

ANDRÉ OLIVEIRA KÖHN

**Criação e Modelização de Diferentes Tipos de Rolamentos com o
uso do Software de Modelagem 3D Fusion360**

Guaratinguetá - SP
2017

Andé Oliveira Köhn

**Criação e Modelização de Diferentes Tipos de Rolamentos com o
uso do Software de Modelagem 3D Fusion360**

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
2017

K79c Köhn, André Oliveira
Criação e modelização de diferentes tipos de rolamentos com o uso do software de modelagem 3D Fusion360 / André Oliveira Köhn – Guaratinguetá, 2017.
62 f : il.
Bibliografia: f. 61-62

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2017.
Orientador: Prof. Dr. Fernando de Azevedo Silva

1. Rolamentos. 2. Software. 3. Imagem tridimensional. I. Título

CDU 621.822.8


Luciana Máximo

Bibliotecária/CRB-8 3595

André Oliveira Köhn

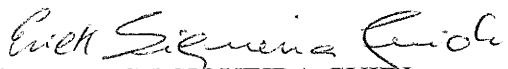
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

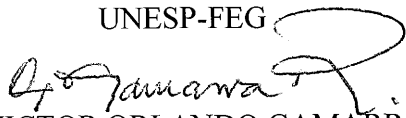
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


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


Prof. Dr. ERICK SIQUEIRA GUIDI
UNESP-FEG


Prof. Dr. VICTOR ORLANDO GAMARRA ROSADO
UNESP-FEG

Dezembro, 2017

DADOS CURRICULARES

ANDRÉ OLIVEIRA KÖHN

NASCIMENTO	18.10.1993 – Itanhandu / Minas Gerais
FILIAÇÃO	Afonso Celso Gomes Köhn Janice Maria Oliveira Köhn
2012/2017	Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, pela Universidade Estadual Paulista, Campus de Guaratinguetá

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que, cada um à sua maneira, me ajudaram durante esses 6 anos de graduação. Minha família, meus amigos, professores e funcionários da FEG, sem eles certamente eu não chegaria onde estou neste momento.

Agradeço especialmente ao *Prof. Dr. Fernando de Azevedo Silva*, não somente pelo auxílio durante a elaboração deste Trabalho de Graduação, mas também pelas longas conversas, pela confiança depositada em mim, e por todos os conselhos e ajuda durante este ano.

“Amar e mudas as coisas me interessam mais”

Belchior

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi construir e roteirizar modelos de rolamentos a partir de dados reais. Através do catálogo fornecido pela fabricante, foram construídos cinco modelos de rolamentos diferentes, utilizando o software Fusion360 da Autodesk. Também foi feita uma apresentação deste software, demonstrando suas características e vantagens em relação aos demais programas disponíveis no mercado. O principal resultado deste trabalho é a apresentação dos 5 roteiros para construção dos rolamentos, documentos que podem servir de base para reprodução futura destas mesmas peças.

PALAVRAS-CHAVE: Rolamento. CAD. Fusion360. NSK.

ABSTRACT

The main objective of this study was to build and create 3D models of different bearings using real data. Using the catalogue provided by the manufacturer, five different kinds of bearings were built, using the 3D Software Fusion360 by Autodesk. In this study, some characteristics and benefits that this program could bring are presented, when compared with similar softwares in the market. The main results of this study are the five guides on how to create the bearings step-by-step. These guides can be useful for creating 3D bearings with Fusion360.

KEYWORDS: Bearing. CAD. Fusion360. NSK.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxo de software.....	12
Figura 2 - Menu Fusion360.	14
Figura 3 - Simulações Fusion360.	15
Figura 4 - Características do Fusion360.	17
Figura 5 - Estratificação dos Rolamentos Radiais.....	17
Figura 6 - Estratificação dos Rolamentos Axiais.	18
Figura 7 - Dimensões principais de um rolamento radial.....	18
Figura 8 - Folga Radial.	19
Figura 9 - Características dos materiais de um rolamento.	19
Figura 10 - Rolamento Radial de Rolos Esféricos.	20
Figura 11 - Força radial.	21
Figura 12 - Rolamento Axial de Esferas.	21
Figura 13 - Força Axial.	21
Figura 14 - Rolamento de Rolos Cilíndricos.	22
Figura 15 - Rolamento Autocompensador de Esferas.	22
Figura 16 - Ângulo de contato de um rolamento autocompensador de esferas.....	23
Figura 17 - Rolamento de Rolos Cônicos.....	23
Figura 18 - Ângulo de contato de um rolamento de rolos cônicos.....	23
Figura 19 - Corte 2D para rolamento de esferas radial.	25
Figura 20 - Sketch para rolamento de esferas radial.	26
Figura 21 - Criação dos anéis 1.	27
Figura 22 - Criação dos anéis 2.	28
Figura 23 - Criação das esferas 1.	28
Figura 24 - Criação das esferas 2.	29
Figura 25 - Criação da vedação 1.	29
Figura 26 - Criação da gaiola 1.	30
Figura 27 - Criação da gaiola 2.	30
Figura 28 - Criação da gaiola 3.	31
Figura 29 - Criação da gaiola 4.	31
Figura 30 - Criação da gaiola 5.	32
Figura 31 - Criação da gaiola 6.	32
Figura 32 - Criação da gaiola 7.	33
Figura 33 - Criação da gaiola 8.	33
Figura 34 - Criação da gaiola 9.	34
Figura 35 - Criação da gaiola 10.	34
Figura 36 - Criação da gaiola 11.	35
Figura 37 - Criação da gaiola 12.	35
Figura 38 - Criação da gaiola 13.	35
Figura 39 - Criação da gaiola 14.	36
Figura 40 - Rolamento radial de esferas final.	36
Figura 41 - Corte 2D para rolamento de esferas axial.	37
Figura 42 - Sketch para rolamento de esferas axial.	38
Figura 43 - Criação dos anéis 1.	38
Figura 44 - Criação dos anéis 2.	39
Figura 45 - Criação das esferas 1.....	39
Figura 46 - Criação das esferas 2.....	39

Figura 47 - Criação da gaiola 1.	40
Figura 48 - Criação da gaiola 2.	40
Figura 49 - Criação da gaiola 3.	40
Figura 50 - Rolamento axial de esferas final.	41
Figura 51 - Corte 2D para rolamento autocompensador de esferas.	42
Figura 52 - Sketch para rolamento autocompensador de esferas.	43
Figura 53 - Criação dos anéis 1.	44
Figura 54 - Criação dos anéis 2.	44
Figura 55 - Criação das esferas 1.	45
Figura 56 - Criação das esferas 2.	45
Figura 57 - Criação das esferas 3.	45
Figura 58 - Criação da gaiola 1.	46
Figura 59 - Criação da gaiola 2.	46
Figura 60 - Criação da gaiola 3.	46
Figura 61 - Criação da gaiola 4.	47
Figura 62 - Criação da gaiola 5.	47
Figura 63 - Criação da gaiola 6.	48
Figura 64 - Criação da vedação 1.	48
Figura 65 - Rolamento autocompensador de esferas final.	48
Figura 66 - Corte 2D para rolamento de rolos cilíndricos de uma carreira.	50
Figura 67 - Sketch para rolamento de rolos cilíndricos de uma carreira.	50
Figura 68 - Criação dos anéis.	51
Figura 69 - Criação dos rolos cilíndricos 1.	51
Figura 70 - Criação dos rolos cilíndricos 2.	52
Figura 71 - Criação da vedação.	52
Figura 72 - Criação da gaiola 1.	53
Figura 73 - Criação da gaiola 2.	53
Figura 74 - Criação da gaiola 3.	53
Figura 75 - Rolamento de rolos cilíndricos final.	54
Figura 76 - Corte 2D para rolamento rolos cônicos.	55
Figura 77 - Sketch para rolamento de rolos cônicos.	56
Figura 78 - Criação dos anéis 1.	56
Figura 79 - Criação dos rolos cônicos 1.	57
Figura 80 - Criação dos rolos cônicos 2.	57
Figura 81 - Criação da gaiola 1.	58
Figura 82 - Criação da gaiola 2.	58
Figura 83 - Criação da gaiola 3.	59
Figura 84 - Rolamento de rolos cônicos final.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre preços de diferentes softwares.	16
Tabela 2 - Requisitos mínimos para o Fusion360.	16
Tabela 3 - Requisitos mínimos para utilização das versões mais recentes de cada software... ..	16
Tabela 4 - Tabela de dimensões para rolamento de esferas radial.	24
Tabela 5 - Folga interna para rolamento de esferas radial.....	25
Tabela 6 - Tabela de dimensões para rolamento de esferas axial.....	37
Tabela 7 - Tabela de dimensões para rolamento autocompensador de esferas.	41
Tabela 8 - Folga interna para rolamento autocompensador de esferas.....	42
Tabela 9 - Tabela de dimensões para rolamento de rolos cilíndricos de uma carreira.....	49
Tabela 10 - Folga interna para rolamento de rolos cilíndricos de uma carreira.	49
Tabela 11 - Tabela de dimensões para rolamento de rolos cônicos.	54
Tabela 12 - Folga interna para rolamento rolos cônicos.	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	INTRODUÇÃO AO TEMA	12
1.2	OBJETIVOS E MOTIVAÇÃO	12
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	13
2	MATERIAL E MÉTODOS	14
2.1	O SOFTWARE	14
2.2	TEORIA DOS ROLAMENTOS	17
2.2.1	Modelos e definição de rolamentos	17
2.2.2	Dimensões e identificação	18
2.2.3	Folga Interna do Rolamento	19
2.2.4	Material dos rolamentos	19
2.2.5	Descrição dos rolamentos	20
2.2.5.1	Rolamento Radial de Rolos Esféricos	20
2.2.5.2	Rolamento Axial de Esferas	21
2.2.5.3	Rolamento de Rolos Cilíndricos	22
2.2.5.4	Rolamento Autocompensador de Esferas	22
2.2.5.5	Rolamento de Rolos Cônicos	23
3	DESENVOLVIMENTO	24
3.1	ROTEIRO DOS ROLAMENTOS	24
3.1.1	Roteiro para criação de rolamento de esferas radial de uma carreira	24
3.1.1.1	Passo 1: Criação do sketch básico	25
3.1.1.2	Passo 2: Criação dos anéis interno e externo por revolução	26
3.1.1.3	Passo 3: Criação das esferas	28
3.1.1.4	Passo 4: Criação da vedação	29
3.1.1.5	Passo 5: Criação da gaiola	29
3.1.2	Roteiro para criação de rolamento de esferas axial de uma carreira	36
3.1.2.1	Passo 1: Criação do sketch básico	37
3.1.2.2	Passo 2: Criação dos anéis interno e externo por revolução	38
3.1.2.3	Passo 3: Criação das esferas	39
3.1.2.4	Passo 4: Criação da gaiola	40
3.1.3	Roteiro para criação de rolamento autocompensador de esferas	41
3.1.3.1	Passo 1: Criação do sketch básico	42
3.1.3.2	Passo 2: Criação dos anéis interno e externo por revolução	43
3.1.3.3	Passo 3: Criação das esferas	44
3.1.3.4	Passo 4: Criação da gaiola	46
3.1.3.5	Passo 5: Criação da vedação	48
3.1.4	Roteiro para criação de rolamento de rolos cilíndricos de uma carreira	49
3.1.4.1	Passo 1: Criação do sketch básico	50
3.1.4.2	Passo 2: Criação dos anéis interno e externo por revolução	51
3.1.4.3	Passo 3: Criação dos rolos cilíndricos	50
3.1.4.4	Passo 4: Criação da vedação	52
3.1.4.5	Passo 5: Criação da gaiola	52
3.1.5	Roteiro para criação de rolamento de rolos cônicos de uma carreira	54
3.1.5.1	Passo 1: Criação do sketch básico	55
3.1.5.2	Passo 2: Criação dos anéis interno e externo por revolução	56
3.1.5.3	Passo 3: Criação dos rolos cônicos	57
3.1.5.4	Passo 4: Criação da gaiola	57
4	CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	60
	REFERÊNCIAS	61
	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	62

1 INTRODUÇÃO

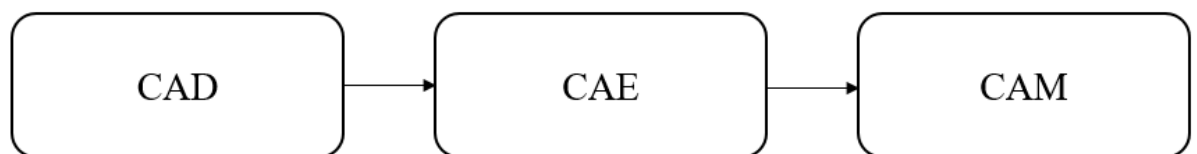
1.1 INTRODUÇÃO AO TEMA

O desenvolvimento tecnológico transformou o computador em uma ferramenta imprescindível no meio acadêmico e industrial. Sua existência significa um novo mundo de possibilidades, onde os envolvidos terão em mãos uma máquina capaz de desenhar e produzir os produtos desejados de maneira muito mais precisa e abrangente. Com isso, o advento do conceito de modelagem 3D transformou o mundo da Engenharia Mecânica permanentemente.

“Modelagem 3D é o processo que usa software para criar uma representação matemática de um objeto ou forma tridimensional. O objeto criado é chamado de modelo 3D, e tais modelos são usados em vários setores. Os setores de cinema, televisão, videogames, arquitetura, construção, desenvolvimento de produtos, ciências e medicina usam modelos 3D para visualizar, simular e renderizar projetos gráficos.”. (Autodesk)

Esta tecnologia permitiu o surgimento de diversos softwares especializados em CAD (*computer aided design*), focado na concepção e no desenho do produto; em CAE (*computer aided engineering*), especializados na simulação e análise de situações para auxílio na tomada de decisões; em CAM (*computer aided manufacturing*), responsável pelo controle do equipamento no processo de fabricação. Em resumo, um produto é originalmente concebido através de um software CAD, é analisado e testado por um software CAE, e colocado em funcionamento por um software CAM.

Figura 1 - Fluxo de software.



Fonte : Autor.

Segundo Nanni (2016), o domínio da tecnologia é essencial para a superação dos desafios do mercado.

1.2 OBJETIVOS E MOTIVAÇÃO

O principal objetivo deste trabalho é a **construção de diferentes tipos de rolamentos através do software de modelização mecânica Fusion360, acompanhado de um roteiro**

para reprodução futura dos casos estudados. Com isso, futuramente professores e instituições podem ver no Fusion360 uma boa opção para a introdução de conceitos CAD para estudantes de engenharia, aliando à aplicações em Elemento de Máquinas e disciplinas semelhantes.

Este tema foi escolhido devido ao meu grande interesse por modelização mecânica, e pela minha boa experiência com a disciplina Elementos de Máquinas durante minha graduação. Senti que a teoria sobre rolamentos foi pouco explorada durante a graduação, e vi neste trabalho de graduação uma oportunidade de aprofundar estes conhecimentos, e ao mesmo tempo preparar para estudos futuros, como na análise de fadiga superficial em rolamentos.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho de graduação será dividido em 4 capítulos:

- Na **Introdução** (capítulo 1), estão apresentados uma breve descrição dos benefícios que o estudo de modelização mecânica através de um Software CAD traz ao ensino de engenharia, e também apresentam-se os objetivos e motivações para a construção deste trabalho.
- Em **Materiais e Métodos** (capítulo 2), é feita uma apresentação do software Fusion 360, além de um estudo breve sobre a teoria de rolamentos, que foi usada para a modelização dos modelos feitos neste trabalho.
- No **Desenvolvimento** (capítulo 3), são mostrados os roteiros para construção dos cinco modelos rolamentos escolhidos.
- Na **Conclusão e Sugestões para Próximos Trabalhos** (capítulo 4), é visto um resumo do que este Trabalho de Graduação apresentou, justificando sua criação, além de dicas e recomendações para futuros trabalhos sobre o tema.

2 MATERIAL E MÉTODOS

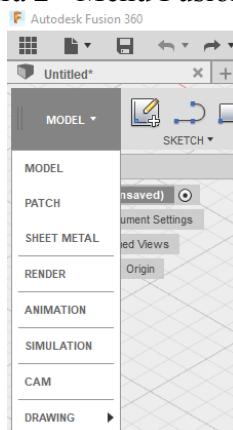
2.1 O SOFTWARE

No mercado atual existem diversas ferramentas CAD (*computer aided design*) disponíveis. Neste contexto, o Fusion360, software desenvolvido pela Autodesk, surgiu em 2013 com uma proposta inovadora e única, através da conexão entre todo o processo criativo em uma única plataforma em “nuvem”. As ferramentas disponibilizadas pelo Fusion360 permitem um ambiente de colaboração na concepção do produto, pois qualquer alteração no design da peça será salva na nuvem, e assim poderá ser acessada por qualquer outra pessoa com acesso ao processo.

O Fusion360 se destaca pelas características:

- Opera através da nuvem: o software não depende da potência do PC, pois utiliza os servidores da Autodesk. O programa instalado no PC é apenas uma interface que funciona como uma “janela” para que todos possam manipular o arquivo. Esta característica permite que usuários de Windows e MAC não sofram nenhuma impedimento, podendo trabalhar em conjunto no mesmo arquivo. Isto também permite que o Fusion360 seja um software muito mais leve, quando comparado aos outros softwares CAD que geralmente exigem muito da potência do PC.
- Colaborativo: o desenvolvimento do software visou permitir que o produto criado pudesse ser manipulado e revisado por diversas pessoas, a partir de diversos lugares. Sendo assim, o Fusion360 se destaca por permitir que toda a equipe do projeto participe a partir de seu próprio dispositivo, sendo possível inclusive a criação de um *chat* dentro da interface do projeto, onde todas as pessoas participantes podem discutir e se comunicar.
- Simulação e renderização: o Fusion360 não se limita apenas a criação do design do produto. Ele permite a simulação do projeto em casos reais, calculando como o projeto se comportaria quando submetido a forças pré-determinadas. Como mostrado figura 2, o software possui uma área dedicada a renderização, animação, simulação e CAM (*computer aided manufacturing*).

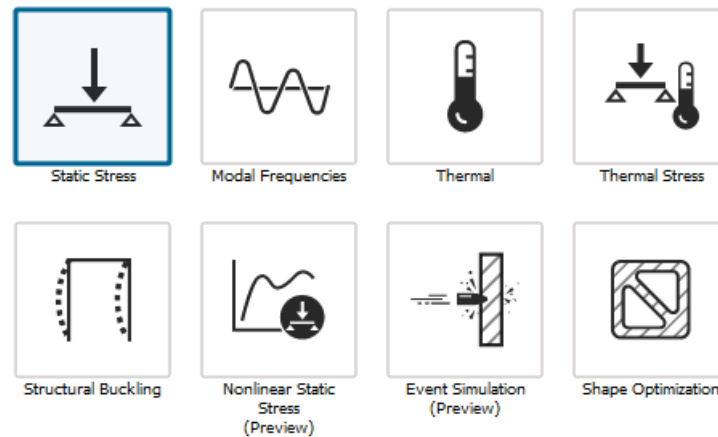
Figura 2 - Menu Fusion360.



Fonte : AUTODESK (2017)

A área dedicada a simulação disponibiliza diversos estudos de caso diferentes, como mostrado na figura 3:

Figura 3 - Simulações Fusion360.



Fonte : AUTODESK (2017)

- ☐ Tensão estática: análise de tensões e deformações quando o corpo é submetido a forças estáticas.
 - ☐ Frequências modais: determinação das frequências modais de um corpo submetido a uma vibração.
 - ☐ Simulação térmica: análise de como o corpo responde quando submetido a condições térmicas.
 - ☐ Tensão térmica: determinação das distribuições de temperaturas e de tensões quando o corpo é submetido a carregamentos estruturais e térmicos.
 - ☐ Flambagem: determinação dos modos de flambagem do modelo.
 - ☐ Tensão não-linear estática: análise das tensões e deformações de um modelo causado por carregamentos, considerando características não-lineares de um material
 - ☐ Simulação de evento: determinação de como o modelo responderá em um evento dinâmico.
 - ☐ Otimização do formato: melhoria das características do modelo baseado nos carregamentos e nas condições aplicadas à geometria.
- Gratuidade: o software é disponibilizado gratuitamente para estudantes, startups e desenhistas. Em relação a obtenção da licença paga do Fusion360, o software se destaca por ser consideravelmente mais barato que demais programas, como mostrado na tabela 1, onde são comparados os preços de assinatura de 3 programas da Autodesk:

Tabela 1 - Comparação entre preços de diferentes softwares.

