UNESP

Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

Guaratinguetá

2015

RENAN OYAKAWA ROSA

APLICAÇÃO DO SOFTWARE AUTODESK™ INVENTOR NA ELABORAÇÃO DO PROJETO DE UM REDUTOR DE VELOCIDADES

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

2015

Rosa, Renan Oyakawa
R788a Aplicação do software Autodesk™ inventor na elaboração do projeto de um redutor de velocidades / Renan Oyakawa Rosa – Guaratinguetá, 2015.
82 f : il.
Bibliografia: f. 82

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015.
Orientador: Prof. Dr. Fernando de Azevedo Silva

1. Engrenagens 2. Redutor de velocidade 3. Autodesk Inventor I. Título

CDU 621.83

unesp UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

RENAN OYAKAWA ROSA

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. MÁRCIO AUGUSTO MARTIN
UNESP-FEG

Janeiro de 2016

DADOS CURRICULARES

RENAN OYAKAWA ROSA

NASCIMENTO	24/07/1990	SÃO PAULO/SP
FILIAÇÃO	Armando Cordeiro Rosa	
	Nanci Oyakawa Rosa	
2010/2015	Curso de Graduação em Engenharia Mecânica	
	Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - UNESP	

AGRADECIMENTOS

Agradeço, inicialmente aos meus pais, *Armando e Nanci*, que sempre me instruíram através de exemplos sobre amor, carinho e união; que sempre me ensinaram a comemorar ao máximo as vitórias, mas com humildade e ao mesmo tempo aprender com as tristezas da vida; no sentido de que tudo que "dói" traz um aprendizado. Além do fato de terem me proporcionado um dos melhores sistemas de ensino possível, e todos os complementos necessários para que eu pudesse concretizar esse momento presente de me graduar engenheiro mecânico,

à Deus, criador do céu e da Terra, que me permitiu e permite viver cada dia dessa existência terrena, com todas as suas alegrias e desafios; e se faz presente para mim em tudo que me rodeia, mas principalmente nas maiores simplicidades da vida,

ao meu orientador, *Prof. Dr. Fernando de Azevedo Silva*, que apesar de já estar orientando muitos outros alunos, cedeu uma parte do seu tempo aceitando me orientar, inclusive definindo um tema no qual veio a calhar muito bem, e sempre me orientou de maneira assertiva e clara, sendo assim um dos professores de maior importância para meu desenvolvimento acadêmico e profissional,

ao professor do COTEC, *Aílton* , que foi um pessoa de suma importância para o andamento e definição do trabalho de graduação, sempre me auxiliando em minha duvidas técnicas, com muita paciência e amor ao trabalho que realiza com os alunos do colégio técnico,

aos meus colegas de faculdade, de colégio e cursinho; por terem me acompanhado nessa longa jornada da vida, tanto nos momentos de alegria, quanto de tristeza, pelos momentos em que precisamos nos unir para compreender melhor um assunto ou em outros momentos quando o aprendizado tinha de ser solitário, mas sempre com um ombro amigo,

à todos os meus familiares, que já estiveram presentes direta e indiretamente na minha vida e na minha caminhada rumo a graduação.

ROSA, R. O. **Aplicação do software Autodesk™ Inventor na elaboração do projeto de um redutor de velocidade.** 82f. 2015. Trabalho de Graduação (Departamento de Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, 2015.

RESUMO

Por meio de uma abordagem atual e prática, este trabalho tem por objetivo demonstrar como um redutor de velocidade se comportaria em uma situação real, porém utilizando um ambiente digital. Portanto, primeiramente, foi feita a modelagem de cada componente do redutor, movido por engrenagens. Finalizada a modelagem dos componentes, foi possível realizar a conexão entre eles e assim caracterizar o trabalho como um redutor de velocidade; e através do redutor devidamente dimensionado e moldado, podemos enfim demonstrar o funcionamento do mesmo, no próprio ambiente do Autodesk™ Inventor 2014.

PALAVRAS-CHAVE: Redutor de Velocidade; Autodesk Inventor 2014.

ROSA, R. O. **Autodesk Inventor software application in the developing of a speed reducer design.** 2015. 82f Monograph (Graduation in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia, Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, 2015.

ABSTRACT

Through a current and practical approach, this work aims to demonstrate how a speed reducer would behave in a real situation, but using a digital environment. Therefore, first, it was made the modeling of each component of the reducer, driven by gears. Completed the modeling of the components, it was possible to realize the connection between them and thus characterize the work as a speed reducer; and using properly sized and shaped reducer, we could finally demonstrate the operation of the same, the very Autodesk Inventor ™ 2014 environment.

KEYWORDS: Speed Reducer; Autodesk Inventor 2014.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Caixa de marchas 16
Figura 2 - Redutor de engrenagens cilíndricas com dentes helicoidais 16
Figura 3 - Redutor de engrenagens cônicas e cilíndricas 17
Figura 4 - Redutor do tipo coroa e rosca sem fim 17
Figura 5 - Redutor Epicicloidal 18
Figura 6 - Marcha baixa no CVT 19
Figura 7 - Marcha alta no CVT 19
Figura 8 - Eixo árvore, com chaveta e engrenagem acopladas 20
Figura 9 - Engrenagem hipóide com dentes retos e eixos paralelos 22
Figura 10 - Engrenagem cônica helicoidal 22
Figura 11 - Eixo com uma chaveta ressaltada 23
Figura 12 - Rolamentos SKF 23
Figura 13 - Arruela de Segurança 24
Figura 14 - Porcas de Fixação 24
Figura 15 - Retentores 25
Figura 16 - Carcaça inferior de um redutor de velocidade 26
Figura 17 - Tela de boas vindas do Inventor 27
Figura 18 - Ferramentas de Esboço 2D 27
Figura 19 - Ferramentas do Design Accelerator 28
Figura 20 - Ferramentas de Montagem 28
Figura 21 - Ferramentas de análise estrutural 28
Figura 22- Visão externa do redutor 30
Figura 23 - Visão interna do redutor 31
Figura 24 – Vista lateral da carcaça do redutor 33
Figura 25 – Corte frontal da carcaça 34
Figura 26 - Vista Superior da carcaça inferior 34
Figura 27 - Desenho técnico das tampas do redutor 35
Figura 28 - Desenho técnico – Eixo (componente 19) 35
Figura 29 - Desenho técnico - Eixo (componente 24) 36
Figura 30 - Desenho técnico - Eixo (componente 34) 36
Figura 31 - Desenho técnico - Eixo (componente 28) 36
Figura 32 - Desenho técnico – Engrenagens Cônicas 37
Figura 33 - Desenho técnico - Engrenagem (componente 26) 37
Figura 34 - Desenho técnico - Engrenagem (componente 42) 38
Figura 35 - Desenho técnico carcaça (adaptado) 38
Figura 36 - Desenho técnico Tampas (adapatado) 39
Figura 37 - Desenho técnico Engrenagens (adaptado) 40
Figura 38 - Desenho técnico Eixos (adaptado) 40
Figura 39 - Aba de projetos 41
Figura 40 - Aba de projetos 41
Figura 41 - Tipo de projeto 42
Figura 42 - Novo arquivo 43
Figura 43 - Vista lateral das carcaças 43
Figura 44 - Criando rascunhos 44
Figura 45 - Sketch 1 45

Figura 46 - Sketch 2 45
Figura 47 - Criação do plano paralelo 46
Figura 48 - Gerando o plano 46
Figura 49 - Sketch 3 47
Figura 50 - Close loop 48
Figura 51 - Extrusão 1 49
Figura 52 - Extrusão 2 49
Figura 53 - Plano paralelo 50
Figura 54 - Sketch 4 50
Figura 55 - Extrusão 3 51
Figura 56 - Revolução 1 51
Figura 57 - Sketch 5 52
Figura 58 - Extrusão 4 52
Figura 59 - Sketch 6 53
Figura 60 - Revolução 2 53
Figura 61 - Revolução 3 54
Figura 62 - Revolução 4 54
Figura 63 - Revolução 5 55
Figura 64 - Sketch 7 55
Figura 65- Extrusão 5 56
Figura 66 - Carcaça Inferior Final 56
Figura 67 - Sketch 1 (Superior) 57
Figura 68 - Todos is sketch's (superior) 58
Figura 69 - Carcaça Superior Final 58
Figura 70 - Design Accelerator 59
Figura 71 - Janela Accelerator Eixos 59
Figura 72 - Acabamento do Eixo (lado Esquerdo) 60
Figura 73 - Tipo de Fio 60
Figura 74 - Medições da ranhura 61
Figura 75 - Formato da secção do eixo 61
Figura 76 - Edição de diâmetro e comprimento do eixo 61
Figura 77 - Janela de edição de diâmetro e comprimento do eixo 62
Figura 78 - Acabamento (lado direito) 62
Figura 79 - Inserir nova secção 63
Figura 80 - Eixo modelado 63
Figura 81 - Desenho técnico (tampas) 64
Figura 82 - Formato do arquivo 65
Figura 83 - Sketch Tampa 44 65
Figura 84 - Tampa modelada 66
Figura 85 - Ferramenta Place 66
Figura 86 - Carcaça Inferior e eixos 67
Figura 87 - Medidas técnicas do rolamento 67
Figura 88 - Design Accelerator (Rolamentos) 68
Figura 89 - Tipos de rolamentos 68
Figura 90 - Perfil de rolamento selecionado 68
Figura 91 – Modelagem (outros rolamentos) 69
Figura 92 - Restrição 1 69

Figura 93 - Modelamento dos eixos 70
Figura 94 - Accelerator Engrenagens Cônicas 71
Figura 95 - Accelerator Engrenagens Cilíndricas 71
Figura 96 - Engrenagens modeladas 72
Figura 97 - Ferramenta Distance 72
Figura 98 - Rascunho nas engrenagens 73
Figura 99 - Modelamento final (Engrenagens Cônicas) 73
Figura 100 - Modelamento final das engrenagens 74
Figura 101 - Accelerator Chaveta 74
Figura 102 - Place from Content Center 75
Figura 103 - Accelerator (Arruelas de segurança) 75
Figura 104 - Restrição Arruelas 76
Figura 105 - Accelerator (porcas de fixação) 76
Figura 106 - Restrição entre as carcaças 77
Figura 107 - Restrição (tampas) 77
Figura 108 - Rascunho (parafusos das tampas) 78
Figura 109 - Accelerator Parafusos 78
Figura 110 - Diâmetro e comprimento (parafusos) 79
Figura 111 - Restrição (parafusos - tampas) 79
Figura 112 - parafusos (carcaças) 80
Figura 113 - Acabamento externo 81
Figura 114 - Redutor Final 81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1– Informações dos componentes do Redutor.....29
Quadro 2– Informações dos componentes do Redutor.....30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12
1.1 MOTIVAÇÃO DO TRABALHO 13
1.2 OBJETIVOS 14
1.3 OS REDUTORES DE VELOCIDADE 15
1.3.1 **Redutores de velocidade por engrenagens** 15
1.3.2 **Redutor do tipo epicicliodal** 18
1.3.3 **Redutor com transmissão continuamente variável (CVT)** 18
1.4 PRINCIPAIS COMPONENTES DO REDUTOR DE VELOCIDADES 20
1.4.1 **Eixos e Árvores** 20
1.4.2 **Engrenagens** 20
1.4.1.1 Cremalheiras 20
1.4.1.2 Rosca sem fim 21
1.4.1.3 Cilíndricas 21
1.4.3 **Chavetas** 22
1.4.4 **Rolamentos** 23
1.4.5 **Arruelas de segurança** 23
1.4.6 **Porcas de fixação** 24
1.4.7 **Retentores** 24
1.4.8 **Carcaça** 25
1.5 AUTODESK INVENTOR 2014 26
2 DESENVOLVIMENTO 29
2.1 DEFINIÇÃO DA PROPOSTA E CONSIDERAÇÕES 29
2.1.1 **Infraestrutura de Processamento** 29
2.1.2 **Dados do Redutor** 30
2.2 MODELAGEM DOS COMPONENTES DO REDUTOR 33
3 RESULTADOS OBTIDOS 41
4 CONCLUSÃO 81
4.1 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS 83
REFERÊNCIAS 84

1 INTRODUÇÃO

O redutor de velocidade pode ser definido como a máquina responsável por reduzir a rotação de um acionador, ou seja, é a ponte entre o motor e a máquina. Seu surgimento data por volta do final do século 19, época em que a energia elétrica chegou ao chão de fábrica e os motores elétricos criaram um novo problema. Os motores elétricos possuíam um rendimento aceitável somente em rotações muito acima das necessárias nas máquinas acionadas. Era necessário desenvolver um dispositivo que pudesse converter a potência do motor para a velocidade prática da máquina.

E assim surgiu o redutor de velocidade, um dispositivo capaz de reduzir as rotações por minuto de um motor elétrico para rotações por hora de algumas máquinas. E com o passar dos anos o primeiro modelo de redutor foi aprimorado, assim como outros tipos de redutores surgiram e foram desenvolvidos, com o auxílio de ferramentas como o desenho técnico mecânico.

Aproximadamente um século após o surgimento do redutor de velocidade, em meados da década de 70, época de expansão da era computacional, surge o primeiro computador de uso pessoal, o Apple I; assim considerado pois era acompanhado de um pequeno monitor gráfico que exibia o que estava acontecendo no computador.

A criação desse dispositivo possibilitou o surgimento do AutoCAD (Computer Aided Design) através da empresa Autodesk; uma ferramenta que revolucionou diversos ramos da indústria, no início da década de 80; pois possibilitou a elaboração de peças de desenho técnico em duas dimensões e posteriormente, a criação de modelos tridimensionais (3D).

Com o passar dos anos, a Autodesk desenvolveu outros produtos além do AutoCAD, sendo um deles o Inventor (Software 3D para projeto mecânico); que é análogo a outros softwares como Catia e Solidworks, e juntamente ao AutoCAD são imprescindíveis na formação técnica e teórica de um engenheiro na área mais clássica da engenharia mecânica.

1.1 MOTIVAÇÃO DO TRABALHO

A motivação maior para a escolha do tema do trabalho proposto, surgiu durante o meu estágio de férias, no qual pude me deparar e ter contato diretamente com um redutor de velocidades, em uma empresa de bens de consumo; e na necessidade de querer aprimorar não somente a minha estrutura curricular, mas também complementar algumas disciplinas vistas durante a graduação; me foi proposto, pelo meu professor orientador, desenvolver o projeto virtual de um redutor de velocidades por engrenagens, no qual eu seria responsável por gerar cada componente, realizar a montagem dos mesmos e ao final simular através do sistema de elementos finitos do próprio software. O redutor utilizado para o desenvolvimento do trabalho, que já possuía um desenho técnico mecânico, se encontra no livro *Provenza, Desenhista de Máquinas*. Somando esses fatores ao fato de que o autor desse trabalho estava começando a me ambientar no próprio Autodesk Inventor™; o professor doutor Fernando de Azevedo Silva propôs o tema: Aplicação do software Autodesk™ Inventor na elaboração do projeto de um redutor de velocidade.

1.2 OBJETIVOS

O intuito deste trabalho é demonstrar de uma maneira objetiva e didática, através do ambiente do Autodesk Inventor™, como modelar os componentes de um sistema de redução de velocidades por engrenagens, além de demonstrar como é feita a união dos componentes; caracterizando um redutor.

Somado a esse fato, também tem-se por objetivo, demonstrar o potencial de uma ferramenta CAD, e como um software de modelagem 3D pode ser um bom complemento aos cursos de engenharia, não se limitando somente a engenharia mecânica, já que na maioria dos cursos de engenharia (tendo como referência a faculdade onde estou me graduando) o único software incluído na grade curricular para desenho técnico é o AutoCAD, que é um software que se demonstra prático para realizar desenho técnicos em 2D, porém nem tanto para desenhos tridimensionais como o Inventor.

1.3 OS REDUTORES DE VELOCIDADE

Segundo Gerson (2011), um redutor de velocidades pode ser definido como um dispositivo mecânico que tem como função reduzir a velocidade (rotação) de um acionador. A sua aplicação é necessária sempre que desejamos alterar a rotação do acionador para a rotação requerida.

Os redutores se diferenciam em várias classificações, que variam conforme o dispositivo mecânico utilizado na redução e a disposição dos eixos no redutor; que podem ser classificados da seguinte maneira:

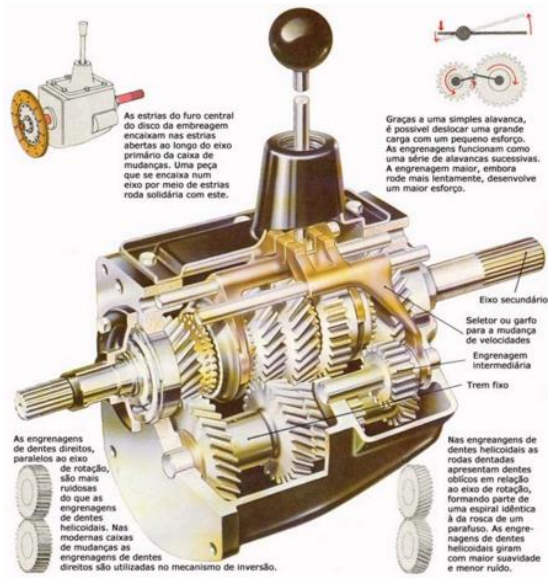
1.3.1 Redutores de velocidade por engrenagens

Os redutores de velocidade por engrenagens são classificados pelo tipo de engrenagem utilizada; cilíndricas ou cônicas, com dentes retos ou helicoidais. A disposição dos eixos também é um fator decisivo na classificação.

Os dentes das engrenagens podem ser retos ou helicoidais, quando há a intenção de se reduzir a vibração e o ruído utiliza-se engrenagens de dentes helicoidais, já que a transmissão de potência nesse caso é realizada de maneira mais homogênea. Em contrapartida, as engrenagens de dentes retos são mais simples de serem fabricadas e, portanto, apresentam um custo mais reduzido e podem ser aplicadas em situações onde a exigência por vibração e ruídos não seja tão elevada.

Os redutores geralmente trabalham com somente uma taxa de redução. No caso de existir a possibilidade de atuar no dispositivo e alterar a taxa de redução, este passa a ser chamado de câmbio ou caixa de marchas; como observamos na maioria dos veículos automotivos (Figura 1):

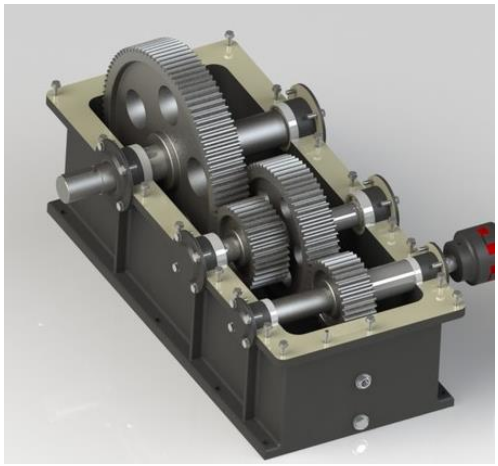
Figura 1 - Caixa de marchas



Fonte: (PAULO G. COSTA, 2001)

A seguir, veremos exemplos de redutores com somente uma taxa de redução. Abaixo (Figura 2) podemos observar um Redutor de engrenagens cilíndricas com dentes helicoidais e eixos paralelos:

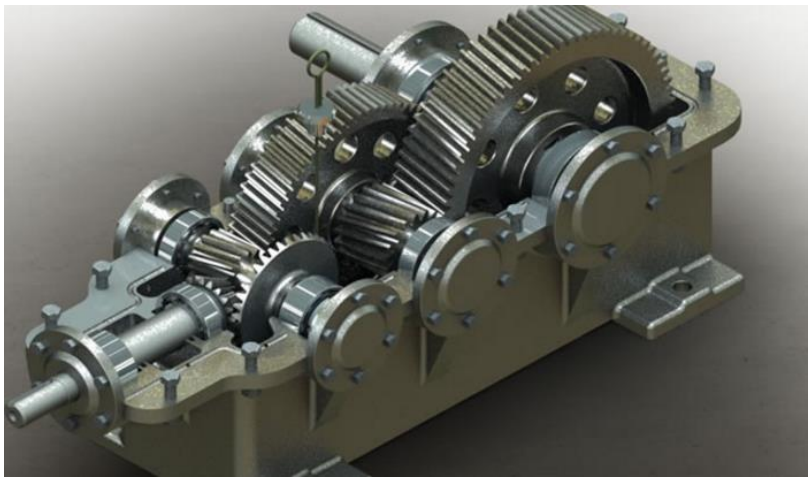
Figura 2 - Redutor de engrenagens cilíndricas com dentes helicoidais



Fonte: (COPAFLEX, 2009)

Logo em seguida, temos um redutor de engrenagens cilíndricas e um por de engrenagens cônicas, com dentes helicoidais; porém com um eixo perpendicular aos eixos em paralelos (Figura 3):

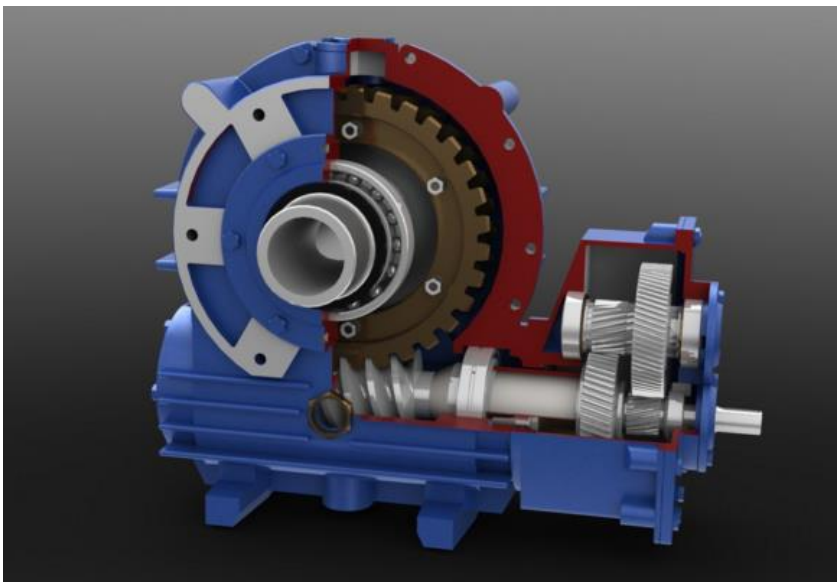
Figura 3 - Redutor de engrenagens cônicas e cilíndricas



Fonte: (REDAÇÃO INDUSTRIA HOJE, 2013)

E por fim, nos redutores por engrenagens, temos os redutores do tipo coroa e rosca sem fim; que possuem eixos perpendiculares e em planos distintos (Figura 4):

Figura 4 - Redutor do tipo coroa e rosca sem fim



Fonte: (FRESADORA SANT'ANA, 1998)

1.3.2 Redutor do tipo epicicliodal

Os redutores epicicloidais, são segundo redutores que utilizam engrenagens cilíndricas de dentes retos com uma ou mais engrenagens de dentes internos em sua configuração. Esses redutores são indicados para situações nas quais necessita-se de um sistema mais compacto e com capacidade de trabalhar com altas taxas de redução (Figura 5):

Figura 5 - Redutor Epicicloidal

Fonte: (WIKIPEDIA, 2013)

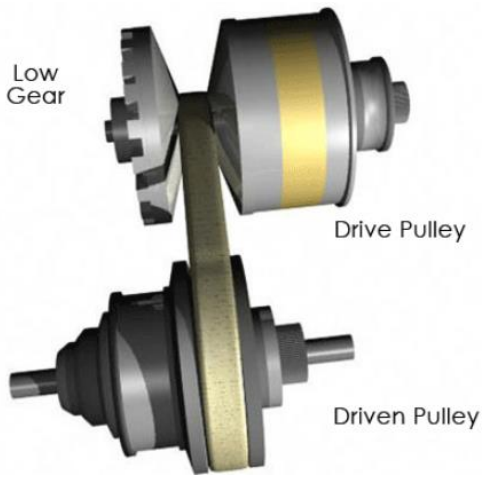
1.3.3 Redutor com transmissão continuamente variável (CVT)

Além dos redutores convencionais, que se utilizam da redução por engrenagens, existem também máquinas que permitem a alteração de taxa de redução, chamados comumente de variadores de velocidade (CVT). Os câmbios do tipo CVT estão cada vez mais difundidos no meio automotivo e já são encontrados em carros renomados como Toyota Corolla e Honda Fit; mas também são aplicados em motocicletas, karts, snowmobiles e carros de golfe.

