UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM INFORMATICA EM SAÚDE

PEDRO GABRIEL YAMANAKA

DESENVOLVIMENTO DE UM PROCESSO DE AUTOMAÇÃO PARA PRODUÇÃO DE DILATADORES VAGINAIS PERSONALIZADOS PARA IMPRESSÃO 3D

SÃO PAULO
2021

PEDRO GABRIEL YAMANAKA

DESENVOLVIMENTO DE UM PROCESSO DE AUTOMAÇÃO PARA PRODUÇÃO DE DILATADORES VAGINAIS PERSONALIZADOS PARA IMPRESSÃO 3D

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Escola Paulista de Medicina da Universidade Federal de São Paulo para a obtenção do Título de Tecnólogo em Informática em Saúde

Orientadora:

Profa. Dra. Marair Gracio Ferreira Sartori

Coorientador:

Me. Thyeres Teixeira Bueno Chrispin

SÃO PAULO

2021

Agradecimentos

Primeiramente agradeço à orientadora Dra. Marair Gracio Ferreira Sartori por me orientar e aceitar este desafio.

Agradeço ao Me. Thyeres Teixeira Bueno Chrispin por me ajudar e apoiar, não somente orientando, mas também como amigo.

Agradeço a minha namorada Yuka Kimura Sassaki por estar ao meu lado me apoiando a cada passo.

Também quero agradecer a toda a minha família, por me apoiar e permitir que eu seja quem sou hoje.

Quero agradecer também aos professores por suas lições e ensinamentos.

E por fim, mas não menos importante, a Deus que me abriu as portas e me deu as oportunidades de chegar aqui, e me guia e me guarda a todo momento.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 8
1.1 MANUFATURA ADITIVA 8
1.2 CAD 8
1.3 MA NA SAÚDE 9
1.3.1 MA aplicada na ginecologia 9
1.3.2 MA na produção de dilatadores 9
1.4 MODELAGEM PARAMÉTRICA 10

2 OBJETIVO 11

3 METODOLOGIA 12
3.1 PLATAFORMA CAD 12
3.2 PROPORÇÕES E MEDIDAS 12
3.3 MONTAGEM DO MODELO 13
3.4 AUTOMAÇÃO 15
3.5 TESTE DO PROCEDIMENTO 18

4 RESULTADOS 19
4.1 PLATAFORMA CAD 19
4.2 APERFEIÇOAMENTO DO MODELO 19
4.2.1 Razão de curvatura da ponta 19
4.2.2 Equação do entalhe 20
4.3 LIMITES DO PROCESSO 21
4.4 AUTOMATIZAÇÃO 21
4.5 TUTORIAL DE UTILIZAÇÃO 21

5 DICUSSÃO 26
5.1 FREECAD 26
5.2 APERFEIÇOAMENTO DO MODELO 26
5.3 APLICABILIDADE 26

6 CONCLUSÃO 27

REFERÊNCIAS 28

1 INTRODUÇÃO

1.1 Manufatura aditiva

Com o advento das tecnologias de modelagem e impressão tridimensional (3D) e o continuado aumento da sua popularização, a manufatura aditiva como também é conhecida, permitiu o surgimento de diversas aplicações como o desenvolvimento de peças automobilísticas e aeroespaciais a moldes, além de peças de reposição de equipamentos fora de linha (ZAPAROLLI, 2019) e tão importante quanto foi, o desenvolvimento no âmbito da saúde, por meio de próteses e órteses assim como no planejamento cirúrgico, mas que também se expande progressivamente em outros campos.

A Manufatura Aditiva (MA) permite a criação e produção de modelos 3D e protótipos em tempo extremamente reduzido se comparado a outros métodos, ainda sendo possível a criação de modelos que por outras tecnologias não se permitiriam viáveis, permitindo inclusive a redução dos custos de prototipagem, a exemplo temos a *MAN* uma empresa do setor do transporte atualmente detentora da *Volkswagen* e que reduziu o custo de seus projetos em cerca de 80% com a utilização de impressoras 3D, além da visível redução de custo a empresa constatou uma redução do cronograma visto que um processo que poderia chegar a 2 meses passa a ser realizado em questão de horas. (REDAÇÃO AB, 2017)

1.2 CAD

CAD é uma tecnologia que surgiu já faz algum tempo, mas que se mostrou fundamental no desenvolvimento de projetos em diversas áreas, pois a sua versatilidade permite que projetos de diversas áreas como arquitetura, construção civil, engenharias em geral possam ser desenvolvidos por profissionais e ocorra em uma velocidade muito maior do que um desenho realizado a mão poderia ser feito. Além disso, permite que alterações ocorram de forma igualmente rápida, motivo pelo qual o CAD (*Computer Aided Design*) tem sua importância tão grande para o desenvolvimento tecnológico e está vinculado de forma tão relevante a impressão 3D. (Autodesk, 2020).

1.3 MA na saúde

A manufatura aditiva vem permitindo que diversas tecnologias sejam unidas e que avanços tecnológicos ocorram cada vez mais rápido. A exemplo disso temos, a utilização de uma bioimpressora 3D em uma pesquisa desenvolvida Centro de Pesquisa em Célula-Tronco e Genoma Humano (CEGH-CEL) que foi capaz de produzir mini fígados através de células-tronco e que conseguem manter funções hepáticas por um período maior, o que pode se tornar uma alternativa a doação de órgãos (AGÊNCIA FAPESP, 2019).

1.3.1 MA aplicada na ginecologia

Uma aplicação muito interessante é a utilização da MA para a confecção de um molde vaginal para o tratamento de disfunções do assoalho pélvico, devido a características como a capacidade de construção de peças de alta complexidade, de ser muito ágil no tempo de fabricação e possuir um baixo custo, provando sua aplicabilidade e sua acessibilidade para a população (MARTINS, 2017).

1.3.2 MA na produção de dilatadores

Aproveitando-se destas tecnologias e da necessidade da produção de modelos 3D personalizados na ginecologia se deu o trabalho do pesquisador Thyeres T.B. Chrispin que foi responsável por desenvolver e produzir dilatadores vaginais através da impressão 3D que são utilizados no tratamento de Agenesia Vaginal, condição em que há ausência do canal vaginal. Nesses casos, há necessidade de dilatadores de tamanhos personalizados já que atualmente no mercado são comuns os dilatadores de comprimento e diâmetro padronizados o que pode dificultar o uso em algumas pacientes (CHRISPIN, 2019).