Comparação entre Softwares CAD		
	Mensal	Anual
Fusion360	\$40	\$300
Inventor	\$235	\$1890
Autocad	R\$538,94	R\$4353,01

Fonte : Autor.

Obs: entre os 3 softwares citados na tabela 1, o Fusion360 é o mais limitado em relação a suas funções. Porém, para casos mais simples, o Fusion360 pode realizar as mesmas tarefas dos demais.

- Acessibilidade: arquivos do Fusion360 podem ser visualizados em diversos dispositivos, como celulares (Android/IOS), computadores (Windows/MAC e tablets).
- Leveza: o Fusion360 é significativamente mais leve do que outros programas semelhantes, como mostrado nas tabelas 2 e 3.

Tabela 2 - Requisitos mínimos para o Fusion360.

Software	Sistema Operacional	RAM	Espaço em disco
Fusion360	Windows 7 64-bit	3GB RAM	~2,5GB

Fonte : Autor.

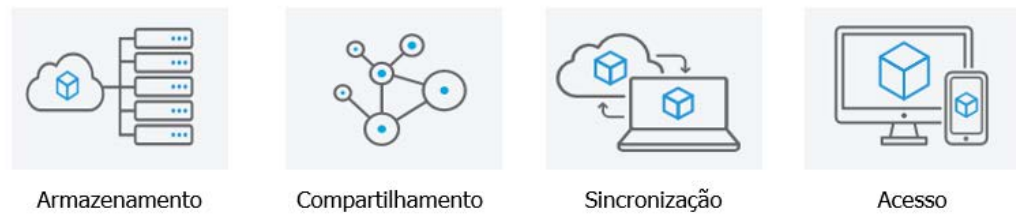
Tabela 3 - Requisitos mínimos para utilização das versões mais recentes de cada software.

Software	Sistema operacional	RAM	Espaço em disco
Inventor 2016	Windows 7 64-bit	8 GB	100 GB
CREO 3.0	Windows 7 32-bit	3 GB	Dados não disponíveis
CATIA 3D exp.	Windows 7 32-bit	8 GB	Dados não disponíveis
SolidWorks 2016	Windows 7 64-bit	8 GB	5 GB
NX 10.0	Windows 7 64-bit	2 GB	5.6 GB
Solid Edge ST8	Windows 7 64-bit	2 GB	4 GB

Fonte : NANNI, (2016)

Em geral, o Fusion360 se destaca por sua inovação, posicionando-se no mercado como um software que respondeu as mudanças tecnológicas no armazenamento e acesso, criando uma nova forma de criação de desenhos CAD.

Figura 4 - Características do Fusion360.



Fonte : AUTODESK (2017)

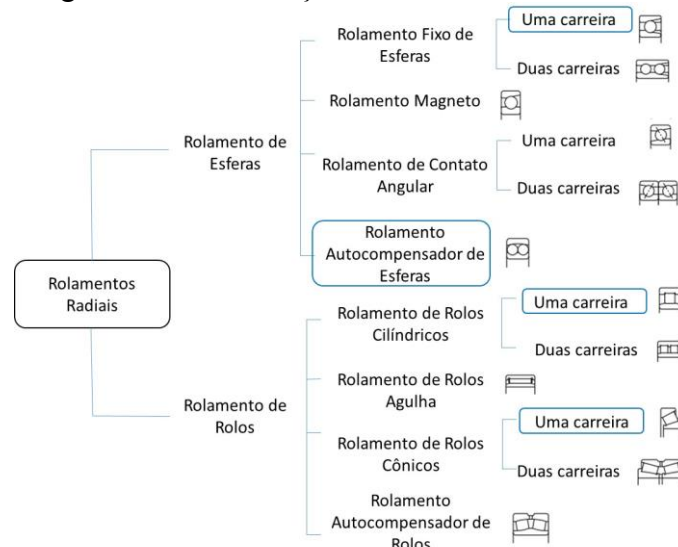
2.2 TEORIA DOS ROLAMENTOS

2.2.1 Modelos e definição de rolamentos

Os rolamentos são componentes que exercem função primordial na mecânica. A partir deles, é possível produzir um movimento relativo entre duas ou mais partes (como o movimento entre um rolamento e um eixo). São constituídos geralmente por anéis, gaiolas e corpos rolantes que permitirão este movimento. Podem ser usados em conjunto com um mancal fixo, trabalhando para que um eixo se movimente com menor atrito.

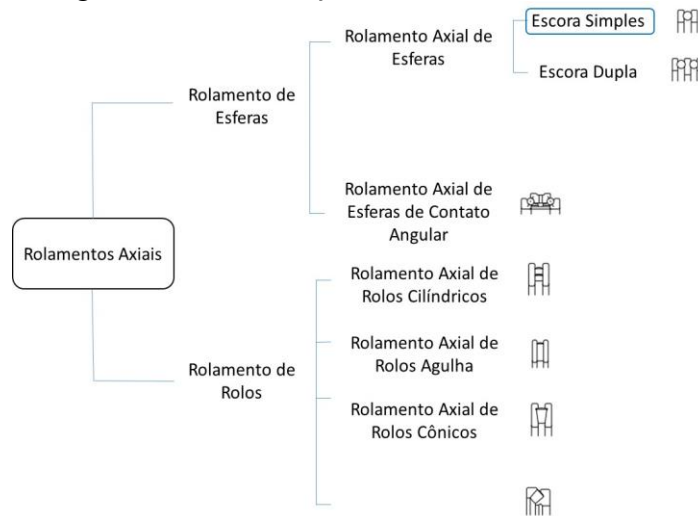
Os rolamentos são divididos segundo seu tipo de carga (axial ou radial), seus corpos rolantes (esferas, rolos, cilindros, etc), como também segundo a configuração de suas partes. Nas figura 5 e 6, é apresentado uma estratificação simplificada de diversos modelos de rolamentos existentes no mercado, de acordo com o catálogo da NSK. Os rolamentos em destaque foram explorados neste trabalho.

Figura 5 - Estratificação dos Rolamentos Radiais.



Fonte : NSK (2013)

Figura 6 - Estratificação dos Rolamentos Axiais.



Fonte : NSK (2013)

2.2.2 Dimensões e identificação

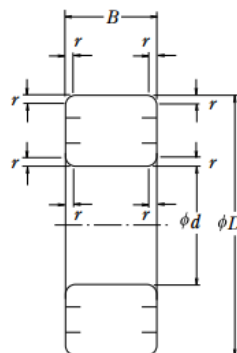
Antes de definir os rolamentos escolhidos, é importante descrever o conceito de *dimensões principais* de um rolamento. A NSK define cinco medidas como dimensão principal no rolamento. São elas:

- Diâmetro do Furo **d**
- Diâmetro externo **D**
- Largura **B**
- Largura de Montagem **T**
- Chanfro **r**

Essas 5 medidas são amplamente descritas e especificadas em todo o catálogo NSK por meio de tabelas, regulamentadas pela norma internacional *ISO 15* e *JIS B 1512* (JIS: Japanese Industrial Standards). Qualquer dimensão diferente destas só poderá ser obtida por medidas analíticas, aproximação, ou entrando em contato com a fabricante.

Os rolamentos produzidos em 3D neste trabalho foram construídos a partir destas 5 dimensões principais, enquanto as outras medidas foram obtidas por aproximação do autor.

Figura 7 - Dimensões principais de um rolamento radial.



Fonte NSK (2013)

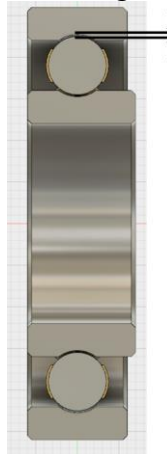
2.2.3 Folga Interna do rolamento

Durante a montagem de um rolamento, deve-se prever uma folga interna entre a esfera e os anéis, isto é:

“(...) o jogo entre o anel interno, anel externo e os corpos rolantes (...) fixando qualquer um dos anéis, interno ou externo, a folga é a intensidade de deslocamento do outro anel, quando movimento para cima e para baixo, ou para direita e para a esquerda” (Catálogo NSK 2013).

Esta característica irá influenciar diretamente na performance da peça, pois ela se relaciona com fatores como vibração, ruído, aquecimento e vida de fadiga, entre outros. A figura 8 representa um esboço em corte, demonstrando a folga interna do rolamento.

Figura 8 - Folga Radial.



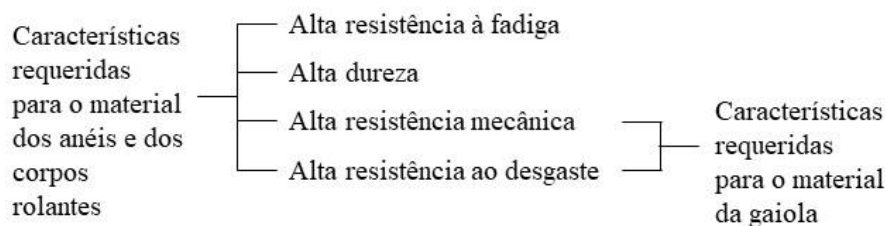
Fonte: Autor.

Todos os valores de folgas internas já foram estabelecidos pela fabricante, através de diversas tabelas que relaciona o modelo do rolamento com a folga recomendada. No catálogo da NSK, é possível encontrar tabelas para cada tipo de rolamento produzido, e a partir do diâmetro nominal do furo (d), encontra-se as folgas mínima e máxima recomendadas, para diversas classificações de tolerância. Estas tabelas foram adotadas para a construção dos rolamentos produzidos no software CAD para este trabalho. Para cada tipo de rolamento construído neste trabalho, o valor da folga adotada é explicitado e justificado.

2.2.4 Material dos rolamentos

Para uma boa performance, um rolamento ser feito de materiais que possuem as características apontadas na figura 9:

Figura 9 - Características dos materiais de um rolamento.



Fonte: Autor.

Assim, a fabricante define que os anéis e corpos rolantes são feitos de aço de alto carbono ou cromo, enquanto nas gaiolas são utilizados aços de baixo carbono, latão ou aço inoxidável. O Fusion360 permite a escolha e aplicação de materiais nos componentes criados no software, então optou-se por seguir o padrão de materiais especificados pela fabricante: Para todas as peças produzidas, escolheu-se o padrão:

- Anéis e Vedação: ferro polido (iron polished)
- Gaiola: latão polido (brass polished)
- Corpos Rolantes: cromo (chrome)

2.2.5 Descrição dos rolamentos

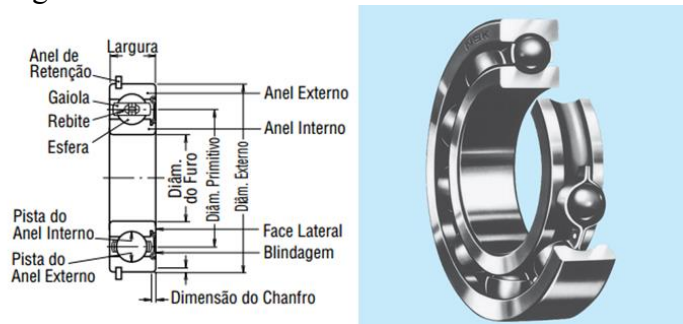
Neste trabalho, optou-se por reproduzir cinco tipos de rolamentos em modelos 3D no software Fusion 360. São estes:

- Rolamento radial de esferas
- Rolamento axial de esferas
- Rolamento autocompensador de esferas
- Rolamento de rolos cônicos
- Rolamento de rolos cilíndricos

Esta seção do trabalho será responsável por descrever as particularidades de cada um dos cinco modelos escolhidos, além de ilustrações a respeito de seu funcionamento.

2.2.5.1 Rolamento Radial de Rolos Esféricos

Figura 10 - Rolamento Radial de Rolos Esféricos.

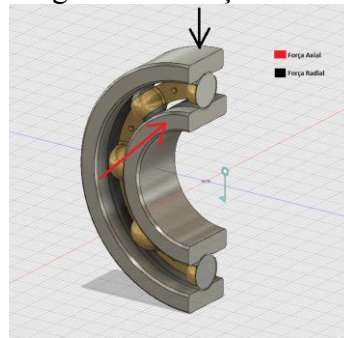


Fonte: NSK (2013)

Estes rolamentos são caracterizados por apresentarem dois anéis, sendo um (interno) de diâmetro menor que o outro (externo). Estes anéis deslizam através do rolamento de esferas encaixadas entre eles, que percorrem um trilho, este possuindo uma certa folga que permite o deslizamento das esferas.

Estes rolamentos se destacam por possuir uma maior resistência a forças radiais, isto é: quando sujeitos a forças radiais, a configuração e a montagem do rolamento serão mantidas, enquanto sua resistência a forças axiais será menor, podendo ser desmontado mais facilmente. Este modelo é recomendado para aplicações em velocidades altas e baixa perda de potência (NSK).

Figura 11 - Força radial.

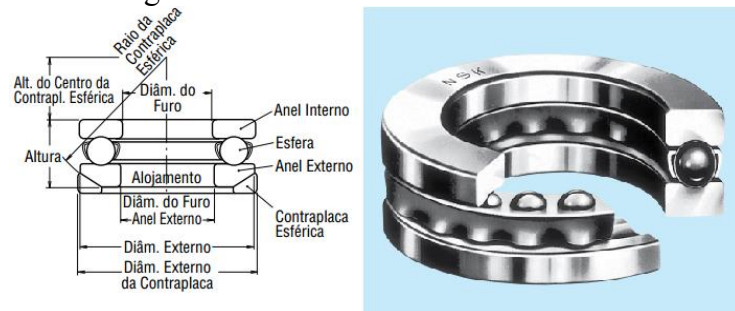


Fonte : Autor.

Além dos anéis e esferas, este tipo de rolamento possui uma gaiola entre os anéis, geralmente feita de aço, latão ou polímero (NSK).

2.2.5.2 Rolamento Axial de Esferas

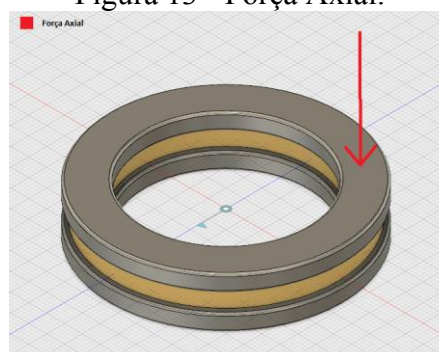
Figura 12 - Rolamento Axial de Esferas.



Fonte: NSK (2013)

Este rolamento, ao contrário do rolamento radial de esferas, é caracterizado por possuir uma maior resistência às forças axiais, enquanto as forças radiais não podem ser aplicadas, causando seu desmonte. São projetados para suportar operações em alta velocidade (SKF).

Figura 13 - Força Axial.



Fonte: Autor.

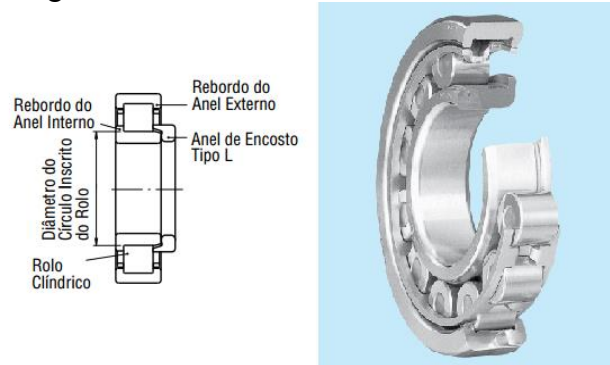
Segundo a NSK, são classificados segundo as características do assento do anel externo, podendo ser classificados em assentos planos (como o modelo 3D produzido neste trabalho) e assento esférico.

Estes rolamentos são formados basicamente por anéis (superior e inferior), uma gaiola e a carreira de esferas embutida. Podem ser de escora simples, possuindo dois anéis, uma

única carreira de esferas e gaiola, possibilitando a carga axial em apenas um sentido, ou de escora dupla, que possui um terceiro anel intermediário e duas carreiras de esferas, permitindo cargas axiais em ambos os sentidos.

2.2.5.3 Rolamento de Rolos Cilíndricos

Figura 14 - Rolamento de Rolos Cilíndricos.

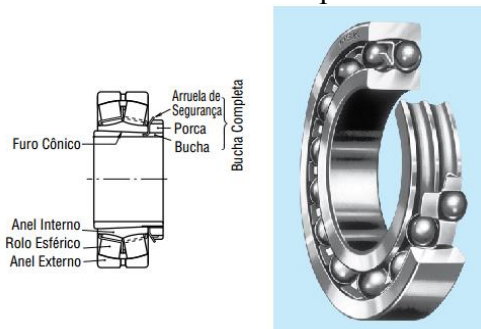


Fonte : NSK (2013)

Assim como o rolamento radial de esferas, este modelo possui grande resistência à cargas radiais, sendo adequados para aplicações de alta velocidade. Quando comparados aos rolamentos axiais de esferas, o rolamento de rolos cilíndricos possui uma região de contato superficial maior do que o de esferas. Idealmente, o contato superficial entre as esferas e o anel é um ponto unitário, enquanto entre os cilindros e o anel é uma linha. Porém, devido a deformações dos corpos, este fato não se verifica realmente. Isto faz com que o atrito seja diminuído, e os rolamentos de rolos cilíndricos sejam mais silenciosos e produzam menos calor (NSK). Os rolamentos de rolos cilíndricos podem possuir uma ou mais carreiras de rolos, dependendo de sua aplicação. No exemplo 3D construído neste projeto, escolheu-se um rolamento com carreira única.

2.2.5.4 Rolamento Autocompensador de Esferas

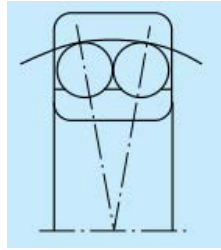
Figura 15 - Rolamento Autocompensador de Esferas.



Fonte: NSK (2013)

Estes rolamentos possuem duas carreiras de esferas paralelas, fazendo com que a pista do anel interno seja dividida em duas, enquanto a pista do anel externo é única e esférica. O raio do arco circular formado pelo anel externo tem centro coincidente com o centro do rolamento de esferas e do anel interno, como mostrado na figura 16, retirada do catálogo NSK:

Figura 16 - Ângulo de contato de um rolamento autocompensador de esferas.



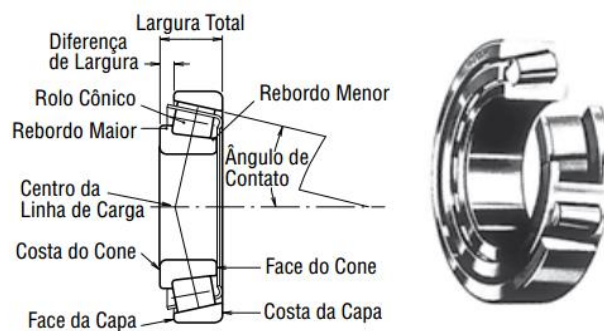
Fonte: NSK (2013)

Essa superfície esférica do anel externo permite com que as esferas e gaiola deslizem livremente sobre a superfície, corrigindo eventuais falhas de alinhamento, por isso este rolamento é chamado de *autocompensador*. Segundo NSK, o desalinhamento médio permissível é cerca de 4 a 7 graus.

Segundo SKF, os rolamentos autocompensadores de esferas geram atrito mínimo, fazendo com que estes trabalhem em temperaturas mais baixas, além de produzirem menos ruído, mesmo em velocidades mais altas.

2.2.5.5 Rolamento de Rolos Cônicos

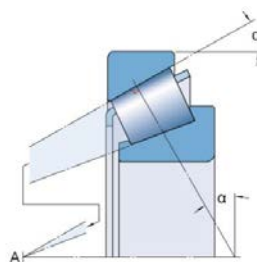
Figura 17 - Rolamento de Rolos Cônicos.