Esse redutor tem como principais vantagens, a redução de vibração e atrito, além do tamanho reduzido, trocas de "marcha" mais rápidas e uma quantidade infinita de relações de marchas.

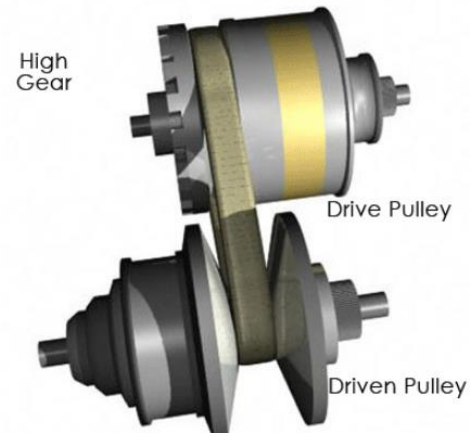
O seu funcionamento pode ser explicado basicamente como uma variação do diâmetro de duas polias em formas cônicas, que são interligadas por uma correia, geralmente em forma de V. As Figuras 6 e 7, mostram respectivamente como seria uma marcha "baixa" e uma "alta" em um CVT.

Figura 6 - Marcha baixa no CVT



Fonte: (UNB, 2010)

Figura 7 - Marcha alta no CVT



Fonte: (UNB, 2010)

1.4 PRINCIPAIS COMPONENTES DO REDUTOR DE VELOCIDADES

Como o redutor escolhido para o desenvolvimento desse trabalho é o redutor de velocidade por engrenagens que se encontra no livro *Provenza, Desenhista de Máquinas* (Figura 3), fez-se necessário demonstrar quais são os principais componentes que caracterizam esse tipo de redutor e quais as suas funcionalidades.

1.4.1 Eixos

Segundo Budynas(2011), eixos são definidos como elementos rotativos, usualmente de seção transversal circular, usados para transmitir potência ou movimento. Ele fornece o eixo de rotação, ou oscilação, de elementos tais como engrenagens, polias, volantes, manivelas, entre outros.

E podemos assim, elaborar um eixo com um sistema de árvore, que são os eixos encontrados no redutor de velocidade por engrenagens, eixos que possuem variações no seu diâmetro, ao longo de sua extensão para acoplar elementos de máquinas (Figura 8).

Figura 8 - Eixo árvore, com chaveta e engrenagem acopladas

Fonte: (TAUNOS, 2014)

1.4.2 Engrenagens

Elemento mecânico que se ligam aos eixos e que possuem rodas dentadas, as quais podem ser retas ou em formato de hélice (helicoidais), que são responsáveis por imprimir potência e torque do componente acionador ao acionado.

As engrenagens são elementos que operam aos pares; e os pares são classificados como coroa, a engrenagem menor do par, ou pinhão, a maior.

Quanto ao formato dos dentes, podemos classifica-los como retos, quando são dispostos paralelamente entre si, em relação ao eixo; o qual é o tipo mais comum de engrenagem e possui um custo de produção mais reduzido por ser mais simples a sua fabricação.

Já em relação a disposição das engrenagens, elas podem ser classificadas da seguinte maneira:

1.4.2. Cilíndricas

A disposição cilíndrica, é composta somente por engrenagens como elemento de máquina, e se dividem em duas classificações: hipóides e cônicas.

As engrenagens cônicas são engrenagens empregadas quando os eixos (árvores) se cruzam em um ângulo de intersecção de 90° geralmente, podendo variar para mais ou menos. Os dentes das rodas cônicas também têm formato cônico, e podem ser tanto retos quanto helicoidais, dificultando a sua produção e requerem uma montagem precisa para o funcionamento adequado.

As engrenagens hipóides, ao contrário das cônicas possuem eixos que não se cruzam e não são necessariamente paralelos. Elas são utilizadas para transmitir movimento e cargas elevadas, e seus dentes também podem assumir um formato reto ou helicoidal.

A seguir podemos observar uma hipóide com dentes retos (Figura 9) e uma cônica helicoidal (Figura 10), respectivamente.

Figura 9 - Engrenagem hipóide com dentes retos e eixos paralelos

Fonte: (FREZADORA PAULISTA, 2012)

Figura 10 - Engrenagem cônica helicoidal

Fonte: (FREZADORA PAULISTA, 2012)

1.4.3 Chavetas

A ASME define chaveta como uma parte de maquinaria desmontável que, quando colocada em assentos, representa um meio positivo de transmitir torque entre o eixo e o cubo. As chavetas são padronizadas pelo seu tamanho e por sua forma em diversas formas. Uma chaveta paralela, por exemplo, possui seção transversal quadrada ou retangular e de altura e largura constantes ao longo do seu comprimento. Uma chaveta cônica é de largura constante, mas sua altura varia com um afunilamento linear; ela pode não ter cabeça ou ter uma cabeça com formato de quilha para facilitar a remoção. Abaixo podemos observar um exemplo de chaveta em um eixo.(Figura 11)

Figura 11 - Eixo com uma chaveta ressaltada

Fonte: (SCHAEFFLER, 2015)

1.4.4 Rolamentos

Elementos que giram ao redor do eixo e tem o objetivo de conectar o eixo a carcaça, possibilitando a eles o menor atrito possível ao girar. (Figura 12)

Figura 12 - Rolamentos SKF

Fonte: (http://autopecascidadenova.com.br/loja/?product=rolamentos-skf)

1.4.5 Arruelas de segurança

Arruelas de segurança são anéis metálicos utilizados para fixar os rolamentos nas extremidades dos eixos. As arruelas possuem uma saliência interna que ficará alinhada com o entalhe feito na extremidade do eixo a ser acoplado. (Figura 13)

Figura 13 - Arruela de Segurança

Fonte: (FERRACAL, 2015)

1.4.6 Porcas de fixação

Como o próprio nome diz, são porcas e portanto possuem roscar internas, e são utilizadas para fixar a arruela de segurança e o rolamento nas devidas posições. Elas ainda possuem entalhes externos, os quais são conectados aos dentes da arruela de segurança. (Figura 14)

Figura 14 - Porcas de Fixação

Fonte: (LAPAROL, 2014)

1.4.7 Retentores

Retentores ou anéis de vedação, são vedadores de borracha com molas, que tem o objetivo de reter o óleo da parte interna e evitar infiltrações de contaminantes externos.

Segue a representação de um retentor (Figura 15).

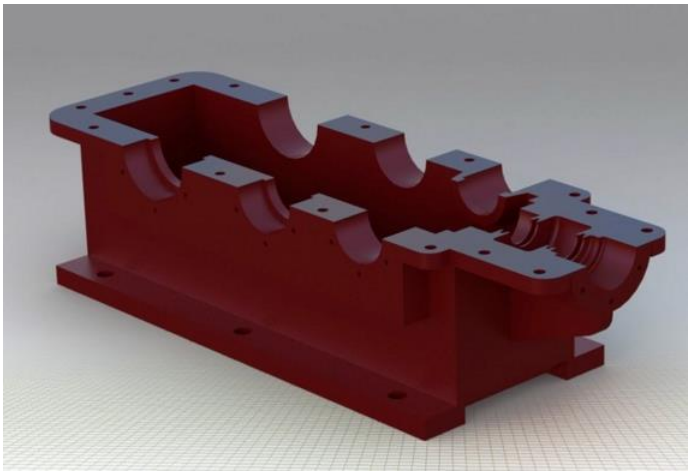
Figura 15 - Retentores

Fonte: (BERTOLDI, 2015)

1.4.8 Carcaça

A carcaça do redutor é comumente fabricada em chapa de aço de baixo carbono ou em ferro fundido, e é montada com solda ou alumínio. Em certos casos, ela é tratada termicamente para alívio das tensões de solda ou fundição. Ela pode ser bipartida ou apenas possuir abertura nas tampas dos mancais. (Figura 16)

Figura 16 - Carcaça inferior de um redutor de velocidade

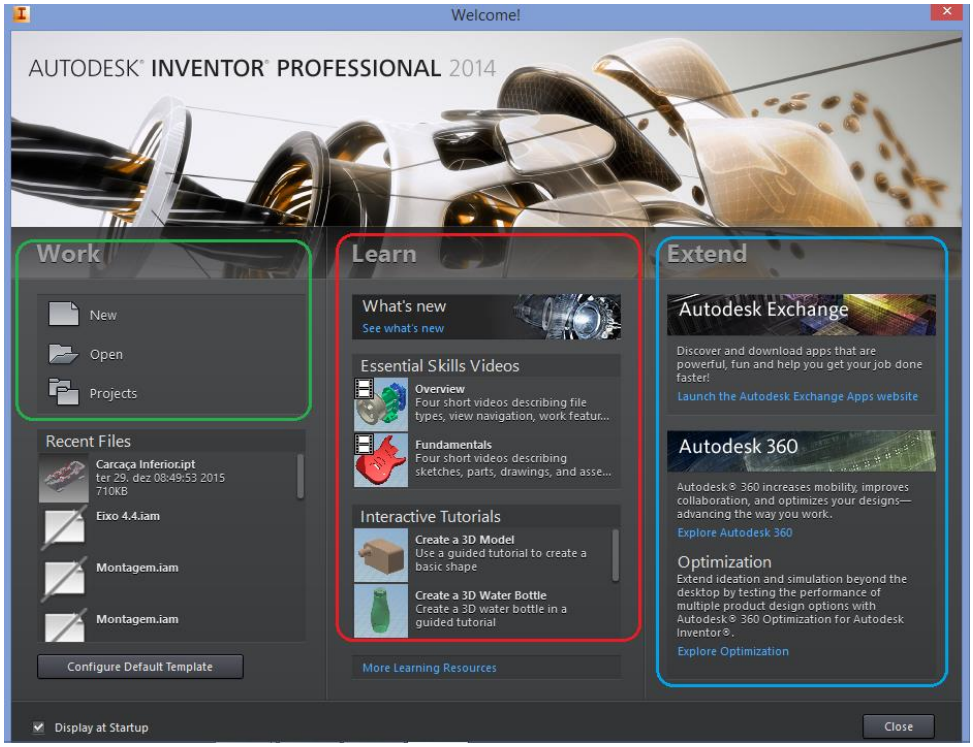


Fonte: (O AUTOR, 2015)

1.5 AUTODESK™ INVENTOR 2014

O Inventor 2014, uma ferramenta de modelagem 3D desenvolvida pela Autodesk™, possui um design bem prático e funcional. Além de uma preocupação para o melhor aprendizado de novos usuários, desde a sua tela de Boas Vindas, como podemos ver na Figura 17.

Figura 17 - Tela de boas vindas do Inventor



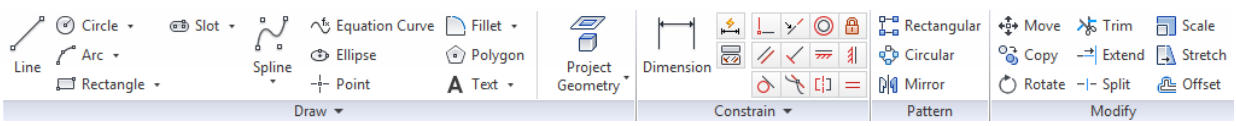
Fonte: (O AUTOR, 2015)

Ao rodar o Inventor 2014 pela primeira vez, essa será a primeira janela a aparecer. Nela (Figura, destacado em vermelho), é possível aprender sobre as novidades do Inventor 2014, além de encontrar vídeos explicando como utilizar as principais ferramentas do aplicativo, bem como aprender a criar novos Rascunhos (Sketch's) tanto em 2D, quanto em 3D e muitas outras funcionalidades.

Ainda na mesma figura, destacado em azul, é possível baixar aplicativos complementares ao Inventor e no canto esquerdo, destacado em verde, é possível criar novos projetos ou abrir projetos em andamento.

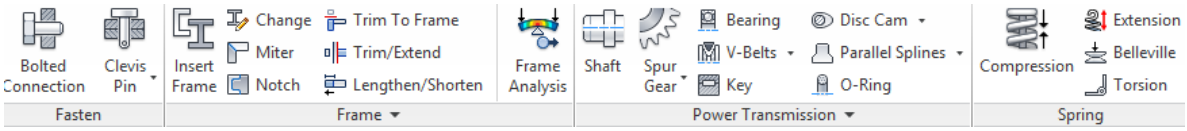
Já, dentro do ambiente do Inventor, este mostra se bastante abrangente, em termos de opções de edição de esboços feitos em 2D (Figura 20), em termos de geração e montagem dos componentes (Figuras 21 e 22, respectivamente) e em simulações de análise estrutural. (Figura 23)

Figura 18 - Ferramentas de Esboço 2D



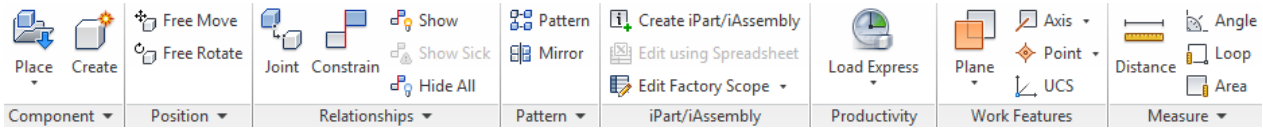
Fonte: (O AUTOR, 2015)

Figura 19 - Ferramentas do Design Accelerator



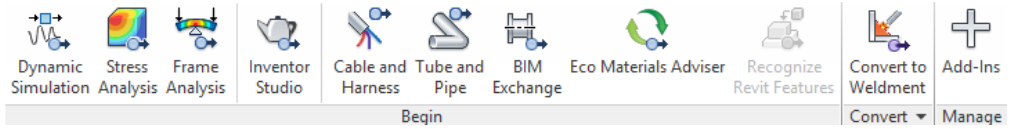
Fonte: (O AUTOR, 2015)

Figura 20 - Ferramentas de Montagem



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Figura 21 - Ferramentas de análise estrutural



Fonte: (O AUTOR, 2015)

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 DEFINIÇÃO DA PROPOSTA E CONSIDERAÇÕES

Este trabalho tem como proposta elaborar a modelagem 3D de um redutor de velocidade por engrenagens, composto por 4 eixos e 3 pares de engrenagens; sendo um par de engrenagens cônicas e 2 pares de engrenagens cilíndricas, ambas com dentes helicoidais.

E para tanto, a proposta pode ser dividida nas seguintes itens:

1) Modelar os componentes individualmente do redutor selecionado no ambiente do Autodesk Inventor™ 2014,

2) Realizar a construção do conjunto de peças, caracterizando o redutor e viabilizando o funcionamento do sistema mecânico do conjunto,

2.1.1 Infraestrutura de Processamento

Para a efetuar este trabalho fez se necessário o uso de um computador no qual foi instalado o software Autodesk™ Inventor Professional 2014, fundamental para modelar e analisar os componentes do redutor.

O computador utilizado nesse trabalho foi um Dell Vostro 5470, que apresenta a seguinte configuração:

Sistema operacional: Microsoft Windows 8.1 Single Language - 64 bits
Processador: Intel Core i7-4510U CPU / 2.60 GHz

Memória RAM: 8 GB

Placa de vídeo: DDR3 NVIDIA® GeForce® GT 740M / 2 GB

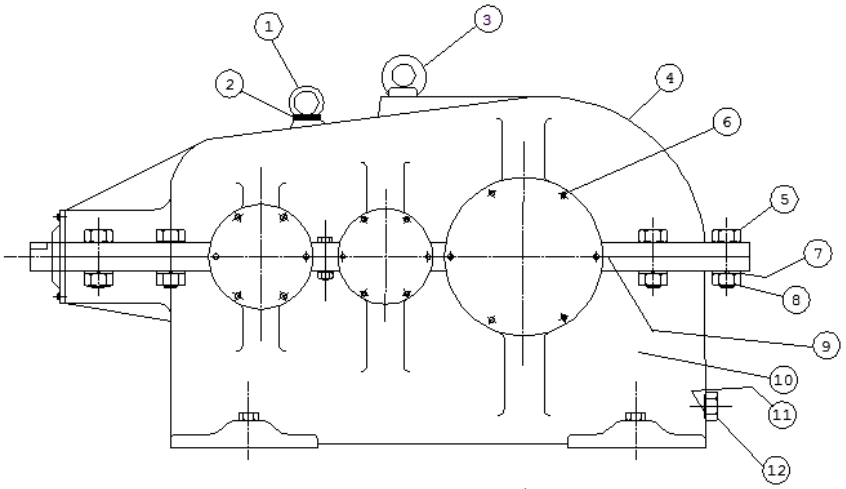
Tratando se do software, foi utilizada uma versão gratuita, disponibilizada pela Autodesk para fins acadêmicos, e que está disponível no site do fabricante: http://www.autodesk.com/education/free-software/inventor-professional

2.1.2 Dados do Redutor

O redutor de velocidade utilizado para essa proposta encontra-se no livro Desenhista de Máquinas de Francesco Provenza; Hiran R. de Souza Hiran Rodrigues de 1976, 2ª edição; mais especificamente na página 7 – 116.

A figura demonstrada abaixo (Figura 24), apresenta uma visão externa do Redutor original, juntamente com a enumeração dos respectivos componentes. Esta figura trata se do modelamento do desenho técnico do Redutor, feito no ambiente do Inventor.

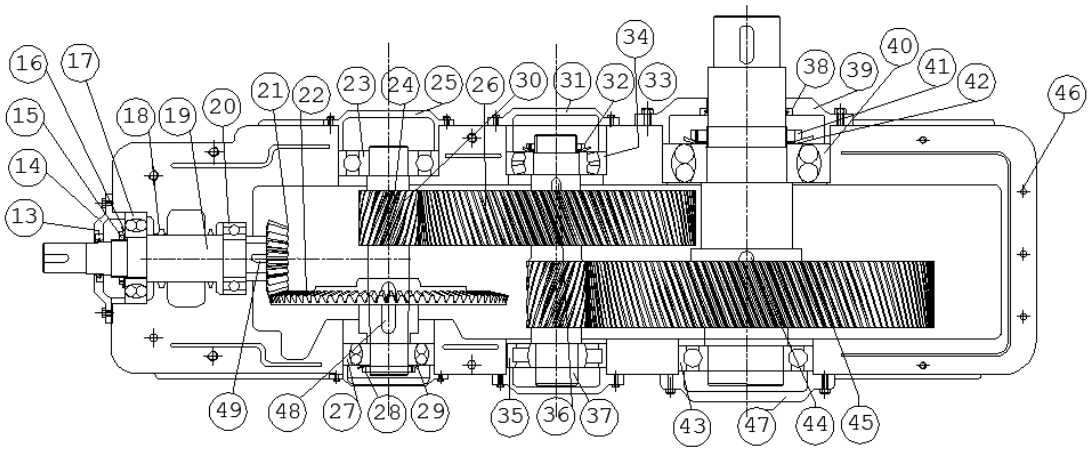
Figura 22- Visão externa do redutor



Fonte: (O AUTOR, 2015)

A seguir, a figura 25, apresenta uma visão interna do Redutor original, juntamente com a enumeração dos respectivos componentes. Conforme a figura anterior, esta também foi modelada no ambiente do Inventor.

Figura 23 - Visão interna do redutor



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Por fim, o Quadro 1 apresenta a descrição de todos os componentes enumerados nas duas figuras acima:

Quadro 1 – Informações dos componentes do Redutor

Nº	DENOMINAÇÕES	QUANTIDADE	MATERIAL E DIMENSÕES
1	NIVEL DE ÓLEO	1	AÇO REDONDO 1/8x 3 7/8
2	TAMPA DA CARGA DE ÓLEO	1	FERRO REDONDO 32
3	GANCHO P/ SUSPENÇÃO	1	AÇO FUNDIDO
4	TAMPA DO REDUTOR	1	FERRO FUNDIDO
5	PARAF. C/ CABEÇA SEXTAVADA	42	AÇO 1020
6	PARAF. C/ CABEÇA SEXTAVADA	10	AÇO 1020
7	ARRUELA DE PRESSÃO	10	AÇO 1020
8	PORCA SEXTAVADA	10	AÇO 1020
9	GUARNIÇÃO	1	PAPEL
10	CAIXA DO REDUTOR	1	AÇO 1020
11	GUARNIÇÃO	1	BORRACHA SINTÉTICA COM ALMA DE AÇO
12	PARAF. C/ CABEÇA SEXTAVADA	1	FERRO FUNDIDO
13	RETENTOR	1	SKF H310
14	TAMPA DA CAIXA DE ROLAMENTO	1	AÇO 1020
15	PORCA DE FIXAÇÃO	2	SKF 1310 EKTN9
16	ARRUELA DE SEGURANÇA	2	SKF F17
17	ROLAMENTO	1	AÇO ABNT 1060
18	ANEL DE FELTRO	2	SFK 6309
19	EIXO	1	AÇO ABNT 4340
20	ROLAMENTO	1	AÇO ABNT 4340

21	PINHÃO CONICO	1	SKF 6409
22	COROA CONICA	1	AÇO ABNT 4340
23	ROLAMENTO	1	SKF 6409
24	EIXO C/ PINHÃO HELICOIDAL	1	AÇO ABNT 4340
25	TAMPA DA CAIXA DE ROLAMENTO	2	FERRO FUNDIDO
26	COROA HELICOIDAL	1	AÇO ABNT 4340
27	ROLAMENTO	1	SKF 2310K
28	PORCA DE FIXAÇÃO	1	SKF H2310
29	ARRUELA DE SEGURANÇA	1	AÇO 1020
30	EIXO C/ PINHÃO HELICOIDAL	1	SAE 4340
31	TAMPA	2	FERRO FUNDIDO
32	PORCA DE FIXAÇÃO	1	SKF H2308
33	ARRUELA DE SEGURANÇA	1	SKF F17
34	ROLAMENTO	1	SKF 22308 EK
35	ROLAMENTO	1	SKF 22308 EK
36	CHAVETA	1	AÇO 1050 10x16x45
37	EIXO	1	SAE 4340
38	RETENTOR	1	BORRACHA SINTÉTICA COM ALMA DE AÇO
39	TAMPA DA CAIXA DE ROLAMENTO	1	FERRO FUNDIDO
40	ROLAMENTO	1	SKF 2218 EK
41	PORCA DE FIXAÇÃO	1	H318
42	ARRUELA DE SEGURANÇA	1	SKF F17
43	ROLAMENTO	1	SKF 6216
44	CHAVETA	1	AÇO 1050 14x25x95
45	COROA HELICOIDAL	1	AÇO ABNT 4340
46	PINO GUIA	3	AÇO ABNT 1020
47	TAMPA DA CAIXA DE ROLAMENTO	1	FERRO FUNDIDO
48	CHAVETA	1	AÇO 1050 10x16x45
49	CHAVETA	1	AÇO 1050 8x10x22

Fonte: (PROVENZA, 1991)

Complementando os dados descritos acima, o Quadro 2 apresenta os módulos de cada par de engrenagens bem como o número de dentes respectivamente.

Quadro 2 – Informações dos componentes do Redutor.

