dando continuidade ao processo de impressão, alguns parâmetros foram pré-estabelecidos pela Stratasys para impressão na CONNEX350. Isso assegurará que o modelo impresso alcance as propriedades pretendidas na concepção do projeto. Esses parâmetros são fundamentais para garantir melhor aderência entre as camadas e fácil remoção do dispositivo da bandeja de impressão. A seguir, na Tabela 2, estão dispostos os principais parâmetros para a impressão.

Tabela 2 - Parâmetros definidos para impressão - Connex350

Parâmetro	Valor
Resina Consumida	20,1 g
Material de Suporte Consumido	42,0 g
Tempo Gasto para Impressão	36,0 min
Temperatura Média do Cabeçote	72,5 °C
Temperatura do Ambiente	33,0 °C
Ultravioleta (Lâmpadas da direita e esquerda)	707 mJ/cm ²
Nível de Vácuo no Cabeçote	Aceitável

Fonte: Connex350 (2023).

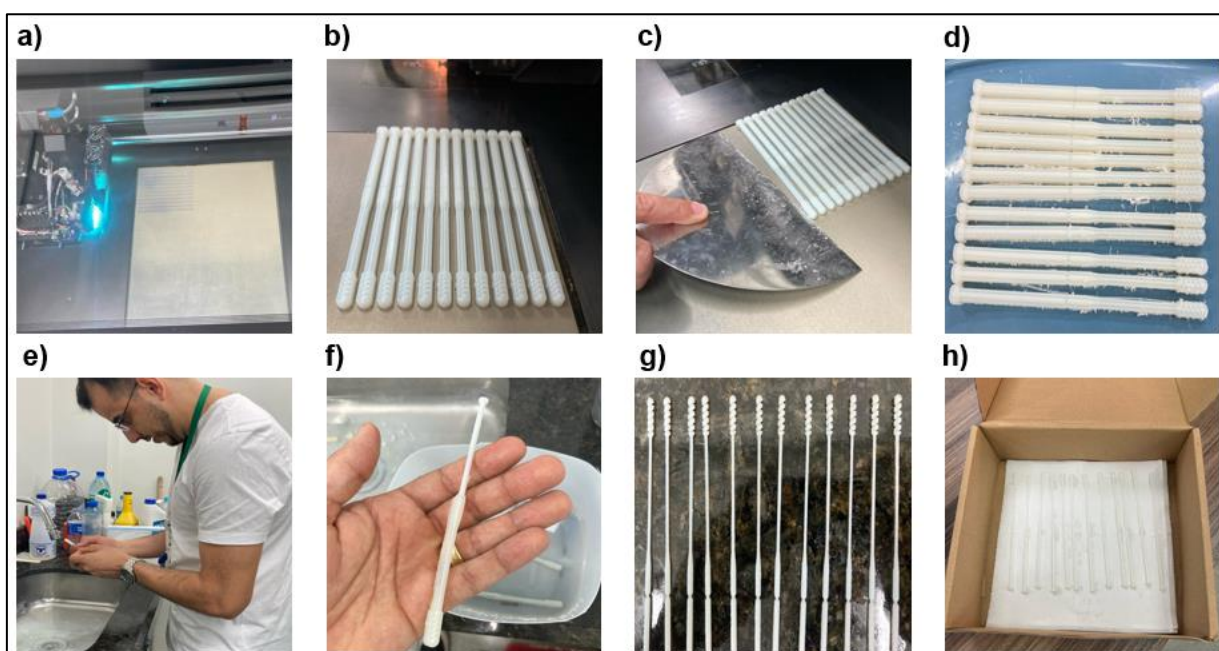
3.1.4 Parâmetros para a Fabricação do Swab

Para a fabricação do swab nasal, foi conduzido o detalhamento do projeto, que é a última fase que antecede a produção. O objetivo desta etapa é fornecer um detalhamento completo do projeto, incluindo, desenhos técnicos, modelamentos tridimensionais, lista de materiais normas aplicadas, de forma geral detalhar todo o processo de fabricação.

No desenvolvimento do dispositivo, foram empregados dois softwares da *Autodesk*: o *Inventor Professional 2023* para o dimensionamento da peça, e o *Meshmixer*, utilizado na preparação, verificação e reparo da malha do desenho do swab antes de sua impressão. Os desenhos técnicos estão documentados nos Anexos A e B deste trabalho.

Após definidos os parâmetros na impressora Connex350 e atingido as faixas de temperatura no cabeçote, foi iniciado o processo de impressão dos swabs nasais. O processo de fabricação consiste na sobreposição de camadas de resina fotocurável, ao mesmo tempo que é injetado o material de suporte para estabilizar a estrutura do fabricada. A Figura 28 apresenta como foi realizado o processo de impressão do swab nasal.

Figura 28 a) deposição e cura do material (resina + suporte); b) peça finalizada; c) retirada do swab da bandeja; d) material aguardando limpeza; e) limpeza em imersão aquosa; f) retirada do material de suporte; g) swabs nasais limpos; h) acomodação



Fonte: Autor.

Após a limpeza dos dispositivos, é realizada a acomodação a sua acomodação. Eles devem permanecer em um ambiente seco e com pouca luminosidade, o fator luminosidade influencia diretamente na resistência do material por se tratar de uma resina fotocurável.

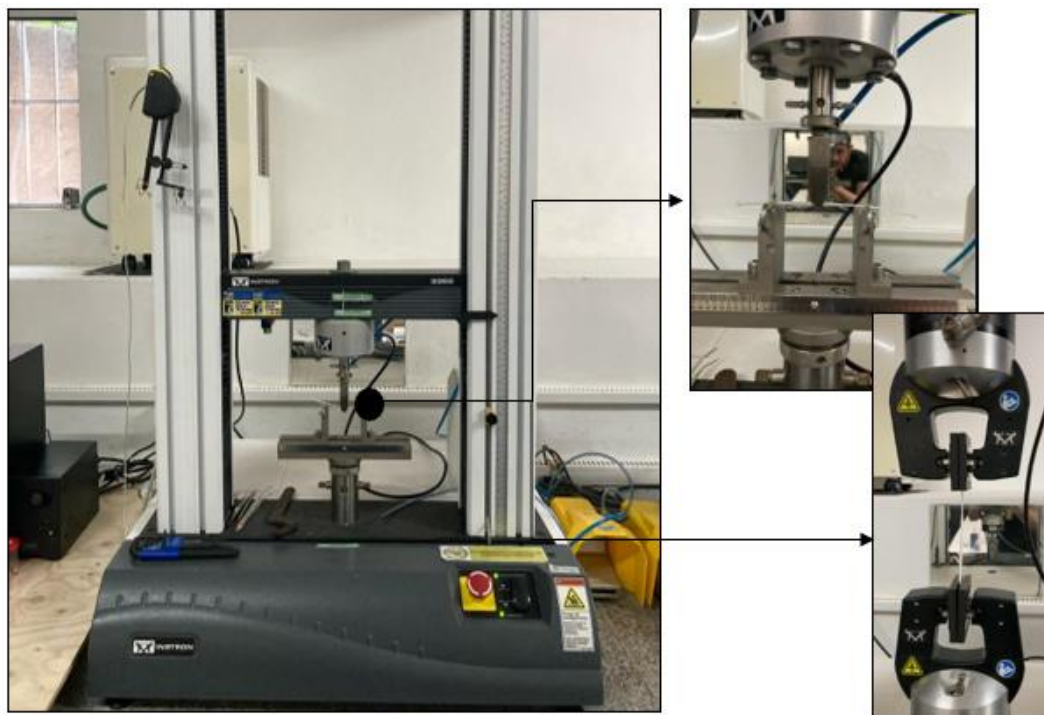
3.2 FASE 2 – CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA: ENSAIOS DE TRAÇÃO E FLEXÃO

A caracterização mecânica do dispositivo consiste em testar mecânica o dispositivo fabricado por manufatura aditiva, pelos ensaios de tração e flexão. Ambos os ensaios simulam de forma extrema a utilização dos swabs para identificar a capacidade máxima de carga que a haste consegue suportar.

3.2.1 Ensaios de Tração e Flexão

Os ensaios foram conduzidos utilizando o mesmo maquinário, diferenciando-se, no entanto, pelos parâmetros adotados para realização de cada ensaio e pelas garras de fixação do corpo de prova. Os ambos os ensaios foram realizados no Laboratório de Avaliação e Desenvolvimento de Biomateriais do Nordeste - CERTBIO, na Universidade Federal de Campina Grande - UFCG.

Para realização dos ensaios, foi utilizada Máquina de Ensaio Universal *Instron* 3366 que atende aos requisitos definidos pela norma ASTM D638, responsável pela aplicação do método de teste padrão para plásticos. A Figura 29, mostra o maquinário utilizado nos ensaios de tração e flexão.

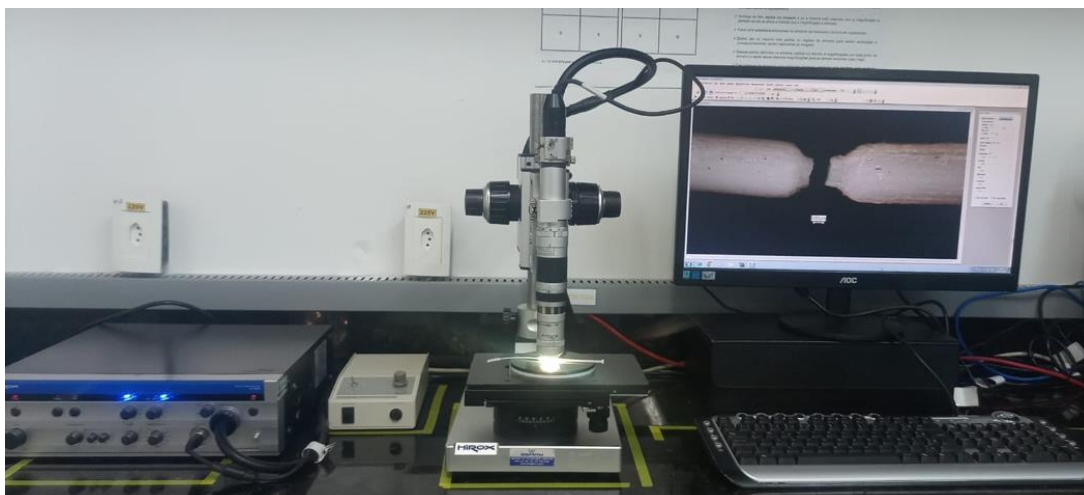
Figura 29 - Instron 3366 (tipos de fixação)

Fonte: Autor.

Para execução do ensaio de tração utilizou-se o protocolo definido por SPADACCINI et al., (2020). Em seu estudo, ele aplicou uma taxa de deslocamento de 25mm/min até a ruptura do corpo de prova. Já para realizar o ensaio de flexão SONG et al., (2021), utilizou uma taxa de deslocamento de 1mm/min. Em ambos os casos os corpos de prova serão ensaiados até o seu ponto de ruptura, simulando o uso extremo do dispositivo.

3.3 FASE 3 – MICROSCOPIA ÓTICA

Esta fase visa, analisar o comportamento da fratura do swab nasofaríngeo, após os ensaios de tração e flexão, seu intuito é fornecer informações sobre o modo de fratura do material, se foi de forma dúctil ou frágil. O ensaio foi realizado no Laboratório de Avaliação e Desenvolvimento de Biomateriais do Nordeste - CERTBIO, na Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. O equipamento utilizado para o de Microscópio Digital da Hirox, modelo KH-1300, conforme apresenta a Figura 30.

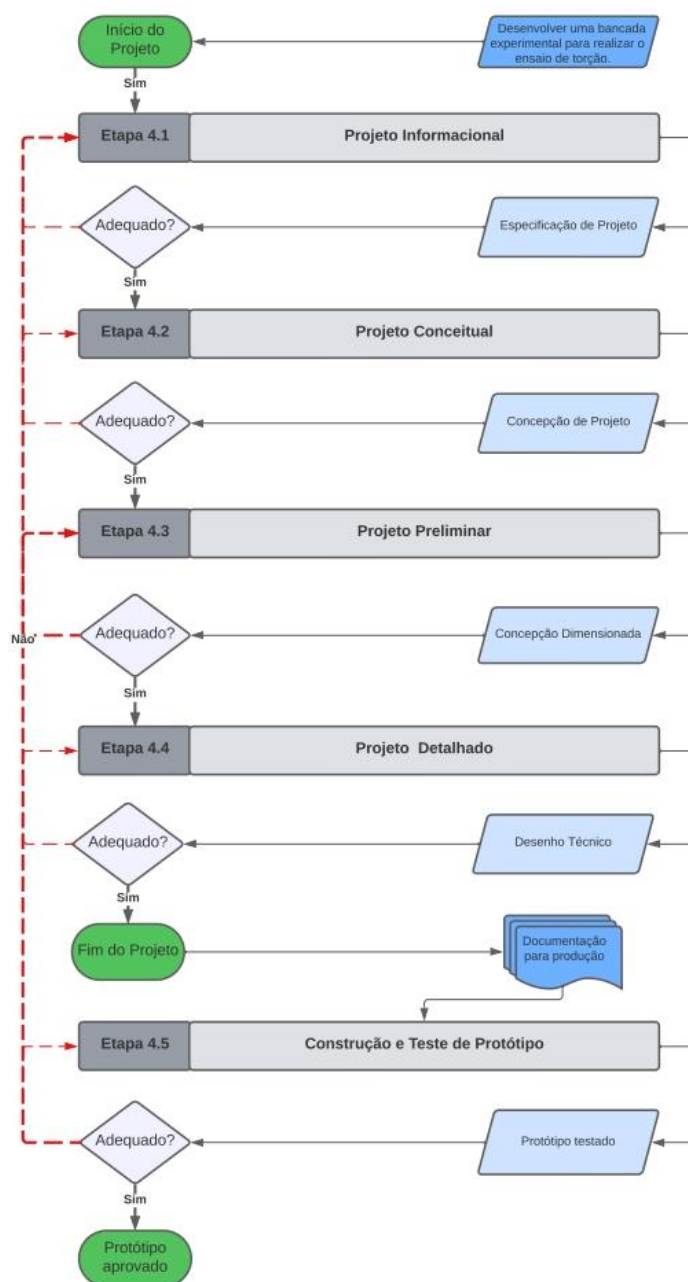
Figura 30 - Ensaio de Microscopia Ótica

Fonte: Autor.

