

**JOÃO PAULO PENARIOL FERNANDES GOMES**

**Aplicação de ambiente CAD/CAM em motor redutor à ar comprimido**

**João Paulo Penariol Fernandes Gomes**

**Aplicação de ambiente CAD/CAM em motor redutor à ar comprimido**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Fernando de Azevedo Silva

Guaratinguetá - SP  
2018

G633a	<p>Gomes, João Paulo Penariol Fernandes</p> <p>Aplicação de ambiente CAD/CAM em um moto redutor à ar comprimido. / João Paulo Penariol Fernandes Gomes – Guaratinguetá, 2018.</p> <p>84 f. il.</p> <p>Bibliografia: f. 84</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2018.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Fernando de Azevedo Silva</p> <p>1. Sistemas CAD/CAM 2. Projeto auxiliado por computador 3. Tolerância (Engenharia) I. Título</p> <p>CDU 62.001.63</p>
-------	---

**JOÃO PAULO PENARIOL FERNANDES GOMES**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**



Prof. Dr. FERNANDO DE AZEVEDO SILVA  
Orientador/UNESP-FEG



Prof. Dr. ERICK SIQUEIRA GUIDI  
UNESP-FEG



ENG. ANDRÊ OLIVEIRA KÖHN  
UNESP-FEG

Novembro de 2018

## **DADOS CURRICULARES**

### **JOÃO PAULO PENARIOL FERNANDES GOMES**

**NASCIMENTO**      20.06.1990 – Jaboticabal / SP

**FILIAÇÃO**            João Carlos Fernandes Gomes  
                             Silvana Maria Penariol

**2010/2018**            Curso de Graduação em Engenharia Mecânica  
                             Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - UNESP

dedico este trabalho  
de modo especial, à minha família

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, fonte da vida e da graça. Agradeço pela minha vida, minha inteligência, minha família e meus amigos,

ao meu orientador, *Prof. Dr. Fernando de Azevedo Silva* que jamais deixou de me incentivar. Sem a sua orientação, dedicação e auxílio, o estudo aqui apresentado seria praticamente impossível.

a minha mãe *Silvana* e irmão *João Raul*, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram meus estudos.

às funcionárias da Biblioteca do Campus de Guaratinguetá pela dedicação, presteza e principalmente pela vontade de ajudar,

aos funcionários da Faculdade de Engenharia do Campos de Guaratinguetá pela dedicação e alegria no atendimento.

“Só sabemos com exatidão quando sabemos pouco; à medida que vamos adquirindo conhecimento, instala-se a dúvida.”

Goethe



## **RESUMO**

Esse trabalho mostra de forma prática as principais ferramentas do software Autodesk <sup>TM</sup> Fusion 360 através de um tutorial de modelagem de um moto redutor a ar comprimido, oferecendo recursos e configurações para a simulação em ambiente CAM de um dos eixos do equipamento e uma análise de tolerâncias dos componentes, cujos ajustes são importantes para o funcionamento do mecanismo.

As ferramentas e recursos de modelagem são ensinados, em forma de tutoria, de forma didática, assim como, a aplicação da análise de tolerâncias que foi feita baseada em normas e referências, capacitando a modelagem e a simulação de uma gama de outros equipamentos mecânicos, tornando a modelagem uma ferramenta muito útil na concepção do projeto.

Nos resultados mostram-se adaptações necessárias para adequação à normas e referências, além da limitação de algumas ferramentas de modelagem e suas implicações.

E para concluir, é feita uma análise a respeito da prototipagem virtual que permite a junção de elementos e componentes especificados em catálogo com o projeto original, dando assim uma visão da viabilidade do projeto final.

**PALAVRAS-CHAVE:** Moto redutor à ar comprimido. Fusion 360. CAM. Análise de tolerâncias.

## **ABSTRACT**

This work demonstrates in a practical way the key tools of Autodesk <sup>TM</sup> Fusion 360 software through a modeling tutorial of a compressed air reduction motorcycle, offering features and configurations for simulation in the CAM environment of one of the axes of the equipment and an analysis of tolerances of the components whose adjustments are important for the operation of the mechanism.

The modeling tools and resources are taught in didactic form, as well as the application of the tolerance analysis that was done based on norms and references, enabling the modeling and simulation of a range of other mechanical equipment, making modeling a very useful tool in project design.

The results show the adaptations needed to adapt to standards and references, as well as the limitation of some modeling tools and their implications.

To conclude, an analysis is made of virtual prototyping that allows the joining of elements and components specified in the catalog with the original project, thus giving an overview of the viability of the final project.

**KEYWORDS:** Compressed air motorcycle. Fusion 360. CAM. Tolerance analyzes.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Turbina hidráulica .....	19
Figura 2 – Motor pneumático .....	20
Figura 3 – Rotor de palhetas .....	21
Figura 4 – Eixo .....	21
Figura 5 – Chaveta.....	22
Figura 6 – Bucha .....	23
Figura 7 – Rolamento .....	23
Figura 8 – Engrenagem de dentes retos.....	24
Figura 9 – Sistema de redução rosca sem fim e coroa .....	25
Figura 10 – Zonas Toleradas.....	28
Figura 11 – <i>Layout</i> Autodesk <sup>TM</sup> Fusion 360.....	29
Figura 12 – <i>Login</i> .....	29
Figura 13 – <i>Toolbar</i> Fusion 360 .....	30
Figura 14 – <i>Sketch</i> .....	30
Figura 15 – <i>Create</i> .....	30
Figura 16 – <i>Modify, Assemble e Construct</i> .....	31
Figura 17 – <i>Browser</i> .....	31
Figura 18 – Linha de comandos .....	32
Figura 19 – Cubo de orientação.....	32
Figura 20 – Ambientes Autodesk <sup>TM</sup> Fusion 360 .....	32
Figura 21 – Ambiente CAM.....	33
Figura 22 – <i>Setup</i> .....	33
Figura 23 – <i>Operation Type</i> .....	34
Figura 24 – <i>Work Coordinate System</i> .....	34
Figura 25 – <i>Stock</i> .....	35
Figura 26 – <i>2D Pocket</i> .....	35
Figura 27 – <i>Tool</i> .....	36
Figura 28 – <i>Pocket Selection</i> .....	36
Figura 29 – <i>3D</i> .....	36
Figura 30 – <i>Turning</i> .....	37
Figura 31 – Rosca sem fim.....	37
Figura 32 – Coroa.....	38

Figura 33 – Eixo da coroa.....	38
Figura 34 – Eixo da rosca sem fim.....	38
Figura 35 – Bucha .....	39
Figura 36 – Rotor.....	39
Figura 37 – Anel.....	40
Figura 38 – <i>McMaster-Carr Component</i> .....	42
Figura 39 – <i>Worm gear</i> .....	42
Figura 40 – Catálogo da coroa.....	42
Figura 41 – Coroa importada.....	43
Figura 42 – Catálogo da rosca sem fim .....	43
Figura 43 – Coroa e rosca sem fim.....	43
Figura 44 – Alinhamento .....	44
Figura 45 – <i>Sketch 1</i> .....	44
Figura 46 – <i>Extrude/new component</i> .....	45
Figura 47 – <i>Extrude/join</i> .....	45
Figura 48 – Dimensões da rosca sem fim.....	45
Figura 49 – <i>Sketch 2</i> .....	46
Figura 50 – Eixo com rasgo de chaveta.....	46
Figura 51 – <i>Sketch 3</i> .....	47
Figura 52 – Dimensões do eixo da coroa .....	47
Figura 53 – Região do <i>sketch 4</i> .....	48
Figura 54 – <i>Sketch 5</i> .....	48
Figura 55 – Extrusão do rotor.....	49
Figura 56 – <i>Sketch 6</i> .....	49
Figura 57 – <i>Sketch 7</i> .....	50
Figura 58 – <i>Sweep</i> .....	50
Figura 59 – <i>Circular pattern/menu</i> .....	51
Figura 60 – Resultado do <i>circular pattern</i> .....	51
Figura 61 – Circunferências do <i>Sketch 8</i> .....	51
Figura 62 – Furos do <i>sketch 8</i> .....	52
Figura 63 – Furos do pino .....	52
Figura 64 – Extrusão do anel.....	53
Figura 65 – <i>Sketch 9</i> .....	53
Figura 66 – <i>Sketch 10</i> .....	54

Figura 67 – Saída de ar do anel .....	54
Figura 68 – <i>Fillet</i> na saída de ar .....	54
Figura 69 – Circunferência de referência .....	55
Figura 70 – Configurações <i>Hole</i> .....	55
Figura 71 – Dimensões <i>Hole</i> .....	55
Figura 72 – Saída de ar .....	56
Figura 73 – <i>Thread</i> .....	56
Figura 74 – <i>Midplane</i> e <i>Sketch</i> 12 .....	57
Figura 75 – Rasgo da saída de ar.....	57
Figura 76 – Configurações <i>Thread</i> .....	58
Figura 77 – Alargamento do rasgo da rosca sem fim .....	58
Figura 78 – <i>Sketch</i> 14 .....	59
Figura 79 – Acabamento do rasgo .....	59
Figura 80 – Chaveta e rasgo do eixo da rosca .....	60
Figura 81 – Chaveta e rasgo do eixo da coroa.....	60
Figura 82 – <i>Sketch</i> 16 .....	61
Figura 83 – Região do <i>sketch</i> 17 .....	61
Figura 84 – Dimensões laterais das buchas .....	62
Figura 85 – Dimensões frontais da bucha .....	62
Figura 86 – <i>Sketch</i> 18 .....	62
Figura 87 – Rasgo da bucha .....	63
Figura 88 – Buchas do eixo da coroa .....	63
Figura 89 – Sistema mecânico moto redutor à ar comprimido.....	64
Figura 90 – Exportação para o ambiente CAM.....	64
Figura 91 – <i>New Setup</i> .....	65
Figura 92 – <i>Turning or mil/Turning</i> .....	65
Figura 93 – Posição eixo z.....	66
Figura 94 – Configurando a opção <i>Stock</i> .....	66
Figura 95 – <i>Turning face</i> .....	67
Figura 96 – Dados da ferramenta 1 .....	67
Figura 97 – Ferramenta 1.....	67
Figura 98 – <i>Turning Profile</i> .....	68
Figura 99 – <i>Turning Groove</i> .....	68
Figura 100 – Dados da ferramenta 2 .....	69

Figura 101 – Ferramenta 2.....	69
Figura 102 – <i>Turning Part</i> .....	69
Figura 103 – Configurando a opção 2D <i>Pocket</i> .....	70
Figura 104 – Direção eixo z .....	70
Figura 105 – Mudança de coordenada.....	71
Figura 106 – Criação de nova ferramenta .....	71
Figura 107 – Configuração da ferramenta 3 .....	71
Figura 108 – Opção <i>Type</i> .....	71
Figura 109 – Opção de seleção .....	72
Figura 110 – Seleção das regiões .....	72
Figura 111 – Vista isométrica do moto redutor à ar comprimido .....	78
Figura 112 – Vista do corte 1 .....	78
Figura 113 – Vista do corte 2 .....	79
Figura 114 – Recomendações para chavetas .....	80
Figura 115 – Interferência entre rosca sem fim e coroa .....	81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de qualidades .....	40
Tabela 2 – Valores de afastamento para eixos .....	40
Tabela 3 – Componentes do Moto Redutor à Ar Comprimido .....	40
Tabela 4 – Tolerâncias Recomendados para Assentos do Rolamento.....	72
Tabela 5 – Tolerâncias Calculadas para Assentos do Rolamento .....	73
Tabela 6 – Tolerâncias Recomendadas para Buchas.....	73
Tabela 7 – Tolerâncias Calculadas para Bucha .....	73
Tabela 8 – Tolerâncias Recomendadas para Chavetas e Rasgos.....	74
Tabela 9 – Rasgos Nominais dos Cubos.....	74
Tabela 10 – Valores das Tolerâncias Recomendadas para Rasgo do Cubo.....	74
Tabela 11 – Tolerâncias Calculadas para Rasgo do Cubo.....	75
Tabela 12 – Valores Nominais das Chavetas.....	75
Tabela 13 – Valores das Tolerâncias para Chavetas.....	75
Tabela 14 – Tolerâncias Calculadas para Chavetas.....	76
Tabela 15 – Dimensões Nominais dos Rasgos dos Eixos.....	76
Tabela 16 – Valores das Tolerâncias para Eixos.....	76
Tabela 17 – Afastamentos para Rasgos dos Eixos.....	76
Tabela 18 – Tolerâncias Calculadas para Rasgos dos Eixos.....	77
Tabela 19 – Recomendações para Chavetas.....	77

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	15
1.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	15
1.2	OBJETIVOS	15
1.3	MOTIVAÇÃO DO TRABALHO	16
1.4	ESTRUTURAÇÃO	16
<b>2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>	18
2.1	MÁQUINAS DE FLUXO	18
<b>2.1.1</b>	<b>Moto Redutor à Ar Comprimido</b>	19
2.1.1.1	Rotor de Palhetas	19
2.1.1.2	Eixo	20
2.1.1.3	Chaveta	21
2.1.1.4	Bucha	21
2.1.1.5	Rolamento	22
2.1.1.6	Sistema de Redução	23
2.2	ANÁLISE DE TOLERÂNCIAS	24
2.3	AUTODESK™ FUSION 360	26
<b>3</b>	<b>TUTORIAL DE MODELAGEM</b>	35
3.1	APLICAÇÃO DE AMBIENTE CAM NO EIXO DA ROSCA SEM FIM	66
3.2	APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE TOLERÂNCIAS	75
<b>3.2.1</b>	<b>Análise de Tolerância para os Assentos do Rolamento</b>	72
<b>3.2.2</b>	<b>Análise de Tolerâncias das Buchas</b>	75
<b>3.2.3</b>	<b>Análise de Tolerâncias para Chavetas e Rasgos do Cubo e Eixo</b>	76
3.2.3.1	Análise de Tolerâncias dos Rasgos de Chaveta do Cubo	77
3.2.3.2	Análise de Tolerâncias de Chavetas	78
3.2.3.3	Análise de Tolerâncias dos Rasgos de Chaveta do Eixo	79
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	81
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	85
	<b>REFERÊNCIAS</b>	86



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Um moto redutor à ar comprimido pode ser definido como um equipamento intermediário que a partir da energia interna contida no ar comprimido faz a conversão em energia mecânica. O resultado dessa conversão é a rotação de um eixo.

A função principal é aproveitar linhas de ar comprimido industrial para o acionamento de outros equipamentos, como bombas e esteiras transportadoras.

O mecanismo é constituído basicamente por um rotor de palhetas, o qual é movido pelo ar comprimido, esse por sua vez movimenta um sistema de redução, constituído por uma rosca sem fim e engrenagem, que, por fim, faz girar a ponta de eixo que será acoplada a outros equipamentos.

CAD (Computer Aided Design) é uma tecnologia utilizada para a concepção de projetos e documentação, permitindo explorar ideias de design, visualização de conceitos e simulações.

Integrado com o ambiente CAD, existe o ambiente CAM (Computer Aided Manufacturing). Esse ambiente permite o controle de processos de usinagem de uma determinada peça, permitindo explorar soluções eficientes para melhorar o processo de manufatura de uma peça.

A partir desses conceitos surgiu o software Autodesk™ Fusion 360, que integra os dois ambientes. A principal característica desse software é a dinâmica que o envolve. Devido a sua plataforma em nuvem, equipes podem interagir de uma forma rápida no desenvolvimento de um projeto, acompanhando o dinamismo e a rapidez dos dias atuais.

## 1.2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho consiste no entendimento das principais ferramentas do software Autodesk™ Fusion 360 com a modelagem do projeto de um moto redutor à ar comprimido no ambiente CAD 3D, assim, elaborando um tutorial explicativo sobre como modelar o mecanismo de funcionamento e as principais ferramentas utilizadas.

Em seguida, exporta-se o modelo para o ambiente CAM para simulação de manufatura de um dos eixos do equipamento. Envolvendo processos de usinagem como torneamento e

fresamento, cada um com suas etapas, objetiva-se mostrar as configurações utilizadas e alguns parâmetros necessários para se atingir o objetivo.

Por último, deve ser feito uma análise de tolerâncias dos componentes do mecanismo, objetivando a viabilidade do projeto e o funcionamento do mesmo. A análise foi baseada em catálogos e nas normas ABNT, além das referências bibliográficas.

### 1.3 MOTIVAÇÃO DO TRABALHO

Softwares de modelagem se tornaram ferramentas importantes para a concepção de projetos mecânicos. Em vista disso, o aprendizado desses dispositivos prepara o engenheiro para o desenvolvimento de projetos tecnologicamente mais avançados. Além disso, a modelagem do moto redutor necessita de conhecimento de uma gama de recursos oferecidos pelo software, capacitando a modelagem de outros equipamentos futuramente.

Além da modelagem e simulação de manufatura de um dos componentes, será feita uma análise de tolerâncias, que permitirá até mesmo a viabilização da construção do projeto, uma vez que será utilizado elementos de máquinas disponíveis no mercado.

O projeto foi baseado no livro *Provenza, Desenhista de Maquinas (1991)*. Alguns componentes precisaram ser adaptados para viabilizar a modelagem, analisando também as limitações do software, aumentando ainda mais a ambientação e o conhecimento.

### 1.4 ESTRUTURAÇÃO

Esse trabalho consistiu em definir um moto redutor à ar comprimido, sua finalidade e suas características, e partir do projeto, foi explicado os componentes que consistem em seu funcionamento, como eles interagem e em que resulta essa interação.

Além disso foi dada uma breve explicação sobre as técnicas de análise de tolerâncias, assim como a norma utilizada e o contexto que a faz ser importante.

E para terminar a introdução teórica, foi feito uma explicação sobre o software de modelagem do projeto, ou seja, o Autodesk<sup>TM</sup> Fusion 360, mostrando seus principais recursos de modelagem e sobre seus ambientes, que foram foco de estudo desse trabalho: o ambiente CAD 3D e CAM.

Em seguida o trabalho consistiu no desenvolvimento dos objetivos propostos, ou seja, na modelagem do mecanismo de funcionamento, explicado em forma de tutorial, utilizando as ferramentas que o ambiente CAD fornece. E para terminar a utilização do software foi feita a

simulação em CAM mostrando os processos utilizados e como aplica-los com o os recursos do disponíveis.

E por último, o desenvolvimento consistiu na aplicação da análise de tolerâncias, dimensionando os limites permitidos para o bom funcionamento do equipamento.

Na etapa de demonstração de resultados, foi explicado algumas modificações que precisaram ser feitas no projeto original para viabilizar sua modelagem, baseado em referências com o intuito do real funcionamento do equipamento.

E para finalizar o trabalho foi tirada as devidas conclusões que o trabalho proporcionou.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 MÁQUINAS DE FLUXO

Segundo Pfeleiderer e Petermann (1979) uma máquina de fluxo tem a finalidade de transformar uma forma de energia fornecida pela natureza em trabalho mecânico. A principal característica desses equipamentos é o rotor girante, por meio do qual o fluido, portador de energia, percorre-o, gerando uma pressão resultante e trabalho. As primeiras máquinas de fluxo criadas pelo homem foram os moinhos de vento, em que o vento era o fluido responsável pelo movimento do rotor devido à pressão resultante criada nas pás.

Com o desenvolvimento tecnológico e a necessidade humana, outras máquinas de fluxo foram criadas, visando cada vez mais o aproveitamento de fontes energéticas oferecidas pela natureza, como as turbinas hidráulicas, mostrada na figura 1, que aproveitam a energia potencial e cinética das quedas de água de rios, transformando-a em energia mecânica.

Figura 1-Turbina hidráulica



Fonte: WEG (2018).

Portanto, o moto redutor à ar comprimido é uma máquina de fluxo, porque apresenta como um dos seus componentes principais um rotor que é percorrido por um fluido portador de energia (ar comprimido). Assim, ele converte essa energia natural em trabalho mecânico, através da rotação de um eixo.

Na figura 2, tem-se um motor pneumático que apresenta os mesmos princípios de um moto redutor, mas sem o sistema de redução.

Figura 2 - Motor pneumático



Fonte: KAZIPNM (2018).

### 2.1.1 Moto redutor à ar comprimido

Esse trabalho foi baseado no livro *Provenza, Desenhista de Máquinas (1991)*. Sob a forma de tutorial, apresenta-se a modelagem do mecanismo principal de funcionamento, composto por: um rotor de palhetas, eixo da rosca sem fim, eixo da engrenagem, sistema de redução, chavetas, buchas e rolamentos.

#### 2.1.1.1 Rotor de palhetas

Como dito anteriormente, o rotor é o principal componente de uma máquina de fluxo. Esse tipo de rotor é composto por palhetas livres que se movimentam dentro de um anel. Esses dois componentes são descentrados, criando cavidades entre o anel, a palheta e o rotor, com diferentes valores de pressão. Essa diferença é que faz a movimentação do rotor e eixo motor, como mostrado na figura 3.

Figura 3-Rotor de Palhetas



Fonte: HYDRACOMPANY (2018).

Pode-se notar um rotor de 6 palhetas, ou seja, 6 cavidades de fluido que são criadas. Esse tipo de componente é usado também em bombas cujo funcionamento é o mesmo do moto redutor, mas ao invés de uma expansão do ar, ocorre compressão.

#### 2.1.1.2 Eixo

De acordo com Norton (2013), os eixos são elementos de máquinas para a transmissão de rotação e torque. São caracterizados por apresentarem cargas de dois tipos: torção e flexão, em decorrência das forças transversais, como exemplo de eixo tem-se a figura 4.

Figura 4-Eixo com Rasgo de Chaveta e Engrenagem Helicoidal



Fonte: Engrenagens Ipojuca (2018).

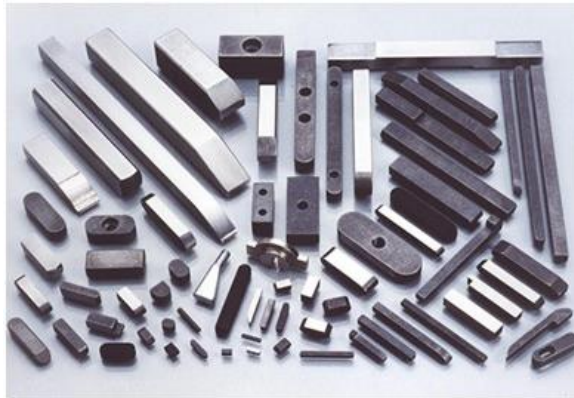
No desenho do projeto, contamos com dois eixos. O primeiro é o eixo da rosca sem fim que é responsável por transmitir torque e rotação, através do sistema de redução, para o

segundo eixo da coroa. Este, por fim, é acoplado a algum equipamento para a transmissão de torque e rotação.

#### 2.1.1.3 Chaveta

Norton (2013) descreve a chaveta como um elemento responsável por transmitir o torque entre o eixo e o cubo. Existem dois tipos básicos de chavetas: as paralelas e as afuniladas, como mostrada na figura 5.

Figura 5- Chavetas



Fonte: Engrenagens Ipojuca (2018).

No projeto, serão utilizadas 3 chavetas paralelas que transmitirão o torque entre eixo/rotor; eixo/rosca sem fim; e eixo/engrenagem.

#### 2.1.1.4 Bucha

De acordo com Norton (2013), uma bucha é um mancal plano radial. Entende-se por mancal plano dois materiais quaisquer que se esfregam entre si, apresentando movimento relativo. Podem ser fabricados em bronze, ferro fundido cinzento e aço, materiais sintetizados (microscopicamente poroso) e materiais não metálicos, como mostrada na figura 6.

Figura 6-Bucha



Fonte:RK (2018).

#### 2.1.1.5 Rolamento

Os rolamentos, como define Norton (2013), são mancais de elementos rolantes que são mantidos entre pistas de aço endurecido, resistindo a cargas axiais, radiais ou uma combinação delas.

Suas principais características são: a resistência as altas velocidades e temperaturas, além de apresentarem menor atrito do que os mancais deslizantes.

Eles são divididos em dois grandes grupos: os mancais de esferas e os de rolos. São utilizados para diferentes aplicações, sendo que os de esferas são indicados para equipamentos menores e de alta rotação; já os de rolos, para equipamentos mais pesados de alta carga. Na figura 7, tem-se exemplos de rolamentos de esferas.