O tratamento pode ocorrer por meio cirúrgico ou pela criação do canal vaginal através do uso de dilatadores, sendo o último o principal método de escolha por ser um método menos invasivo desta forma mais seguro e de demonstrar expressiva taxa de sucesso de 94,5% (Edmonds *et al*., 2012).

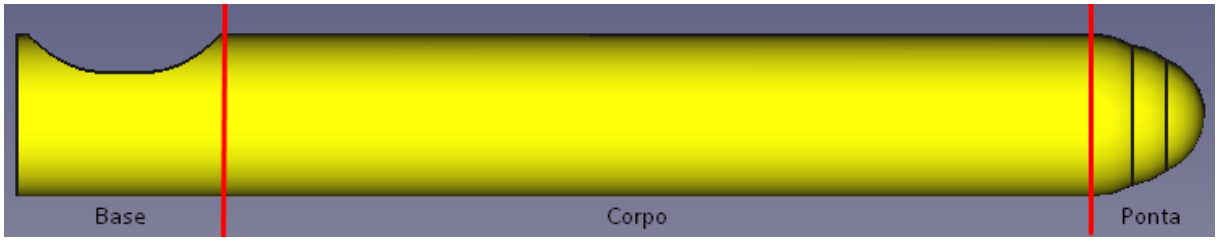


Figura 1. Estrutura do Dilatador
Fonte: Próprio autor

1.4 Modelagem Paramétrica

Modelagem paramétrica é um método que consiste na criação de modelos que utilizam como regras básicas determinados parâmetros como altura, diâmetro, posicionamentos, ações e assim por diante, parâmetros estes que podem ser alterados depois da peça pronta o que deixa a cargo do programa recalcular todas as medidas gerando uma nova peça, o que acelera e muito o processo de modelagem.

Este trabalho busca elaborar um processo com foco na agilidade que automatize a personalização destes modelos e utilize este método como forma de permitir uma mais rápida personalização dos modelos e reduzir ainda mais o tempo necessário para a produção dos dilatadores capazes de se adaptar a cada paciente.

2 OBJETIVO

Elaborar um processo que automatize a personalização de modelos 3D de dilatadores vaginais, com base nos modelos criados pelo pesquisador Chrispin e que permita gerar modelos de dilatadores rapidamente, apenas alterando as variáveis de altura e de diâmetro da peça utilizando princípios de modelagem paramétrica.

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do processo de personalização automático de modelos 3D de dilatadores vaginais os seguintes passos foram efetuados:

3.1 Plataforma CAD

Para definir a plataforma a ser utilizada para a automatização foi levado em conta acessibilidade, a facilidade de uso e que o *software* de base CAD se dispusesse das ferramentas adequadas para a sua realização.

3.2 Proporções e medidas

Para encontrar as proporções adequadas foram utilizados como base os modelos produzidos pelo pesquisador Chrispin, fornecidos pelo próprio pesquisador em arquivos 3D de formato CAD.

Os modelos originais se utilizavam de esferas cada vez menores para formar uma ponta com um arredondamento suave. Durante os testes, constatou-se que a utilização de um sólido geométrico conhecido como elipsoide, permite uma curvatura com uma suavidade de mesmo nível ou até mesmo superior a encontrada nos modelos originais.

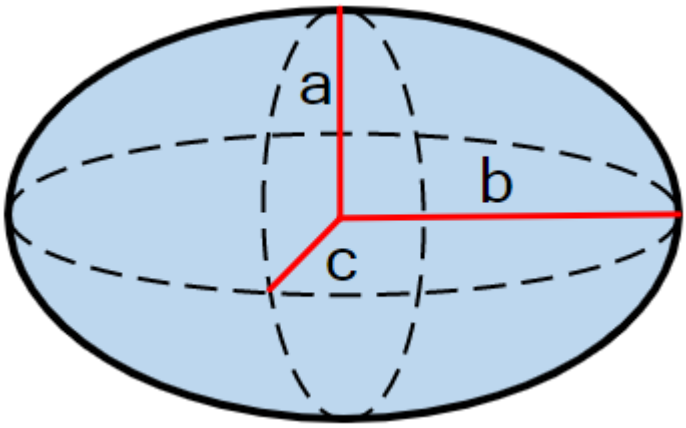


Figura 2. Elipsoide
Fonte:(Geometrybasic.com, 2021)

Um elipsoide pode ser determinado através de três variáveis, onde cada variável define um raio que delimita diretamente o formato final do sólido.

Na criação do modelo, duas das variáveis são definidas, a princípio, devido à necessidade do encaixe entre os sólidos, é necessário que duas variáveis de raio do elipsoide tenham o mesmo comprimento que o raio do cilindro, restando apenas a terceira variável.

Esta última variável necessitou de alguns testes para chegar a um valor, visto que se trata da principal variável responsável pela curvatura da ponta da peça. Por isso, foram realizadas comparações nos três modelos produzidos pelo pesquisador Chrispin, com foco em obter uma razão entre o raio do elipsoide e o raio do cilindro.

Para desenhar a peça são criados três sólidos base, um cilindro que dará origem ao corpo e base do dilatador, um elipsoide que dará origem a ponta do dilatador e por fim, outro elipsoide que será responsável por criar um entalhe na base do dilatador responsável por facilitar o manuseio do dilatador.

Desta forma, o elipsoide precisa ter um tamanho que seja compatível com a ponta de um dedo adulto para que o manejo e a ergonomia da peça possam ocorrer adequadamente, com isso, testes foram realizados para chegar em equações capazes de definir suas dimensões.

Os testes consistiram em verificar como os entalhes se ajustavam em dilatadores de uma altura de 65mm até 145mm e de um diâmetro de 11,6mm até 40mm, tamanhos que são os mais comumente encontrados à venda.