Fonte: NSK (2013)

Os rolamentos de rolos cônicos são caracterizados por possuir as pistas externas e internas, além dos corpos rolantes, em formato cônico. Assim como os rolamentos de rolos cilíndricos, possuem uma área de contato entre rolo e anel maior, por isso são adequados para altas rotações, devido ao baixo atrito. Permitem a carga tanto em sentido axial quanto radial, sendo adequados para o uso em máquinas-ferramentas (NSK). As linhas de projeção de cada pista se encontram no eixo do rolamento, como mostrado na figura 18. Quanto maior o ângulo de contato α (geralmente varia-se entre 10° e 30°), maior a capacidade de carga axial (SKF). São classificados segundo o número de carreiras, existindo rolamentos de uma, duas e quatro carreiras.

Figura 18 - Ângulo de contato de um rolamento de rolos cônicos.



Fonte: SKF (2017)

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 ROTEIRO DOS ROLAMENTOS

Neste capítulo, serão mostrados os roteiros para a construção dos 5 modelos de rolamentos escolhidos pelo autor, com o uso da versão de estudante do software Fusion360.

3.1.1 Roteiro para criação de rolamento de esferas radial de uma carreira

O objetivo desta seção é criar um passo-a-passo para modelagem de um rolamento real de esferas radial de uma carreira no Fusion360, a partir de especificações contidas no catálogo NSK para as dimensões principais. Escolheu-se o modelo com as medidas destacadas na tabela 4:

Tabela 4 - Tabela de dimensões para rolamento de esferas radial.

Dimensões (mm)				Capacidade de Carga Básica				Fator	Limite de Rotação (rpm)			Número do Rolamento			
d	D	B	r min.	(N)		(kgf)			f ₀	Graxa		Óleo	Aberto	Blindado	Vedado
				C _r	C _{0r}	C _r	C _{0r}			Aberto Z - ZZ V - VV	DU DDU	Aberto Z			
10	19	5	0,3	1 720	840	175	86	14,8	34 000	24 000	40 000	6800	ZZ	VV	DD
	22	6	0,3	2 700	1 270	275	129	14,0	32 000	22 000	38 000	6900	ZZ	VV	DD
	26	8	0,3	4 550	1 970	465	201	12,4	30 000	22 000	36 000	6000	ZZ	VV	DDU
	30	9	0,6	5 100	2 390	520	244	13,2	24 000	18 000	30 000	6200	ZZ	VV	DDU
12	35	11	0,6	8 100	3 450	825	350	11,2	22 000	17 000	26 000	6300	ZZ	VV	DDU
	21	5	0,3	1 920	1 040	195	106	15,3	32 000	20 000	38 000	6801	ZZ	VV	DD
	24	6	0,3	2 890	1 460	295	149	14,5	30 000	20 000	36 000	6901	ZZ	VV	DD
	28	7	0,3	5 100	2 370	520	241	13,0	28 000	—	32 000	16001	—	—	—
15	28	8	0,3	5 100	2 370	520	241	13,0	28 000	18 000	32 000	6001	ZZ	VV	DDU
	32	10	0,6	6 800	3 050	695	310	12,3	22 000	17 000	28 000	6201	ZZ	VV	DDU
	37	12	1	9 700	4 200	990	425	11,1	20 000	16 000	24 000	6301	ZZ	VV	DDU
	24	5	0,3	2 070	1 260	212	128	15,8	28 000	17 000	34 000	6802	ZZ	VV	DD
17	28	7	0,3	4 350	2 260	440	230	14,3	26 000	17 000	30 000	6902	ZZ	VV	DD
	32	8	0,3	5 600	2 830	570	289	13,9	24 000	—	28 000	16002	—	—	—
	32	9	0,3	5 600	2 830	570	289	13,9	24 000	15 000	28 000	6002	ZZ	VV	DDU
	35	11	0,6	7 650	3 750	780	380	13,2	20 000	14 000	24 000	6202	ZZ	VV	DDU
20	42	13	1	11 400	5 450	1 170	555	12,3	17 000	13 000	20 000	6302	ZZ	VV	DDU
	26	5	0,3	2 630	1 570	268	160	15,7	26 000	15 000	30 000	6803	ZZ	VV	DD
	30	7	0,3	4 600	2 550	470	260	14,7	24 000	15 000	28 000	6903	ZZ	VV	DDU
	35	8	0,3	6 000	3 250	610	330	14,4	22 000	—	26 000	16003	—	—	—
22	35	10	0,3	6 000	3 250	610	330	14,4	22 000	13 000	26 000	6003	ZZ	VV	DDU
	40	12	0,6	9 550	4 800	975	490	13,2	17 000	12 000	20 000	6203	ZZ	VV	DDU
	47	14	1	13 600	6 650	1 390	675	12,4	15 000	11 000	18 000	6303	ZZ	VV	DDU
	32	7	0,3	4 000	2 470	410	252	15,5	22 000	13 000	26 000	6804	ZZ	VV	DD
24	37	9	0,3	6 400	3 700	650	375	14,7	19 000	12 000	22 000	6904	ZZ	VV	DDU
	42	8	0,3	7 900	4 450	810	455	14,5	18 000	—	20 000	16004	—	—	—
	42	12	0,6	9 400	5 000	955	510	13,8	18 000	11 000	20 000	6004	ZZ	VV	DDU
	47	14	1	12 800	6 600	1 300	670	13,1	15 000	11 000	18 000	6204	ZZ	VV	DDU
26	52	15	1,1	15 900	7 900	1 620	805	12,4	14 000	10 000	17 000	6304	ZZ	VV	DDU
	44	12	0,6	9 400	5 050	960	515	14,0	17 000	11 000	20 000	60/22	ZZ	VV	DDU
	50	14	1	12 900	6 800	1 320	695	13,5	14 000	9 500	16 000	62/22	ZZ	VV	DDU
	56	16	1,1	18 400	9 250	1 870	940	12,4	13 000	9 500	16 000	63/22	ZZ	VV	DDU

Fonte : NSK (2013)

Para este modelo, a dimensão da folga interna adotada foi de 5 μm (Adotou-se o valor média entre as folgas máxima e mínima para um rolamento de esferas radial de diâmetro de furo igual a 22).

Tabela 5 - Folga interna para rolamento de esferas radial.

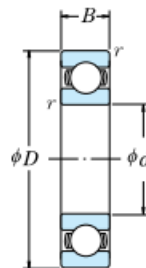
Diâmetro Nominal do Furo d (mm)		Unidade: μm									
		Folga									
Acima de	Inclusive	C2		Normal		C3		C4		C5	
		min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.
somente 10		0	7	2	13	8	23	14	29	20	37
10	18	0	7	3	18	11	25	18	33	25	45
18	24	0	10	5	20	13	28	20	36	28	48

Fonte : NSK (2013)

O rolamento será dividido em 5 partes diferentes: anel interno, anel externo, gaiola, esferas e vedação.

O corte 2D simplificado do rolamento radial de esferas é representado pela figura 19:

Figura 19 - Corte 2D para rolamento de esferas radial.



Fonte: NSK (2013)

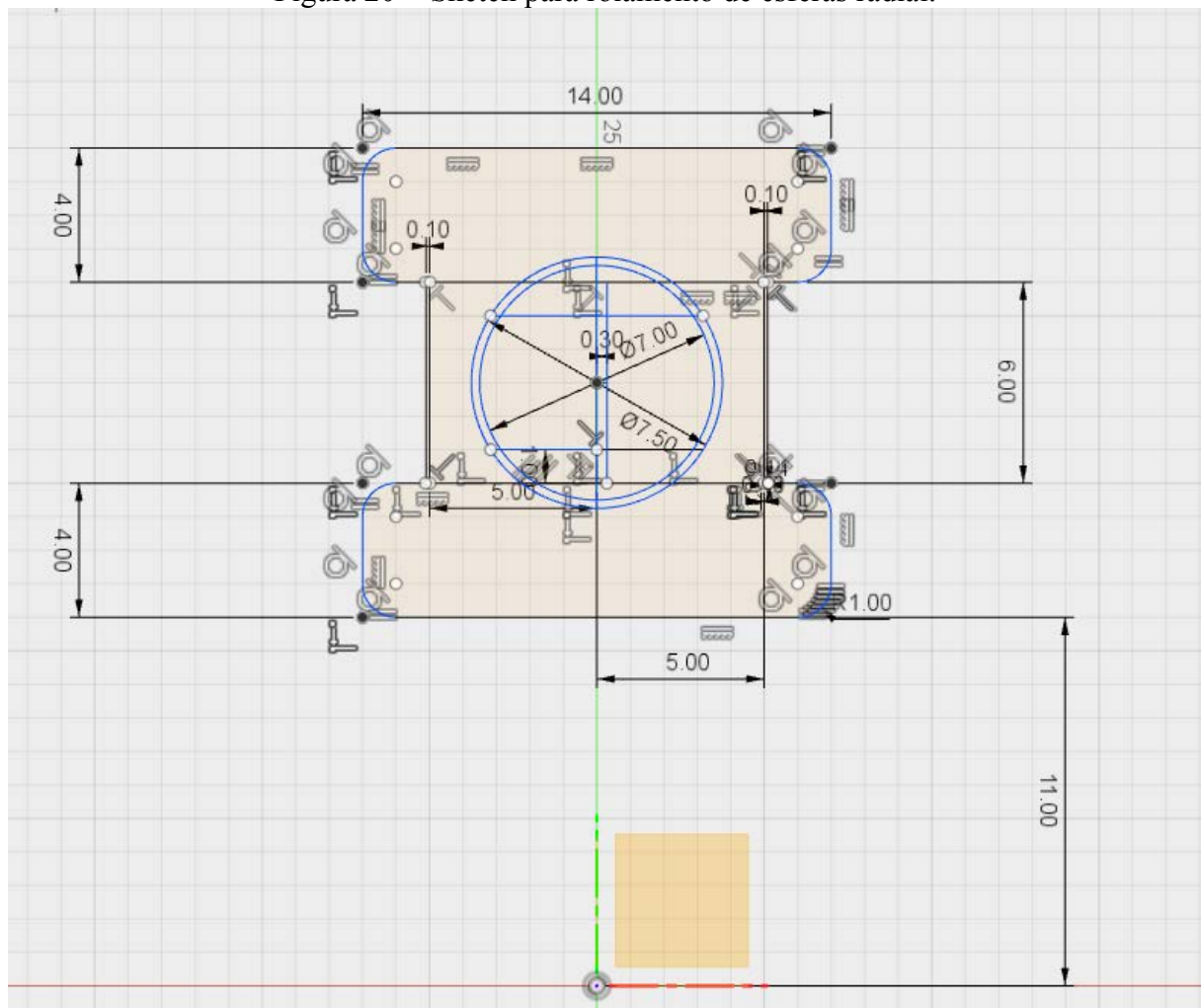
3.1.1.1 Passo 1: Criação do sketch básico

Primeiramente deve ser feito o sketch básico, a partir do qual serão obtidos todas as partes do sólido. O catálogo NSK fornece as dimensões principais do rolamento escolhido, porém o autor definiu algumas dimensões (valores em mm) por aproximação:

- Largura da vedação: 0,1
- Distância entre o centro da esfera e a extremidade da vedação: 5
- Folga da vedação: 0,02 x 0,14
- Quantidade de esferas: 8
- Diâmetro da esfera: 7
- Altura dos anéis: 4
- Largura da gaiola: 5
- Diâmetro do rebite: 1
- Altura do rebite: 0,3 a 20°

Com todas as dimensões devidamente aplicadas, será obtido a figura 20:

Figura 20 - Sketch para rolamento de esferas radial.

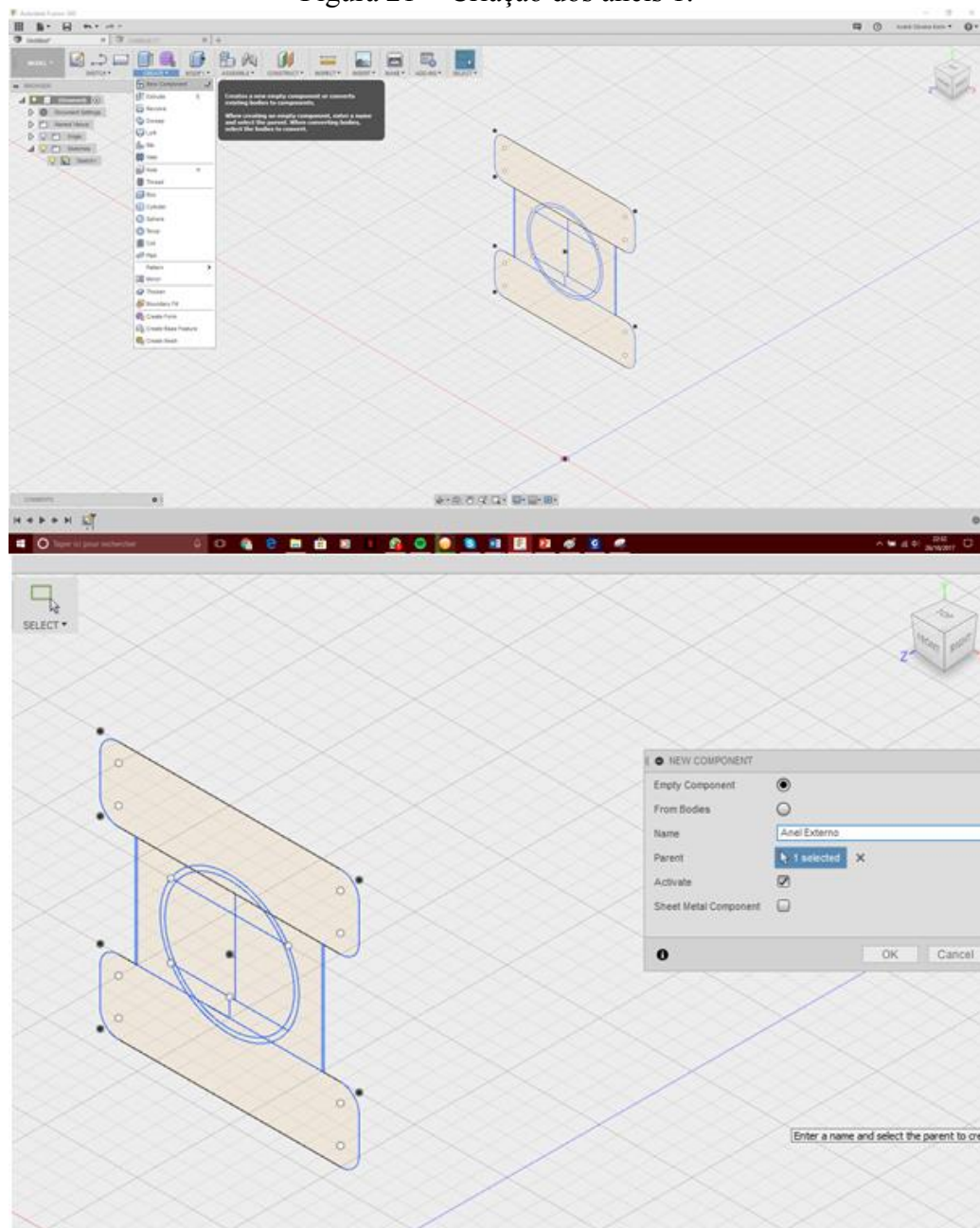


Fonte : Autor.

3.1.1.2 Passo 2: Criação dos anéis interno e externo por revolução

Deve-se criar um componente para cada anel, através da função *Create* → *New Component*, para então fazer a revolução da área respectiva de cada anel.

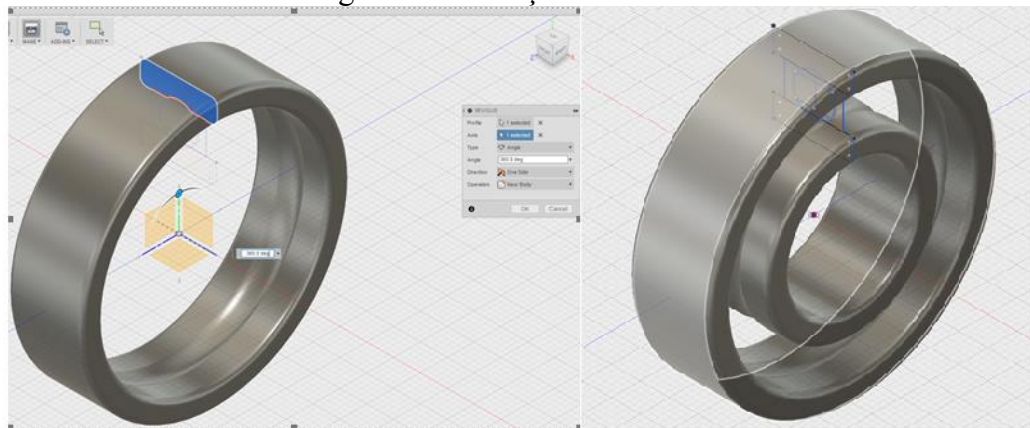
Figura 21 - Criação dos anéis 1.



Fonte : Autor.

Criando o componente, pode-se criar o anel correspondente através da **revolução** (função *revolve*) da área em função central do rolamento, para o anel interno e externo, como mostrado na figura 22:

Figura 22 - Criação dos anéis 2.



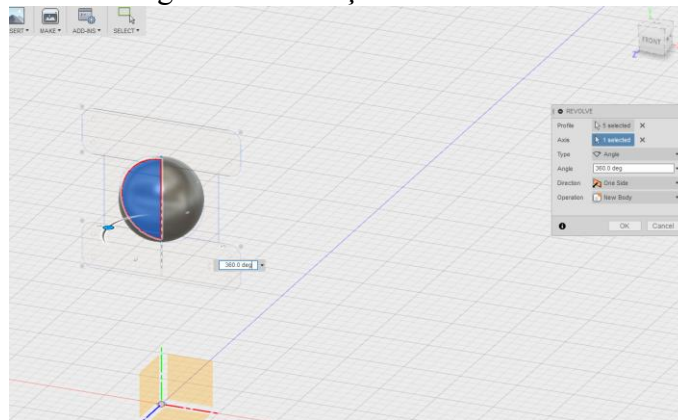
Fonte : Autor.

3.1.1.3 Passo 3: Criação das esferas

As esferas serão criadas a partir da revolução de metade da circunferência de tamanho 7mm, para então ser criado uma *pattern circular* com 8 esferas ao redor do eixo central de rolamento.

Cria-se um novo componente intitulado “Esfera”, para então ser feita uma revolução da semicircunferência em função do eixo que a divide ao meio.

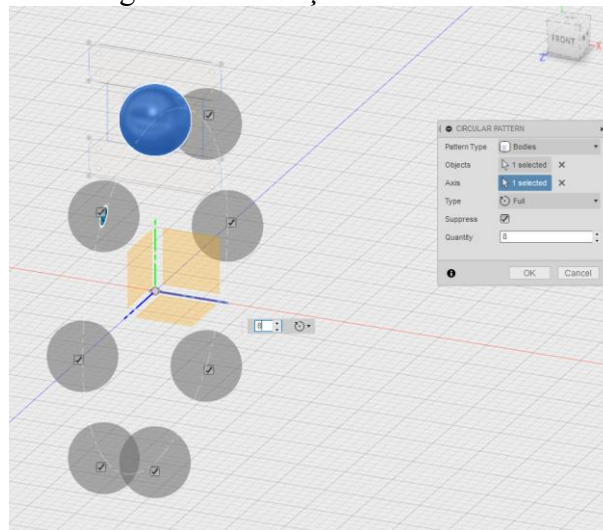
Figura 23 - Criação das esferas 1.



Fonte : Autor.

Com a esfera criada, é feito a *pattern circular* com 8 esferas idênticas:

Figura 24 - Criação das esferas 2.



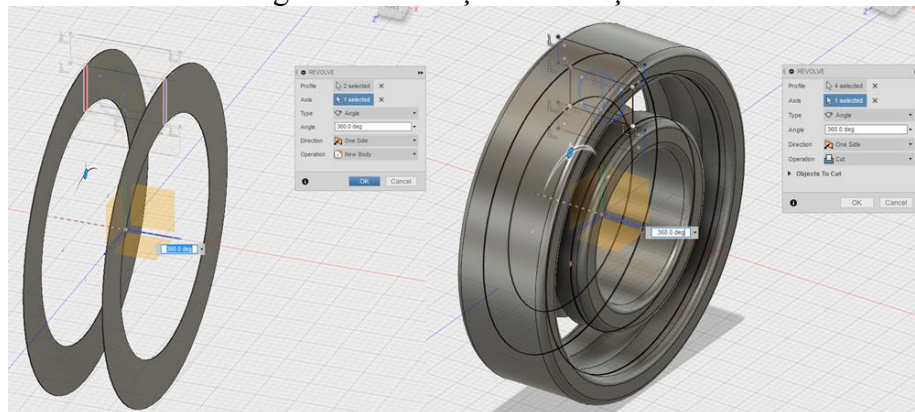
Fonte : Autor.