Figura 7-Rolamentos SKF do tipo esfera



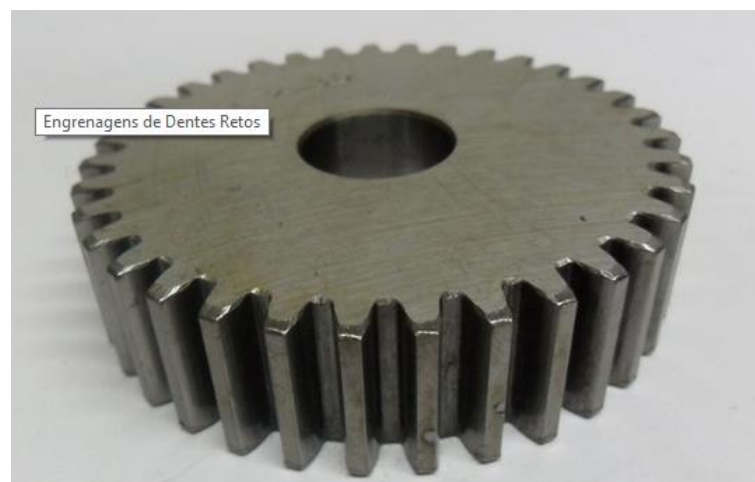
Fonte:..SKF (2018).



#### 2.1.1.6 Sistema de redução

O sistema de redução é composto por uma engrenagem helicoidal de 30 dentes e uma rosca sem fim com duas entradas. Segundo Norton (2013), uma engrenagem é um elemento utilizado para transmitir torque e velocidade angular. As principais engrenagens existentes são as de dentes retos, as helicoidais, as cônicas e as sem fim, cada uma para uma finalidade diferente.

Figura 8- Engrenagem dentes retos



Fonte: POZELLI.IND (2018).

O sistema de redução previsto é de 15:1, ou seja, a rosca sem fim necessita de 15 voltas para completar uma volta da engrenagem. Além disso, para o maior rendimento e funcionalidade do sistema, o alinhamento entre as engrenagens deve ser feito com base em seus diâmetros primitivos, isto é, a distância entre os centros das engrenagens deve ser uma média dos diâmetros primitivos.

Figura 9-Sistema de redução sem fim e coroa



Fonte: POZELLI.IND (2018).

## 2.2 ANÁLISE DE TOLERÂNCIA

Com base nos estudos de Agostinho (1977), a produção seriada é acompanhada de desvios de medidas das cotas estabelecidas em projeto. Com o intuito de melhorar a qualidade dessas peças e garantir a intercambialidade entre elas – a substituição uma pela outra sem o acarretamento de problemas –, houve a necessidade de controle desses desvios. Assim, surge o conceito de tolerâncias, que nada mais é do que a dimensão máxima e mínima permitida de uma peça.

Para o perfeito acoplamento e funcionamento de um equipamento, os componentes devem estar dentro dos limites de tolerância estabelecidos no projeto. Desse modo, as normas internacionais (ISO) e nacionais (ABNT), especificamente NBR 6158 de 1994, dispõem sobre o uso de tolerâncias.

A análise de tolerâncias é baseada no conceito de qualidade do trabalho, que corresponde a 18 graus de tolerância, designado por IT, fornecendo o intervalo entre a medida máxima e mínima. Essas tolerâncias então mostradas na tabela 1.

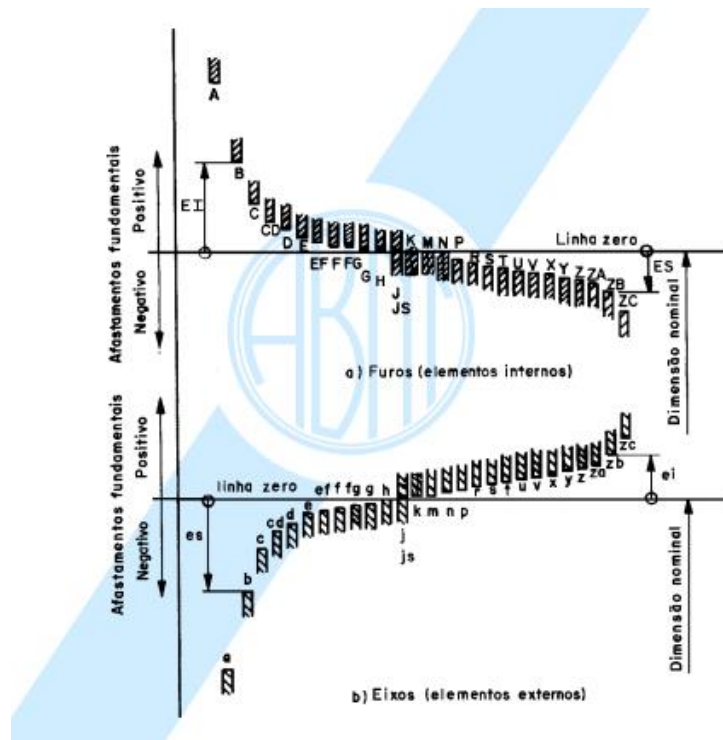
Tabela 1- Valores de qualidades

Tabela 1 - Valores numéricos de graus de tolerância-padrão IT para dimensões nominais até 3150 mm <sup>(A)</sup>																			
Dimensão nominal (mm)		Graus de tolerância-padrão																	
		IT1 <sup>(B)</sup>	IT2 <sup>(B)</sup>	IT3 <sup>(B)</sup>	IT4 <sup>(B)</sup>	IT5 <sup>(B)</sup>	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14 <sup>(C)</sup>	IT15 <sup>(C)</sup>	IT16 <sup>(C)</sup>	IT17 <sup>(C)</sup>	IT18 <sup>(C)</sup>
Acima	Até e inclusive	Tolerância																	
		(μm)												(mm)					
-	3 <sup>(C)</sup>	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,1	0,14	0,25	0,4	0,6	1	1,4
3	6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18	0,3	0,48	0,75	1,2	1,8
6	10	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9	1,5	2,2
10	18	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1	1,8	2,7
18	30	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	2,1	3,3
30	50	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1	1,6	2,5	3,9
50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9	3	4,6
80	120	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2	3,5	5,4
120	180	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0,4	0,63	1	1,6	2,5	4	6,3

Fonte: ABNT-6158 (2014).

As zonas toleradas são as posições dos limites inferiores e superiores da dimensão nominal, sendo representada por letras maiúsculas para furos e minúsculas para eixo. Elas indicam onde estará o intervalo de tolerância. Na figura 10, tem-se uma representação gráfica dessas posições, onde cada letra representa um distanciamento inferior ou superior do valor nominal da peça.

Figura 10-Zonas toleradas



Fonte: ABNT-6158 (1994).

Na tabela 2 estão representados os valores dos afastamentos, onde os números negativos indicam os afastamentos superiores e os positivos os afastamentos inferiores, além disso, essa tabela é recomendada para eixos, mas pode-se obter os valores para furos apenas invertendo o sinal e tornando os afastamentos superiores em inferiores para furos, ou vice-versa.

Além disso, tanto para a tabela 1 como para a tabela 2 os valores de entrada são os valores nominais

Tabela 2 -Valores de afastamento para eixos

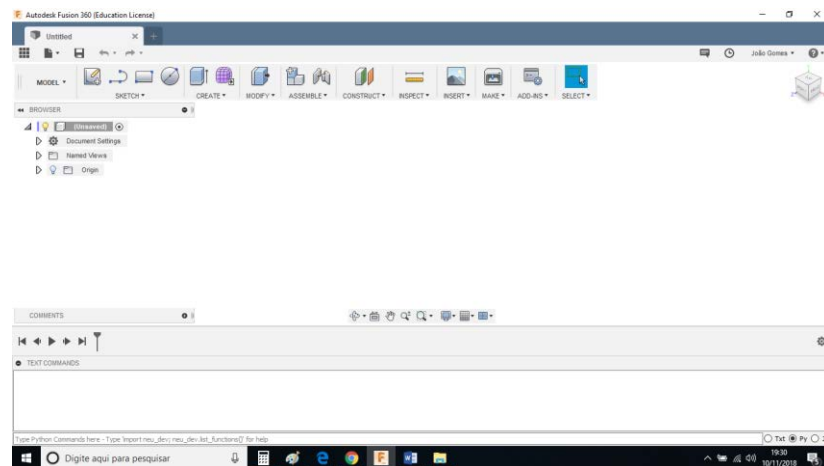
Dimensão nominal  (mm)	Afastamento superior es												Afastamentos fundamentais (µm)				Afastamento inferior ei																
	Todos os graus de tolerância-padrão												IT5 e IT6	IT7	IT8	IT4 até IT7	Até IT3 (inclusive e acima de IT7)	Todos os graus de tolerância-padrão															
	Acima	Até e inclusive	a <sup>(H)</sup>	b <sup>(H)</sup>	c	cd	d	e	ef	f	fg	g						h	js <sup>(H)</sup>	j	k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za
3	3 <sup>(H)</sup>	-270	-140	-80	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0		-2	-4	-6	0	0	+2	+4	+6	+10	+14		+18		+20		+26	+32	+40	+60	
6	6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0		-2	-4	+1	0	+4	+8	+12	+15	+19		+23		+28		+35	+42	+50	+80		
10	10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0		-2	-5	+1	0	+6	+10	+15	+19	+23		+28		+34		+42	+52	+67	+97		
14	14	-290	-150	-95		-50	-32		-16		-6	0		-3	-6	+1	0	+7	+12	+18	+23	+28		+33		+40		+50	+64	+90	+130		
18	18																						+39	+45		+60	+77	+108	+150				
24	24	-300	-160	-110		-65	-40		-20		-7	0		-4	-8	+2	0	+8	+15	+22	+28	+35		+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188		
30	30																						+41	+48	+55	+64	+75	+88	+118	+160	+218		
40	40	-310	-170	-120		-80	-50		-25		-9	0		-5	-10	+2	0	+9	+17	+26	+34	+43		+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274	
50	50	-320	-180	-130																			+54	+70	+81	+97	+114	+136	+180	+242	+325		
65	65	-340	-190	-140																			+41	+53	+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405
80	80	-360	-200	-150																			+43	+59	+75	+102	+120	+146	+174	+210	+274	+360	+480
100	100	-380	-220	-170																			+51	+71	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585
120	120	-410	-240	-180																			+54	+79	+104	+144	+172	+210	+254	+310	+400	+525	+690

Fonte: ABNT-6158 (1994)

## 2.3 AUTODESK™ FUSION 360

O software Fusion 360 é uma ferramenta de modelagem 3D criado pela Autodesk™. Conta com o ambiente CAD 2D e 3D e ambiente de simulação CAE, além do ambiente CAM para simulações de manufatura de peças. Na figura 11 está representado o *Layout* do software.

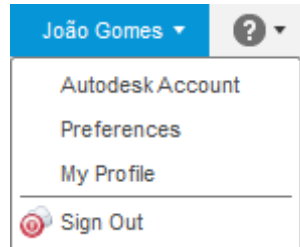
Figura 11-Layout Fusion 360



Fonte: O Autor (2018)

Diferente de outros softwares de modelagem, para o acesso aos ambientes, o Fusion 360 necessita estar conectado à internet, também é necessário a criação de uma conta de usuário.

Figura 12-Login



Fonte: O Autor (2018)

As principais ferramentas de modelagem 3D e 2D estão contidas no *toolbar*

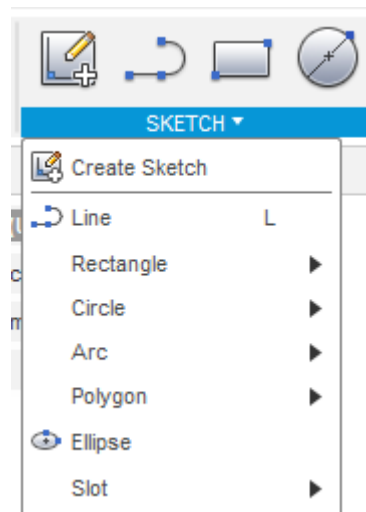
Figura 13-Toolbar Fusion 360



Fonte: O Autor (2018)

A opção *Sketch* permite a criação de um plano à uma face paralela aos eixos ortogonais principais. Além disso, permite a modelagem 2D do desenho com recursos geométricos.

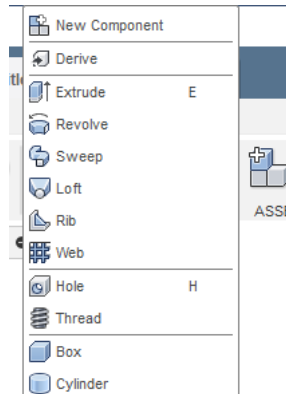
Figura 14-Sketch



Fonte: O Autor (2018)

A opção *Create*, mostrado na figura 15, permite a criação do sólido e novos componentes, assim como a customização.

Figura 15-*Create*



Fonte: O Autor (2018).

Dentro de *Create*, tem-se a opção *Extrude* que permite a criação, cortes e furos de um componente.

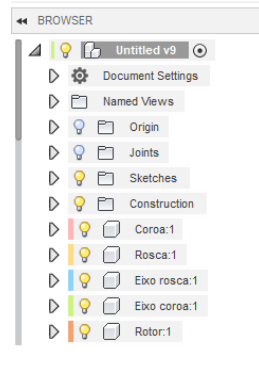
Ademais, conta-se também com ferramentas, como *Modify* que apresenta opções de customização do sólido; *Assemble* permite a junção e movimento de dois componentes relacionados; e *Construct* que oferece a opção de criação de planos que não sejam os principais, mostrados na figura 16.

Figura 16-*Modify, Assemble e Construct*



Fonte: O Autor (2018)

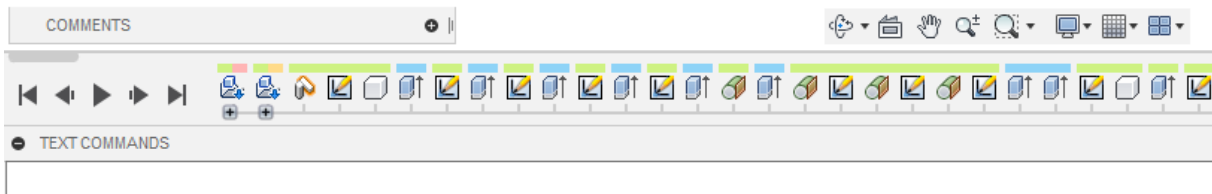
O software conta a seção *browser*, mostrado na figura 17, que é a lista de componentes criados. Esse atalho permite acessar qualquer componente, modificar a aparência, opacidade e o histórico de modelagem desse componente.

Figura 17- *Browser*

Fonte: O Autor (2018)

Na parte inferior, temos as linhas *steps* que permite acessar o histórico, mostrado na figura 18, de um componente ou do conjunto; *text commands* que permite acessar ferramentas através de comandos; *comments* que possibilita a escrita de comentários referentes a modelagem; e por último, as opções de visualização que permitem diferentes tipos de vistas e *zoom*.

Figura 18-Histórico



Fonte: O Autor (2018)

Por último, na parte superior, tem-se o cubo de orientação, mostrado na figura 19, que possibilita a visualização em vários ângulos e a orientação durante a modelagem.

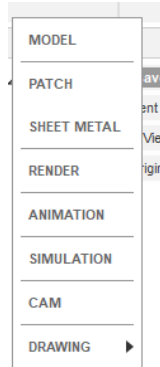
Figura 19-Cubo de orientação



Fonte: O Autor (2018)

Além do ambiente de modelagem, conta-se com outros ambientes, como mostrado na figura 20.

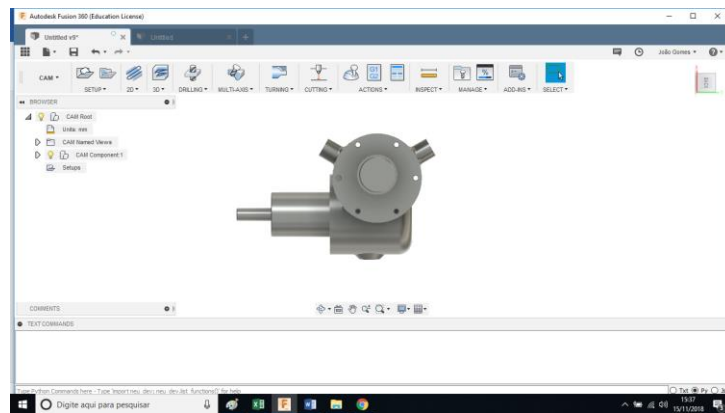
Figura 20 - Ambientes Autodesk <sup>TM</sup> Fusion 360



Fonte: O Autor (2018)

Entre eles o ambiente CAM, mostrado na figura 21, que é um dos focos de estudo desse trabalho.

Figura 21-Ambiente CAM



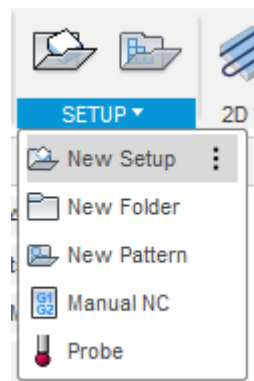
Fonte: O Autor (2018)

O ambiente CAM possui a barra de *ferramentas toolbar* onde estão dispostas as opções necessárias para a simulação de manufatura.

Dentre as opções, opção *setup*, mostrado na figura 22, é a primeira a ser configurada. Ela fornece as configurações iniciais do processo e possibilita o *start* da simulação.



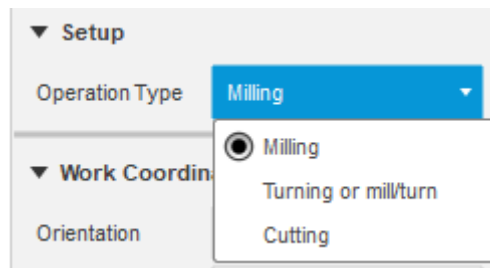
Figura 22-Setup



Fonte: O Autor (2018)

Entre os parâmetros que devem ser configurados está o tipo de operação. As opções oferecidas são de torneamento (*turning or mil/turning*), fresamento (*milling*) e usinagem a laser (*cutting*), mostrados na figura 23..

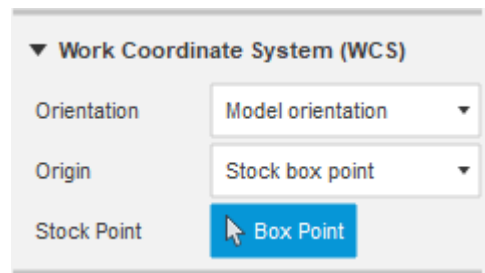
Figura 23-Operation Type



Fonte: O Autor (2018)

Outro parâmetro que deve ser configurado é a opção *work coordinate system*, mostrado na figura 24. O ambiente toma o eixo z como referência de usinagem, assim, tanto o avanço para torneamento quanto para o fresamento serão paralelos ao eixo z. Portanto, a opção *work coordinate system* permite a configuração das direções dos eixos em *orientation*, e onde o sistema de coordenadas terá origem (*origin*).

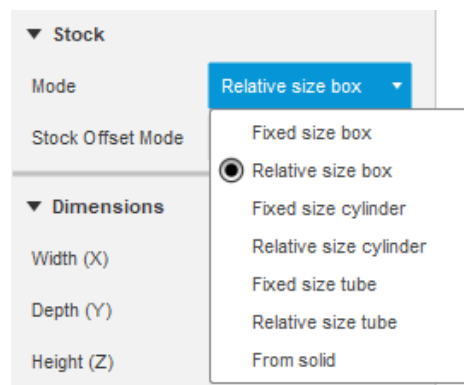
Figura 24-Work Coordinate System



Fonte: O Autor (2018)

Outra configuração é opção *stock*, mostrado na figura 25. Ela configura as dimensões do material bruto antes de ser manufaturado. Pode-se escolher a forma cilíndrica ou cubica. Dependendo da forma da peça, um se torna mais conveniente que a outra. Além disso, pode-se escolher dimensões padrão em *relative size box* ou *relative size tube* sendo que as dimensões serão configuradas automaticamente de acordo com a peça; ou também, as configurações das dimensões podem ser feitas manualmente com as opções *fixed size box* e *fixed size tube*.

Figura 25-Stock

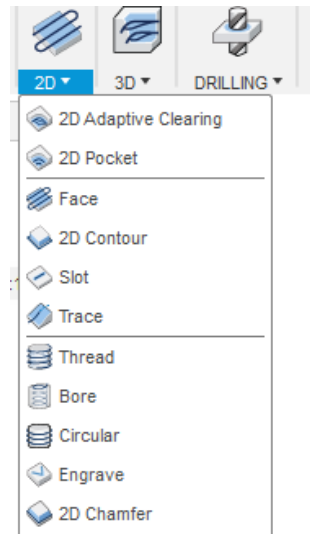


Fonte: O Autor (2018)

Das opções de processo oferecidas na barra *toolbar*, tem-se a 2D, mostrada na figura 25. Essa opção, conta com uma gama de possibilidades de fresamento, cujo resultado final será uma superfície plana. Entre elas podemos destacar a 2D *pocket*, em que os passos de fresamento acontecem paralelamente, sendo indicado para superfícies não complexas.

Ainda na opção 2D, conta-se com a opção de fresamento 2D *adaptive clearing*, que diferentemente da opção 2D *pocket*, os passos de fresamento precisam ser paralelos.

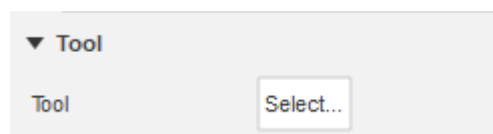
Figura 26-2D Pocket



Fonte: O Autor (2018)

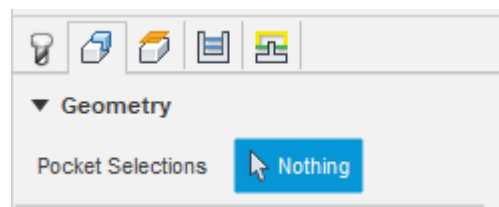
As configurações das opções de fresamento obrigatórias à simulação são: a escolha da ferramenta a ser utilizada, mostrada na figura 27, na qual existe uma biblioteca disponível para a seleção; e *pocket selection*, mostrada na figura 28, na qual seleciona-se as superfícies que serão fresadas.

Figura 27-Tool



Fonte: O Autor (2018)

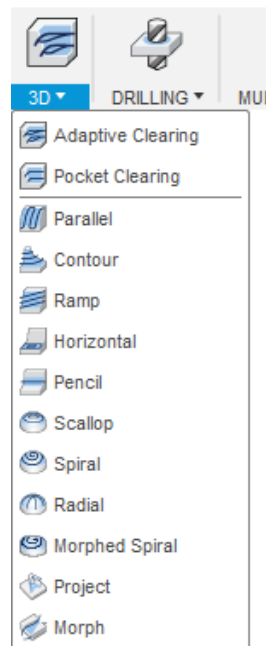
Figura 28- Pocket Selection



Fonte: O Autor (2018)

Além da opção 2D, o ambiente conta com a opção 3D, mostrada na figura 29. Essa opção é para superfícies finais que não estejam no mesmo plano.

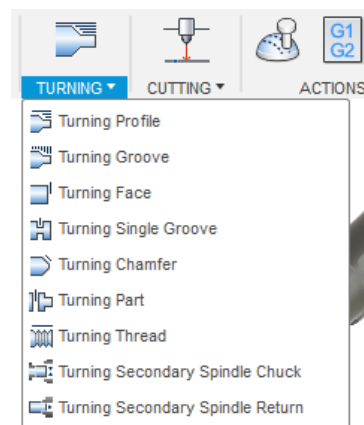
Figura 29-3D



Fonte: O Autor (2018)

Conta-se, ainda, com o processo de furação (*Drilling*) e, por último, o processo de torneamento. Entre as opções para torneamento, pode-se destacar as opções *Turning Profile* e *Turning Groove*, sendo uma para um torneamento mais grosseiro, com o intuito de retirada de material; e outro para um torneamento mais fino, ou seja, para a criação do perfil final da peça.