3.4 FASE 4 - DESENVOLVIMENTO DA BANCADA EXPERIMENTAL DE TORÇÃO

Realizando uma busca na cidade de Campina Grande - PB e região, observou-se a escassez de equipamentos capazes de realizar o ensaio de torção no swab nasal. Apenas foi encontrada uma máquina de torção destinada a ensaiar parafusos na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), a qual não se mostrou adequada para dar continuidade ao trabalho em questão. Diante dessa carência e após gerada a necessidade, foi desenvolvida uma bancada experimental de torção que atendesse à demanda específica do estudo. A Figura 31 apresenta como serão realizadas as etapas para o desenvolvimento da bancada experimental.

Figura 31 - Fluxo para resolução de problemas “caixa preta”



Fonte: Autor.

3.4.1 Etapa 4.1 – Projeto Informacional

O projeto informacional envolve a criação de um sistema estruturado de informações para orientar as etapas posteriores a esta. Nesta fase, será realizada uma pesquisa comercial para identificar os modelos existentes e serão elencados os principais requisitos para um bom desempenho da bancada de torção.

O primeiro requisito avaliado no trabalho foi o torque máximo aplicado pelo motor de passo, esse requisito permite determinar o torque máximo que o corpo de prova utilizado no ensaio poderá resistir antes da ruptura.

O segundo requisito avaliado foi o ângulo de torção, permitindo medir o ângulo obtido pelo corpo de prova ao receber a carga torcional. Estes parâmetros são fundamentais na hora de gerar a curva torção x ângulo de torção da bancada.

Adicionalmente, foram avaliados outros requisitos como concentricidade entre os eixos dos mandris, fixação do suporte do motor e da base, medição das Rotações por Minuto (rpm), custo acessível, fácil limpeza e manutenção.

3.4.2 Etapa 4.2 – Projeto Conceitual

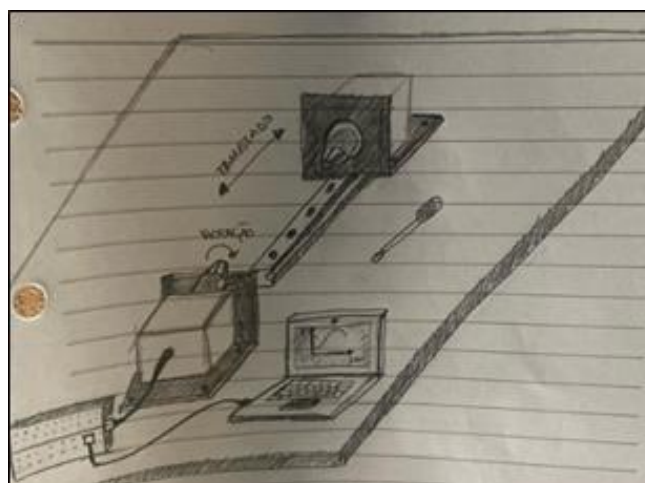
Ao realizar uma pesquisa de mercado, notou-se que a maioria das bancadas de torção são fabricadas de forma horizontal, e este modelo será utilizado no presente estudo. O modelo escolhido para o desenvolvimento deste trabalho está representado pelas Figura 32 e a Figura 33

Figura 32 - Modelo de protótipo a ser desenvolvido



Fonte: Empresa Biopdi, (2023).

Figura 33 - Croqui (esboço)



Fonte: Autor.

As principais linguagem de programação empregadas no dispositivo são do tipo C para o microcontrolador, responsável por enviar comando via serial para o motor girar, desenvolvida no Arduino IDE. Para a interface do sistema, foi utilizada a linguagem tipo C#, que é responsável por criar a interface homem-máquina. Nessa interface, são apresentados os botões e entradas para enviar informações ao controlador, sendo desenvolvida no Microsoft Visual Studio.

3.4.3 Etapa 4.3 – Projeto Preliminar

Nesta etapa, foram definidos os materiais necessários para a fabricação da bancada experimental de torção. Durante a seleção dos materiais, alguns aspectos quantitativos e qualitativos foram observados. O Quadro 3 apresenta parâmetros e requisitos essenciais que devem ser considerados na hora da escolha do material.

Quadro 3 - Parâmetros Quantitativos e Qualitativos

Parâmetro Quantitativos	Requisitos Qualitativos
Deslocamento do Cursor	Fácil manuseio
Distância entre os mandris	Troca rápida do corpo de prova
Diâmetro dos mandris	Fácil limpeza
Torque do motor de passo	Transporte Prático
Angulação do eixo do motor	-
Ajuste na velocidade do motor	-
Baixo Custo	-

Fonte: Autor.

A escolha do alumínio para a parte estrutural da bancada é fundamentada devido ao seu baixo custo de aquisição. Desta forma, a estrutura de suporte e de fixação para os mandris e o motor foi confeccionada em alumínio. A bancada conta com um motor de passo devido à sua precisão no controle do ângulo de rotação.

A arquitetura do sistema foi feita por meio de um computador que apresentará a interface do sistema. Esta interface trocará informações com um microcontrolador, responsável por enviar comandos para o drive do motor, garantindo o funcionamento do sistema, conforme Figura 34.

Figura 34 - Arquitetura do sistema.



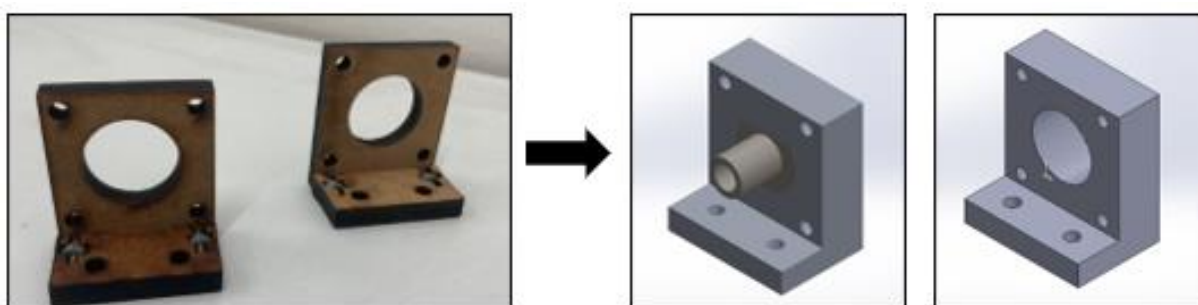
Fonte: Autor.

3.4.4 Etapa 4.4 – Projeto Detalhado

Nesta etapa, realizou-se o detalhamento de todos os componentes e elementos do projeto, com objetivo de garantir um bom desempenho durante a fabricação, evitando retrabalho e otimizando o processo.

O uso do material em alumínio para a parte estrutural da bancada foi escolhido devido ao seu baixo custo de aquisição. A base de translado e suporte para os mandris e motor foi adaptada utilizando um perfil duplo comum na automação mecânica, composto a partir de um perfil estrutural em alumínio 20x40x450mm, v-slot com canal 6mm, fixado por parafuso. Em seguida, foi realizada a confecção dos suportes que fixação o motor e o mandril, ambos fabricados em alumínio. Vale ressaltar que inicialmente a confecção dos suportes para os mandris foi realiza em MDF, mas o sistema não apresentou estabilidade esperada, sendo posteriormente substituído por alumínio, conforme mostra a Figura 35 e os Anexos F e G.

Figura 35 - Confecção do suporte dos mandris em MDF e alumínio.



Fonte: Autor.

Dois mandris de $\frac{1}{4}$ " foram adquiridos para realizar a fixação de corpo de prova, ficando de um lado fixo e do outro acoplado no eixo do motor.

Nesse contexto, o dispositivo utilizado para aplicação do torque no sistema será o motor de passo Nema 17. Os parâmetros utilizados por ele atendem às necessidades do estudo em questão. A seguir, as especificações do motor de passo Nema 17 estão representados pela Tabela 3 e no Anexo E.

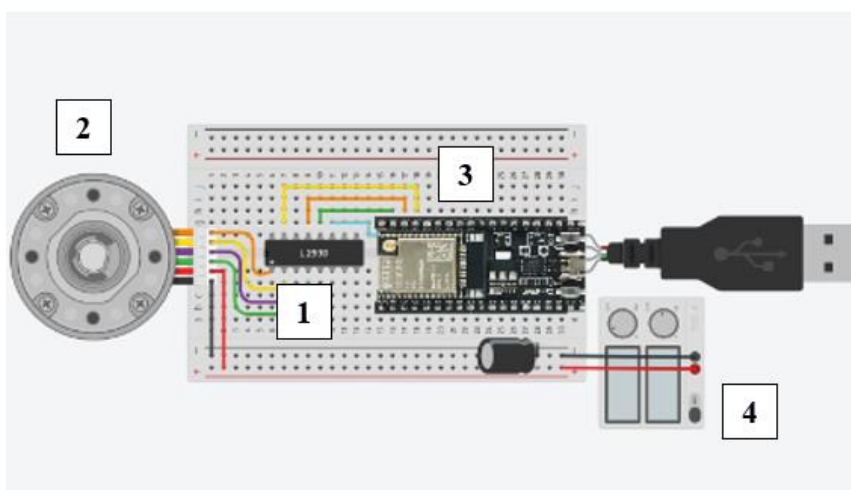
Tabela 3 - Especificações do motor de passo Nema 17.

Número básico da peça do motor	US-17HS4401
Ângulo de passo	1,8°
Tamanho do quadro	42,4mm
Tamanho NEMA	NEMA 17
Comprimento do corpo	34,3mm
Atual (AMP)	1,7 AMP
Torque de retenção p/bobina	0,40Nm
Resistência	1,6ohm
Inércia do Rotor	53,05 g-cm ²
Número de bobinas	2
Número de leads	4
Conexão	Bipolar
Passos por volta	200
Peso	0,25kg

Fonte: Usongshine, (2020).

Dando continuidade ao desenvolvimento da parte eletrônica da bancada experimental de torção, foi utilizado um driver L298N **(1)**, tipo de driver de ponte H empregado para o controle do motor NEMA 17 **(2)** com corrente contínua (DC). Adicionalmente, o driver oferece a capacidade de controlar tanto a direção quanto a velocidade do motor de passo.

Para enviar os comandos para o driver L298N, foi utilizado um microcontrolador ESP32 da *Espressif Systems* **(3)** devido sua versatilidade, tempo rápido de resposta e um baixo custo. Como fonte de alimentação do sistema, foi utilizada uma fonte 12V **(4)**. A seguir, a Figura 36 apresenta como circuito da bancada está montado.

Figura 36 - Montagem do circuito

Fonte: Autor

Os Códigos desenvolvidos para o microcontrolador em linguagem C e para interface homem-máquina em C# estão inseridos nos Anexos C e D deste trabalho.

3.4.5 Etapa 4.5 - Fabricação

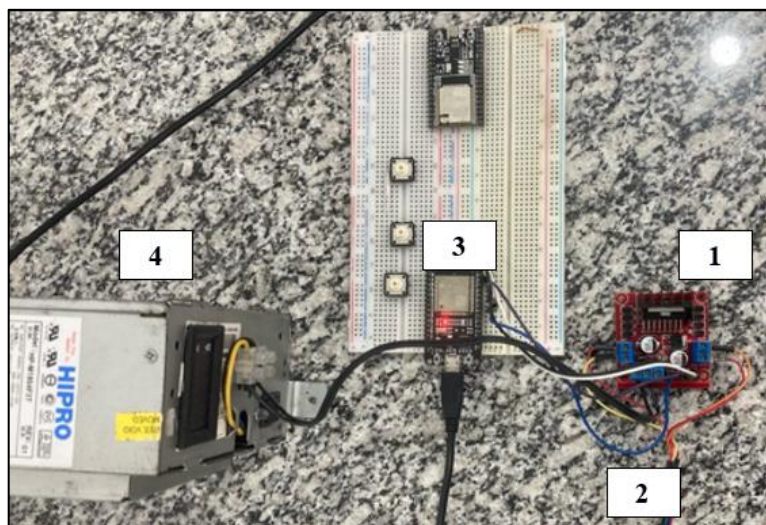
A etapa de fabricação é fundamental para o desenvolvimento do projeto, onde os conceitos, planos e requisitos definidos nas fases anteriores tomam forma física. Desta forma, conforme especificado na etapa anterior a Figura 37 apresenta a montagem desses componentes.

