

KÁSSIO ALVES FREIRE

**ANÁLISE DO PROJETO MECÂNICO DE UMA CAIXA DE DIREÇÃO
UTILIZANDO O SOFTWARE SOLIDWORKS**

Guaratinguetá – SP

2016

KÁSSIO ALVES FREIRE

**ANÁLISE DO PROJETO MECÂNICO DE UMA CAIXA DE DIREÇÃO
UTILIZANDO O SOFTWARE SOLIDWORKS**

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

2016

F866a	Freire, Kássio Alves Análise do projeto mecânico de uma caixa de direção utilizando o software Solidworks / Kássio Alves Freire – Guaratinguetá, 2016. 94 f : il. Bibliografia: f. 5-6
	Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2016. Orientador: Prof. Dr. Fernando de Azevedo Silva
	1. Programas de computador. 2. Desenho técnico. 3. Software. I. Título
	CDU 681.3.06

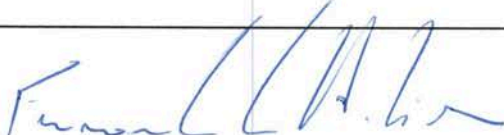
KÁSSIO ALVES FREIRE

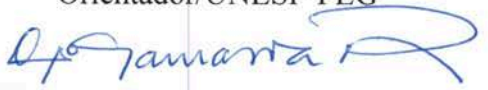
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“**GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**”

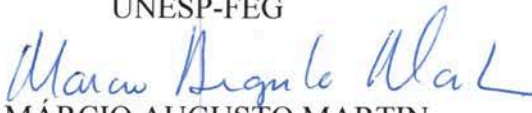
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


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


Prof. Dr. VICTOR ORLANDO GAMARRA ROSADO
UNESP-FEG


Prof. Dr. MÁRCIO AUGUSTO MARTIN
UNESP-FEG

Outubro de 2016

DADOS CURRICULARES

KÁSSIO ALVES FREIRE

NASCIMENTO	17.04.1992 – Vitória da Conquista / BA
FILIAÇÃO	Nivaldo Trindade Freire Rubenes Alves dos Santos Freire
2010/2016	Curso de Graduação em Engenharia Mecânica Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - UNESP

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por todas as oportunidades, realizações e conquistas. Agradeço pela minha vida, minha família e meus amigos.

Aos meus pais *Rubenes Alves dos Santos Freire e Nivaldo Trindade Freire*, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram meus estudos e formaram meu caráter.

A minha madrinha *Nivalda Freire* que me apoiou todos esses anos fora de casa, dando o suporte, carinho e confiança para enfrentar todas as dificuldades.

Ao meu tio *Ailton Freire*, que sempre esteve por mim nos anos iniciais de faculdade e ajudou a adaptação fora de casa.

Ao meu orientador, *Prof. Dr. Fernando de Azevedo Silva* por acreditar no meu potencial, pela orientação e ajuda na definição do tema do trabalho.

Ao meu amigo, *Joelmir*, que foi de grande ajuda na aprendizagem do software, sempre me ajudando, e auxiliando nas minhas dúvidas técnicas.

A todos os meus colegas de faculdade, cursinho e intercâmbio que estiveram comigo nessa jornada, durante todos os momentos e foram essenciais para minha formação.

Aos moradores da República Abate, por todos os anos de convivência, aprendizado e alegrias.

Aos funcionários da Faculdade de Engenharia do Campos de Guaratinguetá pela dedicação.

“Não confunda derrotas com fracasso nem vitórias com sucesso. Na vida de um campeão sempre haverá algumas derrotas, assim como na vida de um perdedor sempre haverá vitórias. A diferença é que, enquanto os campeões crescem nas derrotas, os perdedores se acomodam nas vitórias.”

Roberto Shinyashiki

RESUMO

Este trabalho por meio de uma abordagem clara e simplificada tem o intuito de analisar e redimensionar um conjunto mecânico. Analisando ajustes e tolerâncias da montagem, utilizando um software CAD de desenho técnico mecânico 3D, mais propriamente o SolidWorks 2015. Foram feitas as modelagens 3D de cada componente de uma caixa de direção, para em seguida ser possível realizar a montagem do conjunto, avaliando as interferências entre os componentes, e realizando uma avaliação de tolerâncias e ajustes, permitindo assim através do SolidWorks, realizar a análise do projeto mecânico da caixa de direção.

PALAVRAS-CHAVE: Caixa de direção. SolidWorks 2015. Software 3D. CAD. Desenho técnico.

ABSTRACT

This work, through a clear approach and simplified has the intention of analyzing and resizing a mechanical assembly. This work analyze adjustments and tolerances of the assembly, using a software CAD of mechanical design 3D, more properly SolidWorks 2015. They were made the modelling 3D of each component of a steering box, for soon afterwards to be possible to accomplish the assembly of the group, evaluating the interferences between the components, and accomplishing an evaluation of tolerances and adjustments, allowing like this through SolidWorks, accomplish the analysis of the mechanical project of the steering box.

KEYWORDS: Steering box. SolidWorks 2015. Software 3D. CAD. Mechanical design.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Caixa de direção com rolete e sem-fim.....	15
Figura 2 – Caixa de direção com rolete e sem fim – Vista explodida.....	15
Figura 3 – Caixa de direção com setor e sem-fim.....	16
Figura 4– Caixa de direção com pinhão e cremalheira	17
Figura 5- Caixa de direção com sem-fim e esferas recirculantes	18
Figura 6 – Tela inicial SolidWorks.....	19
Figura 7 – Ferramentas de Esboço 2D.....	20
Figura 8 – Ferramentas de Recurso 3D	20
Figura 9 – Ferramentas de Montagem.....	20
Figura 10 – Caixa de direção	21
Figura 11 – Carcaça.....	22
Figura 12 – Tampa da Carcaça.....	22
Figura 13 – Eixo Alavanca	23
Figura 14 – Parafuso Sem-fim.....	23
Figura 15 – Encosto.....	24
Figura 16 – Seguidor	24
Figura 17 – Mola, Pino e Tampa	24
Figura 18 – Vista frontal carcaça.....	25
Figura 19 – Esboço 1	26
Figura 20 – Ressalto-extrusão1	26
Figura 21 – Revolução1.....	27
Figura 22 – (a) Ressalto-extrusão2 (b) Corte-extrusão1 (c) Ressalto-extrusão3.....	27
Figura 23 – (a) Corte extrusão2 (b) Corte extrusão3 (c) Corte extrusão4.....	28
Figura 24 – (a) Corte extrusão5 (b) Ressalto extrusão4 (c) Ressalto extrusão6.....	28
Figura 25 – (a) Corte extrusão6 (b) Ressalto extrusão7 (c) Corte extrusão7	29
Figura 26 – Ressalto-extrusão8	29
Figura 27 – Corte-extrusão8	30
Figura 28 – Ressalto-extrusão9	30
Figura 29 – (a) Ressalto-extrusão10 (b) Ressalto-extrusão11	31
Figura 30– (a) Ressalto extrusão12 (b) Ressalto extrusão13 (c) Ressalto extrusão14.....	31
Figura 31 – (a) Ressalto extrusão12 (b) Ressalto extrusão13	31
Figura 32 – Filete1.....	32
Figura 33 – (a) Ressalto-extrusão 15 (b) Corte-extrusão12	32
Figura 34 – (a) Ressalto-extrusão 16 (b) Corte-extrusão13	32
Figura 35 – Corte-revolução3.....	33
Figura 36 – (a) Superfície-offset1 (b) Superfície-offset2.....	33
Figura 37 – (a) Superfície-offset3 (b) Superfície-offset4 (c) Superfície-offset5.....	34
Figura 38 – (a) Superfície-plano1 (b) Corpo-mover/copiar1 (c) Superfície-offset6	34
Figura 39 – (a) Comando ocultar (b) Superfície interna	35
Figura 40 – Superfície-aparar1	35
Figura 41 – (a) Superfície-aparar2 (b) Superfície-aparar3	36
Figura 42 – (a) Superfície-plano2 (b) Corpo-excluir/manter1 (c) Superfície-aparar4	36
Figura 43 – (a) Superfície-plano3 (b) Corpo-excluir/manter2 (c) Superfície-aparar5	37
Figura 44 – Superfície-estender1.....	37
Figura 45 – (a) Superfície-aparar6 (b) Superfície-aparar7	38
Figura 46 – Corpo-excluir/manter3	38
Figura 47 – (a) Superfície-Aparar8 (b) Superfície-Aparar9	38

Figura 48 – (a) Limites-superfície1 (b) Limites-superfície1-vista aproximada	39
Figura 49 – Superfície-costurar1	39
Figura 50 – Corte-extrusão14	40
Figura 51 – (a) Superfície-extrusão1 (b) Superfície-aparar10.....	40
Figura 52 – (a) Corpo-excluir/manter4 (b) Excluir-face1	41
Figura 53 – (a) Superfície-plano6 (b) Esboço 3D	41
Figura 54 – (a) Superfície-loft1 (b) Superfície-loft2 (c) Superfície-loft3	42
Figura 55 – (a) Superfície-loft4 (b) Superfície-loft5 (c) Superfície-loft6	42
Figura 56 – (a) Superfície-preenchimento1 (b) Superfície-preenchimento2.....	43
Figura 57 – (a) Superfície-loft10 (b) Superfície-loft11	43
Figura 58 – (a) Superfície-costurar2 (b) Sólido interno	44
Figura 59 – Combinar1	44
Figura 60 – Superfície-offset7	45
Figura 61 – (a) Limites-superfície2 (b) Limites-superfície3 (c) Superfície-preenchimento3 ..	45
Figura 62 – (a) Superfície-preenchimento4 (b) Superfície-costurar3	46
Figura 63 – (a) Limites-superfície4 (b) Limites-superfície5	46
Figura 64 – (a) Superfície-costurar (b) Dividir1	47
Figura 65 – Recurso Limite-superfície.....	47
Figura 66 – Corte-extrusão15	48
Figura 67 – Filete2.....	48
Figura 68 – Revolução1	49
Figura 69 – Corte-extrusão1	49
Figura 70 – Linha de divisão	50
Figura 71 – Corte-extrusão2	50
Figura 72 – Padrão-circular1	50
Figura 73 – Varredura de corte1	51
Figura 74 – Parafuso Sem-Fim.....	51
Figura 75 – Eixo Alavanca	52
Figura 76 – Seguidor	52
Figura 77 – Tampa maior	53
Figura 78 – Encosto.....	53
Figura 79 – Tampa menor	54
Figura 80 – Mola	54
Figura 81 – Pino	55
Figura 82 – Retentor Ø40 X Ø27 X 7	55
Figura 83 – Retentor Ø27 X Ø14 X 7	56
Figura 84 – Rolamento	56
Figura 85 – Porca sextavada.....	57
Figura 86 – Bujão	57
Figura 87 – Arruela	57
Figura 88 – Parafuso de fixação	58
Figura 89 – Parafuso prisioneiro	58
Figura 90 – Inserir componente.....	59
Figura 91 – Concêntrico1	59
Figura 92 – Coincidente1	60
Figura 93 – Concêntrico2	60
Figura 94 – Concêntrico3	61
Figura 95 – (a) Concêntrico4 (b) Concêntrico5.....	61
Figura 96 – (a) Coincidente4 (b) Coincidente5	62
Figura 97 – (a) Coincidente6 (b) Distância1	62

Figura 98 – Paralelo1.....	63
Figura 99 – (a) Concêntrico6 (b) Paralelo3.....	63
Figura 100 – (a) Concêntrico7 (b) Paralelo4.....	64
Figura 101 – Bloquear1.....	64
Figura 102 – Distância2.....	65
Figura 103 – Paralelo8.....	65
Figura 104 – (a) Coincidente7 (b) Concêntrico8.....	66
Figura 105 – (a) Concêntrico9 (b) Coincidente8.....	66
Figura 106 – (a) Concêntrico10 (b) Paralelo10.....	67
Figura 107 – Coincidente10.....	67
Figura 108 – (a) Concêntrico11 (b) Coincidente11.....	68
Figura 109 – (a) Concêntrico12 (b) Coincidente13.....	68
Figura 110 – (a) Concêntrico13 (b) Coincidente14.....	69
Figura 111 – (a) Concêntrico14 (b) Coincidente15.....	69
Figura 112 – (a) Concêntrico15 (b) Coincidente16.....	70
Figura 113 – Arruelas posicionadas.....	70
Figura 114 – (a) Concêntrico21 (b) Coincidente20.....	71
Figura 115 – Parafusos posicionados.....	71
Figura 116 – (a) Concêntrico25 (b) Coincidente24.....	72
Figura 117 – (a) Concêntrico27 (b) Coincidente25.....	72
Figura 118 – (a) Concêntrico31 (b) Coincidente27.....	73
Figura 119 – (a) Concêntrico32 (b) Coincidente28.....	73
Figura 120 – (a) Vista Montagem 1 (b) Vista Montagem 2.....	74
Figura 121 – Vista Montagem 3.....	74
Figura 122 – Vista explodida.....	75
Figura 123 – Análise de Interferências.....	76
Figura 124 – Representação ISO.....	77
Figura 125 – Campo de Tolerância.....	77
Figura 126 – Qualidade de Trabalho.....	78
Figura 127 – Sistemas de Ajustes.....	79
Figura 128 – Representação de Tolerância.....	86
Figura 129 – Recorte Eixo Alavanca.....	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Lista de materiais e dimensões	21
Tabela 2 – Ajuste usualmente utilizados	80
Tabela 3 – Carga radial e ajuste de rolamento.....	82
Tabela 4 – Ajuste de eixos para rolamentos radiais	83
Tabela 5 – Ajuste de alojamentos usados para rolamentos radiais.....	83
Tabela 6 – Tolerância Furo 1	84
Tabela 7 – Tolerância Furo 2.....	84
Tabela 8 – Tolerância Eixo 1	85
Tabela 9 – Tolerância Eixo 2.....	85

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	13
1.2	OBJETIVOS	13
1.3	MOTIVAÇÃO	13
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1	TIPOS DE CAIXA DE DIREÇÃO	15
2.2	PRINCIPAIS COMPONENTES DA CAIXA DE DIREÇÃO	18
2.3	SOLIDWORKS 2015	19
2.4	DADOS DO COMPUTADOR UTILIZADO	20
3	DESENVOLVIMENTO.....	20
3.1	DADOS CAIXA DE DIREÇÃO	20
3.2	DESENHO TÉCNICO DOS COMPONENTES	22
4	RESULTADOS OBTIDOS	25
4.1	MODELAGEM DOS COMPONENTES	25
4.1.1	Carcça	25
4.1.2	Parafuso Sem-Fim	49
4.1.3	Eixo Alavanca	51
4.1.4	Seguidor	52
4.1.5	Tampa Maior	52
4.1.6	Encosto	53
4.1.7	Tampa Menor	54
4.1.8	Mola	54
4.1.9	Pino	55
4.1.10	Retentor Ø40 X Ø27 X 7	55
4.1.11	Retentor Ø27 X Ø14 X 7	55
4.1.12	Rolamento	56
4.1.13	Porca Sextavada	56
4.1.14	Bujão	57
4.1.15	Arruela	57
4.1.16	Parafuso de Fixação	58
4.1.17	Parafuso Prisoneiro	58
4.2	MONTAGEM DOS COMPONENTES	58
4.3	INTERFÊRENCIA NA MONTAGEM	76
5	TOLERÂNCIA NA MONTAGEM	77
6	CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	87
	REFERÊNCIAS.....	89
	APÊNDICE A – MONTAGEM DA CAIXA DE DIREÇÃO	91
	APÊNDICE B – CARÇA (MEDIDAS COM TOLERÂNCIA).....	92
	APÊNDICE C – EIXO ALAVANCA (MEDIDAS COM TOLERÂNCIA)	93
	APÊNDICE D – PARAFUSO SEM-FIM (MEDIDAS COM TOLERÂNCIA)	94

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Weinfurter (2003) afirma que com o crescimento dos recursos para computação gráfica, principalmente para a área de modelagem de sólidos, as empresas estão cada vez mais investindo nesse setor para se tornarem competitivas.

Segundo Weinfurter (2003) a modelagem geométrica consiste em um conjunto de métodos que visam descrever a forma e as características geométricas de um objeto. Ela provê uma descrição ou modelo muito mais analítico, matemático e abstrato que o real, nela você cria um modelo porque ele é mais conveniente e econômico que o processo ou objeto real, sendo possível através desse modelo analisá-lo e testá-lo com muito mais facilidade e praticidade.

Nesse sentido o SolidWorks é uma ferramenta de desenho tridimensional paramétrica, que nos permite criar os mais diversos tipos de peças, conjuntos e desenho em diversas áreas de aplicação.

Como base desse estudo foi escolhida para ser modelada, uma caixa de direção, que pode ser definida como um mecanismo que transforma o movimento rotativo do volante em movimento retilíneo, que é aproveitado para fazer realizar o movimento das rodas em torno de um eixo.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho tem o intuito de demonstrar de forma clara e didática com a utilização do SolidWorks, a modelagem 3D de componentes de uma caixa de direção, a montagem dos componentes da mesma, avaliando as interferências na montagem e tolerância geométricas. Tendo como segundo objetivo demonstrar a importância dos softwares de modelagem 3D como ferramenta de engenharia, desenvolvimento tecnológico e no auxílio aos cursos de engenharia.

1.3 MOTIVAÇÃO

A utilização de softwares CAD para desenhos técnicos mecânicos é uma ferramenta cada vez mais utilizada, portanto um aprofundamento dos conhecimentos sobre esse tipo de

ferramenta é uma maneira não somente de aprimorar a estrutura curricular como também de estar preparado para as inovações do mercado de trabalho, a partir disso, me foi proposto pelo meu professor orientador, desenvolver utilizando o software SolidWorks um projeto de uma caixa de direção, realizando os desenhos 3D de cada componente, realizar a montagem dos mesmos, avaliar as interferências entre os componentes e as tolerâncias geométricas. A caixa de direção foi retirada do livro *Provenza, Desenhista de Máquinas*. A partir desse trabalho foi possível me ambientar ao software e desenvolver minhas habilidades nessa importante ferramenta computacional.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho tem como tema a modelagem 3D de uma caixa de direção, sua montagem e por consequente a avaliação de interferências e análise das tolerâncias utilizadas, sendo o trabalho composto por cinco capítulos:

No capítulo 1, Introdução, são apresentados os motivos para realização do trabalho, assim como seus objetivos e motivações.

No capítulo 2, Fundamentação teórica, é realizada uma descrição dos tipos de caixa de direção e seu funcionamento. Apresentando o software utilizado na modelagem.

No capítulo 3, Desenvolvimento, é apresentada a caixa de direção utilizada na modelagem, seus componentes e materiais e os desenhos técnicos utilizados como base para modelagem dos mesmos.