Figura 30-Turning



Fonte: O Autor (2018)

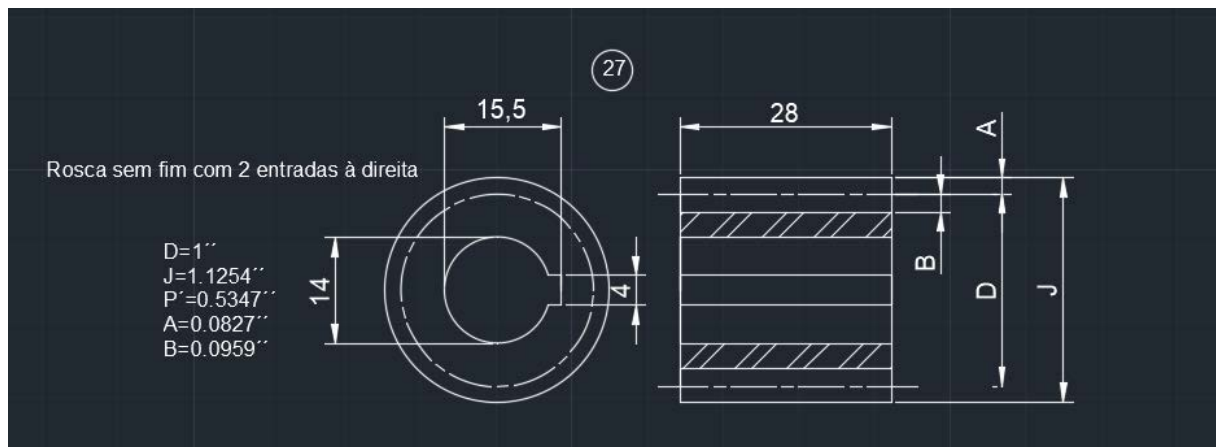
### 3 TUTORIAL DE MODELAGEM

Para o tutorial que se segue, foram modelados apenas os componentes necessários a simulação de movimento, isto é, aqueles necessários ao funcionamento do mecanismo, com a finalidade ensinar as principais ferramentas do Fusion 360, propiciando, desse modo, capacitação de modelagem dos outros componentes não explicados do tutorial.

Na figura 31 esta representada a rosca sem fim, assim como suas dimensões de modelagem.

Por suas dimensões serem previstas em projeto e normas, esse componente é oferecido no mercado, como exemplo do fornecedor *McMaster-Carr Component* que oferece um recurso de importação de componentes catalogados em 3D para o projeto.

Figura 31 – Rosca sem fim



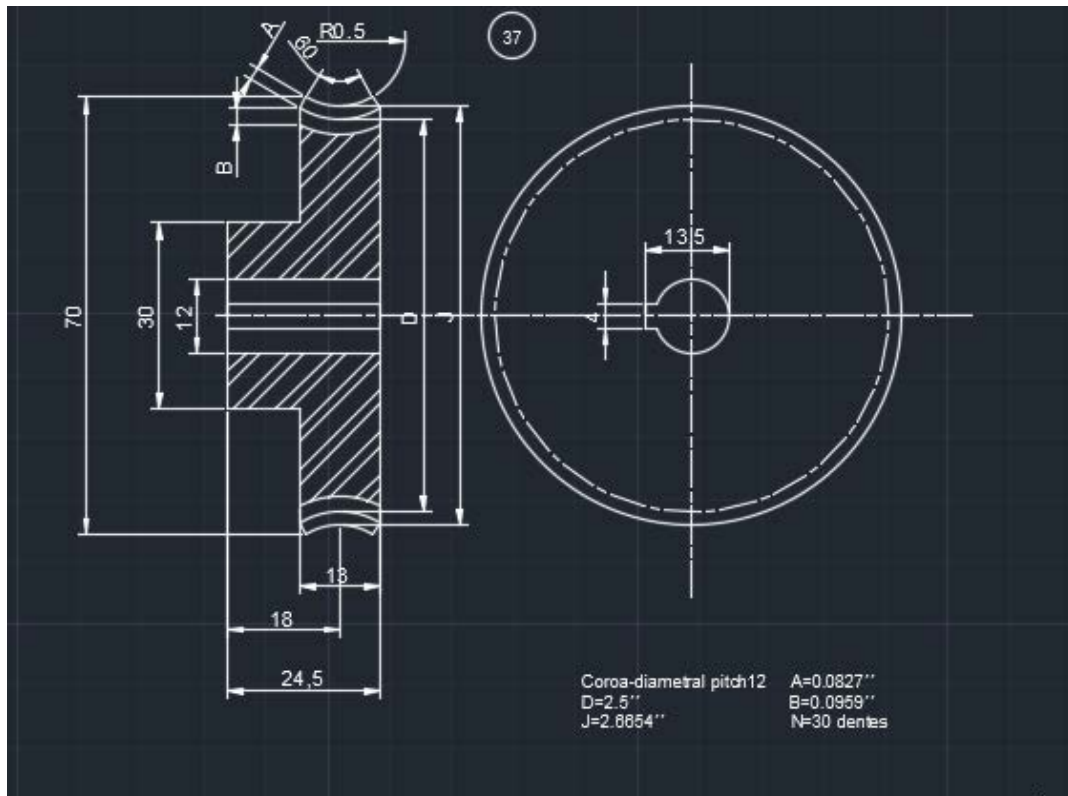
Fonte: Provenza (1991).

Na figura 32 está representado a coroa e suas dimensões. Esse componente também é catalogado e pode ser encontrado no recurso de importação.

O principal a ser levado em consideração na seleção de uma coroa é o seu número de dentes e diâmetro primitivo, uma vez que, os outros parâmetros são calculados com base nesses.

Além do mais, as dimensões da coroa, como acontece também com as da rosca sem fim, são apresentados tanto em polegadas como em milímetros, necessitando-se converter esses valores para um único sistema, ocasionando em modificações de algumas dimensões de rasgos, chavetas e furo do eixo para se adequarem a essas conversões e ao ajuste.

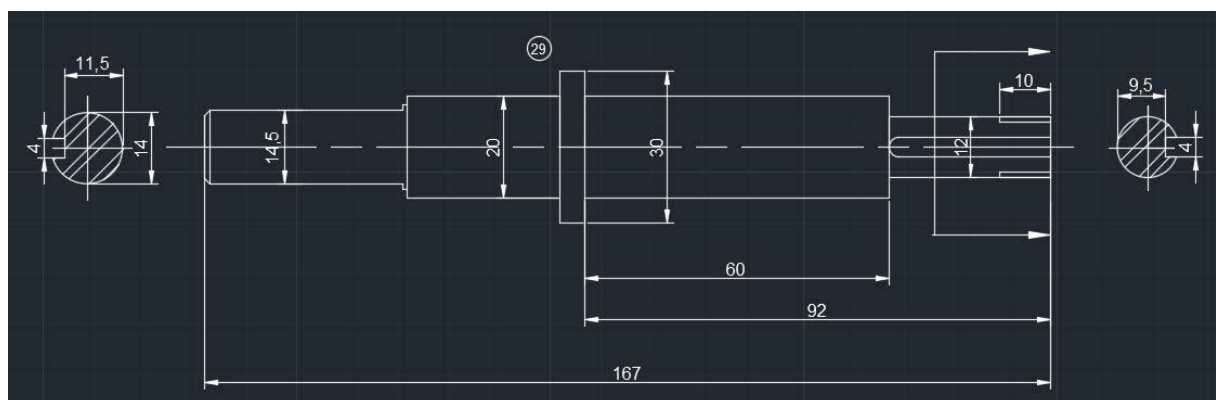
Figura 32 - Coroa



Fonte: Provenza (1991).

Nas figuras 33 e 34 tem-se os eixos da coroa e da rosca sem fim, respectivamente. Eles são designados dessa forma, pois um é o eixo movido, ou seja, responsável por fornecer a energia mecânica resultante do mecanismo e é ajustado na coroa e o outro é o motor responsável por receber a energia contida no ar comprimido através do rotor e ajustado na rosca sem fim.

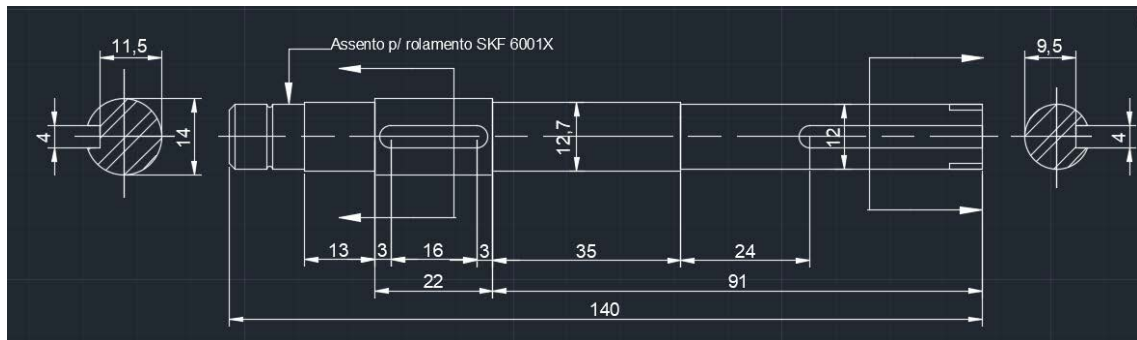
Figura 33 – Eixo da coroa



Fonte: Provenza (1991).

Assim como acontece com os rasgos e furos da coroa e rosca sem fim, os diâmetros dos assentos dos eixos, assim como a largura dos rasgos sofreram modificações com o objetivo de obter o ajuste entre esses componentes devido a conversão de unidades do sistema de redução.

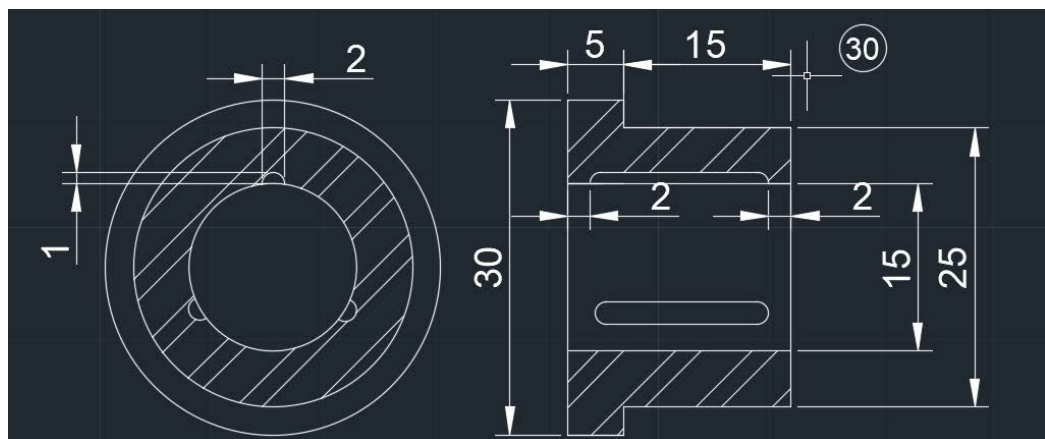
Figura 34-Eixo da rosca sem fim



Fonte: Provenza (1991).

As buchas como mostrada na figura 35 são modeladas e fazem parte do mecanismo de funcionamento, uma vez que, suportam os esforços do conjunto eixo e coroa.

Figura 35- Bucha

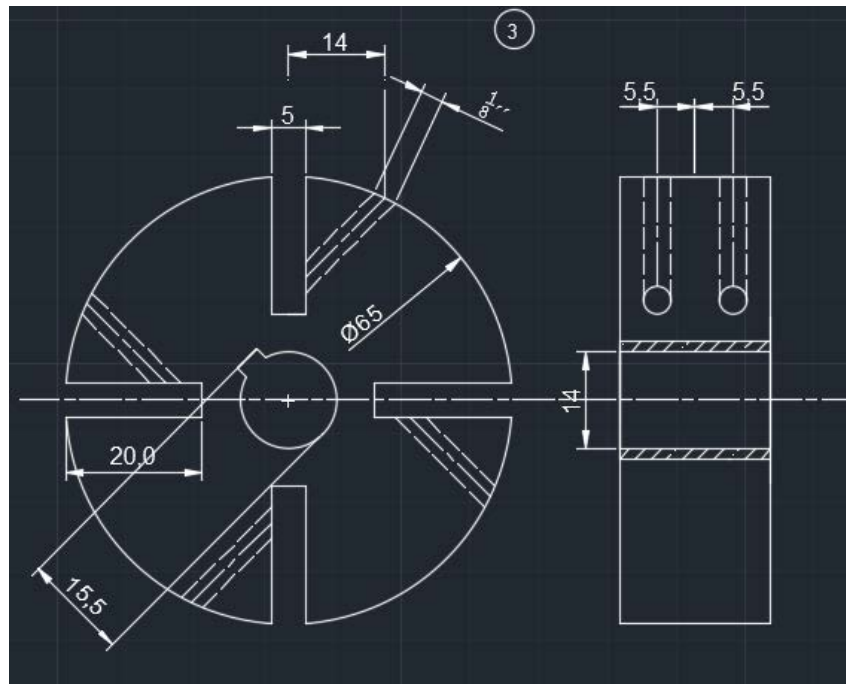


Fonte: Provenza (1991).

Na figura 36 está representado o rotor que tem a importância de converter a energia interna do ar comprimido em energia mecânica através da criação de cavidades de ar, com diferentes gradientes de pressão.

As cavidades propriamente ditas são criadas através das palhetas, alojadas em canais de 20,00 mm de comprimento e 5,00 mm de largura no rotor.

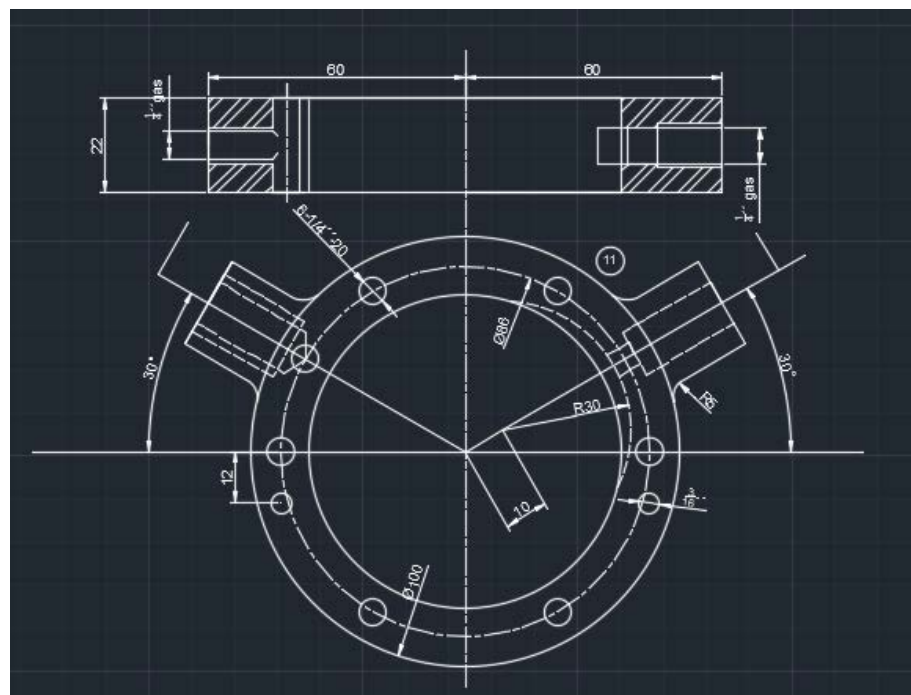
Figura 36-Rotor



Fonte: Provenza (1991).

Na figura 37 está representado o anel, que é um dos envólucros do sistema. Contendo a entrada e saída do ar comprimido e juntamente com o rotor é responsável pela criação das cavidades de ar.

Figura 37-Anel



Fonte: Provenza (1991).



Na tabela 3 estão listados todos os componentes do projeto original. Os desenhos dos componentes, como as capas do silenciado e a caixa nos itens 5,6 e 33, devem ser observados para modelagem no projeto original, uma vez que, não foram ensinados a serem modelados e também não foram expostos nesse tutorial. O motivo disso, é por não fazerem parte do sistema mecânico principal, e também por utilizarem recursos iguais ao da modelagem dos outros componentes.

Componentes como parafusos, porcas, niple e retentores são importados do catálogo da *McMaster-Carr Component*, apenas necessitando das dimensões mostradas na tabela 3.

Já para os outros componentes como guarnições, tampas, anéis e palhetas suas modelagens são simples, bastando os recursos ensinados no tutorial e as dimensões fornecidas também pela tabela 3.

Tabela 3- Componentes moto redutor à ar comprimido

(continua)

Item	Quant.	Componente	Dimensão
1	1	Niple	$\varnothing 1/4''$ gás
2	1	Chaveta de Ajuste Fixa	$3/16'' \times 4 \times 20$
3	1	Rotor	$\varnothing 3'' \times 22$
4	4	Palheta	$3/16'' \times 22 \times 19$
5	1	Capa Externa do Silenciador	ver detalhes
6	1	Capa Interna do Silenciador	ver detalhes
7	2	Porca Leve	$\varnothing 1/4''$ gás
8	1	Cano do Silenciador	$\varnothing 1/2'' \times 60$
9	1	Tampa	$\varnothing 1 \frac{3}{4} \times 21$
10	1	Guarnição	$\varnothing 33 \times \varnothing 40 \times 1,5$
11	1	Anel	$1'' \times \varnothing 125$
12	2	Pino	$\varnothing 3/16'' \times 30$
13	1	Anel Elástico	Dae $\varnothing 12$
14	2	Rolamento Fixo	$\varnothing 12 \times \varnothing 28 \times 8$
15	1	Tampa Externa	$1 \frac{1}{2}'' \times \varnothing 100$
16	8	Parafuso de Cab. Sext.	$\varnothing 1/4'' - 20 \times 7/8''$
17	1	Tampa do Silenciado	$\varnothing 1 \frac{1}{8}'' \times 15$
18	2	Parafuso de Cab. Sext.	$\varnothing 1/4'' \times 3/8''$

Tabela 3- Componentes moto redutor à ar comprimido

(conclusão)

Item	Quant.	Componente	Dimensão
19	2	Guarnição	$\varnothing 1/4'' \times \varnothing 13 \times 1,5$
20	1	Tampa Interna	$2'' \times \varnothing 100$
21	4	Parafuso de Cab. Sext.	$\varnothing 1/4''-20 \times 1 1/4''$
22	1	Retentor de Ar	$\varnothing 1/2'' \times \varnothing 1'' \times 3/8''$
23	1	Retentor de Oleo	$\varnothing 1/2'' \times \varnothing 1'' \times 3/8''$
24	1	Anel Distanciador	$\varnothing 3/4'' \times 14$
25	2	Parafuso de Cab. Sext.	$\varnothing 3/8''-16 \times 1/2''$
26	2	Guarnição	$\varnothing 3/8'' \times \varnothing 20 \times 1,5$
27	1	Rosca sem Fim	$\varnothing 1 1/4'' \times 28$
28	2	Porca de Fixação	$12 \times \varnothing 22 \times 4$
29	1	Eixo	$\varnothing 1 1/4'' \times 167$
30	2	Bucha	$\varnothing 1 1/4'' \times 20$
31	4	Parafuso de Cab. Sext.	$\varnothing 1/4''-20 \times 5/8''$
32	4	Guarnição	$\varnothing 1/4 \times \varnothing 13 \times 1,5$
33	1	Caixa	ver detalhes
34	1	Chaveta de Ajuste Fixa	$3/16'' \times 4 \times 28$
35	2	Arruela de Segurança	$10,5 \times \varnothing 25 \times 1$
36	1	Eixo	$\varnothing 5/8'' \times 140$
37	1	Coroa	$\varnothing 3'' \times 24,5$
38	1	Chaveta	$3/16'' \times 4 \times 24$
39	1	Anel de Feltro	$\varnothing 20 \times \varnothing 31 \times 3,5$
40	1	Tampa	$\varnothing 2'' \times 21$
41	1	Guarnição	$\varnothing 37 \times \varnothing 50 \times 1,5$
42	1	Mancal	$\varnothing 4'' \times 73$

Fonte: Provenza (1991).

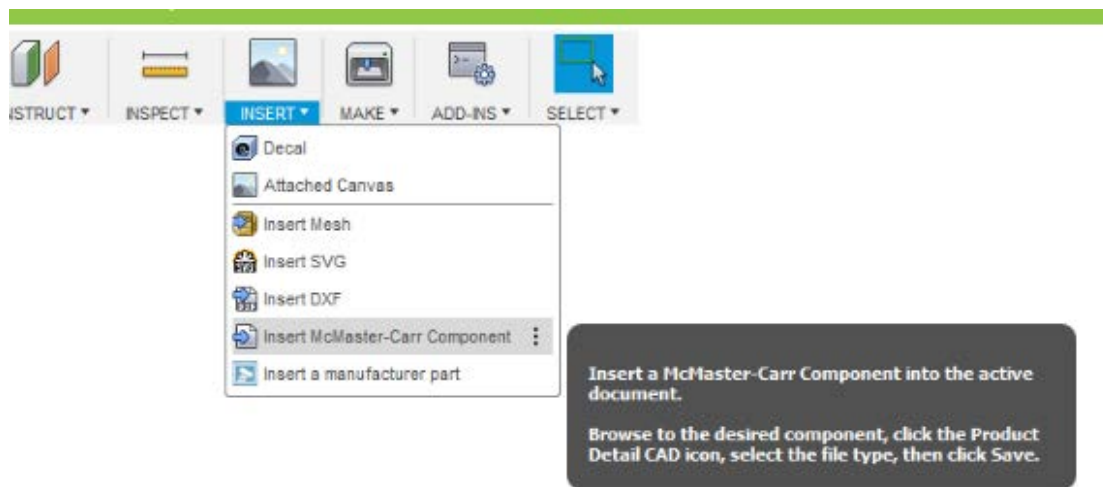
O tutorial foi iniciado com a coroa e rosca sem fim. Eles foram importados da opção *McMaster-Carr Component*, como mostrado na figura 38.

Esse recurso oferece componentes catalogados, que com a opção de busca são encontrados e importados para o projeto.

Ele se encontra no *toolbar* na opção *insert*, como mostrado na figura 38 e consiste em uma loja, localizada no Estados Unidos, cujos componentes podem ser comprados, caso deseje-se a aquisição.

Para o sistema de redução é necessário a importação da coroa e rosca separados, mas digitando *worm gear*, os pares ficam listados e de acordo com um tipo de coroa desejada tem-se as opções de roscas sem fim disponíveis para aquele modelo.

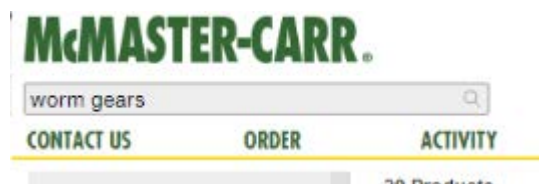
Figura 38-McMaster-Carr Component



Fonte: O Autor (2018)

Na opção de busca, deve-se digitar *worm gears*, que corresponde ao conjunto coroa e rosca sem fim com as configurações mostradas na figura 39.

Figura 39- *Worm gears*



Fonte: O Autor (2018)

Primeiro foi importada a coroa, por ser tratar de uma loja norte-americana, o sistema de medidas está em polegadas, como as dimensões do projeto também, não foi necessário fazer a conversão. Assim a coroa que deve ser buscada deve ter 2.5 in de diâmetro primitivo (*pitch diameter*) e 30 dentes, como mostrada na figura 40.

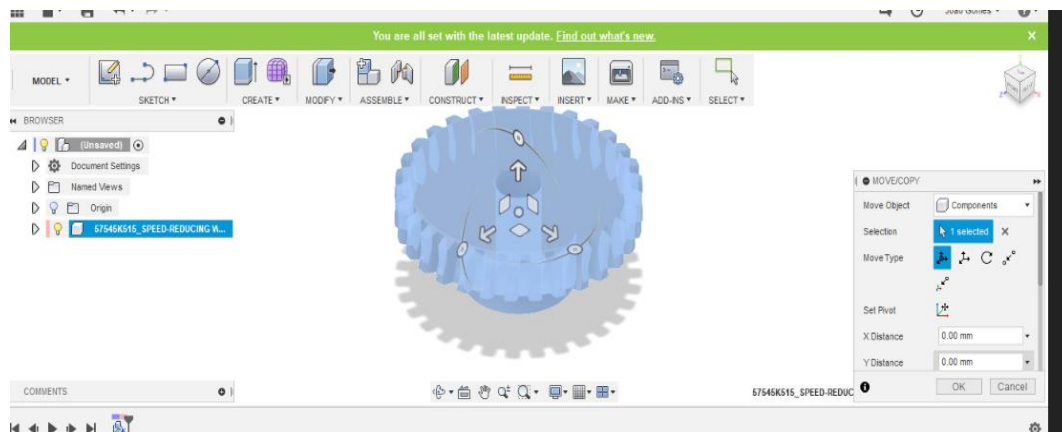
Figura 40- Catálogo coroa



Fonte: O Autor (2018)

Tem-se a figura 41, que mostra o resultado da importação para o ambiente de modelagem.