3.1.1.4 Passo 4: Criação da vedação

A vedação será criada a partir dos dois retângulos de espessura 0,1, com uma revolução completa em torno do eixo central do rolamento, criando um novo componente.

Também deve ser feita uma revolução usando a função *cut* dos retângulos de 0,02 x 0,14 (mm), para criar a folga interna da vedação.

Figura 25 - Criação da vedação 1.

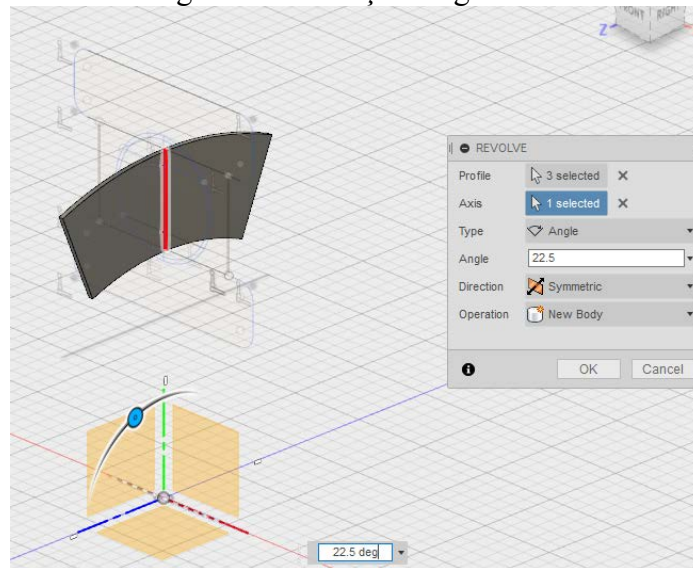


Fonte : Autor.

3.1.1.5 Passo 5: Criação da gaiola

Para a criação da gaiola, primeiramente será feito 1/16 do corpo total, e posteriormente será feito uma *pattern* que interligará toda a peça. Inicia-se criando um novo componente, revolucionando o retângulo de 0,30mm de espessura em 22.5° em torno do eixo central do rolamento de maneira simétrica a ambos os lados.

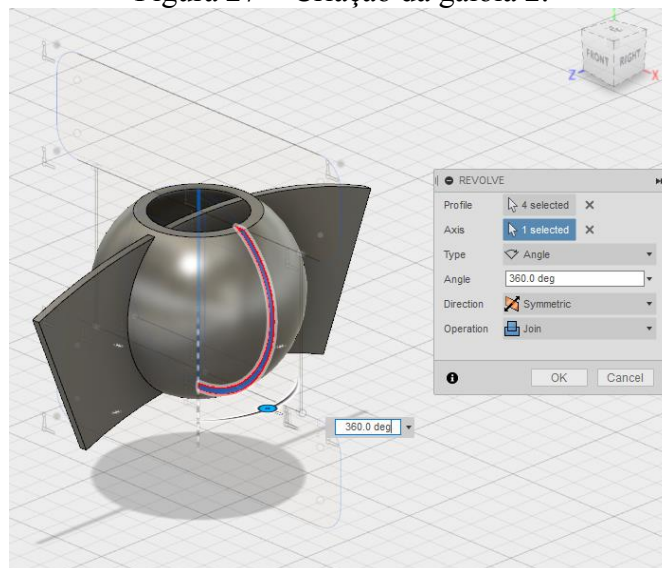
Figura 26 - Criação da gaiola 1.



Fonte : Autor.

Para a construção da gaiola que revestirá as esferas, é feita uma revolução de 360° da camada externa da circunferência de 7,5mm em relação ao eixo Y, com a opção *join* ativada.

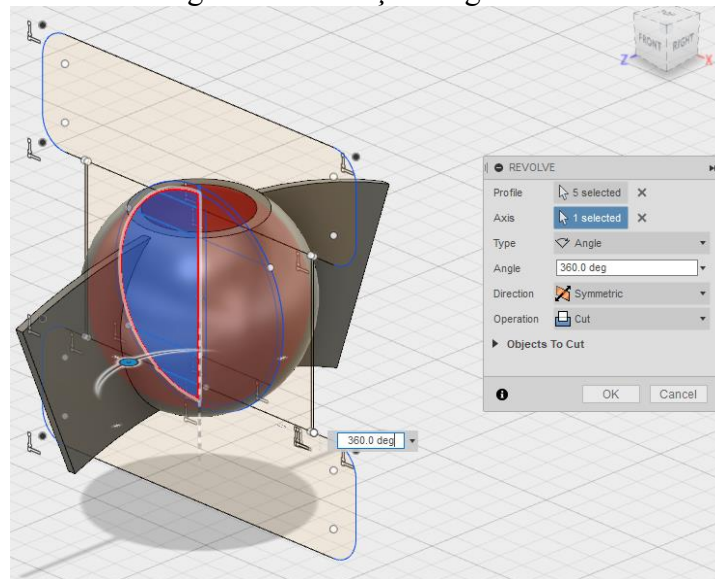
Figura 27 - Criação da gaiola 2.



Fonte : Autor.

Para eliminar o corpo que restou dentro da gaiola, é feito uma revolução em torno do eixo Y da circunferência interna com a opção *cut* ativada.

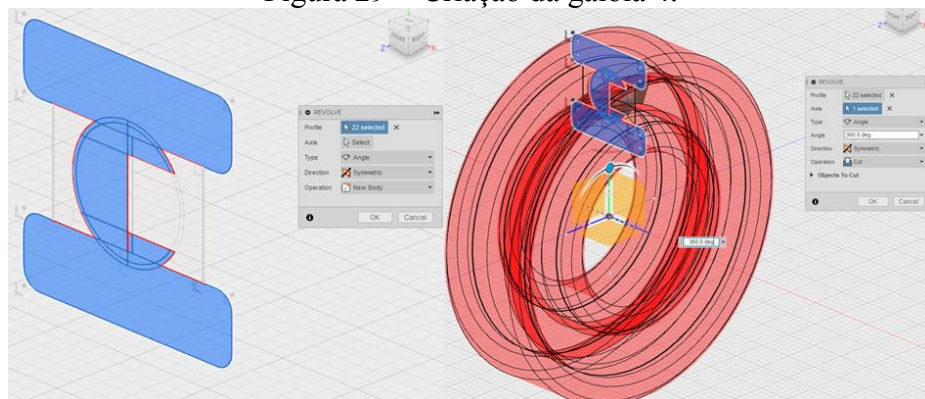
Figura 28 - Criação da gaiola 3.



Fonte : Autor.

Para construção da gaiola, é feito uma revolução da área mostrada na figura 29 em relação ao eixo central do rolamento com a opção *cut* ativada, com a gaiola totalmente visível.

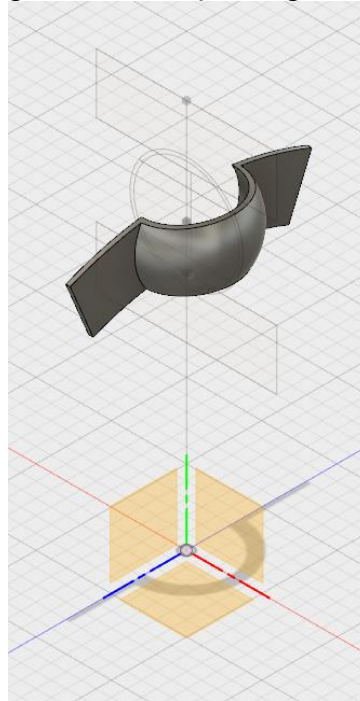
Figura 29 - Criação da gaiola 4.



Fonte : Autor.

Após este passo, será obtido um lado de 1/16 da gaiola total, como na figura 30:

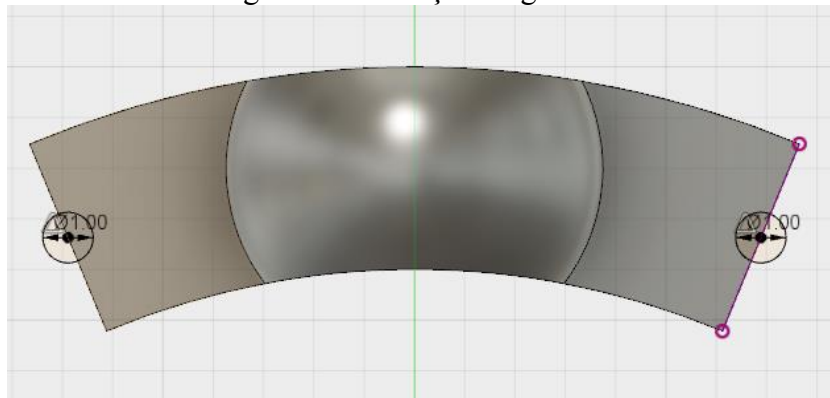
Figura 30 - Criação da gaiola 5.



Fonte : Autor.

Em cima desta peça será feito os componentes secundários da gaiola, como o rebite e seu furo. Para isso, é feito uma circunferência de diâmetro 1mm em cada extremidade da peça.

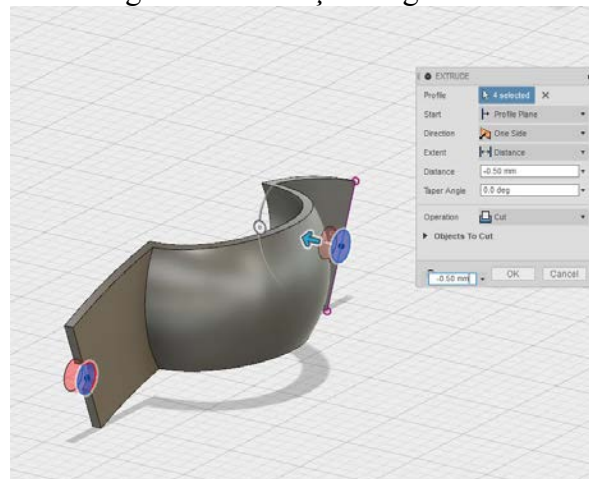
Figura 31 - Criação da gaiola 6.



Fonte : Autor.

Deve ser feito uma extrusão nesta circunferência, criando um furo de diâmetro 1 mm.

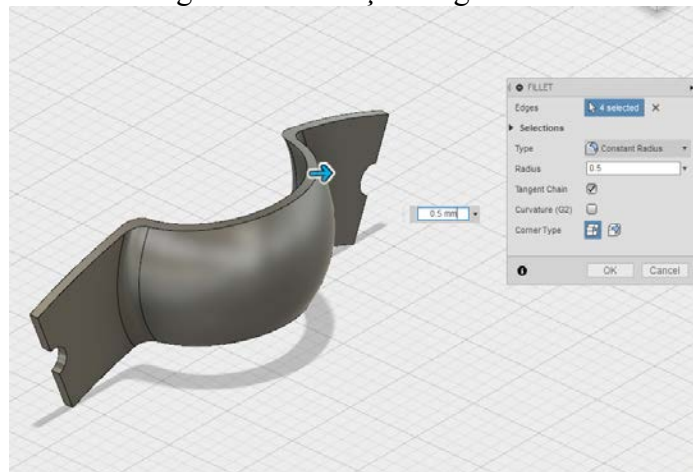
Figura 32 - Criação da gaiola 7.



Fonte : Autor.

Em seguida, é feito um fillet de 0,5mm nas 4 arestas do corpo da gaiola:

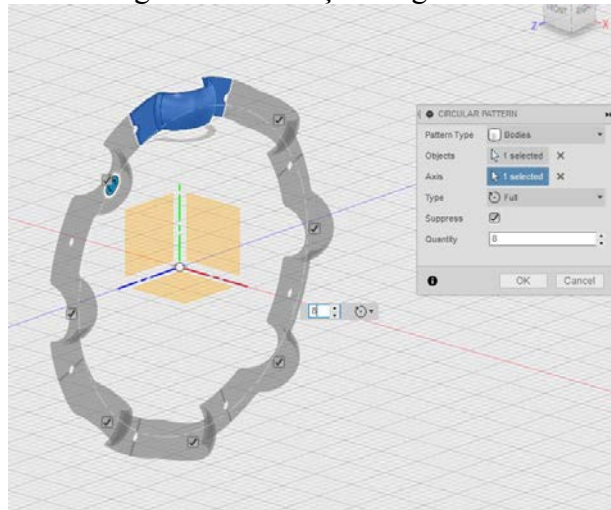
Figura 33 - Criação da gaiola 8.



Fonte : Autor.

Para preencher toda a circunferência do rolamento, é feito uma *pattern circular* com todo o corpo da gaiola criado em torno do eixo central do rolamento, multiplicando a peça por 8.

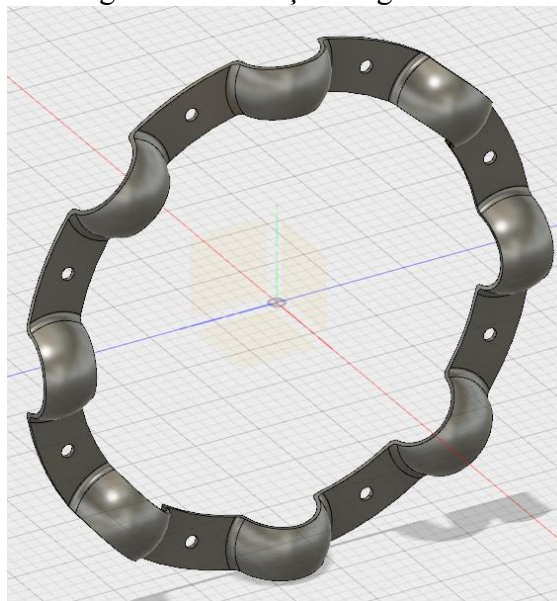
Figura 34 - Criação da gaiola 9.



Fonte : Autor.

Para efeito de facilidade de manuseio, todo o corpo da gaiola é combinado em uma peça única, através da função *combine*.

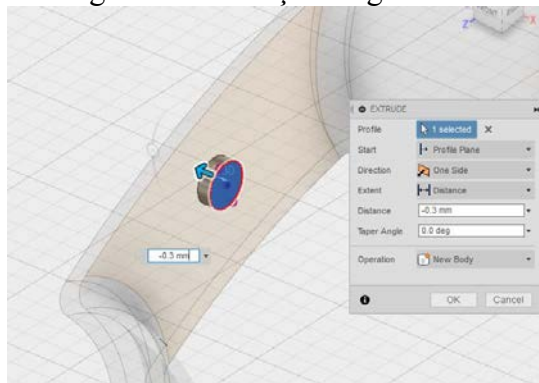
Figura 35 - Criação da gaiola 10.



Fonte : Autor.

Para construção do rebite, cria-se um novo componente dentro do componente “gaiola”, e então um dos furos criados deve ser preenchido através de uma extrusão. Antes, deve ser criado um novo sketch em um dos furos para ser possível a construção da circunferência de diâmetro 1 que será extrudada em 0,3mm.

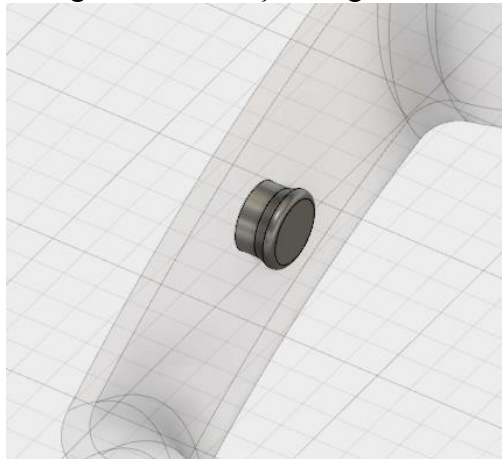
Figura 36 - Criação da gaiola 11.



Fonte : Autor.

Então é feita uma nova extrusão externa desta superfície, com comprimento de 0,3mm e ângulo de 20°. Deve-se adicionar um fillet de 0,1mm no rebite.

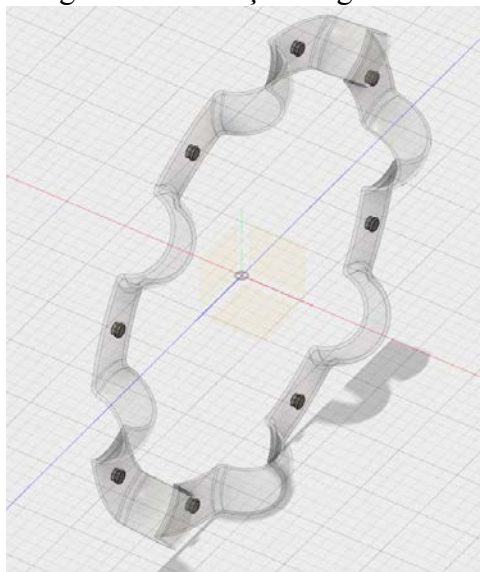
Figura 37 - Criação da gaiola 12.



Fonte : Autor.

Deve-se fazer uma *pattern circular* do rebite, multiplicando-o 8x para preenchimento de todos os furos.

Figura 38 - Criação da gaiola 13.



Fonte : Autor.

Por fim, deve-se selecionar todo o corpo da gaiola criado (rebites + corpo) e utilizar a função *mirror* em função da área interna do corpo para reproduzir a mesma peça para o outro lado. Será obtida a figura 39:

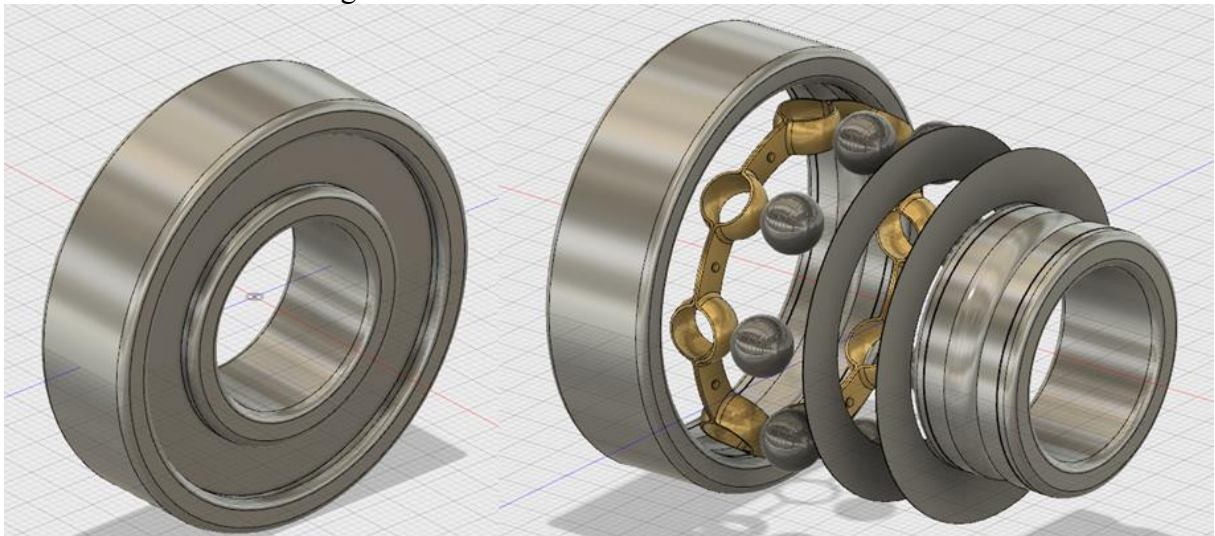
Figura 39 - Criação da gaiola 14.



Fonte : Autor.

Aplicando o padrão de materiais escolhido para este trabalho, o resultado final obtido será idêntico a figura 40:

Figura 40 - Rolamento radial de esferas final.



Fonte : Autor.