3.3 Montagem do modelo

Para a montagem do modelo foram utilizadas as proporções definidas anteriormente e foram dados os seguintes passos:

I. Criação dos sólidos base

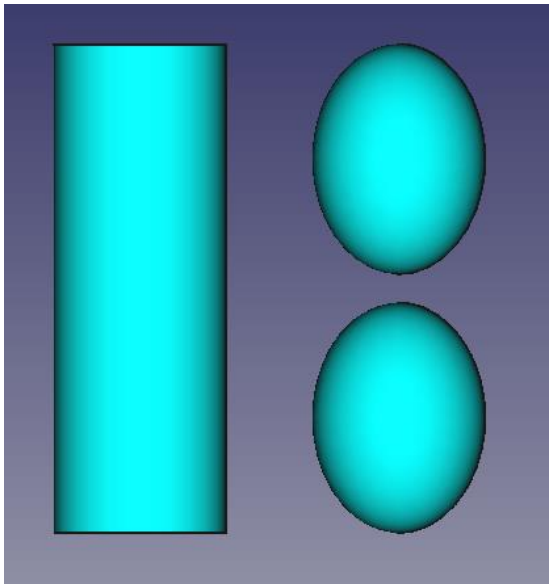


Figura 3. Sólidos base criados no FreeCAD
Fonte: Próprio autor

Os três sólidos são criados e em seguida são alterados para os devidos valores.

II. Posicionamento das partes

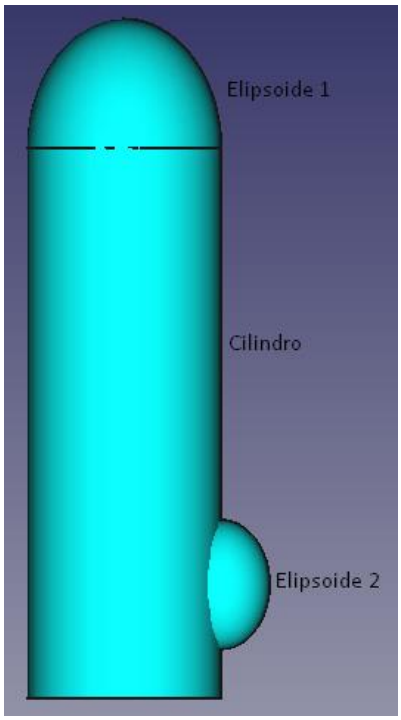


Figura 4. Sólidos posicionados no *software* FreeCAD
Fonte: Próprio autor

Após terem seus valores alterados as partes são posicionadas em seus devidos locais.

III. Entalhe da peça

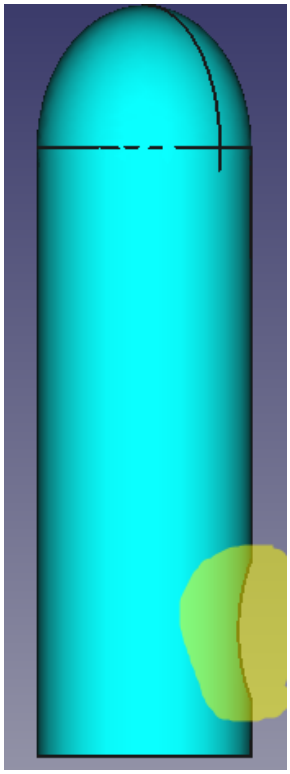


Figura 5. Peça após realização do entalhe no FreeCAD
Fonte: Próprio autor

Após posicionadas, começa o uso das ferramentas de operação booleana que nada mais é do que um dispositivo que permite realizar algumas funções. Foram usadas apenas duas delas: a função de união que permite fazer uma fusão entre 2 peças que estejam em contato, permitindo a criação de uma peça única a partir das duas iniciais, e a função de corte ou subtração que consiste em subtrair uma região de uma peça que está inserida em outra, realizando um corte no solido desejado.

Primeiramente, o Elipsoide 1 foi somado ao cilindro formando uma única peça fundida, e em seguida o Elipsoide 2 foi subtraído da peça fundida, resultando em uma peça finalizada.

3.4 Automação

Para realizar a automação do modelo foi criada uma tabela dentro do próprio FreeCAD responsável por conter todas as variáveis necessárias, tanto o tamanho de cada parte quanto o seu posicionamento que se modifica conforme o diâmetro e a altura são variados.