Figura 41- Coroa importada



Fonte: O Autor (2018)

Para a importação da rosca sem fim, os procedimentos são os mesmo. A rosca selecionada, como no projeto, deve ter 1 in de *diameter pitch* e duas entradas. No catálogo as opções oferecidas de rosca são todas de uma entrada, interferindo, assim, no resultado final da modelagem.

Figura 42-Catálogo rosca sem fim



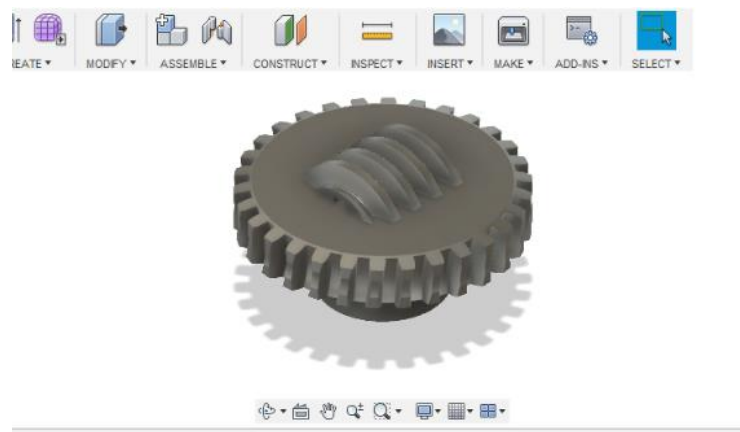
Fonte: O Autor (2018)

Na Figura 43, tem-se o resultado da importação dos dois componentes centralizados, uma vez que, todos os componentes após serem importados são encaminhados para o mesmo local do *layout* do ambiente.

Para a movimentação basta a utilização da ferramenta *move* cuja movimentação pode ser feita através de coordenadas ou manual.

Como deseja-se o engrenamento da rosca e coroa, é utilizado o recurso por coordenadas, tendo a posição inicial dos componentes como zero, basta a movimentação paralela a um dos eixos coordenados do ambiente.

Figura 43-Coroa e Rosca Sem Fim

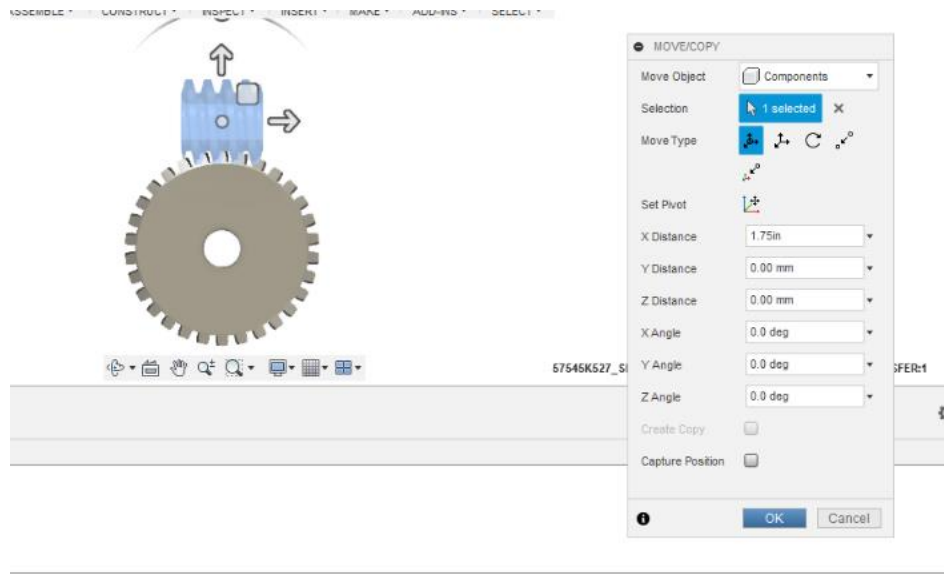


Fonte: O Autor (2018)

Para o alinhamento, a rosca sem fim foi deslocada em um valor de 1.75 in, do centro da coroa com a opção *move*, no caso a unidade pode ser tanto em milímetros, não havendo a necessidade de digitar “mm”, uma vez que, o software já está configurado para o sistema métrico, como em polegadas, digitando “in”.

Como a distância entre os centros é a soma dos diâmetros primitivos, que estão em polegadas, dividido por dois, então opta-se por polegadas, como mostrado na figura 44.

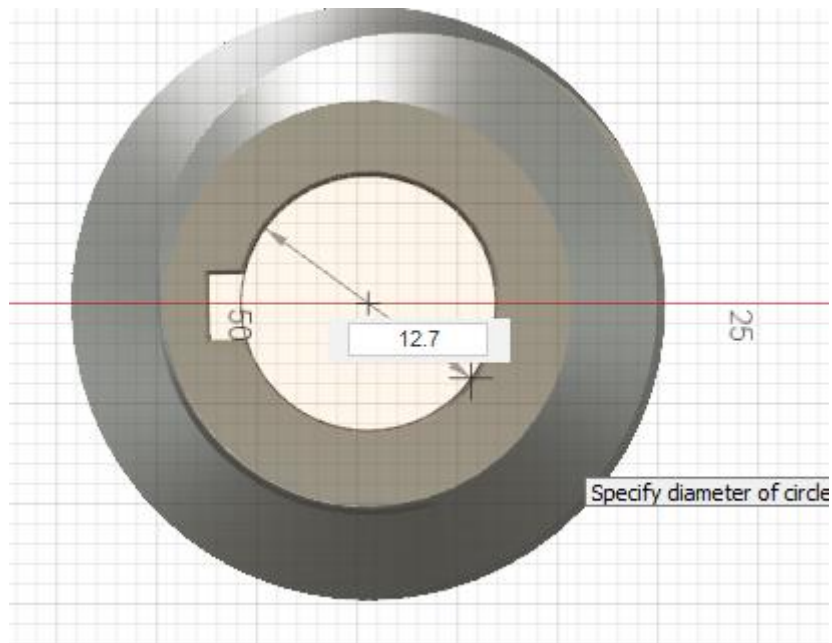
Figura 44-Alinhamento



Fonte: O Autor (2018)

Após o alinhamento, foi iniciado a modelagem do eixo da rosca sem fim, criando o *sketch 1* na face da rosca sem fim, como mostrado na figura 45.

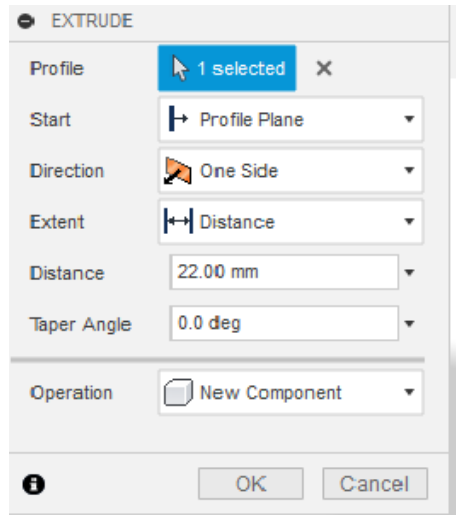
Figura 45-Sketch 1



Fonte: O Autor (2018)

A partir disso, foi feita a extrusão do eixo, com as opções *extrude/new component* e *extrude/join*, mostrados nas figuras 46 e 47.

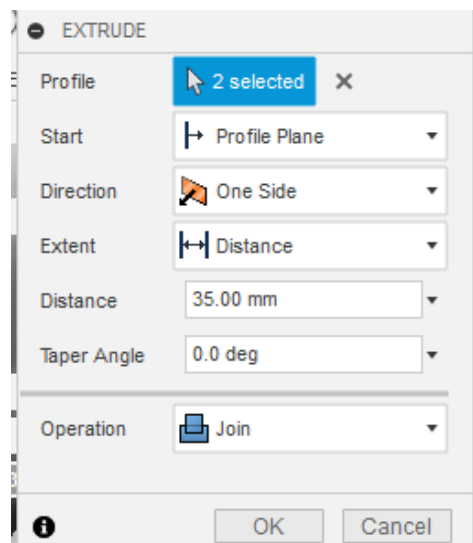
Figura 46- *Extrude/New Component*



Fonte: O Autor (2018)

A opção *new component* deve ser selecionada para a primeira extrusão do componente, já a opção *join*, para a continuidade de modelagem do mesmo.

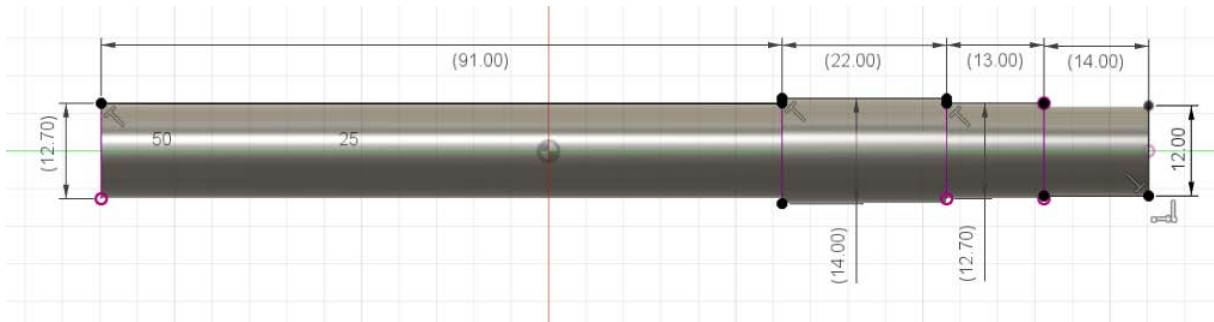
Figura 47-*Extrude/Join*



Fonte: O Autor (2018)

Os valores dos comprimentos e diâmetros para as extrusões são indicados na figura 48.

Figura 48-Dimensões do eixo da rosca sem fim

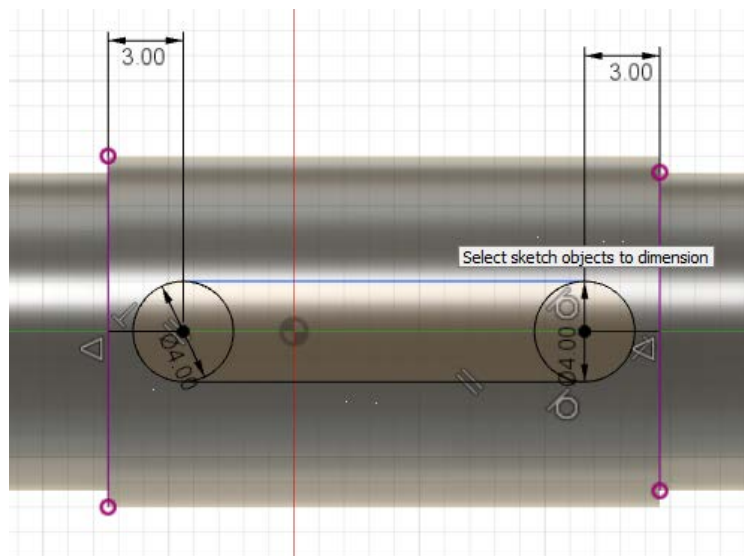


Fonte: O Autor (2018)

O próximo passo foi rasgo de chaveta do eixo da rosca para o rotor. Para esse procedimento, é empregada a ferramenta *Tangent Plane* que é uma ferramenta que permite a criação de um plano tangente a qualquer face cilíndrica ou esférica. Em seguida, foi criado o *sketch 2*, como mostrado na figura 49.

A criação do *sketch* é a partir do plano criado, bastando a seleção. Com isso, permite-se o início do perfil do rasgo de chaveta.

Figura 49-Sketch 2



Fonte: O Autor (2018)

Para finalizar, foi realizado, com a opção *extrude/cut*, o rasgo de 2,5mm de profundidade, mostrado na figura 50.



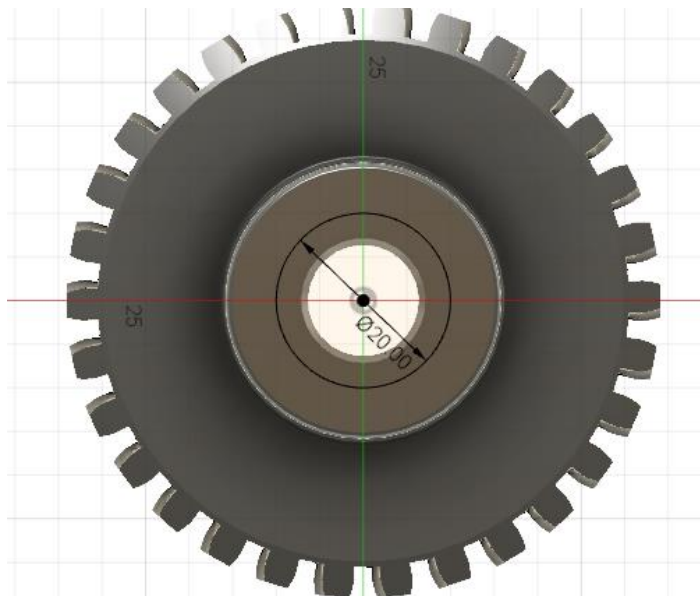
Figura 50-Eixo com rasgo de chaveta



Fonte: O Autor (2018)

Deu-se continuidade com o eixo da coroa, criando um *sketch 3*, mostrado na figura 51, a partir de uma das faces da coroa.

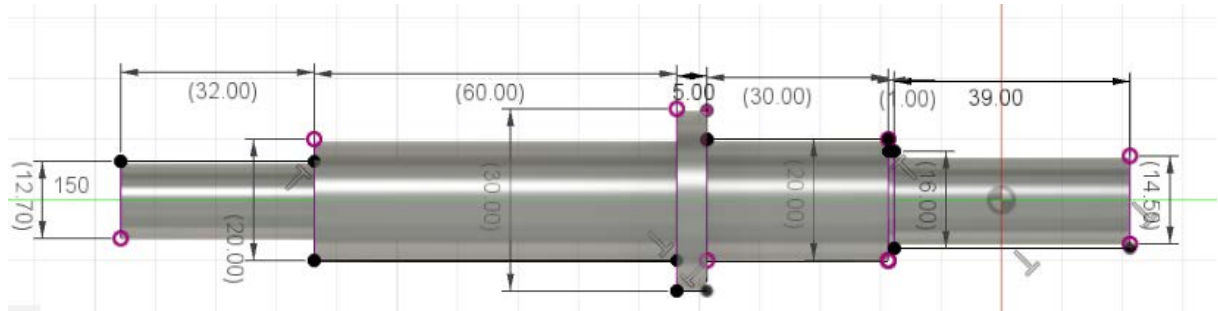
Figura 51-Sketch 3



Fonte: O Autor (2018)

As ferramentas utilizadas são as mesmas para o eixo da rosca sem fim. A figura 52 mostra as dimensões que foram extrudadas.

Figura 52-Dimensões eixo da coroa

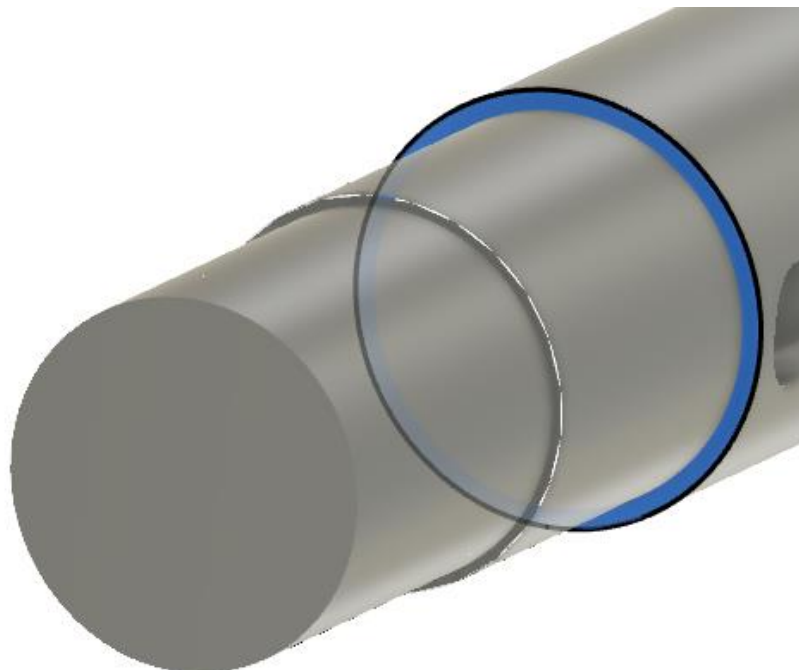


Fonte: O Autor (2018)

A modelagem foi seguida pela construção do rotor com a criação do *sketch 4*, na região do eixo da rosca sem fim, mostrado na figura 53.

Essa região é o degrau entre o assento do rotor e do rolamento.

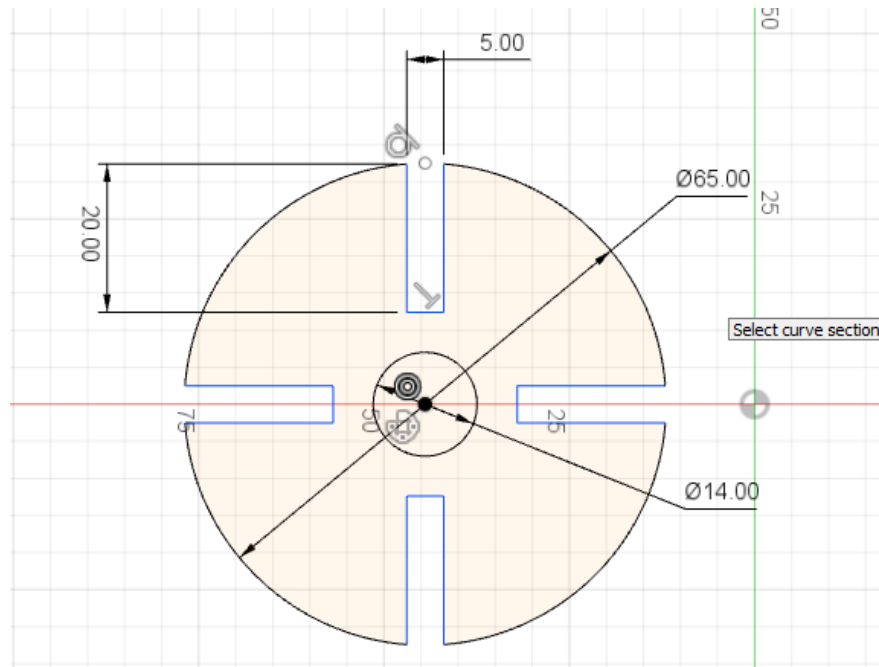
Figura 53-Região do *Sketch 4*



Fonte: O Autor (2018)

No *sketch 4*, foi desenhado o perfil do rotor, como mostrado na figura 54.

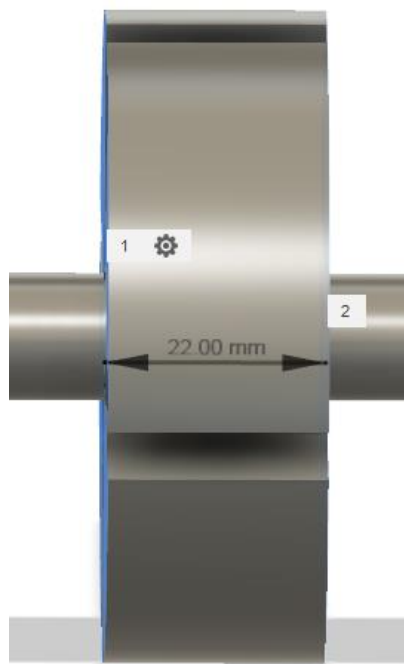
Figura 54 -*Sketch 5*



Fonte: O Autor (2018)

E, por último, foi feita uma extrusão de 22,0 mm, mostrada na figura 55.

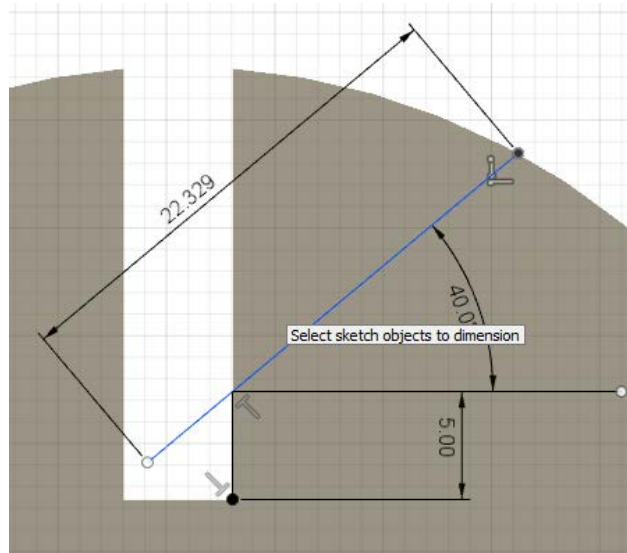
Figura 55-Extrusão do rotor



Fonte: O Autor (2018)

Em seguida, foi construído os canais do rotor. Deve-se criar o *sketch 6*, como mostrado na figura 56.

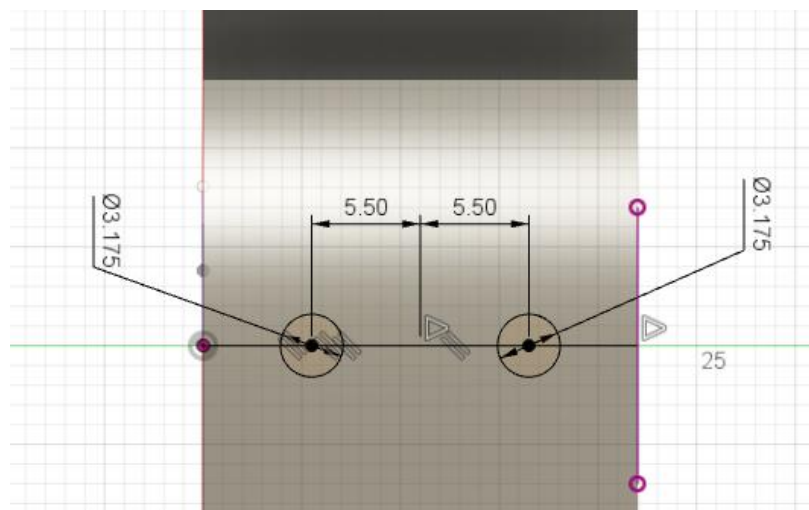
Figura 56-Sketch 6



Fonte: O Autor (2018)

Com a ferramenta *Plane Tangent to Face at Point*, é criado um plano e *sketch 7*, mostrado na figura 57.

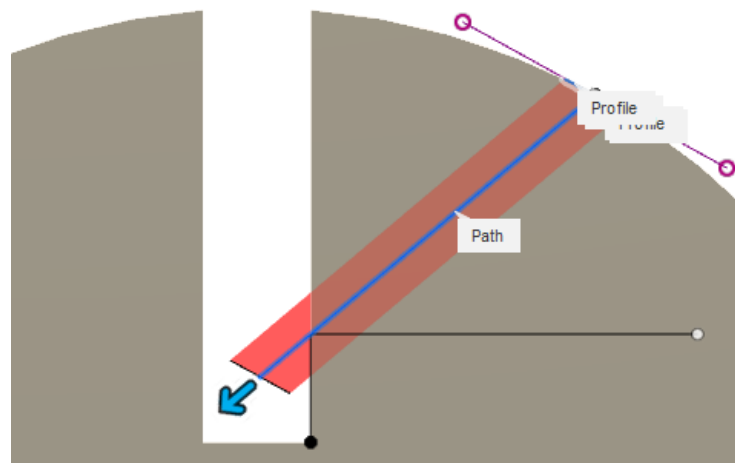
Figura 57-Sketch 7



Fonte: O Autor (2018)

Com a opção *Sweep* são feitos os canais, tendo como *Profile* as circunferências; e como *Path* a linha do *sketch 6*, como mostrado na figura 58.