Figura 37 - Início da montagem da bancada (parte mecânica).

Fonte: Autor

Dando continuidade ao processo de montagem, utilizando uma protoboard, foi realizada a montagem do circuito que executará os comandos definidos pela interface do Microsoft Visual Studio. A Figura 38 ilustra esta montagem.

Figura 38 - Montagem do circuito.

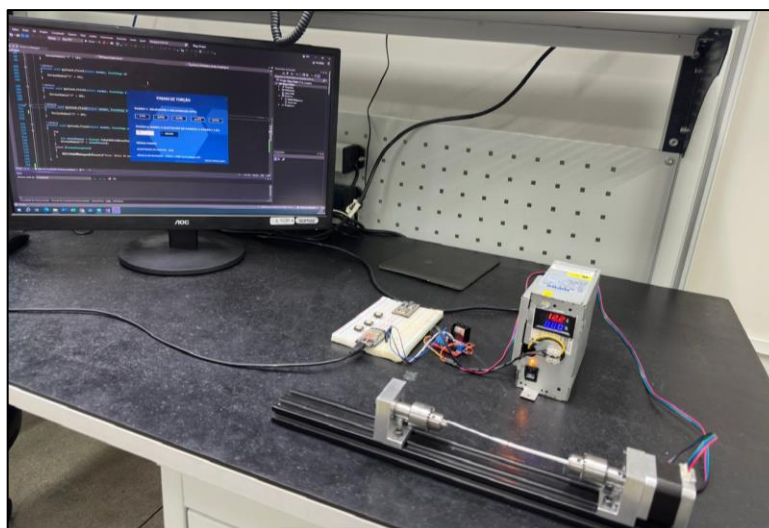


Fonte: Autor

- 1 - Driver L298N tipo de driver de ponte H empregado para o controle do motor;
- 2 - NEMA 17 com corrente contínua (DC);
- 3 - Microcontrolador ESP32 da *Espressif Systems*;
- 4 - Fonte de alimentação do sistema 12V.

A Figura 39 ilustra a bancada experimental de torção após a conclusão da montagem da parte mecânica e eletrônica.

Figura 39 - Conclusão da bancada experimental de torção.



3.4.6 Etapa 4.6 - Validação

O processo de validação da bancada experimental de torção foi realizado para assegurar que os parâmetros definidos pelo fabricante do motor de passo estejam conforme o especificado no projeto. Este processo foi conduzido em parceria com o

SENAI - Centro de Educação Profissional Prof. Stênio Lopes, localizado na Rua Dom Pedro II, 788 - Prata, Campina Grande – PB, por meio do Laboratório de Metrologia.

Desta forma, para validar o dispositivo e apresentar resultados fidedignos durante a realização do teste de torção, foi necessário analisar o torque aplicado pelo motor de passo NEMA 17. Para isso, utilizou-se um Torquímetro Digital do fabricante *Check-Line*, modelo DTW-265i, faixa nominal de 0 a 30 Nm, unidade de 1/4", com N^o do certificado de calibração 0095/2024.

Ao acionar o motor, considerando que o NEMA 17 possui duas bobinas, cada uma responsável por aplicar uma carga de 4Nm, a soma resulta em torque final de 8Nm. Ao realizar a medição em três faixas de rotação 25, 250 e 500 Pulso por Segundo (PPS), observou-se a estabilidade da carga em 8Nm, validando assim o torque aplicado pelo motor de passo. A Figura 40, mostra como foi realizado esta validação.

Figura 40 - Torquímetro Digital DTW-265i



Fonte: Autor

Para verificar a rotação do motor NEMA 17, foi utilizado um Tacômetro Digital, fabricado pela Minipa, modelo MDT-2238^a, com faixa de indicação de 2,5 a 99999 RPM, e N^o do certificado de calibração RBC 10461/22. Ao realizar a verificação em duas faixas de rotação 500 PPS e 1000 PPS, equivalentes a 150 RPM e 300 RPM, respectivamente, considerando que um motor de passo utiliza 200 PPS, os resultados obtidos estavam em conformidade com às especificações do fabricante, conforme indicado na Figura 41.

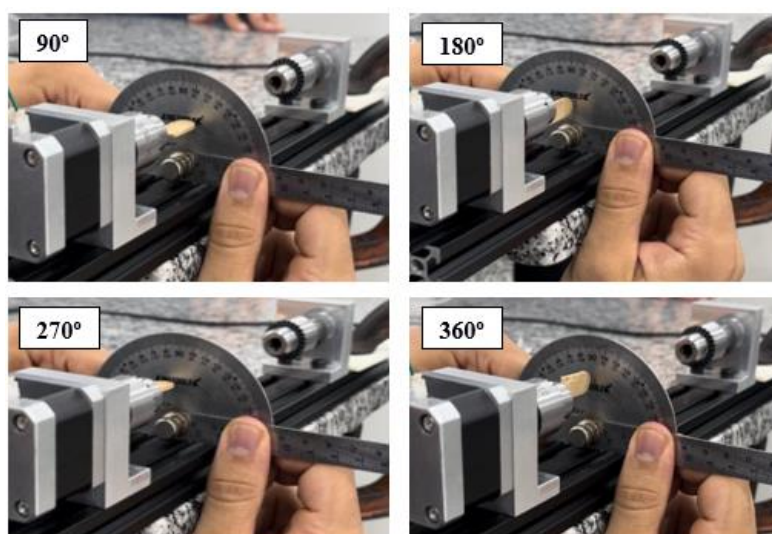
Figura 41 - Tacômetro Digital MDT-2238^a



Fonte: Autor

O ângulo de torção de um motor NEMA 17 é determinado pela quantidade de passos que o motor executa. Para este modelo, um passo é aproximadamente $1,8^\circ$. Portanto, para completar uma volta de 360° , são necessários 200 passos. Para verificar esta medida, utilizou-se um instrumento de medição chamado goniômetro, que é um projetado para medir ângulos. Esse dispositivo é composto por uma régua graduada com escala semicircular e um ponteiro móvel que pode ser posicionado ao longo dessa escala. A Figura 42 mostra esse instrumento. Foram definidos três tipos de angulação para realizar o teste 90° , 180° , 270° e 360° e em ambos os casos o marcador indicou a angulação correta.

Figura 42 - Verificação do ângulo - Goniômetro



Fonte: Autor.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este Capítulo tem como objetivo apresentar e discutir os resultados obtidos na pesquisa. Desta forma, as informações fornecidas nos capítulos anteriores estabelecem especificações e parâmetros para o desenvolvimento do projeto de validação do swab nasofaríngeo fabricado por manufatura aditiva e ensaiado mecanicamente pelos ensaios de tração, flexão e torção.

4.1 DESENVOLVIMENTO DO SWAB NASAL

4.1.1 Dimensionamento do Swab Nasal

Após revisar a literatura para identificar geometrias projetadas e comercializadas que demonstraram eficácia na captação de muco nasal, bem como uma boa relação entre resistência mecânica e flexibilidade, destacaram-se os estudos conduzidos por Carvalho, (2023) e por Callahan *et al.*, (2020). A partir desses estudos, constatou-se que os modelos de captadores que apresentaram melhor desempenho em relação aos demais foram os de geometria helicoidal e de colmeia. Para este estudo, será adotado inicialmente o modelo em colmeia, por apresentar menos quantidade de material para sua confecção. O dimensionamento do swab nasal a ser impresso está inserido no Anexo A deste trabalho.

4.1.2 Fabricação do Swab Nasal

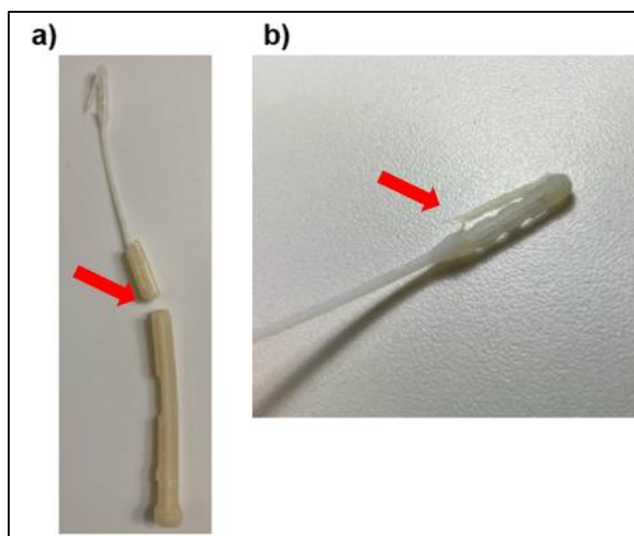
O processo de fabricação por manufatura aditiva do swab nasofaríngeo, foi realizado no Núcleo de Tecnologias Estratégicas em Saúde (NUTES), no Laboratório de Tecnologias 3D (LT3D), pelo processo de impressão MultiJet Print (MJP), devido a sua alta precisão de 16 microns por camada de material depositado. A impressora utilizada foi a Connex350 3D Printer e a resina utilizada neste trabalho é a VeroWhitePlus RGD835, fornecida pela Stratasys, sua escolha se deu devido a sua grande utilização na fabricação de dispositivos que almejam bom acabamento superficial e boa relação entre a resistência mecânica e flexibilidade.

Para preparação da malha do swab nasal concebido na etapa de modelamento, foi utilizado o software *Meshmixer da Autodesk*. Além disso, o software é responsável por escanear toda a malha projetada e apontar, se necessário, quais são os possíveis reparos antes da impressão. Após a preparação da malha, o projeto foi encaminhado

para a impressão, onde serão impressas 12 unidades de swab nasal pelo processo de manufatura aditiva.

Antes da impressão das 12 unidades, foi impressa uma amostra teste para verificar o comportamento da geometria do captador. Após a impressão, observou-se que a espessura do captador apresentou muita fragilidade durante limpeza do material suporte, levando a quebra em determinados pontos, conforme mostra a Figura 42.

Figura 43 - Amostra de teste impressa por manufatura aditiva. a) Ruptura do ponto de quebra durante a limpeza; b) Fragilidade do coletor durante a limpeza.



Fonte: Autor.

Além disso, o ponto quebra do swab nasal também apresentou fragilidade durante a retirada do material de suporte, resultando no rompimento do dispositivo. Diante disso, viu-se a necessidade de modificar a geometria do captador de muco para evitar possíveis falhas após a impressão.

Devido a isso, foi substituída a geometria do captador do swab nasal pelo terceiro conceito design proposto para o estudo, conforme apresenta o Quadro 1 - Concepção do design do captador de muco. Esse modelo foi escolhido por apresentar um núcleo sólido e conseqüentemente maior estabilidade na hora da retirada do material suporte. Além disso, o diâmetro do ponto de quebra foi aumentado em 20%, ficando com o mesmo diâmetro do pescoço aumentando a resistência do material naquele ponto. Após essas modificações, foi realizada a preparação da malha para impressão de novos swabs nasais.

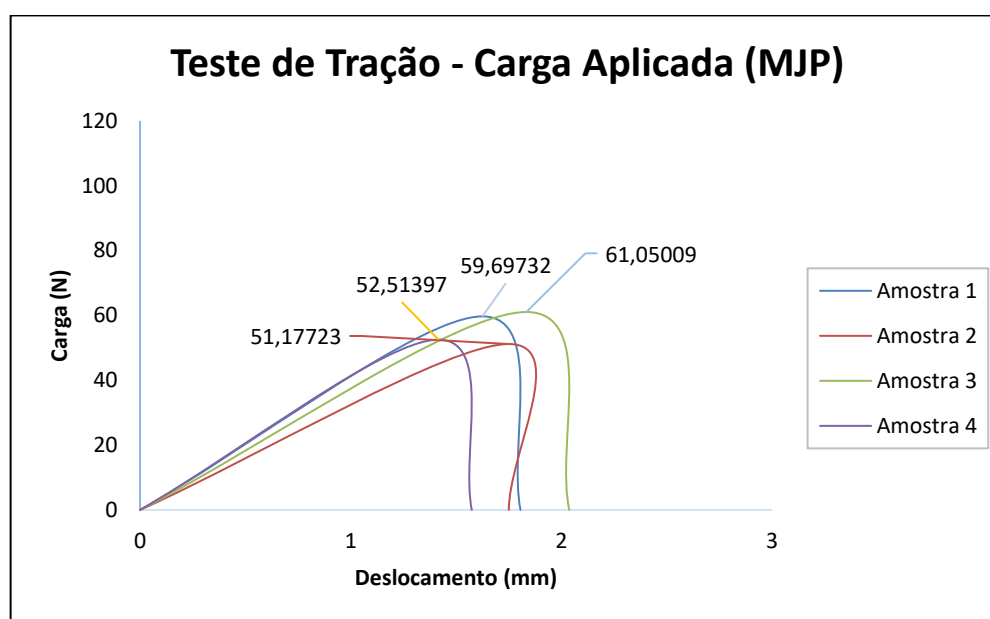
4.2 ENSAIOS DE DESEMPENHO REALIZADOS

A seguir, serão discutidos os ensaios de desempenho realizados no swab nasofaríngeo desenvolvido por manufatura aditiva pelo processo MJP, com o objetivo de verificar sua resistência a esforços mecânicos. Adicionalmente, será realizado um comparativo com modelos de swab já comercializados, visando avaliar a resistência mecânica dos dispositivos quando submetidos a forças de tração, flexão e torção.