No capítulo 4, Resultados obtidos, são apresentadas as modelagens em 3D das peças que compõe a caixa de direção e o passo a passo para a realização da montagem do conjunto mecânico, as ferramentas utilizadas nesse processo e dificuldades encontradas. Sendo realizada ao final uma avaliação de interferência.

No capítulo 5, Tolerância na montagem, é realizada uma análise das tolerâncias e ajustes usados no montagem do conjunto.

No capítulo 6, Conclusão e sugestões para trabalhos futuros, são expostos os objetivos alcançados na realização deste trabalho e os conhecimentos adquiridos e são propostos outros estudos que acrescentariam muito nos conhecimentos já adquiridos nesse trabalho.

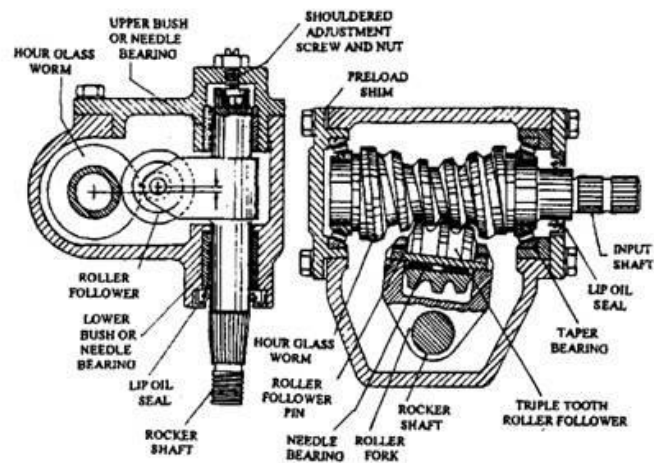
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 TIPOS DE CAIXA DE DIREÇÃO

Caixa de direção com rolete e sem-fim

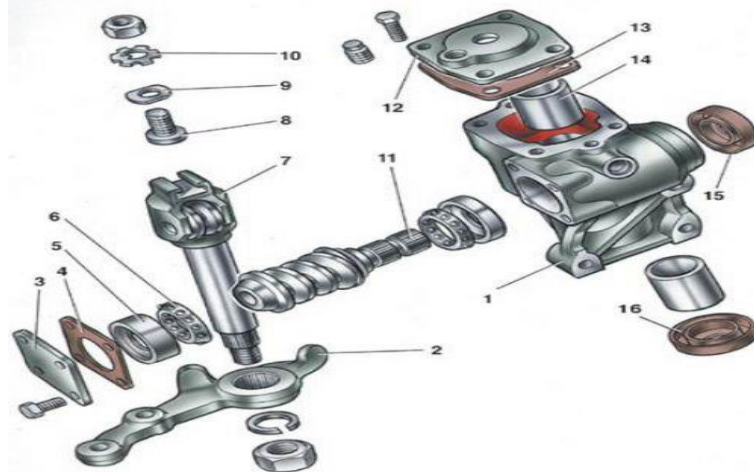
Segundo Fernandes (2005) o sistema é composto de um eixo de entrada onde é acoplado o volante, que possui um sem-fim sendo ele engrenado no rolete acoplado ao eixo de saída. Dessa maneira com a rotação do sem-fim ocorre o deslocamento angular do eixo de saída no qual é acoplado o braço de direção (“Pitman”).

Figura 1 – Caixa de direção com rolete e sem-fim



Fonte: (what-when-how.com/automobile/steering-components-automobile)

Figura 2 – Caixa de direção com rolete e sem fim – Vista explodida

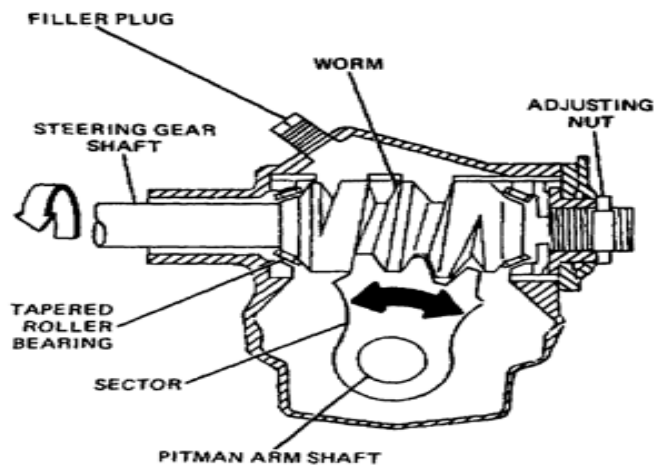


Fonte: (<http://www.sarancar.com.br/detalhes.asp?cod=2116>)

Caixa de direção com setor e sem-fim

Segundo Cruz (2006) a caixa de direção setor/sem-fim é um dos sistemas mais antigos, composto basicamente de um eixo setor engrenado em uma rosca sem-fim. Ao gira-se o volante gira-se o eixo composto pela rosca sem-fim acionando o eixo setor que transmite através do conjunto braço “Pittman” o movimento de empurrar e puxar ao braço de direção promovendo o direcionamento das rodas. Esse sistema era muito utilizado para veículos leves e médios.

Figura 3 – Caixa de direção com setor e sem-fim

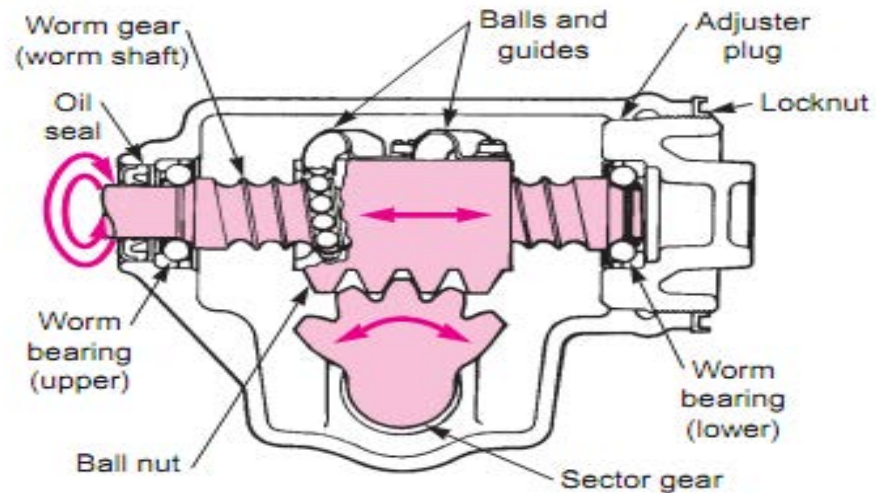


Fonte: (Imperial Club)

Caixa de direção com pinhão e cremalheira

Este tipo de caixa de direção é constituído por um pinhão solidário a árvore de direção e por uma cremalheira, isto é, uma haste retilínea dentada que faz parte da barra de direção e que se engrena com o pinhão. Segundo Fernandes (2005) a movimentação de rotação do volante que transmite o movimento ao pinhão que é transformado em movimento de translação da cremalheira. A característica dessa caixa de direção é a redução do torque necessário para girar as rodas do veículo.

Figura 5- Caixa de direção com sem-fim e esferas recirculantes



Fonte: (Steering Systems - Goodheart-Willcox)

2.2 PRINCIPAIS COMPONENTES DA CAIXA DE DIREÇÃO

Apresentam-se aqui os principais componentes necessários para montagem da caixa de direção, exemplificando suas funções.

Carcaça

É uma peça onde são montados os elementos da caixa de direção em banho de óleo ou graxa, sendo fabricada em aço ou alumínio.

Parafuso sem-fim

Transmite o movimento rotativo que vem desde volante passando pela árvore de direção para o seguidor-rolete.

Seguidor rolete

Tem a função de transmitir os movimentos rotativos do sem-fim ao eixo alavanca.

Eixo Alavanca

O eixo alavanca que é acoplado ao seguidor transmite o movimento ao braço de direção.

Tampa

Acopla os dispositivos de regulação do seguidor de direção.

Arruelas

Uma arruela é um disco fino com um furo, geralmente no meio. Ela é utilizada normalmente para suportar a carga de um parafuso.

Parafusos de fixação

Fixam a tampa à carcaça.

Dispositivo de regulagem

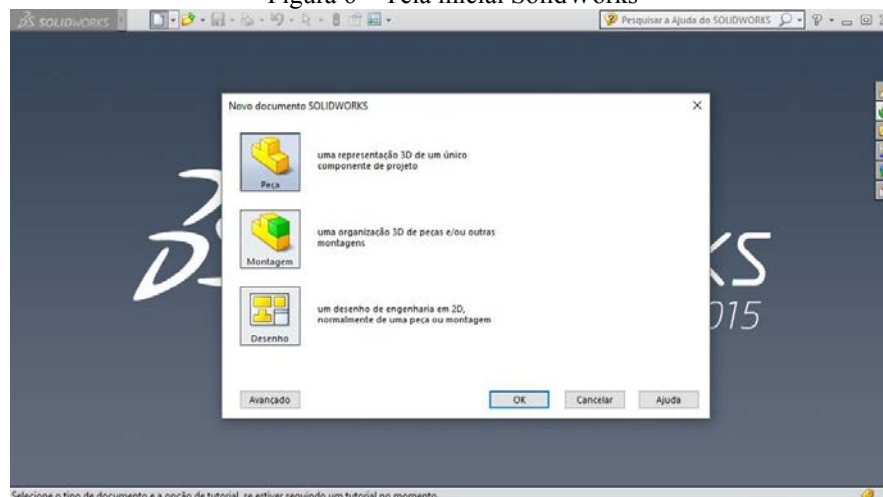
Consiste do pino e da mola, que possuem a função se regular e corrigir a folga entre o seguidor e o sem-fim, através de regulagem manual.

2.3 SOLIDWORKS 2015

Segundo Souza (2001) o SolidWorks é um software de CAD, que modela peças em 3D parametricamente. Permitindo a partir do modelo 3D a montagem de conjuntos, dispositivos mecânicos e gerar as vistas ortográficas automaticamente. Possuindo três ambientes gráficos distintos: o ambiente part (ambiente de modelagem), o ambiente drawing (ambiente de representação bidimensional) e o ambiente assembly (ambiente de montagem).

Ao executar o SolidWorks, inicialmente é exibida a tela inicial, após isso seleciona-se novo documento conforme a figura 6, então são exibidos os três tipos de ambientes gráficos que podem ser trabalhados.

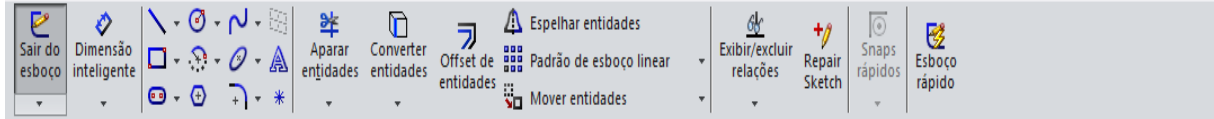
Figura 6 – Tela inicial SolidWorks



Fonte: (Autor, 2016)

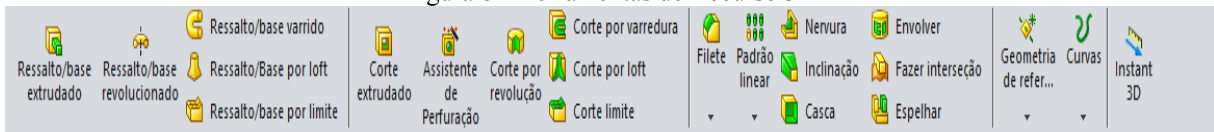
Dentro dos ambientes gráficos do SolidWorks existem muitas opções de edição de esboços 2D e de recursos 3D para geração de sólidos como podem ser visualizados nas abas das figuras 7 e 8 respectivamente e na montagem dos componentes (figura 9).

Figura 7 – Ferramentas de Esboço 2D



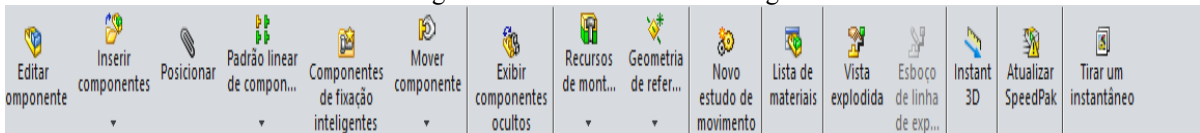
Fonte: (Autor, 2016)

Figura 8 – Ferramentas de Recurso 3D



Fonte: (Autor, 2016)

Figura 9 – Ferramentas de Montagem



Fonte: (Autor, 2016)

2.4 DADOS DO COMPUTADOR UTILIZADO

O SolidWorks 2015 foi instalado e utilizado no computador com as seguintes configurações:

Processador: Intel® Core (TM) i3 CPU M330; CPU 2.13GHz

Memória RAM: 4.0 GB

Placa de vídeo: NVIDIA® GeForce® G105M 512MB DDR3

Sistema Operacional: Windows 10 Pro - 64 Bit

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 DADOS CAIXA DE DIREÇÃO

A caixa de direção foi obtida no livro Desenhista de Máquinas de Francesco Provenza; Hiran R. de Souza Hiran Rodrigues de 1976, 2ª edição; na página 7 - 125 e 7 – 126.

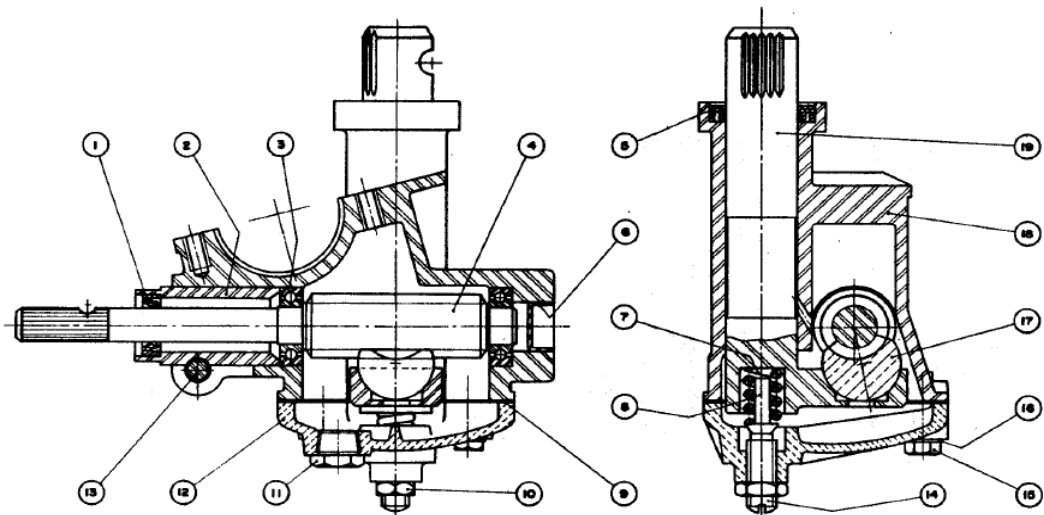
A tabela abaixo contém a lista de peças da caixa de direção com os respectivos materiais:

Tabela 1 – Lista de materiais e dimensões

ITEM	DENOMINAÇÃO	QTD	MATERIAL / DIMENSÕES
1	RETENTOR	1	Ø27 x Ø14 x 7
2	ENCOSTO	1	AÇO NB 1020
3	ROLAMENTO	2	SKF 6002
4	PARAFUSO	1	AÇO NB 5140
5	RETENTOR	1	Ø40 X Ø27 X 7
6	TAMPA	1	AÇO NB 1010 USSG #14
7	MOLA	1	AÇO SAE 9260
8	PINO	1	AÇO NB 1030
9	GUARNIÇÃO	1	PAPEL
10	PORCA SEXTAVADA	1	M12
11	BUJÃO	1	Ø5/8" GÁS
12	TAMPA	1	LIGA ZAMAC
13	PARAFUSO ; PORCA e CHAP.	1	M8 X 50
14	PARAFUSO PRISIONEIRO	1	M12 X 32
15	PARAFUSO CABEÇA SEXTAVADA	4	M6 X 28
16	ARRUELA	4	Ø6,5
17	SEGUIDOR	1	BRONZE SAE 430-E
18	CARCAÇA	1	AÇO NB 3525 AF
19	EIXO ALAVANCA	1	AÇO NB 6020 AF

Apresenta-se na figura abaixo o desenho da montagem dos componentes da caixa de direção.

Figura 10 – Caixa de direção

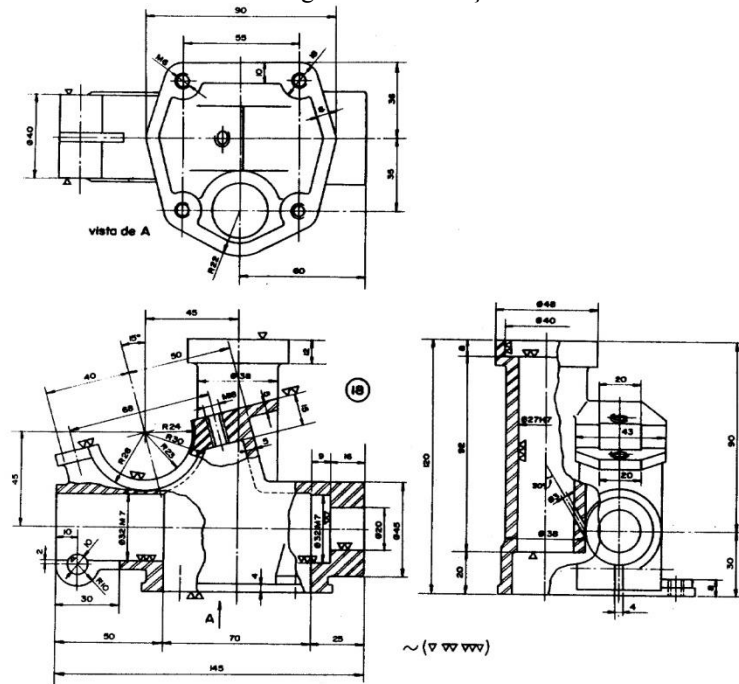


Fonte: (Provenza, 1976)

3.2 DESENHO TÉCNICO DOS COMPONENTES

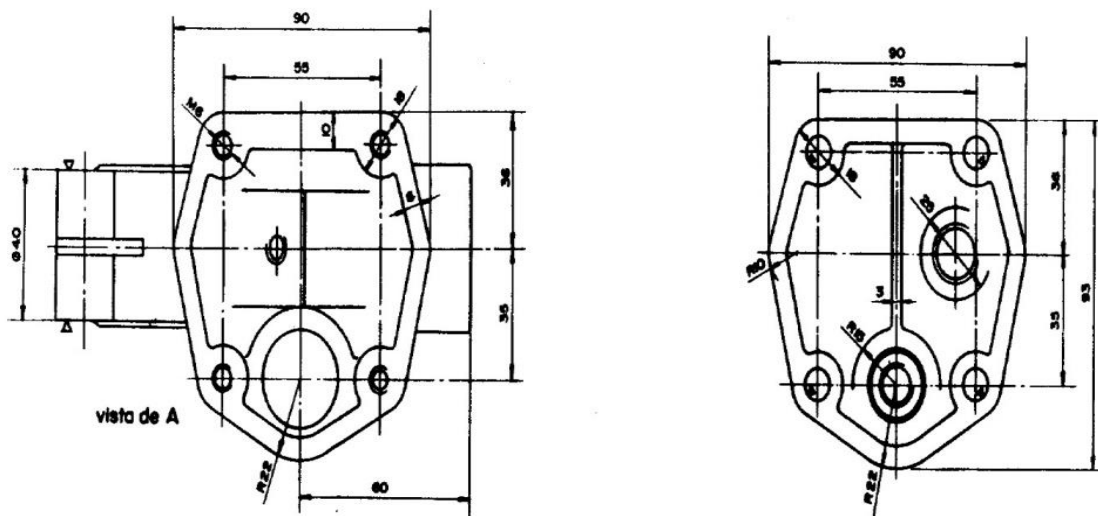
Em um primeiro momento apresentam-se os desenhos técnicos originais utilizados para realizar o modelamento da caixa de direção, para fins práticos foram necessárias certas modificações na carcaça, tornando a modelagem mais prática.