Figura 58-Sweep

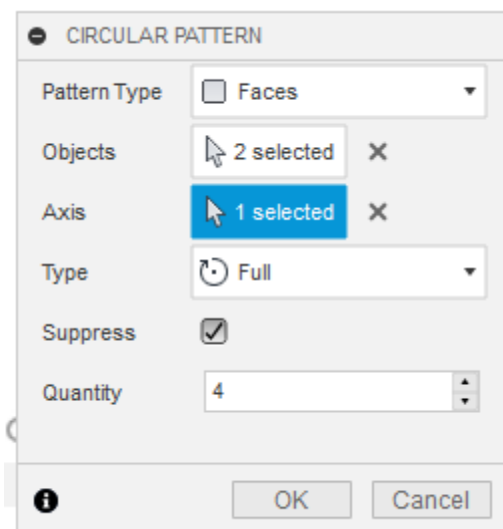


Fonte: O Autor (2018)

Com a ferramenta *Circular Pattern* são modelados mais 3 canais, como mostrado na figura 59.

Essa ferramenta permite a cópia de forma circular de modificações criadas no componente, bastando a seleção dos perfis, a quantidade e o plano de referência.

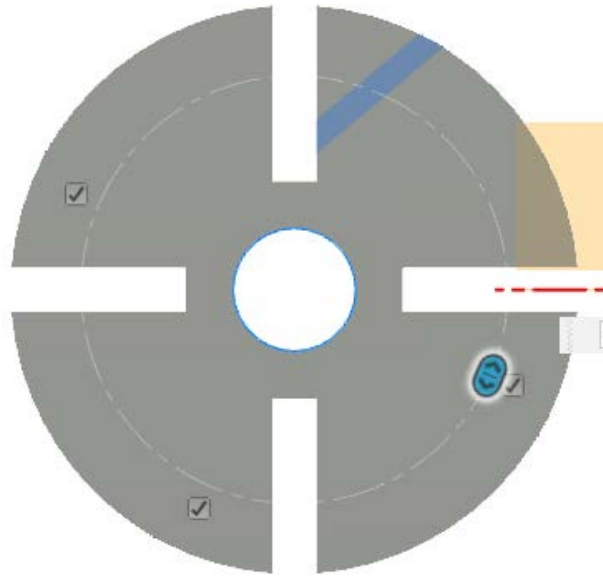
Figura 59-Circular Pattern/menu



Fonte: O Autor (2018)

E assim tem-se o resultado na figura 60 da ferramenta *Circular Pattern*.

Figura 60-Resultado do *Circular Pattern*

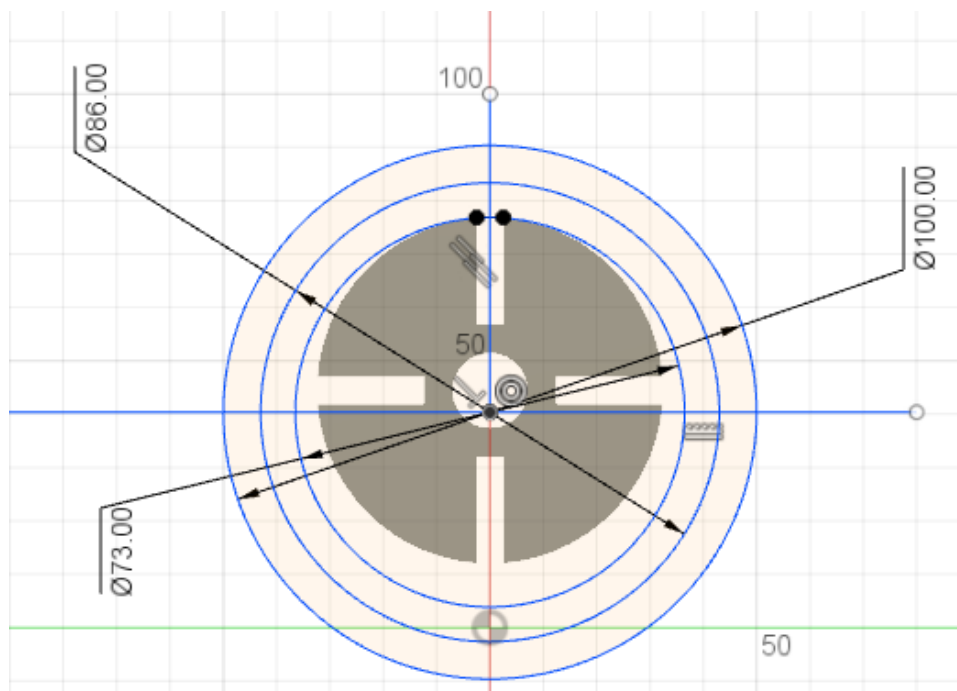


Fonte: O Autor (2018)

Partindo para a modelagem do anel, inicia-se um *sketch 8*, no plano do rotor, com o perfil da figura 61. É importante reparar na descentralização do anel em relação ao rotor.

Esse descentralização é que viabiliza a criação do gradiente de pressão durante o funcionamento do equipamento.

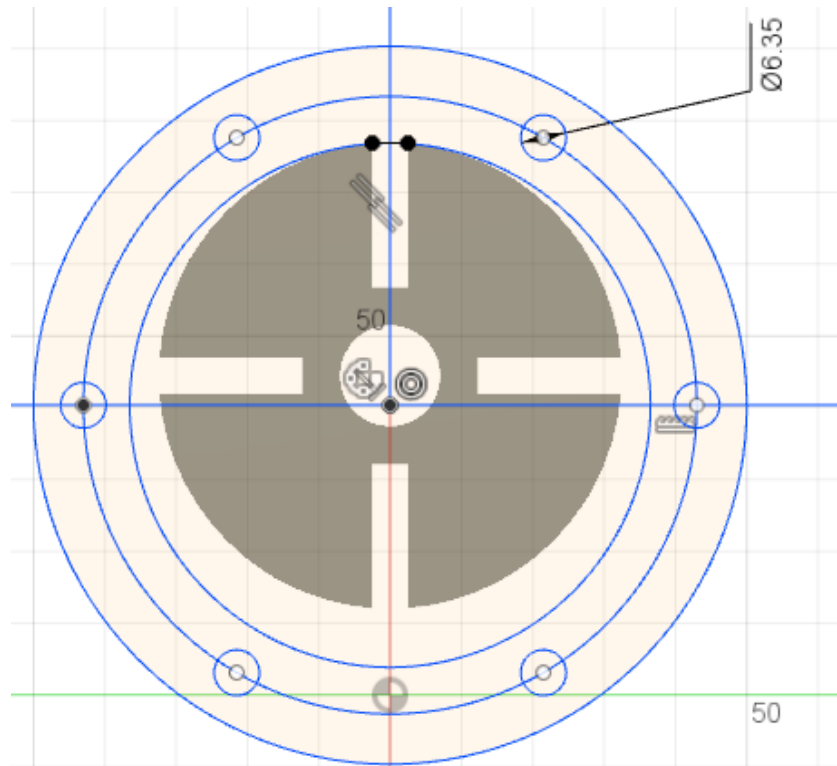
Figura 61 -Circunferencias do *sketch 8*



Fonte: O Autor (2018)

Em seguida, foram feitos 6 furos de 6.35 mm de diâmetro com a ferramenta *Circular Pattern*, mostrados na figura 62.

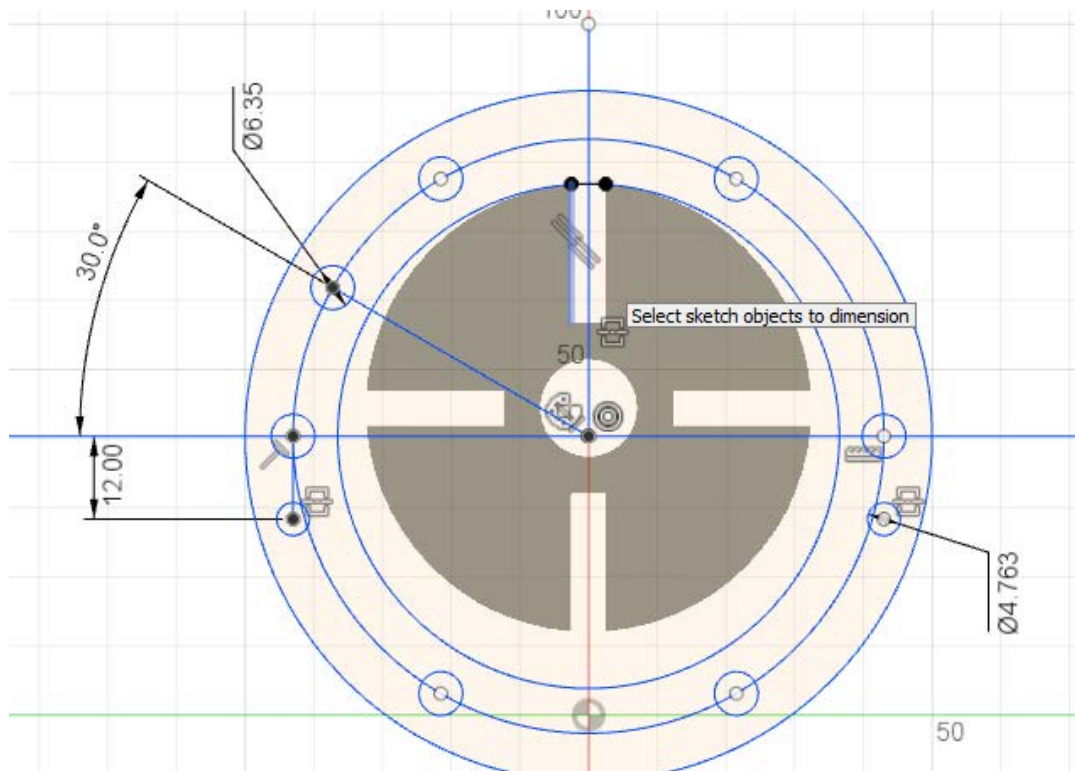
Figura 62-Furos do *sketch 8*



Fonte: O Autor (2018)

Depois, dois furos do pino de 4,763 mm e um furo da entrada de ar, com o valor de 6,35 mm, mostrado na figura 63.

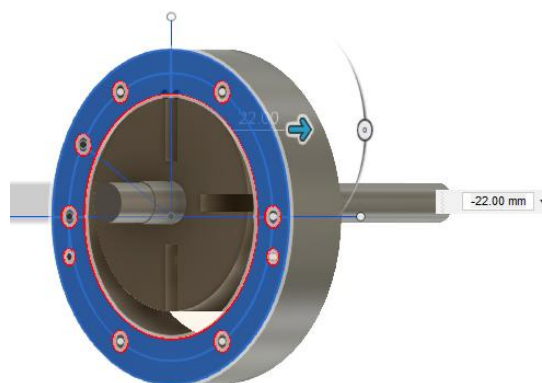
Figura 63-Furos do pino



Fonte: O Autor (2018)

Por fim extruda-se em 22,00 mm o anel, como na figura 64.

Figura 64-Extrusão do anel

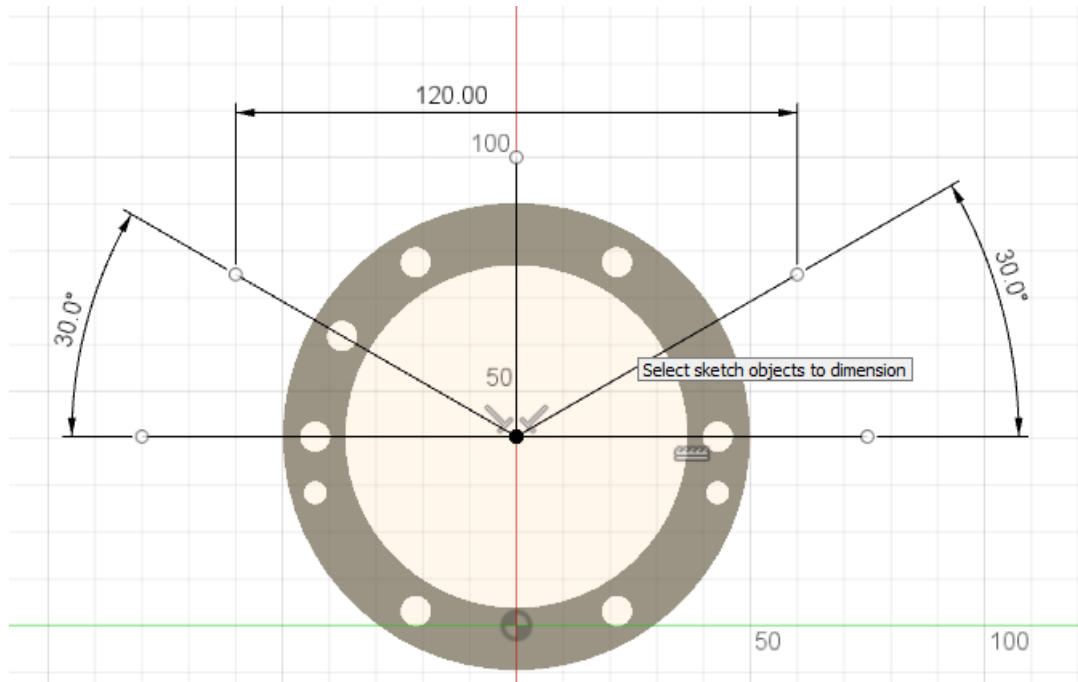


Fonte: O Autor (2018)

Inicia-se um *sketch 9* no plano do anel, como na figura 65, para criar a entrada e saída de ar.



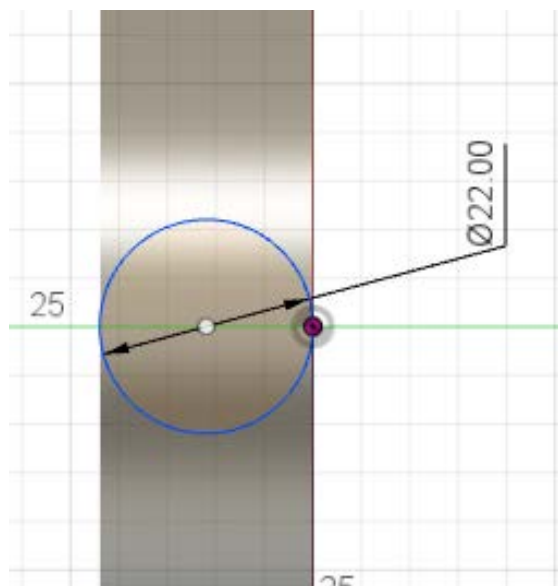
Figura 65-Sketch 9



Fonte: O Autor (2018)

Com a ferramenta *plane along path*, foi criado um plano perpendicular a uma das retas. Em seguida, contruiu-se um *sketch 10* no plano, como mostrada na figura 66.

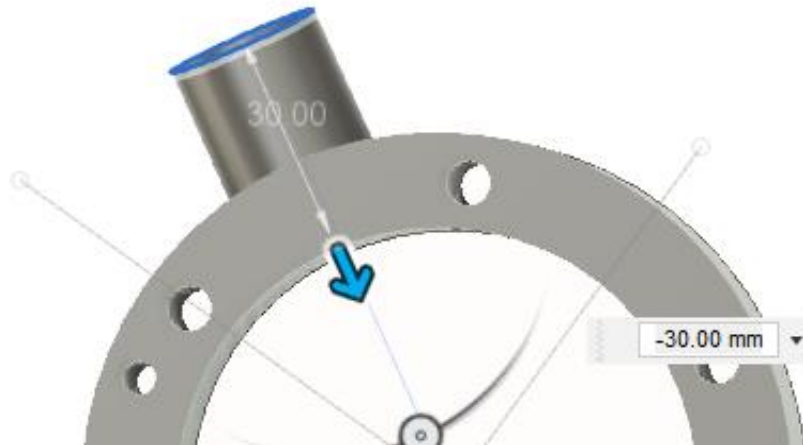
Figura 66-sketch 10



Fonte: O Autor (2018)

Em sequência, realizou-se uma extrusão de 30,00 mm, criando a entrada, como na figura 67.

Figura 67-Saida de ar do anel



Fonte: O Autor (2018)

Com a ferramenta *Fillet*, com raio de 5,00 mm, deu-se o acabamento final da entrada, mostrado na figura 68.

Figura 68-*Fillet* na saída de ar

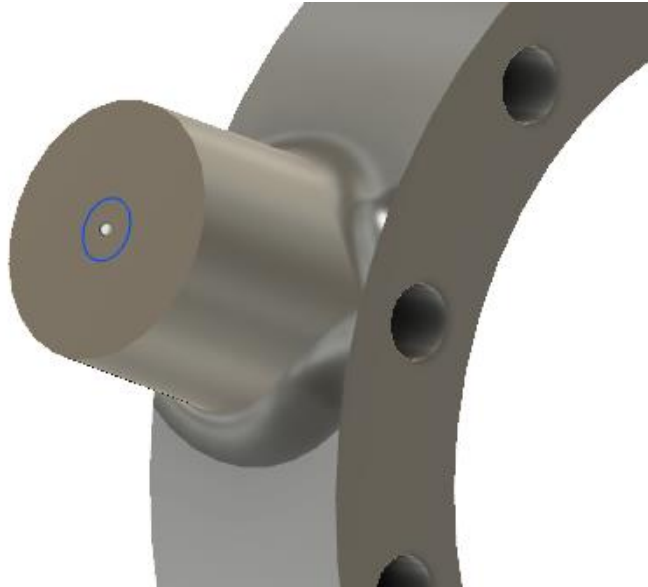


Fonte: O Autor (2018)

Com a ferramenta *Mirror*, copiou-se as faces criadas do outro lado do anel, criando a entrada de ar.

Para fazer o furo da entrada de ar, deve-se criar um *sketch 11* e uma circunferência de qualquer tamanho para referência, mostrada na figura 69. Em seguida, com a ferramenta *hole*, cria-se o furo. Deve-se observar a orientação.

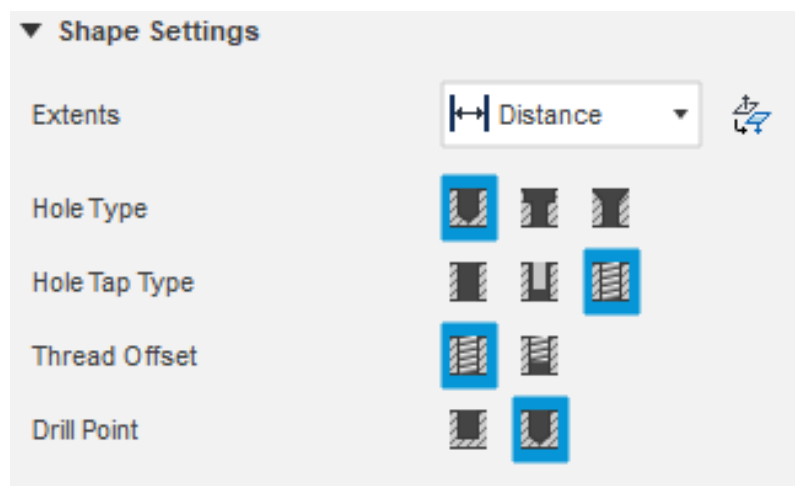
Figura 69-Circunferencia de referencia



Fonte: O Autor (2018)

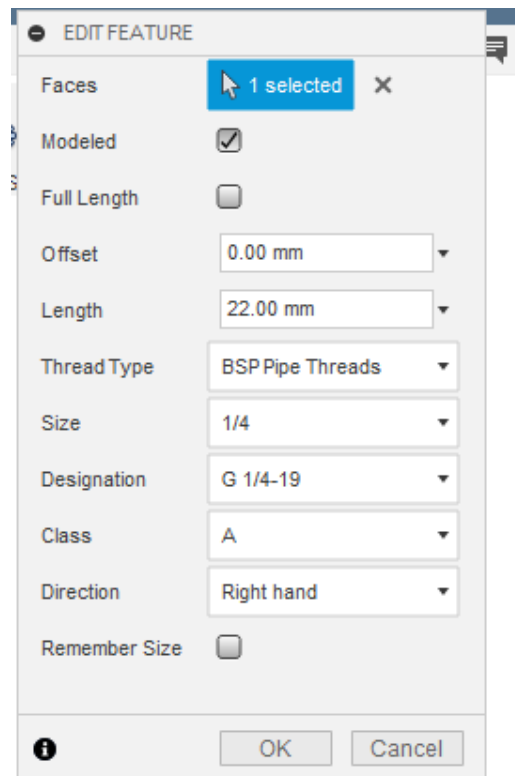
Na figura 70, tem-se as configurações do furo com rosca e na figura 71 as dimensões.

Figura 70-Configurações *Hole*



Fonte: O Autor (2018)

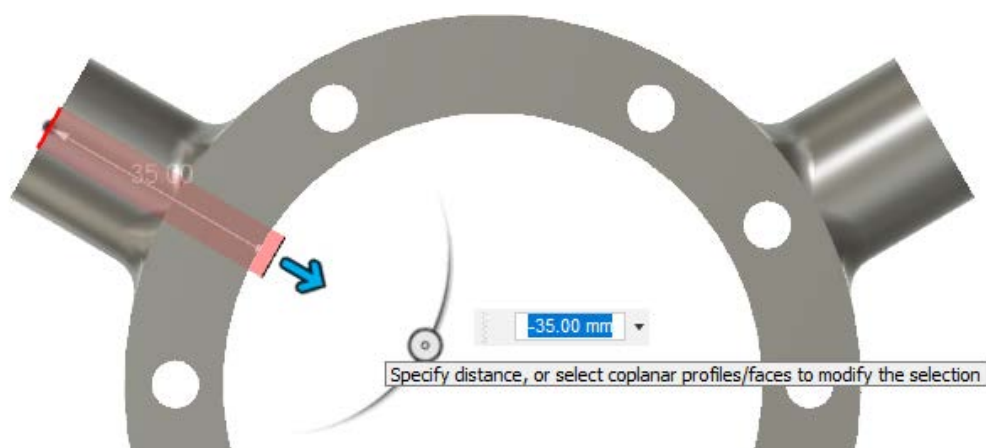
A opção *Hole* oferece desde furos com rosca que são selecionadas na opção *Hole Tap Type*, como a opção da marca da broca em *Drill Point*.

Figura 71-Dimensões *Hole*

Fonte: O Autor (2018)

Para a saída de ar, foi utilizado *Extrude/Cut*, com um perfil circular de 6,35 mm, atravessando o anel, mostrado na figura 72.

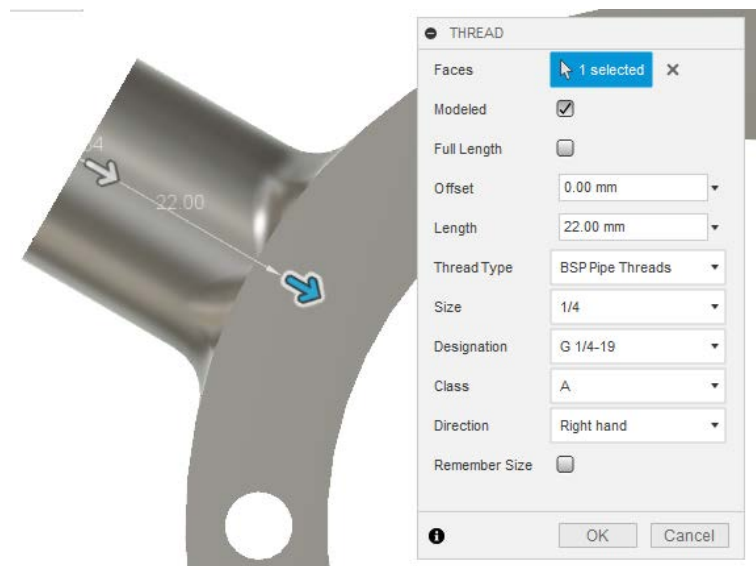
Figura 72-Saída de ar



Fonte: O Autor (2018)

Finaliza-se a saída com a ferramenta *Thread*, como na figura 73.

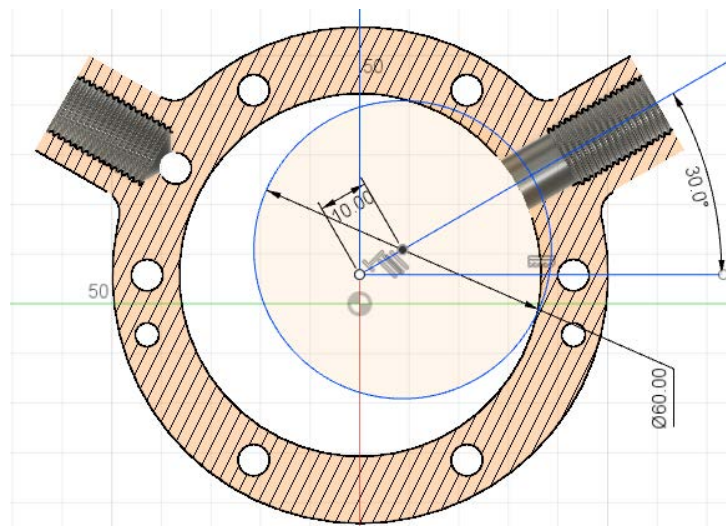
Figura 73-thread



Fonte: O Autor (2018)

Com a ferramenta *Midplane*, foi criado um *sketch 12* no anel, mostrado na figura 74.