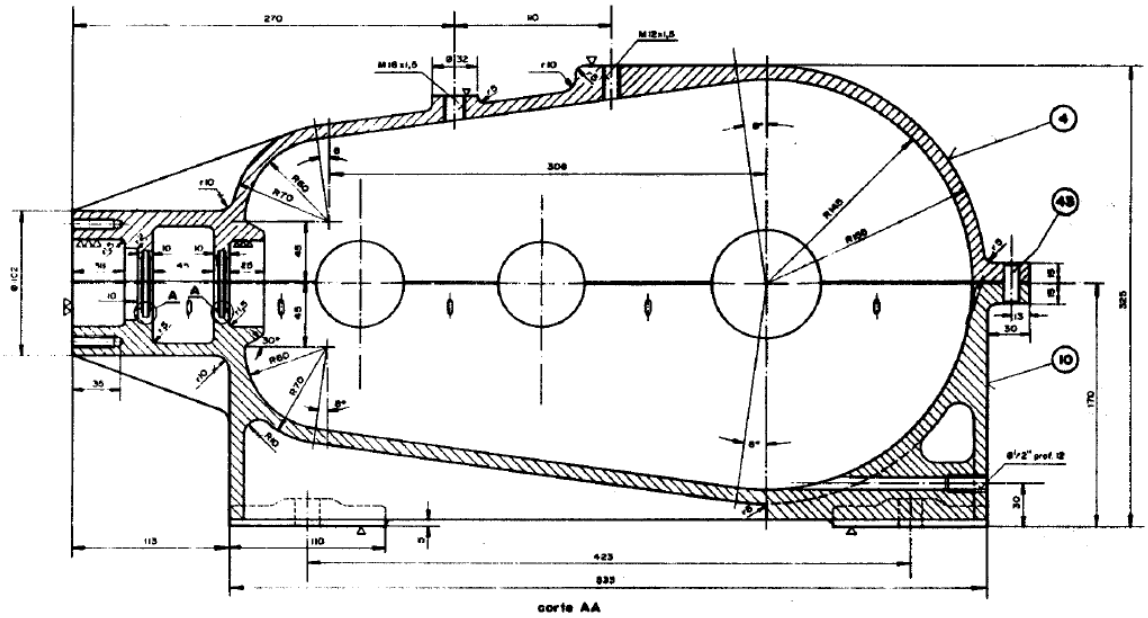
Par	Engrenagens Cônicas		Engrenagens Helicoidais		Engrenagens Helicoidais	
Nº no desenho	21	22	24	26	28	42
Classificação	Pinhão	Coroa	Pinhão	Coroa	Pinhão	Coroa
Módulo	3	3	3	3	3,5	3,5
N° de dentes	20	39	15	68	18	73

Fonte: (PROVENZA, 1991)

2.2 MODELAGEM DOS COMPONENTES DO REDUTOR

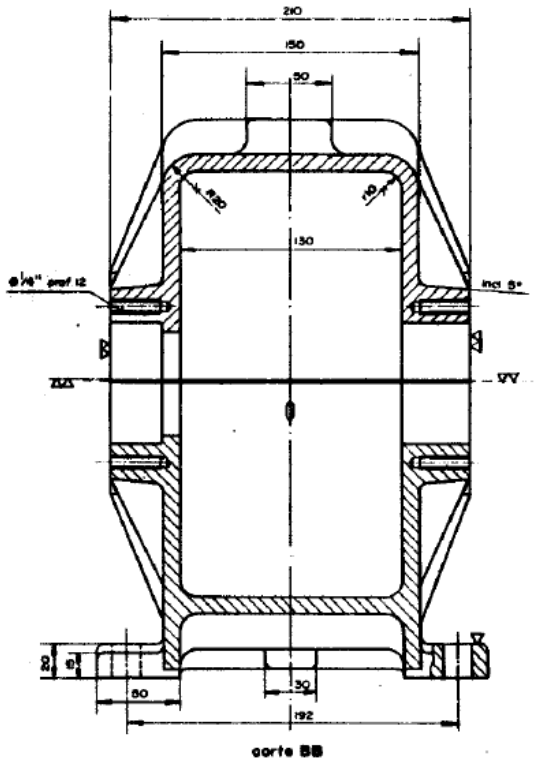
A fim de tornar a modelagem de alguns componentes do redutor mais prática, foram realizadas certas modificações em alguns componentes do redutor; como nas engrenagens cônicas e no eixo com pinhão helicoidal (componente número 24 do Quadro 1). Portanto, primeiramente, seguem os desenhos técnicos originais obtidos do livro Desenhista de Máquinas.

Figura 24 – Vista lateral da carcaça do redutor



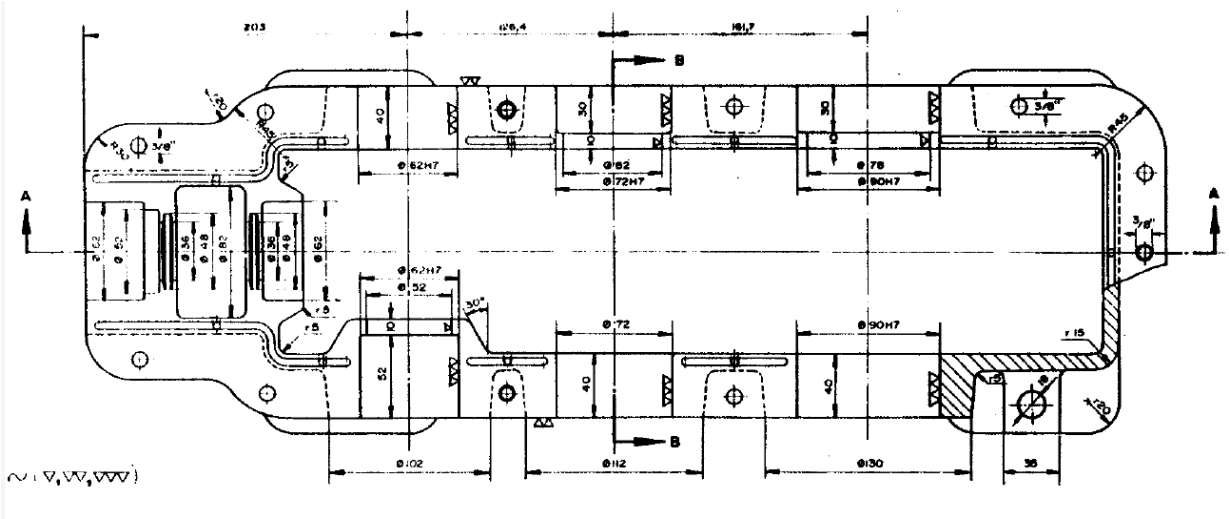
Fonte: (PROVENZA, 1991)

Figura 25 – Corte frontal da carcaça



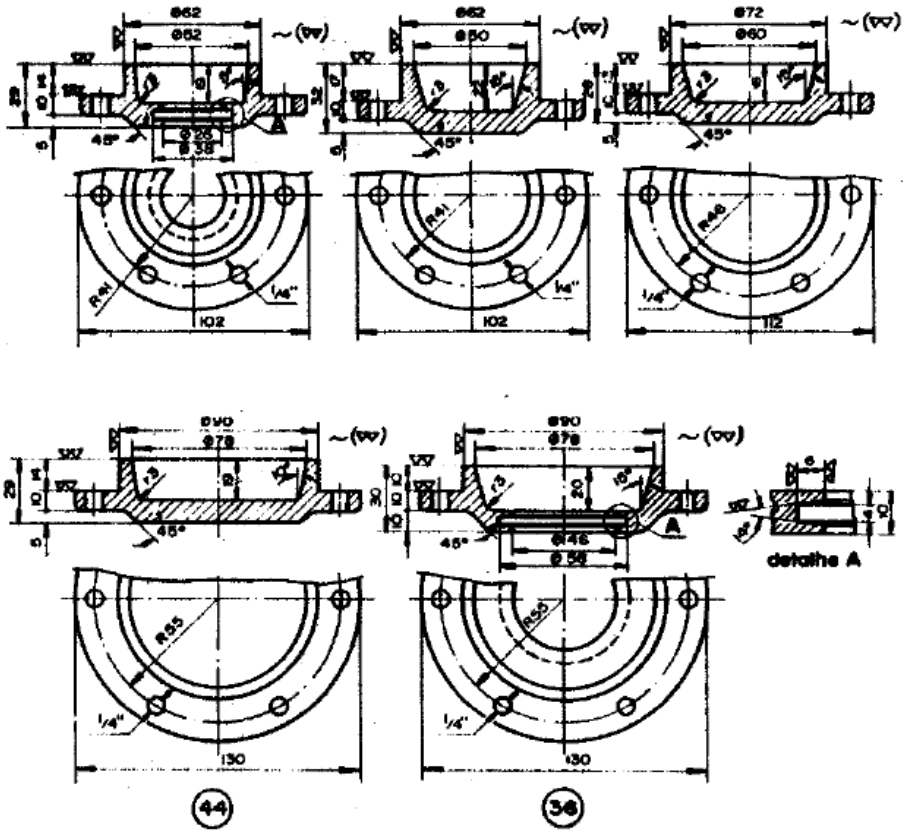
Fonte: (PROVENZA, 1991)

Figura 26 - Vista Superior da carcaça inferior



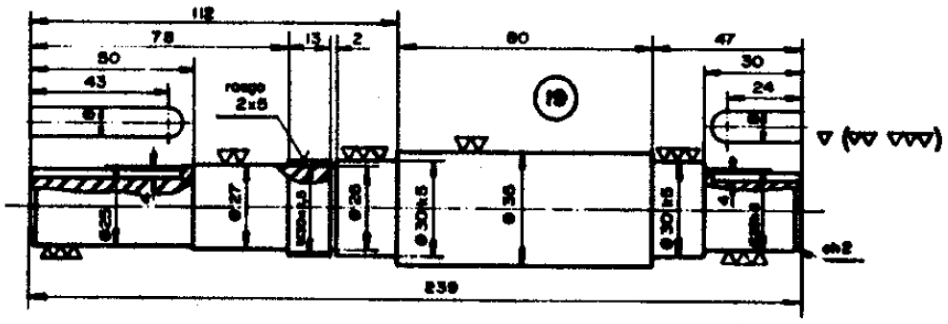
Fonte: (PROVENZA, 1991)

Figura 27 - Desenho técnico das tampas do redutor



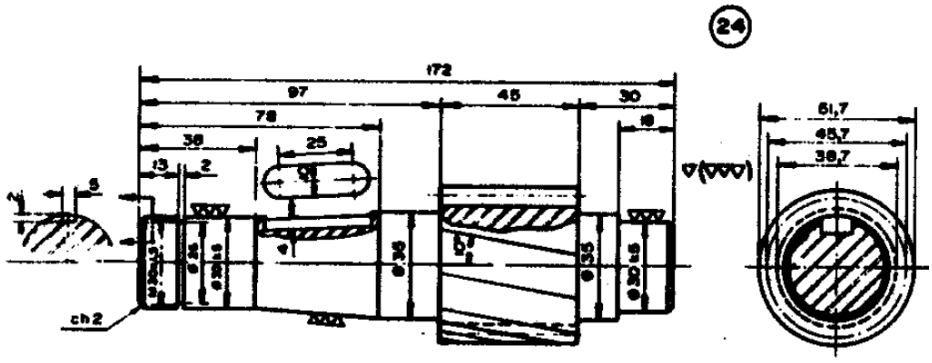
Fonte: (PROVENZA, 1991)

Figura 28 - Desenho técnico – Eixo (componente 19)



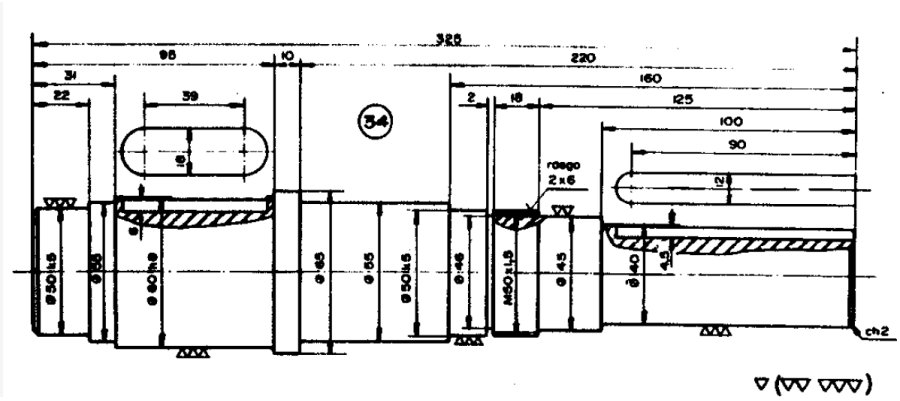
Fonte: (PROVENZA, 1991)

Figura 29 - Desenho técnico - Eixo (componente 24)



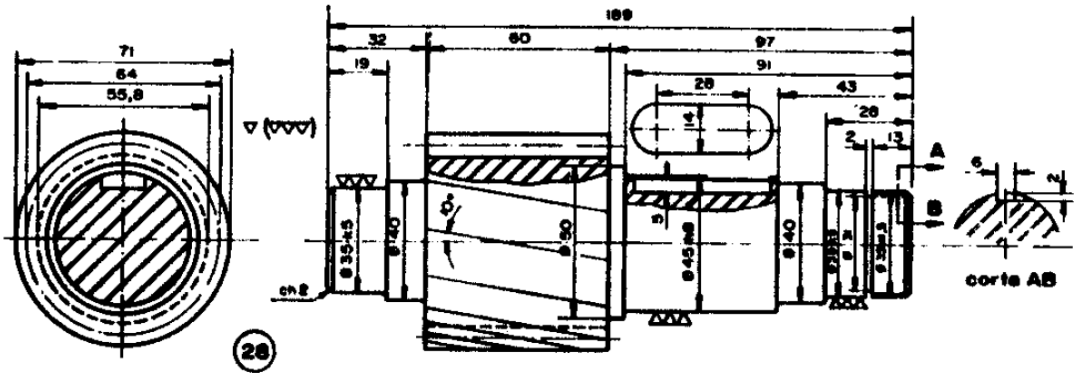
Fonte: (PROVENZA, 1991)

Figura 30 - Desenho técnico - Eixo (componente 34)



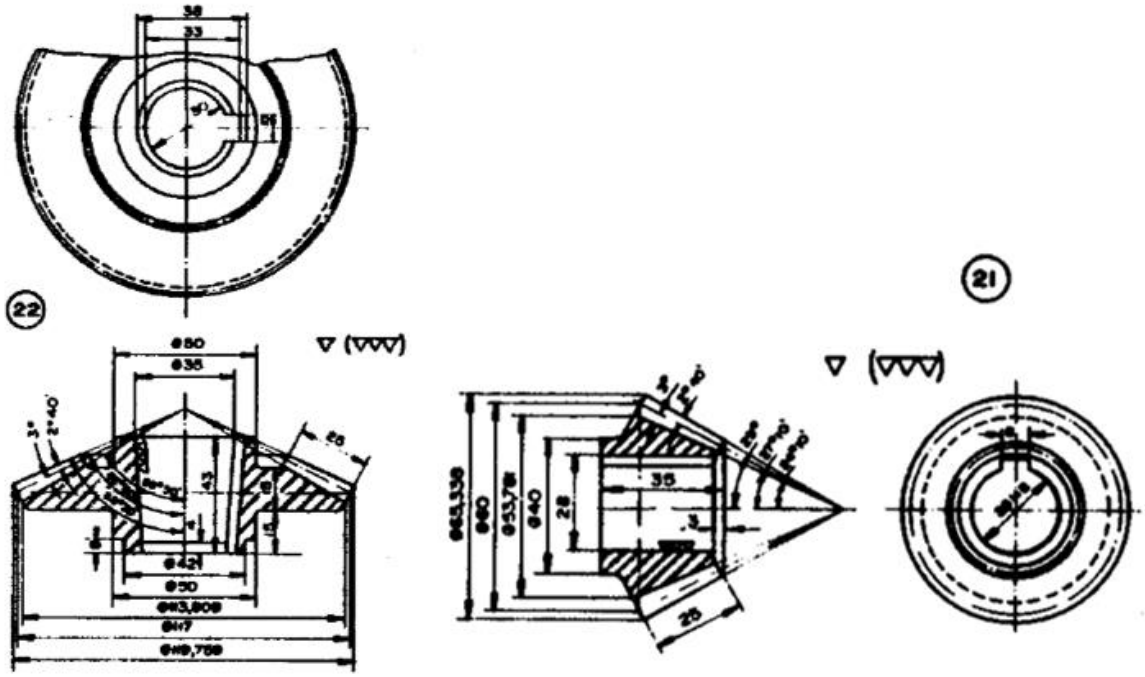
Fonte: (PROVENZA, 1991)

Figura 31 - Desenho técnico - Eixo (componente 28)



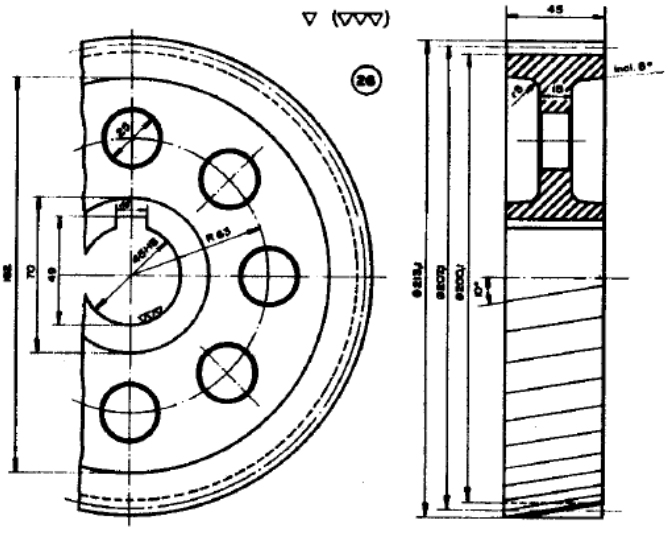
Fonte: (PROVENZA, 1991)

Figura 32 - Desenho técnico – Engrenagens Cônicas



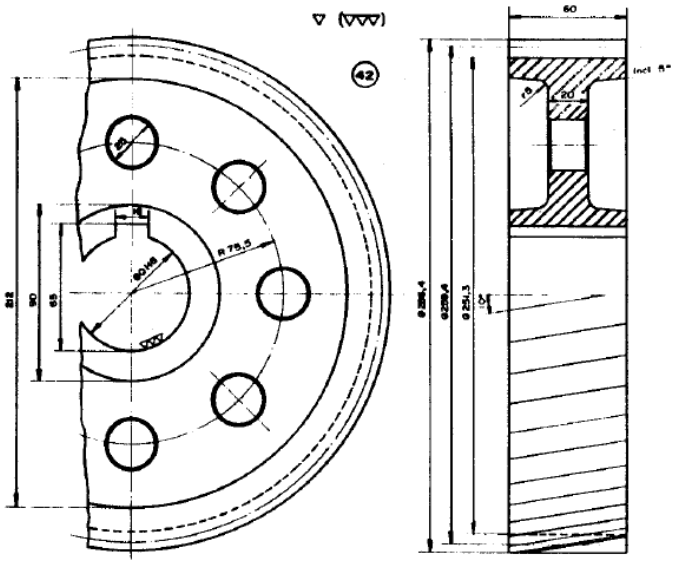
Fonte: (PROVENZA, 1991)

Figura 33 - Desenho técnico - Engrenagem (componente 26)



Fonte: (PROVENZA, 1991)

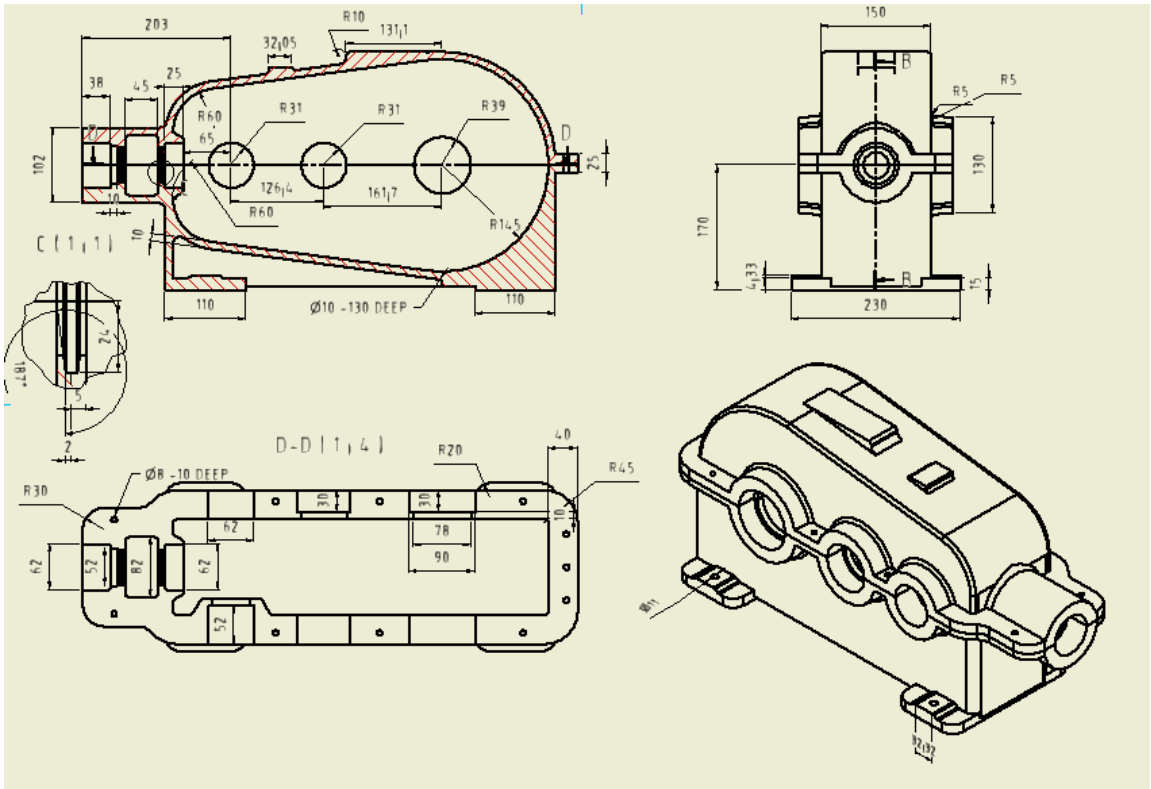
Figura 34 - Desenho técnico - Engrenagem (componente 42)



Fonte: (PROVENZA, 1991)

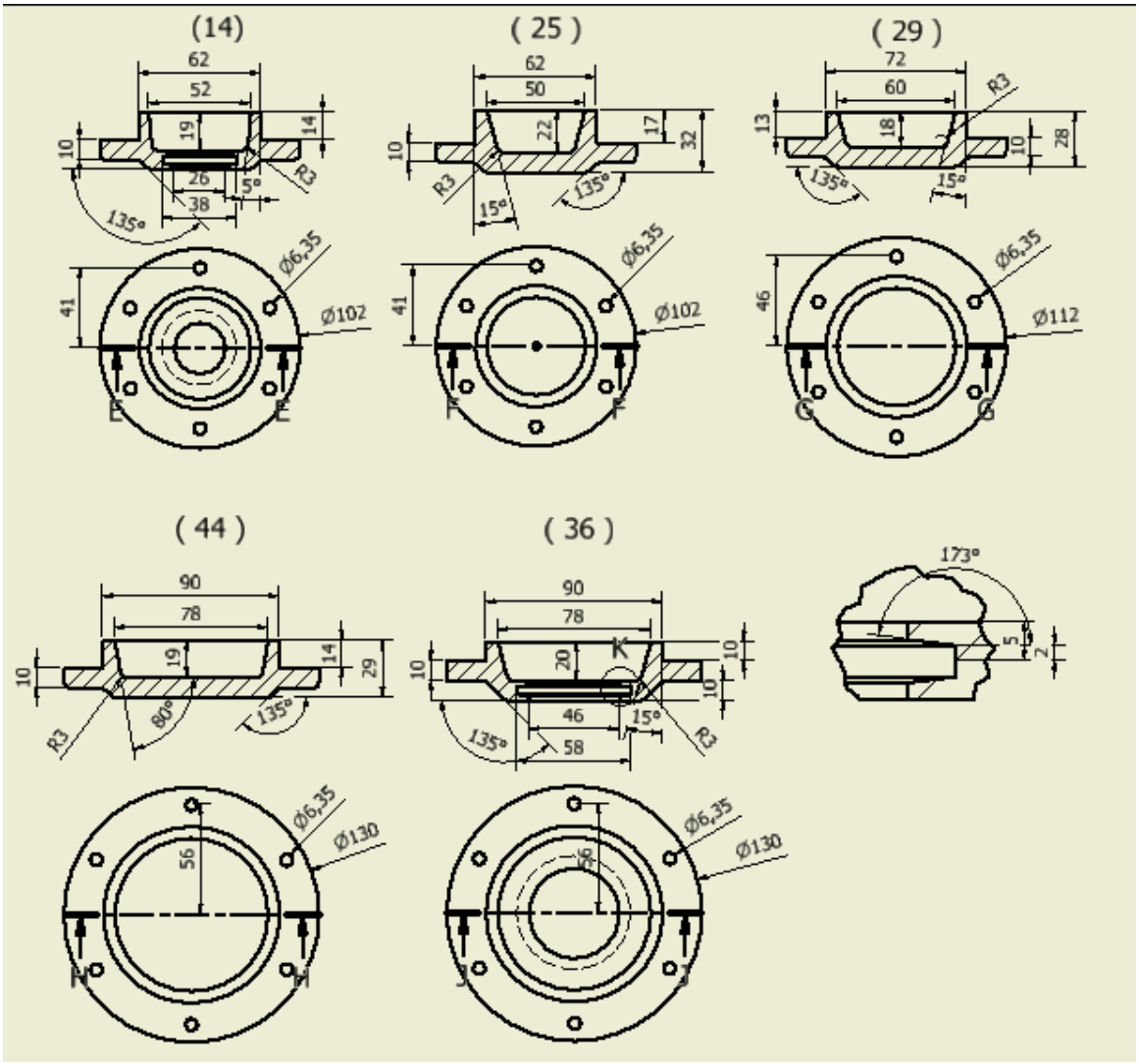
E a seguir, podemos observar os desenhos técnicos obtidos diretamente através do Autodesk Inventor, e portanto com os componentes citados anteriormente já modificados:

Figura 35 - Desenho técnico carcaça (adaptado)



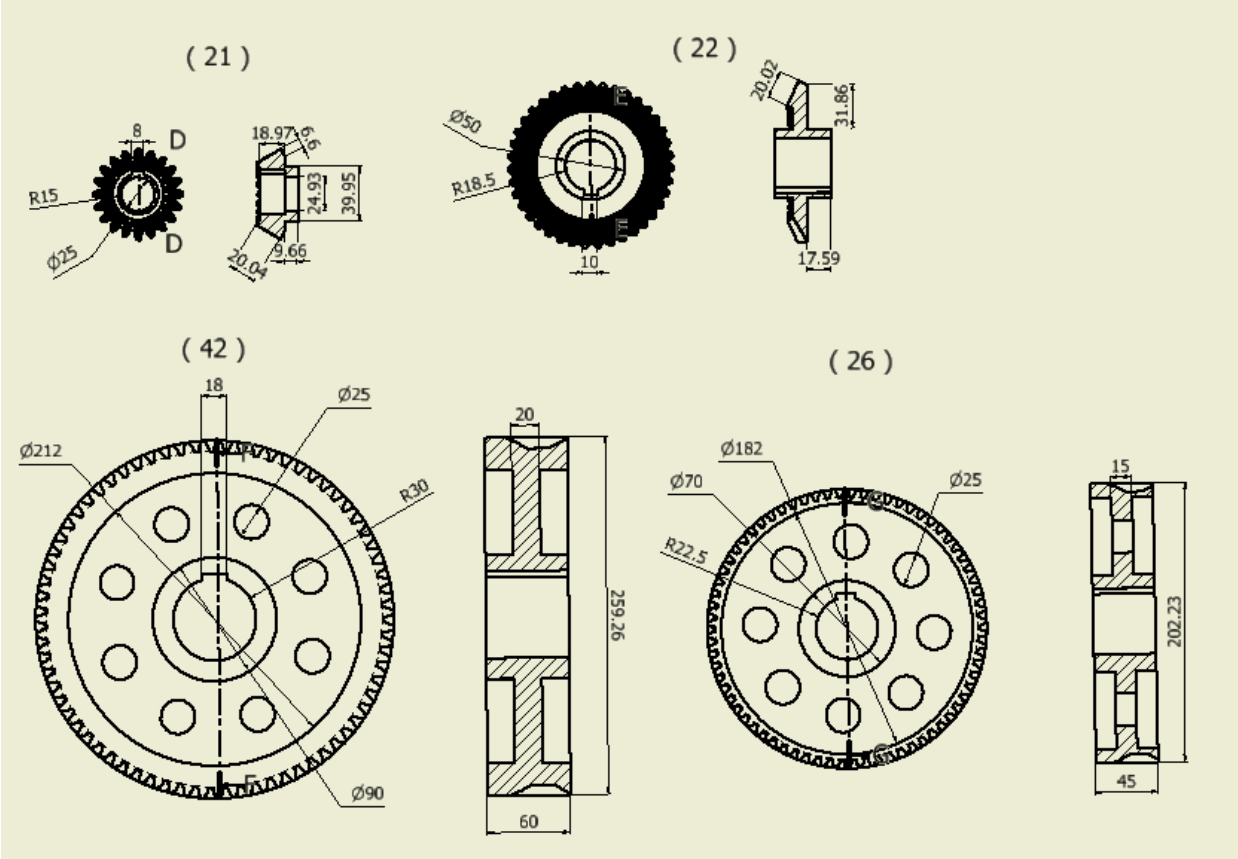
Fonte: (O AUTOR, 2015)

Figura 36 - Desenho técnico Tampas (adapatado)



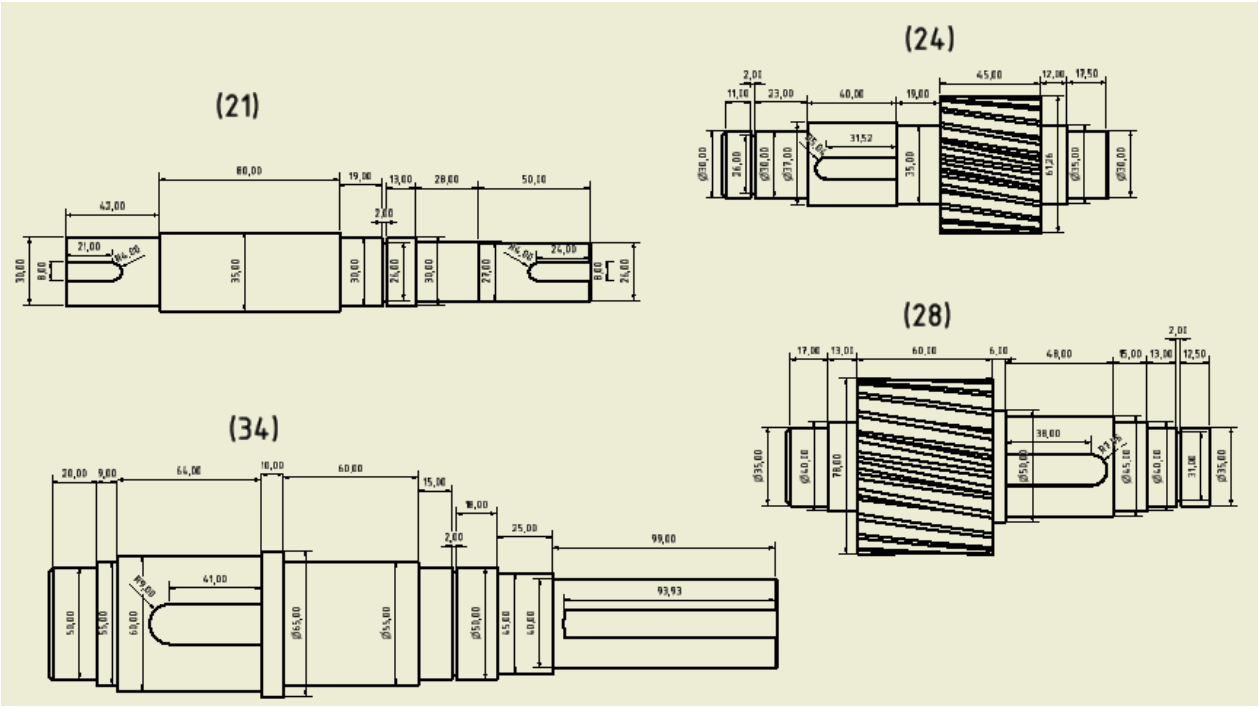
Fonte: (O AUTOR, 2015)

Figura 37 - Desenho técnico Engrenagens (adaptado)



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Figura 38 - Desenho técnico Eixos (adaptado)



Fonte: (O AUTOR, 2015)

3 RESULTADOS OBTIDOS

Para realizar a modelagem de cada componente, este apêndice explicará em formato de tutorial, como deve ser o passo a passo no modelamento.

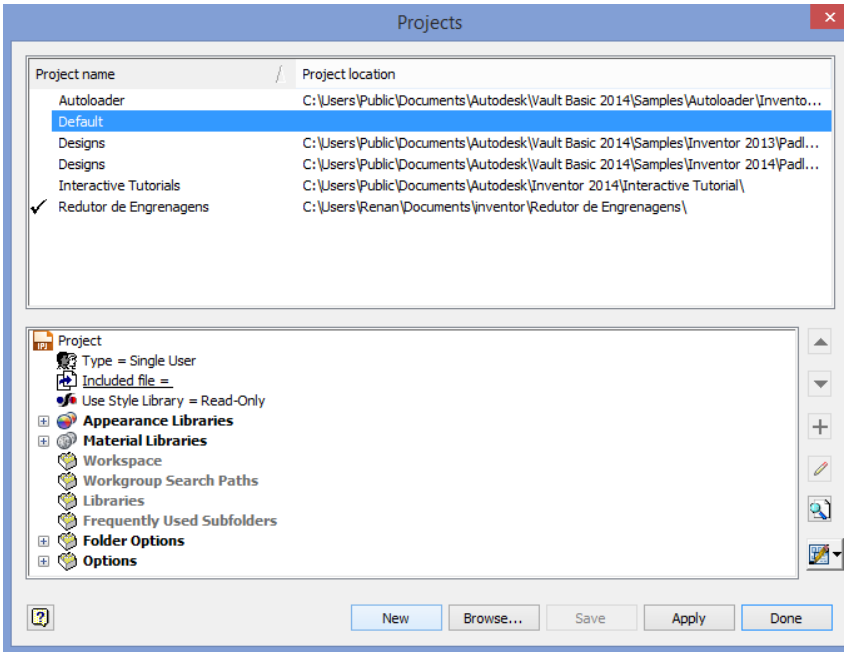
Primeiramente, é necessário definir qual o tipo de projeto que se pretende realizar. Portanto, na tela inicial do Autodesk Inventor 2014, na aba *Get Started* clique em *Projects* (Figura 39).

Figura 39 - Aba de projetos

Fonte: (O AUTOR, 2015)

Após clicar em *Projects*, uma nova janela se abrirá, e você deverá definir uma nova pasta para um novo projeto; portanto nessa aba clique em New na parte inferior da Figura 40.

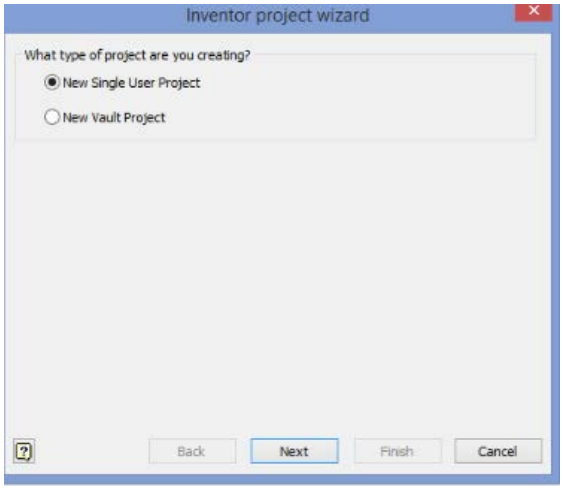
Figura 40 - Aba de projetos



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Feito isso, uma nova aba (Figura 41) surgirá e você terá que definir qual tipo projeto quer realizar, se é um projeto Single User (somente um usuário); ou um Vault Project (projeto compartilhado, muito comum em empresas, no qual várias pessoas precisam ter acesso a um mesmo projeto). E por fim, define-se a pasta onde serão armazenados todos os componentes do projeto e o nome do projeto; estas etapas são de suma importância para evitar erros futuros na confecção e montagem dos componentes, por isso é necessário cuidado nesse primeiro momento.

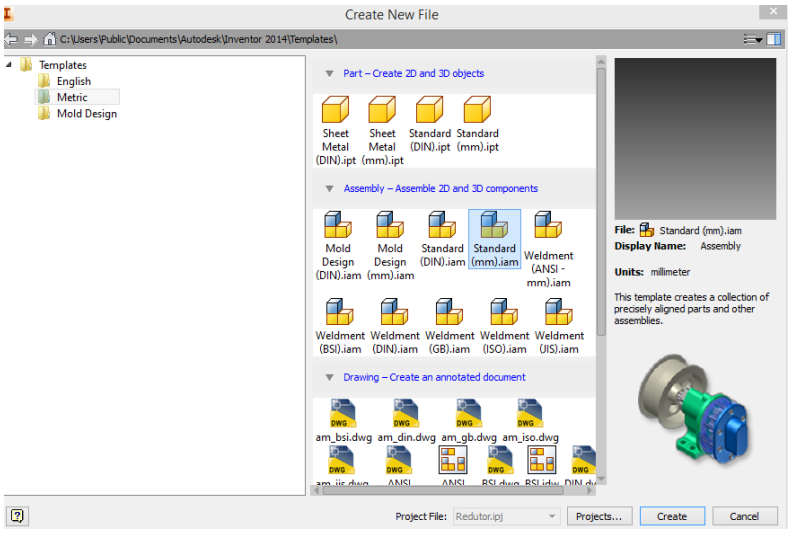
Figura 41 - Tipo de projeto



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Agora que o projeto já foi definido podemos dar início a modelagem dos componentes. Então de volta a página inicial, clique em New e uma janela com o título de Create New File aparecerá, nela selecione a pasta Template Metric no lado esquerdo da janela (Figura 42), para que possamos dimensionar a peça no sistema métrico. Feito isso selecione o padrão **Standard(mm).iam** (Figura 42), pois será através desse padrão que modelaremos nossos componentes nesse projeto.

Figura 42 - Novo arquivo

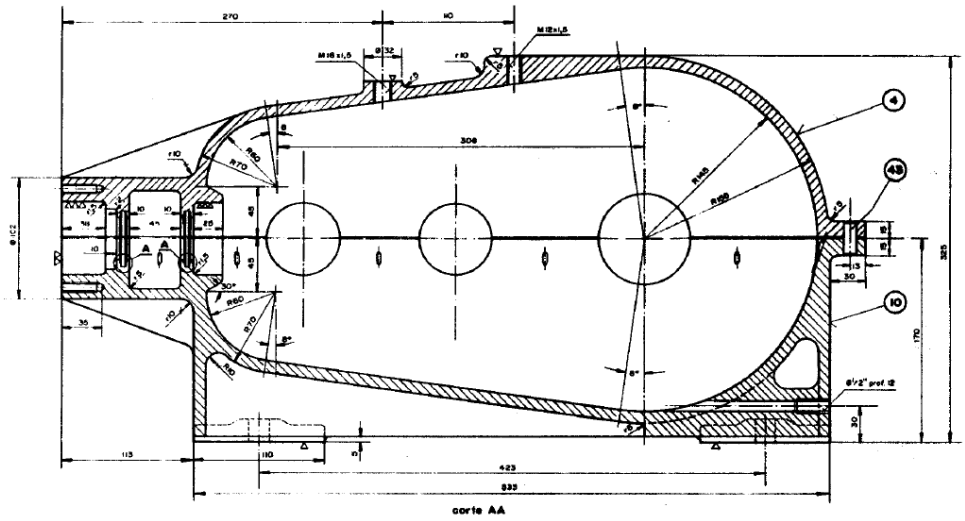


Fonte: (O AUTOR, 2015)

CARCAÇA INFERIOR

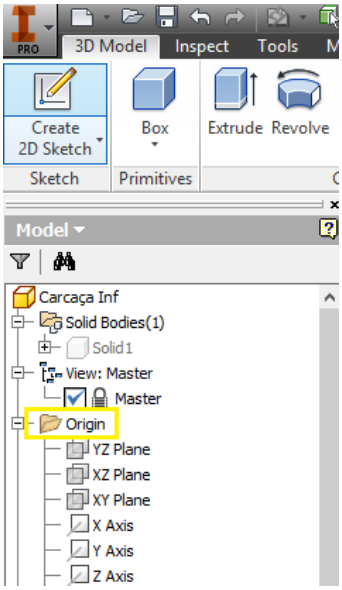
Iniciaremos a modelagem pela carcaça inferior por ela ser a peça referência durante o processo de montagem do redutor. Então baseados no desenho técnico da carcaça inferior (Figura 43), elaboramos os rascunhos em 2D (Sketch's) no sentido de ficarem o mais simples possível para elaborar o modelo 3D.

Figura 43 - Vista lateral das carcaças



O primeiro passo na modelagem de qualquer rascunho (Sketch), é clicar em Create 2D Sketch (na aba 3D Model – Figura 44) e em origem (Circulado em amarelo), selecione o plano a ser utilizado. O objetivo do rascunho, é de que ele seja o mais simples possível, com relação ao desenho técnico, para geração a modelagem 3D. Para o primeiro rascunho (Sketch 1), selecionamos o plano YZ, para facilitar a modelagem.

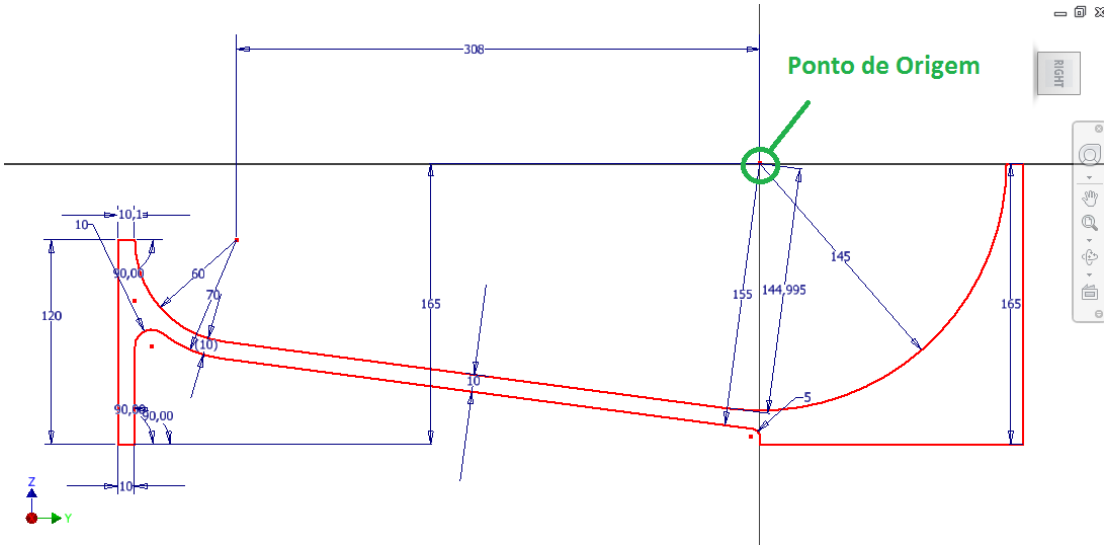
Figura 44 - Criando rascunhos



Fonte: (O AUTOR, 2015)

O primeiro rascunho, assim como os demais, terá como origem (ponto de referência do projeto) o ponto evidenciado em verde na Figura 45.

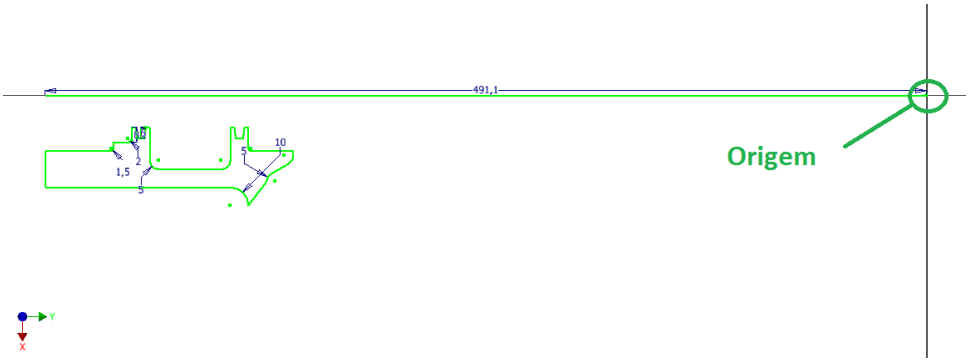
Figura 45 - Sketch 1



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Feito isso, baseados novamente na figura X, esboçaremos o segundo rascunho (Sketch 2), criando um novo rascunho no plano XY, utilizando novamente a origem como referência. (Figura 46)

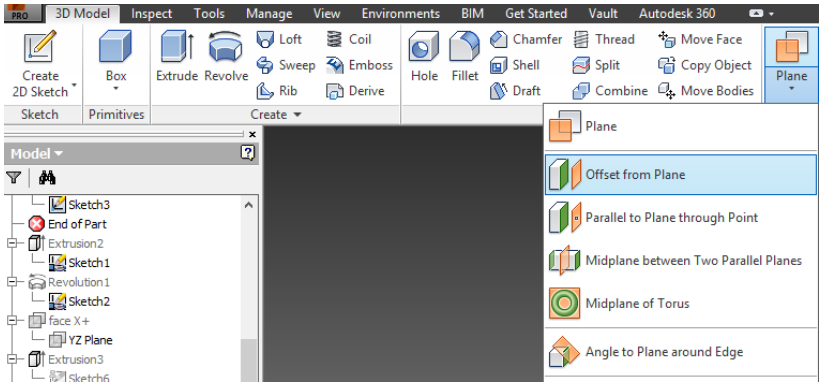
Figura 46 - Sketch 2



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Para criar o Sketch 3, teremos que criar um plano paralelo ao plano de XZ da origem. Portanto na própria aba de 3D Model clicamos em Planes e em seguida (Offset from Plane), conforme a Figura 47.

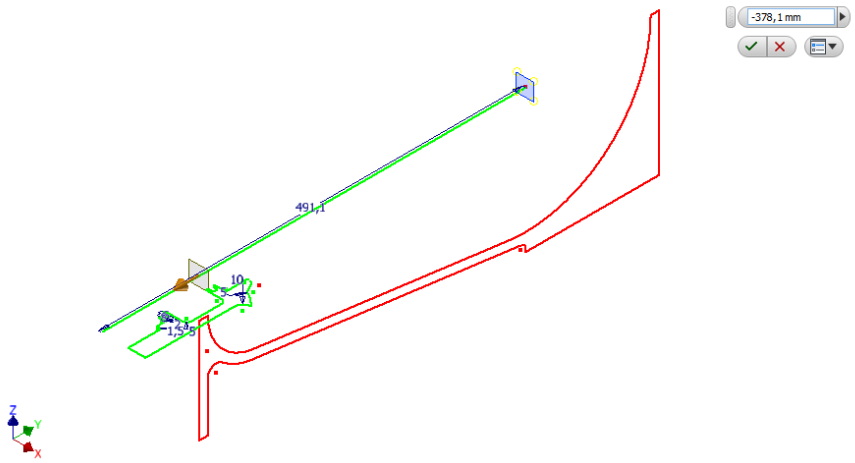
Figura 47 - Criação do plano paralelo



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Feito isso, colocaremos a distância necessária para criar um plano paralelo ao plano XZ da origem, que será no valor de 378,1 (já em milímetros); será negativo para que seja criado no sentido desejado. (Figura 48)

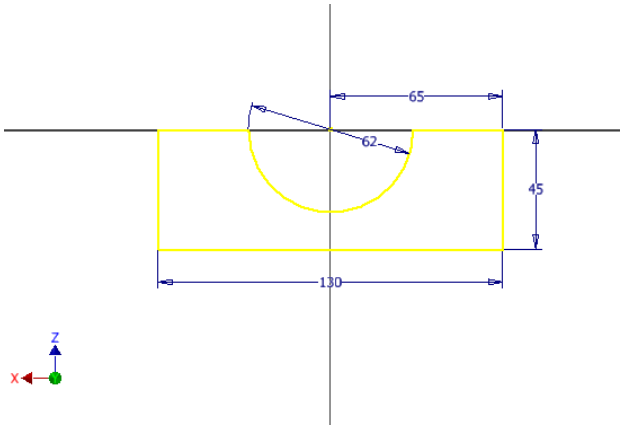
Figura 48 - Gerando o plano



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Assim, podemos criar a Sketch 3 no novo plano paralelo ao plano XZ da origem, conforme a figura 49.

Figura 49 - Sketch 3

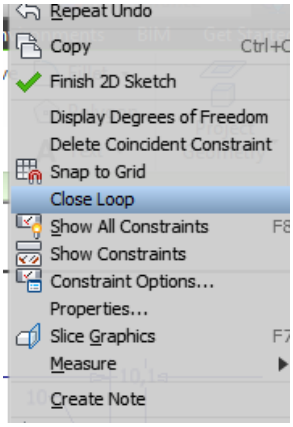


Fonte: (O AUTOR, 2015)

Com isso, modelaremos o primeiro sólido 3D, que será feito a partir do Sketch1, mas antes de realizar esse modelamento, temos de nos certificar de que o Rascunho está fechado (Closed Loop), pois do contrário não será possível gerar um sólido 3D.

Portanto para isso, Clique em Editar, no Sketch 1, e clique com o botão direito do mouse sobre qualquer linha do rascunho. Feito isso, uma janela se abrirá, nela selecione a opção *Close Loop* (Conforme a Figura 50).