Figura 11 – Carcaça



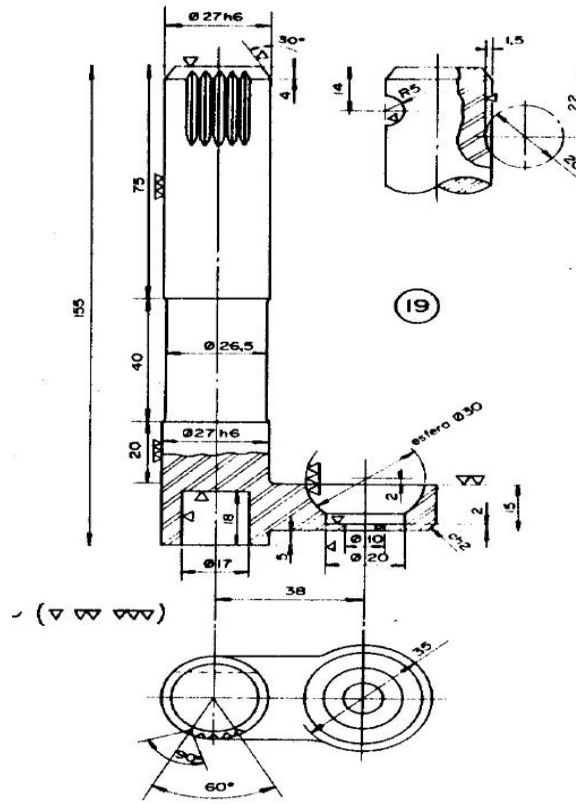
Fonte: (Provenza, 1976)

Figura 12 – Tampa da Carcaça



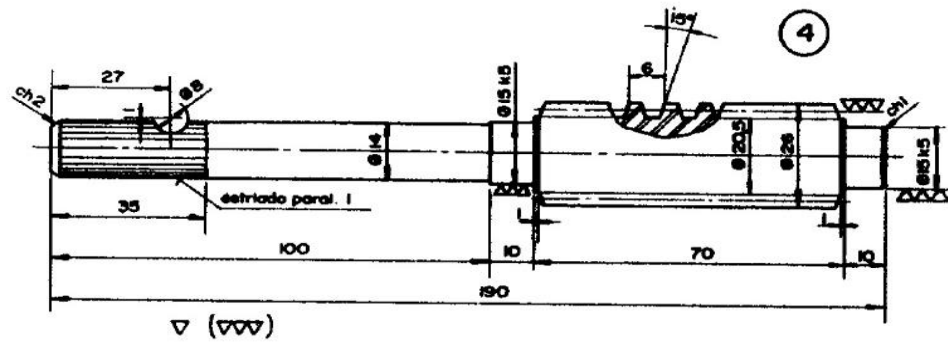
Fonte: (Provenza, 1976)

Figura 13 – Eixo Alavanca



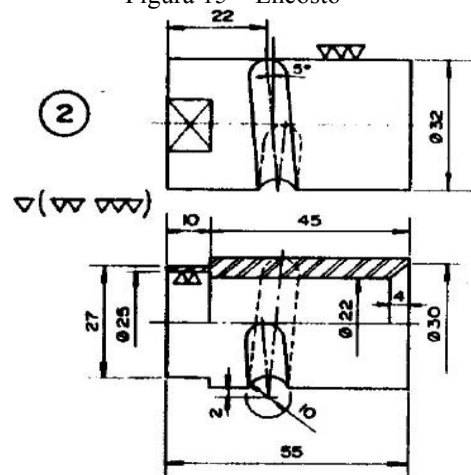
Fonte: (Provenza, 1976)

Figura 14 – Parafuso Sem-fim



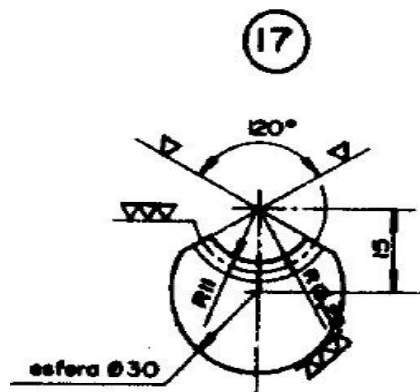
Fonte: (Provenza, 1976)

Figura 15 – Encosto



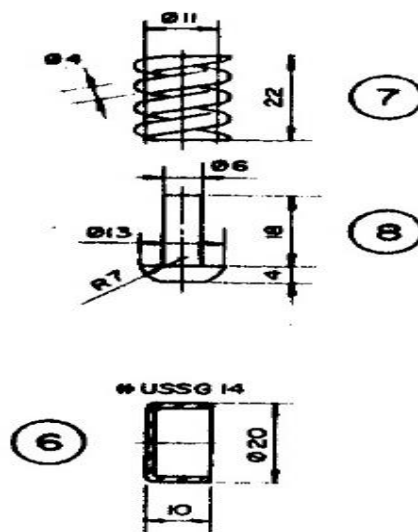
Fonte: (Provenza, 1976)

Figura 16 – Seguidor



Fonte: (Provenza, 1976)

Figura 17 – Mola, Pino e Tampa



Fonte: (Provenza, 1976)

4 RESULTADOS OBTIDOS

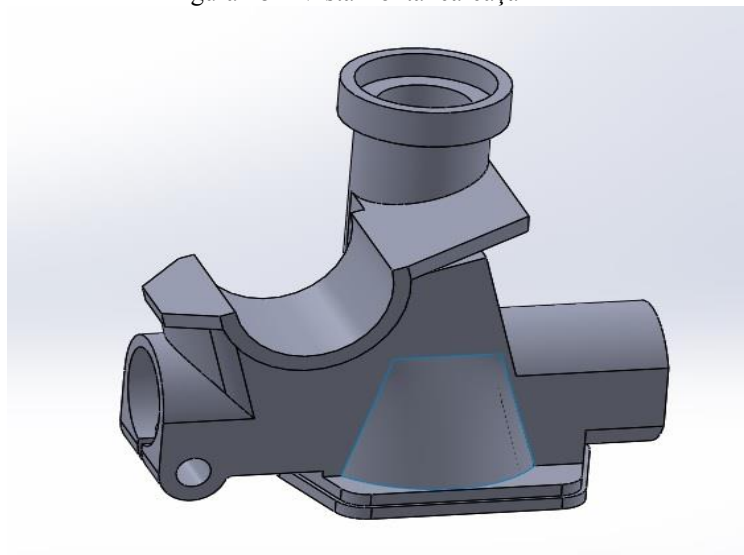
Neste capítulo serão abordados de maneira tutorial a modelagem geométrica dos componentes da caixa de direção sendo abordados os principais recursos necessários para a modelagem, técnicas utilizadas na modelagem e os comandos básicos de construção e edição. Os tópicos serão abordados para dar uma noção básica sobre a modelagem geométrica e como é feita a avaliação de interferências.

4.1 MODELAGEM DOS COMPONENTES

4.1.1 Carcaça

Faremos uma análise mais detalhada da carcaça por ser o componente com o maior grau de dificuldade na modelagem da caixa de direção, além de ser a referência para a montagem do conjunto, nela pode-se obter um conhecimento mais abrangente nas ferramentas e técnicas utilizadas na modelagem 3D no SolidWorks. A partir do desenho técnico da carcaça (Figura 11), foi possível gerar o modelo 3D.

Figura 18 – Vista frontal carcaça

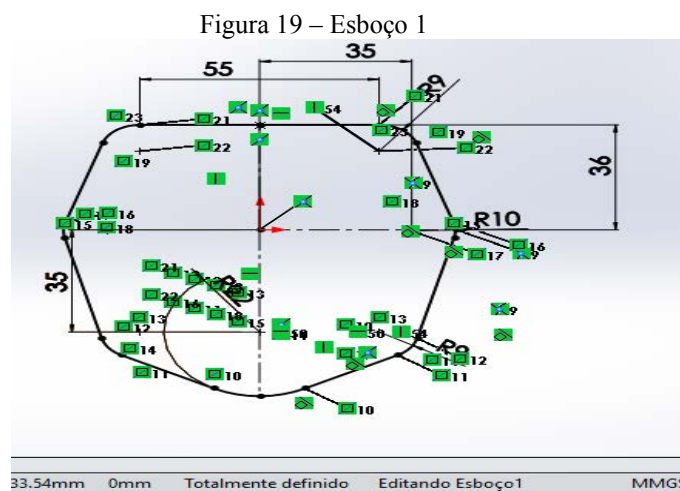


Fonte: (Autor, 2016)

Ao começar a modelagem de uma peça com tamanha complexidade, é necessário definir por onde começar e uma sequência lógica de etapas para não se tornar redundante e precisar refazer recursos, deste modo foram executadas inicialmente etapas para delimitar por completo a superfície externa da carcaça.

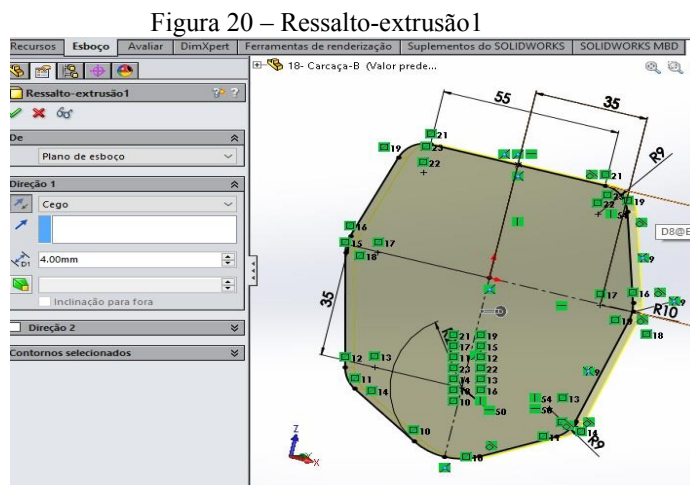
Para iniciar a modelagem de uma peça o primeiro passo para a criação de um sólido ou superfície é a criação do rascunho 2D, primeiramente deve-se clicar em esboço (Figura 7), em seguida na origem e selecionar o plano que será utilizado.

No primeiro rascunho, utilizam-se as dimensões do desenho técnico e as ferramentas de relação: como relações de simetria, igualdade, tangência, linhas verticais e horizontais e pontos coincidentes, para definir totalmente o esboço. Quando o esboço é totalmente definido as linhas mudam para cor preta e na aba inferior exibe-se o status totalmente definido, dessa maneira conclui-se que foram adicionadas todas as medidas para a definição do esboço.



Fonte: (Autor, 2016)

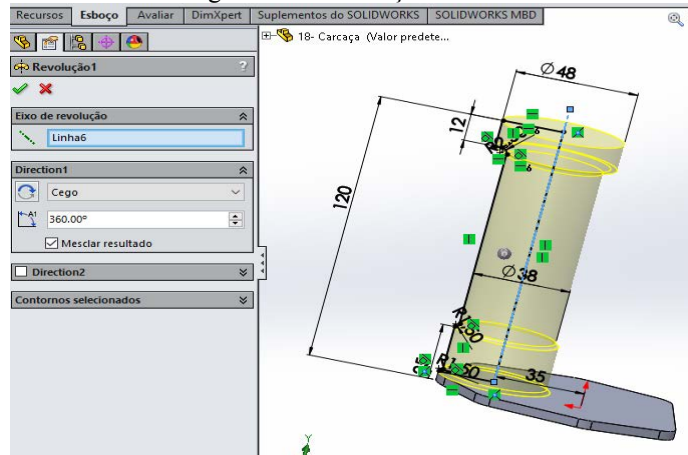
O próximo passo após a criação do esboço é geração do sólido, deve-se ir na aba recurso e selecionar o comando ressalto-extrusão, após isso define-se a direção onde deve ser executado o recurso e a distância. Foi realizado um ressalto-extrusão de 4,00 mm com a direção definida como cego, gerando o sólido da figura 20.



Fonte: (Autor, 2016)

Em seguida baseado no desenho técnico utilizamos o recurso de revolução, nele é selecionada a linha que servirá como eixo de revolução, e o ângulo de revolução no valor de 360 graus.

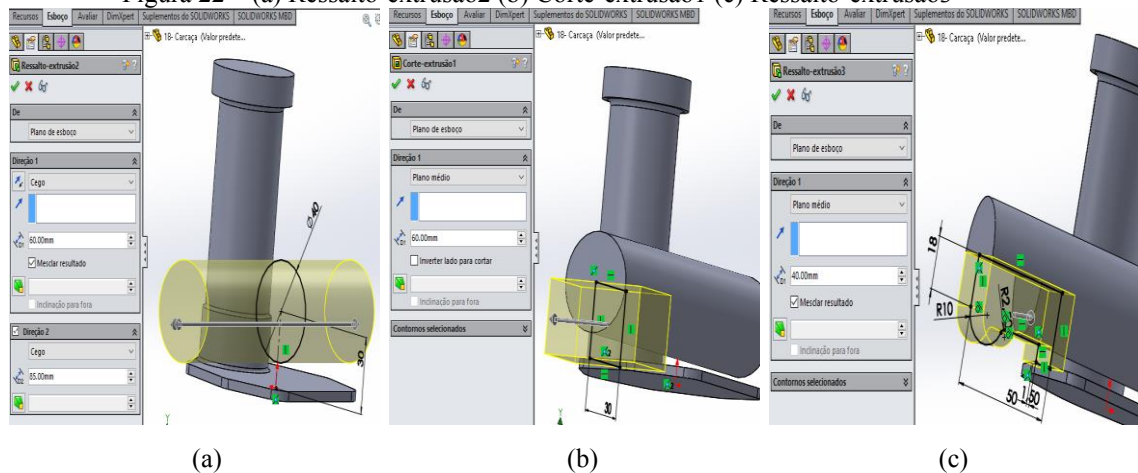
Figura 21 – Revolução1



Fonte: (Autor, 2016)

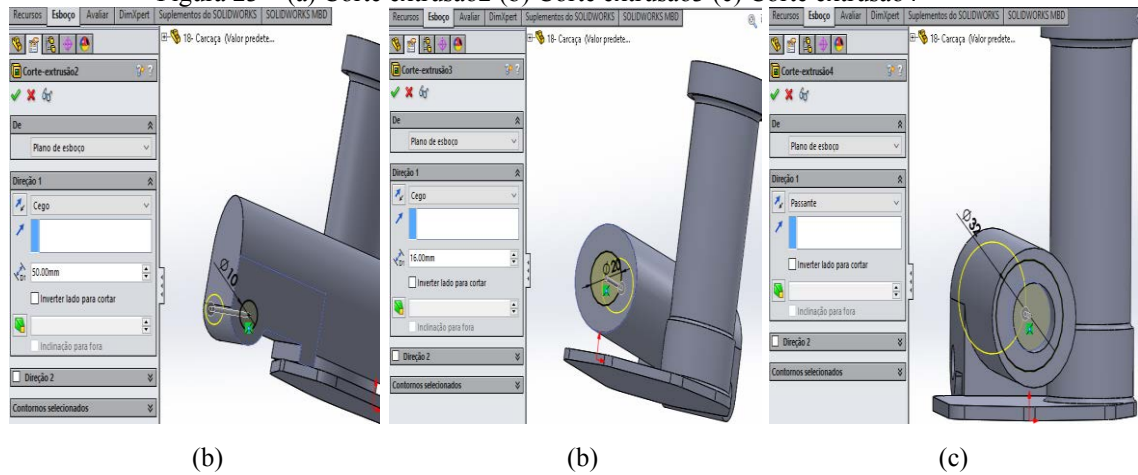
Nos esboços seguintes das figuras 22, 23 e 24, são realizados os recursos de ressalto-extrusão e corte-extrusão, os sólidos são gerados de uma maneira bem análoga ao sólido gerado na figura 20, definindo-se a direção e a distância. Recursos esses que são executados com o objetivo de gerar a superfície exterior da carcaça.