4.2.1 Ensaio de Tração

Com os principais parâmetros definidos o teste foi iniciado pela Máquina de Ensaio Universal Instron 3366. Ao ser realizado o teste foi gerado um gráfico que apresenta a Carga aplicada em (N) pelo deslocamento em (mm), conforme apresenta o Gráfico 2.

Gráfico 2 – Carga x deslocamento (MJP)



Fonte: Autor.

Ao final do ensaio de tração, analisando os resultados obtidos, observou-se o comportamento entre as curvas, podendo concluir que os corpos de prova se romperam ao em uma média de 56,11 N de carga em resistência à tração. Quanto ao desvio padrão, este ficou abaixo de 5% indicando que os dados estão consistente e relativamente próximos à média, o que sugere uma boa precisão nos resultados das amostras. A média de extensão do corpo de prova foi de 2,03mm. A Tabela 4 apresenta os dados específicos de cada amostra.

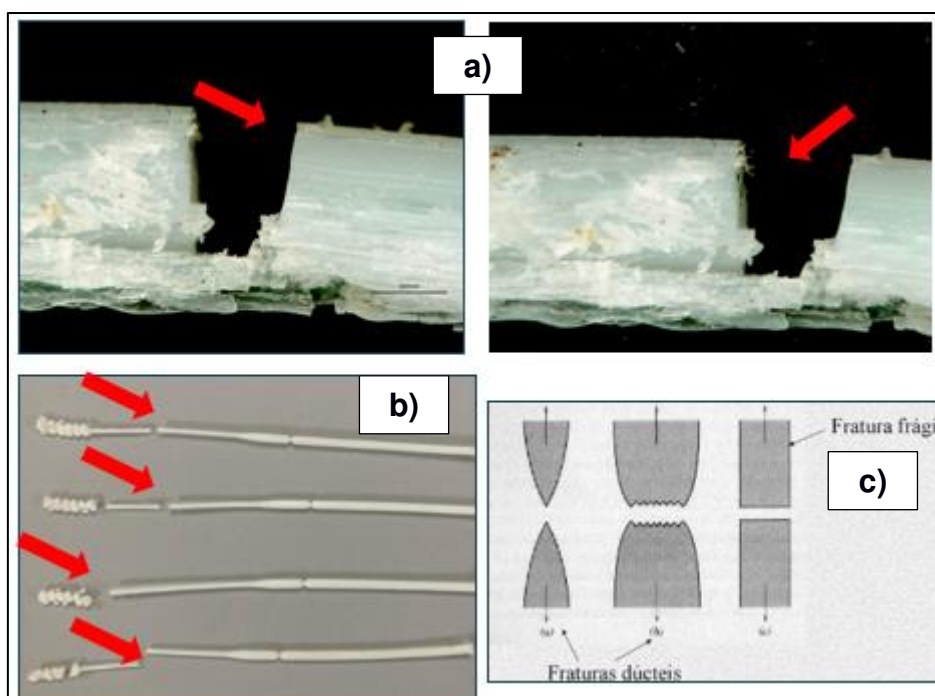
Tabela 4 - Resultados obtidos no ensaio de tração

	Carga (N)	Deslocamento (mm)
1	59,69732	1,62497
2	51,17723	3,25006
3	61,05009	1,83334
4	52,51397	1,41672
Desvio Padrão	4,98454	0,83014
Média	56,10965	2,03127

Fonte: Autor.

Os corpos de prova se romperam em áreas semelhantes, conforme apresenta a Figura 40. Pode-se observar que o local de maior fragilidade é o pescoço, que foi submetido a cargas axiais. Para analisar o tipo de fratura do material, foi utilizado um Microscópio Digital da Hirox, com aproximação de 500 micrômetro (μm). Através da imagem, pode-se observar que a fratura se comportou de maneira frágil, sem apresentar estrição na fratura, conforme apresenta a Figura 44.

Figura 44 - Tipo de fratura (ensaio de tração) - a) Ensaio de microscopia óptica; b) corpos de prova ensaiados; c) tipos de fratura segundo o Callister (2014).



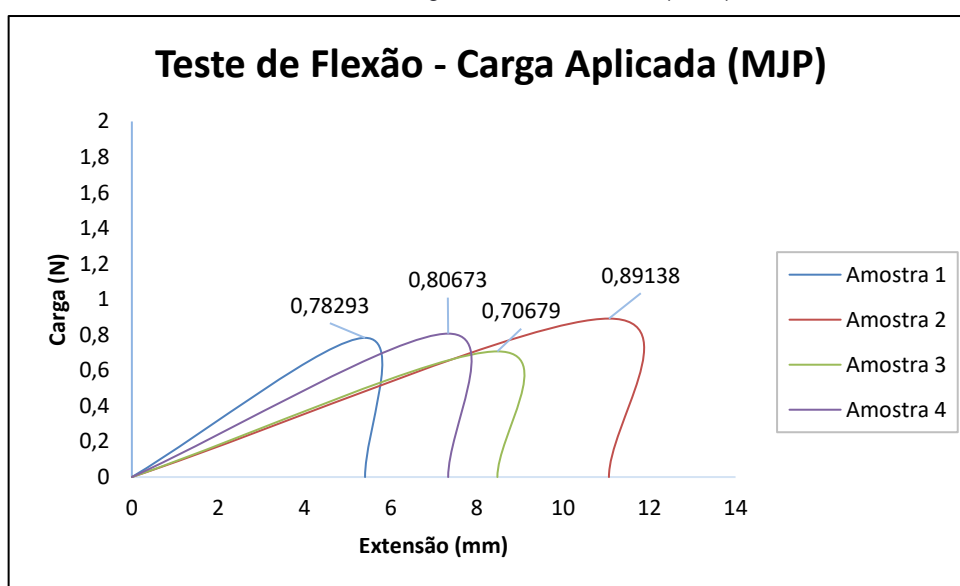
Fonte: Autor.

4.2.2 Ensaio de Flexão

No ensaio de flexão, foi seguida a norma ASTM D790 que descreve o método de ensaio para determinar as propriedades de flexão de materiais plásticos rígidos. Além disso, são apresentados como deverão ser realizados os ensaios em 3 pontos em materiais plásticos e termorrígidos. A taxa de deslocamento para este ensaio foi similar ao ensaio realizado por SONG *et al.*, (2021), que foi de 1mm/min, a distância entre os suportes de fixação permaneceu 90mm. Foram ensaiadas 4 unidades de swabs nasais simplesmente apoiados na base da máquina de flexão.

Após a realização do ensaio de flexão, foi obtida uma curva que apresenta a relação da Carga de Flexão ou Flexa em (N) e aplicada pelo deslocamento em (mm) do meu corpo de prova. O Gráfico 3 mostra o comportamento das amostras depois do ensaio.

Gráfico 3 - Carga x Deslocamento (MJP).



Fonte: Autor.

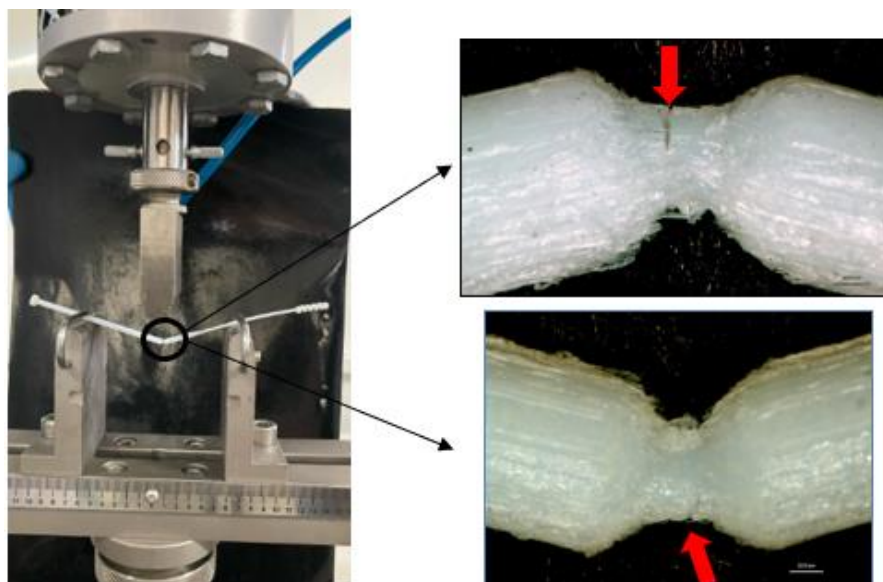
Ao final do ensaio de flexão, observou-se o comportamento entre as curvas, concluindo-se que os corpos de prova se romperam, em média, com carga de 0,8 N. Já o desvio padrão, foi aproximadamente 0,076%, apresentando excelente precisão e consistência na análise dos dados apresentados, estando relativamente próximo a média. Em relação ao deslocamento à flexão, a média entre as amostras foi de aproximadamente 7,91mm. Tabela 5 apresenta os dados específicos de cada amostra.

Tabela 5 - Resultados obtidos no ensaio de flexão.

	Carga (N)	Deslocamento (mm)
1	0,78293	5,40770
2	0,89138	11,06332
3	0,70679	8,47666
4	0,80673	7,33499
Desvio Padrão	0,07602	7,35040
Média	0,79696	7,90582

Fonte: Autor.

Além dos resultados citados Tabela 5, a ruptura no material se deu no ponto de quebra de ambas as amostras, a Figura 45 apresenta como se deu essa ruptura e comportamento da fratura através do Microscópio Digital da Hirox, com aproximação de 500 micrômetro (μm). Ao analisar a imagem, pode-se observar que a fratura se comportou de maneira frágil, sem apresentar estrição conforme evidenciou Callister em seu estudo em 2014, citado na Figura 44 deste trabalho.

Figura 45 - Ruptura do material.

Fonte: Autor.

4.2.3 Desenvolvimento da Bancada Experimental de Torção

Após a etapa de validação da bancada, foram iniciados os ensaios de torção nos swabs nasais. Para realização dos testes foi desenvolvida uma interface no Microsoft Visual Studio para criar a interação homem-máquina, conforme apresenta a Figura 46.

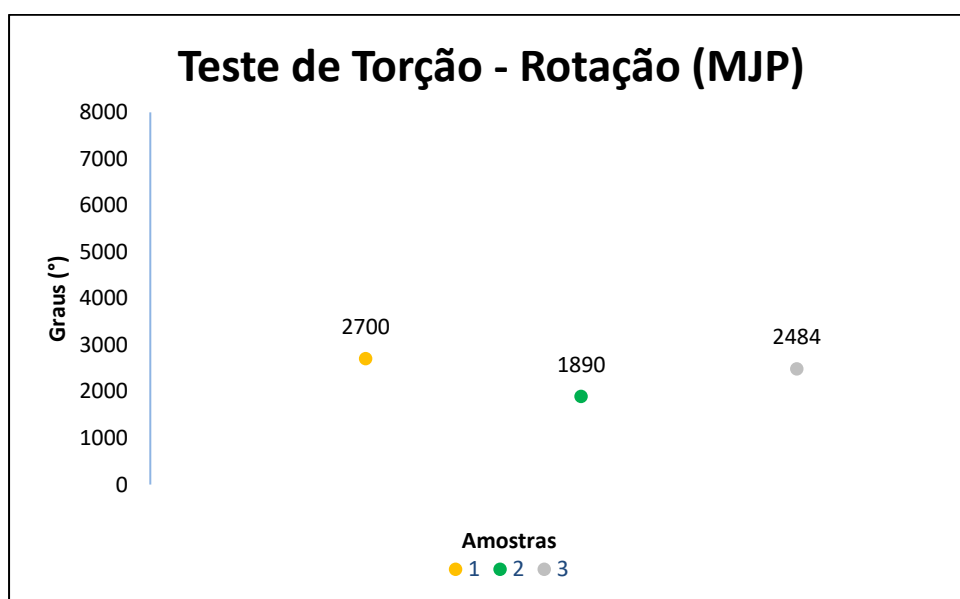
Figura 46 - Interface da bancada experimental de torção



Fonte: Autor.

As saídas dos swabs fabricados por manufatura aditiva estão representadas no Gráfico 5.

Gráfico 4 - Ensaio de Torção.



Fonte: Autor.

Ao iniciar o teste de torção, sabe-se que o torque permanece constante durante todo o ensaio, em torno de 0,8N.m. Ao final do ensaio de torção, observou-se o comportamento entre as amostras, a média para os corpos de prova se romperem é de 6,25 voltas. O desvio padrão, foi aproximadamente 0,84%, apresentando excelente

precisão e consistência na análise dos dados apresentados, estando relativamente próximo a média. A Tabela 7 apresenta os dados específicos de cada amostra.