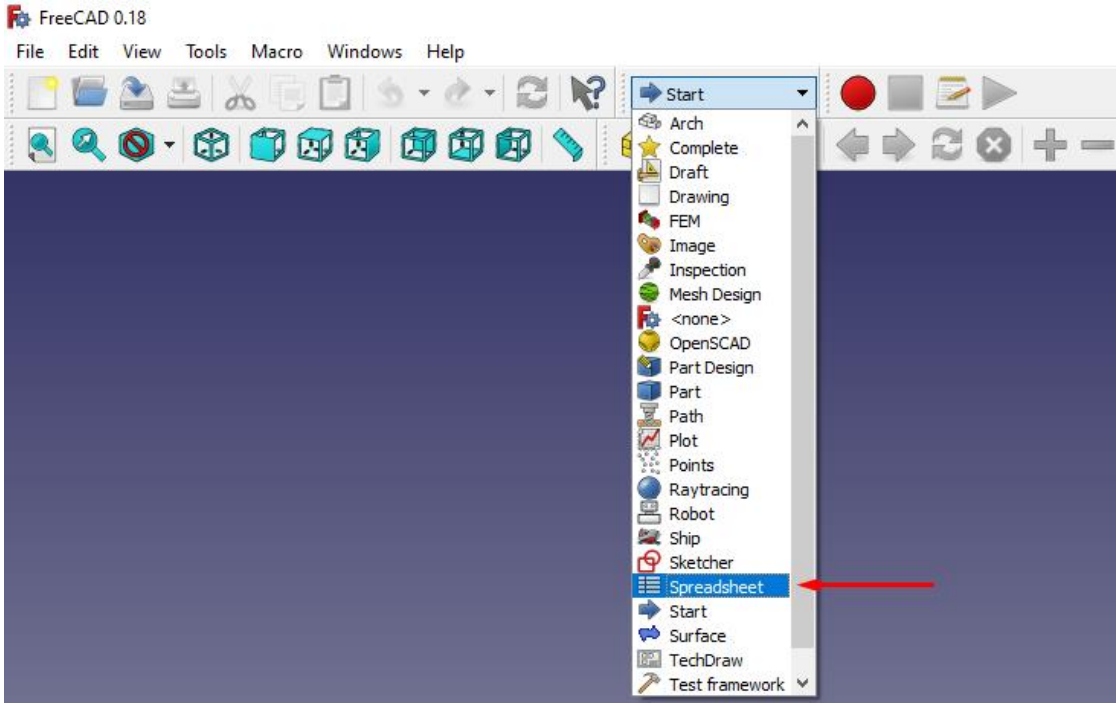
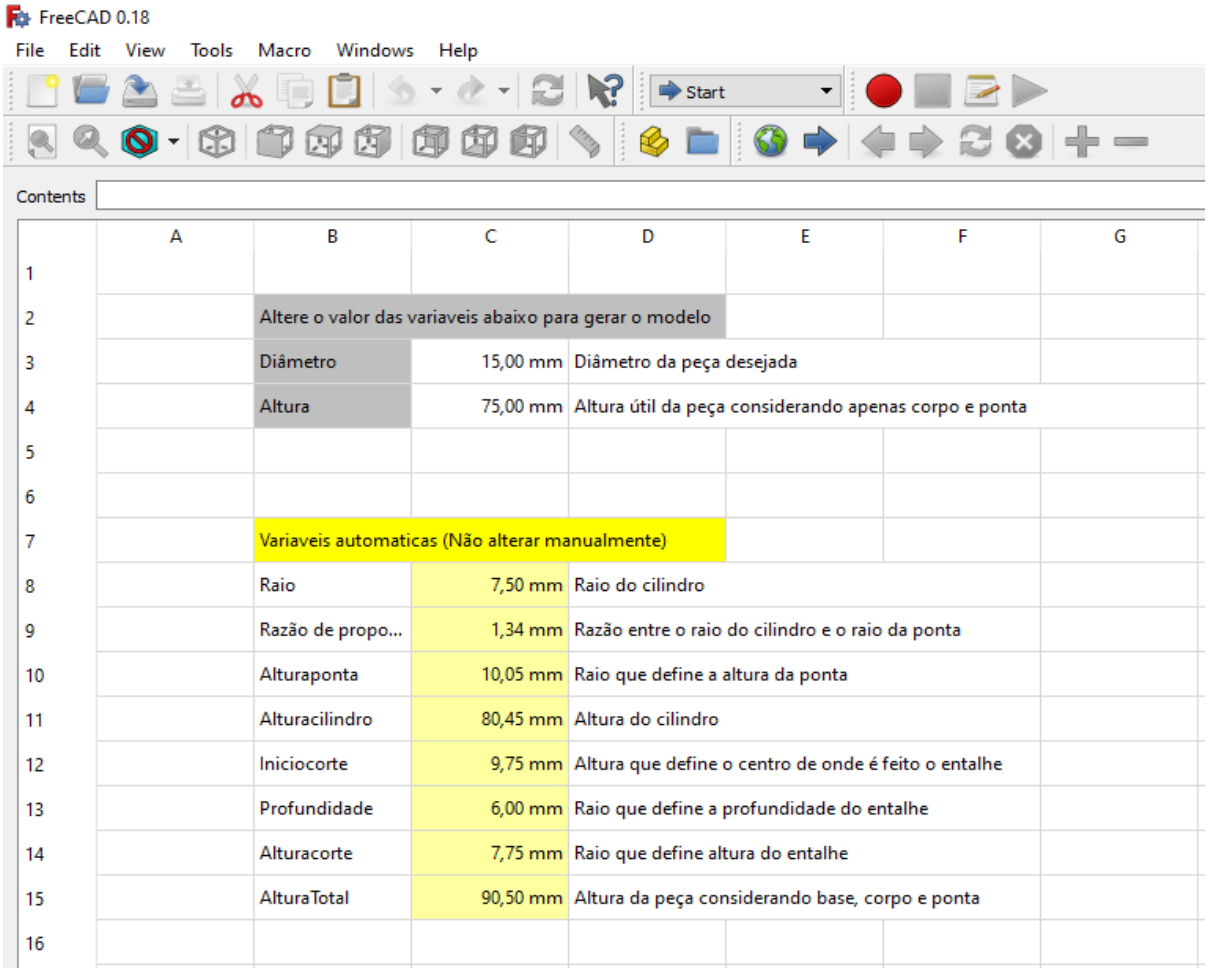


Figura 6. Criação de tabela utilizando a função *Spreadsheet* do FreeCAD
Fonte: Próprio autor

Após a criação da tabela e a inserção dos valores e equações, todos as variáveis foram detalhadas de forma a facilitar o entendimento do que cada valor representa, e do que deve ou não ser alterado.



	A	B	C	D	E	F	G
1							
2		Altere o valor das variaveis abaixo para gerar o modelo					
3		Diâmetro	15,00 mm	Diâmetro da peça desejada			
4		Altura	75,00 mm	Altura útil da peça considerando apenas corpo e ponta			
5							
6							
7		Variaveis automaticas (Não alterar manualmente)					
8		Raio	7,50 mm	Raio do cilindro			
9		Razão de propo...	1,34 mm	Razão entre o raio do cilindro e o raio da ponta			
10		Alturaponta	10,05 mm	Raio que define a altura da ponta			
11		Alturacilindro	80,45 mm	Altura do cilindro			
12		Iniciocorte	9,75 mm	Altura que define o centro de onde é feito o entalhe			
13		Profundidade	6,00 mm	Raio que define a profundidade do entalhe			
14		Alturacorte	7,75 mm	Raio que define altura do entalhe			
15		AlturaTotal	90,50 mm	Altura da peça considerando base, corpo e ponta			
16							

Figura 7. Preenchimento dos parâmetros em tabela no *software* FreeCAD
Fonte: Próprio autor

Com os valores na tabela, resta transferir os valores para o modelo, para isto é define-se um nome para cada valor da tabela, e em seguida, utilizamos estes mesmos nomes como um indexador, ou seja, ele será responsável por transferir os valores automaticamente para a peça. Os valores são indicados colocando o nome da tabela, no caso “Parametros” e em seguida, após o ponto final o nome dado a variável “Alturaponta”, como mostra a figura 8.