Figura 22 – (a) Ressalto-extrusão2 (b) Corte-extrusão1 (c) Ressalto-extrusão3



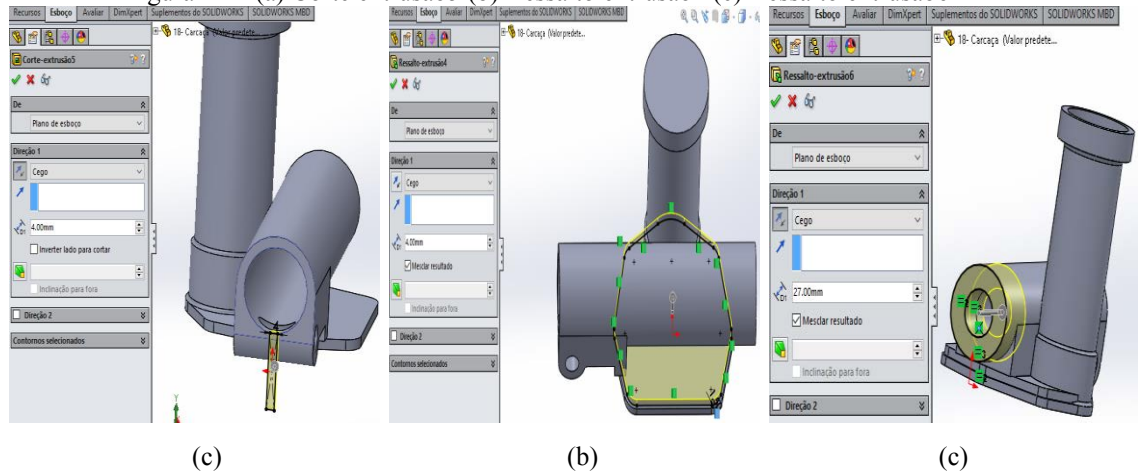
Fonte: (Autor, 2016)

Figura 23 – (a) Corte extrusão2 (b) Corte extrusão3 (c) Corte extrusão4



Fonte: (Autor, 2016)

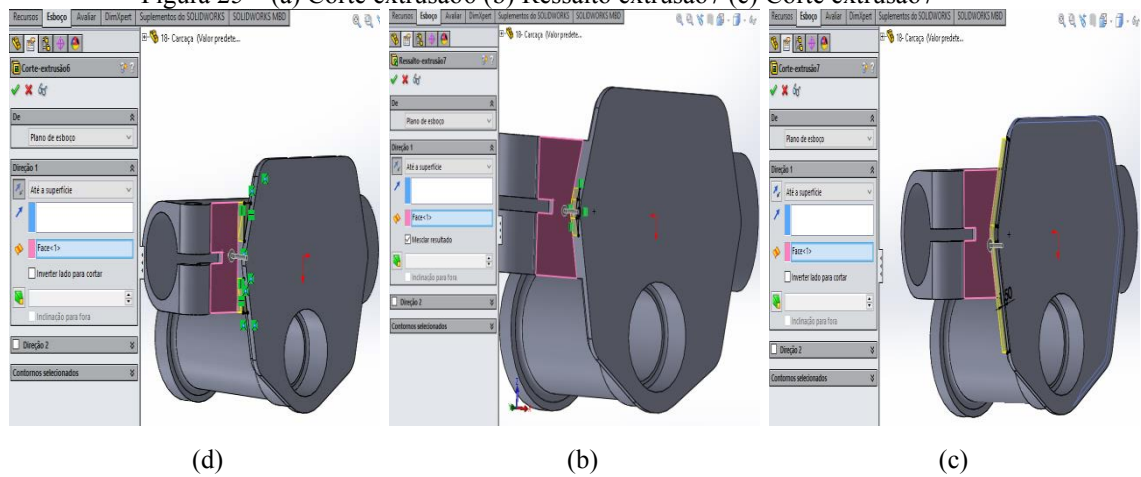
Figura 24 – (a) Corte extrusão5 (b) Ressalto extrusão4 (c) Ressalto extrusão6



Fonte: (Autor, 2016)

Em seguida são feitos novamente os cortes e ressaltos, porém definindo a direção até a superfície selecionada, outra forma de definir o recurso utilizado, como pode ser visualizada na figura 25.

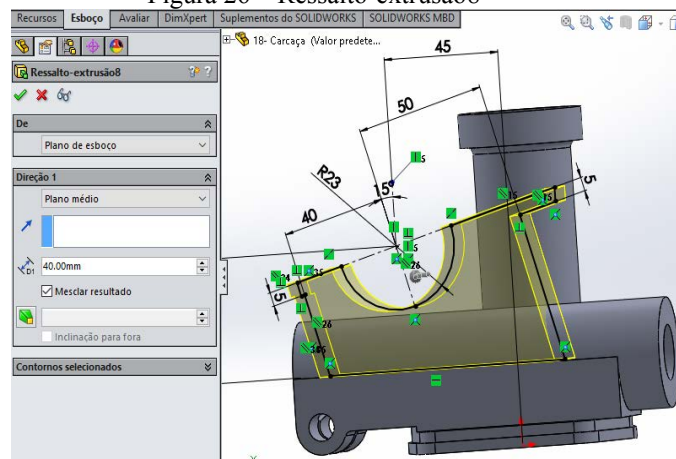
Figura 25 – (a) Corte extrusão6 (b) Ressalto extrusão7 (c) Corte extrusão7



Fonte: (Autor, 2016)

É então realizado um ressalto-extrusão a partir do esboço da carcaça na figura 11.

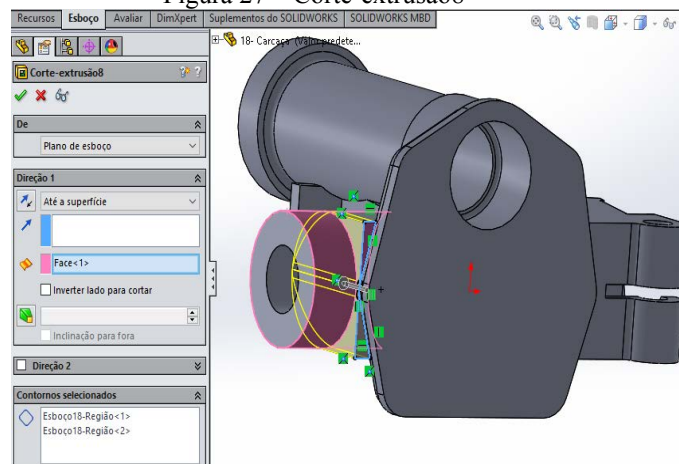
Figura 26 – Ressalto-extrusão8



Fonte: (Autor, 2016)

No recurso da figura 27 é novamente feito corte até a superfície selecionada, porém além da definição da direção e distância é necessário selecionar os contornos a serem recortados.

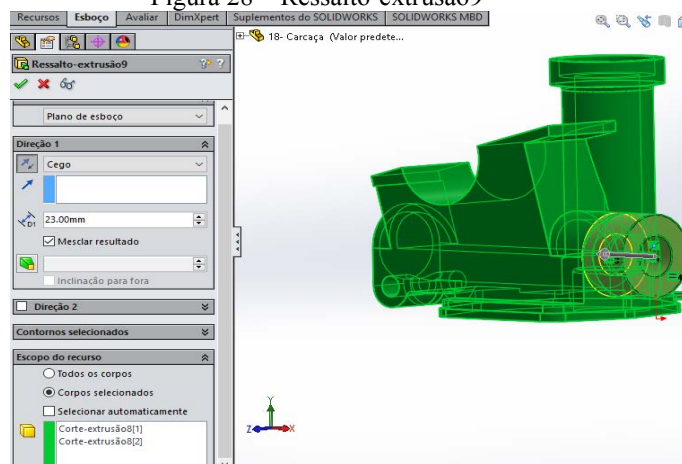
Figura 27 – Corte-extrusão8



Fonte: (Autor, 2016)

Na sequência é feito um ressalto extrusão para o interior do corpo já existente, por isso é necessário definir o escopo do recurso, selecionando os corpos onde será aplicado o recurso.

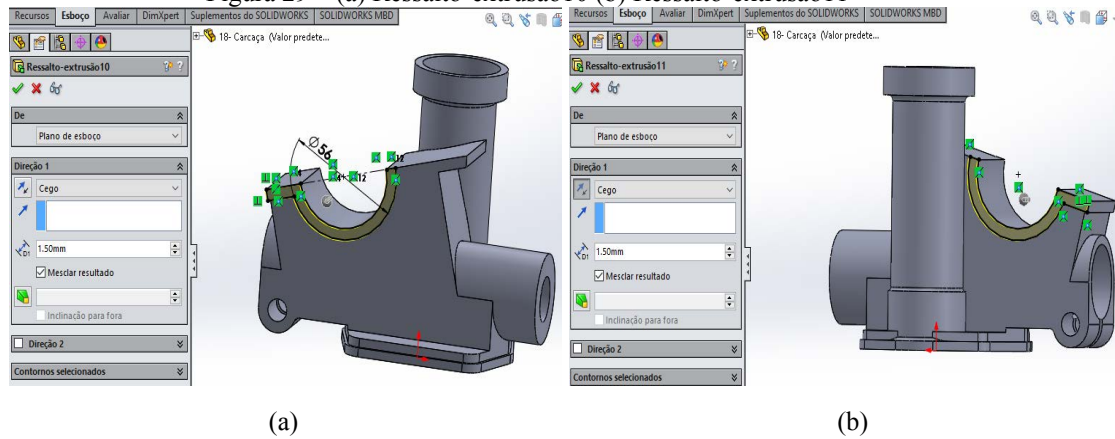
Figura 28 – Ressalto-extrusão9



Fonte: (Autor, 2016)

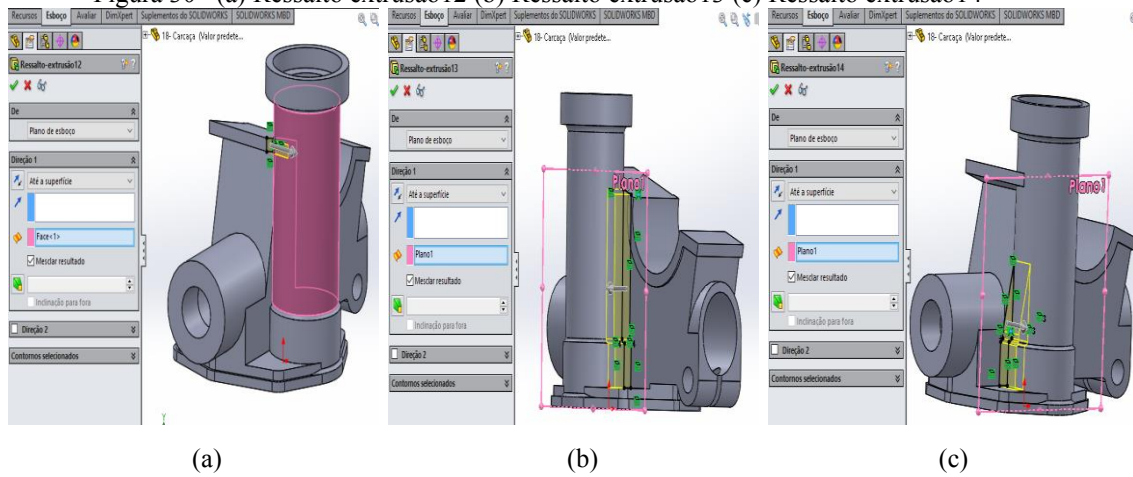
Nos recursos exibidos nas figuras 29, 30 e 31 são executados comandos de ressalto análogos a recursos previamente explicados, mostram-se passo a passo a etapas para a execução e acabamento da carcaça.

Figura 29 – (a) Ressalto-extrusão10 (b) Ressalto-extrusão11



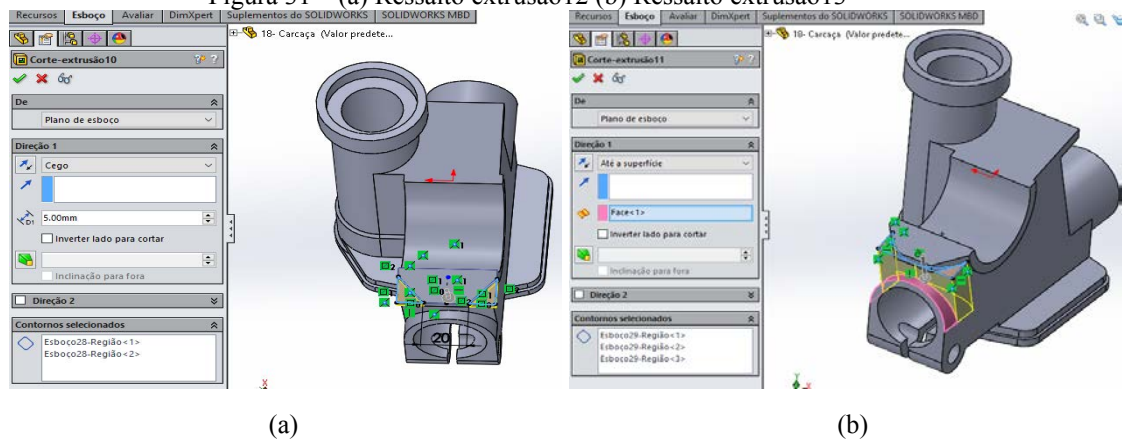
Fonte: (Autor, 2016)

Figura 30– (a) Ressalto extrusão12 (b) Ressalto extrusão13 (c) Ressalto extrusão14



Fonte: (Autor, 2016)

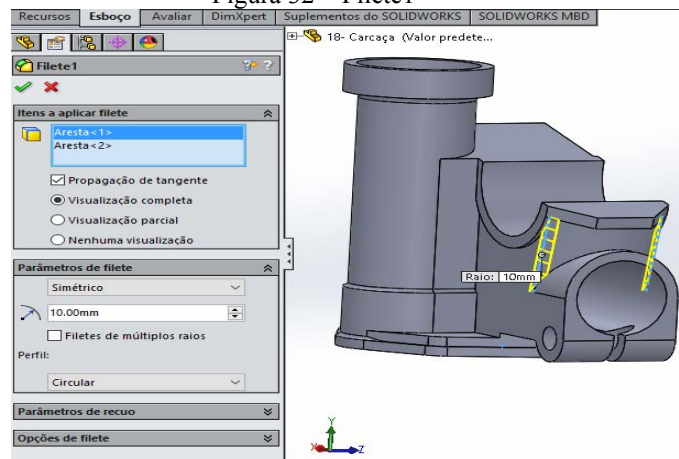
Figura 31 – (a) Ressalto extrusão12 (b) Ressalto extrusão13



Fonte: (Autor, 2016)

Para realizar um melhor acabamento da peça é utilizado o recurso de filete, no qual são selecionadas as arestas onde vão ser aplicados os filetes e determinado o raio do filete.

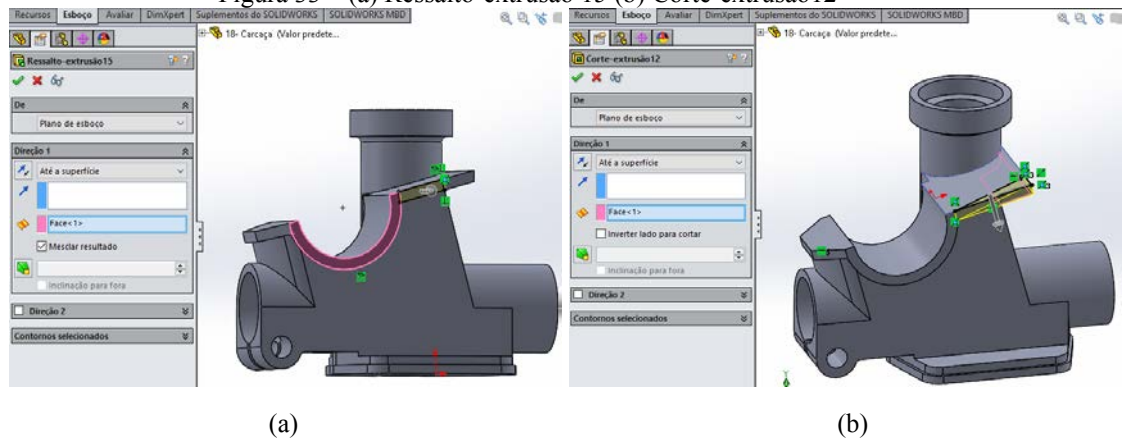
Figura 32 – Filete1



Fonte: (Autor, 2016)

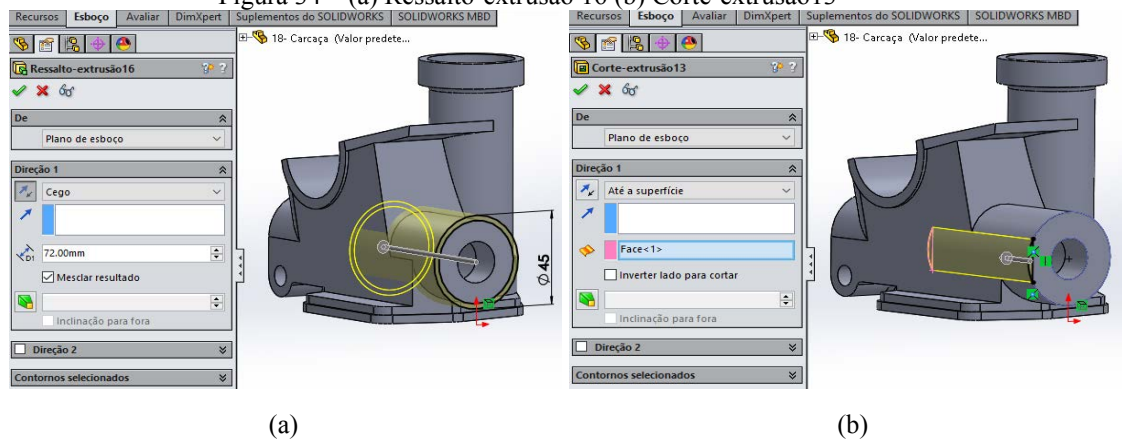
Na sequência são feitos recursos de ressalto e corte para acabamento da superfície da carcaça, e dessa forma atingir as dimensões do desenho técnico da exterior da carcaça.