Tabela 6 - Resultados obtidos no ensaio de torção.

Nº DE AMOSTRAS	QUANTIDADE DE VOLTAS	TORQUE (N.m)
1	7,50	0,8
2	5,90	0,8
3	6,25	0,8
Desvio Padrão	0,84	
Média	6,55	

4.3 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste item, será realizado um estudo comparativo em um swab nasal comercial, fabricado em nylon pelo processo de injeção. Nele, serão realizados os ensaios de tração, flexão e torção obedecendo os mesmos parâmetros adotados para o swab nasal fabricado por manufatura aditiva desenvolvido neste estudo.

O swab nasal comercial apresenta o mesmo comprimento do dispositivo desenvolvido neste estudo 150mm, seu ponto de quebra tem aproximadamente 1,5mm de diâmetro, seu captador feito de algodão, e o pescoço apresenta 3 variações de diâmetro, conforme apresenta a Figura 47.

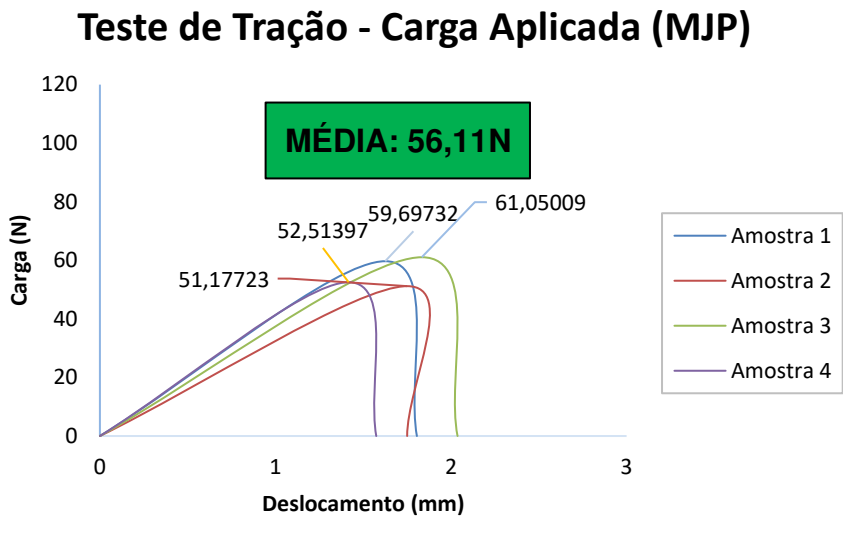
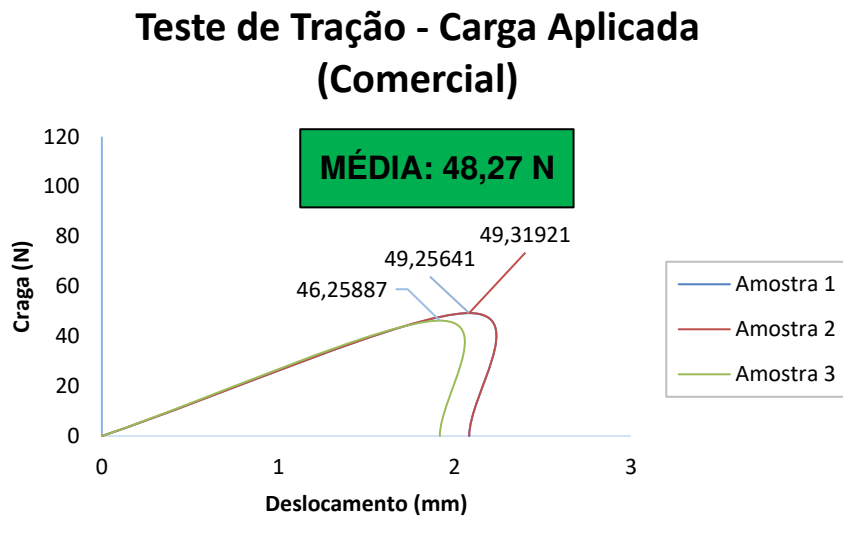
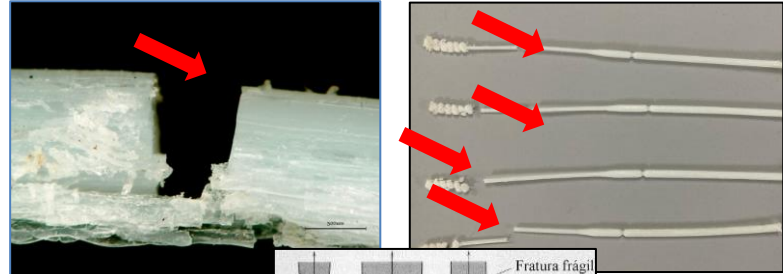
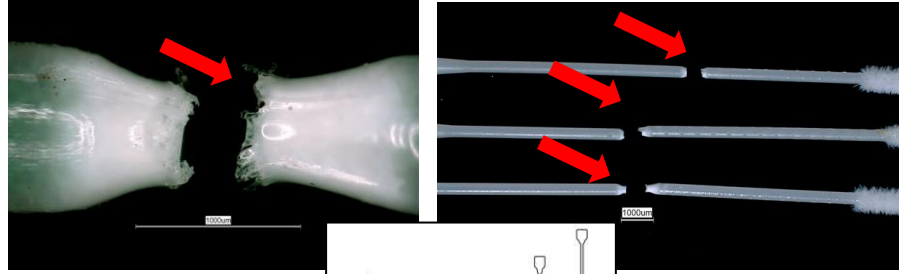
Figura 47 - Swab comercial.



Fonte: Autor.

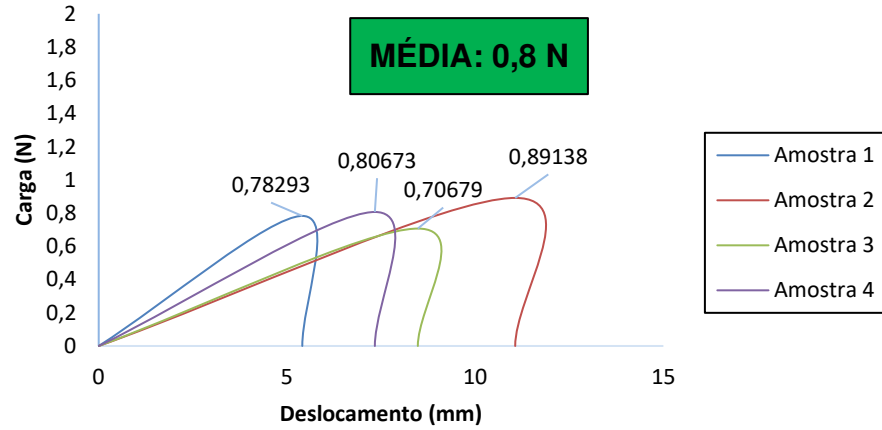
A seguir, uma tabela comparativa será apresentada evidenciando o comportamento das curvas de carga x deslocamento dos dois dispositivos ensaios o swab nasal comercial e o swab nasal desenvolvido neste estudo. A Tabela 10 mostra o comportamento das curvas dos corpos de prova até a sua fratura.

Tabela 7 - Tabela comparativa entre os swabs nasais.

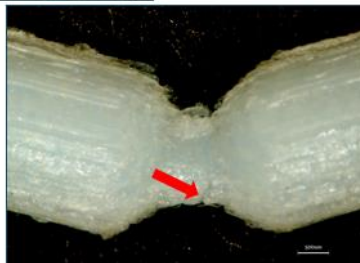
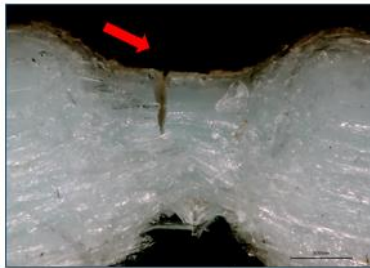
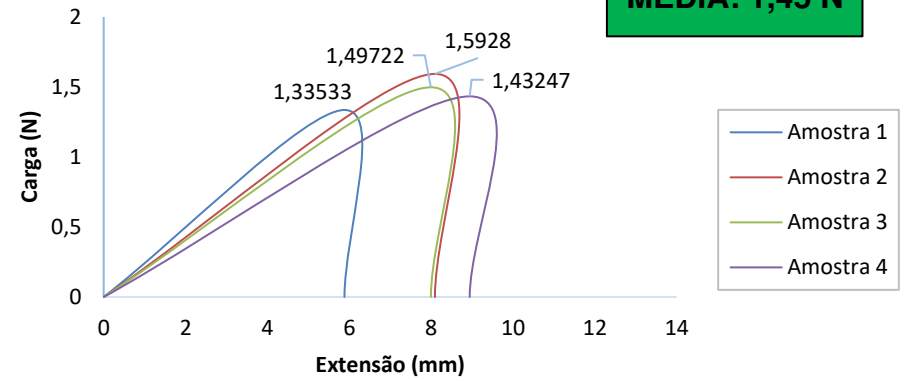
Swab Nasal Fabricado por Manufatura Aditiva	Swab Nasal Comercial
Ensaio de Tração	
<p>Teste de Tração - Carga Aplicada (MJP)</p>  <p>MÉDIA: 56,11N</p> <p>51,17723 52,51397 59,69732 61,05009</p> <p>— Amostra 1 — Amostra 2 — Amostra 3 — Amostra 4</p> <p>Carga (N)</p> <p>Deslocamento (mm)</p>	<p>Teste de Tração - Carga Aplicada (Comercial)</p>  <p>MÉDIA: 48,27 N</p> <p>46,25887 49,25641 49,31921</p> <p>— Amostra 1 — Amostra 2 — Amostra 3</p> <p>Carga (N)</p> <p>Deslocamento (mm)</p>
 <p>Não apresentou estrição</p> <p>Fraturas frágeis</p> <p>Fraturas dúcteis</p> <p>Callister, (2014)</p>	 <p>Apresentou estrição</p> <p>Hayes et al., (2015)</p>

Ensaio de Flexão

Teste de Flexão - Carga Aplicada (MJP)



Teste de Flexão - Carga Aplicada (Comercial)

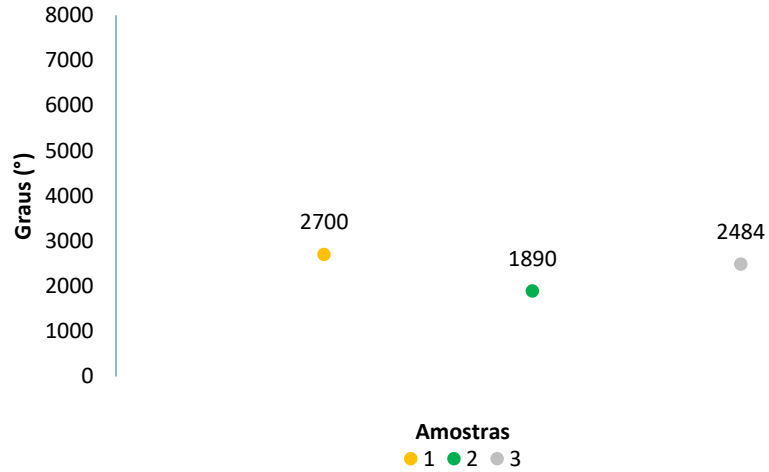


Não apresentou estrição

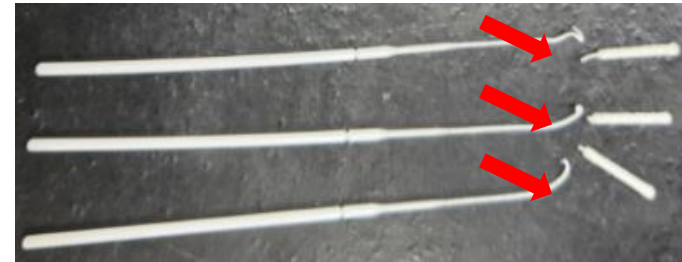
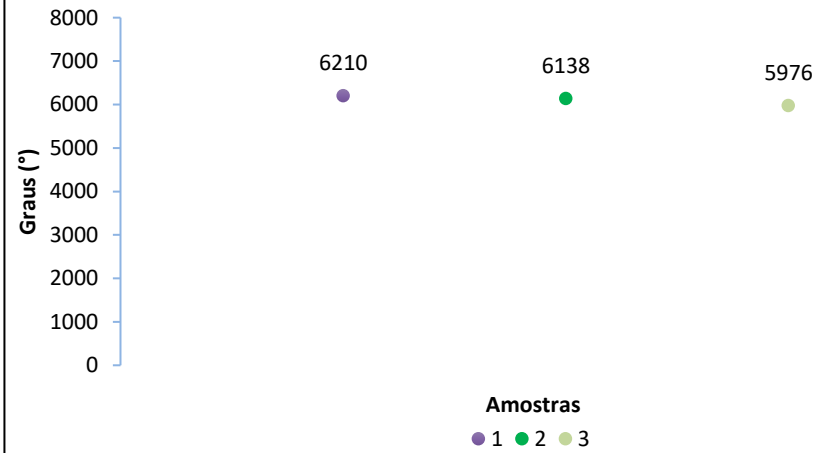
Não foi realizado o teste de Microscopia Óptica (MO)

Ensaio de Torção

Teste de Torção - Rotação (MJP)



Teste de Torção - Rotação (Comercial)



Fonte: Autor.