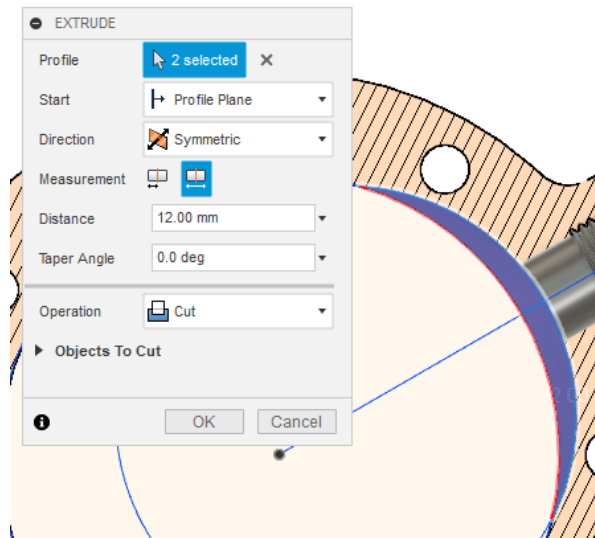
Figura 74-Midplane e sketch 12



Fonte: O Autor (2018)

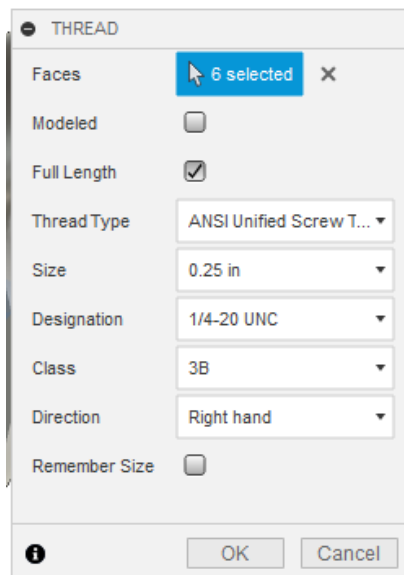
Depois, foi feito um *Extrude/Cut*, como mostrado na figura 75.

Figura 75-Rasgo da saída de ar



Fonte: O Autor (2018)

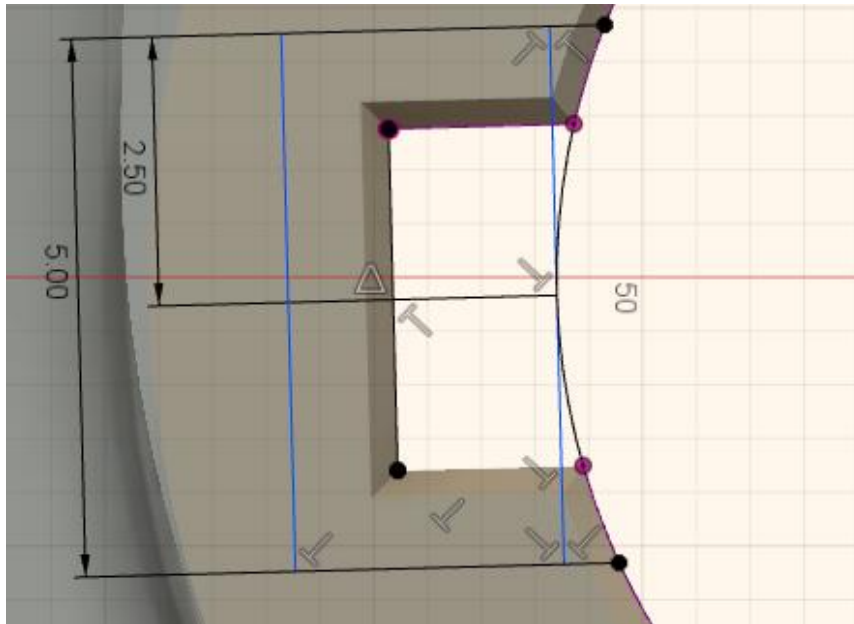
Para finalizar o anel, foram criadas as roscas dos 6 furos do *sketch 8* com a ferramenta *Thread*. As configurações estão mostradas na figura 76.

Figura 76-Configurações *Thread*

Fonte: O Autor (2018)

Prosseguiu-se com a modelagem das chavetas e rasgos dos eixos da coroa e rosca sem fim. O primeiro passo foi a criação de um *sketch 13* em uma das faces da rosca sem fim, e os alargamentos mostrados na figura 77. Para finalizar o alargamento, foi usado *Extrude/Cut* no perfil criado, atravessando a rosca.

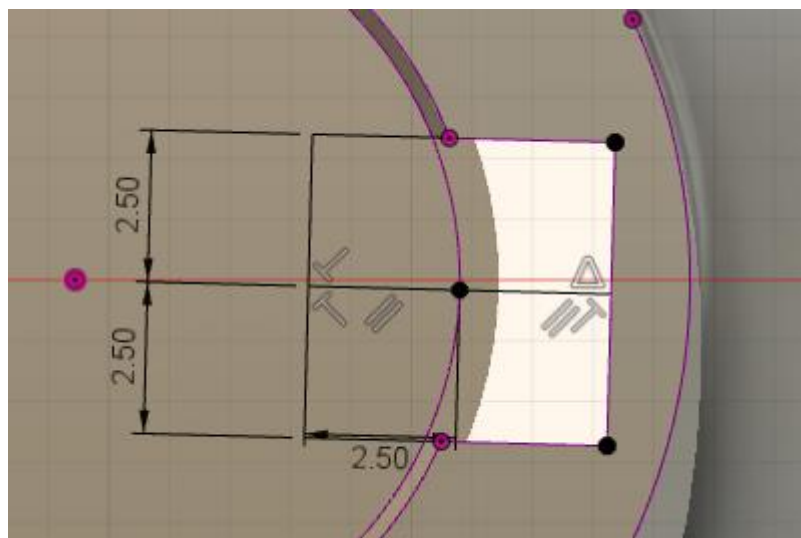
Figura 77-Alargamento do rasgo da rosca sem fim



Fonte: O Autor (2018)

Agora, deve-se criar um *sketch 14* na ponta do eixo, com o perfil da figura 78.

Figura 78-Sketch14

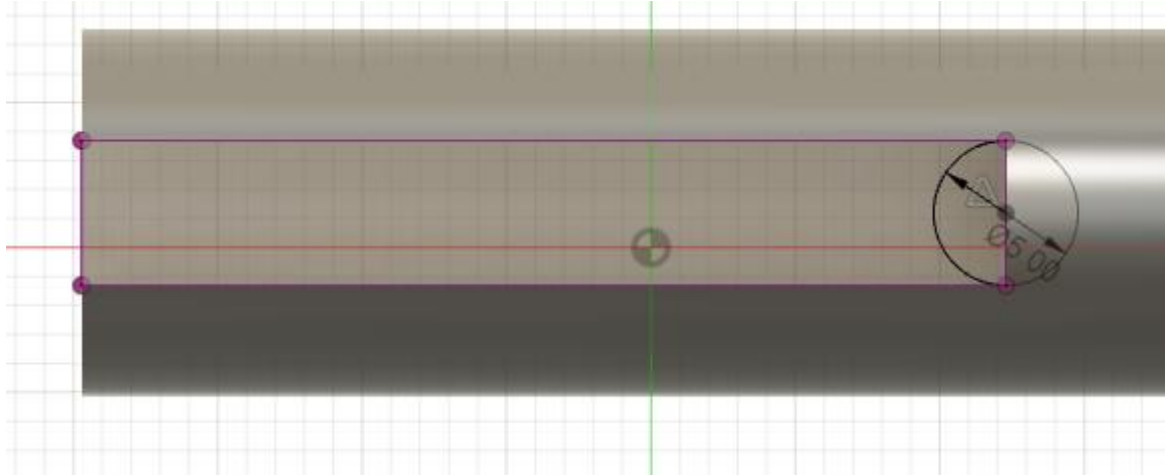


Fonte: O Autor (2018)

E então um rasgo de 32,0 mm de comprimento no eixo da rosca sem fim foi criado.

No plano do rasgo, cria-se um *sketch 15* com o perfil mostrado na figura 79 e um corte de 2,5 mm.

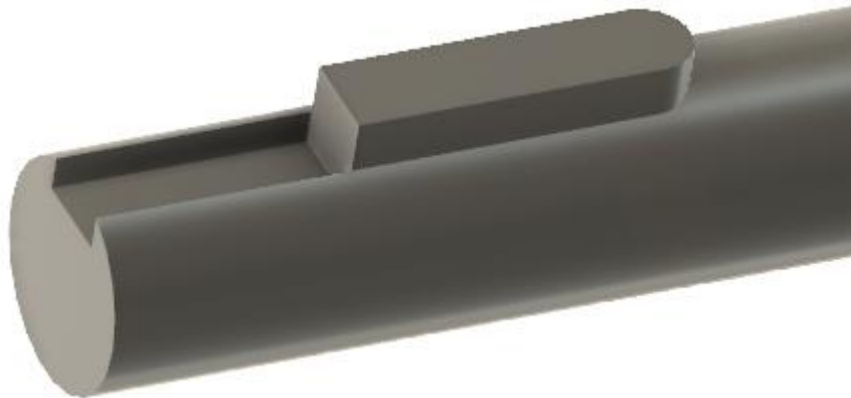
Figura 79-Acabamento do rasgo



Fonte: O Autor (2018)

A modelagem é seguida com a criação da chaveta, mostrada na figura 80. Ela tem altura de 5,0 mm e comprimento de 20,00 mm.

Figura 80-Chaveta e rasgo do eixo da rosca sem fim

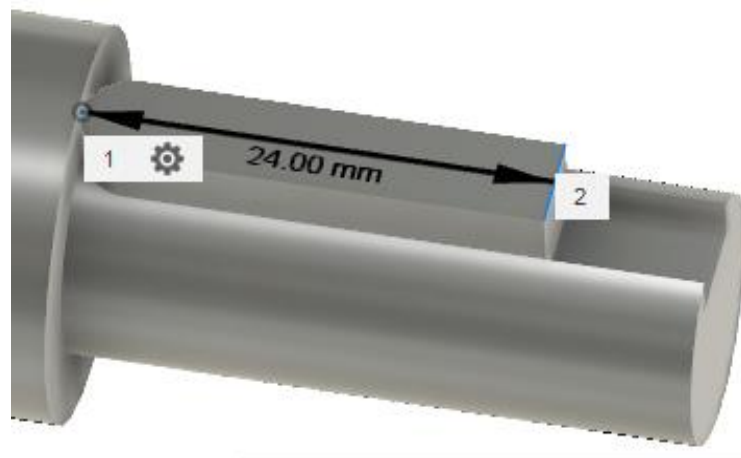


Fonte: O Autor (2018)

Para a coroa, o processo é o mesmo, com as mesmas dimensões de largura de rasgo, profundidade de rasgo e largura de chaveta que os da rosca sem fim, mas o rasgo tem um comprimento total de 32,0 mm e comprimento de chaveta de 24,0 mm, como mostrado na figura 81.



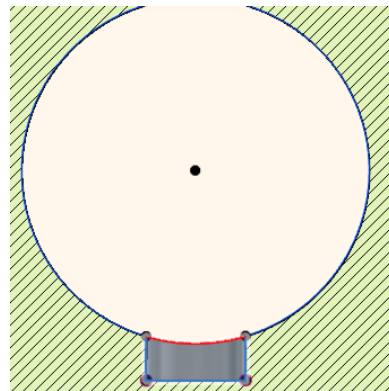
Figura 81-Chaveta e rasgo do eixo da coroa



Fonte: O Autor (2018)

Em seguida, criou-se o rasgo de chaveta do rotor. Para o procedimento, deve-se iniciar um *Midplane* e um *sketch 16*, a opção *Slice* no *Sketch Palette* deve estar selecionada, assim, desenha-se o perfil da sobra do material e aplica-se *Extrude/Cut*, como mostrado na figura 82.

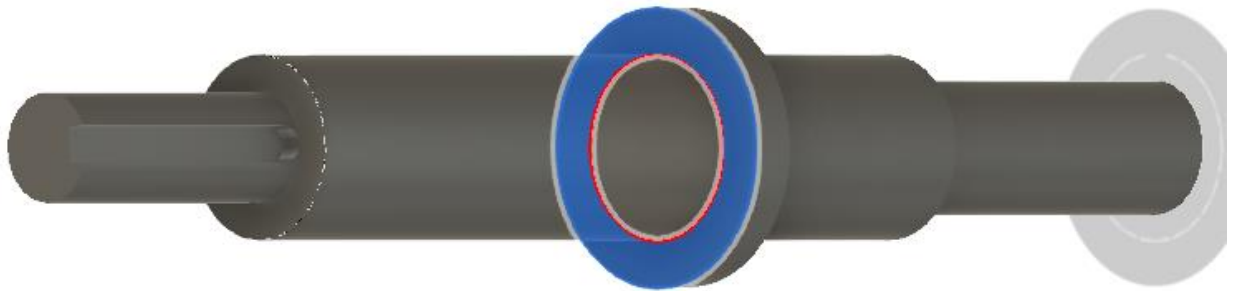
Figura 82-Sketch 16



Fonte: O Autor (2018)

Por ultimo foi feito a modelagem das buchas de bronze, criando um *sketch 16* na região do eixo da coroa mostrado na figura 83.

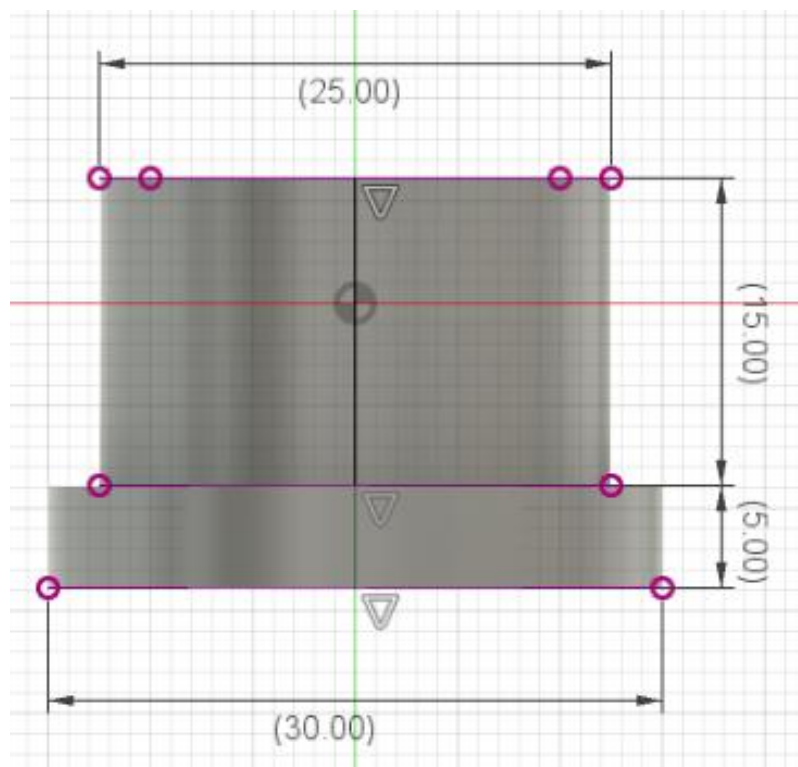
Figura 83-Região *sketch* 17



Fonte: O Autor (2018)

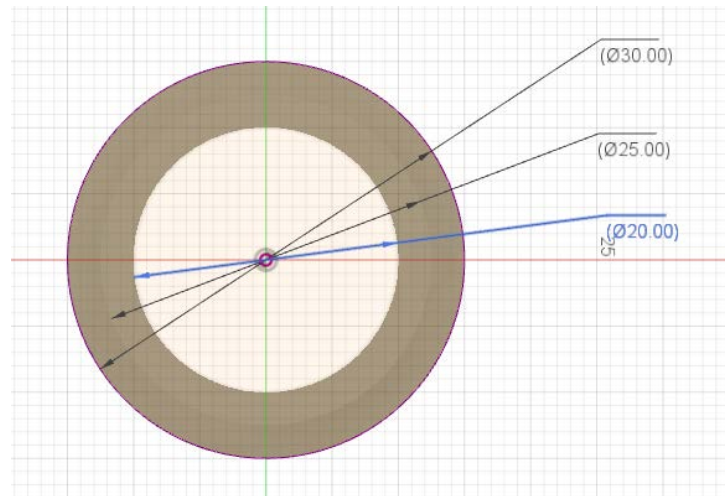
Para a modelagem, apenas é usado a ferramenta *Extrude/join*. As dimensões são mostradas na figura 84 e figura 85.

Figura 84-Dimensões laterais da bucha



Fonte: O Autor (2018)

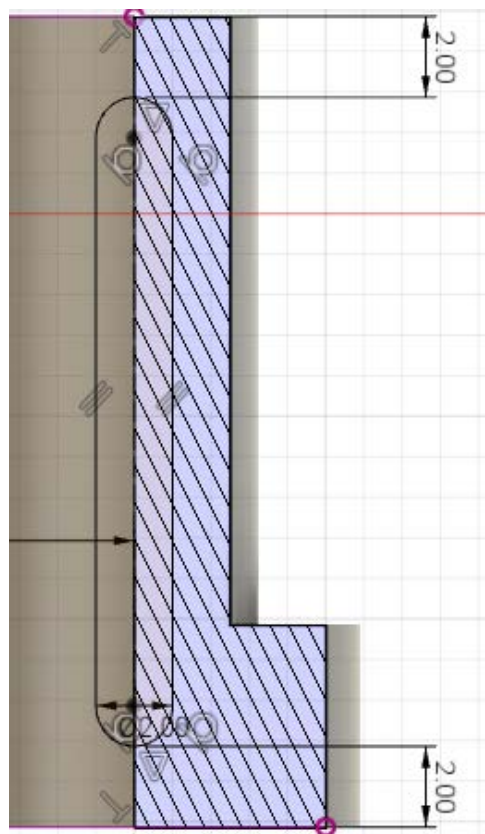
Figura 85-Dimensões frontais da bucha



Fonte: O Autor (2018)

O próximo passo foi a modelagem dos canais da bucha. Deve-se usar a ferramenta *tangent plane* na face de diâmetro menor da bucha e, em seguida, usar *Offset Plane* de 12,5mm. No plano obtido cria-se um *sketch 18*, mostrado na figura 86.

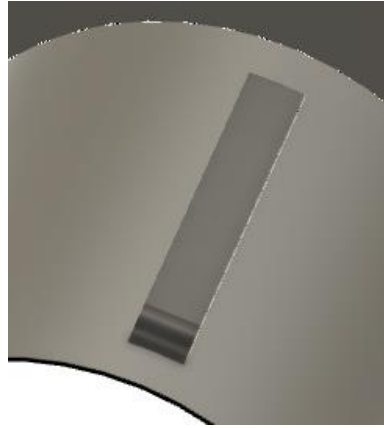
Figura 86 -Sketch 18



Fonte: O Autor (2018)

Em seguida, com a ferramenta *Extrude/Cut* é feito um rasgo de largura 2,0mm, como na figura 87.

Figura 87-Rasgo da bucha

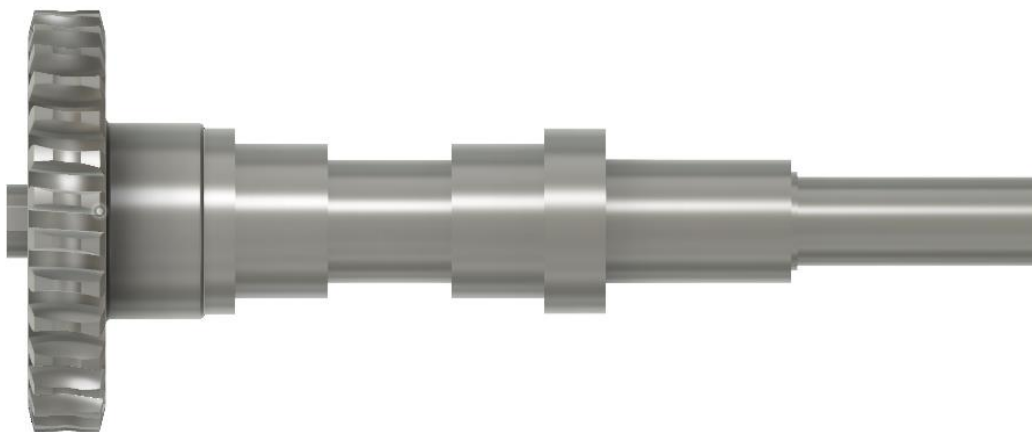


Fonte: O Autor (2018)

Para finalizar a bucha, foi utilizado *Circular Pattern* para construir mais dois rasgos. O mesmo processo deve ser realizado para outra bucha.

A outra bucha, de igual dimensão, pode ser feita com a opção *Copy/Paste*, mostrado na figura 88.

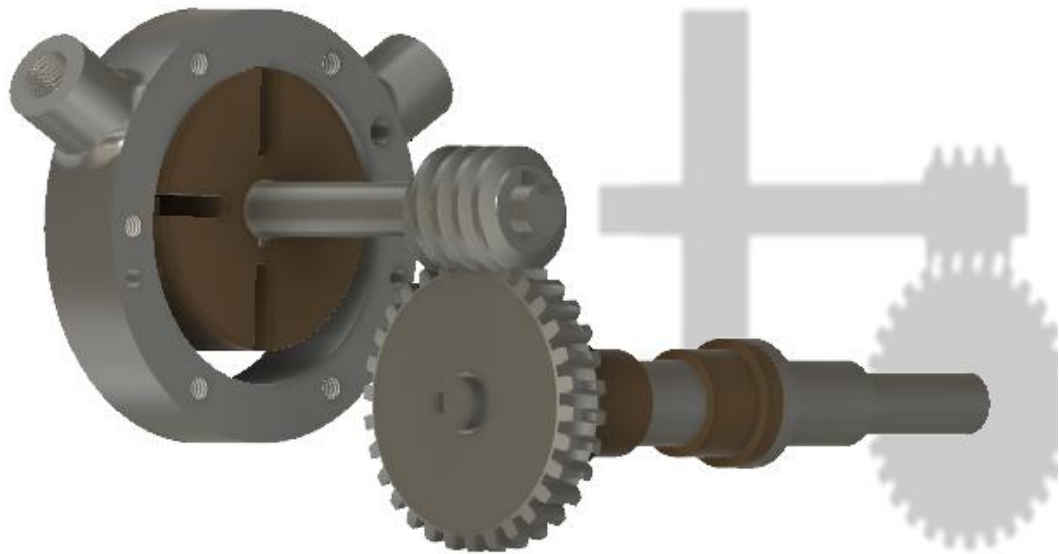
Figura 88-Buchas do eixo da coroa



Fonte: O Autor (2018)

Na modelagem realizada até o momento, tem-se os componentes do sistema mecânico do moto redutor à ar comprimido, como mostrado na figura 89.

Figura 89-Sistema do moto redutor à ar comprimido

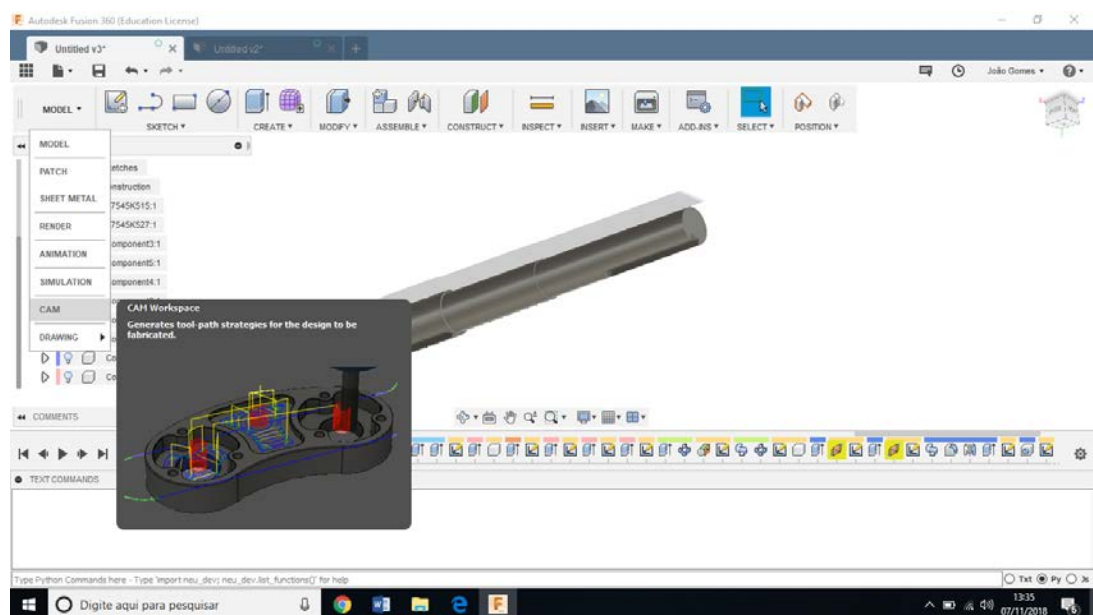


Fonte: O Autor (2018)

### 3.1 APLICAÇÃO AMBIENTE CAM NO EIXO DA ROSCA SEM FIM

A próxima etapa foi a aplicação do ambiente CAM no eixo da rosca sem fim. Para isso deve-se deixar apenas selecionado o componente desejado à simulação e, em seguida exportar, para o ambiente CAM, como mostrado na Figura 90.