Figura 33 – (a) Ressalto-extrusão 15 (b) Corte-extrusão12



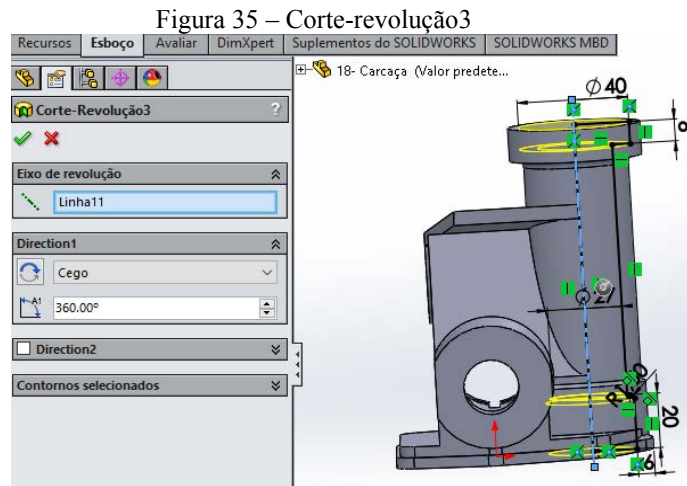
Fonte: (Autor, 2016)

Figura 34 – (a) Ressalto-extrusão 16 (b) Corte-extrusão13



Fonte: (Autor, 2016)

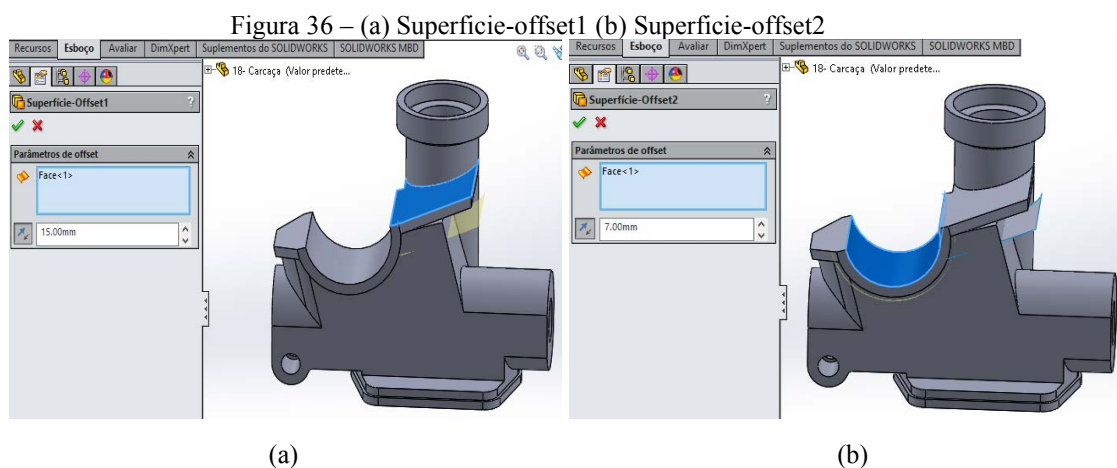
Como próximo recurso, é efetuado um corte revolução, que é muito similar ao recurso de revolução sendo definidos os mesmos parâmetros, porém ao invés de gerar um sólido, é feito um recorte, sendo recortado o interior da carcaça, na posição onde será alojado o eixo alavanca e retentor.



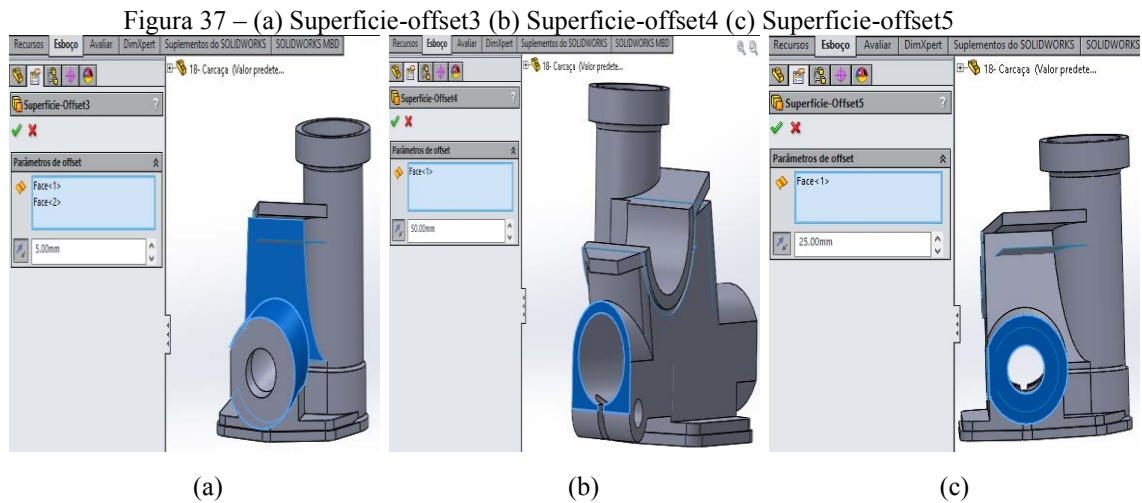
Fonte: (Autor, 2016)

É concluída então a parte exterior da carcaça, o próximo passo é fazer o interior da mesma, nesse ponto foi encontrado um momento de dificuldade para definir a maneira como deveria ser feito esse processo, um corte extrusão poderia gerar grande trabalho e talvez não atingir a superfície desejada.

Foi então feita a opção por utilizar comandos de superfície, com a intenção de criar um sólido feito basicamente por superfícies que será retirado do interior da carcaça. É utilizado o recurso de superfície-offset, no qual é realizado um offset a partir da superfície selecionada, nos recursos da figura 36 são selecionadas as faces exteriores e depois as distâncias entre a superfície selecionada e a superfície nova que será gerada com base no desenho técnico.

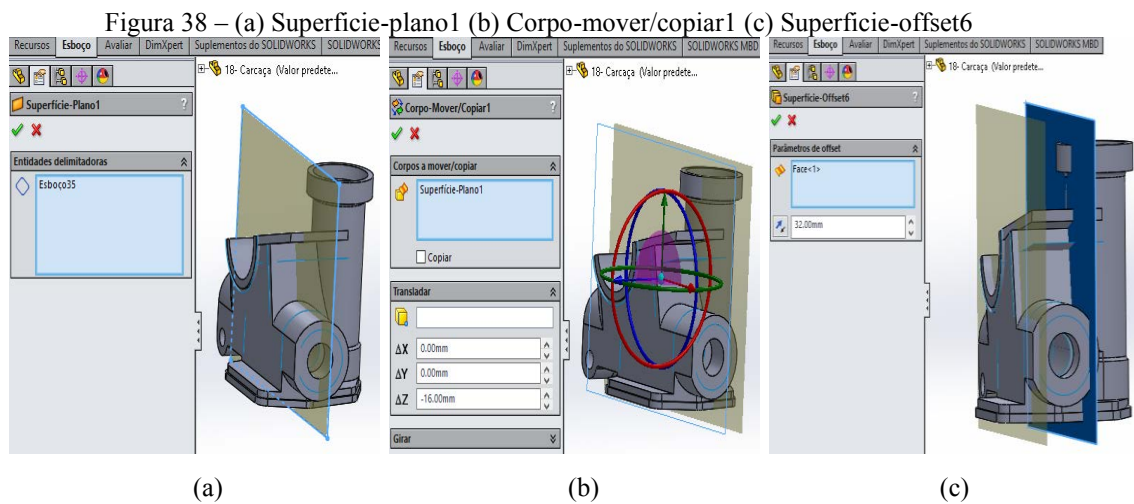


Fonte: (Autor, 2016)



Fonte: (Autor, 2016)

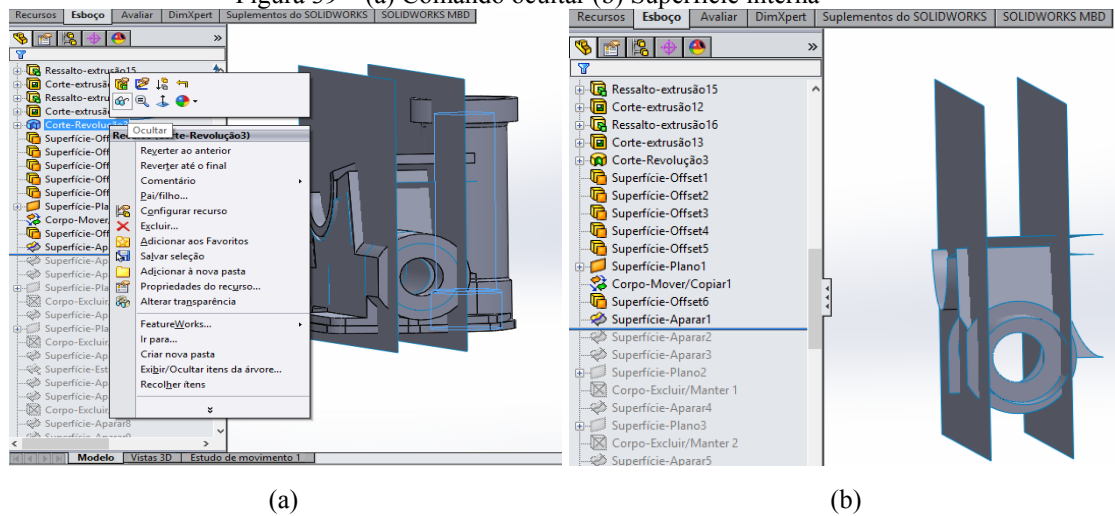
Na sequência é utilizado o recurso de superfície-plano para definir os limites laterais do interior da carcaça, a superfície é gerada no centro e após isso é deslocada para lateral com o recurso copiar-mover, definindo-se assim o limite lateral direito, após isso é feito uma superfície-offset a partir da superfície-plano definindo-se desse modo o limite lateral esquerdo.



Fonte: (Autor, 2016)

Resultando-se no sólido da figura 39a, para se conseguir visualizar o interior da carcaça é ocultada o sólido externo, resultando na figura 39b, sendo necessário definir agora os limites.

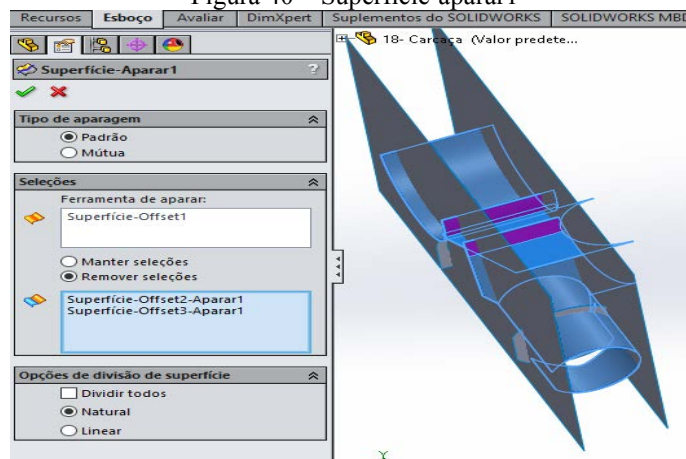
Figura 39 – (a) Comando ocultar (b) Superfície interna



Fonte: (Autor, 2016)

Após a definição das superfícies que irão limitar o sólido interior que será gerado, é necessário recortar as superfícies excedentes dessa junção. O próximo recurso a ser utilizado é o de superfície-aparar, retira-se o que está além dos limites da superfície interna, para isso seleciona-se uma superfície que servirá como ferramenta de aparar, que no caso é a superfície offset3, após isso as superfícies a serem aparadas são selecionadas, como podem ser visualizado nas superfícies em roxo da figura 40.

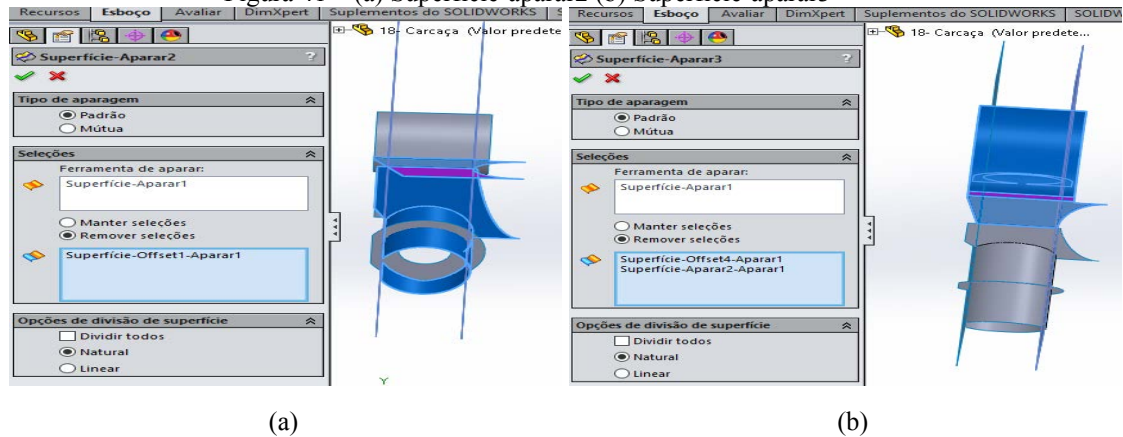
Figura 40 – Superfície-aparar1



Fonte: (Autor, 2016)

Assim como no recurso anterior, é utilizada a mesma lógica nos recursos seguintes para remoção das superfícies excedentes.

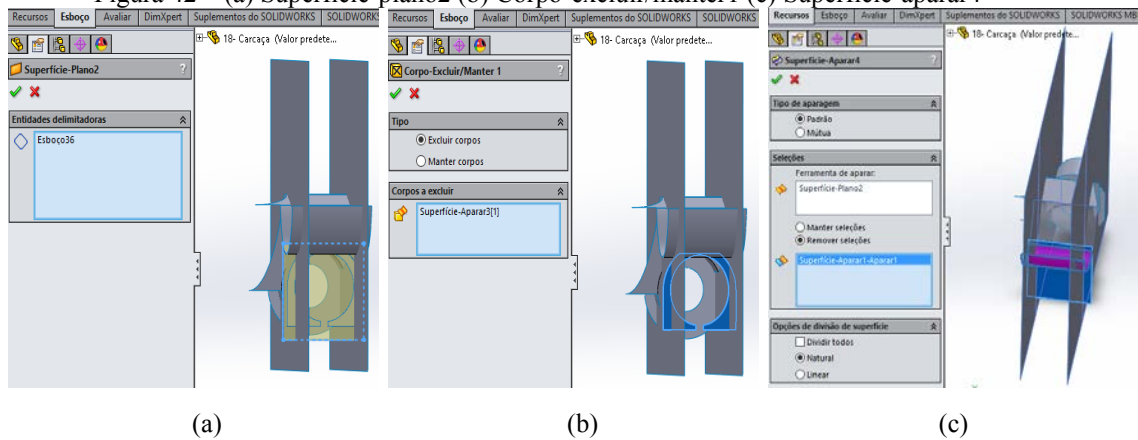
Figura 41 – (a) Superfície-aparar2 (b) Superfície-aparar3



Fonte: (Autor, 2016)

No passo seguinte, não se realizava os recortes das superfícies excedentes, para se conseguir aparar a superfície excedente da figura 42c, foi criada uma superfície-plano na figura 42a, após isso é excluída a superfície que estava na mesma posição anteriormente com o recurso corpo-excluir, para então poder-se utilizar o recurso de aparar.

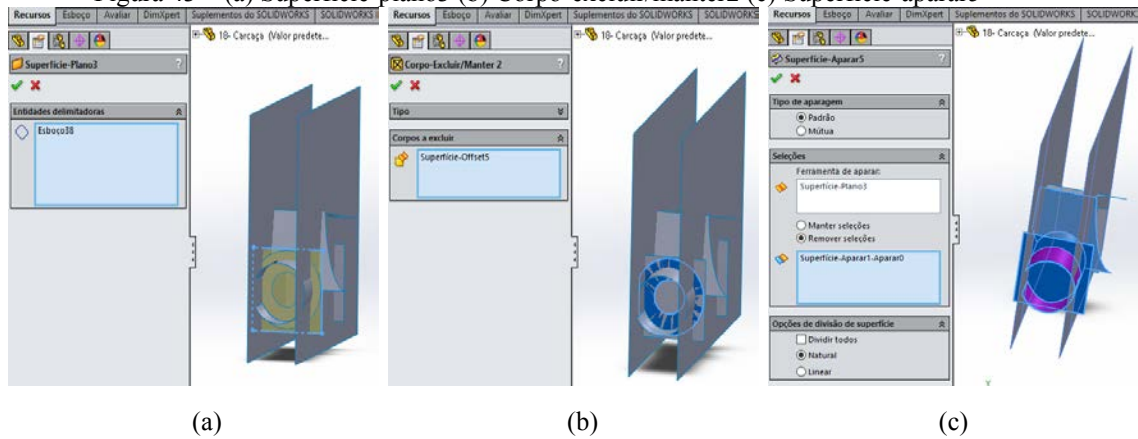
Figura 42 – (a) Superfície-plano2 (b) Corpo-excluir/manter1 (c) Superfície-aparar4



Fonte: (Autor, 2016)

Repetem-se os mesmos passos da sequência anterior nos próximos recursos, porém no lado oposto da carcaça.

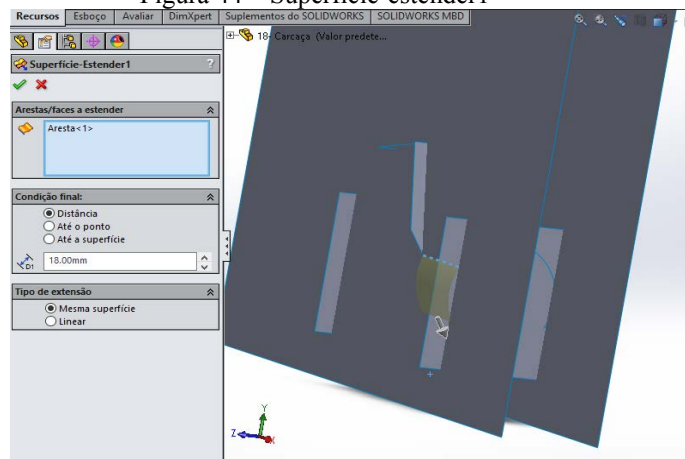
Figura 43 – (a) Superfície-plano3 (b) Corpo-excluir/manter2 (c) Superfície-aparar5



Fonte: (Autor, 2016)

Seguindo as definições do sólido, verifica-se que a superfície da figura 44 não está simétrica em relação ao lado oposto, então se utiliza o recurso superfície-estender para prolongar a superfície, para obter-se a mesma dimensão do lado oposto.