3.1.2 Roteiro para criação de rolamento de esferas axial de uma carreira

O objetivo desta seção é criar um passo-a-passo para modelagem de um rolamento real de esferas axial de uma carreira no Fusion360, a partir de especificações contidas no catálogo NSK para as dimensões principais. Escolheu-se o modelo com as medidas destacadas na tabela 6:

Tabela 6 - Tabela de dimensões para rolamento de esferas axial (valores em mm).

d	D	T	T_3	T_4	$r_{\min.}$	C_a	C_{0a}	C_a	C_{0a}	Graxa	Óleo	Com Assento Plano
10	24	9	—	—	0.3	10 100	14 000	1 030	1 420	6 700	10 000	51100
	26	11	11.6	13	0.6	12 800	17 100	1 300	1 740	6 000	9 000	51200
12	26	9	—	—	0.3	10 400	15 400	1 060	1 570	6 700	10 000	51101
	28	11	11.4	13	0.6	13 300	19 000	1 350	1 940	5 600	8 500	51201
15	28	9	—	—	0.3	10 600	16 800	1 080	1 710	6 300	9 500	51102
	32	12	13.3	15	0.6	16 700	24 800	1 710	2 530	5 000	7 500	51202
17	30	9	—	—	0.3	11 400	19 500	1 170	1 990	6 000	9 000	51103
	35	12	13.2	15	0.6	17 300	27 300	1 760	2 780	4 800	7 500	51203
20	35	10	—	—	0.3	15 100	26 600	1 540	2 710	5 300	8 000	51104
	40	14	14.7	17	0.6	22 500	37 500	2 290	3 850	4 300	6 300	51204
25	42	11	—	—	0.6	19 700	37 000	2 010	3 800	4 800	7 100	51105
	47	15	16.7	19	0.6	28 000	50 500	2 860	5 150	3 800	5 600	51205
	52	18	19.8	22	1	36 000	61 500	3 650	6 250	3 200	5 000	51305
	60	24	26.4	29	1	56 000	89 500	5 700	9 100	2 600	4 000	51405
30	47	11	—	—	0.6	20 600	42 000	2 100	4 300	4 300	6 700	51106
	52	16	17.8	20	0.6	29 500	58 000	3 000	5 950	3 400	5 300	51206
	60	21	22.6	25	1	43 000	78 500	4 400	8 000	2 800	4 300	51306
	70	28	30.1	33	1	73 000	126 000	7 450	12 800	2 200	3 400	51406
35	52	12	—	—	0.6	22 100	49 500	2 250	5 050	4 000	6 000	51107
	62	18	19.9	22	1	39 500	78 000	4 050	7 950	3 000	4 500	51207
	68	24	25.6	28	1	56 000	105 000	5 700	10 700	2 400	3 800	51307
	80	32	34	37	1.1	87 500	155 000	8 950	15 800	2 000	3 000	51407
40	60	13	—	—	0.6	27 100	63 000	2 770	6 400	3 600	5 300	51108
	68	19	20.3	23	1	47 500	98 500	4 850	10 000	2 800	4 300	51208
	78	26	28.5	31	1	70 000	135 000	7 100	13 700	2 200	3 400	51308
	90	36	38.2	42	1.1	103 000	188 000	10 500	19 100	1 700	2 600	51408
45	65	14	—	—	0.6	28 100	69 000	2 860	7 050	3 400	5 000	51109

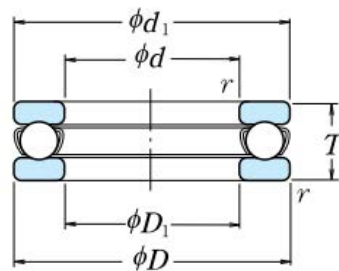
Fonte : NSK (2013)

Para este modelo, a dimensão da folga interna não é determinada pelo catálogo NSK. Por determinação do autor, determinou-se que este valor será 5 μ m, tendo em vista que este é o valor utilizado na maioria dos rolamentos confeccionados para este trabalho.

O rolamento será dividido em 4 partes diferentes: anel interno, anel externo, gaiola, e esferas. Para este modelo, não é necessária a construção da vedação.

O corte 2D simplificado do rolamento axial de esferas é representado pela figura 41:

Figura 41 - Corte 2D para rolamento de esferas axial.



Fonte: NSK (2013)

3.1.2.1 Passo 1: Criação do sketch básico

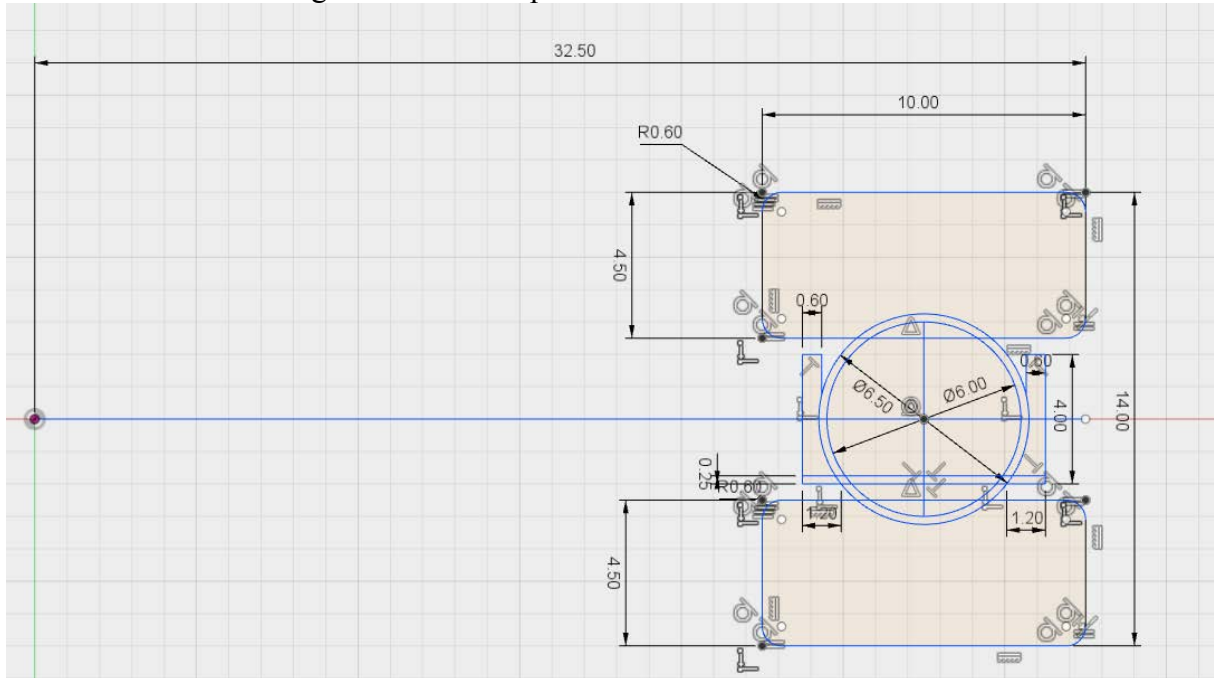
Primeiramente deve ser feito o sketch básico, a partir do qual serão obtidos todas as partes do sólido. O catálogo NSK fornece as dimensões principais do rolamento escolhido, porém o autor definiu algumas dimensões (valores em mm) por aproximação:

- Quantidade de esferas: 22
- Diâmetro da esfera: 6
- Altura dos anéis: 4,50
- Largura superior da gaiola: 0,60
- Largura inferior da gaiola: 1,20
- Altura da base da gaiola: 0,25

- Altura da gaiola: 4

Com todas as dimensões devidamente aplicadas, será obtida a figura 42:

Figura 42 - Sketch para rolamento de esferas axial.

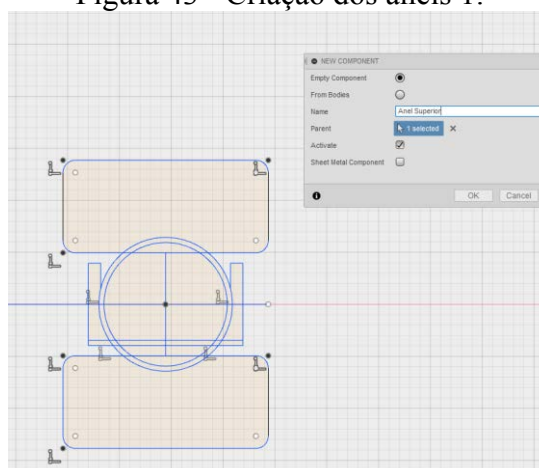


Fonte : Autor.

3.1.2.2 Passo 2: Criação dos anéis interno e externo por revolução

Deve-se criar um componente para cada anel, através da função *Create* → *New Component*, para então fazer a revolução da área respectiva de cada anel.

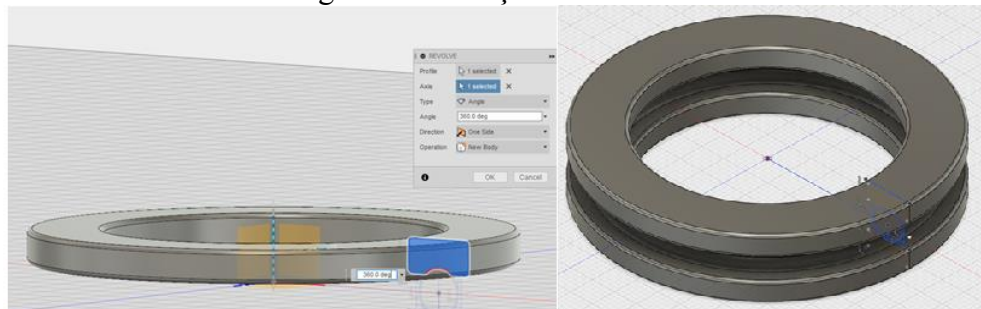
Figura 43 - Criação dos anéis 1.



Fonte : Autor.

Criando o componente, pode-se criar o anel correspondente através da **revolução** (função *revolve*) da área em função do eixo central do rolamento, para os anéis interno e externo, como mostrado na figura 44:

Figura 44 - Criação dos anéis 2.



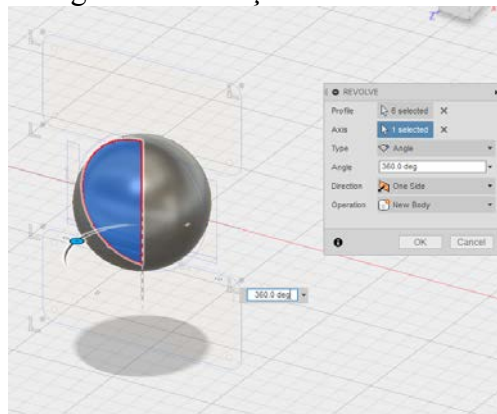
Fonte : Autor.

3.1.2.3 Passo 3: Criação das esferas

As esferas serão criadas a partir da revolução de metade da circunferência de tamanho 6mm, para então ser criado uma *pattern circular* com 22 esferas ao redor do eixo central do rolamento.

Cria-se um novo componente chamado “Esferas”, para então ser feita uma revolução da semicircunferência em função do eixo que a divide ao meio.

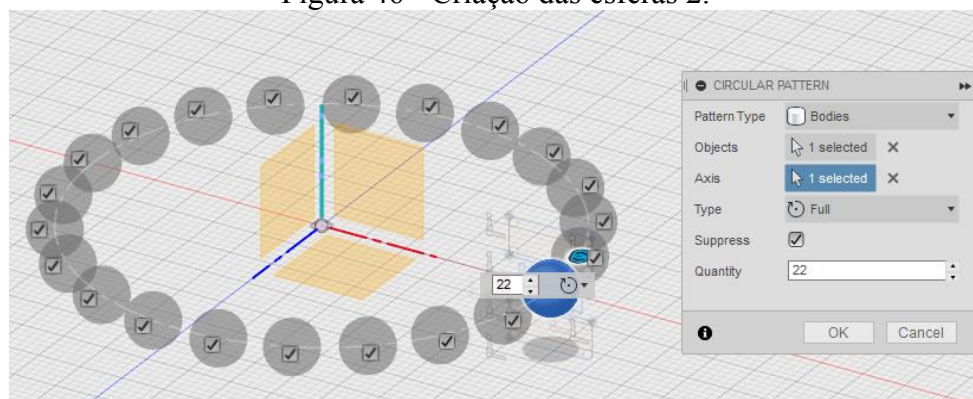
Figura 45 - Criação das esferas 1.



Fonte : Autor.

Com a esfera criada, é feito a *pattern circular* com 22 esferas idênticas:

Figura 46 - Criação das esferas 2.

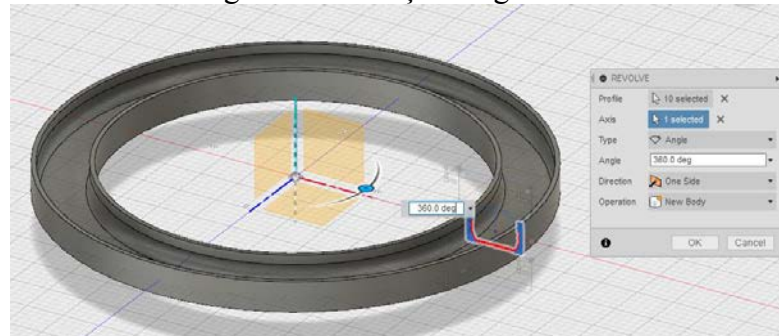


Fonte : Autor.

3.1.2.4 Passo 4: Criação da gaiola

Primeiramente, é criado um novo componente chamado “Gaiola”. Então será feita uma revolução do corpo da gaiola em torno do eixo central do rolamento, como mostrado na figura 47:

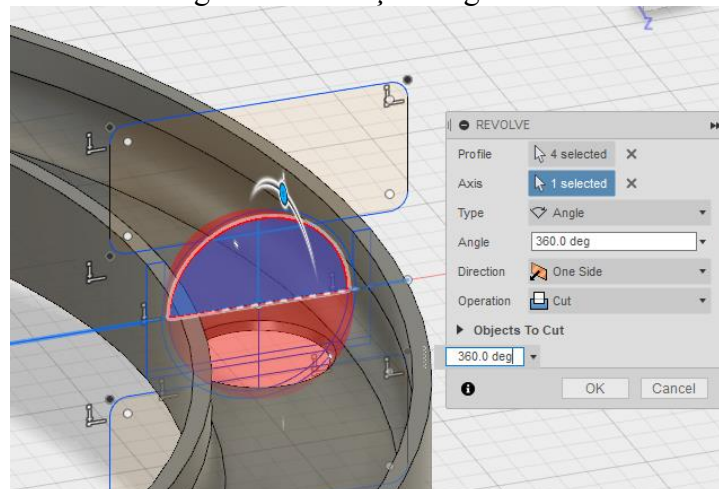
Figura 47 - Criação da gaiola 1.



Fonte : Autor.

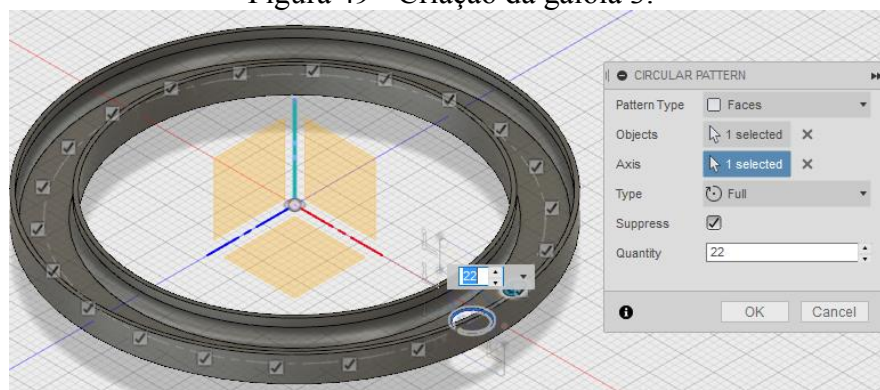
Para construir a folga onde a esfera ser posicionada, é feita uma revolução com a opção *cut* ativada da esfera de diâmetro 6,50mm, criando um furo na base da gaiola. Este furo será reproduzido para as 22 esferas através de uma *pattern circular*.

Figura 48 - Criação da gaiola 2.



Fonte : Autor.

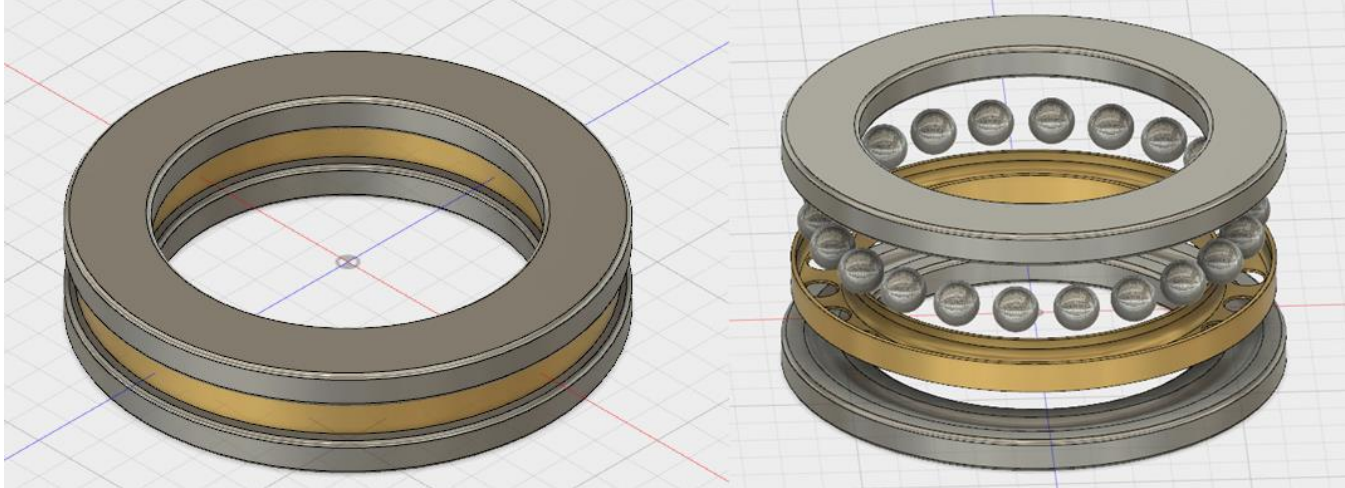
Figura 49 - Criação da gaiola 3.



Fonte : Autor.

Aplicando o padrão de materiais escolhido para este trabalho, o resultado final obtido será idêntico a figura 50:

Figura 50 - Rolamento axial de esferas final.



Fonte : Autor.

3.1.3 Roteiro para criação de rolamento autocompensador de esferas

O objetivo desta seção é criar um passo-a-passo para modelagem de um rolamento real autocompensador de esferas no Fusion360, a partir de especificações contidas no catálogo NSK para as dimensões principais. Escolheu-se o modelo com as medidas destacadas na tabela 7:

Tabela 7 - Tabela de dimensões para rolamento autocompensador de esferas.