Figura 50 - Close loop

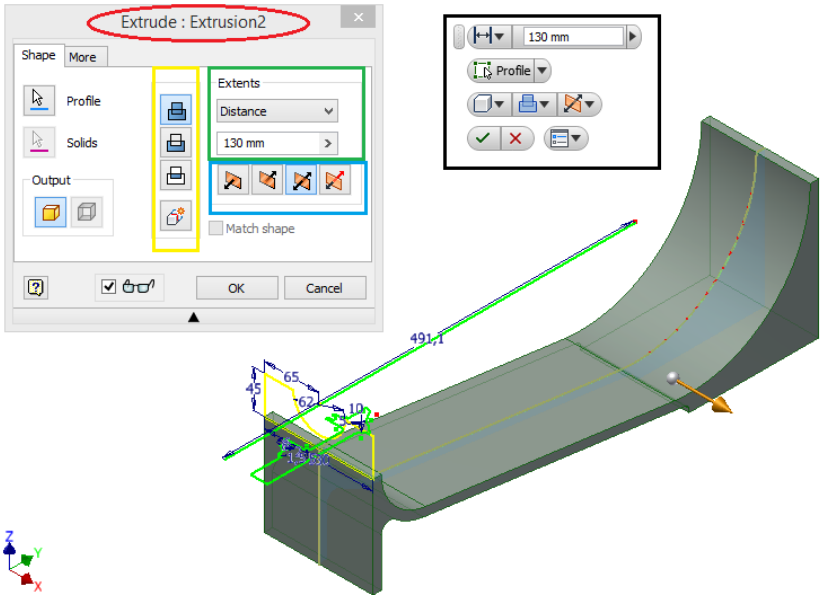


Fonte: (O AUTOR, 2015)

Após clicar nessa opção, de OK na janela que surgirá; e então clique nas outras linhas até fechar o desenho do seu rascunho. Quando completar o *Loop*, uma outra janela surgirá; clique em OK novamente, e agora sim um sólido poderá ser gerado.

Clique em *Extrude* (Extrusão), ferramenta que realizará uma extrusão no seu rascunho. Feito isso, uma nova janela (Figura 51 – destacado em vermelho) se abrirá. Nela você selecionará o *Profile* (perfil), nesse caso o Sketch que será utilizado. Ainda na mesma janela, em amarelo, você tem a opção de selecionar se quer adicionar ou remover o sólido; em verde a distância que será gerada a extrusão; em azul selecione o sentido da extrusão; e por fim clique em OK para gera-la.

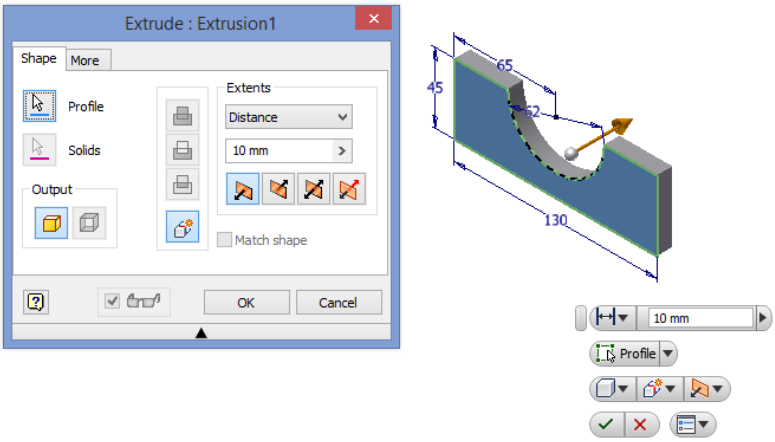
Figura 51 - Extrusão 1



Fonte: (O AUTOR, 2015)

A partir desse primeiro tutorial de extrusão, podemos gerar o segundo sólido, no qual será inserido o eixo de entrada, com base no Sketch 3, conforme a figura 52.

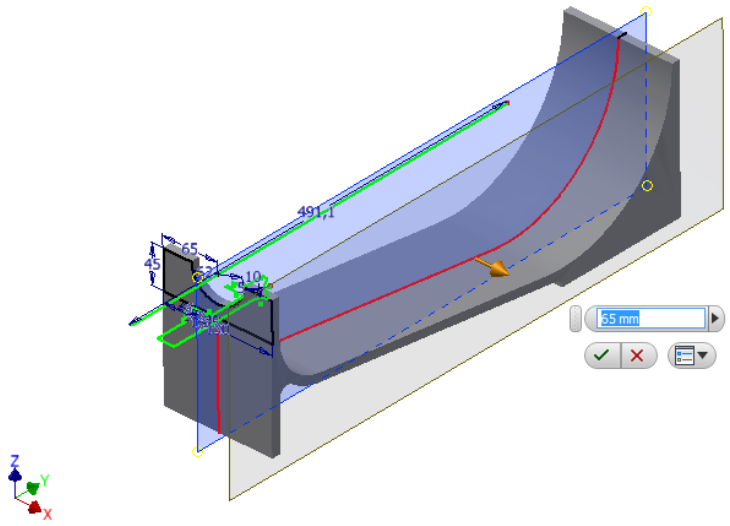
Figura 52 - Extrusão 2



Fonte: (O AUTOR, 2015)

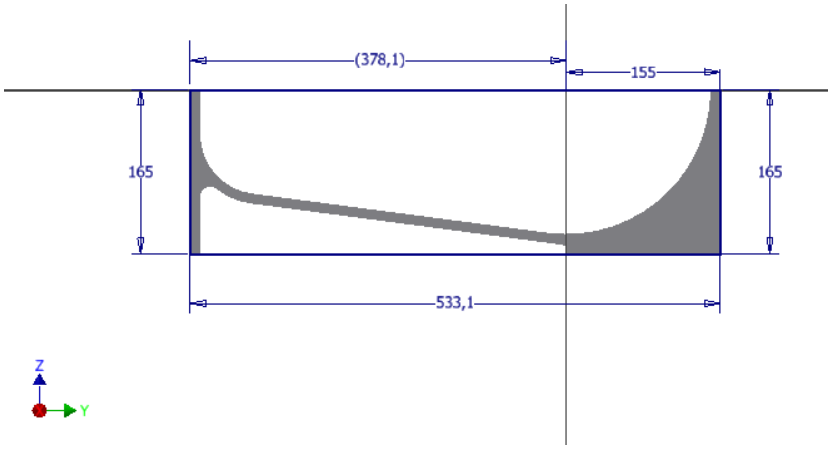
Agora, podemos gerar os Sketch's 4 e 5, que gerarão as "laterais" da carcaça do redutor. Para tanto, gere planos paralelos ao plano YZ da origem, para ambos os sentidos (Face X+ e Face X-), com uma distância de 65 mm em cada um, conforme a figura 53

Figura 53 - Plano paralelo



Fonte: (O AUTOR, 2015)

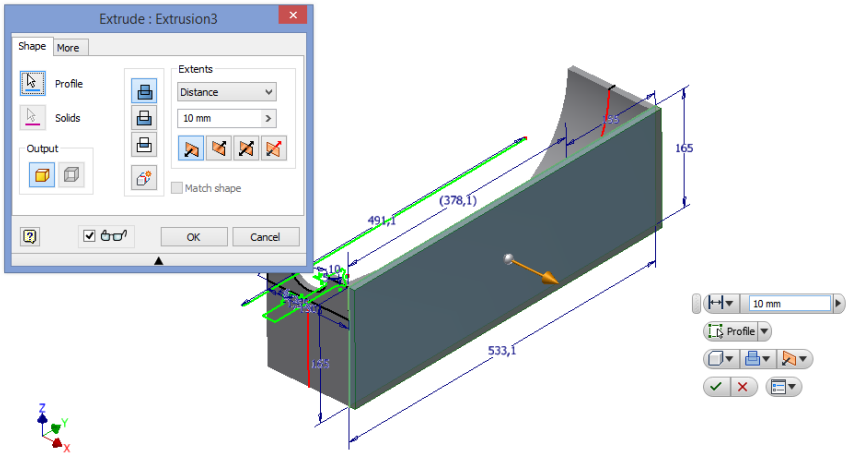
Figura 54 - Sketch 4



Fonte: (O AUTOR, 2015)

A partir desses Sketch's geramos as extrusões em ambos os lados, com uma espessura de 10 mm. (Figura 55)

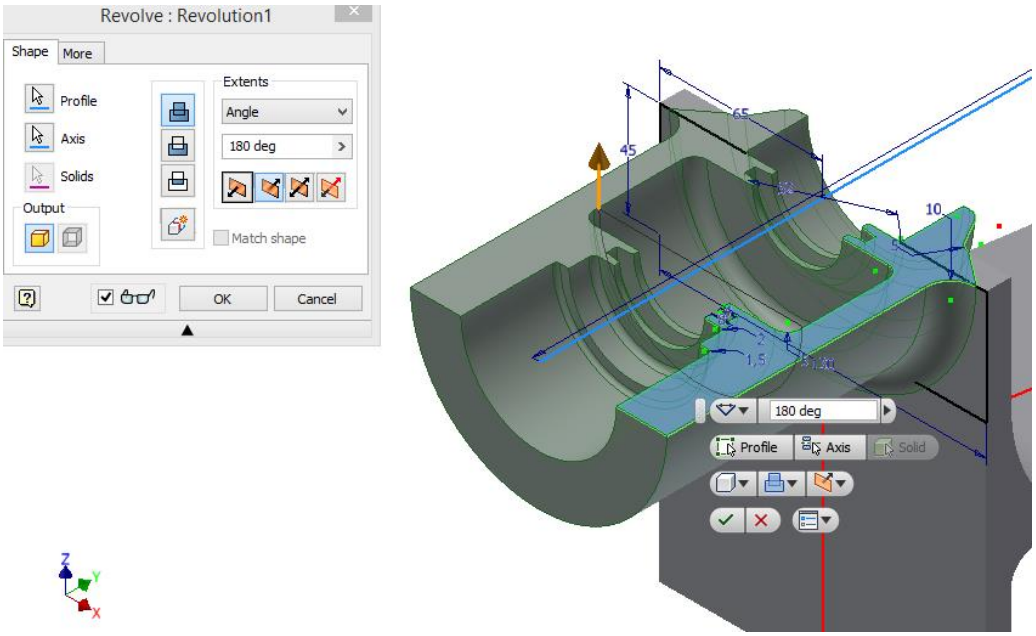
Figura 55 - Extrusão 3



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Agora, a partir do Sketch 2, geraremos a revolução, que é bem análoga a ferramenta de Extrusão, porém, nela você selecionará um eixo como referência para revolução e o ângulo que deseja gerar a revolução. (Figura 45)

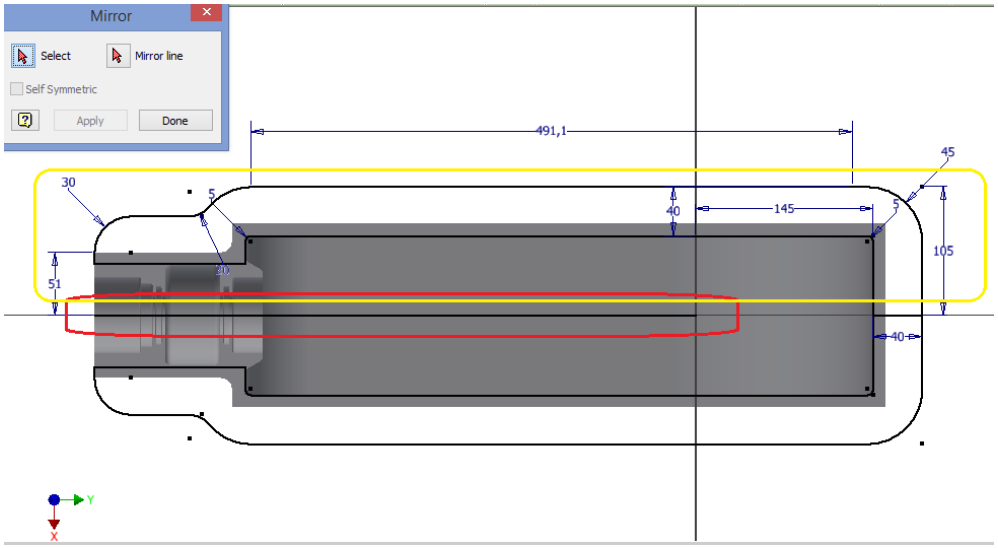
Figura 56 - Revolução 1



Fonte: (O AUTOR, 2015)

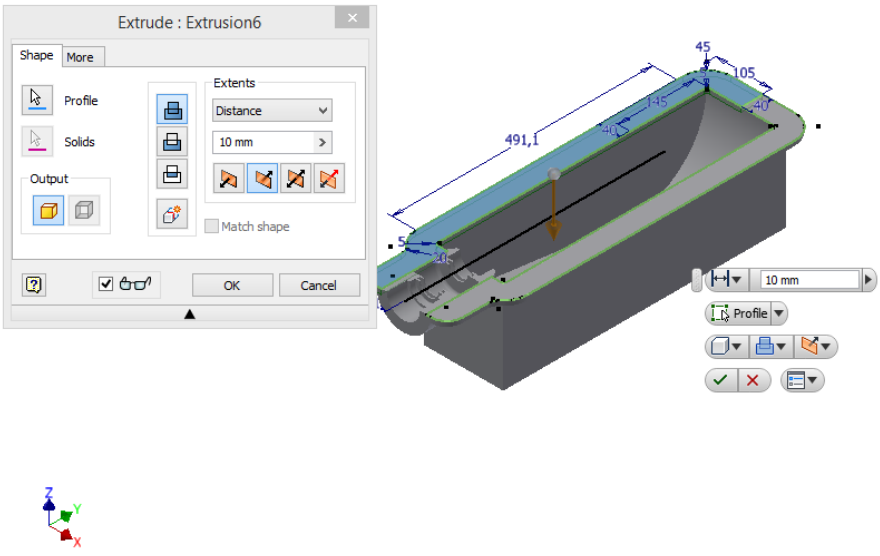
O próximo Sketch, será utilizado para gerar a superfície de fixação entre as carcaças inferior e superior. Para esse Rascunho, utilize a ferramenta *Mirror*, na área circulada em amarelo na figura 57 , para facilitar a modelagem já que se trata de um Sketch "espelhado". O eixo (circulado em vermelho – Figura 57) é necessário referência no *Mirror*. E utilize a ferramenta de Extrusão (Figura 58)

Figura 57 - Sketch 5



Fonte: (O AUTOR, 2015)

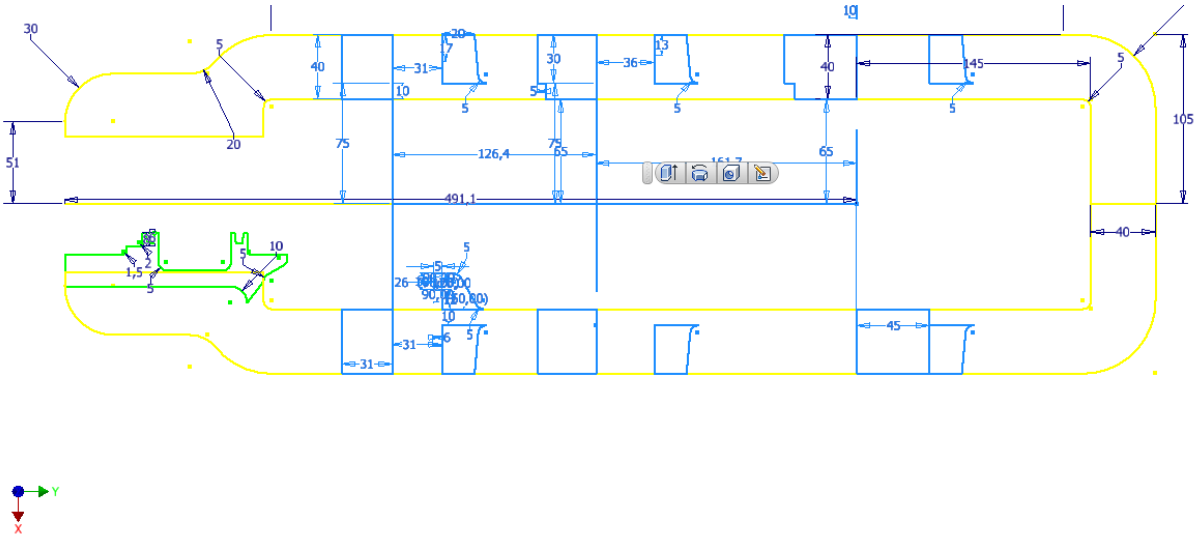
Figura 58 - Extrusão 4



Fonte: (O AUTOR, 2015)

O próximo passo, será gerar o Sketch que dará origem as cavidades nas quais serão acoplados os 3 eixos paralelos do redutor e seus respectivos rolamentos. Portanto esboce o rascunho conforme a Figura 59.

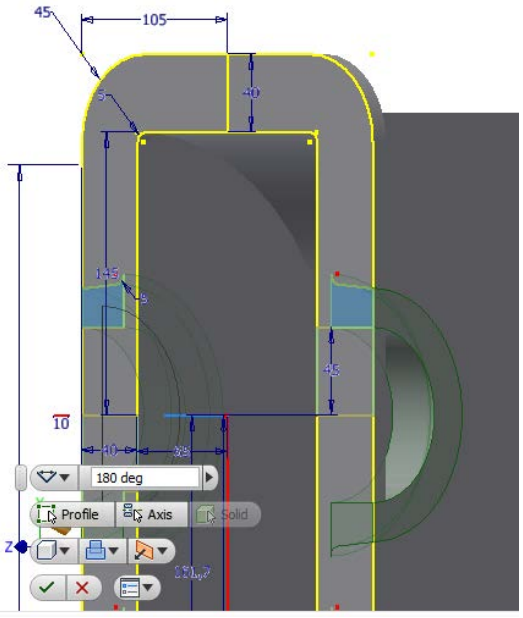
Figura 59 - Sketch 6



Fonte: (O AUTOR, 2015)

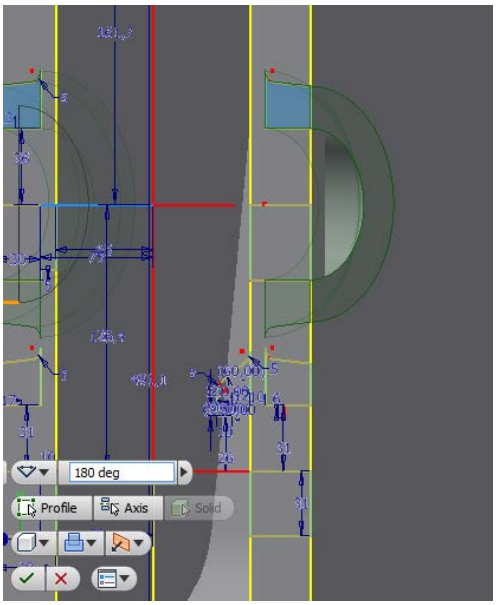
Em seguida, use a ferramenta de revolução para gerar os sólidos conforme as Figuras 60, 61 e 62.

Figura 60 - Revolução 2



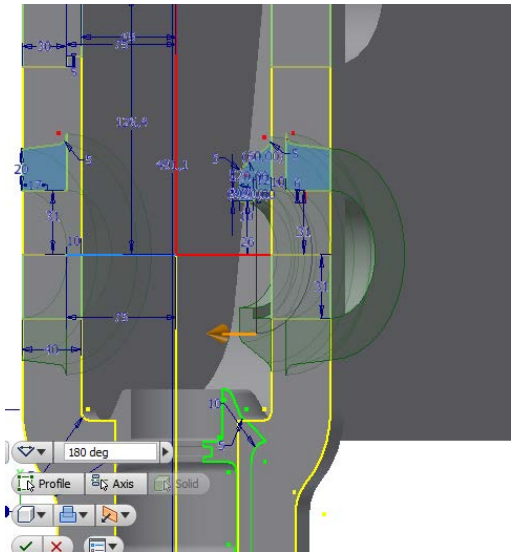
Fonte: (O AUTOR, 2015)

Figura 61 - Revolução 3



Fonte: (O AUTOR, 2015)

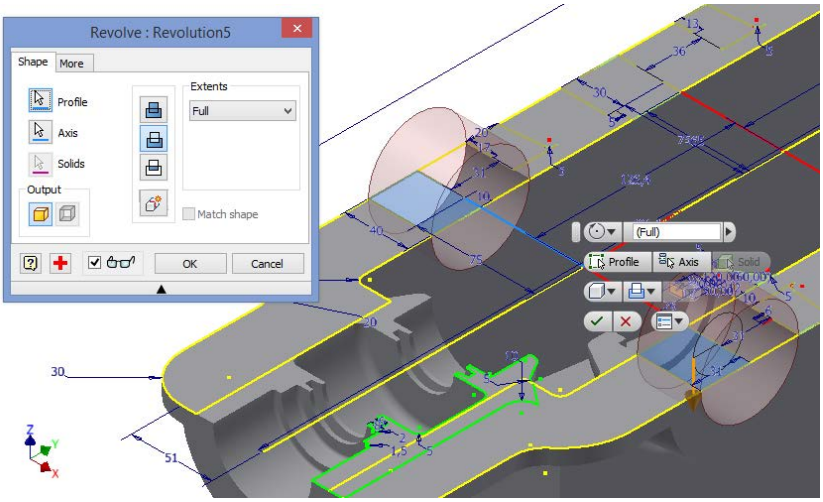
Figura 62 - Revolução 4



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Feito isso, temos que realizar outra revolução para retirar o material das semi-circunferencias, nos quais ficaram alojados os rolamentos. Siga conforme a Figura 63 e repita o processo para as cavidades.

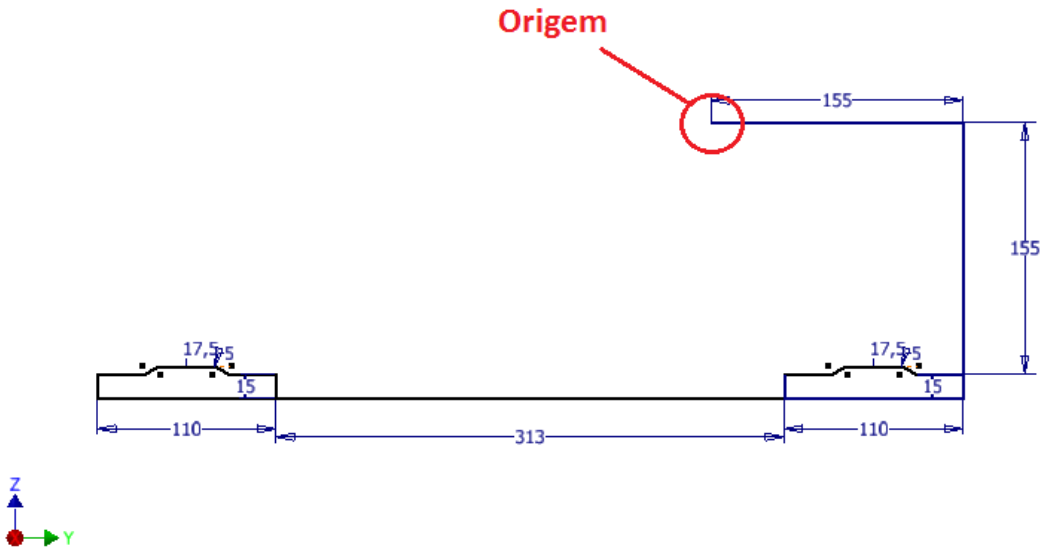
Figura 63 - Revolução 5



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Agora, modelaremos as bases da carcaça, para tanto, faça um Sketch conforme a Figura 64.

Figura 64 - Sketch 7

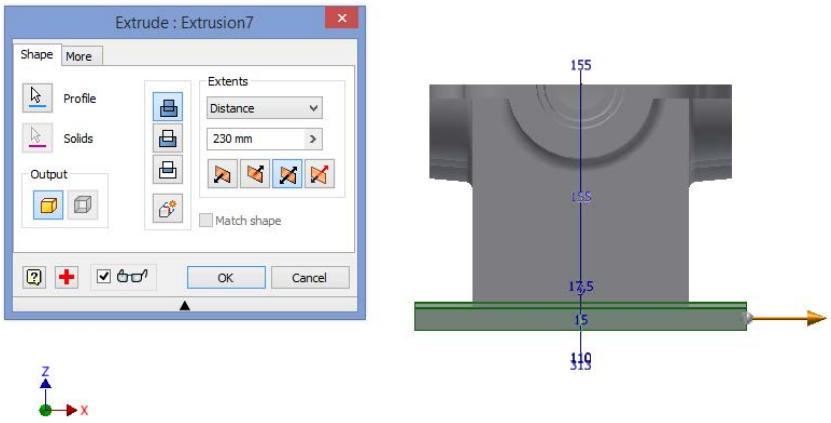


Fonte: (O AUTOR, 2015)

Realize uma extrusão para ambos os lados no valor de 230 mm, conforme a Figura 65. Após essa etapa utilize a ferramenta *Fillet*, em *3D Model*, em cada uma das bordas da base para finalizar a modelagem das bases da carcaça, conforme Figura 66.