Para o ensaio de tração os swabs nasais fabricados por manufatura aditiva apresentaram maior resistência a tração ao material, alcançando uma média de 56,10965 N em comparação com os 48,27816 N do swab comercial. A extensão média do swab nasal comercial para o ensaio de tração foi de 2,02782mm, quase equivalente à do swab nasal desenvolvido neste estudo, que foi de 2,03127 mm. O Desvio padrão do swab comercial foi de 1,75% contra quase 5% do nosso dispositivo, nesse aspecto o swab nasal comercial obteve uma menor variabilidade nos ensaios.

Ao analisar a fratura do swab comercial em comparação com o impresso por MJP, observou-se um comportamento mais tenaz do swab comercial, como apresenta a Tabela 8.

No ensaio de flexão, o swab nasal comercial não apresentou fratura no material, diferente do swab deste estudo. A variação do diâmetro do swab nasal comercial e de seu acabamento superficial contribuíram para essa diferença. Ao ser aplicada a carga de flexão, o corpo de prova do swab comercial não conseguiu permanecer estável no apoio da bancada, escorregando quando atingia uma média de carga de 1.46 N.

Para o ensaio de torção, o swab comercial apresentou maior resistência, com uma média de aproximadamente 17 voltas até sua ruptura e uma taxa de desvio padrão de 0,53%. Já para o swab fabricado por manufatura aditiva, obteve-se um número de voltas inferior, com uma média de aproximadamente 7 voltas. No entanto, de acordo com os protocolos fornecidos pelo Ministério da Saúde para realizar a coleta do teste RT-PCR, é necessário introduzir o swab na cavidade nasal e realizar movimentos circulares leves, dependendo da cartilha, essa rotação pode variar entre 45º até 360º.

Além disso, nos ensaios de tração o swab nasal deste estudo apresentou melhor resistência a tração. Quanto ao ensaio de flexão, devido à falta de estabilidade na aderência da célula de carga ao swab nasal comercial, não foi possível determinar o exato momento do ponto de ruptura.

Tabela 8 - Comparação entre outras marcas do mercado.

Test	Fosun	Copan	Abiogenix FAST Spiral	Formlabs- USF	Formlabs- Northwell	EnvisionTEC	Resolution Medical Lattice	Swab MJP
Tensile #1 (N)	41 ± 4.8#	33 ± 2.4*	76 ± 8.6*#	103 ± 2.4*#	74 ± 1.2*#	62 ± 5.0*#	56 ± 4.7#	56,11 ±
Tensile #2 (N)	38 ± 4.6	35 ± 1.2	97 ± 8.5*#	119 ± 7.2*#	78 ± 18.3*#	77 ± 4.9*#	66 ± 5.4*#	56,11 ±
Torsion #1 (mN*m)	11 ± 0.8	N/A	24 ± 4.3	47 ± 3.9*	25 ± 2.4*	24 ± 2.5*	23 ± 1.6	N/A
Torsion #2 (mN*m)	10 ± 0.7	10 ± 0.5	39 ± 5.2*#	55 ± 2.6*#	22 ± 0.8*#	22 ± 0.5*#	5 ± 1.9*#	N/A
Flexure #1 (N)	0.6 ± 0.2	0.7 ± 0.1	4.5 ± 0.9*#	3.0 ± 0.2*#	1.4 ± 0.1*#	2.0 ± 0.1*#	2.8 ± 0.4*#	0,8 ±
Not Ideal								
Standard								
Improved								
* Significant from Fosun; # Significant from Copan ^ Assumed to pass, although not tested by the authors								

Fonte: Adaptado de TOOKER et al., (2021).

Fazendo um comparativo com a Tabela 8, o swab fabricado pelo processo MJP apresentou maiores valores de resistência a esforços de tração e flexão em comparação com outras marcas existentes no mercado.

5. CONCLUSÃO

Durante o desenvolvimento do swab nasal pelo processo MultiJet Print, observou-se que o design com geometria tipo colmeia apresentou fragilidade em sua estrutura, onde durante a retirada do material de suporte, o dispositivo se rompeu no coletor e no ponto de quebra. Desse modo, foi realizada a substituição da geometria da peça pelo tipo helicoidal e efetuado o aumento da espessura do ponto de quebra. Após essas modificações, o swab nasal atendeu às especificações de projeto em termos de resistência estrutural e flexibilidade durante sua utilização.

Os ensaios de tração e flexão foram realizados em laboratório de forma controlada, fornecendo uma compreensão precisa acerca das capacidades mecânicas de cada swab nasal quando submetido a esforços mecânicos, destacando a sua resistência sob diferentes tipos de cargas. Os ensaios de tração efetuados no swab nasal impresso pelo processo MJP obtiveram uma resistência média à tração de 56,11N entre as mostras ensaiadas e uma deformação média de 2,03 mm até a ruptura. Já para os ensaios de flexão a resistência média a flexão foi de 0,8N com deformação média de 7,90 mm.

Para a realização do teste de torção, foi possível propor um protótipo de uma bancada experimental de torção, devido à escassez desse equipamento na região. O desenvolvimento da bancada foi feito em parceria com o NUTES. Após a montagem da parte mecânica, foi necessário verificar os seus principais parâmetros que são o torque do motor, a rotação e o ângulo de torção. Para isso, foram utilizados instrumentos calibrados que pudessem verificar a precisão desses parâmetros, sendo esses aprovados na verificação e estando de acordo com as especificações dos fabricantes.

Por fim, após a montagem e calibração da bancada, foram realizados os ensaios de torção no swab nasal, que por sua vez obtiveram os resultados baseados no ângulo de rotação. Assim, o swab nasal fabricado pelo processo MJP suportou uma média de 2358º, equivalente a aproximadamente 6,55 voltas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agarwal, R. (2022). The personal protective equipment fabricated via 3D printing technology during COVID-19. *Annals of 3D Printed Medicine*, 5(100042), 100042.

<https://doi.org/10.1016/j.stlm.2021.100042>

Aimar, A., Palermo, A., & Innocenti, B. (2019). The role of 3D printing in medical applications: A state of the art. *Journal of Healthcare Engineering*, 2019, 1–10.

<https://doi.org/10.1155/2019/5340616>

Belhouideg, S. (2020). Impact of 3D printed medical equipment on the management of the Covid19 pandemic. *The International Journal of Health Planning and Management*, 35(5), 1014–1022. <https://doi.org/10.1002/hpm.3009>

Blucher, 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Departamento de Gestão e Incorporação de Tecnologias e Inovação em Saúde. Acurácia dos testes diagnósticos registrados na ANVISA para a Covid-19. Brasília, 2020.

Brasil. Ministério da Saúde. Diretrizes Para Diagnóstico e Tratamento Da COVID-19.; 2020. Brasília, DF; 2020.

Callahan, C. J., Lee, R., Zulauf, K. E., Mph, L. T., Smith, K. P., Previtera, J., Cheng Ba, A., Green, A., Bd, B. A., Azim, A. A., Yano Mha, A., Doraiswami, N., Bsn, R. N., Kirby, J. E., & Arnaout, R. A. ([s.d.]). 1 open development and clinical validation 2 of multiple 3D-printed sample-collection swabs: 3 rapid resolution of a critical COVID-19 testing bottleneck. *Europepmc.org*. Recuperado 15 de novembro de 2023, de

<https://europepmc.org/api/fulltextRepo?pprId=PPR152284&type=FILE&fileName=EMS90139-pdf.pdf&mimeType=application/pdf>

Cascella M, Rajnik M, Aleem A, Dulebohn SC, Di Napoli R. Features, Evaluation, and Treatment of Coronavirus (COVID-19). 2023 Aug 18. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Jan–. PMID: 32150360.

Colorado, H. A., Mendoza, D. E., Lin, H.-T., & Gutierrez-Velasquez, E. (2022). Additive manufacturing against the Covid-19 pandemic: a technological model for the adaptability and networking. *Journal of Materials Research and Technology*, 16, 1150–1164.

<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.12.044>

Connex 350/500 3D printers. ([s.d.]). Stratasys. Recuperado 7 de fevereiro de 2024, de <https://support.stratasys.com/en/printers/polyjet-legacy/connex350-500>

Cox, J. L., & Koepsell, S. A. (2020). 3D-printing to address COVID-19 testing supply shortages. *Laboratory Medicine*, 51(4), e45–e46.

<https://doi.org/10.1093/labmed/lmaa031>

Cuidados iniciais de pessoas com infecção respiratória aguda (IRA) no contexto da doença do coronavírus (COVID-19) em estabelecimentos de saúde: avaliar o risco, isolar, encaminhar © Organização Pan-Americana da Saúde, 2020. Alguns direitos reservados. Este trabalho é disponibilizado sob licença CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Número de referência OPAS: OPAS/BRA/PHE/IHM/Covid-19-20/004. ([s.d.]). Paho.org. de https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/52180/OPASBRAPHEIHMCOVID1920004_por.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ford, J., Goldstein, T., Trahan, S., Neuwirth, A., Tatoris, K., & Decker, S. (2020). A 3D-printed nasopharyngeal swab for COVID-19 diagnostic testing. *3D Printing in Medicine*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s41205-020-00076-3>

Freitas, A. R. R., Napimoga, M., & Donalisio, M. R. (2020). Análise da gravidade da pandemia de Covid-19. *Epidemiologia e serviços de saúde: revista do Sistema Único de Saúde do Brasil*, 29(2). <https://doi.org/10.5123/s1679-49742020000200008>

Gallup, N., Pringle, A. M., Oberloier, S., Tanikella, N. G., & Pearce, J. M. (2020). Parametric nasopharyngeal swab for sampling COVID-19 and other respiratory viruses: Open source design, SLA 3-D printing and UV curing system. *HardwareX*, 8(e00135), e00135. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2020.e00135>

Goanta, V. (2022). Device for torsional fatigue strength assessment adapted for pulsating testing machines. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 22(7), 2667. <https://doi.org/10.3390/s22072667>

Inácio, D., Drozda, F. O., Silva, W. de A., Marques, M. A. M., & Seleme, R. (2020). A importância da manufatura aditiva como tecnologia digital para a indústria 4.0: uma revisão sistemática. *Revista Competitividade e Sustentabilidade*, 7(3), 653–667. <https://doi.org/10.48075/comsus.v7i3.23861>

Interim guidance. (2020). Laboratory testing for coronavirus disease 2019 (COVID-19) in suspected human cases. *Who.int*. Recuperado 21 de setembro de 2023, de

<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/331329/WHO-COVID-19-laboratory-2020.4-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

J. Ford, et al., A 3D printed nasopharyngeal swab for COVID-19-ing diagnostic test, 3D printing in medicine. 6 (1) (2020) 1–7

Jesse L. Cox, MD, PhD,* and Scott A. Koepsell, MD, PhD. (2020). 3D-Printing to Address COVID-19 Testing Supply Shortages. Doi: 10.1093/labmed/lmaa031

Kalkal, A., Allawadhi, P., Kumar, P., Sehgal, A., Verma, A., Pawar, K., Pradhan, R., Paital, B., & Packirisamy, G. (2022). Sensing and 3D printing technologies in personalized healthcare for the management of health crises including the COVID-19 outbreak. *Sensors International*, 3(100180), 100180.

<https://doi.org/10.1016/j.sintl.2022.100180>

Kannan, S., Shaik, P., Ali, S., Sheeza, A., Hemalatha, K., Subbaram, K., Syed, S., & Pakeer, A. ([s.d.]). COVID-19 (Novel Coronavirus 2019) – recent trends.

Europeanreview.org. Recuperado 4 de novembro de 2023, de

<https://www.europeanreview.org/wp/wp-content/uploads/2006-2011.pdf>

Kuongshun Electronic Limited. (2018, outubro 10). Additive manufacturing technologies: An overview. Kuongshun Electronic Limited. <https://www.kuongshun-ks.com/info/additive-manufacturing-technologies-an-overvi-29708863.html>

LACEN, 2020. Lacen realiza mais de 5 mil exames para identificar Covid-19 no Ceará. (2020, abril 1). Governo do Estado do Ceará.

<https://www.ceara.gov.br/2020/04/01/lacen-realiza-mais-de-5-mil-exames-para-identificar-covid-19-no-ceara-2/>

Lam, T. T.-Y., Jia, N., Zhang, Y.-W., Shum, M. H.-H., Jiang, J.-F., Zhu, H.-C., Tong, Y.-G., Shi, Y.-X., Ni, X.-B., Liao, Y.-S., Li, W.-J., Jiang, B.-G., Wei, W., Yuan, T.-T., Zheng, K., Cui, X.-M., Li, J., Pei, G.-Q., Qiang, X., ... Cao, W.-C. (2020). Identifying SARS-CoV-2-related coronaviruses in Malayan pangolins. *Nature*, 583(7815), 282–285.