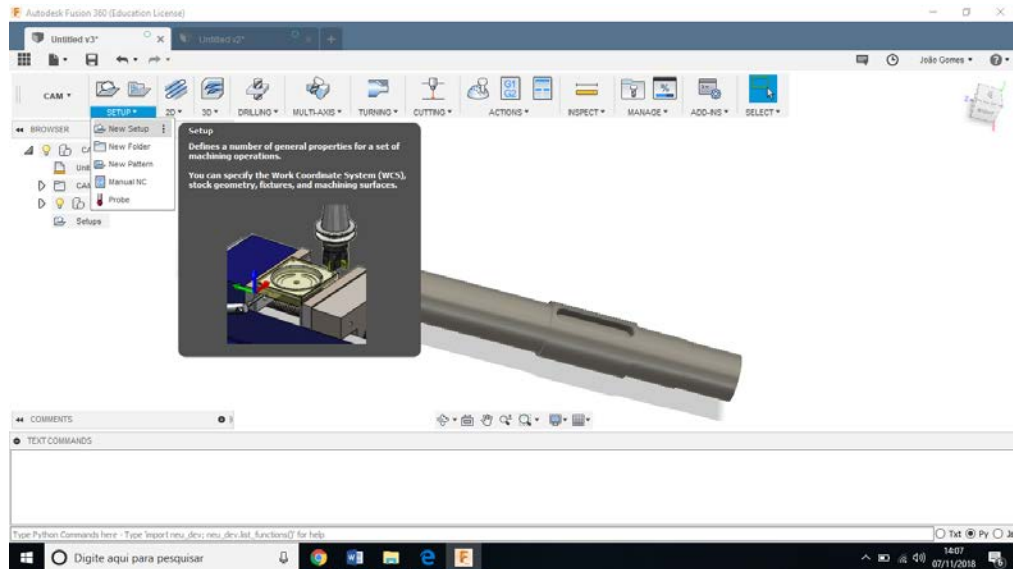
Figura 90-Exportação para o ambiente CAM



Fonte: O Autor (2018)

Para iniciar as operações de usinagem deve-se criar um *Setup*, mostrado na figura 91.

Figura 91-New Setup

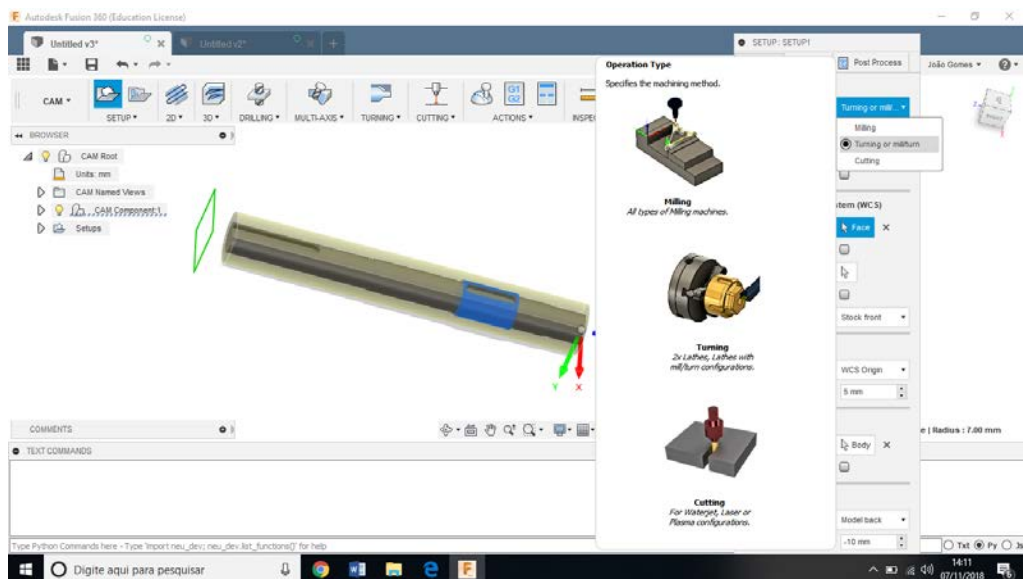


Fonte: O Autor (2018)

Nessa opção, deve-se configurar o tipo de processo desejado, as coordenadas de usinagem e as dimensões do formato do material bruto.

Os processos de manufatura consistem em torneamento e fresamento, para isso seleciona-se *Turning or Mill/Turning* na opção *Operation Type*, mostrado na figura 92.

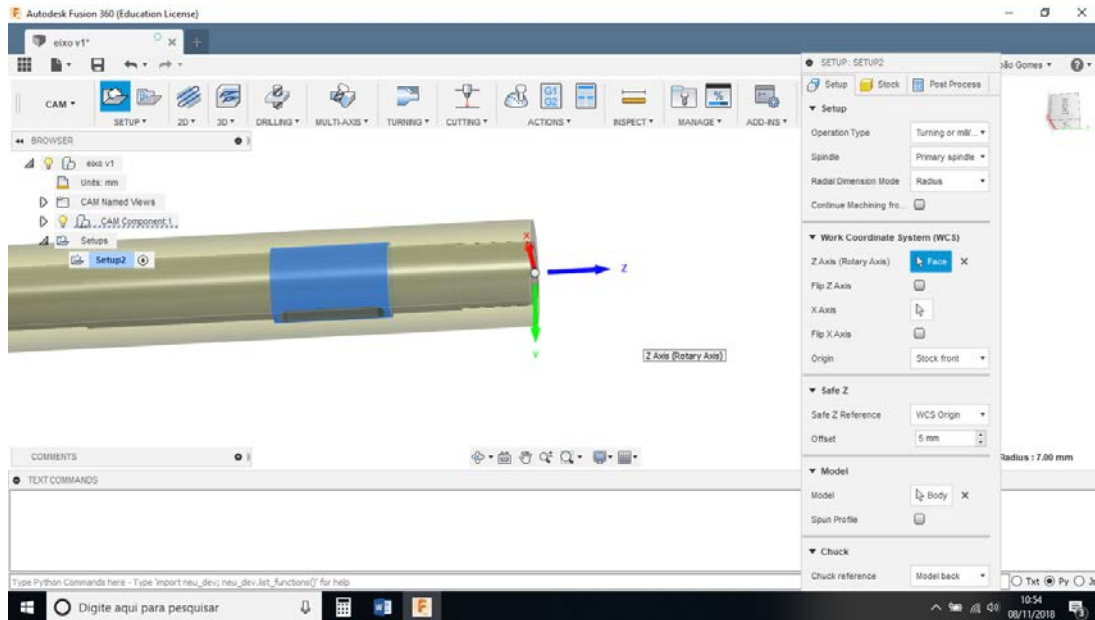
Figura 92-“Turning or Mill/Turning”



Fonte: O Autor (2018)

Em segundo, foram configuradas as coordenadas de operação. O software toma o eixo Z de referência de avanço; portanto, o mesmo deve estar perpendicular a face do eixo, como mostrado na Figura 93.

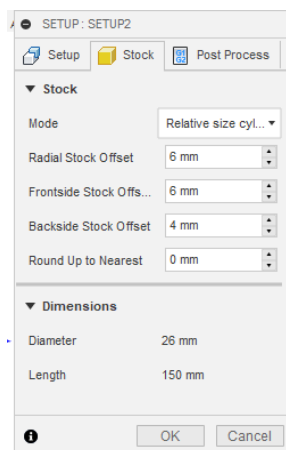
Figura 93-Posição eixo z



Fonte: O Autor (2018)

Em terceiro, foram configuradas as dimensões da peça bruta. Na opção *Stock*, em *Mode* foi deixado opção *Relative Size Cylinder*, o qual as dimensões da peça bruta são configuradas de modo independente, como na figura 94.

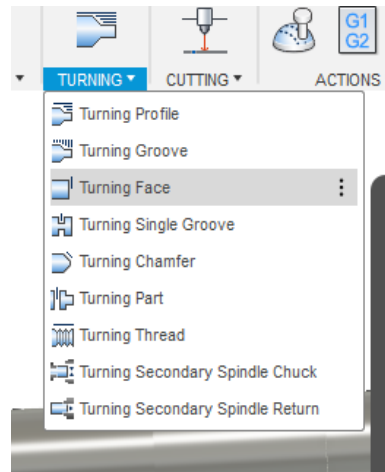
Figura 94-Configurando a opção *Stock*



Fonte: O Autor (2018)

Tendo a etapa de configuração dos processos de usinagem pronta. Serão configuradas as etapas que consistem o processo. De início, a primeira foi o faceamento com a opção *Turning Face*, mostrado na figura 95.

Figura 95-*Turning Face*



Fonte: O Autor (2018)

O principal a ser configurado é a ferramenta que é utilizada. Na opção *Tool*, foi selecionada a ferramenta, mostrada na Figura 96. Uma vez que o software informa se a ferramenta é adequada ou não para determinado processo, foi utilizado o método da tentativa e erro.

Figura 96-Dados da Ferramenta 1

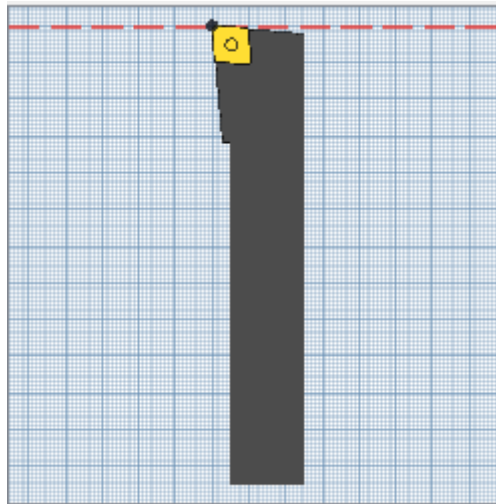
CNMT Right Hand	
<b>Geometry</b>	
<b>Insert included angle</b>	0 °
<b>Insert diameter</b>	9.672 mm
<b>Head length</b>	0 mm
<b>Overall length</b>	30 mm
<b>Relief angle</b>	0 °
<b>Corner radius</b>	0.8 mm
<b>Insert thickness</b>	3.969 mm
<b>Insert shape code</b>	C
<b>Section style</b>	T
<b>Tolerance class</b>	M

Fonte: O Autor (2018)

A figura 97 mostra o desenho da ferramenta 1 utilizada para o faceamento.

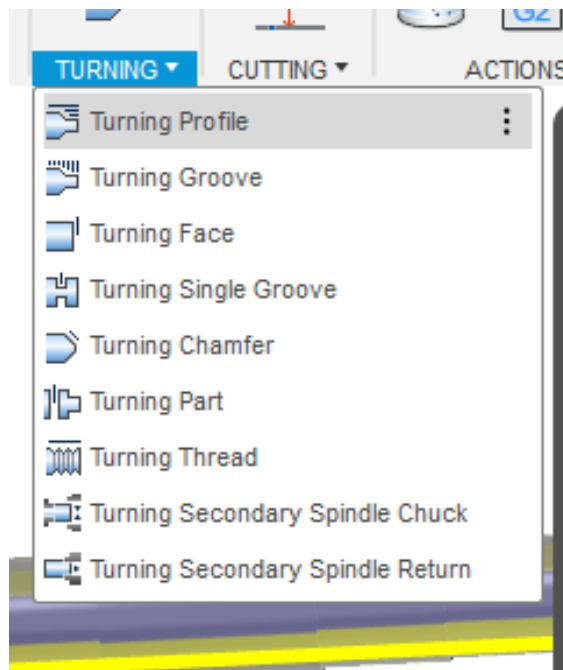


Figura 97- Ferramenta 1



Fonte: O Autor (2018)

A próxima etapa foi o processo de usinagem grosseira com objetivo de criar o perfil do eixo, para isso utiliza-se a opção *Turning Profile*, mostrada na figura 98.

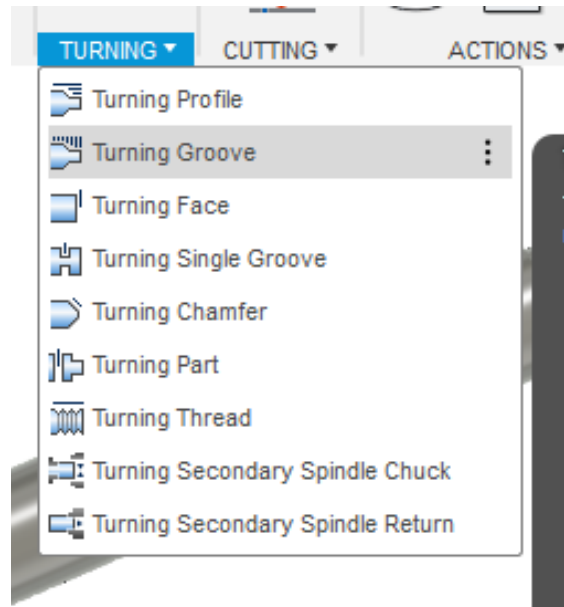
Figura 98-*Turning Profile*

Fonte: O Autor (2018)

A única opção que deve se configurada é a ferramenta, que pode ser a mesma utilizada para o faceamento.

Próximo passo foi o acabamento do eixo, para isso foi usado a opção *Turning Groove*, mostrada na figura 99.

Figura 99-*Turning Groove*



Fonte: O Autor (2018)

Para esse processo foi utilizada a ferramenta mostrada na Figura 100.

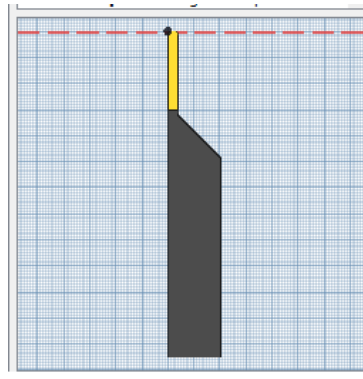
Figura 100-Dados da ferramenta 2

<b>Body material code</b> carbide	
<b>OD Grooving</b>	
<b>Geometry</b>	
<b>Insert included angle</b>	0 °
<b>Insert diameter</b>	10 mm
<b>Head length</b>	5 mm
<b>Overall length</b>	30 mm
<b>Relief angle</b>	0 °
<b>Corner radius</b>	0.8 mm
<b>Insert thickness</b>	4 mm
<b>Insert shape code</b>	groove square

Fonte: O Autor (2018)

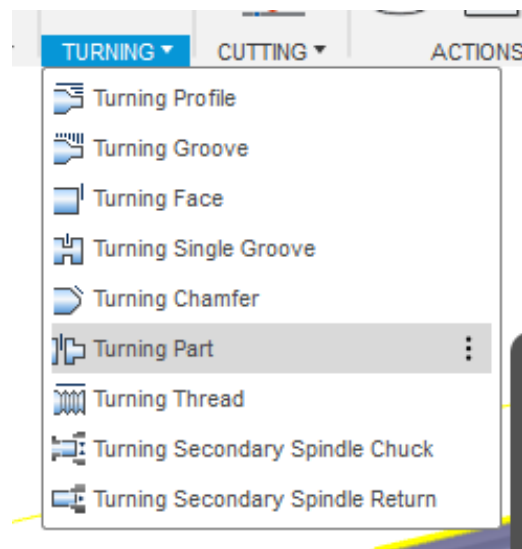
Na figura 101 tem-se a figura do desenho da ferramenta 2.

Figura 101-Ferramenta 2



Fonte: O Autor (2018)

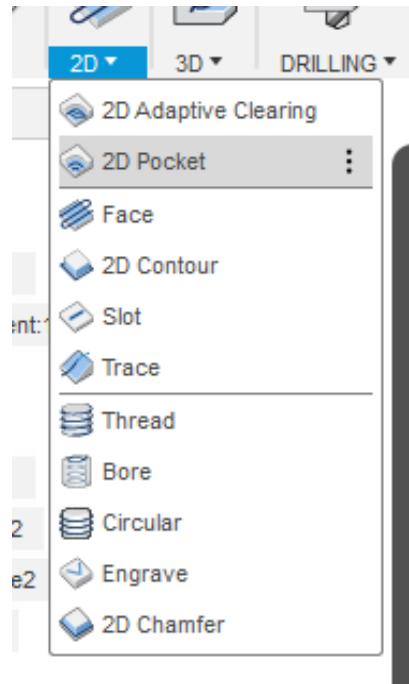
Para concluir o processo de torneamento, foi utilizada a opção *Turning Part* que separa o material restante do eixo, mostrado na figura 102.

Figura 102- *Turning Part*

Fonte: O Autor (2018)

A ferramenta utilizada é a mesma da etapa anterior.

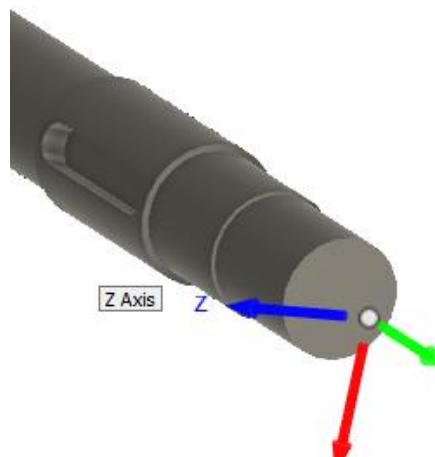
O processo foi seguido com o fresamento. Para os rasgos de chaveta, a opção que oferece a possibilidade para que o resultado final apresente somente um plano é a *2D Pocket*, mostrada na figura 103.

Figura 103-Configurando a opção *2D Pocket*

Fonte: O Autor (2018)

Necessita-se trocar a coordenada z, devido a mudança de processo. O eixo z deve estar direcionado na direção dos rasgos, como mostrado na figura 104.

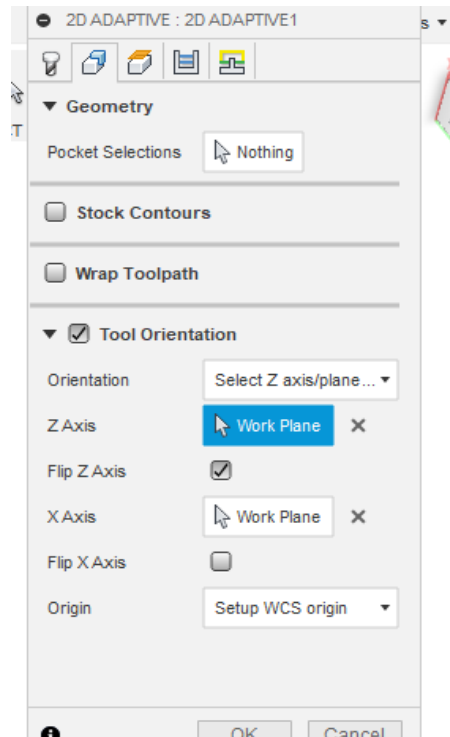
Figura 104-Direção eixo z



Fonte: O Autor (2018)

A opção para a mudança de coordenada esta mostrada na Figura 105.

Figura 105-Mudança de coordenada



Fonte: O Autor (2018)

Agora, a ferramenta deve ser selecionada. Entre as opções oferecidas na biblioteca, não há nenhuma que satisfaça as condições do fresamento desejado, para isso necessita-se criar uma ferramenta, através da opção mostrada na figura 106.

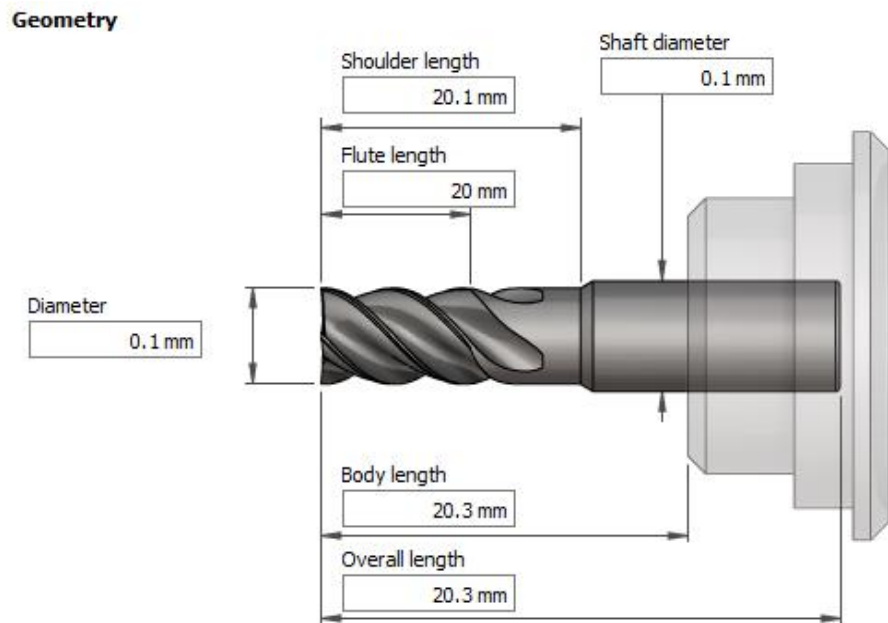
Figura 106-Criação de nova ferramenta



Fonte: O Autor (2018)

As dimensões da nova ferramenta estão mostradas nas figuras 107.

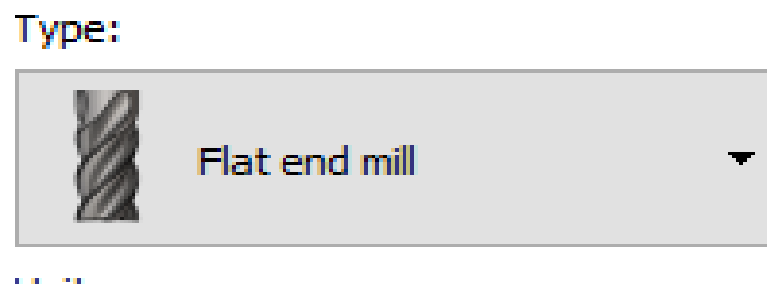
Figura 107-Configurações da ferramenta 3



Fonte: O Autor (2018)

Na figura 108 está mostrada o tipo de ferramenta a ser criada, no caso uma ferramenta para fresamento.

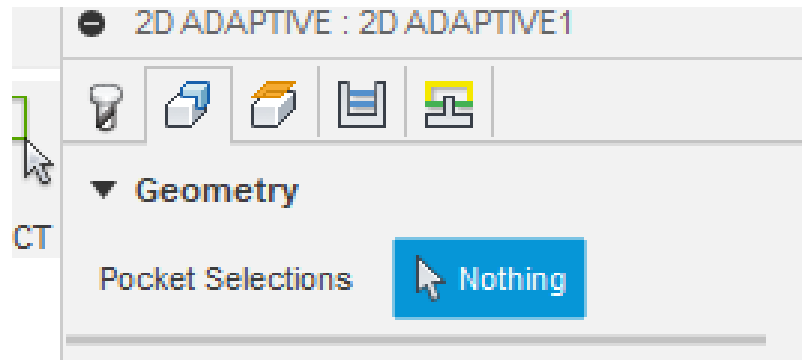
Figura 108-Opção *Type*



Fonte: O Autor (2018)

Para finalizar a configuração de fresamento, seleciona-se as regiões a serem fresadas, com a opção *Pocket Selections*, mostrada na figura 109.