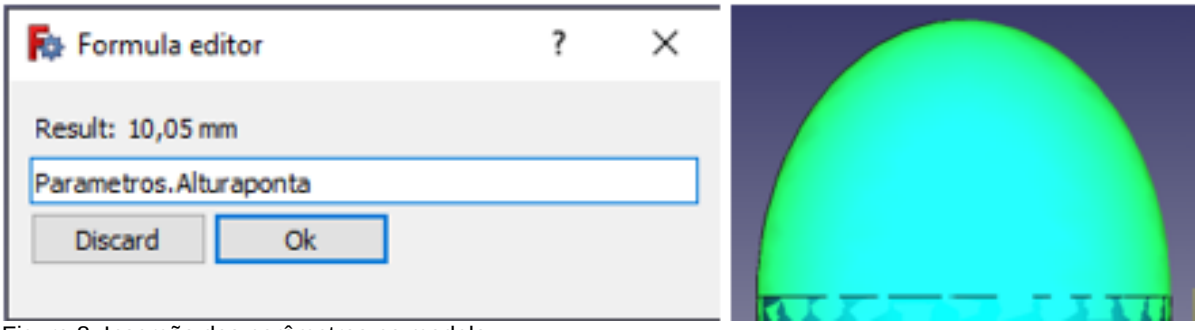


Figura 8. Inserção dos parâmetros no modelo
Fonte: Próprio autor

Desta forma, os valores que estão na tabela ao serem modificados farão uma alteração automaticamente na peça.

3.5 Teste do procedimento

Para verificar possíveis limitações e a confiabilidade do procedimento, foi realizado um teste inserindo diversos valores de altura e diâmetro, para manter as proporções adequadas e a peça se manter viável estruturalmente.

4 RESULTADOS

4.1 Plataforma CAD

Após a análise das opções, preferiu-se a utilização do FreeCAD como plataforma para a realização deste trabalho. Por se tratar de uma plataforma gratuita que conta com uma completa gama de ferramentas, possui baixo consumo computacional que para aplicações de menor complexidade não exige um computador de custo elevado e de que possui uma interface intuitiva que permite um aprendizado rápido de suas funções.

Com o processo de automação, modelos de tamanho variados podem ser gerados em questão de pouquíssimos minutos. Tendo vista a grande variação de tamanhos e valores possíveis, a capacidade do software de manter uma boa ergonomia da peça se mostra de forma evidente como um importante instrumento para o desenvolvimento tecnológico.

4.2 Aperfeiçoamento do modelo

Durante a realização do processo de levantamento de proporções e medidas, foi constatado que a utilização de um elipsoide permitiu uma curvatura mais suave na ponta dos dilatadores. Este feito, pode permitir que os modelos gerados desta forma sejam capazes de realizar as suas funções de maneira mais adequada, visto que apresentam menos chances de causar desconfortos durante o tratamento. Além disso, permite que o processo de refinamento mecânico do modelo, realizado por meio do desgaste da superfície com o uso de lixas abrasivas, possa ser realizado de forma mais rápida, já que possui menos rugosidades e exige uma menor abrasão da superfície para se chegar a um resultado similar, isso quando comparado ao método que utiliza a sobreposição de esferas.

4.2.1 Razão de curvatura da ponta

Através dos testes realizados, foi possível obter uma razão entre os raios do elipsoide que forma a ponta do dilatador e o raio do cilindro que integra a base e corpo

permitindo que, independentemente do tamanho do dilatador, sua ponta possua uma curvatura adequada.

Obtendo o valor do raio do elipsoide comparando com os três modelos originais e utilizando a equação acima para relacionar os valores obtidos com os respectivos raios dos cilindros foram encontrados os seguintes valores: 1,32, 1,3 e 1,4.

$$\frac{RaioElipsoide}{RaioCilindro} = Razão$$

Para definir um padrão foi realizada uma média simples entre os valores encontrados resultando em uma razão média de 1,34 entre o raio do cilindro e o raio do elipsoide.

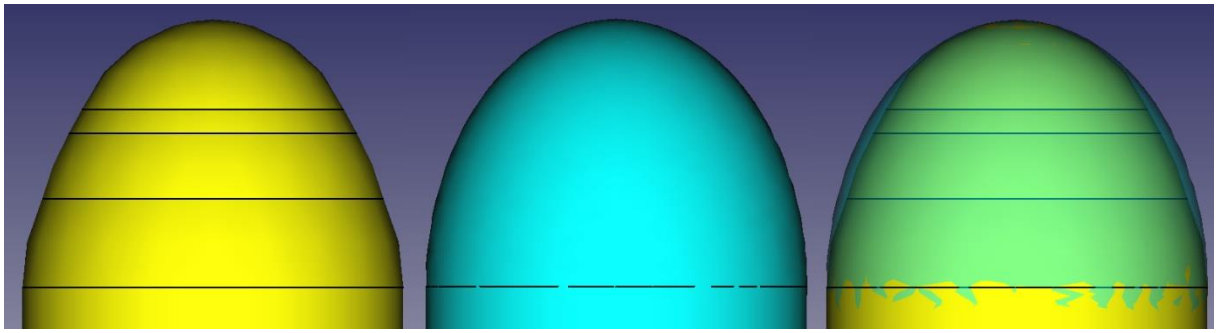


Figura 9. Curvatura dos dilatadores, a esquerda o dilatador original produzido pelo pesquisador Chrispin, no centro a curvatura feita a partir do elipsoide e a direita uma sobreposição de ambos.
Fonte: Próprio autor

4.2.2 Equação do entalhe

Mediante a testes realizados foi possível desenvolver duas equações capazes de definir os raios do segundo elipsoide, responsável pelo entalhe na base da peça.

$$4mm * \frac{AlturaTotaldaPeça}{20} = RaioZ$$

$$3mm + (0{,}4 \times RaioDoCilindro) = RaioXY$$

Estas equações definem a profundidade do entalhe, sua largura e altura, de forma que se ajusta desde as peças menores até as maiores.