<https://doi.org/10.1038/s41586-020-2169-0>

Lee, M. H., Kim, H.-L., Kim, C. H., Lee, S. H., Kim, J. K., Lee, S. J., & Park, J.-C. (2008). Effects of low temperature hydrogen peroxide gas on sterilization and cytocompatibility of porous poly(d,l-lactic-co-glycolic acid) scaffolds. *Surface & Coatings Technology*, 202(22–23), 5762–5767. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2008.06.114>

Lima, C. M. A. de O. Informações sobre o novo coronavírus (COVID-19). Radiol Bras. São Paulo, v.53, n.2, p.V-VI, 2020. [acesso em 04 set 2020]. DOI: 10.1590/0100-3984.2020.53.2e1

Manoj, A., Bhuyan, M., Raj Banik, S., & Ravi Sankar, M. (2021). 3D printing of nasopharyngeal swabs for COVID-19 diagnose: Past and current trends. Materials Today: Proceedings, 44, 1361–1368. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.505>

Maurici, R. (2023). What happened to non-SARS-CoV-2 respiratory diseases during the pandemic? Jornal Brasileiro de Pneumologia: Publicacao Oficial Da Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia, e20230042. <https://doi.org/10.36416/1806-3756/e20230042>

Mc Intosh, A. K., de Seção: Dr. Martin Hirsch, M. D. E., & Bloom, M. D. E.-A. A. ([s.d.]). Doença de coronavírus 2019 (COVID-19). Gov.br. Recuperado 4 de novembro de 2023, de <https://www.gov.br/ebserh/pt-br/hospitais-universitarios/regiao-sul/hu-furg/ensino-e-pesquisa/artigos-cientificos-covid-19/tratamentos/4-corona-virus-up-to-date-31-03.pdf>

Monteiro C. C., Nogueira C. Dezanet, L., & Barboza França, E. (2016). Monitoramento de vírus respiratórios na região metropolitana de Belo Horizonte, 2011 a 2013. Epidemiologia e Serviços de Saúde: Revista Do Sistema Único de Saúde Do Brasil, 25(2), 1–2. <https://doi.org/10.5123/s1679-49742016000200002>

Nobre, A. F. S., Sousa, R. C. M., Santos, M. C. dos Barbagelata, L. S., Costa Júnior, E., Lima, D. F., Souza, E. M. A. de, & Mello, W. A. de. (2014). Primeira detecção de coronavírus humano associado à infecção respiratória aguda na Região Norte do Brasil. Revista Pan-Amazonica de Saude, 5(2), 37–41. <https://doi.org/10.5123/s2176-62232014000200005>

Oliveira, M., Watanabe, A., Cesar, D., Candido, J., Lima, N., Moreira, O., & Chellini, P. (2022). TESTES DIAGNÓSTICOS PARA O SARS-COV-2: UMA REFLEXÃO CRÍTICA. Quimica nova. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170895>

OMS. Organização Mundial de Saúde. Relatório Mundial de Violência e Saúde. Genebra: OMS, 2023.

Pandemic Influenza Plan. ([s.d.]). Cdc.gov. Recuperado 31 de outubro de 2023, de <https://www.cdc.gov/flu/pandemic-resources/pdf/pan-flu-report-2017v2.pdf>

PINILLA, G. B.; CRUZ, C. A.; NAVARRETE, J. O. Diagnóstico Molecular de SARS-CoV-2. Revista NOVA, 18 (35), p. 33 -39, 2020.

Ranney, M. L., Griffeth, V., & Jha, A. K. (2020). Critical supply shortages — the need for ventilators and personal protective equipment during the covid-19 pandemic. *The New England Journal of Medicine*, 382(18), e41. <https://doi.org/10.1056/nejmp2006141>

Silva, L. N., Filho, R. R. S., Silva, R. S. A. da, & Lima, S. dos S. de. (2021). Importância do diagnóstico precoce do covid-19: revisão de literatura/ Importance of Covid-19 early diagnosis: a literature review. *Brazilian Journal of Health Review*, 4(5), 23659–23673. <https://doi.org/10.34119/bjhrv4n5-429>

Singh, S., Aburashed, R., & Natale, G. (2022). CFD based analysis of 3D printed nasopharyngeal swabs for COVID-19 diagnostics. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 223(106977), 106977. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2022.106977>

Song, J., Korunes-Miller, J., Banerji, R., Wu, Y., Fazeli, S., Zheng, H., Orr, B., Morgan, E., Andry, C., Henderson, J., Miller, N. S., White, A., & Grinstaff, M. W. (2021). On-site, on-demand 3D-printed nasopharyngeal swabs to improve the access of Coronavirus disease-19 testing. *Global Challenges (Hoboken, NJ)*, 5(11). <https://doi.org/10.1002/gch2.202100039>

Sosnowski E.P.; Morrison J.P., (2017) University of Manitoba View of sterilization of medical 3d printed plastics: Is H2O2 vapour suitable? ([s.d.]). *Cmbes.Ca.* Recuperado 15 de novembro de 2023, de <https://proceedings.cmbes.ca/index.php/proceedings/article/view/622/616>

Souza, A. S. R., Amorim, M. M. R., Melo, A. S. de O., Delgado, A. M., Florêncio, A. C. M. C. da C., Oliveira, T. V. de, Lira, L. C. S., Sales, L. M. dos S., Souza, G. A., Melo, B. C. P. de, Morais, Í., & Katz, L. (2021). General aspects of the COVID-19 pandemic. *Revista Brasileira de Saúde Materno Infantil*, 21(suppl 1), 29–45. <https://doi.org/10.1590/1806-9304202100s100003>

Spadaccini, C., Duoss, E., Shusteff, M., Tooker, A., & Haque, R. (2020). Swab testing results. Office of Scientific and Technical Information (OSTI). <https://doi.org/10.2172/1647921>

Tino, R., Moore, R., Antoline, S., Ravi, P., Wake, N., Ionita, C. N., Morris, J. M., Decker, S. J., Sheikh, A., Rybicki, F. J., & Chepelev, L. L. (2020). COVID-19 and the role of 3D

printing in medicine. *3D Printing in Medicine*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s41205-020-00064-7>

Tooker, A., Moya, M. L., Wang, D. N., Freeman, D., Borucki, M., Wheeler, E., Larsen, G., Shusteff, M., Duoss, E. B., & Spadaccini, C. M. (2021). Performance of three-dimensional printed nasopharyngeal swabs for COVID-19 testing. *MRS Bulletin*, 46(9), 813–821. <https://doi.org/10.1557/s43577-021-00170-9>

Van der Hoek, L., Pyrc, K., Jebbink, M. F., Vermeulen-Oost, W., Berkhout, R. J. M., Wolthers, K. C., Wertheim-van Dillen, P. M. E., Kaandorp, J., Spaargaren, J., & Berkhout, B. (2004). Identification of a new human coronavirus. *Nature Medicine*, 10(4), 368–373. <https://doi.org/10.1038/nm1024>

Varela, J. P. I., Lima, A. F. de, Lucena, Y. C. M. de, Sena Júnior, V. B., & Amorim Júnior, W. F. de. (2020). ESTUDO PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM SWAB DE DESIGN DE CÓDIGO ABERTO POR MANUFATURA ADITIVA: DESIGN E TESTES PRELIMINARES. Em *COVID-19 no Brasil: Os Múltiplos Olhares da Ciência para Compreensão e Formas de Enfrentamento* (p. 32–51). Atena Editora.

Vasconcelos, Y. ([s.d.]). A importância de testar em larga escala. *Fapesp.br*. Recuperado 11 de fevereiro de 2024, de <https://revistapesquisa.fapesp.br/a-importancia-de-testar-em-larga-escala/>

VEGA, Roberto Báscones; RUIZ, Álvaro Rodríguez. Análisis de hisopo. Colaboración de CTC y del Hospital Virtual Valdecilla. 2020. Parque Científico y Tecnológico de Cantabria, Cantabria, Espanha. Disponível em: <https://www.hvvaldecilla.es/proyectos/recogidas-de-muestra-hisopos/>>;

VOLPATO, Neri. *Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D*. [s.l.]

W. K. Oliveira, Duarte, E., França, G. V. A. de, & Garcia, L. P. (2020). Como o Brasil pode deter a COVID-19. *Epidemiologia e serviços de saúde: revista do Sistema Único de Saúde do Brasil*, 29(0). <https://doi.org/10.5123/s1679-49742020000200023>

WHO (World Health Organization), 2019. *Who.int*. <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200121-sitrep-1-2019-ncov.pdf>

WHO (World Health Organization). *Novel Coronavirus (2019-Ncov) Situation Report 1 - 21 January 2020*. World Health Organization (WHO); 2020.

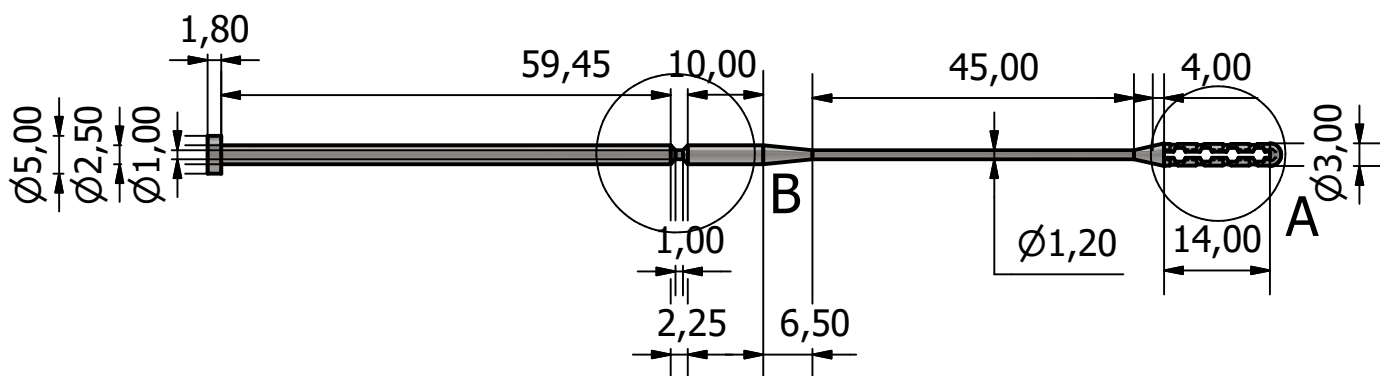
ANEXOS

Anexo A - Swab Nasal (tipo colmeia)

B (2 : 1)



A (2 : 1)



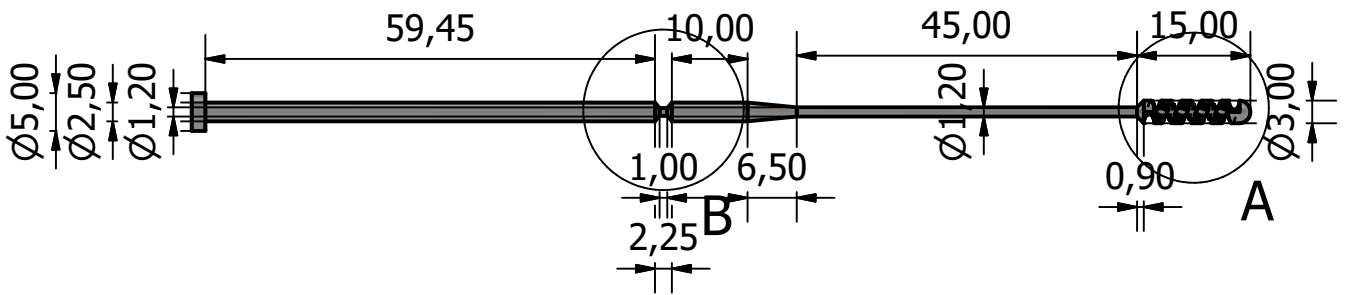
Projetado por Diego Cavalcanti	Verificado por	Aprovado por	Data	Data 22/02/2024
			Edição	Folha 1 / 1

Anexo B - Swab Nasal (tipo espiral)

B (2 : 1)



A (2 : 1)



Projetado por Diego Cavalcanti	Verificado por	Aprovado por	Data	Data 24/02/2024
			Edição	Folha 1 / 1

ANEXO C – CÓDIGO PARA O MICROCONTROLADOR EM LINGUAGEM C

```
#define STEP_PIN 18

#define DIR_PIN 19

#define MS1_PIN 22

#define MS2_PIN 23

#include <Stepper.h>

#include <esp_system.h>

int stepsPerRevolution = 200; // Inicializa com um valor padrão

int velocidade = 0;

Stepper myStepper(stepsPerRevolution, STEP_PIN, DIR_PIN, MS1_PIN,
MS2_PIN);

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    myStepper.setSpeed(60);
}

// ESP32

void loop() {
    if (Serial.available()) {
        String dadosRecebidos = Serial.readStringUntil('\n'); // Lê os dados
recebidos pela porta serial

        Serial.println("Recebido: " + dadosRecebidos); // Adiciona mensagem de
de puração
```

```

// Verifica se os dados recebidos contêm informações sobre velocidade ou
passos
if (dadosRecebidos.startsWith("V")) {
    // Se começa com "V", assume que são informações sobre velocidade
    velocidade = dadosRecebidos.substring(1).toInt(); // Obtém a velocidade
do restante da string
    myStepper.setSpeed(velocidade); // Define a velocidade do motor
    //myStepper.step(stepsPerRevolution);
} else if (dadosRecebidos.startsWith("P")) {
    delay(100); // Adiciona um pequeno atraso antes de reiniciar
    stepsPerRevolution = dadosRecebidos.substring(1).toInt(); // Atualiza a
quantidade de passos
    myStepper.setSpeed(velocidade); // Configura a velocidade padrão
    myStepper.step(stepsPerRevolution);
    char buffer[50];
    sprintf(buffer, "Passos:%d\n", stepsPerRevolution);
    Serial.print(buffer);
} else if (dadosRecebidos.startsWith("M")) {
    delay(3000);
    ESP.restart();
} else {
    Serial.write("Error");
}
}
}