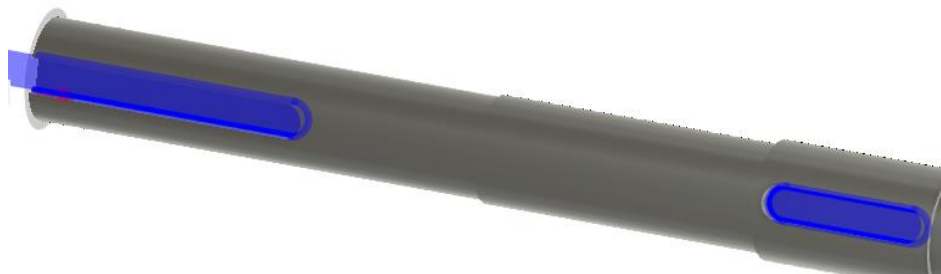
Figura 109-Opção de seleção



Fonte: O Autor (2018)

A figura 110 mostra as regiões que devem ser selecionadas, no caso os rasgos de chaveta.

Figura 110-Seleção das regiões



Fonte: O Autor (2018)

## 3.2 APLICAÇÃO DE ANÁLISE DE TOLERÂNCIAS

### 3.2.1 Análise de Tolerância para os Assentos do Rolamento

A análise foi iniciada calculando as tolerâncias para o assento do rolamento do eixo e do mancal.

Segundo especificações da SKF, os assentos para rolamento apresentam especificações de acordo com o material e carga atuante, logo, foi considerado para o eixo aço maciço e para

o mancal cargas normais e pesadas. As qualidades e zonas de de tolerancia recomendadas estão na tabela 4.

Tabela 4-Tolerâncias Recomendados para Assentos do Rolamento

	D. Nominal	Z. T.	Qualid.
A. Eixo	12,00mm	j	IT6
A. Mancal	28,00mm	J	IT7

Fonte: SKF (2018).

De acordo com a tabela 1 e tabela 2, os diâmetros máximo e mínimo foram calculados e os resultados estão na tabela 5.

Tabela 5-Tolerâncias Calculadas para Assento do Rolamento

	Tolerância	Afastamento	Dimensões
A.Eixo	0,011mm	-0,003mm (inferior)	12,008mm 11,997mm
A. Mancal	0,021mm	0,008mm (superior)	28,008mm 27,987mm

Fonte: O Autor (2018)

### 3.2.2 Análise de Tolerancias das Buchas

Segundo Agostinho (1995), deve-se levar em conta para a análise de tolerância de buchas os diâmetro do assento do eixo, o diâmetro interno e externo da bucha e o diâmetro do assento do mancal.

Os valores recomendados das zonas de tolerância e qualidade estão na tabela 6.



Tabela 6 - Tolerâncias Recomendadas para Buchas

	D. Nominal	Z. T.	Qualid.
A. Eixo	20,00mm	h	IT8
A. Mancal	25,00mm	H	IT7
D. Interno	20,00mm	H	IT9
D.Externo	25,00mm	r	IT6

Fonte: Agostinho (1977).

De acordo com a tabela 1 e tabela 2, obtem-se os diâmetros máximo e mínimo para a bucha e assentos, mostrados na tabela 7.

Tabela 7 - Tolerâncias Calculadas para Buchas

	Tolerância	Afastamento	Dimensões
A.Eixo	0,033mm	0mm (superior)	20,000mm 19,967mm
A.Mancal	0,021mm	0mm (inferior)	25,021mm 25,000mm
D. Interno	0,043mm	0mm(inferior)	20,043mm 20,000mm
D.Externo	0,013mm	0,028mm (inferior)	25,041mm 25,028mm

Fonte: O Autor (2018)

### 3.2.3 Análise de Tolerâncias para Chavetas e Rasgos do Cubo e Eixo

Segundo Agostinho (1995), as tolerâncias recomendadas estão abaixo na tabela 8.

Tabela 8 -Tolerâncias Recomendadas para Chaveta e Rasgos

	Eixo	Cubo	Chaveta
Altura	C11	H11	h11
Largura	R8	H9	h8

Fonte: Agostinho (1995).

#### 3.2.3.1 Análise de Tolerâncias dos Rasgos de Chaveta do Cubo

Os valores dos rasgos nominais dos cubos estão na tabela 9.

Figura 9 - Rasgos Nominais dos Cubos

	Rasgo Cubo Rotor	Rasgo Cubo Rosca/Coroa
Altura	1,5 mm	2,5 mm
Largura	4,0 mm	5,0 mm

Fonte: O Autor (2018)

De acordo com a tabela 1 obtém-se os valores de tolerância dos rasgos nos cubos, mostrados na tabela 10.

Figura 10 -Valores das Tolerâncias Recomendadas para Rasgo do Cubo

	Rasgo Cubo Rotor	Rasgo Cubo Rosca/Coroa
Altura	0,060 mm	0,060 mm
Largura	0,030 mm	0,030 mm

Fonte: Agostinho (1977).

De acordo com a tabela 8, as alturas e larguras dos rasgos do cubo apresentam zona de tolerância H, ou seja, afastamento inferior de 0 mm.

Assim as dimensões dos rasgos nos cubos máximo e mínimo estão na tabela 11.

Tabela 11 -Tolerâncias Calculadas para Rasgos dos Cubos

	Rasgo Cubo Rotor	Rasgo Cubo Rosca/Coroa
Altura	1,560 mm 1,500 mm	2,560 mm 2,500 mm
Largura	4,030 mm 4,000 mm	5,030 mm 5,000 mm

Fonte: O Autor (2018)

### 3.2.3.2 Análise de Tolerâncias de Chavetas

As dimensões nominais estão apresentadas da tabela 12.

Tabela 12-Valores Nominais das Chavetas

	Chaveta Rotor	Chaveta Rosca/Coroa
Altura	4,0 mm	5,0 mm
Largura	4,0 mm	5,0 mm

Fonte: O Autor (2018)

De acordo com a tabela 1, as tolerâncias para as chavetas estão na tabela 13.

Tabela 13- Valores das Tolerâncias para Chavetas

	Chaveta Rotor	Chaveta Rosca/Coroa
Altura	0,075 mm	0,075 mm
Largura	0,018 mm	0,018 mm

Fonte: ABNT-6158 (1994)

Como as chavetas apresentam zona de tolerância h, temos, portanto, um afastamento superior de 0 mm.

Na tabela 14 obteve-se as dimensões máximas e mínimas das chavetas

Tabela 14-Tolerâncias Calculadas para Chavetas

	Chaveta Rotor	Chaveta Rosca/Coroa
Altura	4,000 mm	5,000 mm
	3,925 mm	4,925 mm
Largura	4,000 mm	5,000 mm
	3,982 mm	4,982 mm

Fonte: O Autor (2018)

### 3.2.3.3 Análise de Tolerâncias dos Rasgos de Chaveta do Eixo

Para os rasgos dos eixo, as dimensões nominais estão representados na Tabela 15.

Tabela 15 - Dimensões Nominais dos Rasgos dos Eixos

	Rasgo Eixo Rotor	Rasgo Eixo Rosca/Coroa
Altura	2,5 mm	2,5 mm
Largura	4,0 mm	5,0 mm

Fonte: O Autor (2018)

Na tabela 16 tem-se as tolerâncias.

Tabela 16 -Valores das Tolerâncias para Eixos

	Rasgo Eixo Rotor	Rasgo Eixo Rosca/Coroa
Altura	0,060 mm	0,060 mm
Largura	0,018 mm	0,018 mm

Fonte: ABNT-6158 (1994)

A tabela 17 apresenta os valores e posição dos afastamentos.

Tabela 17- Afastamentos para Rasgos dos Eixos

	Afastamento Rotor	Afastamento Rosca/Coroa
Altura	0,060 mm (inf.)	0,060 mm (inf.)
Largura	-0,015 mm(sup.)	-0,015 mm(sup.)

Fonte: ABNT-6158 (1994)

Portanto, pode-se calcular as dimensões para os rasgos dos eixos, como mostrado na tabela 18.

Tabela 18 – Tolerâncias Calculadas para Rasgos dos Eixos

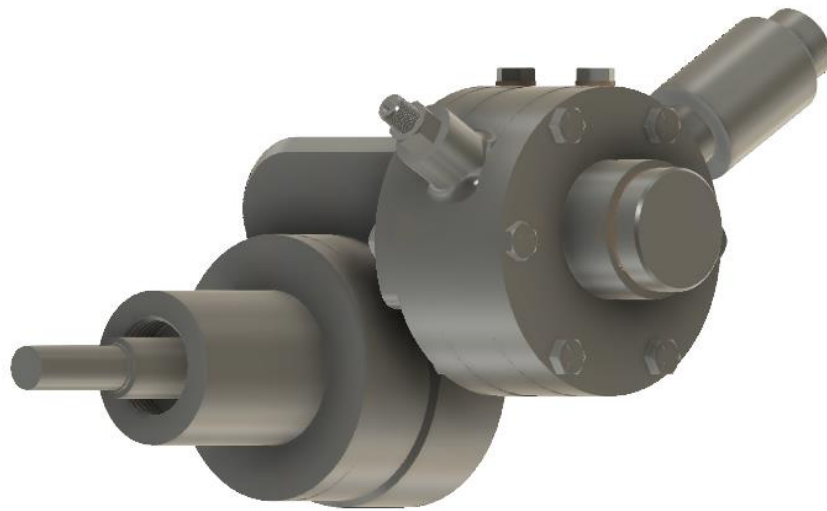
	Rasgo Eixo Rotor	Rasgo Eixo Chaveta Rosca/Coroa
Altura	2,620 mm	2,620 mm
	2,560 mm	2,560 mm
Largura	3,985 mm	4,985 mm
	3,967 mm	4,967 mm

Fonte: O Autor (2018)

## 4 RESULTADOS

A modelagem do moto redutor e sua simulação de movimento foi realizada com sucesso, bem como a simulação de manufatura e as análises de tolerância. Na figura 113, é apresentado o moto redutor em sua vista isométrica.

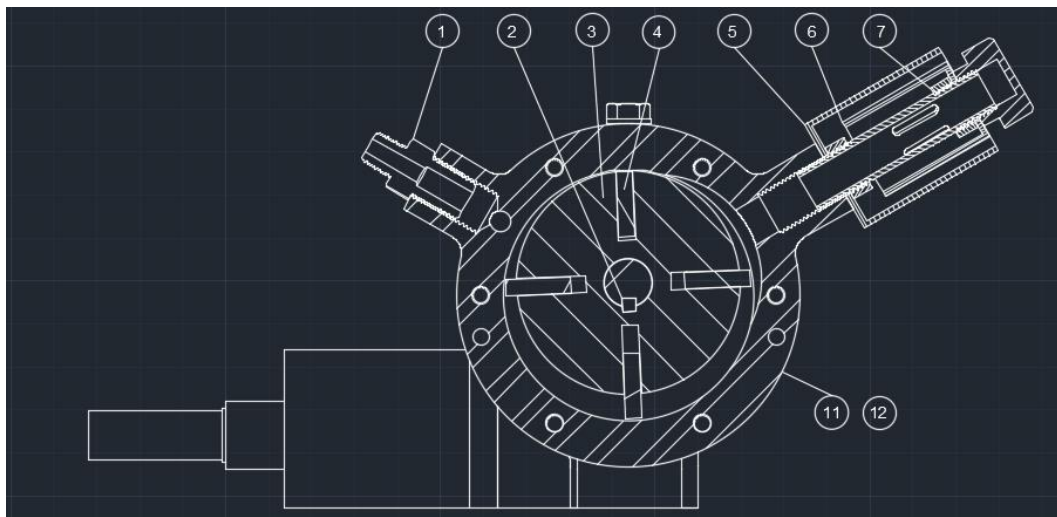
Figura 111-Vista Isométrica do Moto Redutor à Ar Comprimido



Fonte: O Autor (2018)

Na figura 112 é apresentado uma vista em corte do conjunto do moto redutor à ar comprimido.

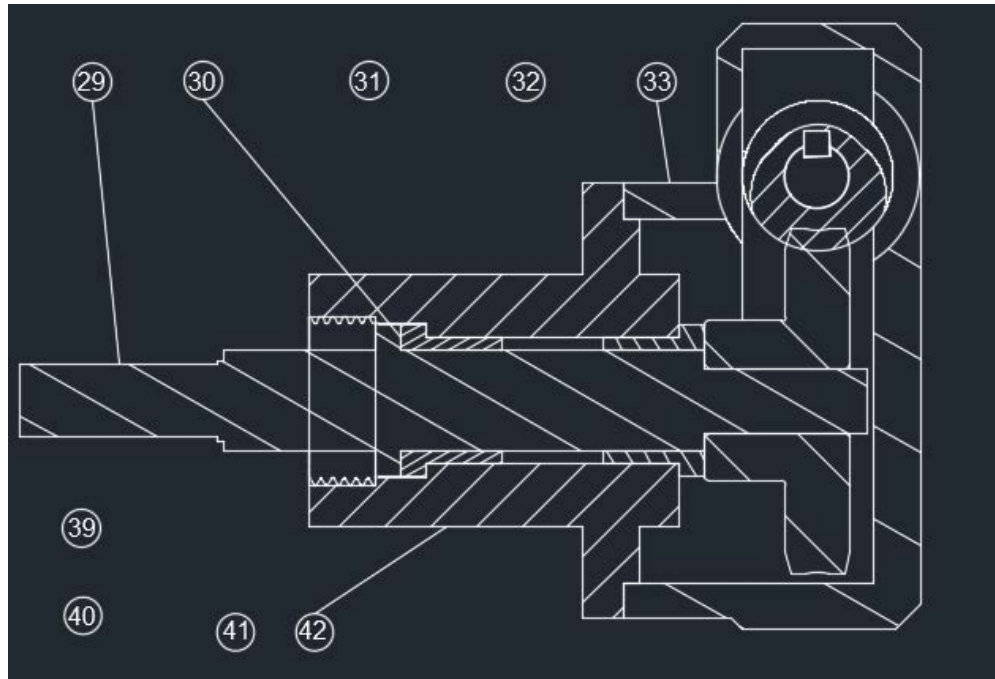
Figura 112-Vista do Corte 1



Fonte: O Autor (2018)

Na figura 113 é apresentado outra vista em corte do conjunto.

Figura 113-Vista do Corte 2



Fonte: O Autor (2018)

Na modelagem dos componentes explicados no tutorial, necessitou-se fazer algumas adaptações. A primeira delas foi a rosca sem fim e coroa.

O fusion 360 carece de recursos de modelagem de roscas e engrenagens, diferente de outros softwares de modelagem como o Autodesk™ Inventor, por exemplo, que conta com o aplicativo *Gear Generator*, em que é possível criar diferentes sistemas de engrenagem personalizados apenas entrando com os parâmetros dimensionais.

Em contrapartida, ele oferece uma biblioteca de componentes catalogados o *McMaster-Carr Component* cujos componentes podem ser adicionados à modelagem.

No projeto foi estabelecido uma coroa de 2,5'' de diâmetro primitivo, trinta dentes e pitch de 12 e uma rosca sem fim com 1'' de diâmetro primitivo de duas entradas.

No catálogo do software havia apenas disponível para essas configurações uma rosca sem fim de uma entrada, ou seja, houve uma mudança na relação de transmissão passando da relação de 1:15, estipulada em projeto, para 1:30.

No desenho do projeto para as dimensões da rosca e coroa é usado o sistema de polegadas; já para o furo e rasgo de chaveta dos cubos é usado o sistema métrico.

Então, fazendo a conversão do diâmetro do furo da rosca e coroa do catalogo chegamos a um valor nominal de 12,7 mm, portanto, por questão de ajuste, o eixo também deve ter um valor nominal de 12,7 mm e não mais 12,0 mm, como previsto no projeto.

Com a mudança dos diâmetros dos eixos, foi necessário, também, uma mudança dos rasgos e chavetas.

Segundo Norton (2013) as dimensões recomendadas de chavetas paralelas estão na tabela 19.

Tabela 19-Recomendações para Chavetas

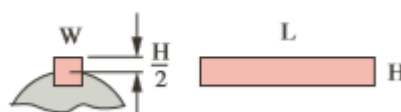
Tabela 10-2 Chavetas padronizadas e tamanhos de parafusos para eixos com dimensões US e métricas				
Diâmetro do eixo (in)	Largura nominal da chaveta (in)	Diâmetro do parafuso (in)	Diâmetro do eixo (mm)	Largura x altura da chaveta (mm)
$0,312 < d \leq 0,437$	0,093	#10	$8 < d \leq 10$	$3 \times 3$
$0,437 < d \leq 0,562$	0,125	#10	$10 < d \leq 12$	$4 \times 4$
$0,562 < d \leq 0,875$	0,187	0,250	$12 < d \leq 17$	$5 \times 5$
$0,875 < d \leq 1,250$	0,250	0,312	$17 < d \leq 22$	$6 \times 6$
$1,250 < d \leq 1,375$	0,312	0,375	$22 < d \leq 30$	$8 \times 7$
$1,375 < d \leq 1,750$	0,375	0,375	$30 < d \leq 38$	$10 \times 8$
$1,750 < d \leq 2,250$	0,500	0,500	$38 < d \leq 44$	$12 \times 8$
$2,250 < d \leq 2,750$	0,625	0,500	$44 < d \leq 50$	$14 \times 9$
$2,750 < d \leq 3,250$	0,750	0,625	$50 < d \leq 58$	$16 \times 10$
$3,250 < d \leq 3,750$	0,875	0,750	$58 < d \leq 65$	$18 \times 11$
$3,750 < d \leq 4,500$	1,000	0,750	$65 < d \leq 75$	$20 \times 12$
$4,500 < d \leq 5,500$	1,250	0,875	$75 < d \leq 85$	$22 \times 14$
$5,500 < d \leq 6,500$	1,500	1,000	$85 < d \leq 95$	$25 \times 14$

Fonte: Norton (2013).

Portanto, as chavetas para a coroa e rosca sem fim que inicialmente eram de 4,0 mm, passaram a ser 5,0 mm.

Para os rasgos, as larguras estipuladas eram de 4,0 mm, passando também para 5,0 mm e a profundidade dos rasgos recomendados terá metade da altura da chaveta, ou seja, 2,5 mm, como mostrado na figura 114.

Figura 114-Dimensão recomendada para rasgo de chaveta

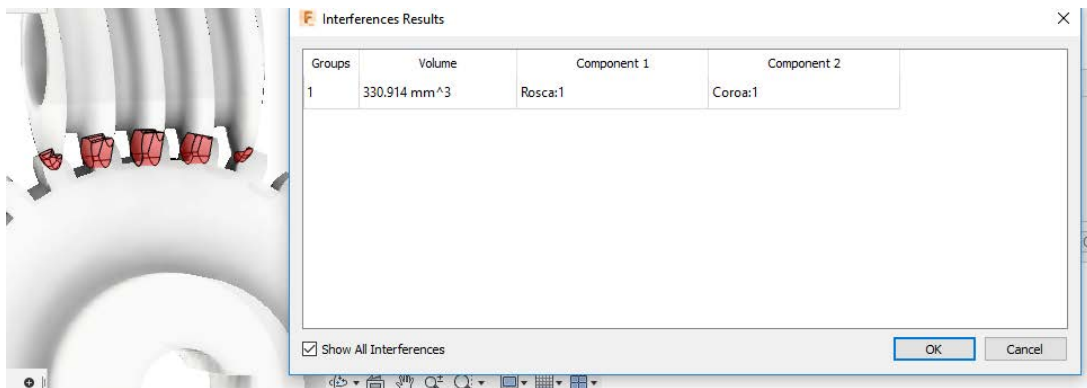


Fonte: Norton (2013).

Ainda em relação a modelagem, a rosca sem fim e coroa apresentam interferência no engrenamento, como mostrado na figura 115.

Isso faz com que uma possível análise em ambiente CAE do equipamento não seja possível, como a realização do trabalho não contou com a simulação CAE, então não se preocupou com a tentativa de aliviar essas interferências.

Figura 115-Intereferência entre rosca sem fim e coroa



Fonte: O Autor (2018)

Em termos de simulação de movimento, a interferência só impossibilita a escolha da opção *Enable Set Contacts*, em que o movimento ocorre com o contato entre os componentes, deixando a simulação mais próxima do real.

Entretanto o software oferece a opção *Motion Link*, em que se configura um movimento para a coroa e outro para a rosca sem fim e uma relação entre os movimentos, sendo essa relação de 30:1, ou seja, a relação de redução.

Para a simulação CAM foram apresentadas as principais ferramentas para simulação, assim como a manufatura do eixo da rosca sem fim.

As opções fornecidas por esse ambiente são permitidas as simulações de condições de equipamentos de usinagem. Não foi usado nenhum tipo de fresadora ou torno como referência que possibilitasse a simulação desse equipamentos, assim, as velocidades de avanço, de corte, fluidos refrigerantes não foram parametrizadas, utilizando apenas os parâmetros *standart* do software, portanto, não avaliando a influência na simulação.



## 5 CONCLUSÃO

A modelagem do projeto de um moto redutor à ar comprido no software Autodesk™ Fusion 360 além de ter promovido o apredizado das ferramentas, permitiu o contato com decisões para a viabilização e funcionamento do protótipo, como a adequação da dimensão do diâmetro do assento do eixo da rosca sem fim, que é um produto de catálogo oferecido pela loja *McMaster-Carr*, bem como as dimensões das larguras dos rasgos de chaveta desses componentes, visando a intercambiabilidade entre um componente manufaturado, no caso o eixo, e um componente catalogado, caso da rosca sem fim. Nesse contexto, o conceito de intercambiabilidade se torna de grande importância, uma vez que o mercado oferece uma gama de possibilidades que facilitam, viabilizam e diminuem o custo do projeto em relação a um cenário em que os componentes têm a necessidade de serem manufaturados de forma independente, ou seja, que não são provenientes de uma produção de grande escala.

A partir do que foi dito, o conceito de prototipagem virtual torna-se útil e importante por estabelecer a interface entre a viabilização do projeto e elementos mecânicos oferecidos no mercado. O Fusion 360 vem exatamente com essa proposta de oferecer acesso aos mais variados componentes e a possibilidade de testá-los no projeto de forma virtual, simulando o comportamento do protótipo.

Além disso, a possibilidade de modelagem no software permitiu o conhecimento sobre algumas limitações e recursos alternativos, como o caso da interferência entre rosca sem fim e coroa que pelo fato de serem importados e de difícil engrenamento prejudica tanto uma futura análise em CAE como uma simulação mais precisa de movimento, utilizando a ferramenta *enable all contact sets*. Em contrapartida o software oferece a possibilidade de relacionar o movimento independente dos componentes através da opção *Motion Link*, não comprometendo a simulação de movimento.

Portanto, aliando essa importante ferramenta de simulação com conhecimentos técnicos mecânicos, como exemplo do que foi feito para a análise de tolerâncias, a concepção do projeto torna-se ainda mais fácil.

## REFERÊNCIAS

AGOSTINHO,OSWALDO L.**Tolerâncias, ajustes, desvios e análise de dimensões.** São Paulo: Edgard Blucher.1977.

AUTODESK.**Autodesk Fusion 360.** Diposnível em: <<https://www.autodesk.com.br/>>. Acesso em:20 jun,2018.

ENGRENAGENSIPOJUCA. **Engrenagem de Dentes Retos.** Disponível em: <<http://www.engrenagensipojuca.com.br/>>. Acesso em:20 jun,2018.

HYDRACOMPANY. **Bombas Hidráulicas.** Disponível em: <<http://www.hydracompany.com.br/>>. Acesso em:20 jun,2018.

KAZIPNM. **Motores Pneumáticos.** Disponível em: <<https://www.kazipnm.com.br/>>. Acesso em: 20 jun,2018.

NORTON,ROBERT L. **Projeto de máquinas:**uma abordagem integrada. Porto Alegre:Bookman.2013

PFLEIDERER.**Máquinas de Fluxo.** Rio de Janeiro:Livros Tecnicos e Cientificos, 1979.

POZELLI.IND. **Engrenagens Pozelli.** Disponível em:<<http://www.pozelli.ind.br/>>.Acesso em:20 jun,2018.

PROVENZA, FRANCESCO.**Desenhista de Máquinas.** São Paulo: Pro-tec,1978.7-35p.

RK. **Componentes Industriais.** Disponível em:<<https://www.rk.com.br/>>. Acesso em:20 jun,2018.

SKF.**Rolamentos Rígidos de Esfera.** Disponível em:<<http://www.skf.com>>.Acesso em:20 jun,2018.

WEG. **Hidrogeradores.** Disponível em: <<https://www.weg.net>>.Acesso em: 20 jun, 2018.