4.3 Limites do Processo

Após a realização de testes inserindo diversos valores de altura e diâmetro, foi constatado que deve-se manter a altura em no mínimo 15mm e o diâmetro em no mínimo 7,5mm, valores que se não respeitados, podem gerar uma deformação na peça, a tornando inviável. No entanto, esses limites são muito inferiores ao que se observam em modelos mais comuns encontrados no mercado, lembrando ainda que essa medida de altura se trata da medida útil da peça, tendo em vista que a parametrização já leva em conta uma perda de parte útil por conta do entalhe para manuseio na base do dilatador, de forma que um modelo no limite definido anteriormente de 15mmX7,5mm tem na verdade 24,5mmX7,5mm de tamanho real.

4.4 Automatização

Através da modelagem paramétrica o processo foi automatizado com êxito, de forma que permite a modificação dos modelos com a alteração dos parâmetros de altura e diâmetro e mantem as proporções e ergonomias adequadas para seu propósito.

4.5 Tutorial de utilização

Para realizar o procedimento e chegar a uma peça finalizada este pequeno tutorial foi criado como forma de instruir e orientar a utilização do modelo.

Para utilização do modelo parametrizado é necessário ter o programa FreeCAD instalado no computador, isto pode ser feito através do *link* https://www.freecadweb.org/downloads.php

Ao entrar no site o usuário irá se deparar com as opções abaixo, basta selecionar o sistema operacional utilizado no computador que o download se iniciará, após o download basta executar o arquivo baixado.

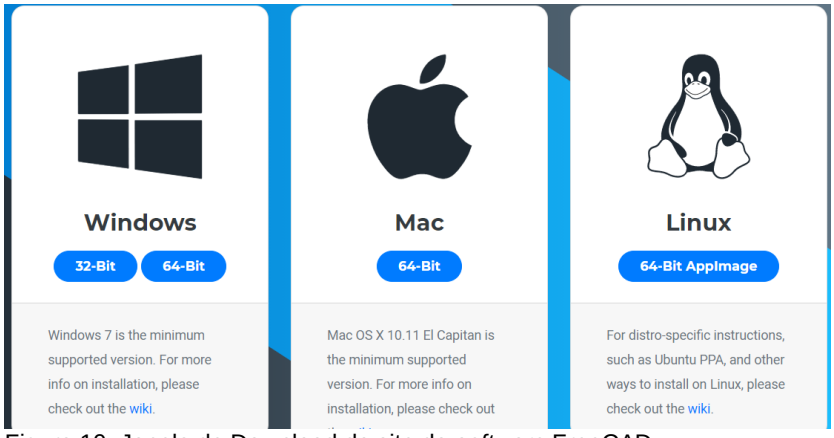


Figura 10. Janela de Download do site do *software* FreeCAD
Fonte: Próprio autor

Após instalado o usuário deve acessar o seguinte *link* onde encontrará o modelo parametrizado, bastando baixá-lo para seguir para o próximo passo.

https://drive.google.com/file/d/1lICSXAdHhhqNdpsEj8KB1rAvAsHpjFoA/view?usp=sharing

Após o download do arquivo o usuário deve localizar onde se encontra o arquivo modelo de nome “Dilatador Parametrizado”, e ao abrir o arquivo com um clique duplo, o usuário deve se deparar com a seguinte página.

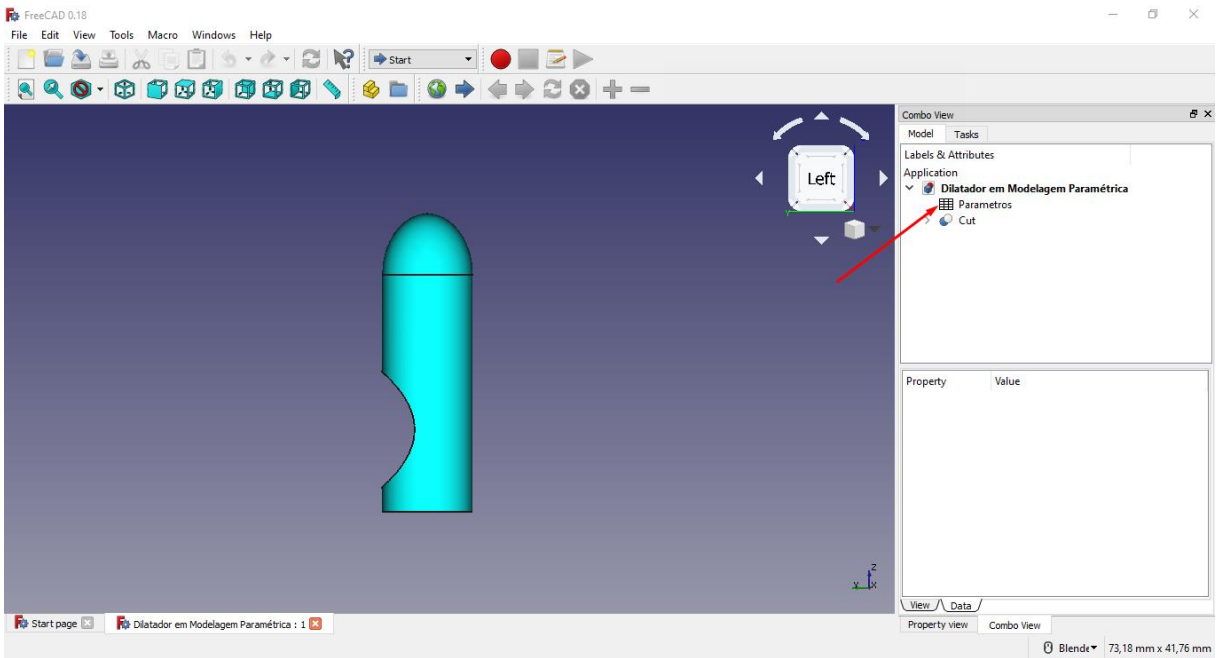


Figura 11. FreeCAD, tela inicial do programa
Fonte: Próprio autor

Nesta página, deve-se selecionar a tabela “Parametros” dando um clique duplo sobre ela, em seguida surgirá a seguinte imagem.