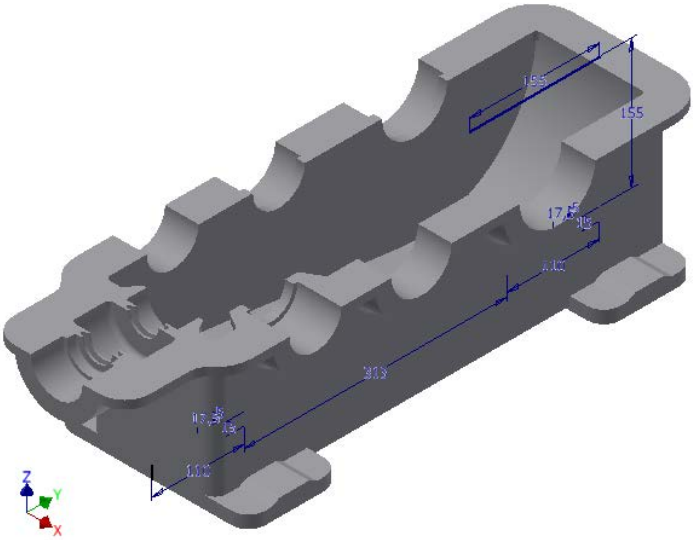
E assim, termina a modelagem da carcaça inferior, os furos para inserção dos parafusos será realizado no Apêndice B, durante a montagem.

Figura 65- Extrusão 5



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Figura 66 - Carcaça Inferior Final



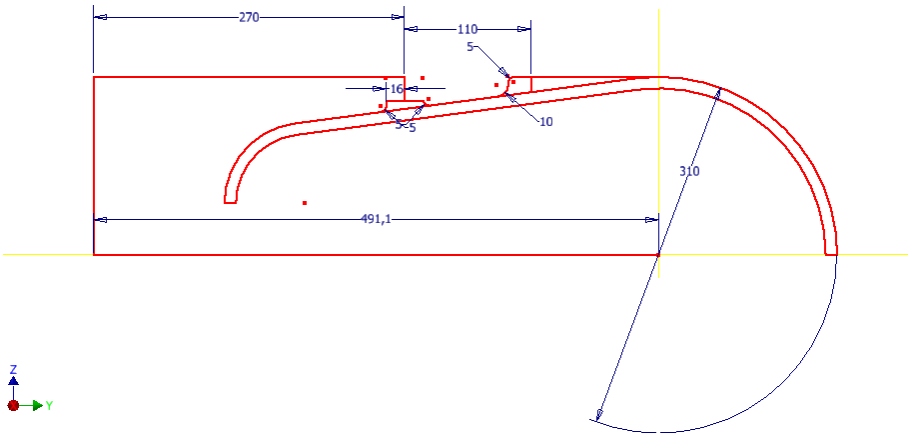
Fonte: (O AUTOR, 2015)

CARCAÇA SUPERIOR

A modelagem da carcaça superior é muito mais simples, visto que podemos aproveitar quase todos os rascunhos da carcaça inferior. Então, primeiramente, com o arquivo da Carcaça Inferior aberto, crie um novo arquivo para modelagem da carcaça superior.

Nesse arquivo, esboce o primeiro rascunho, com a vista lateral da carcaça superior, conforme a figura 67.

Figura 67 - Sketch 1 (Superior)

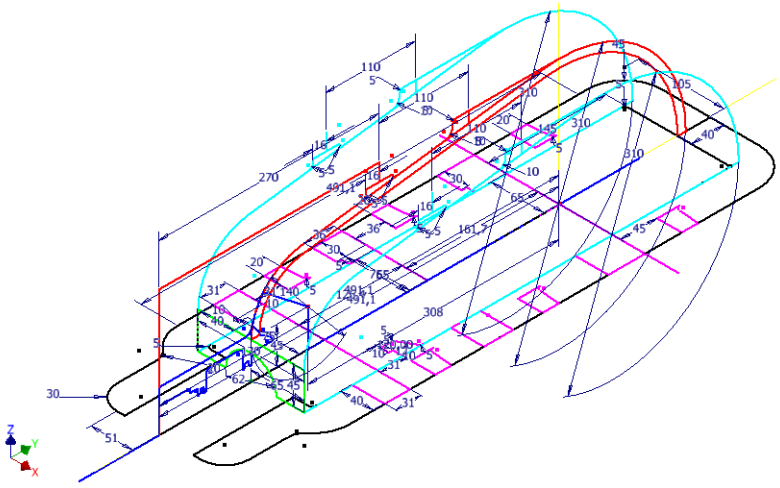


Fonte: (O AUTOR, 2015)

O esboço 2, assim como os outros esboços, são uma cópia dos esboços da Carcaça Inferior. Portanto, modele os outros rascunhos da mesma maneira que na Carcaça Inferior. Você também tem a opção de copiar o rascunho; clique com o botão direito sobre o Sketch 2, na Árvore de comando da Carcaça Inferior e selecione a opção Copiar. E depois cole, no outro arquivo, usando o botão direito novamente.

Feito isso, você terá o seguinte conjunto de esboços, vistos da isométrica:

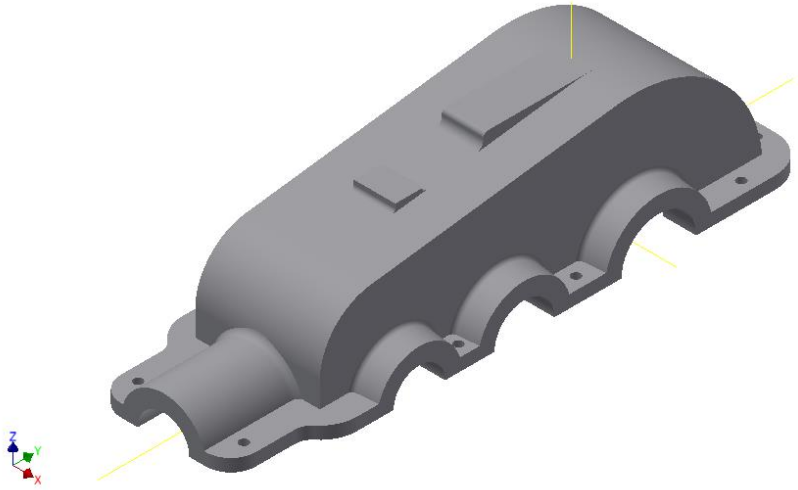
Figura 68 - Todos is sketch's (superior)



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Modelagem as revoluções e extrusões conforme foi feito para a carcaça inferior, você obterá o seguinte sólido:

Figura 69 - Carcaça Superior Final

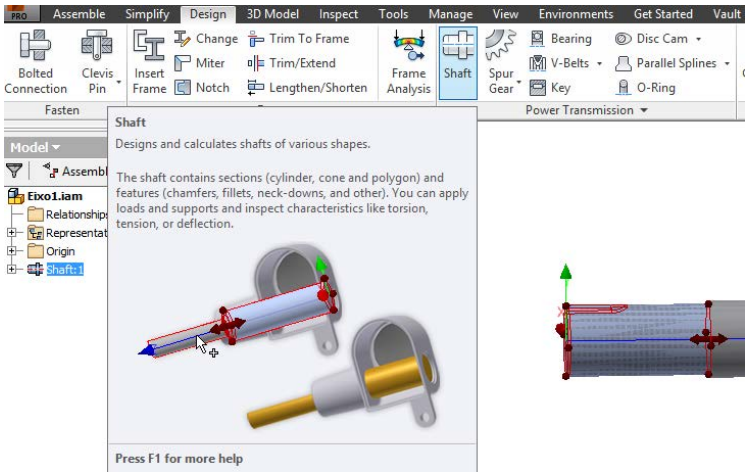


Fonte: (O AUTOR, 2015)

EIXOS

A modelagem dos eixos, assim como dos componentes restantes se dará de forma bem simplificada, já que o Inventor 2014 possui uma ferramenta muito simples de utilizar e ampla, na modelagem de elementos de máquina que é o *Design Accelerator* (conforme pode ser visto na Figura 70, abaixo).

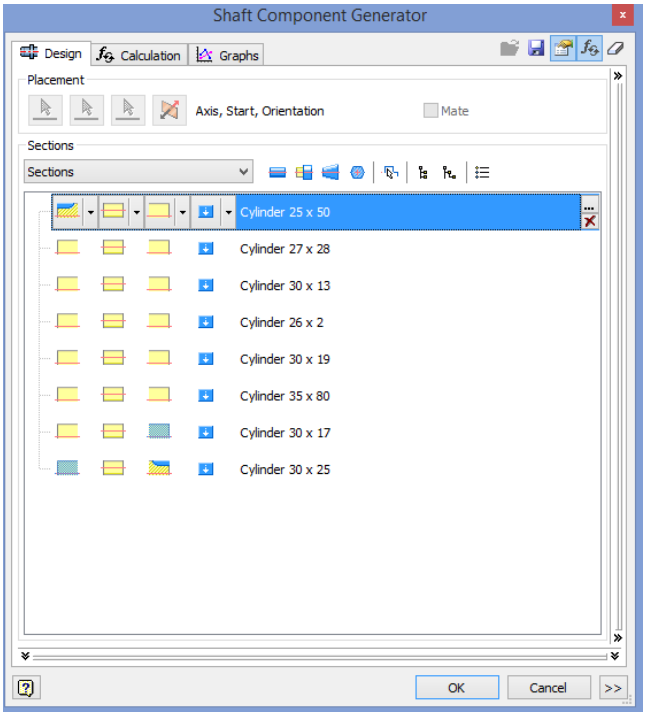
Figura 70 - Design Accelerator



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Selecionada a opção Shaft (Eixos), uma janela (Figura 71) surgirá.

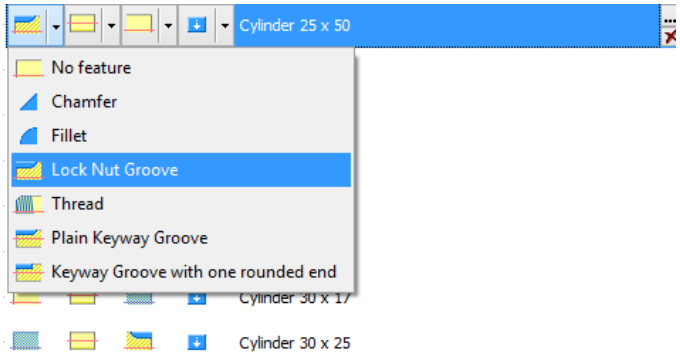
Figura 71 - Janela Accelerator Eixos



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Nessa janela, podemos ver que o eixo de entrada (elemento 19, no Quadro 1) já se encontra dimensionado. O passo a passo no dimensionamento de um eixo se dá da seguinte maneira: primeiro clique com o botão direito na primeira aba, da linha em azul (Figura). Nela, haverá várias opções de acabamento para a extremidade do eixo, tais como chanfro, fillet e entre outras. No caso desse eixo, precisaremos de uma ranhura de bloqueio de porca (*Lock Nut Groove*), na extremidade do eixo (Figura 72)

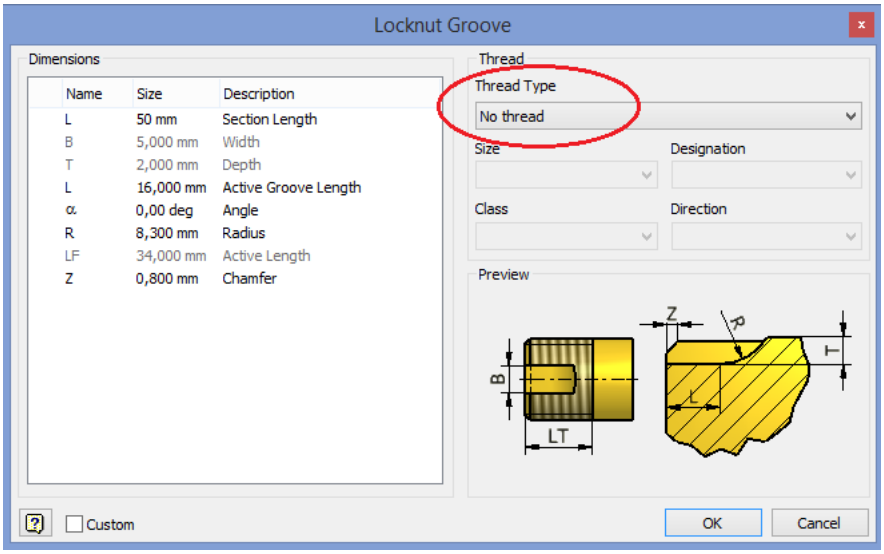
Figura 72 - Acabamento do Eixo (lado Esquerdo)



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Selecionada essa opção, uma nova janela se abre, e nela você selecionará opções como o tipo do fio (*Thread Type*, circula em vermelho na Figura 73).

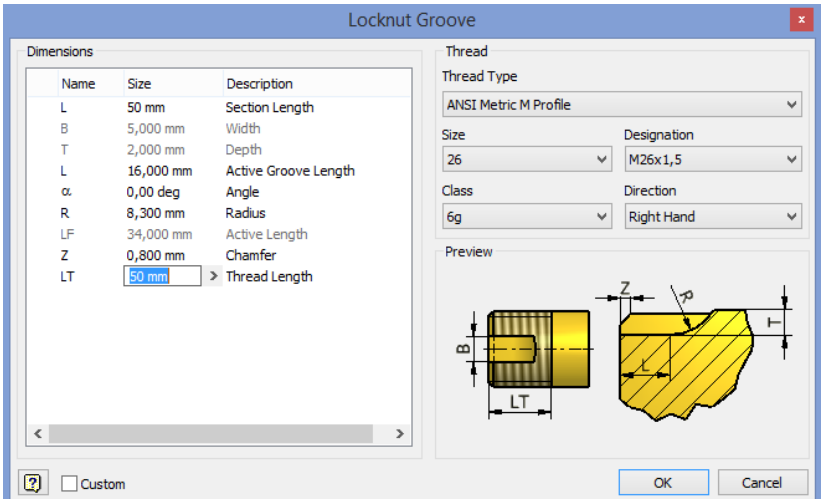
Figura 73 - Tipo de Fio



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Para este eixo, selecione a opção ANSI métrica, com perfil M. Na aba do lado esquerdo, conforme a Figura, você pode editar as medidas da sua ranhura, edite e em seguida de OK para finalizar esse acabamento.

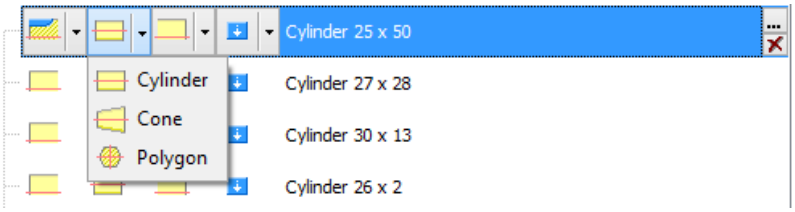
Figura 74 - Medições da ranhura



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Na segunda aba, Figura, você poderá selecionar qual o formato da secção, que está modelando; se é cilidrica, cônica ou poligonal (conforme Figura 75).

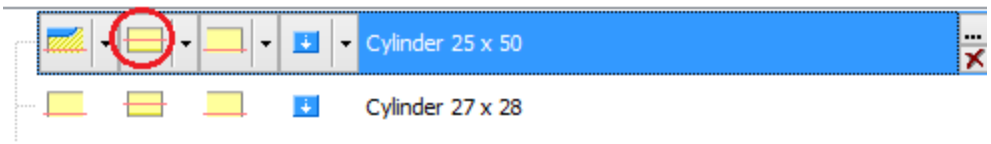
Figura 75 - Formato da secção do eixo



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Selecionada a geometria do perfil, clique com o botão esquerdo do mouse na área indicada em vermelho, como na Figura 76.

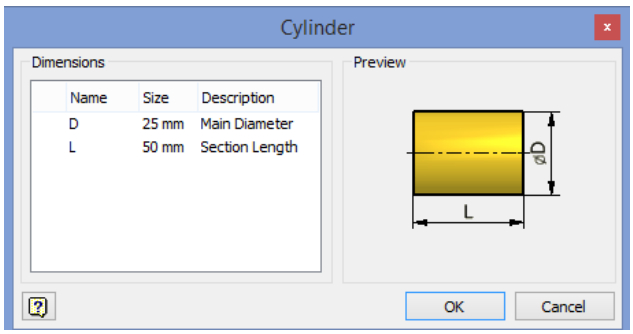
Figura 76 - Edição de diâmetro e comprimento do eixo



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Feito isso, você poderá editar qual o diâmetro e o comprimento do perfil que está criando, como na Figura 77.

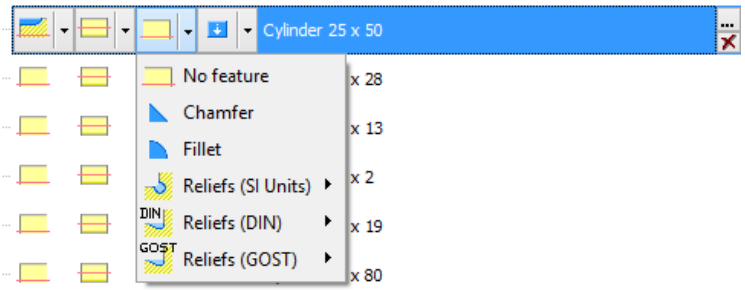
Figura 77 - Janela de edição de diâmetro e comprimento do eixo



Fonte: (O AUTOR, 2015)

A próxima etapa é selecionar o acabamento do lado direito dessa secção, como não há nada para este eixo, deixe em *No feature* (Nenhum recuso), segundo a Figura 78.

Figura 78 - Acabamento (lado direito)

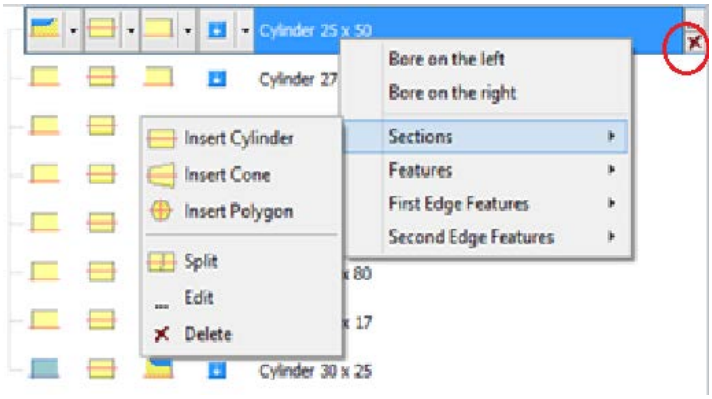


Fonte: (O AUTOR, 2015)

Após esses passos, você modelou totalmente esta secção. Para criar a próxima secção, clique com o botão direito do mouse sobre o trecho atual e em *Sections* (Secções), selecione o formato do próximo trecho; conforme Figura 79.

Ainda na Figura 79, você pode excluir o trecho, como está destacado em vermelho.

Figura 79 - Inserir nova secção



Fonte: (O AUTOR, 2015)

E assim segue o modelamento do Eixo de entrada, como na Figura 80.

O modelamento dos outros eixos é análogo a esse.

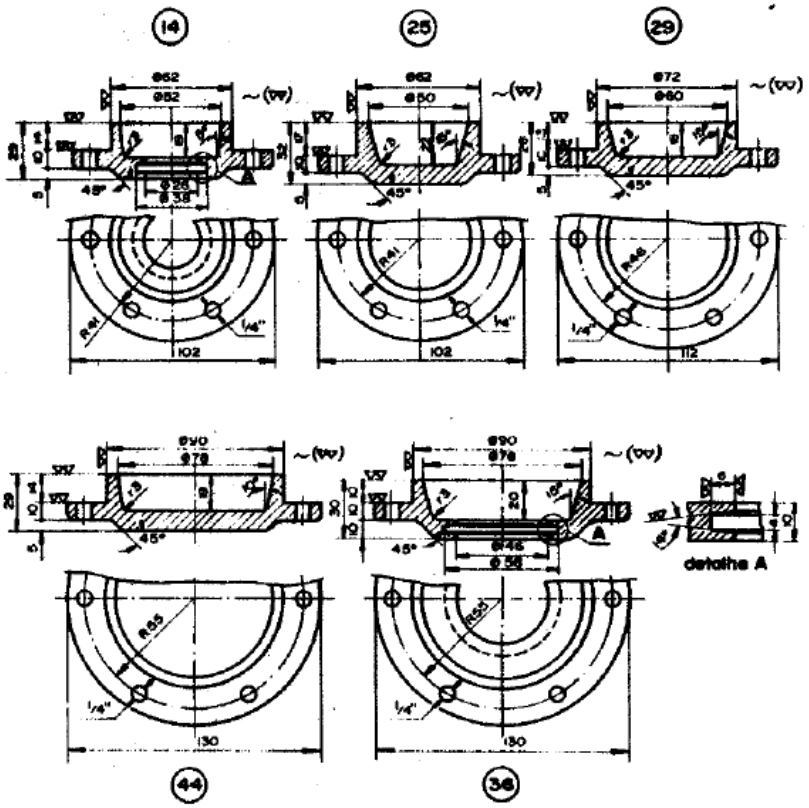
Figura 80 - Eixo modelado

Fonte: (O AUTOR, 2015)

TAMPAS DAS CAIXAS DE ROLAMENTOS

Para o modelamento das tampas das caixas de rolamentos, que seguem o desenho técnico da Figura 81 conforme segue; teremos de criar um arquivo para cada tampa.

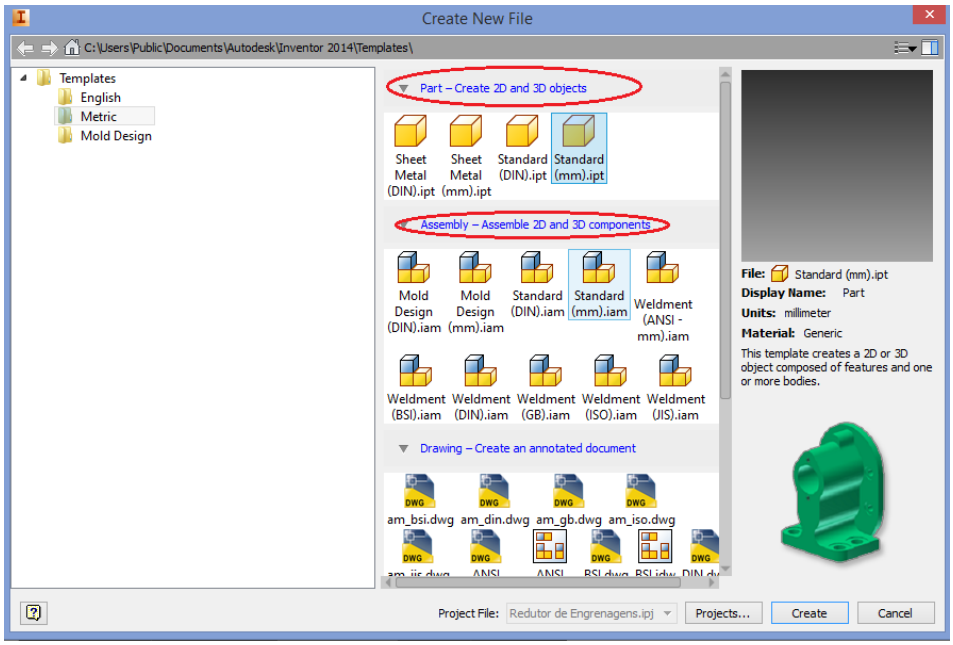
Figura 81 - Desenho técnico (tampas)



Fonte: (PROVENZA, 1991)

Esse arquivo, que deverá ser de escala métrica, pode ser tanto de montagem quanto de uma peça única; conforme circulado em vermelho na Figura 82.