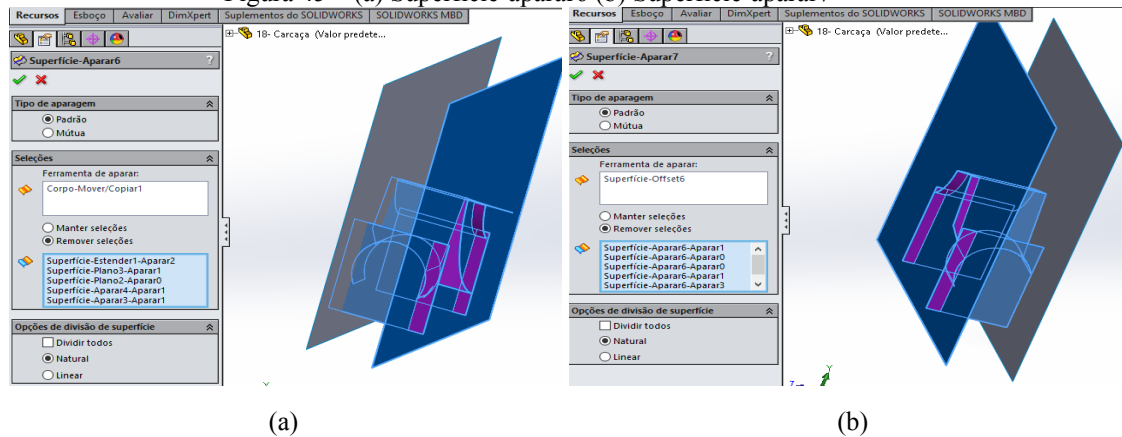
Figura 44 – Superfície-estender1



Fonte: (Autor, 2016)

Nos passos seguintes são realizados recursos análogos de superfície-aparar para remover as superfícies excedentes laterais

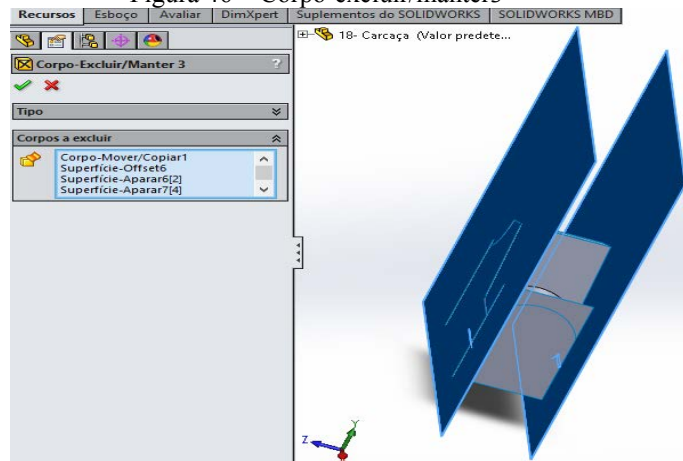
Figura 45 – (a) Superfície-aparar6 (b) Superfície-aparar7



Fonte: (Autor, 2016)

Após a retirada das superfícies excedentes laterais, são então excluídas as superfícies laterais que foram criadas para definir os limites.

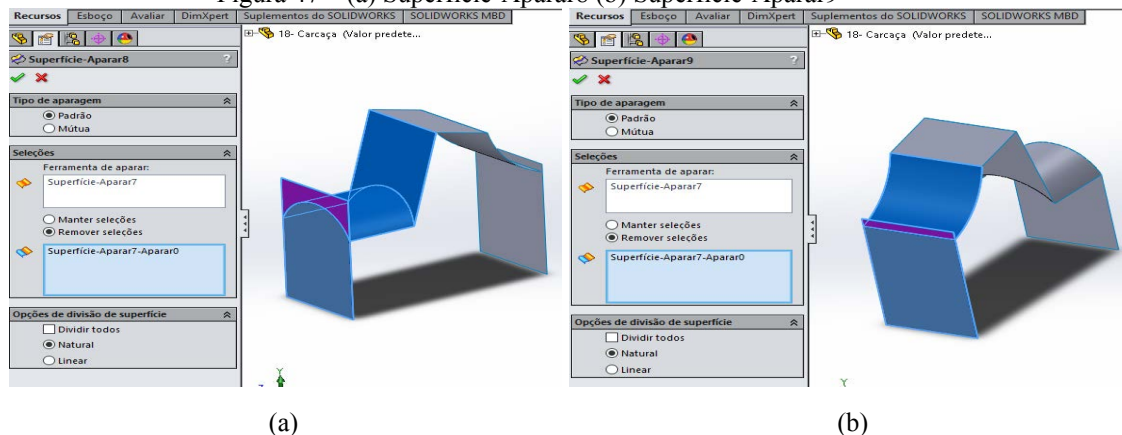
Figura 46 – Corpo-excluir/manter3



Fonte: (Autor, 2016)

Segue-se a mesma lógica na remoção das superfícies excedentes abaixo.

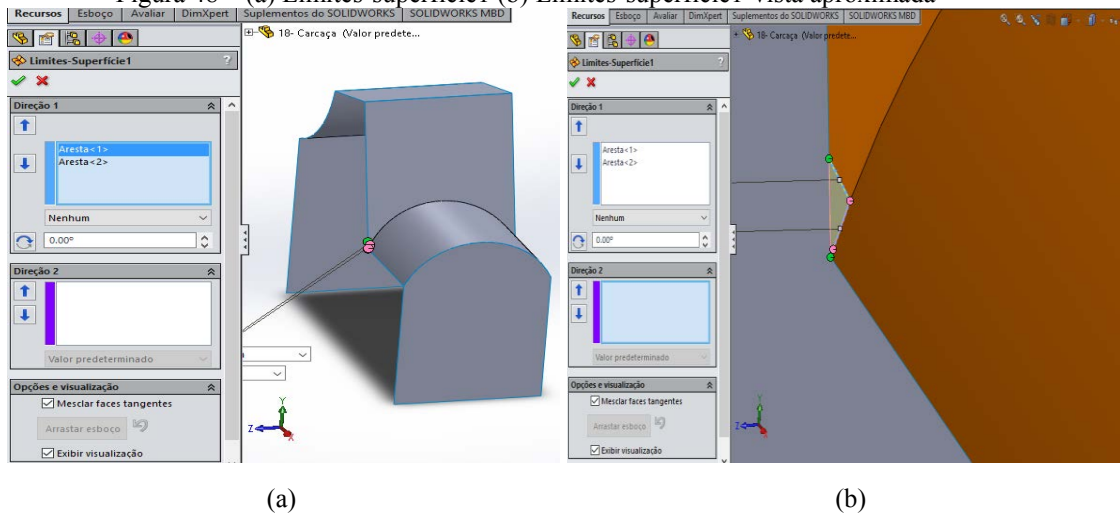
Figura 47 – (a) Superfície-Aparar8 (b) Superfície-Aparar9



Fonte: (Autor, 2016)

Após a aplicação desses recursos, visualiza-se no corpo resultante um pequeno setor incompleto sendo necessário o uso do recurso limites-superfície, em que são selecionadas as duas arestas limitantes, sendo gerada uma superfície a partir delas para preencher a falha na superfície.

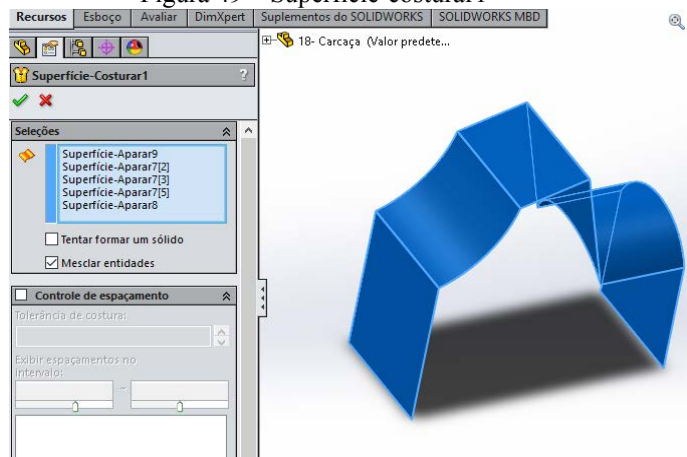
Figura 48 – (a) Limites-superfície1 (b) Limites-superfície1-vista aproximada



Fonte: (Autor, 2016)

Após realizar o recurso de limites de superfície que é possível então utilizar o recurso de Superfície-Costurar para transformar as superfícies que compõe o sólido em uma única entidade.

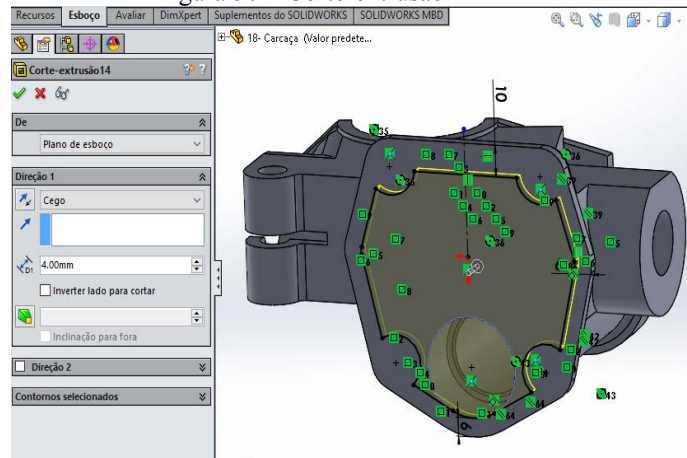
Figura 49 – Superfície-costurar1



Fonte: (Autor, 2016)

Retorna-se com o sólido exterior e é realizado um corte extrusão na superfície abaixo.

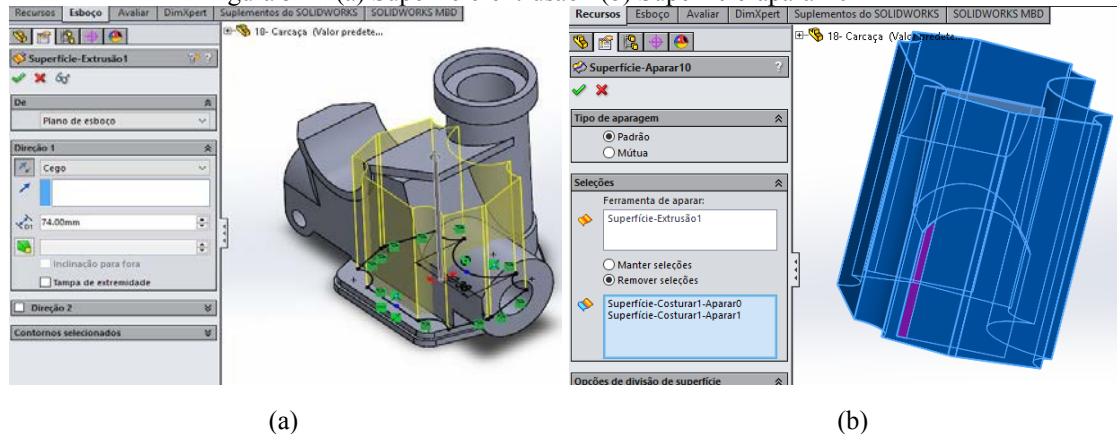
Figura 50 – Corte-extrusão14



Fonte: (Autor, 2016)

No comando seguinte é realizado um recurso de superfície-extrusão com base no esboço utilizado no recurso da figura 50, para através desse recurso ser retirado às superfícies excedentes.

Figura 51 – (a) Superfície-extrusão1 (b) Superfície-aparar10



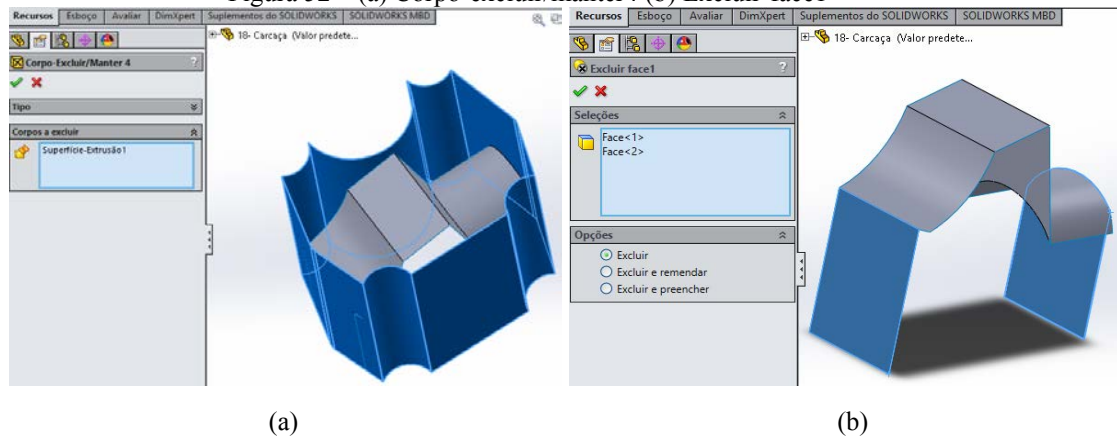
(a)

(b)

Fonte: (Autor, 2016)

Após a retirada das superfícies excedentes, é excluída a superfície extrusão, como se vê na figura 52a, excluem-se logo em seguida as faces seleccionadas em azul.

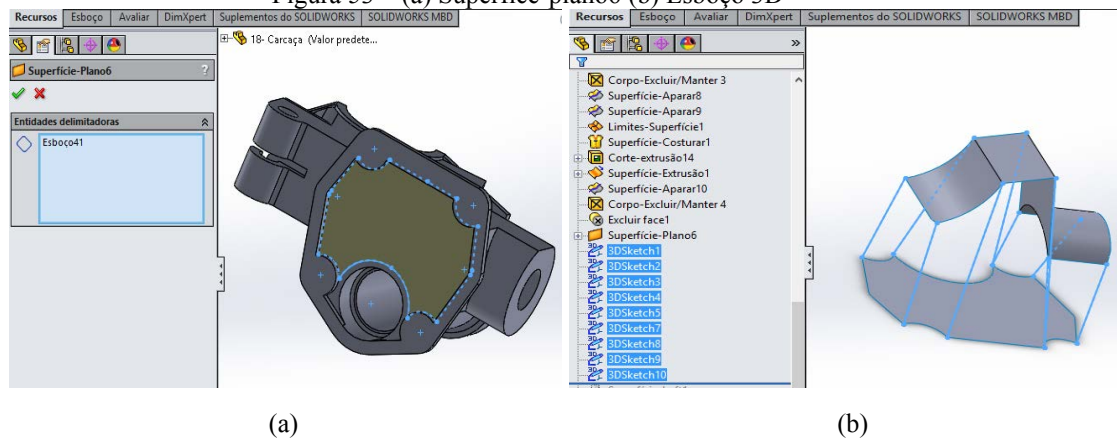
Figura 52 – (a) Corpo-excluir/manter4 (b) Excluir-face1



Fonte: (Autor, 2016)

Nos recursos seguintes, primeiramente é feita um superfície-plano com base no esboço abaixo que é o mesmo da superfície-extrusão (figura 50), para dessa forma, definir a parte de baixo do sólido que será retirado do interior da peça, após isso se oculta o sólido exterior e são feitos rascunhos 3D ligando os vértices da superfície-plano a superfície interior previamente desenhada.

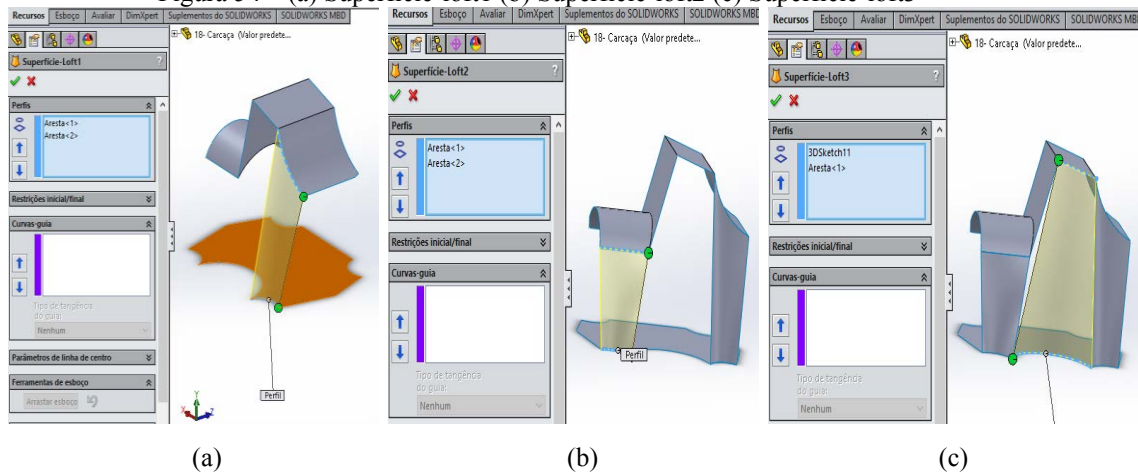
Figura 53 – (a) Superfície-plano6 (b) Esboço 3D



Fonte: (Autor, 2016)

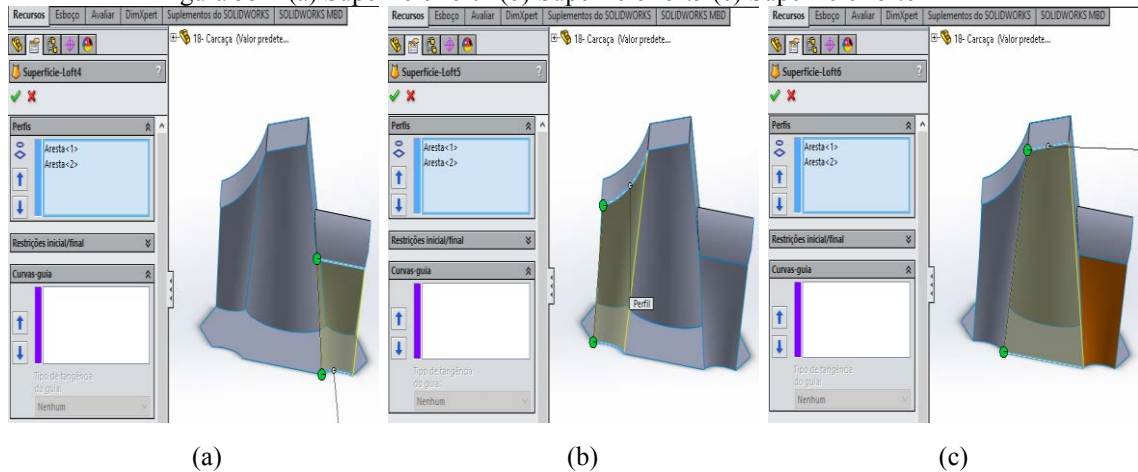
No próximo passo é executada então uma sequência de comandos superfície-loft, no qual são selecionadas as arestas inferiores e superiores resultando numa superfície entre elas.

Figura 54 – (a) Superfície-loft1 (b) Superfície-loft2 (c) Superfície-loft3



Fonte: (Autor, 2016)

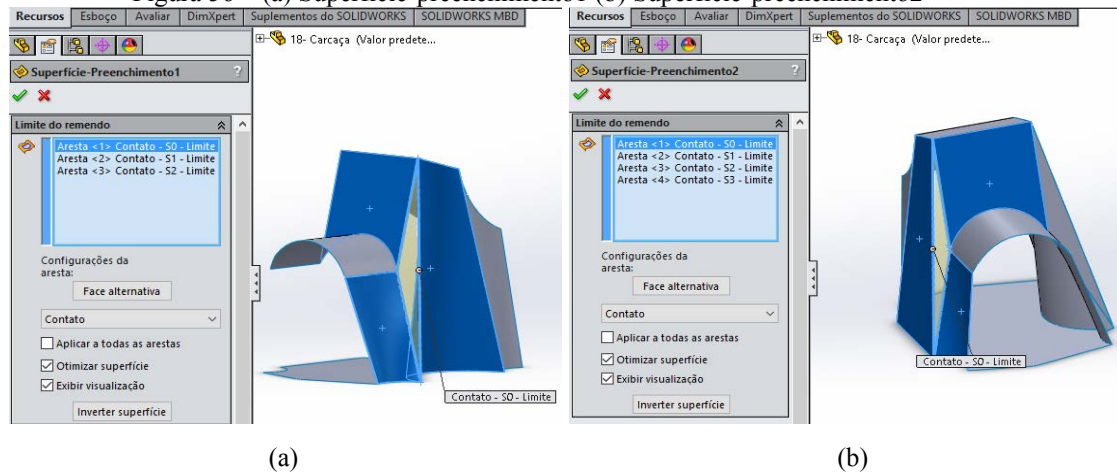
Figura 55 – (a) Superfície-loft4 (b) Superfície-loft5 (c) Superfície-loft6



Fonte: (Autor, 2016)

Sendo necessária a utilização do recurso superfície preenchimento para gerar a superfície da figura 56 que é limitada por mais de duas arretas, nesse comando são selecionadas as arestas limitantes, a partir dessa seleção é gerada a superfície de preenchimento.