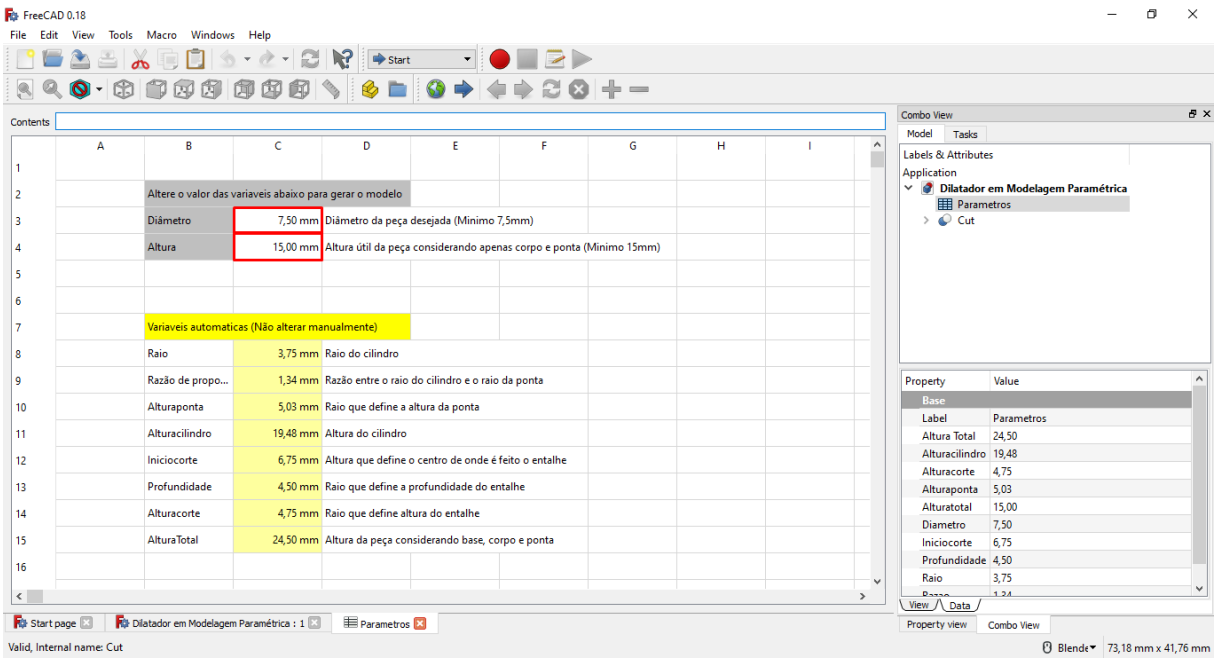


Figura 12, Tabela de parâmetros
Fonte: Próprio autor

Nos campos destacados em vermelho o usuário deve inserir os valores de Altura e Diâmetro bastando dar um clique no campo e escrevendo o valor em milímetros, mas sem escrever a unidade assim como nos exemplos a seguir: 7,5; 15; 25; 12,2 e em seguida pressionar a tecla *Enter* do teclado, e repetir o procedimento para a outra variável.

Em seguida, dê um clique na parte esquerda inferior da tela na guia Dilatador em Modelagem Paramétrica.

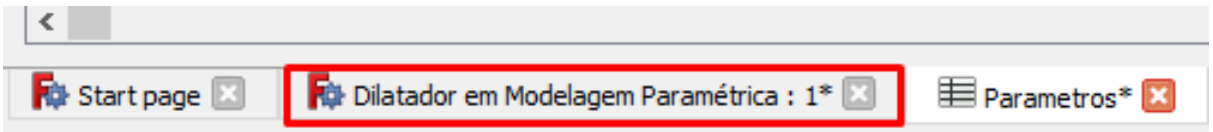


Figura 13. Guia do modelo.
Fonte: Próprio autor

É provável que após a alteração da peça, ela não esteja bem enquadrada no ângulo de visão, e para corrigir isto clique na região destacada em vermelho e em seguida em “*Zoom to fit*”, que irá centralizar a imagem na tela

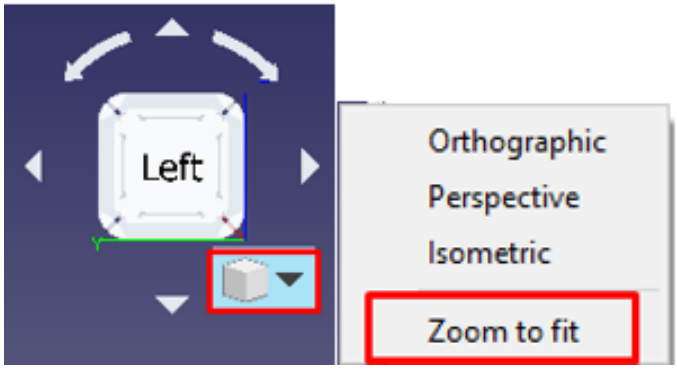


Figura 14. Função de enquadrar.
Fonte: Próprio autor

Por fim, para realizar a exportação em formato STL para a realização da impressão, selecione a peça clicando na peça uma vez no menu a direita ou clicando duas vezes na peça diretamente de forma que o modelo fique como na figura 15.

Em seguida utilize o atalho mantendo a tecla *Crtl* pressionada e em seguida pressionando a tecla E, esta função vai abrir a janela de exportação, sendo responsável por converter e salvar o arquivo no formato desejado.