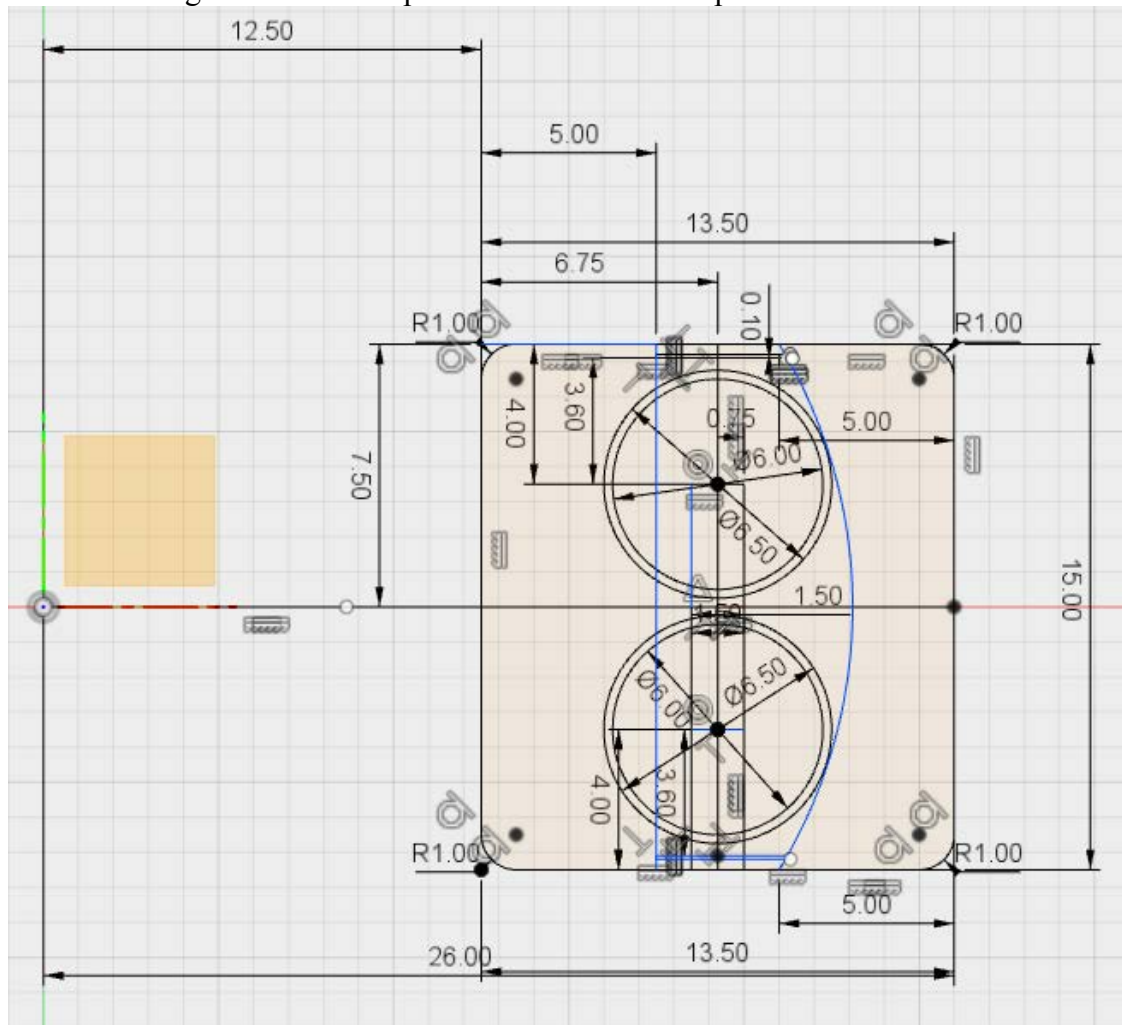
Dimensões (mm)				Capacidade de Carga Básica (N)				Limite de Rotação (rpm)		Número do
d	D	B	$r_{\min.}$	C_r	C_{0r}	C_r	C_{0r}	Graxa	Óleo	Furo Cilíndrico
5	19	6	0,3	2 530	475	258	49	30 000	36 000	135
6	19	6	0,3	2 530	475	258	49	30 000	36 000	126
7	22	7	0,3	2 750	600	280	61	26 000	32 000	127
8	22	7	0,3	2 750	600	280	61	26 000	32 000	108
9	26	8	0,6	4 150	895	425	91	26 000	30 000	129
10	30	9	0,6	5 550	1 190	570	121	22 000	28 000	1200
	30	14	0,6	7 450	1 590	760	162	24 000	28 000	2200
	35	11	0,6	7 350	1 620	750	165	20 000	24 000	1300
	35	17	0,6	9 200	2 010	935	205	18 000	22 000	2300
12	32	10	0,6	5 700	1 270	580	130	22 000	26 000	1201
	32	14	0,6	7 750	1 730	790	177	22 000	26 000	2201
	37	12	1	9 650	2 160	985	221	18 000	22 000	1301
	37	17	1	12 100	2 730	1 240	278	17 000	22 000	2301
15	35	11	0,6	7 600	1 750	775	179	18 000	22 000	1202
	35	14	0,6	7 800	1 850	795	188	18 000	22 000	2202
	42	13	1	9 700	2 290	990	234	16 000	20 000	1302
	42	17	1	12 300	2 910	1 250	296	14 000	18 000	2302
17	40	12	0,6	8 000	2 010	815	205	16 000	20 000	1203
	40	16	0,6	9 950	2 420	1 010	247	16 000	20 000	2203
	47	14	1	12 700	3 200	1 300	325	14 000	17 000	1303
	47	19	1	14 700	3 550	1 500	365	13 000	16 000	2303
20	47	14	1	10 000	2 610	1 020	266	14 000	17 000	1204
	47	18	1	12 800	3 300	1 310	340	14 000	17 000	2204
	52	15	1,1	12 600	3 350	1 280	340	12 000	15 000	1304
	52	21	1,1	18 500	4 700	1 880	480	11 000	14 000	2304
25	52	15	1	12 200	3 300	1 250	335	12 000	14 000	1205
	62	18	1	12 400	3 450	1 270	350	12 000	14 000	2205
	62	17	1,1	18 200	5 000	1 850	510	10 000	13 000	1305
	62	24	1,1	24 900	6 600	2 530	675	9 500	12 000	2305
30	62	16	1	15 800	4 650	1 610	475	10 000	12 000	1206
	62	20	1	15 300	4 550	1 560	460	10 000	12 000	2206
	72	19	1,1	21 400	6 300	2 190	645	8 500	11 000	1306
	72	27	1,1	32 000	8 750	3 250	895	8 000	10 000	2306

Fonte : NSK (2013)

- Largura da vedação: 0,1
- Distância entre o centro da esfera e a extremidade da vedação: 3,60
- Folga da vedação: 0,02 x 0,14 (inferior) e 0,02 x 0,155 (superior)

Com todas as dimensões devidamente aplicadas, será obtida a figura 52:

Figura 52 - Sketch para rolamento autocompensador de esferas.

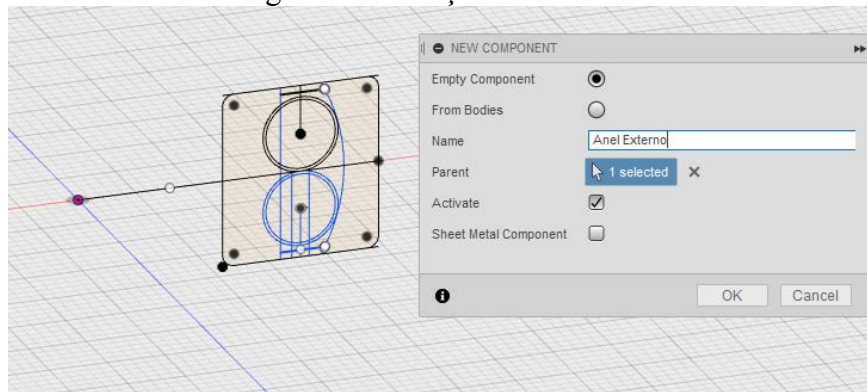


Fonte : Autor.

3.1.3.2 Passo 2: Criação dos anéis interno e externo por revolução

Deve-se criar um componente para cada anel, através da função *Create* → *New Component*, para então fazer a revolução da área respectiva de cada anel.

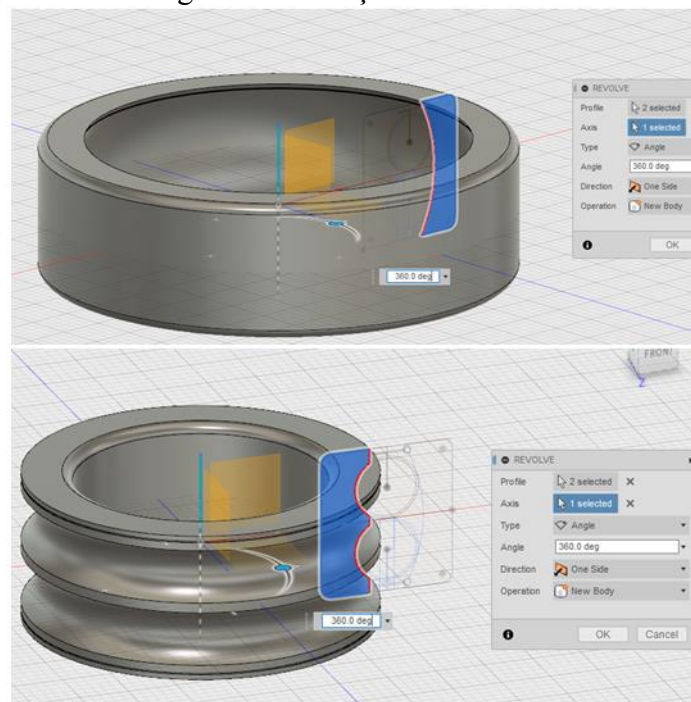
Figura 53 - Criação dos anéis 1.



Fonte : Autor.

Criando o componente, pode-se criar o anel correspondente através da **revolução** (função *revolve*) da área em função do eixo central do rolamento, para os anéis interno e externo, como mostrado na figura 54:

Figura 54 - Criação dos anéis 2.



Fonte : Autor.

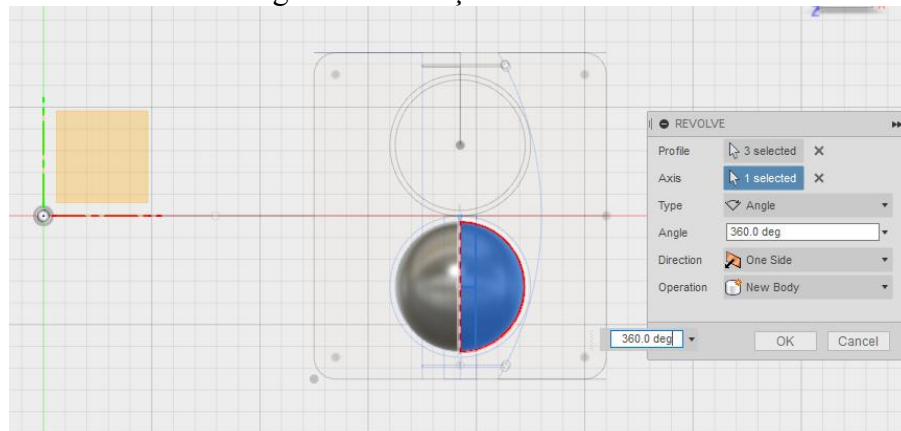
3.1.3.3 Passo 3: Criação das esferas

Para este rolamento, as esferas serão divididas em duas colunas: esferas da esquerda e da direita. Primeiramente, serão feitas os corpos rolantes da esquerda.

As esferas serão criadas a partir da revolução de metade da circunferência de tamanho 6mm, para então ser criado uma *pattern circular* com 16 esferas ao redor do eixo central do rolamento.

Cria-se um novo componente chamado “Esferas (Esquerda)”, para então ser feita uma revolução da semicircunferência em função do eixo que a divide ao meio.

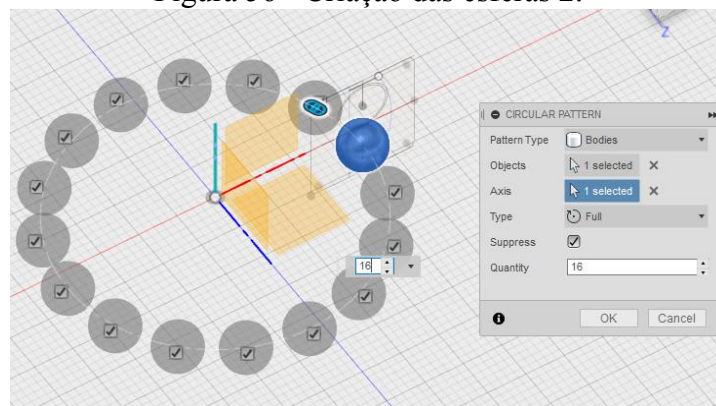
Figura 55 - Criação das esferas 1.



Fonte : Autor.

Com a esfera criada, é feito a *pattern circular* com 16 esferas idênticas:

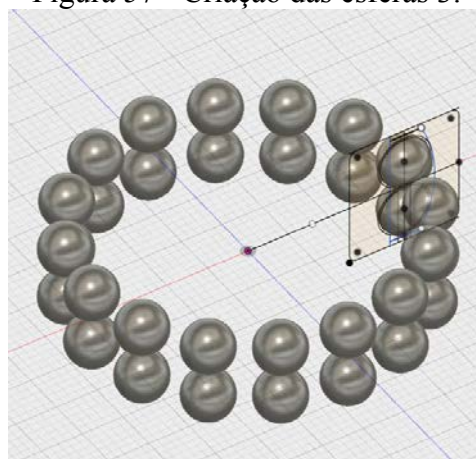
Figura 56 - Criação das esferas 2.



Fonte : Autor.

Então é feito o mesmo processo para um novo componente, chamado de “Esferas (Direita)”. O resultado final será como mostrado na figura 57:

Figura 57 - Criação das esferas 3.

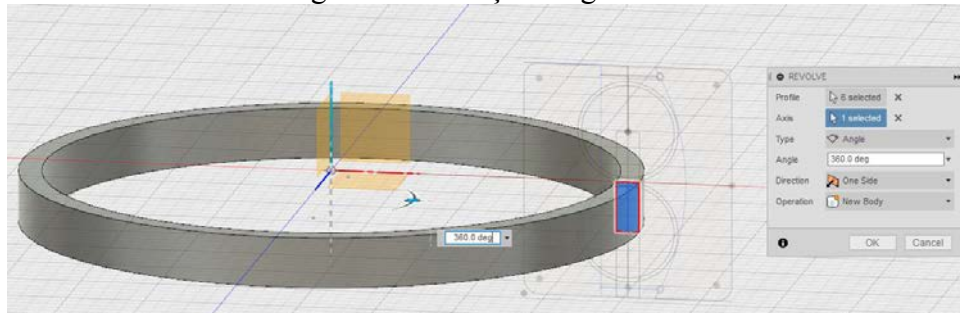


Fonte : Autor.

3.1.3.4 Passo 4: Criação da gaiola

Primeiramente, é criado um novo componente chamado “Gaiola”. Então será feita uma revolução do corpo da gaiola do lado esquerdo em torno do eixo central do rolamento, como mostrado na figura 58:

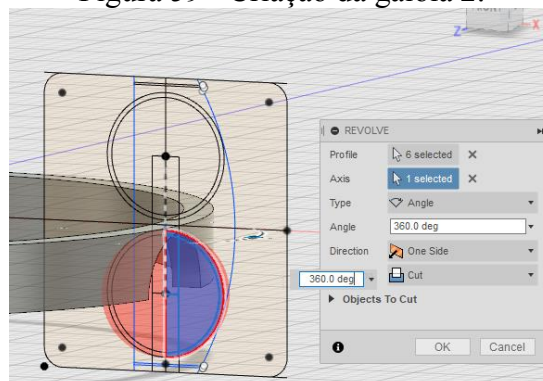
Figura 58 - Criação da gaiola 1.



Fonte : Autor.

Para construir o furo onde a esfera será posicionada, é feita uma revolução completa com a opção *cut* ativada da esfera de diâmetro 6,50mm.

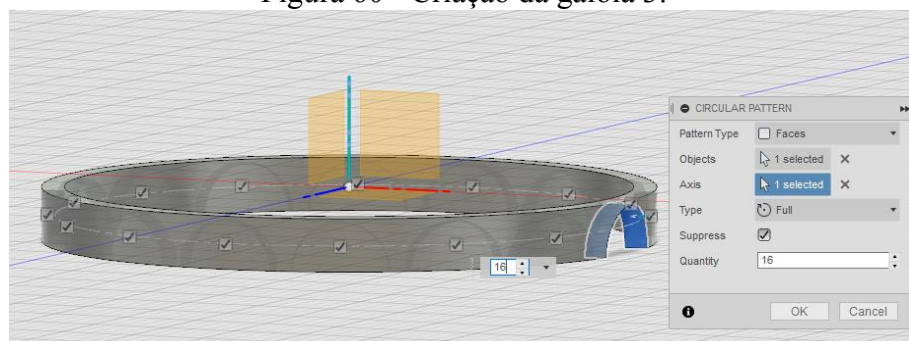
Figura 59 - Criação da gaiola 2.



Fonte : Autor.

Para reproduzir o furo para as outras 16 esferas, é feita uma *pattern circular* em torno do eixo central do rolamento com a face do furo criado.

Figura 60 - Criação da gaiola 3.

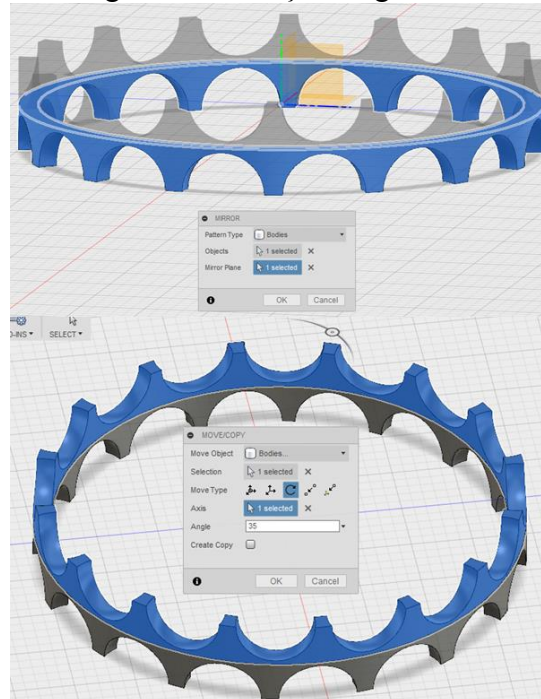


Fonte : Autor.

No rolamento autocompensador de esferas, as esferas da direita e esquerda não estão emparelhadas, ou seja, há um ângulo de diferença entre elas. Para este trabalho, foi

determinado que este ângulo é 35° , então é necessário espelhar (através da função *mirror*) o corpo criado em relação à face interna, para em seguida rotacionar o corpo da gaiola da direita em 35° , em relação ao eixo central do rolamento.

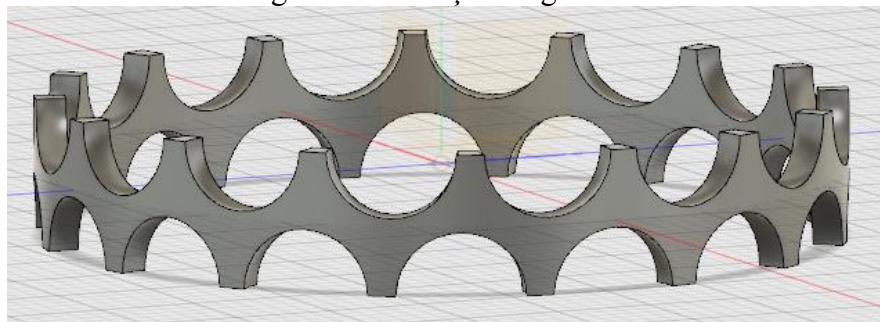
Figura 61 - Criação da gaiola 4.



Fonte : Autor.

Para efeitos de facilidade de manuseio, as partes da gaiola da esquerda e da direita serão unidas através da função *combine*, resultando no corpo da figura 62:

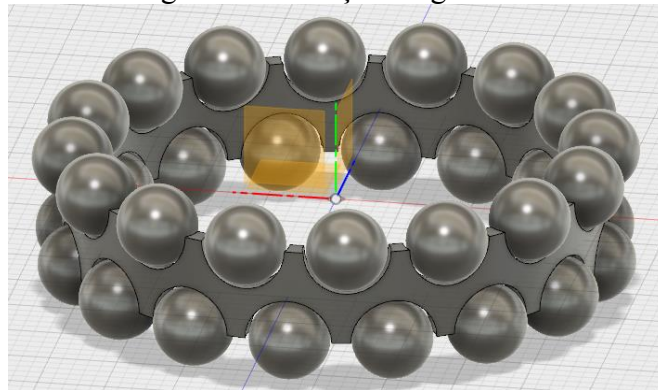
Figura 62 - Criação da gaiola 5.



Fonte : Autor.

Para posicionar as esferas corretamente, é necessário rotacionar o componente “Esferas (direita)” em 35° em relação ao eixo central do rolamento, resultando na figura 63:

Figura 63 - Criação da gaiola 6.