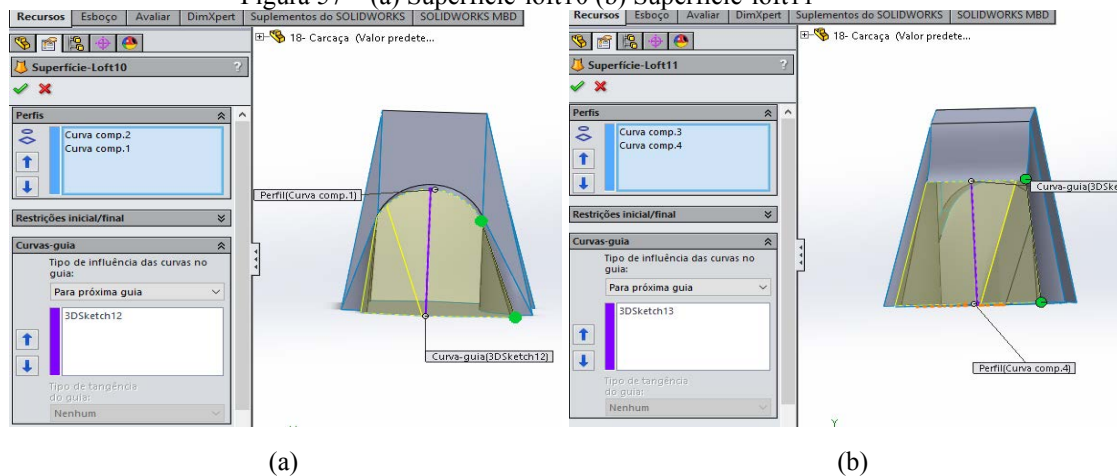
Figura 56 – (a) Superfície-preenchimento1 (b) Superfície-preenchimento2



Fonte: (Autor, 2016)

Para finalizar, são geradas as superfícies loft, no qual as arestas limitantes são duas curvas, que limitam a superfície que é gerada a partir delas.

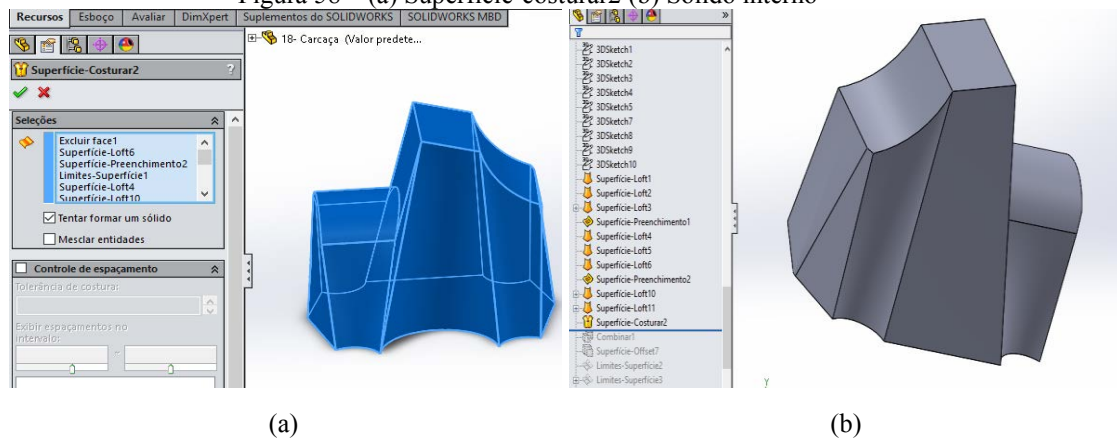
Figura 57 – (a) Superfície-loft10 (b) Superfície-loft11



Fonte: (Autor, 2016)

Sendo então gerada a superfície que vai ser retirada do interior do sólido, é realizado o comando de superfície costurar para transformar todas as superfícies em um único sólido, para permitir que ele possa ser recortado do interior da peça.

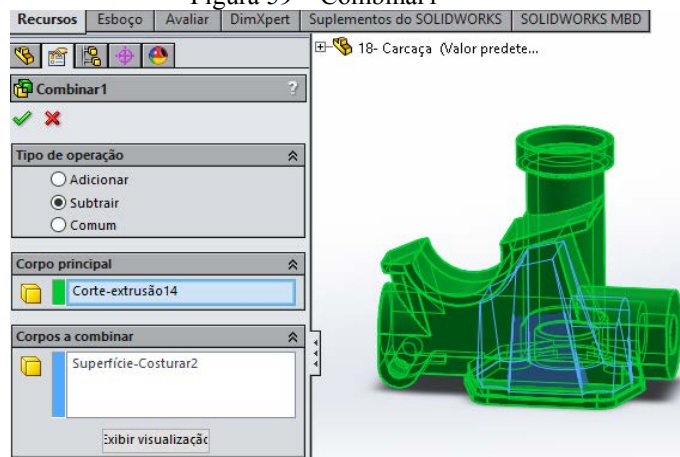
Figura 58 – (a) Superfície-costurar2 (b) Sólido interno



Fonte: (Autor, 2016)

Finalizando-se o sólido interior, é executado o comando de combinar, onde ele é subtraído do sólido externo.

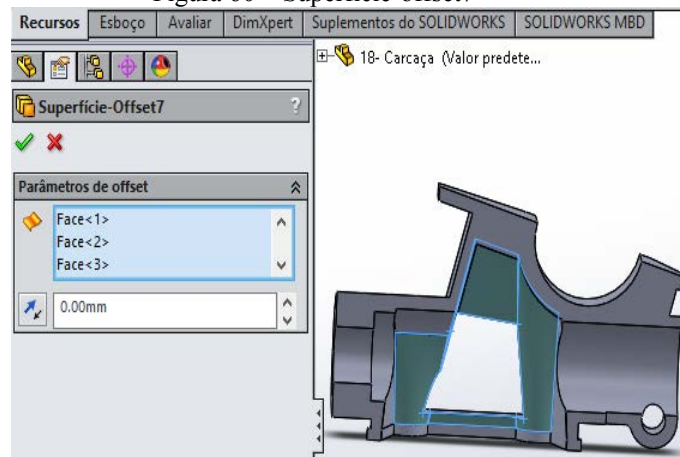
Figura 59 – Combinar1



Fonte: (Autor, 2016)

Com a realização da subtração, um pedaço do sólido externo foi recortado além da superfície externa que foi primeiramente desenhada, porém analisando o desenho da montagem e o encaixe do eixo alavanca, conclui-se que faltaram medidas no desenho da peça da carcaça fornecido pelo *Provenza*, isto posto, decide-se adotar algumas medidas de forma aproximada para propiciar o encaixe perfeito para o eixo alavanca, sendo necessário refazer o pedaço recortado, começa-se pela utilização do recurso superfície offset no interior do sólido, nas superfícies que envolvem o pedaço recortado.

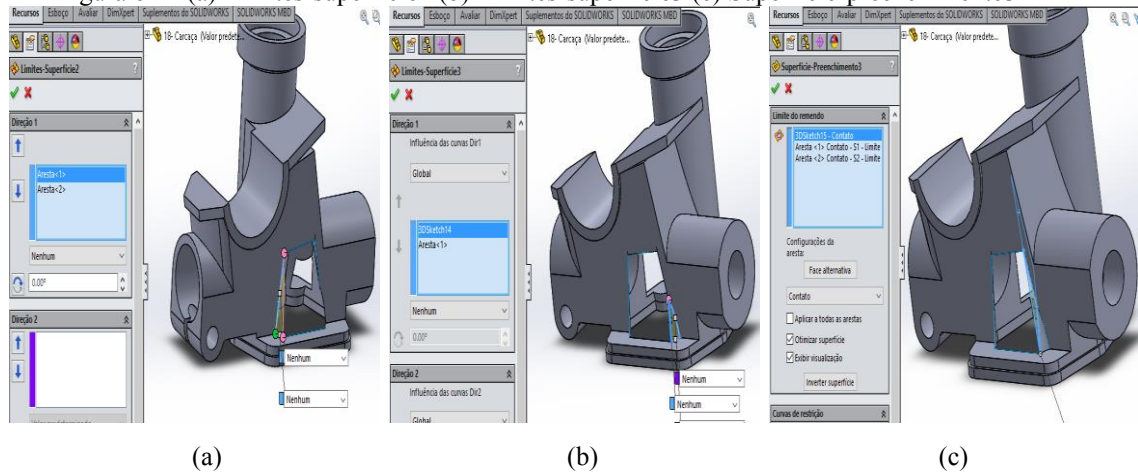
Figura 60 – Superfície-offset7



Fonte: (Autor, 2016)

Só então com a aplicação do recurso anterior pode-se aplicar o recurso de limites-superfícies previamente utilizado, em que uma superfície é gerada entre duas arestas, e posteriormente o recurso de superfícies preenchimento para o caso em que mais de duas arestas limitam a superfície.

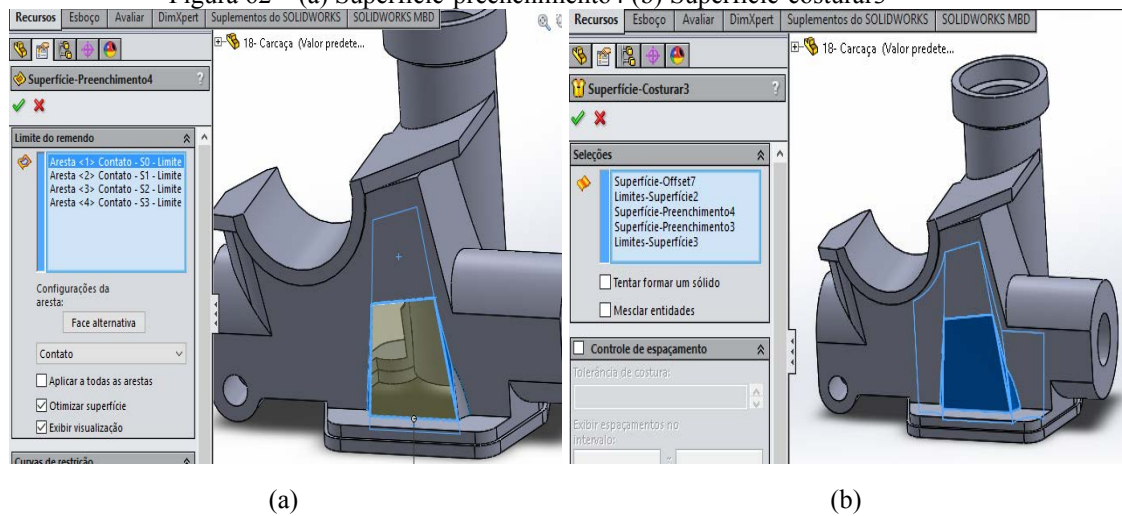
Figura 61 – (a) Limites-superfície2 (b) Limites-superfície3 (c) Superfície-preenchimento3



Fonte: (Autor, 2016)

É aplicado novamente o recurso de preenchimento e em seguida o recurso de costurar, transformando todas as superfícies geradas em uma única superfície.

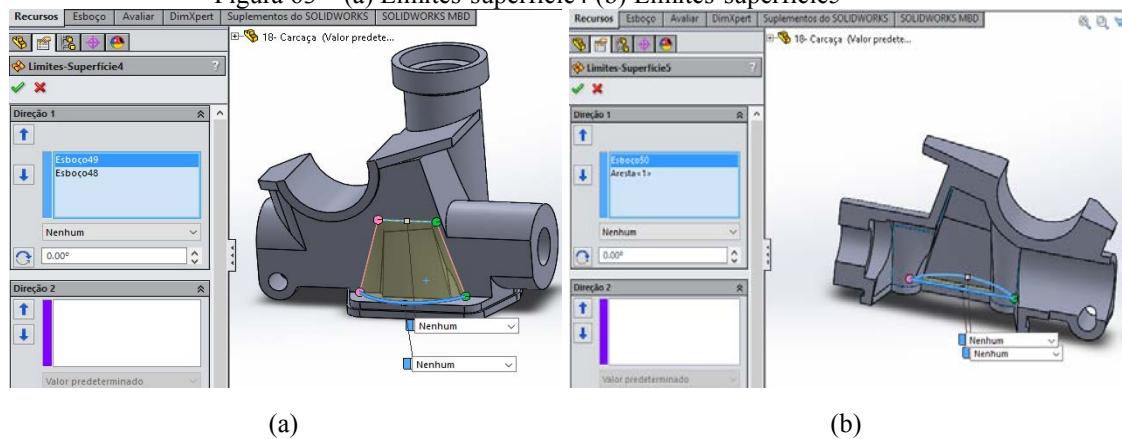
Figura 62 – (a) Superfície-preenchimento4 (b) Superfície-costurar3



Fonte: (Autor, 2016)

Para detalhes de acabamento são realizados com medidas aproximadas para o esboço, os comandos de limites-superfícies como podem ser vistos na figura 63.

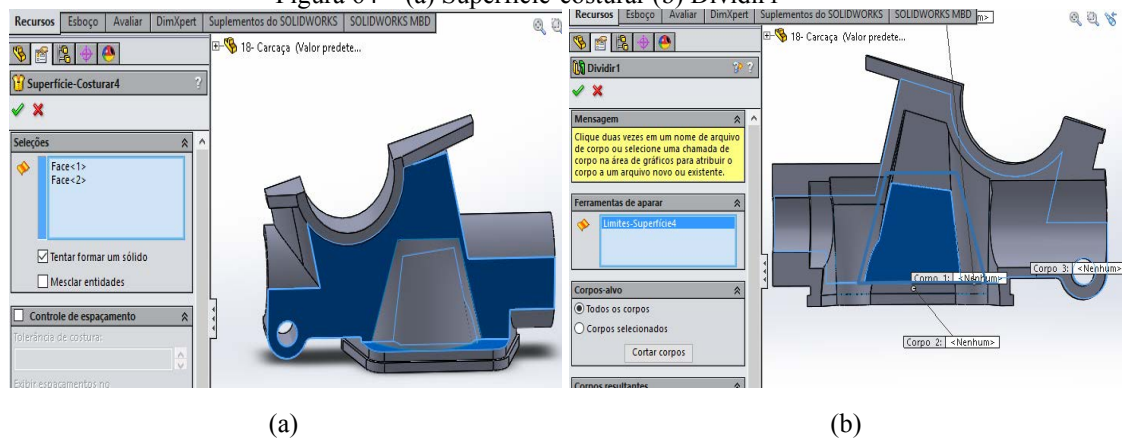
Figura 63 – (a) Limites-superfície4 (b) Limites-superfície5



Fonte: (Autor, 2016)

É então costurada a superfície para se formar um único sólido e posteriormente retirado o excesso com o comando dividir.

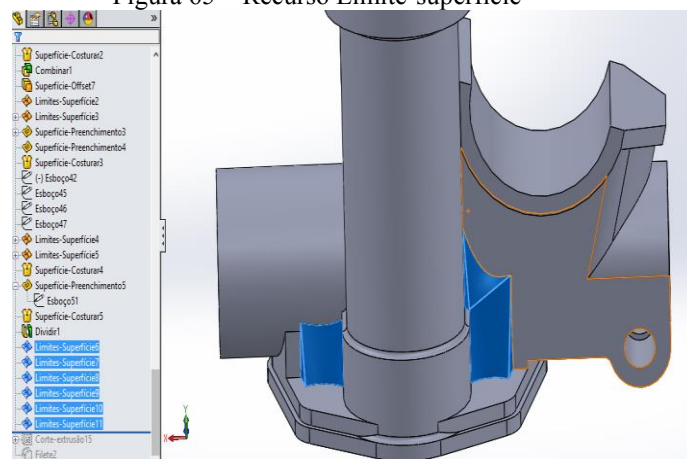
Figura 64 – (a) Superfície-costurar (b) Dividir1



Fonte: (Autor, 2016)

São utilizados novamente os recursos limites-superfícies para preencher pedaços da peça que foram recortados além do ideal, gerando as superfícies em azul da figura abaixo.

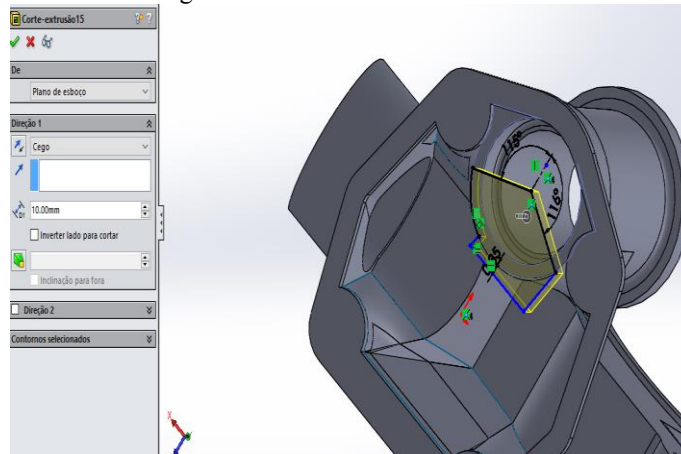
Figura 65 – Recurso Limite-superfície



Fonte: (Autor, 2016)

Durante a montagem foi verificado um encaixe incorreto entre o eixo alavanca e carcaça, para corrigir, é realizado no recurso seguinte um corte no encaixe do eixo alavanca.