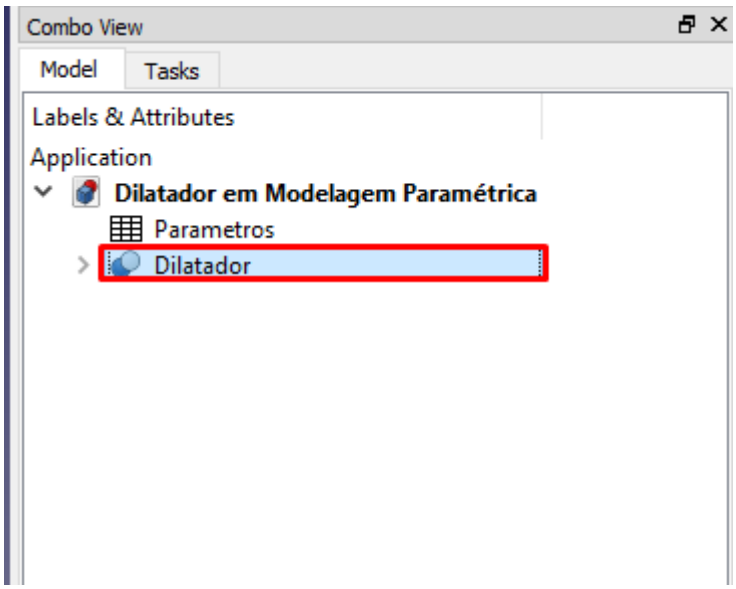


Figura 15. Seleção de modelo.
Fonte: Próprio autor

Na parte inferior da janela que se abriu, escolha onde deseja salvar o arquivo e insira o nome da peça no campo destacado em verde, no campo em vermelho busque e selecione o formato STL *Mesh*, como pode ser visto na figura 16. Após tudo

pronto basta clicar no botão salvar, e o arquivo estará finalizado e salvo no computador.

O tempo de execução deve variar de computador para computador, pelo tempo de processamento ser diferente de máquina para máquina, mas no geral, todo o processo deve ocorrer em cerca de um ou dois minutos.

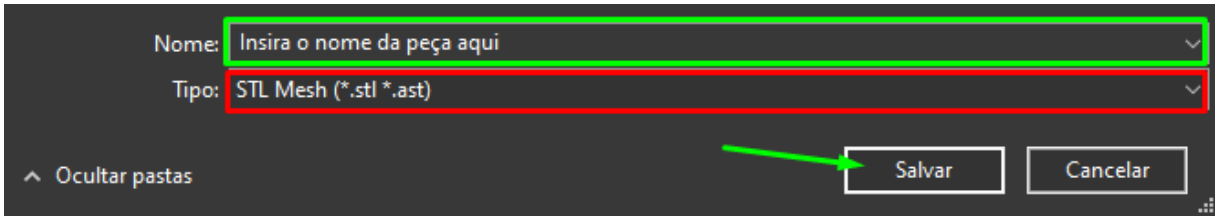


Figura 16. Janela de exportação.
Fonte: Próprio autor

5 DICUSSÃO

5.1 FreeCAD

A preferência pelo *software* FreeCAD se provou uma excelente escolha, uma vez que possui todas as ferramentas necessárias capazes de amparar a realização deste trabalho, mantem uma interface simples e intuitiva, a despeito da gratuidade do *software*.

5.2 Aperfeiçoamento do modelo

A alteração de utilizar um elipsoide ao invés de diversas esferas sobrepostas, permitiu a simplificação do processo sendo capaz de permitir uma melhor curvatura e menos rugosidades na peça final, possibilitando uma redução no tempo de trabalho de abrasão da superfície da peça com lixas.

A equação da variação de tamanho do entalhe permite que, mesmo em diferentes tamanhos de peças seja possível o bom manuseio da peça, facilitando uma manipulação mais firme e estável da peça.

Além do mais, foi notável que, apesar das alterações no modelo, principalmente a curvatura da ponta, constatou-se que suas características mecânicas e ergométricas ainda atendem aos parâmetros e proporções dos modelos originais.

5.3 Aplicabilidade

Na aplicação deste processo desenvolvido, não reside apenas a automação de modelos de dilatadores, de forma que sua serventia vai além, podendo ser utilizado na produção de outras peças médicas personalizadas.

Portanto esta é uma tecnologia que não somente pode como deve ser explorada.

6 CONCLUSÃO

Através da utilização dos princípios de modelagem paramétrica, o processo de automatização da personalização de modelos 3D de dilatadores vaginais foi concluído, sendo capaz de permitir a criação de novos modelos, alterando apenas as variáveis de diâmetro e altura. Mantendo assim, as características mecânicas e ergométricas dos modelos criados pelo pesquisador Chrispin, a despeito dos aperfeiçoamentos que foram realizados durante a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

1. Agência FAPESP. Pesquisadores criam mini-fígado funcional por impressão 3d. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=tKjUjFYWSGM&feature=emb_logo>. Acesso em: 20 Feb. 2021.
2. AUTODESK. CAD 2D e 3D | PROGRAMAS AUTODESK. Autodesk.com.br. Disponível em: <https://www.autodesk.com.br/solutions/cad-software>. Acesso em: 19 Feb. 2021.
3. CHRISPIN, T. T. B. Desenvolvimento de dispositivos por impressora 3d para uso em ginecologia. Dissertação (Mestrado) - UNIFESP. São Paulo. 2019. Acesso em: 10 Feb. 2021.
4. Edmonds DK, Rose GL, Lipton MG, Quek J (2012) Mayer-Rokitansky-Kuster-Hauser Syndrome: a review of 245 consecutive cases managed by a multidisciplinary approach with vaginal dilators. Fertil Steril 97(3):686–690. Acesso em: 10 Feb. 2021.
5. Elipsoide. Geometrybasic.com Disponível em: <http://geometrybasic.com/sites/pt/elipsoide.htm>. Acesso em: 20 Feb. 2021.
6. Martins, Ketinlly Yasmyne Nascimento; Castelo Branco, Rodolfo Ramos; Andrade, Katiuska Duarte de; *et al*. Desenvolvimento de um educador vaginal através do processo de manufatura aditiva (impressão 3d). Revista Pesquisa em Fisioterapia, v. 7, n. 1, p. 20, 2017. Disponível em: <https://200.128.7.132/index.php/fisioterapia/article/view/1239>.Acesso em: 20 Feb. 2021.
7. REDAÇÃO AB. MAN reduz custos de projetos com impressão 3d**.** Automotivebusiness.com.br. Disponível em: <https://www.automotivebusiness.com.br/noticia/25827/man-reduz-custos-de-projetos-com-impressao-3d>. Acesso em: 10 Feb. 2021.
8. ZAPAROLLI, DOMINGOS. O avanço da impressão 3d. Fapesp.br. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/o-avanco-da-impressao-3d/>. Acesso em: 13 Feb. 2021.