```

ANEXO D - OS CÓDIGOS PARA INTERFACE HOMEM-MÁQUINA EM LINGUAGEM C#

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.IO.Ports;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting;

namespace Diego_Projeto
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        SerialPort serialPort;
        private int totalPassos = 0;

        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
            InicializarPortaSerial();
        }

        // Inicializa a porta serial com configurações padrão
        private async void InicializarPortaSerial()
        {
            serialPort = new SerialPort("COM3", 115200); // Substitua "COM3" pela
            porta correta
            serialPort.DataReceived += SerialPort_DataReceived;
            try
            {
                serialPort.Open();
                Console.WriteLine("Porta COM3 aberta.");

                // Agora, você pode aguardar indefinidamente pela recepção de
                dados assincronamente
                while (serialPort.IsOpen)
                {
                    await Task.Delay(100); // Adicione um pequeno atraso para não
                    consumir muito CPU
                }
            }
            catch (Exception ex)
            {
            }
        }
    }
}
```

```

        Console.WriteLine($"Erro ao abrir a porta COM3: {ex.Message}");
    }
}

// Manipula a recepção de dados na porta serial
private void SerialPort_DataReceived(object sender,
SerialDataReceivedEventArgs e)
{
    SerialPort sp = (SerialPort)sender;
    string data = sp.ReadLine(); // Use ReadLine para ler uma linha
    completa

    // Faça algo com os dados recebidos (ex: exibir no console)
    AdicionarMensagemAoConsole("Recebido: " + data);

    // Verifique se os dados contêm informações sobre a quantidade de
    passos

    if (data.StartsWith("Passos:"))
    {
        // Extraia a quantidade de passos do restante da string
        int qtdPassos = Convert.ToInt32(data.Substring(7));

        // Atualize a variável totalPassos
        totalPassos += qtdPassos;

        // Atualize a label com o total de passos acumulado
        AtualizarLabelQtdPassos(totalPassos);
    }
}

// Envia dados para a porta serial
private void EnviarDados(string comando)
{
    if (serialPort.IsOpen)
    {
        serialPort.Write(comando + "\n");
        AdicionarMensagemAoConsole("Enviado: " + comando);
    }
    else
    {
        AdicionarMensagemAoConsole("Erro: Porta serial não está aberta.");
    }
}

// Método de espaço reservado para adicionar uma mensagem ao console
private void AdicionarMensagemAoConsole(string mensagem)
{
    // Adicione sua implementação aqui, se necessário
}

```

// Manipuladores de evento de clique do botão para diferentes comandos de velocidade

```
private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    EnviarDados("V" + 5);
}
```

```
private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
{
    EnviarDados("V" + 10);
}
```

```
private void button3_Click(object sender, EventArgs e)
{
    EnviarDados("V" + 15);
}
```

```
private void button4_Click(object sender, EventArgs e)
{
    EnviarDados("V" + 20);
}
```

```
private void button5_Click(object sender, EventArgs e)
{
    EnviarDados("V" + 25);
}
```

// Manipulador de evento de clique do botão para definir um número específico de passos

```
private void button6_Click(object sender, EventArgs e)
{
    try
    {
        int novosPassos = Convert.ToInt32(txtNovosPassos.Text);
        EnviarDados("P" + novosPassos);
    }
    catch (FormatException)
    {
        AdicionarMensagemAoConsole("Erro: Valor de passos inválido.");
    }
}
```

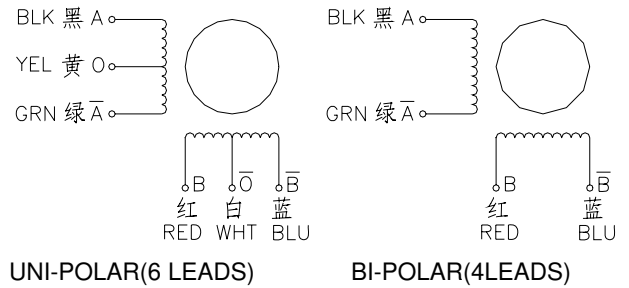
// Atualiza o rótulo exibindo o número total de passos

```
private void AtualizarLabelQtdPassos(int qtdPassos)
{
    if (labelQtdPassos.InvokeRequired)
    {
        labelQtdPassos.Invoke(new Action(() => {
            labelQtdPassos.Text = qtdPassos.ToString();
            int anguloRot = (int)(qtdPassos * 1.8); // Calcula o ângulo total
```


2 Phase Hybrid Stepper Motor 17HS series-Size 42mm(1.8 degree)



Wiring Diagram:

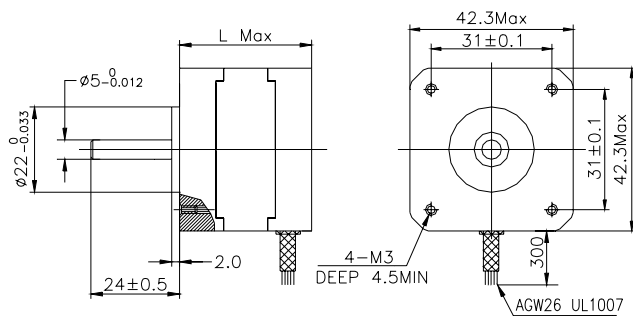


Electrical Specifications:

Series Model	Step Angle (deg)	Motor Length (mm)	Rated Current (A)	Phase Resistance (ohm)	Phase Inductance (mH)	Holding Torque (N.cm Min)	Detent Torque (N.cm Max)	Rotor Inertia (g.cm ²)	Lead Wire (No.)	Motor Weight (g)
17HS2408	1.8	28	0.6	8	10	12	1.6	34	4	150
17HS3401	1.8	34	1.3	2.4	2.8	28	1.6	34	4	220
17HS3410	1.8	34	1.7	1.2	1.8	28	1.6	34	4	220
17HS3430	1.8	34	0.4	30	35	28	1.6	34	4	220
17HS3630	1.8	34	0.4	30	18	21	1.6	34	6	220
17HS3616	1.8	34	0.16	75	40	14	1.6	34	6	220
17HS4401	1.8	40	1.7	1.5	2.8	40	2.2	54	4	280
17HS4402	1.8	40	1.3	2.5	5.0	40	2.2	54	4	280
17HS4602	1.8	40	1.2	3.2	2.8	28	2.2	54	6	280
17HS4630	1.8	40	0.4	30	28	28	2.2	54	6	280
17HS8401	1.8	48	1.7	1.8	3.2	52	2.6	68	4	350
17HS8402	1.8	48	1.3	3.2	5.5	52	2.6	68	4	350
17HS8403	1.8	48	2.3	1.2	1.6	46	2.6	68	4	350
17HS8630	1.8	48	0.4	30	38	34	2.6	68	6	350

*Note: We can manufacture products according to customer's requirements.

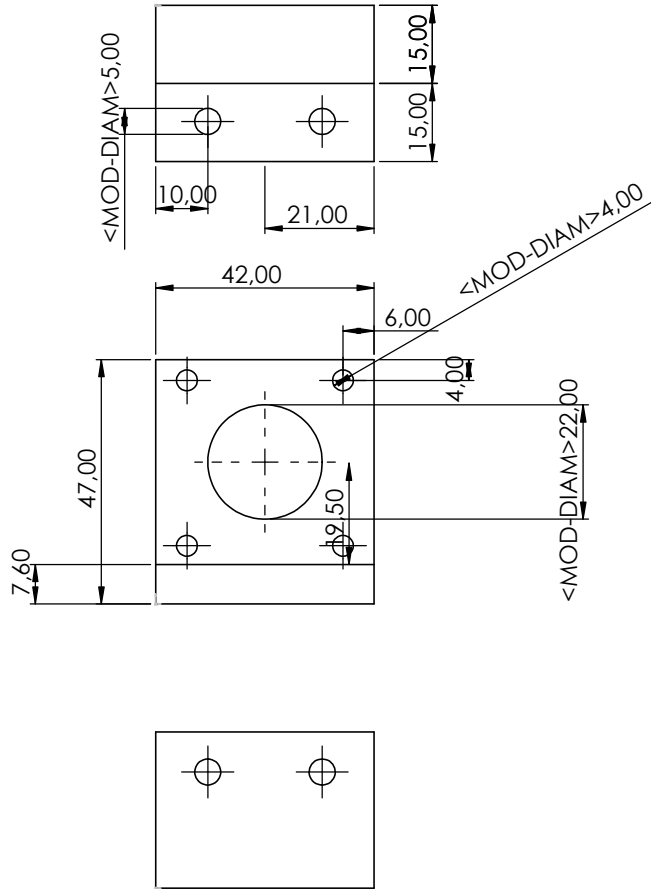
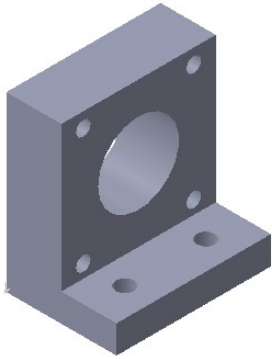
Dimensions: unit=mm



Motor Length:

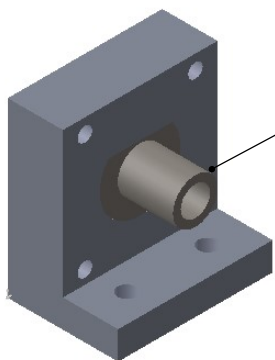
Model	Length
17HS2XXX	28 mm
17HS3XXX	34 mm
16HS4XXX	40 mm
16HS8XXX	48 mm

ANEXO F - SUPORTE DO MOTOR

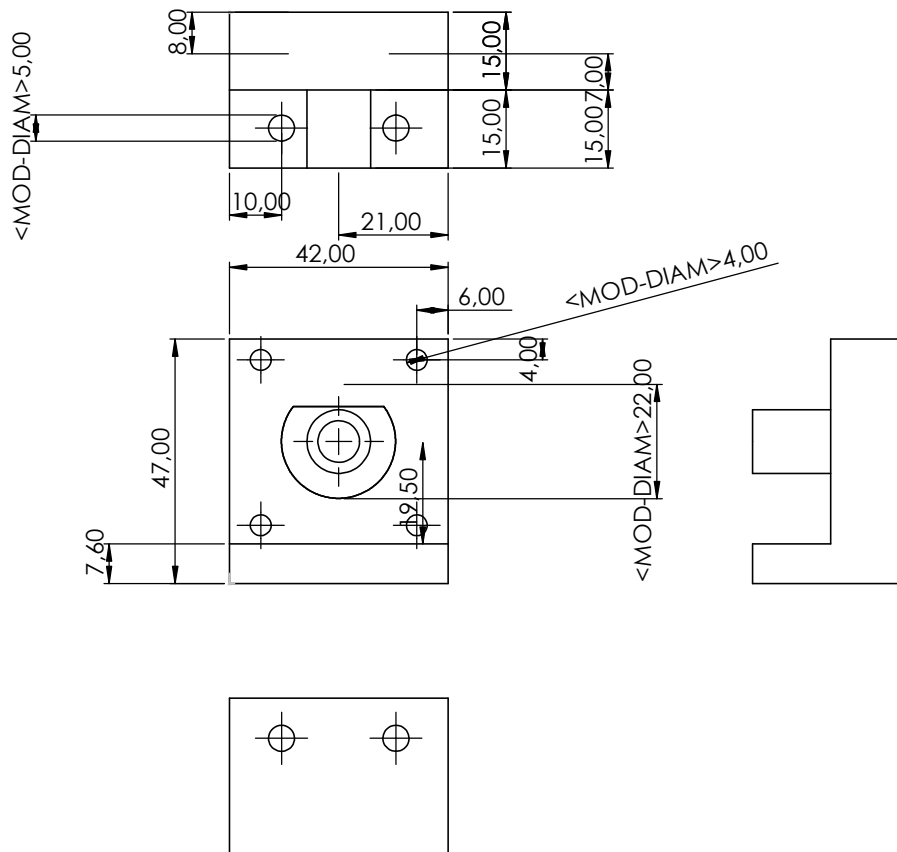


Autor	Escala	Nome do Projeto	Material
Diego de Melo Cavalcanti	1:1	Suporte Motor/Mandril	ALUMÍNIO

ANEXO G - SUPORTE DE FIXAÇÃO DO MANDRIL



BUCHA DE FIXAÇÃO DO MANDRIL - AÇO 1020



Autor	Escala	Nome do Projeto	Material
Diego de Melo Cavalcanti	1:1	Suporte Motor/Mandril	ALUMÍNIO/AÇO 1020