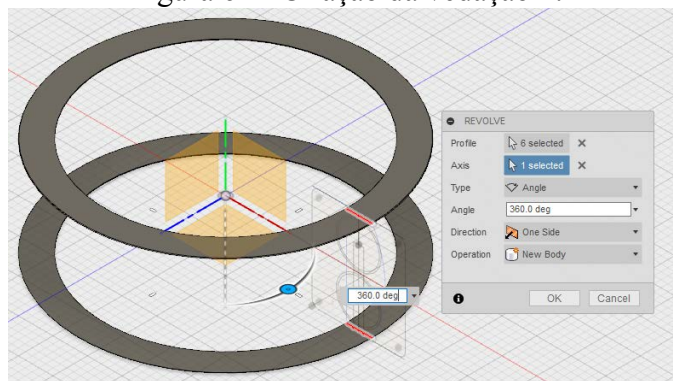


Fonte : Autor.

3.1.3.5 Passo 5: Criação da vedação

A vedação será criada a partir dos dois retângulos de espessura 0,1mm, com uma revolução completa em torno do eixo central do rolamento, criando um novo componente.

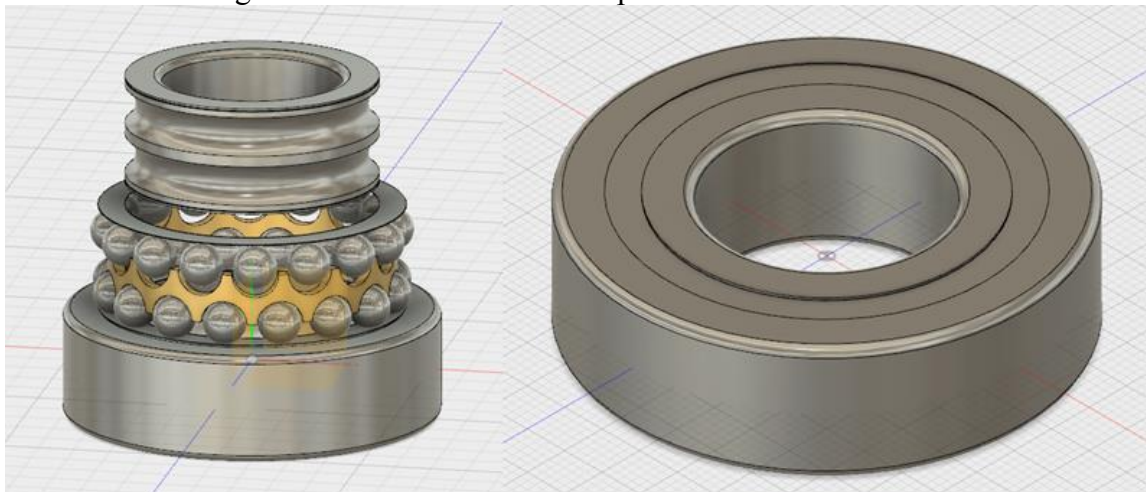
Figura 64 - Criação da vedação 1.



Fonte : Autor.

Aplicando o padrão de materiais escolhido para este trabalho, o resultado final obtido será idêntico à figura 65:

Figura 65 - Rolamento autocompensador de esferas final.



Fonte : Autor.

3.1.4 Roteiro para criação de rolamento de rolos cilíndricos de uma carreira

O objetivo desta seção é criar um passo-a-passo para modelagem de um rolamento real de rolos cilíndricos de uma carreira no Fusion360, a partir de especificações contidas no catálogo NSK para as dimensões principais. Escolheu-se o modelo com as medidas destacadas na tabela 9:

Tabela 9 - Tabela de dimensões para rolamento de rolos cilíndricos de uma carreira.

Dimensões (mm)							Capacidade de Carga Básica (N)		Limite de Rotação (°) (rpm)	
d	D	B	r mín.	r ₁ mín.	F _W	E _W	C _r	C _{0r}	Graxa	Óleo
20	47	14	1	0,6	—	40	15 400	12 700	15 000	18 000
	47	14	1	0,6	26,5	—	25 700	22 600	13 000	16 000
	47	18	1	0,6	27	—	20 700	18 400	13 000	16 000
	47	18	1	0,6	26,5	—	30 500	28 300	13 000	16 000
	52	15	1,1	0,6	—	44,5	21 400	17 300	12 000	15 000
	52	15	1,1	0,6	27,5	—	31 500	26 900	12 000	15 000
	52	21	1,1	0,6	28,5	—	30 500	27 200	11 000	14 000
	52	21	1,1	0,6	27,5	—	42 000	39 000	11 000	14 000
25	47	12	0,6	0,3	30,5	—	14 300	13 100	15 000	18 000
	52	15	1	0,6	—	45	17 700	15 700	13 000	16 000
	52	15	1	0,6	31,5	—	29 300	27 700	12 000	14 000
	52	18	1	0,6	31,5	—	35 000	34 500	12 000	14 000
	62	17	1,1	1,1	—	53	29 300	25 200	10 000	13 000
	62	17	1,1	1,1	34	—	41 500	37 500	10 000	12 000
	62	24	1,1	1,1	34	—	57 000	56 000	9 000	11 000
	80	21	1,5	1,5	38,8	62,8	46 500	40 000	9 000	11 000
30	55	13	1	0,6	36,5	48,5	19 700	19 600	12 000	15 000
	62	16	1	0,6	—	53,5	24 900	23 300	11 000	13 000
	62	16	1	0,6	37,5	—	39 000	37 500	9 500	12 000
	62	20	1	0,6	37,5	—	49 000	50 000	9 500	12 000
	72	19	1,1	1,1	—	62	38 500	35 000	8 500	11 000
	72	19	1,1	1,1	40,5	—	53 000	50 000	8 500	10 000
	72	27	1,1	1,1	40,5	—	74 500	77 500	8 000	9 500
	90	23	1,5	1,5	45	73	62 500	55 000	7 500	9 500
35	62	14	1	0,6	42	55	22 600	23 200	11 000	13 000
	72	17	1,1	0,6	—	61,8	35 500	34 000	9 500	11 000
	72	17	1,1	0,6	44	—	50 500	50 000	8 500	10 000
	72	23	1,1	0,6	44	—	61 500	65 500	8 500	10 000
	80	21	1,5	1,1	—	68,2	49 500	47 000	8 000	9 500
	80	21	1,5	1,1	46,2	—	66 500	65 500	7 500	9 500
	80	31	1,5	1,1	46,2	—	93 000	101 000	6 700	8 500
	100	25	1,5	1,5	53	83	75 500	69 000	6 700	8 000

Fonte : NSK (2013)

Para este modelo, a dimensão da folga interna adotada foi de 5 µm (Adotou-se o valor mínimo para um rolamento de rolos cilíndricos de diâmetro de furo igual a 35).

Tabela 10 - Folga interna para rolamento de rolos cilíndricos de uma carreira.

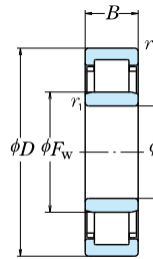
Unidade: μm																						
Diâm. Nominal do Furo d (mm)	Rolamentos de Furo Cilíndrico com Folgas Intercambiáveis										Rolamentos de Furo Cilíndrico com Folgas Não Intercambiáveis											
	C2		Normal		C3		C4		C5		CC1		CC2		CC (¹)		CC3		CC4		CC5	
	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.
— 10	0	25	20	45	35	60	50	75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10 24	0	25	20	45	35	60	50	75	65	90	5	15	10	20	20	30	35	45	45	55	65	75
24 30	0	25	20	45	35	60	50	75	70	95	5	15	10	25	25	35	40	50	50	60	70	80
30 40	5	30	25	50	45	70	60	85	80	105	5	15	12	25	25	40	45	55	55	70	80	95
40 50	5	35	30	60	50	80	70	100	95	125	5	18	15	30	30	45	50	65	65	80	95	110
50 65	10	40	40	70	60	90	80	110	110	140	5	20	15	35	35	50	55	75	75	90	110	130

Fonte : NSK (2013)

O rolamento será dividido em 5 partes diferentes: anel interno, anel externo, gaiola, cilindros e vedação.

O corte 2D simplificado do rolamento de rolos cilíndricos é representado pela figura 66:

Figura 66 - Corte 2D para rolamento de rolos cilíndricos de uma carreira.



Fonte: NSK (2013)

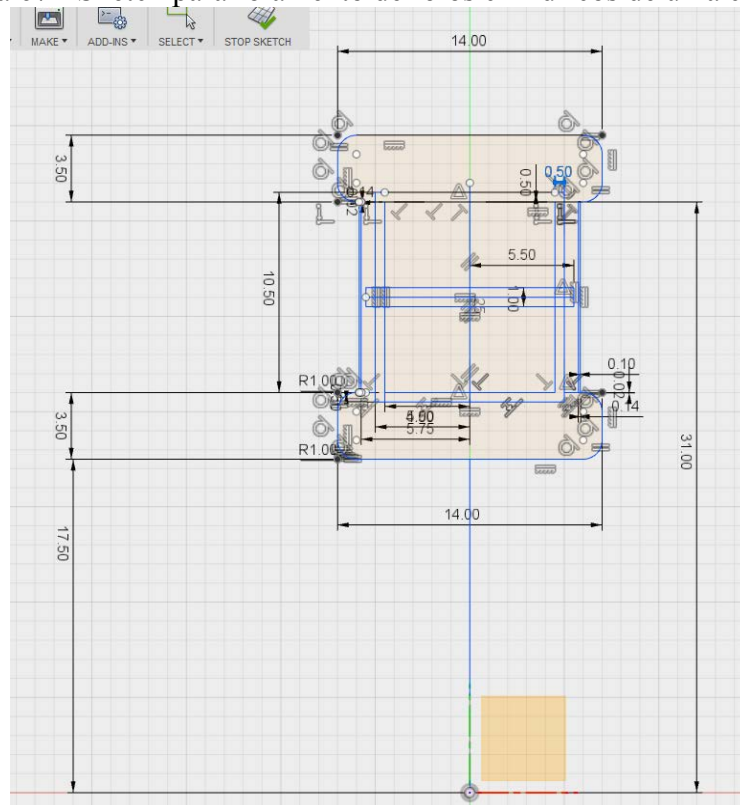
3.1.4.1 Passo 1: Criação do sketch básico

Primeiramente deve ser feito o sketch básico, a partir do qual serão obtidas todas as partes do sólido. O catálogo NSK fornece as dimensões principais do rolamento escolhido, porém o autor definiu algumas dimensões (valores em mm) por aproximação:

- Largura da vedação: 0,1
- Distância entre o centro da cilindro e a extremidade da vedação: 5,75
- Folga da vedação: 0.02 x 0.14
- Quantidade de cilindros: 14
- Largura da gaiola: 1 x 10,5
- Diâmetro do cilindro: 10

Com todas as dimensões devidamente aplicadas, será obtida a figura 67:

Figura 67 - Sketch para rolamento de rolos cilíndricos de uma carreira.

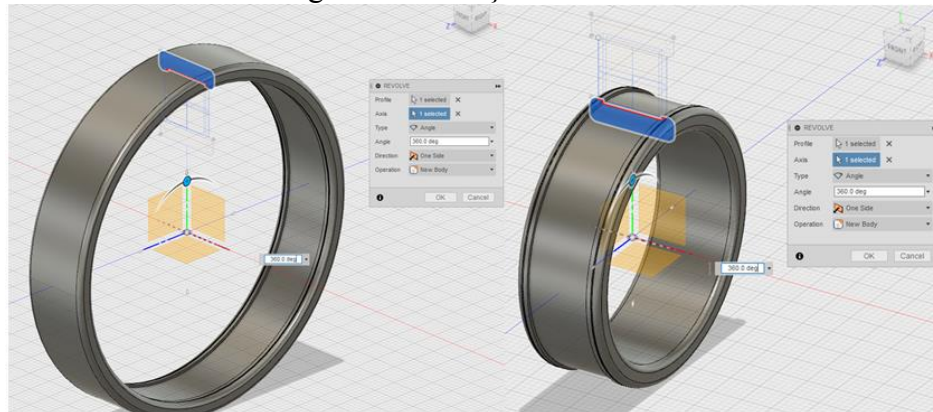


Fonte : Autor.

3.1.4.2 Passo 2: Criação dos anéis interno e externo por revolução

Deve-se criar um componente para cada anel, através da função *Create* → *New Component*, para então fazer a revolução da área respectiva de cada anel.

Figura 68 - Criação dos anéis.



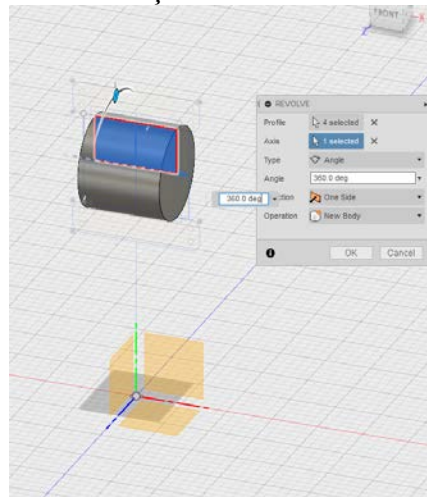
Fonte : Autor.

3.1.4.3 Passo 3: Criação dos rolos cilíndricos

Os cilindros serão criados a partir da revolução de metade do retângulo de altura 10mm, para então ser criada uma *pattern circular* com 14 cilindros ao redor do eixo central do rolamento.

Cria-se um novo componente entitulado “Cilindro”, para então ser feita uma revolução do retângulo em função do eixo que o divide ao meio.

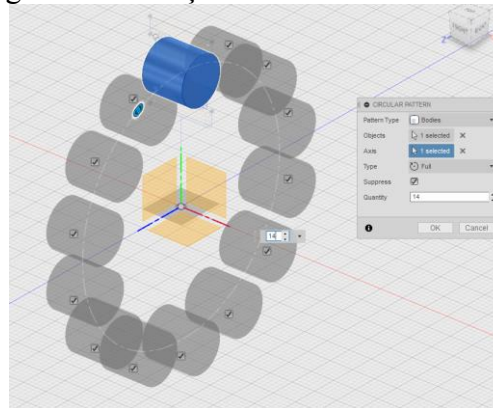
Figura 69 - Criação dos rolos cilíndricos 1.



Fonte : Autor.

Com o cilindro criado, é feita a *pattern circular* com 14 cilindros idênticos:

Figura 70 - Criação dos rolos cilíndricos 2.

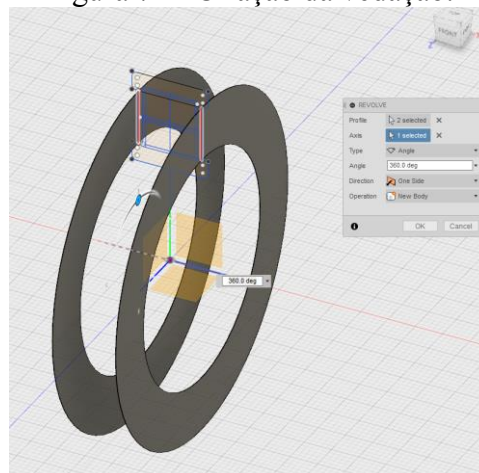


Fonte : Autor.

3.1.4.4 Passo 4: Criação da vedação

A vedação será criada a partir dos dois retângulos de espessura 0,1mm, com uma revolução completa em torno do eixo central do rolamento, criando um novo componente.

Figura 71 - Criação da vedação.

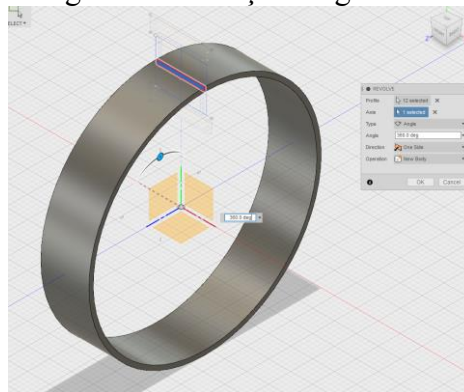


Fonte : Autor.

3.1.4.5 Passo 5: Criação da gaiola

Primeiramente deve-se fazer a revolução total do corpo da gaiola em relação ao eixo central do rolamento. Posteriormente este corpo bruto será cortado para o formato da gaiola real.

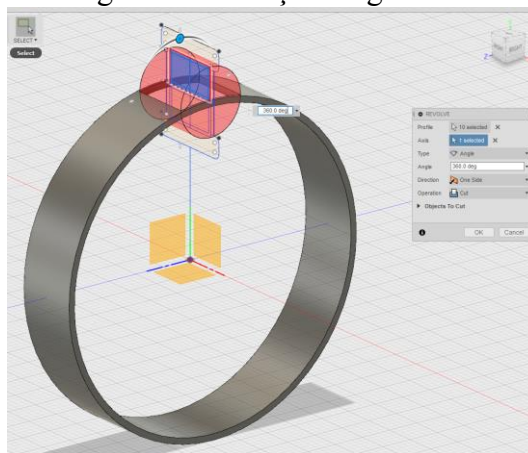
Figura 72 - Criação da gaiola 1.



Fonte : Autor.

Então é feito uma revolução do retângulo maior (com a folga) em torno do eixo que o corta no meio, com a função *cut* ativada. Assim, o furo onde será encaixado o cilindro é criado.

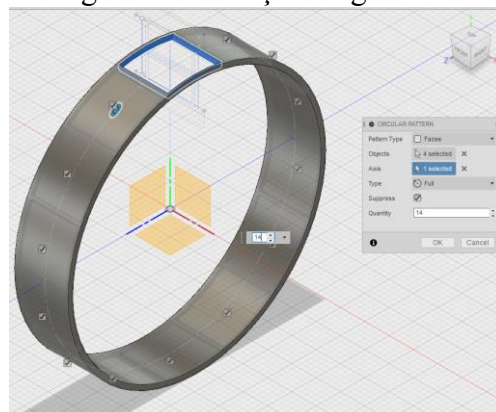
Figura 73 - Criação da gaiola 2.



Fonte : Autor.

Esta ação é reproduzida para os outros cilindros através da função *pattern circular*, onde serão criados 14 espaços para os cilindros.

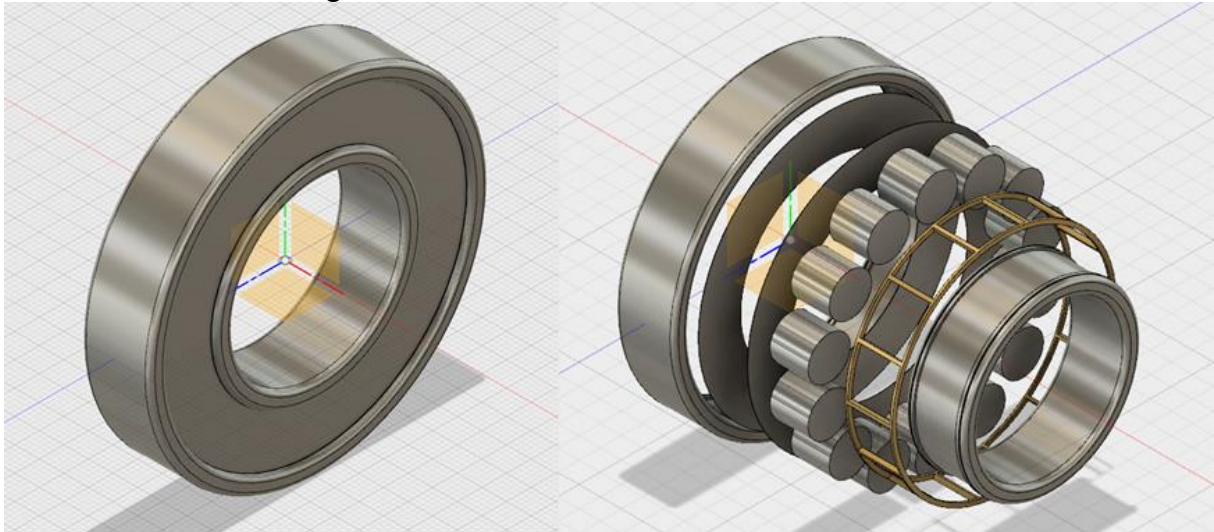
Figura 74 - Criação da gaiola 3.



Fonte : Autor.