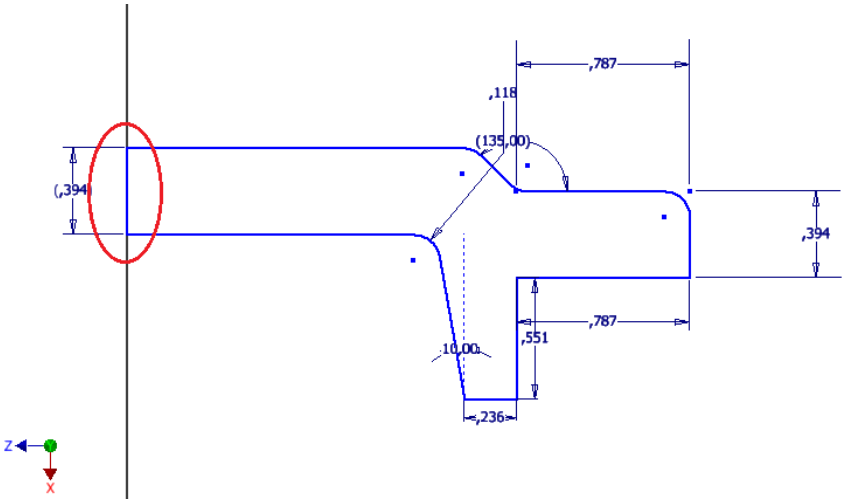
Figura 82 - Formato do arquivo



Fonte: (O AUTOR, 2015)

O rascunho, que está esboçado em polegadas na Figura, refere se ao componente de número 44, da Figura 83.

Figura 83 - Sketch Tampa 44



Fonte: (O AUTOR, 2015)

E utilizando a ferramenta de revolução, tendo como referência o eixo circulado em vermelho na Figura geramos o sólido da Figura 84, a seguir:

Figura 84 - Tampa modelada

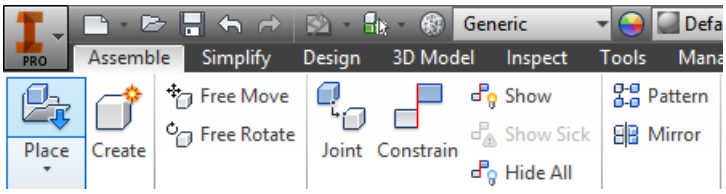
Fonte: (O AUTOR, 2015)

A geração das outras tampas é análoga em relação a esta. A geração dos outros componentes será feita diretamente durante o processo de montagem, no Apêndice B.

MONTAGEM DO CONJUNTO

Para iniciar a montagem do conjunto mecânico, primeiramente, criaremos um arquivo de montagem (*Assembly*). Nesse arquivo clicaremos em *Place*, na aba Assemble, conforme Figura 85.

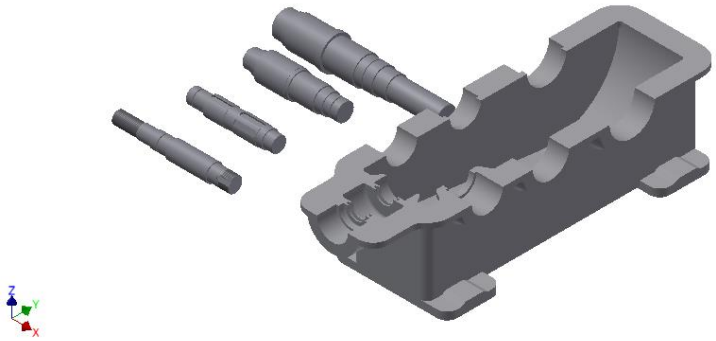
Figura 85 - Ferramenta Place



Fonte: (O AUTOR, 2015)

E então selecionaremos os arquivos contendo a carcaça inferior e os 4 eixos modelados, segundo a Figura 86.

Figura 86 - Carcaça Inferior e eixos



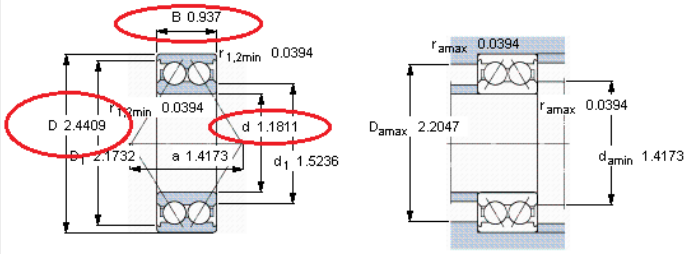
Fonte: (O AUTOR, 2015)

ROLAMENTOS

Começaremos utilizando como modelo, o rolamento mais externo, no qual será inserido o eixo de entrada. Trata-se de um rolamento SKF 3206 segundo o Quadro 1 e que possui os seguintes dados de fábrica, conforme Figura 87. Os dados mais relevantes para o Inventor estão destacados em vermelho.

Figura 87 - Medidas técnicas do rolamento

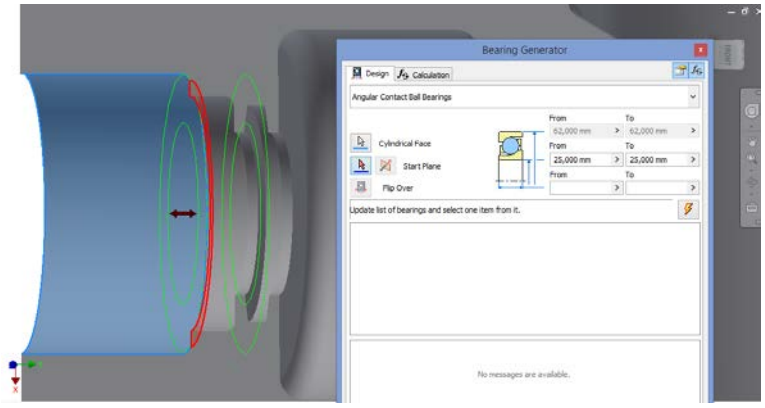
Dimensões principais			Classificações de carga básica		Classificações de velocidade		Designação
			dinâmica	estática	Velocidade de referência	Velocidade-limite	
d	D	B	C	C_0			* Rolamento SKF Explorer
in			lbf		r/min		-
1.1811	2.4409	0.937	6740	4590	10000	10000	**3206 ATN9** *



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Na aba *Design*, selecione a opção *Bearing*(Rolamentos); e na janela que surgirá, selecione a face cilíndrica (destacada em azul na Figura 88) e o plano de direção de onde começará o rolamento (destacado em vermelho na Figura 88).

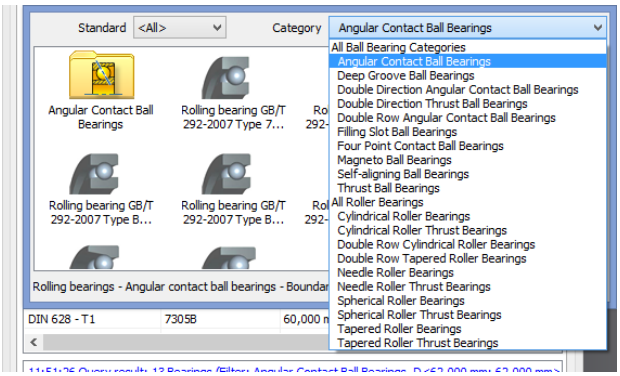
Figura 88 - Design Accelerator (Rolamentos)



Fonte: (O AUTOR, 2015)

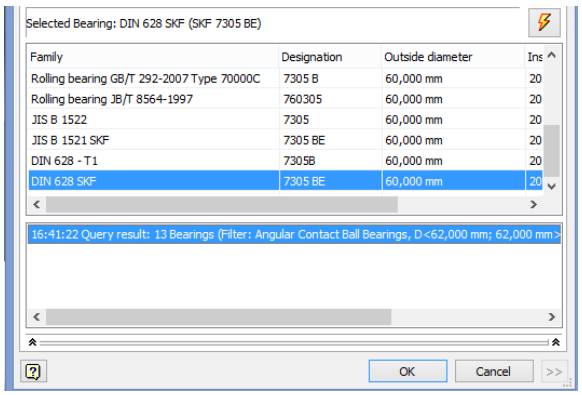
Selecione a Categoria do rolamento, que nesse caso é Angular de Contato, conforme a Figura 89. E selecione qual é o rolamento certo, da lista gerada (Figura 90). Nesse caso o mais próximo do SKF 3206 era o DIN 628 SKF.

Figura 89 - Tipos de rolamentos



Fonte: (O AUTOR, 2015)

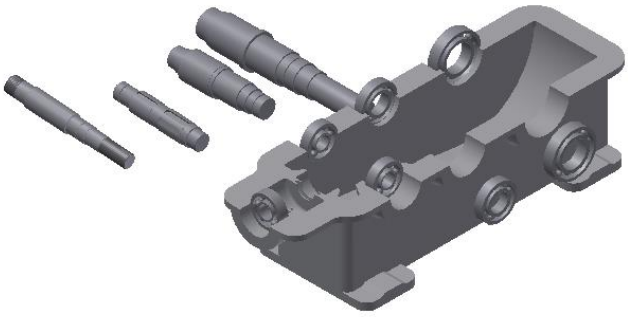
Figura 90 - Perfil de rolamento selecionado



Fonte: (O AUTOR, 2015)

E modelando os outros rolamentos (alguns ainda não podem ser alocados, pois dependem da montagem dos eixos) obtemos a Figura 91.

Figura 91 – Modelagem (outros rolamentos)

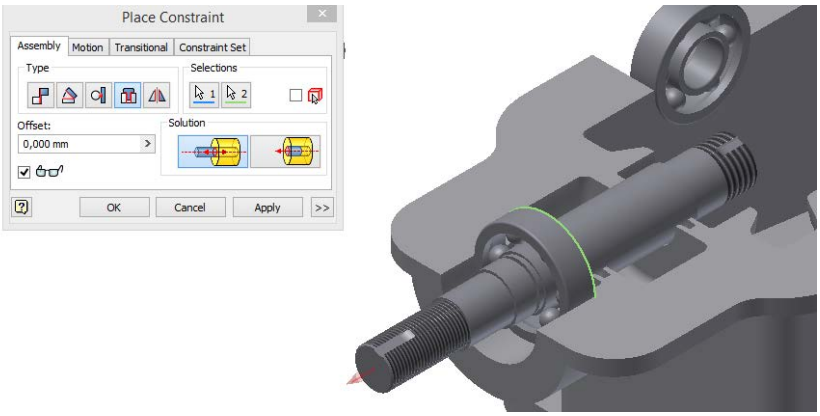


Fonte: (O AUTOR, 2015)

ACOPLAMENTO DOS EIXOS

Na aba *Assemble*, selecione a opção *Constrain*(Restrição). Na janela que surgirá, selecione o quarto tipo de Restrição, que é de Inserção (segundo a Figura 92) e então selecione o plano interno do rolamento e a secção do eixo que deverá ser feito o contato. (segundo a Figura 92)

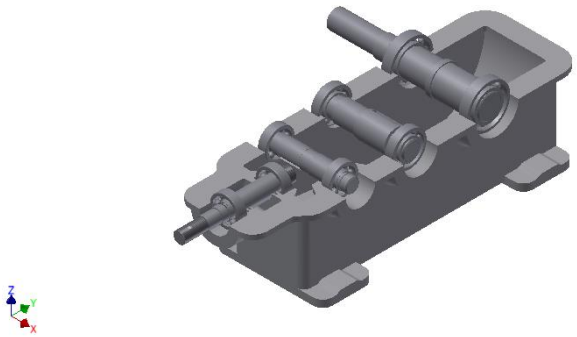
Figura 92 - Restrição 1



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Repetindo o processo para os outros eixos e rolamentos, chegamos ao seguinte modelamento:

Figura 93 - Modelamento dos eixos



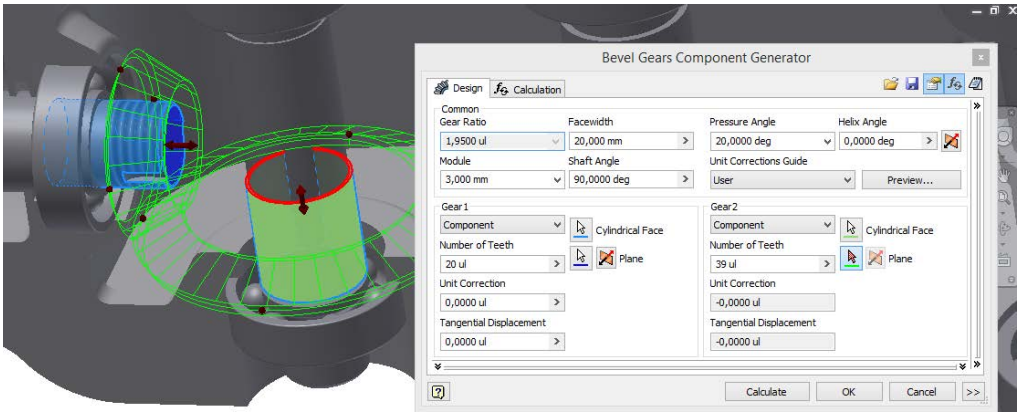
Fonte: (O AUTOR, 2015)

ENGRENAGENS

Começaremos o modelamento das engrenagens pelas Engrenagens Cônicas (*Bevel Gears*), na aba *Design*, ao lado do ícone dos eixos.

Na janela que gerará o par (Figura 94), você verá do lado esquerdo as características da Engrenagem 1 (pinhão) e do lado direito a Engrenagem 2 (coroa). Selecione a face cilíndrica conforme indicado na figura abaixo.

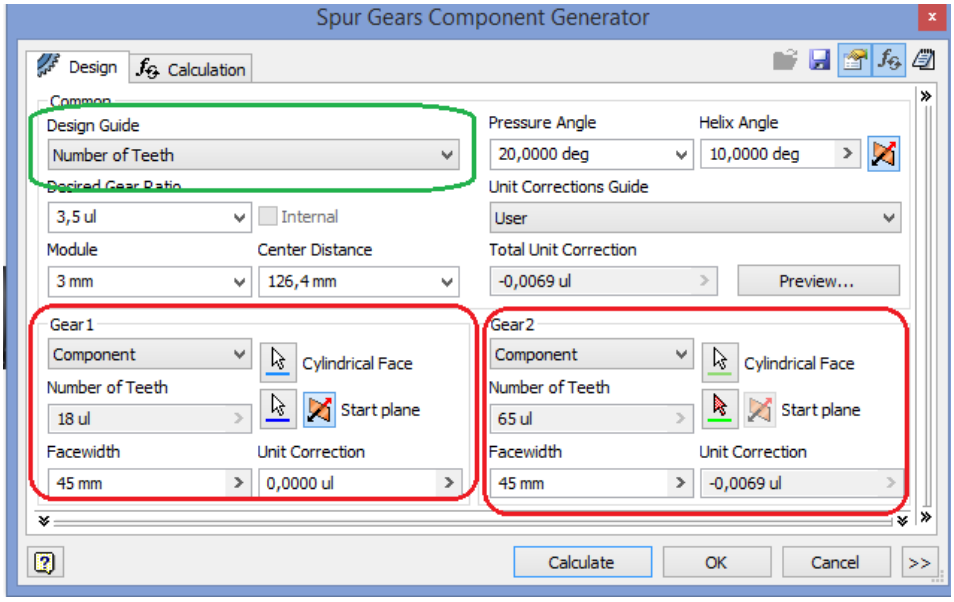
Figura 94 - Accelerator Engrenagens Cônicas



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Gerado o par cônico, iremos para os pares de engrenagens cilíndricas. Selecione *Spur Gear*, em *Design*, e na janela geradora do componente (Figura), você verá uma janela semelhante á da engrenagem cônica, porem você terá que alterar o *Design Guide*(Destacado em verde) para inserir os valores do Módulo, Numero de dentes e Distância Central corretamente.

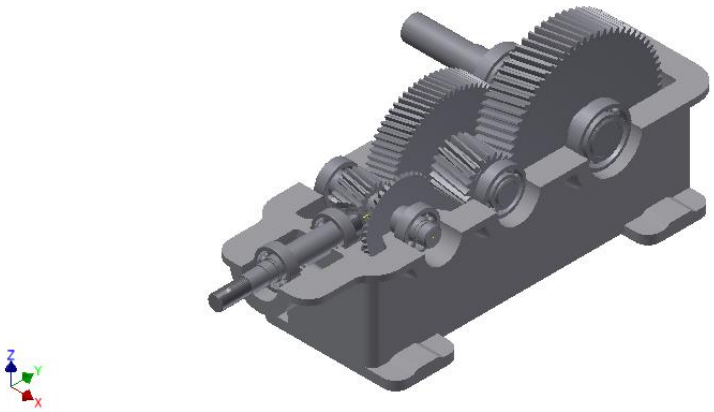
Figura 95 - Accelerator Engrenagens Cilíndricas



Fonte: (O AUTOR, 2015)

E selecionando a face cilíndrica corretamente (conforme destacado em vermelho, na Figura 96) e gerando o outro par restante, teremos a seguinte configuração:

Figura 96 - Engrenagens modeladas



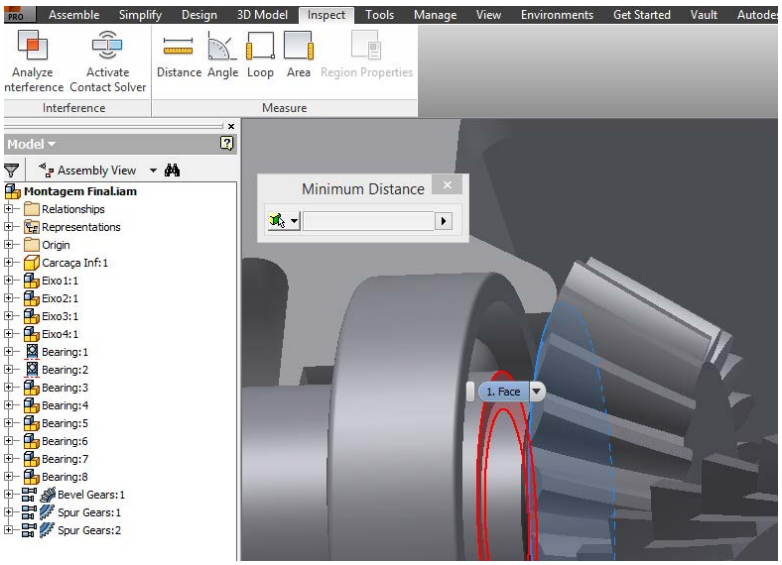
Fonte: (O AUTOR, 2015)

EDIÇÃO DAS ENGRENAGENS

Porém as engrenagens geradas ainda não foram esboçadas conforme consta no desenho técnico.

Começando pelo par cônico, meça, através da ferramenta *Distance*, na aba *Inspect*, a distancia entre o pinhão cônico e o rolamento; segundo a Figura.

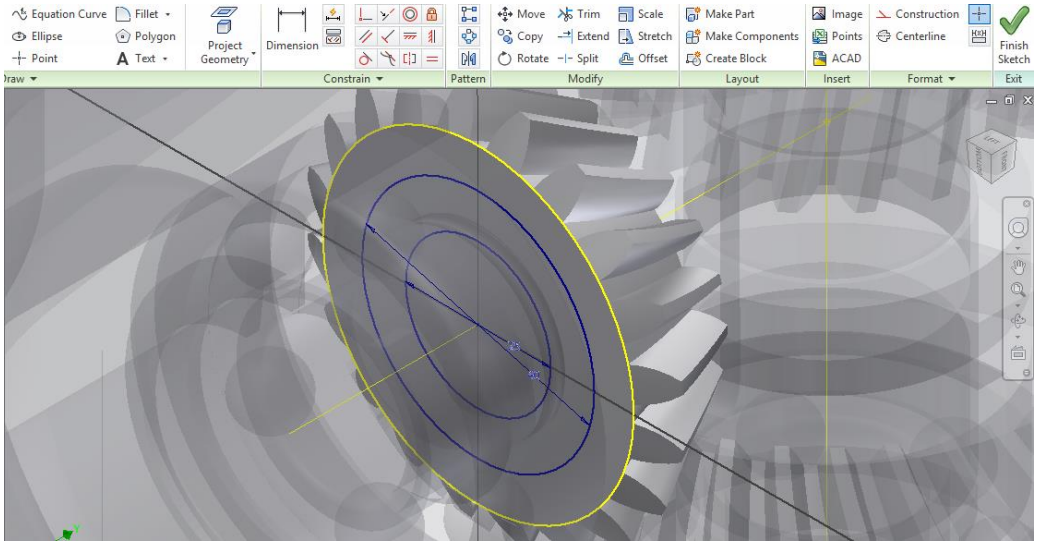
Figura 97 - Ferramenta Distance



Fonte: (O AUTOR, 2015)

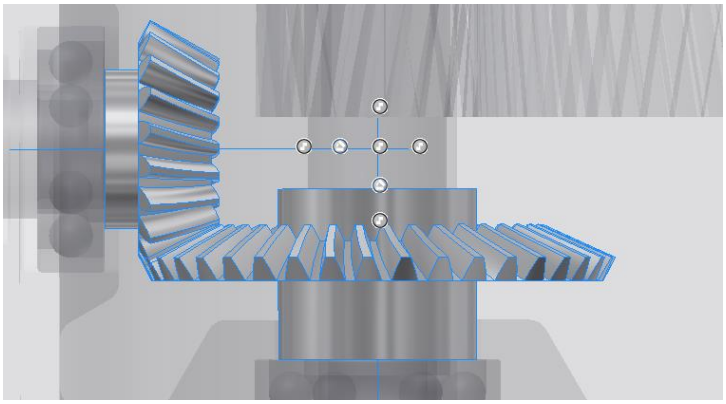
Agora de um duplo clique no par cônico e em seguida um duplo clique sobre o pinhão; agora é possível gerar um rascunho (Figura 98) e complementar a modelagem 3D da engrenagem selecionada (Figura 99). Repita o processo para as engrenagens cilíndricas para obter a Figura 100.

Figura 98 - Rascunho nas engrenagens



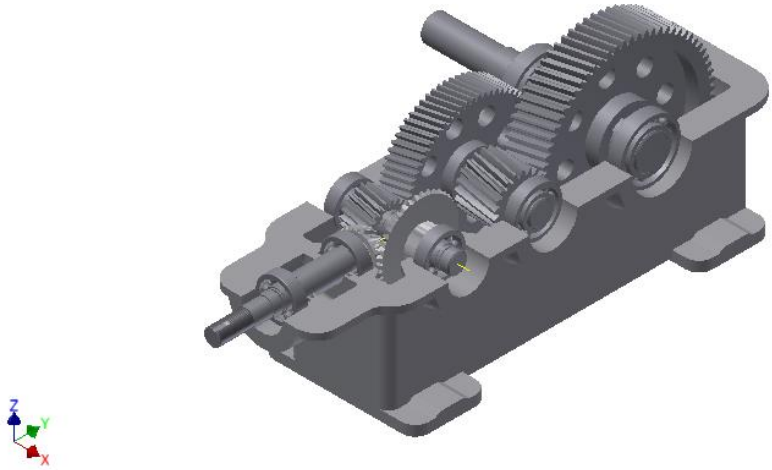
Fonte: (O AUTOR, 2015)

Figura 99 - Modelamento final (Engrenagens Cônicas)



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Figura 100 - Modelamento final das engrenagens

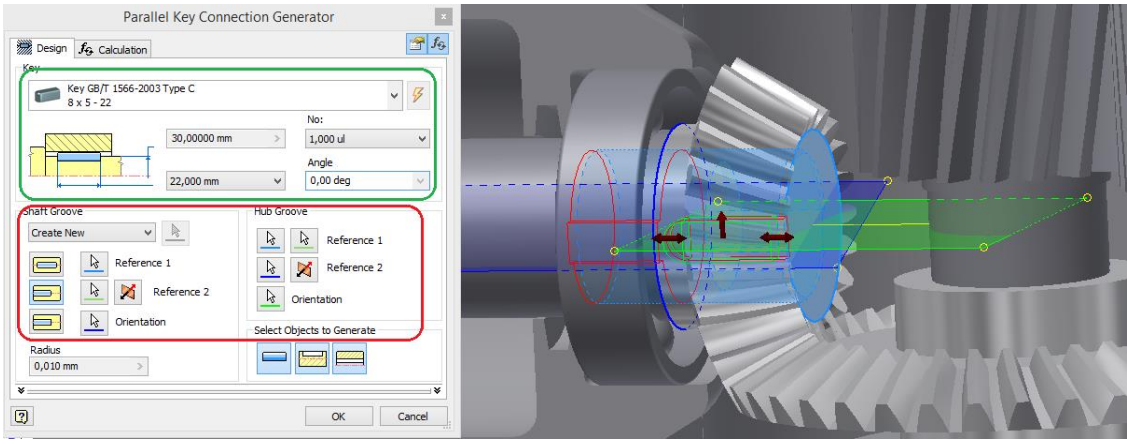


Fonte: (O AUTOR, 2015)

CHAVETAS

Selecione a opção *Key* (Chaveta), na aba *Design*, e em seguida a janela do Design Accelerator se abrirá. Circulado em verde, na Figura 101, estão os dados referente a chaveta e em vermelho, na mesma Figura, estão evidenciados os planos referenciais para geração da Chaveta.

Figura 101 - Accelerator Chaveta



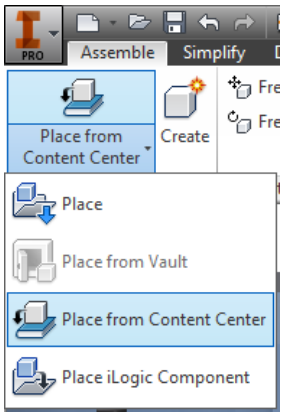
Fonte: (O AUTOR, 2015)

Repita o processo para as outras engrenagens, caso todas as restrições tenham sido bem-sucedidas, o conjunto mecânico já funcionará corretamente girar qualquer componente.

ARRUELAS DE SEGURANÇA

O conjunto mecânico é composto de 3 arruelas de segurança. Para inseri-las clique na aba logo abaixo de *Place* e selecione *Place From Content Center*, conforme a Figura 102.

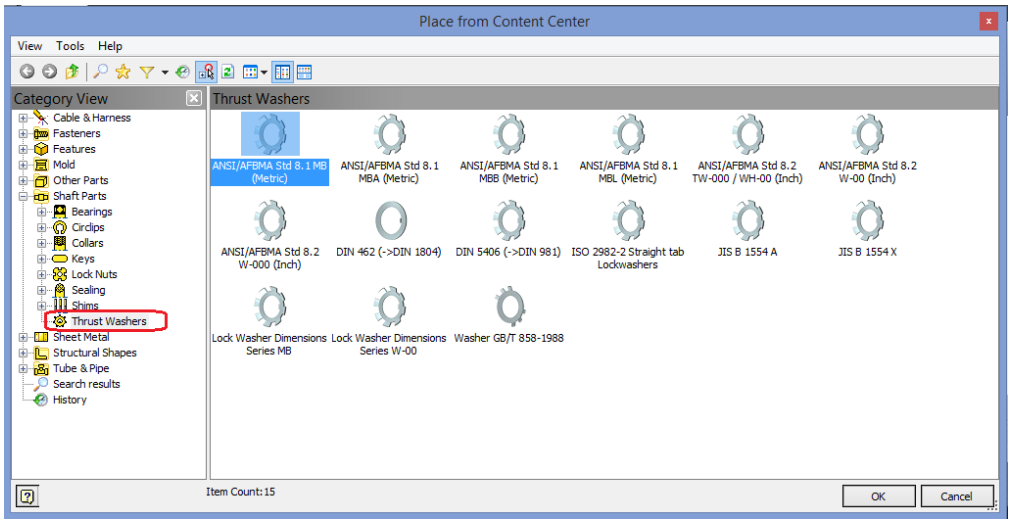
Figura 102 - Place from Content Center



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Selecione a opção *Thrust Washers*(Arruelas de Segurança) e em seguida selecione qual modelo será escolhido, conforme Figura 103.

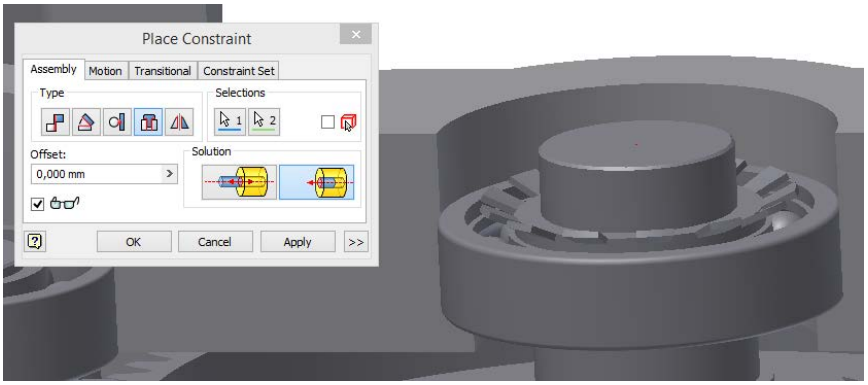
Figura 103 - Accelerator (Arruelas de segurança)



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Aplique uma restrição para colocá-la no local certo, conforme Figura 104.

Figura 104 - Restrição Arruelas

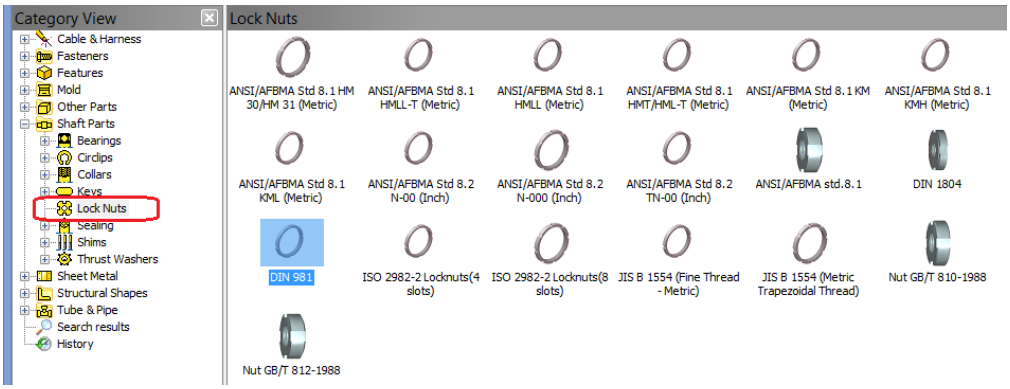


Fonte: (O AUTOR, 2015)

PORCAS DE FIXAÇÃO

O procedimento para as porcas de fixação é identico ao da Arruela. Em *Place From Content Center*, selecione a opção *Lock Nuts* (Porcas de Fixação), conforme a Figura 105.

Figura 105 - Accelerator (porcas de fixação)



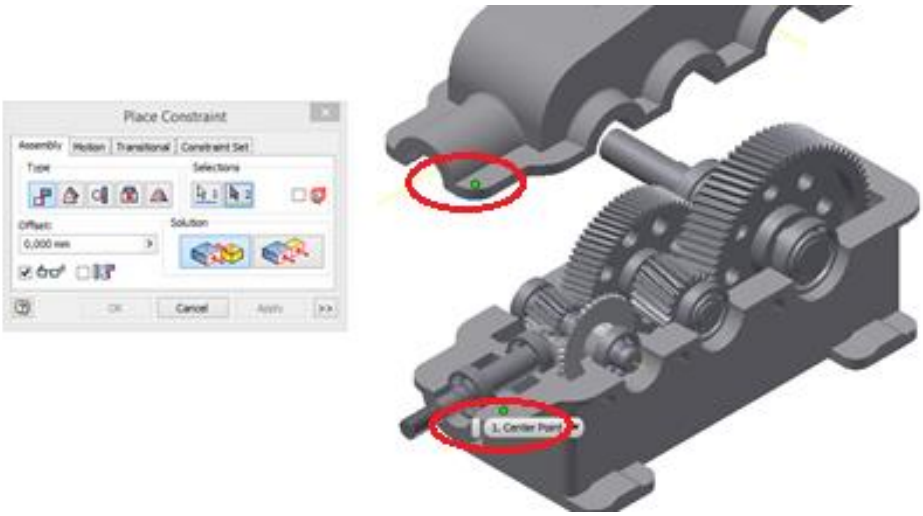
Fonte: (O AUTOR, 2015)

E novamente, utilize a ferramenta de restrição (a primeira opção, em direções opostas) para posicionar a porca no local certo.

CARCAÇA SUPERIOR

Insira o arquivo da carcaça superior no modelamento atual e com o auxílio da ferramenta de restrição (Conforme Figura 95) una as duas carcaças.

Figura 106 - Restrição entre as carcaças



Fonte: (O AUTOR, 2015)

TAMPAS DA CAIXA DE ROLAMENTO

Primeiramente abra todos os arquivos das tampas de rolamento, através do botão *Place*; em seguida com o auxílio das ferramentas *Free Move* e *Free Rotate*, posicione as tampas próximo das posições em que serão acopladas; conforme Figura 107.

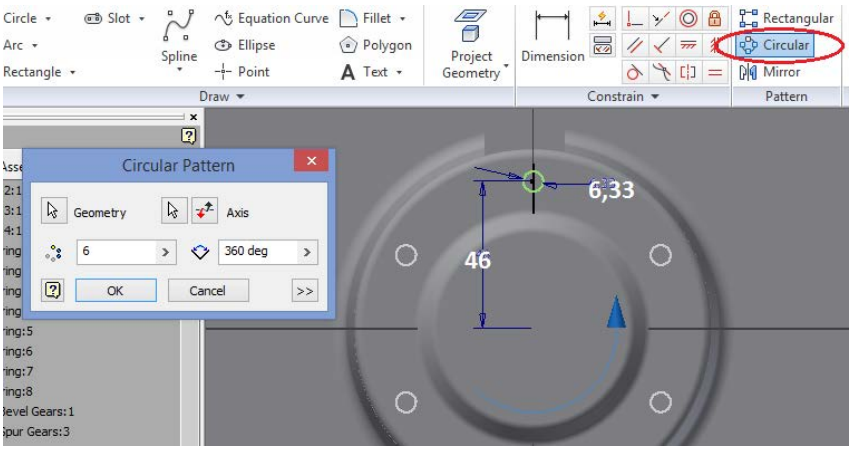
Figura 107 - Restrição (tampas)

Fonte: (O AUTOR, 2015)

PARAFUSOS DAS TAMPAS

Antes de gerar os parafusos, primeiro é necessário criar os furos onde estes serão alojados; portanto crie um esboço 2D e utilize a ferramenta *Circular Pattern* (conforme Figura 108) e em seguida realize uma Extrusão para gerar os furos.

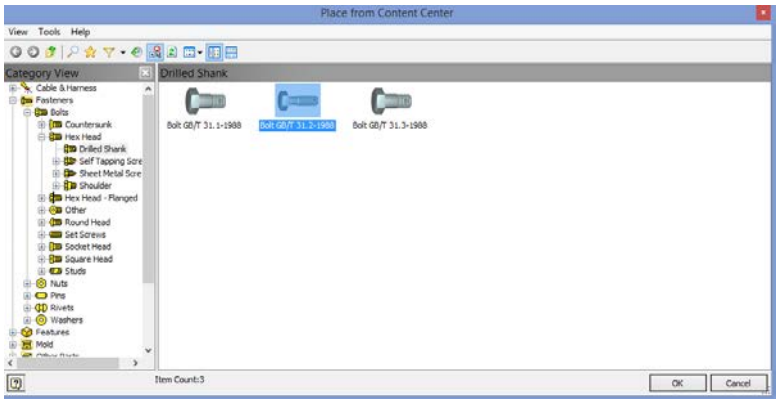
Figura 108 - Rascunho (parafusos das tampas)



Fonte: (O AUTOR, 2015)

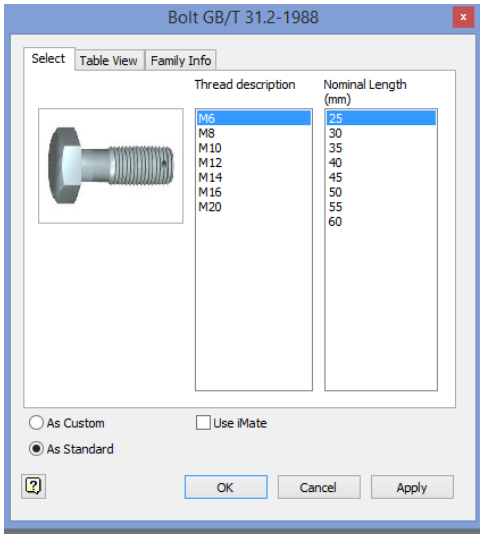
Em *Place From Content Center*, você encontrará o perfil um parafuso muito próximo do requisitado no Quadro 1 (conforme Figura 109), selecione o em seguida selecione o diâmetro e comprimento do mesmo (Figura 110).

Figura 109 - Accelerator Parafusos



Fonte: (O AUTOR, 2015)

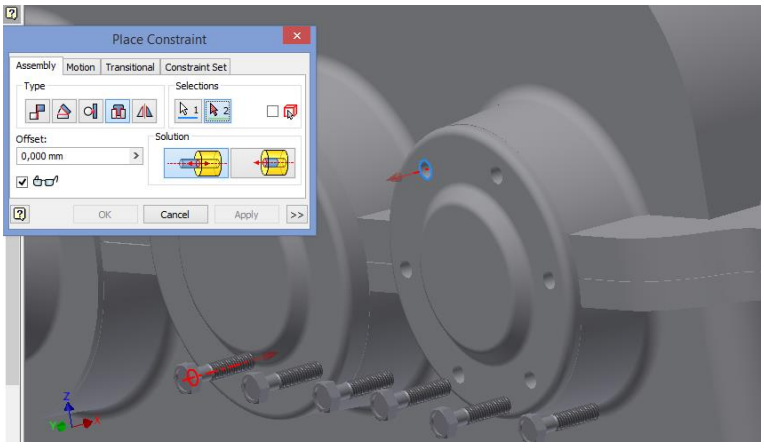
Figura 110 - Diâmetro e comprimento (parafusos)



Fonte: (O AUTOR, 2015)

Conforme você for clicando com o botão esquerdo do mouse, um novo parafuso será gerado, até que você clique com o direito. Utilize uma restrição (Figura 111) para inserir os parafusos nos furos.

Figura 111 - Restrição (parafusos - tampas)

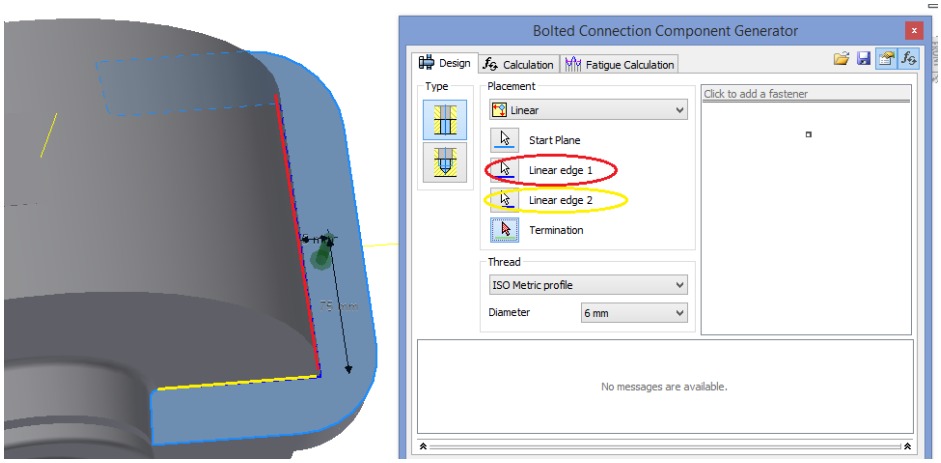


Fonte: (O AUTOR, 2015)

PARAFUSOS DAS CARCAÇAS

Os parafusos das carcaças foram gerados de maneira diferente ao das tampas. Na aba *Design*, selecione a opção *Bolted Connection* (Conexão Aparafusada); em seguida selecione o plano inicial (que é a superfície superior da carcaça superior), as distancias com relação aos limites desse plano (destacados em vermelho e amarelo, destacados na Figura 112) e o plano no qual o parafuso terminará, que é o plano inferior da carcaça inferior.

Figura 112 - parafusos (carcaças)

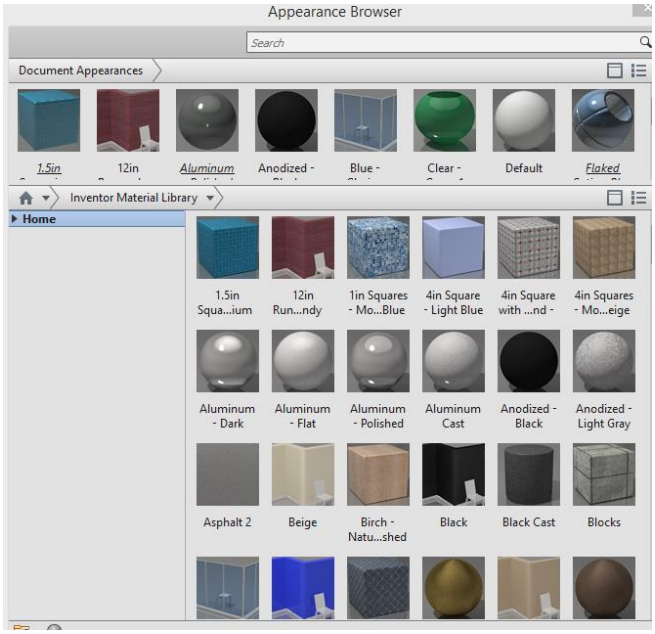


Fonte: (O AUTOR, 2015)

EDIÇÃO DOS COMPONENTES

Você ainda tem a opção de alterar tanto o material quanto o acabamento de cada componente do redutor; conforme a Figura 113.

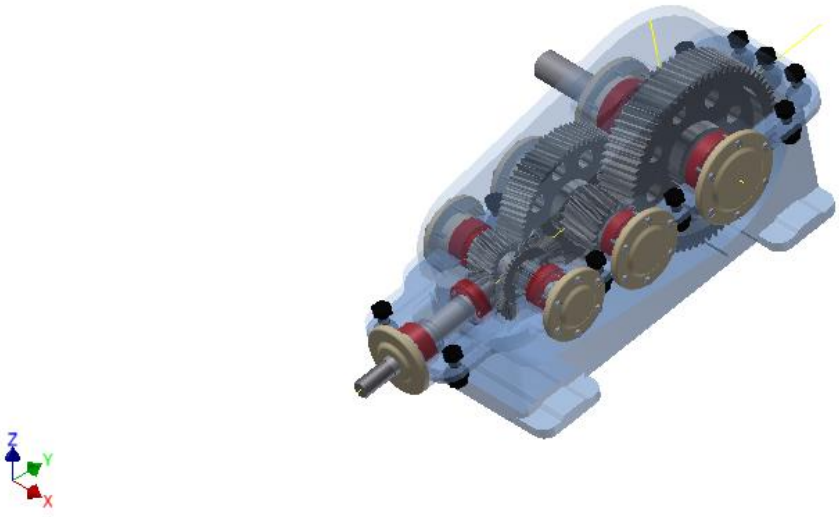
Figura 113 - Acabamento externo



Fonte: (O AUTOR, 2015)

E modelando todos os parafusos restantes, temos como resultado o objetivo desse trabalho que é o redutor de velocidades totalmente prototipado no Autodesk™ Inventor 2014, como na Figura 114.

Figura 114 - Redutor Final



Fonte: (O AUTOR, 2015)

4 CONCLUSÃO

O modelamento através do software Autodesk™ Inventor 2014 é facilitado e muito, através de uma interface simples, muito similar a encontrada no AutoCAD, e de uma maneira inovadora na elaboração de sólidos 3D; tanto através de rascunhos 2D, quanto 3D; e na utilização de ferramentas para verificar a delimitação dos rascunhos, como o *Closed Loop* e em outras ferramentas que são análogas em outros softwares de modelamento, como as ferramentas de extrusão e revolução.

O extenso banco de dados, promove uma elaboração ainda mais fiel a realidade, já que quase todos os componentes, evidenciados no desenho técnico do Redutor, constavam no banco de dados do Inventor ou apresentavam algum componente de dimensões e características semelhantes.

As ferramentas do Inventor 2014 se mostraram muito abrangentes, um projeto como este, não foi capaz de evidenciar toda a gama de modelagem que o Inventor pode proporcionar, já que rascunhos em 3D não foram necessários, bem como toda a análise de elementos finitos que ele pode proporcionar.

Este trabalho agregou muito conhecimento técnico acerco da utilizando de softwares de modelagem 3D e autor deste trabalho espera poder contribuir para que futuros graduandos possam utilizar esse tutorial como uma base no aprendizado da prototipagem digital.

E em uma última análise, é o fato de que a prototipagem digital revolucionou e muito, o mundo do desenho técnico mecânico, reduzindo a necessidade de esboços manuais bem como reduzindo também custos de produção de máquinas e componentes já que os softwares conseguem consolidar protótipos e realizar análises, que antes só poderiam ser feitas através de um protótipo físico.

4.1 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Simulação de uma análise estrutural em elementos finitos, dentro do ambiente do próprio Autodesk™ Inventor 2014, que possibilita esse tipo de análise. Esta análise poderia ser feita em cada componente crítico do projeto e posteriormente no conjunto analisado.

Outra possível abordagem seria elaborar o protótipo fisicamente, e comparar os valores dos testes realizados no ambiente do software, do protótipo e da literatura.

Estudar o comportamento fluidodinâmico de óleos lubrificantes no interior do Redutor de Velocidades, tanto no ambiente do Autodesk™ Inventor, quanto em um protótipo físico.

REFERÊNCIAS

BERTOLDI. **Anéis O'Ring.** Disponível em: < http://www.parafusosbertoldi.com.br/produto/aneis-oring/> Acesso em: 02 dez. 2015

BUDYNAS, RICHARD G.; NISBETT, J. KEITH. **Elementos de Máquinas de Shigley**. 8ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. 1084p.

COPAFLEX. **Redutores de Velocidade.** Disponível em: <http://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/automatizacao-e-robotica/copaflex/produtos/automacao_industrial/redutores-de-velocidade-1> Acesso em: 20 nov. 2015

DIAS, FELIPE MACIEL. **Projeto e construção de uma nova bancada de ensaio de CVT.** Disponível em: < https://fga.unb.br/articles/0000/5974/PG2.pdf > Acesso em: 23 nov. 2015

FRESADORAS SANT'ANA. **Engrenagens e redutores.** Disponível em: < http://www.fresadorasantana.com.br/eixo-rosca-sem-fim.php/> Acesso em: 22 nov. 2015

FREZADORA PAULISTA. **Engrenagens cônicas com dentes retos.** Disponível em: < http://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/metal-mecanica-e-usinagem/mecanica-frezadora-paulista-ltda-/produtos/acessorios/engrenagens-conicas-com-dentes-retos/> Acesso em: 21 nov. 2015

MECATRONICA ATUAL. **Chavetas.** Disponível em: <http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/883-chavetas> Acesso em: 5 dez. 2015

MUNDO DA MECÂNICA. **Redutores de velocidade.** Disponível em: <http://mundodamec.blogspot.com.br/2011/03/redutores-de-velocidade.html> Acesso em: 15 nov. 2015

OFICINA BRASIL VIRTUAL. **Elementos de Máquina: eixos e árvores. 2010.** Disponível em: <http://oficinabrasilvirtual.blogspot.com.br/2010/10/elementos-de-maquinas-eixos-e-arvores.html> Acesso em: 10 dez. 2015

PAULO G. COSTA. **Caixa de câmbio.** Disponível em: < http://www.oficinaecia.com.br/bibliadocarro/biblia.asp?status=visualizar&cod=91/> Acesso em: 19 nov. 2015

PROVENZA, FRANCESCO. **Desenhista de Máquinas.** 2ª ed. São Paulo: Protec, 1976. 441p.

REDAÇÃO INDÚSTRIA HOJE. **O que é um redutor de velocidade.** Disponível em: < http://www.industriahoje.com.br/redutor-velocidade/> Acesso em: 20 nov. 2015

SCHAEFFLER. **Eixos de acionamento RITZ.** Disponível em: < http://medias.schaeffler.de/medias/pt!hp.ec.br/RITZ..-PF/> Acesso em: 21 nov. 2015

SKF. **Banco de dados de Rolamentos de Esferas.** Disponível em: <http://www.skf.com/br/products/bearings-units-housings/ball-bearings/index.html> Acesso em: 02 dez. 2015

TAUNOS. **Fuso principal.** Disponível em: < http://www.taunos.com.br/novo/portfolio-item/eixo-arvore/ > Acesso em: 23 nov. 2015

WIKIPEDIA. **Redutor de Velocidade.** Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Redutor_de_velocidade> Acesso em: 12 dez. 2015

WIKIPEDIA. **Engrenagem.** Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Engrenagem> Acesso em: 13 dez. 2015