Aplicando o padrão de materiais escolhido para este trabalho, o resultado final obtido será idêntico à figura 75:

Figura 75 - Rolamento de rolos cilíndricos final.



Fonte : Autor.

3.1.5 Roteiro para criação de rolamento de rolos cônicos de uma carreira

O objetivo desta seção é criar um passo-a-passo para modelagem de um rolamento real de rolos cônicos de uma carreira no Fusion360, a partir de especificações contidas no catálogo NSK para as dimensões principais. Escolheu-se o modelo com as medidas destacadas na tabela 11:

Tabela 11 - Tabela de dimensões para rolamento de rolos cônicos.

<i>d</i>	Dimensões (mm)						Capacidade de Carga Básica (N)				Limite de Rotação (rpm)	
	<i>D</i>	<i>T</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	Cone <i>r</i> mín.	Capa	<i>C_r</i>	<i>C_{0r}</i>	<i>C_r</i>	<i>C_{0r}</i>	Graxa	Óleo
30	47	12	12	9	0,3	0,3	17 600	24 400	1 800	2 490	7 500	10 000
	55	17	17	13	1	1	36 000	44 500	3 700	4 550	6 700	9 000
	55	20	20	16	1	1	42 000	54 000	4 250	5 500	6 700	9 000
	62	17,25	16	14	1	1	43 000	47 500	4 400	4 850	6 000	8 000
	62	17,25	16	12	1	1	35 500	37 000	3 650	3 800	5 600	7 500
	62	21,25	20	17	1	1	52 000	60 000	5 300	6 150	6 000	8 500
	62	21,25	20	16	1	1	48 000	56 000	4 900	5 750	6 000	8 000
	62	25	25	19,5	1	1	66 500	79 500	6 800	8 100	6 000	8 000
	72	20,75	19	16	1,5	1,5	59 500	60 000	6 050	6 100	5 300	7 500
	72	20,75	19	14	1,5	1,5	56 500	55 500	5 800	5 650	5 300	7 100
	72	20,75	19	14	1,5	1,5	49 000	52 500	5 000	5 350	4 800	6 700
	72	20,75	19	14	1,5	1,5	49 000	52 500	5 000	5 350	4 800	6 800
	72	28,75	27	23	1,5	1,5	80 000	88 500	8 150	9 000	5 600	7 500
	72	28,75	27	23	1,5	1,5	76 000	86 500	7 750	8 800	5 600	7 500

Fonte : NSK (2013)

Para este modelo, a dimensão da folga interna adotada foi de 5 μ m (Adotou-se o valor mínimo para um rolamento de rolos cônicos de diâmetro de furo igual a 30mm).

Tabela 12 - Folga interna para rolamento rolos cônicos.

Unidade: μm

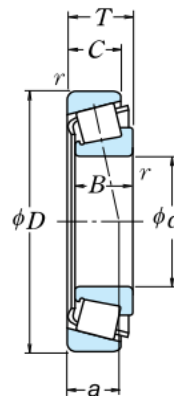
Diâm. Nominal do Furo <i>d</i> (mm)	Rolamentos de Furo Cilíndrico com Folgas Intercambiáveis										Rolamentos de Furo Cilíndrico com Folgas Não Intercambiáveis											
	C2		Normal		C3		C4		C5		CC1		CC2		CC (1)		CC3		CC4		CC5	
	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.
— 10	0	25	20	45	35	60	50	75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10 24	0	25	20	45	35	60	50	75	65	90	5	15	10	20	20	30	35	45	45	55	65	75
24 30	0	25	20	45	35	60	50	75	70	95	5	15	10	25	25	35	40	50	50	60	70	80
30 40	5	30	25	50	45	70	60	85	80	105	5	15	12	25	25	40	45	55	55	70	80	95
40 50	5	35	30	60	50	80	70	100	95	125	5	18	15	30	30	45	50	65	65	80	95	110
50 65	10	40	40	70	60	90	80	110	110	140	5	20	15	35	35	50	55	75	75	90	110	130

Fonte : NSK (2013)

O rolamento será dividido em 4 partes diferentes: anel interno, anel externo, gaiola e rolos cônicos. Não será construída a vedação para este tipo de rolamento.

O corte 2D simplificado do rolamento de rolos cônicos é representado pela figura 76:

Figura 76 - Corte 2D para rolamento rolos cônicos.



Fonte: NSK (2013)

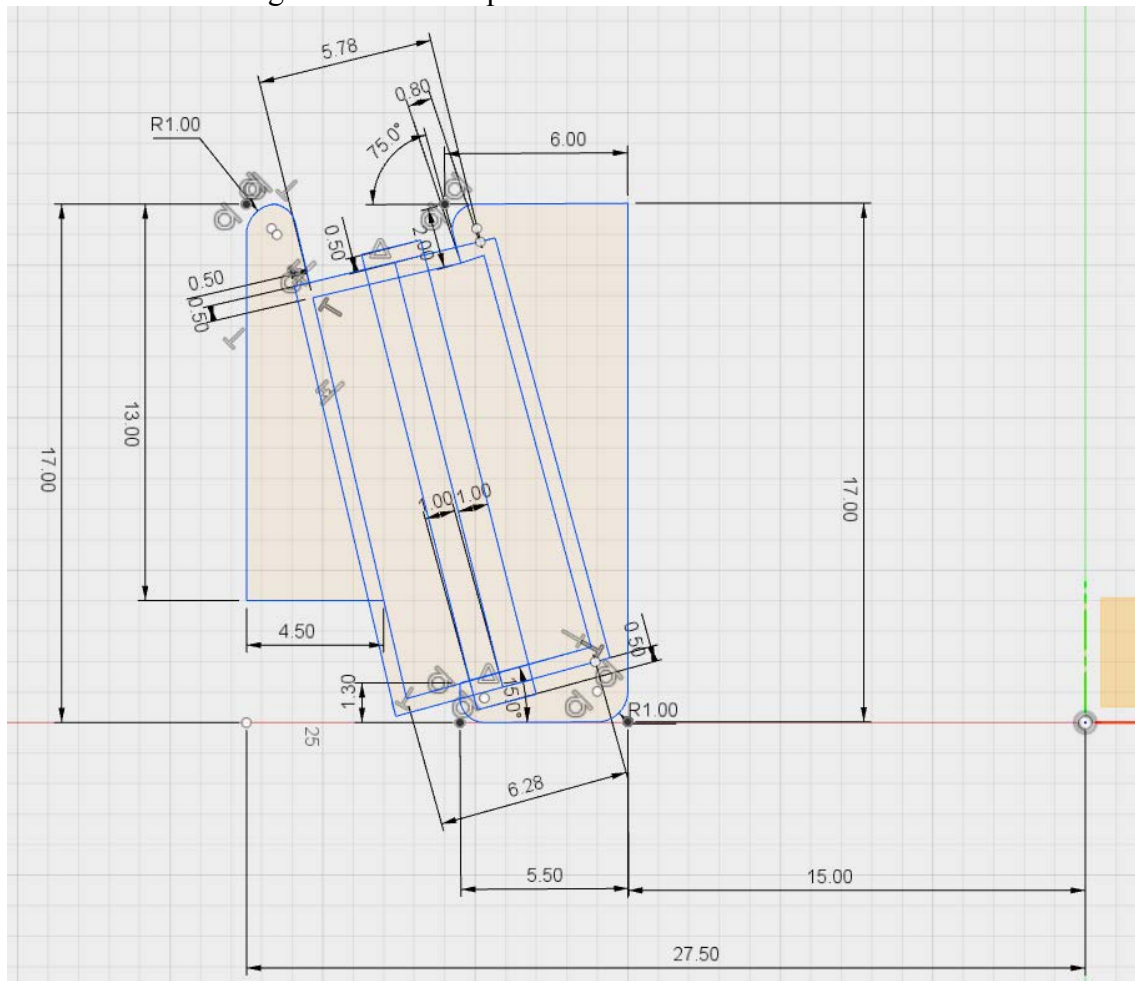
3.1.5.1 Passo 1: Criação do sketch básico

Primeiramente deve ser feito o sketch básico, a partir do qual serão obtidos todas as partes do sólido. O catálogo NSK fornece as dimensões principais do rolamento escolhido, porém o autor definiu algumas dimensões (valores em mm) por aproximação:

- Quantidade de rolos cônicos: 16
- Largura da gaiola: 2
- Diâmetro do rolo cônico: 5,78 (menor) e 6,28 (maior)

O restante das dimensões escolhidas é mostrado na figura 77:

Figura 77 - Sketch para rolamento de rolos cônicos.

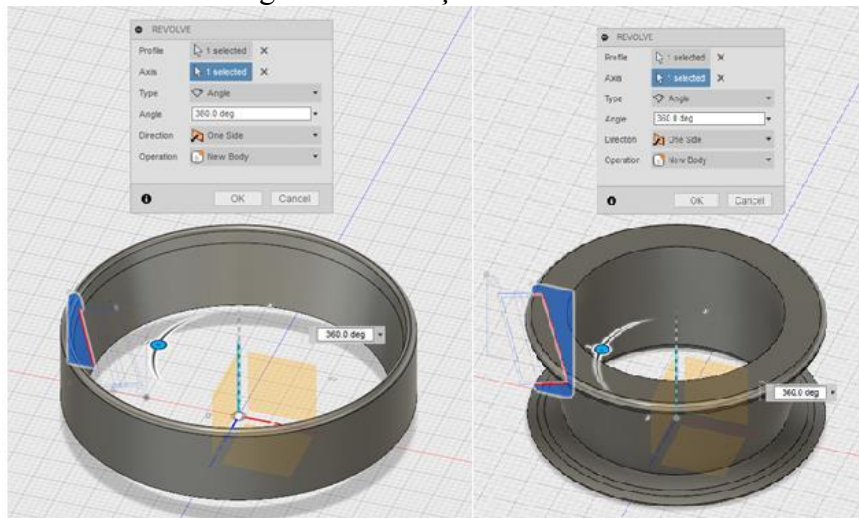


Fonte : Autor.

3.1.5.2 Passo 2: Criação dos anéis interno e externo por revolução

Deve-se criar um componente para cada anel, através da função *Create* → *New Component*, para então fazer a revolução da área respectiva de cada anel.

Figura 78 - Criação dos anéis 1.



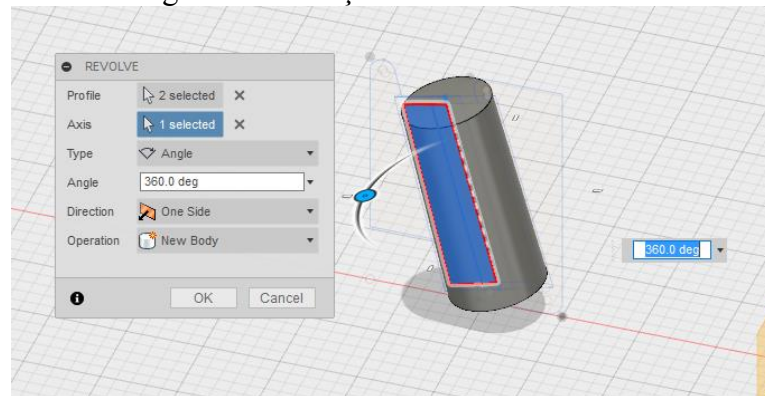
Fonte : Autor.

3.1.5.3 Passo 3: Criação dos rolos cônicos

Os rolos cônicos serão criados a partir da revolução de metade do retângulo interno do esboço, para então ser criada uma pattern circular com 16 rolos cônicos ao redor do eixo central do rolamento.

Cria-se um novo componente intitulado “Rolos Cônicos”, para então ser feita uma revolução do retângulo em função do eixo que o divide ao meio.

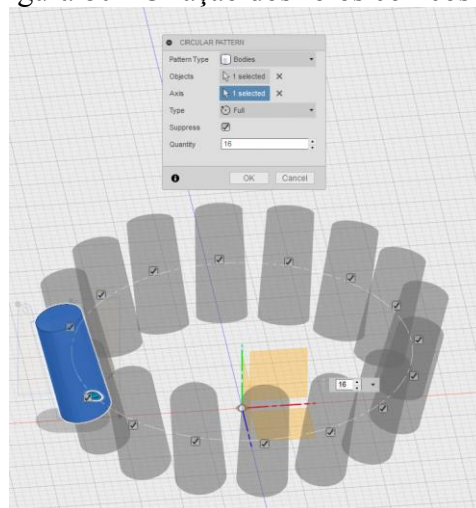
Figura 79 - Criação dos rolos cônicos 1.



Fonte : Autor.

Com o rolo cônico criado, é feita a *pattern circular* com 16 peças idênticas:

Figura 80 - Criação dos rolos cônicos 2.

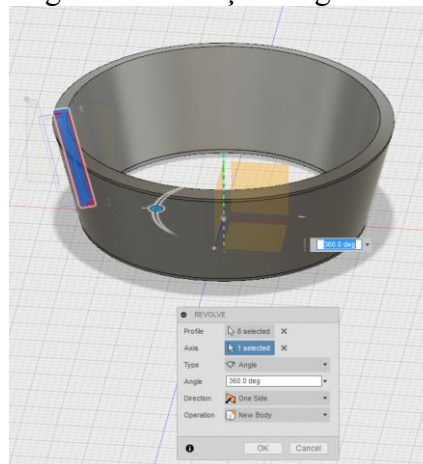


Fonte : Autor.

3.1.5.4 Passo 4: Criação da gaiola

Primeiramente deve-se fazer a revolução total do corpo da gaiola em relação ao eixo central do rolamento. O corpo da gaiola é o retângulo de largura 2mm posicionado no centro dos demais retângulos. Posteriormente este corpo bruto será cortado para o formato da gaiola real.

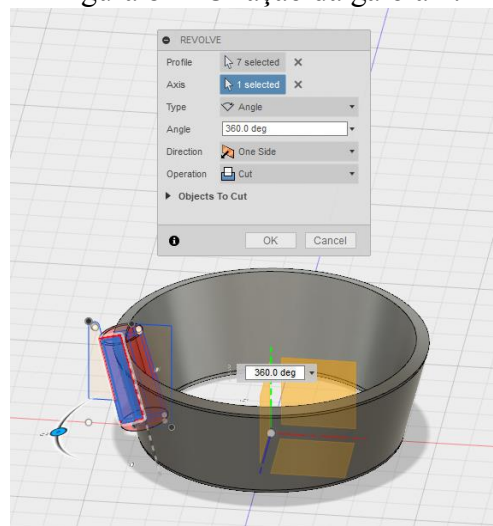
Figura 81 - Criação da gaiola 1.



Fonte : Autor.

Então é feito uma revolução do retângulo central (com a folga) em torno do eixo que o corta no meio, com a função *cut* ativada. Assim, o espaço onde será encaixado o rolo cônico é criado.

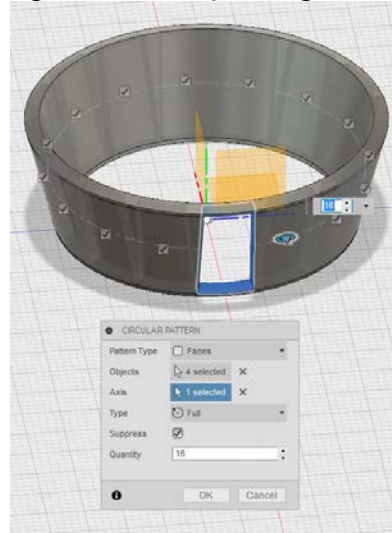
Figura 82 - Criação da gaiola 2.



Fonte : Autor.

Esta ação é reproduzida para os outros rolos cônicos através da função *pattern circular*, onde serão criados 16 espaços para as peças.

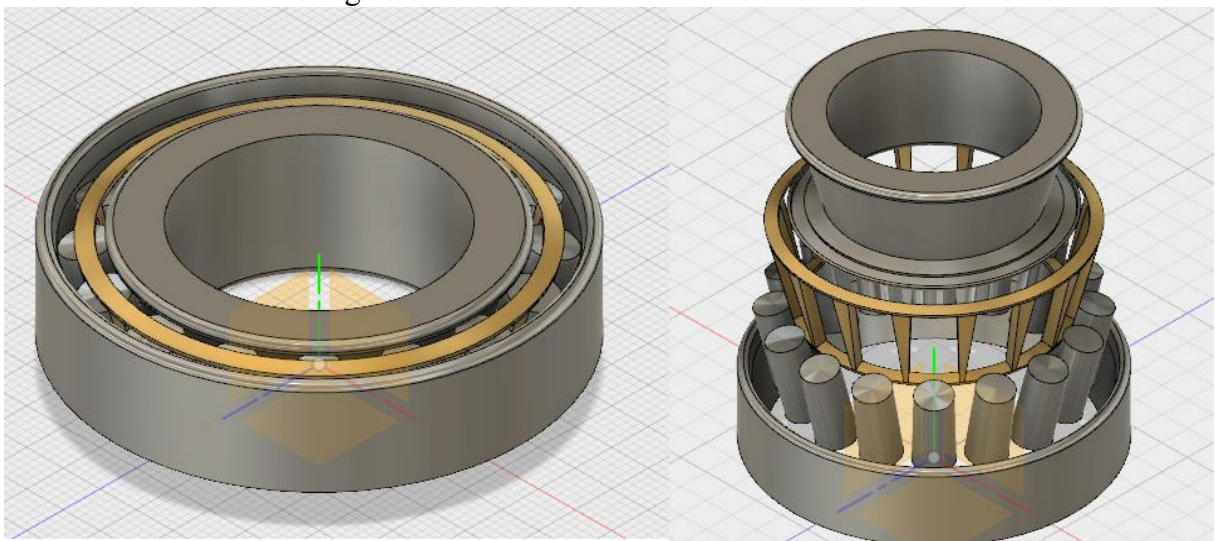
Figura 83 - Criação da gaiola 3.



Fonte : Autor.

Aplicando o padrão de materiais escolhido para este trabalho, o resultado final obtido será idêntico a figura 84:

Figura 84 - Rolamento de rolos cônicos final.



Fonte : Autor.

4 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

A experiência com o Fusion360 durante a realização deste trabalho mostrou que este software pode ser utilizado onde a modelização 3D faz-se necessária em computadores com capacidade de processamento reduzida, por isso seu uso é recomendado em escolas e faculdades, sendo recomendado para casos de modelagem 3D e simulação de eventos. Suas principais vantagens são: leveza (podendo ser instalado em computadores menos potentes), preço significativamente menor que outros softwares, e unificação do sistema de armazenamento pela nuvem, funcionando completamente online.

A maior dificuldade encontrada na realização deste trabalho foi a definição dos valores não informados pelo catálogo da fabricante. Concluiu-se que as informações disponíveis nestes catálogos não são suficientes para a construção completa e precisa de um modelo. O autor necessitou adotar diversos valores para as medidas não informadas por aproximação.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a construção de roteiros para outros modelos de rolamentos, e a utilização destes modelos criados para a simulação do contato superficial, analisando os casos onde a fadiga superficial estará presente.

REFERÊNCIAS

AUTODESK. Menu **Fusion360**. Disponível em < <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview>>. Acesso em 20 nov. 2017.

NANNI, B. **Implementação de CADD nos cursos de graduação em Engenharia Mecânica**. Disponível em < <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/139262> >. Acesso em 20 nov. 2017.

NSK. **Catálogo Geral de Rolamentos 2013**. Disponível em < <http://www.nsk.com.br/rolamentos-144.htm#tab2949> >. Acesso em 20 nov. 2017.

SKF. **Rolamentos, unidades e mancais**. Fonte: SKF. Disponível em < <http://www.skf.com/br/products/bearings-units-housings/index.html> >. Acesso em 20 nov. 2017.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

Autodesk. **Fusion360 Overview**. Disponível em <<https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview>>. Acesso em 20 nov. 2017.

FINI, P.G. **Avaliação das condições de contorno da teoria de Hertz, comparando os resultados analíticos e numéricos a partir de simulações em software de elementos finitos**. Disponível em <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/119077>>. Acesso em 20 nov. 2017.

Fusion 360 - Ball Bearing. Youtube, 17 mar. 2017. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=ImfWL1W6Eew>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

NORTON, Robert L. **Projeto de Máquinas**. 4a Edição. Porto Alegre: Bookman, 2013. 1028 p.