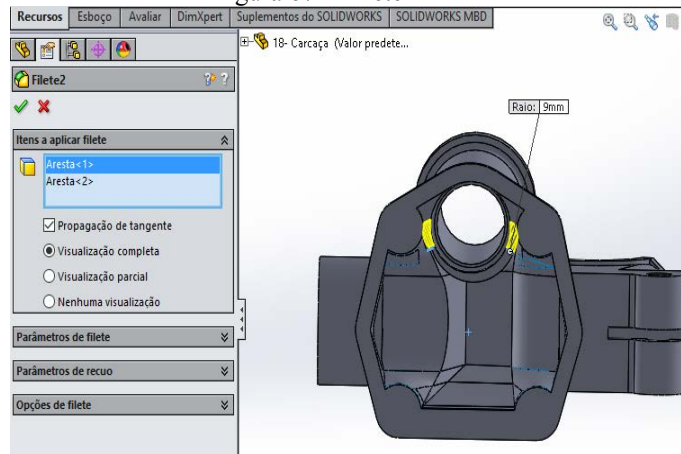
Figura 66 – Corte-extrusão15



Fonte: (Autor, 2016)

Por último é aplicado o comando de filete para uma melhor aderência do eixo alavanca a carcaça. Sendo finalizada a carcaça.

Figura 67 – Filete2

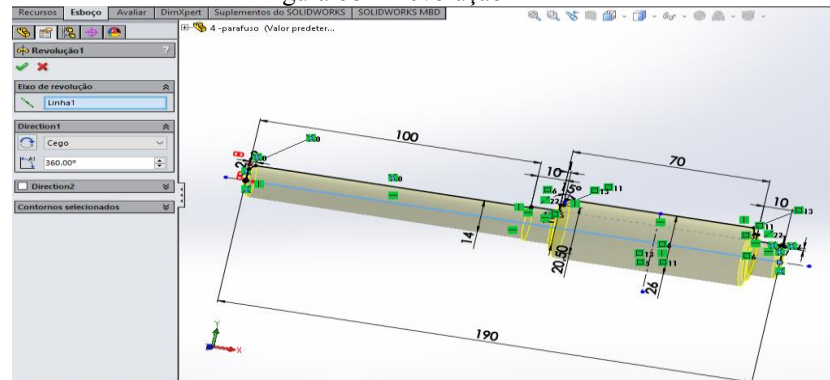


Fonte: (Autor, 2016)

4.1.2 Parafuso Sem-Fim

A geração do parafuso começa pelo desenho do esboço em que através dela pode ser feito a revolução em 360 graus para gerar o sólido.

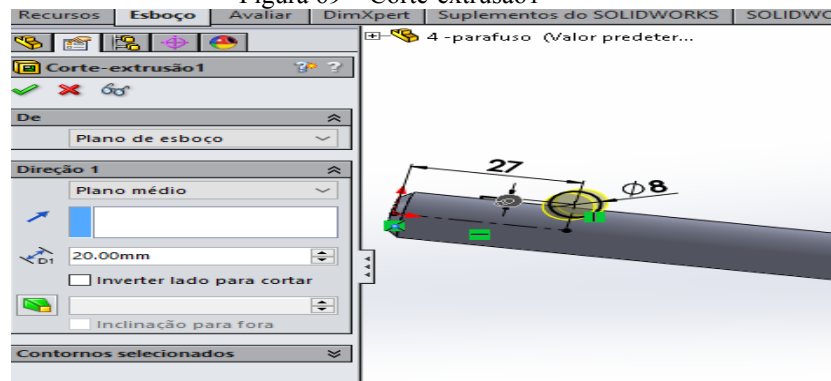
Figura 68 – Revolução1



Fonte: (Autor, 2016)

Em seguida é feito um corte extrusão a partir do esboço no plano médio de 20,00 mm.

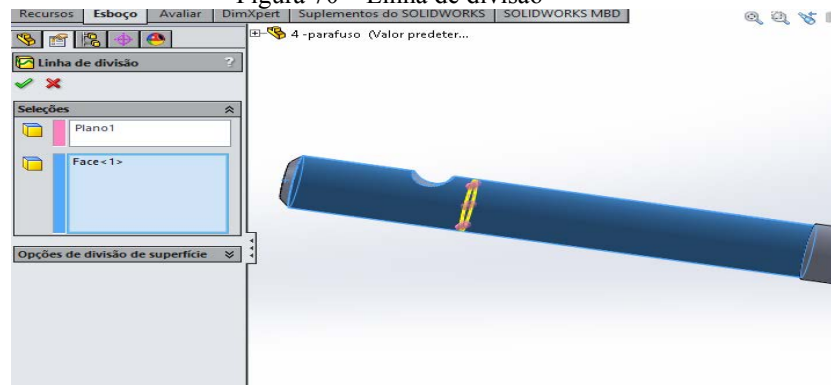
Figura 69 – Corte-extrusão1



Fonte: (Autor, 2016)

Na figura abaixo é criada uma linha de divisão para marcar o limite onde serão realizados os próximos recursos.

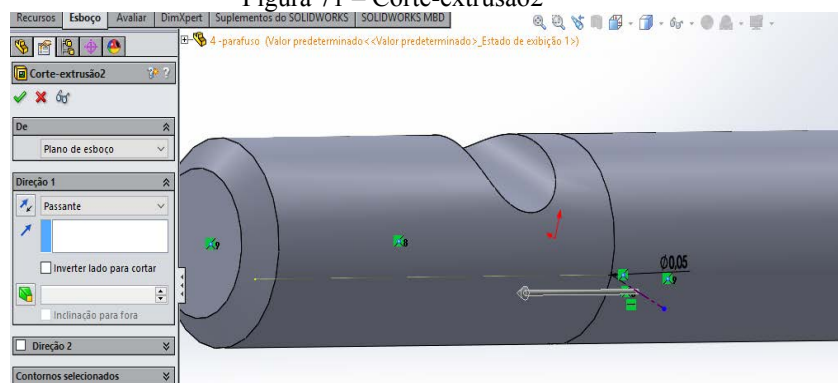
Figura 70 – Linha de divisão



Fonte: (Autor, 2016)

No recurso seguinte é feito o corte extrusão para gerar a ranhura.

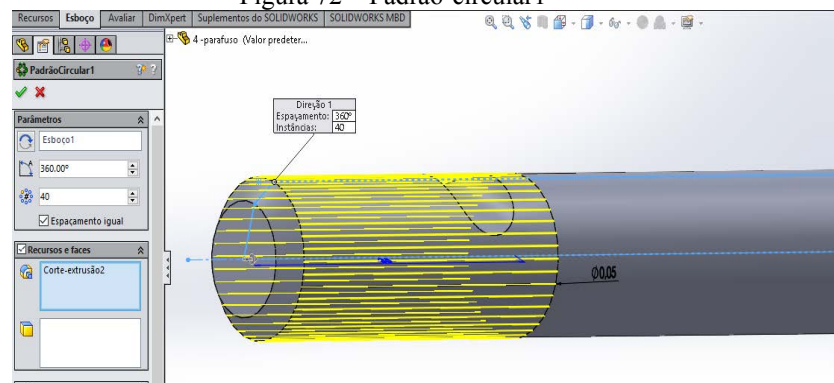
Figura 71 – Corte-extrusão2



Fonte: (Autor, 2016)

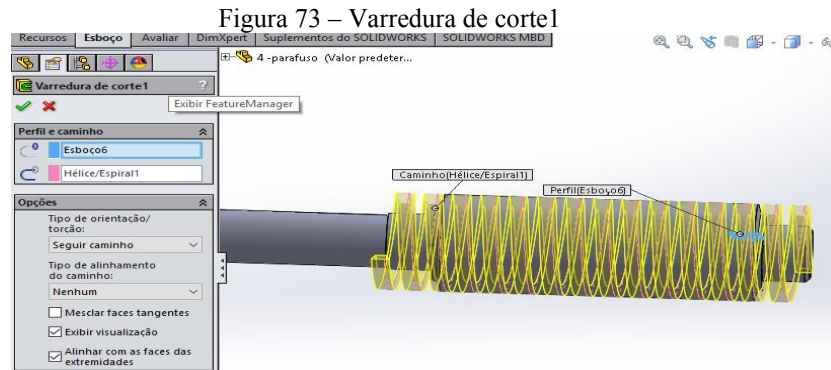
Em seguida é realizado um padrão circular para replicar as ranhuras em torno do eixo.

Figura 72 – Padrão-circular1

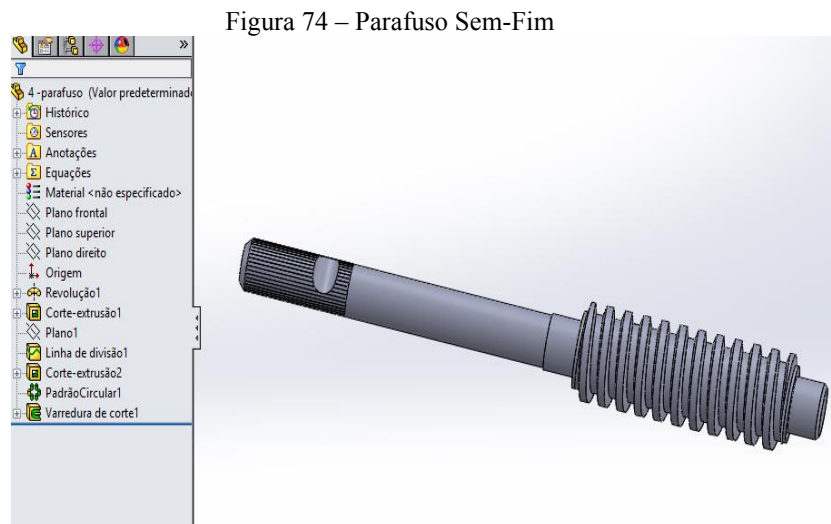


Fonte: (Autor, 2016)

Para finalizar é aplicado o recurso de varredura corte, sendo possível através dele, gerar o sem-fim.



Fonte: (Autor, 2016)

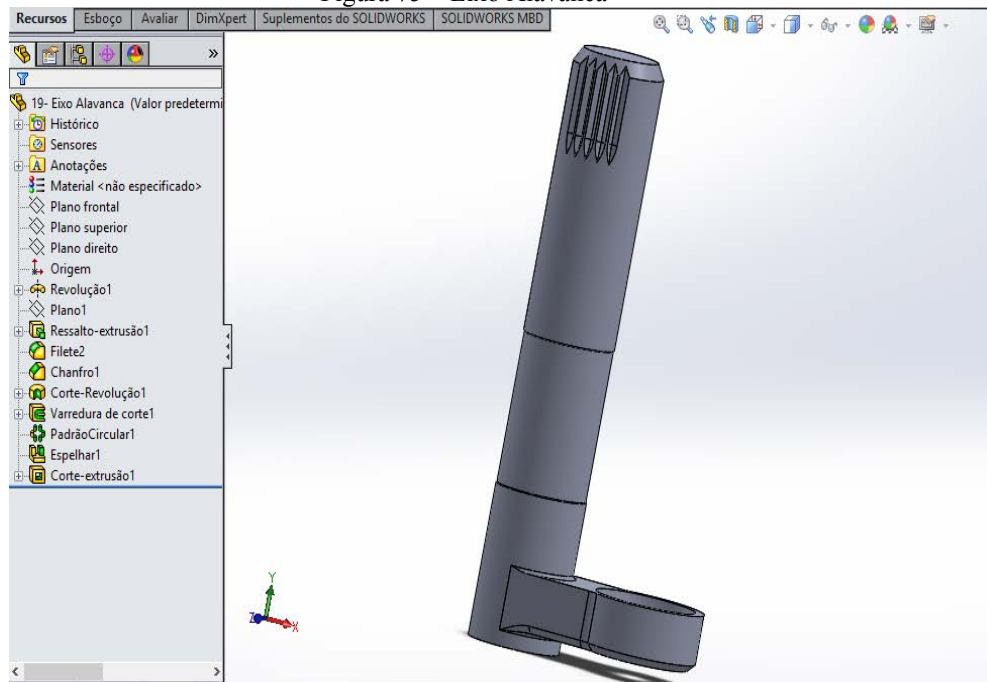


Fonte: (Autor, 2016)

4.1.3 Eixo Alavanca

Nesse componente são usados recursos previamente apresentados, sendo apresentada a peça final na figura abaixo:

Figura 75 – Eixo Alavanca

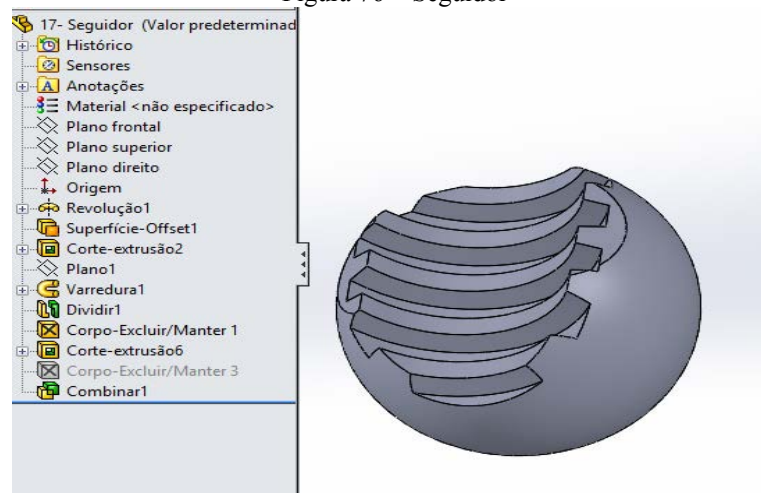


Fonte: (Autor, 2016)

4.1.4 Seguidor

No seguidor são realizados recursos análogos aos do parafuso sem-fim.

Figura 76 – Seguidor



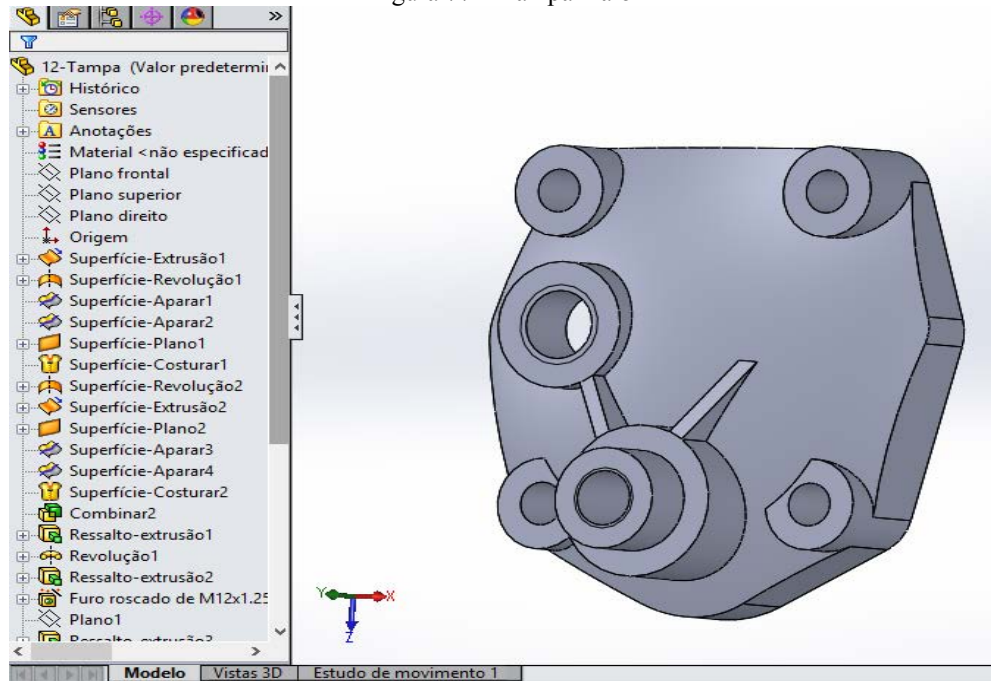
Fonte: (Autor, 2016)

4.1.5 Tampa Maior

É apresentada abaixo a tampa da caixa direção, por ser uma peça com bastantes recursos similares à carcaça e a outros componentes apresentados, porém com uma grande

quantidade de recursos, eles não serão apresentados neste trabalho. Por ser um sólido curvo foram realizados recursos de superfície para atingir as medidas desejadas.

Figura 77 – Tampa maior

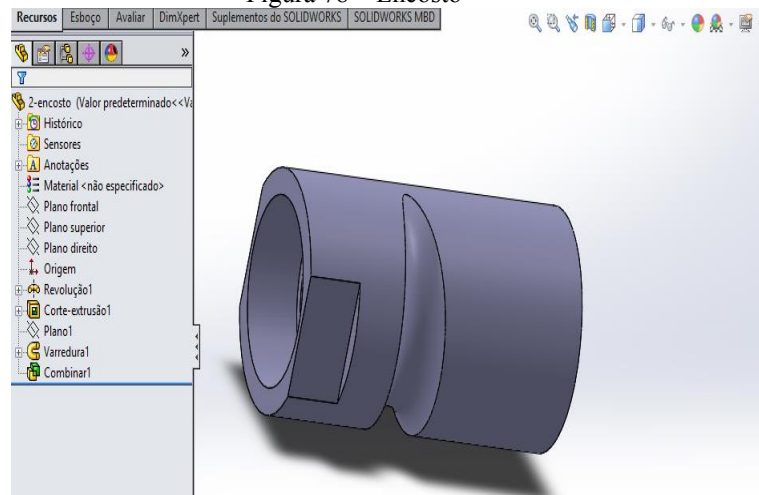


Fonte: (Autor, 2016)

4.1.6 Encosto

No encosto basicamente é feita um revolução a partir do esboço da figura 15, sendo em seguida feito um corte na ponta e uma varredura que é retirada da peça.

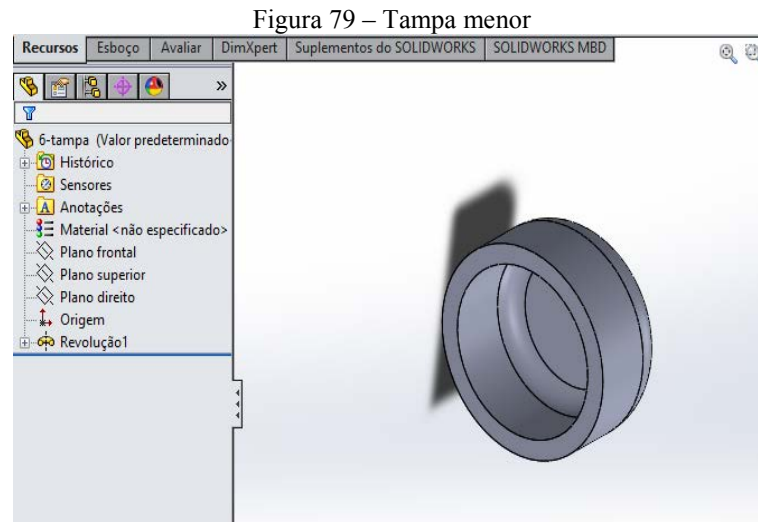
Figura 78 – Encosto



Fonte: (Autor, 2016)

4.1.7 Tampa Menor

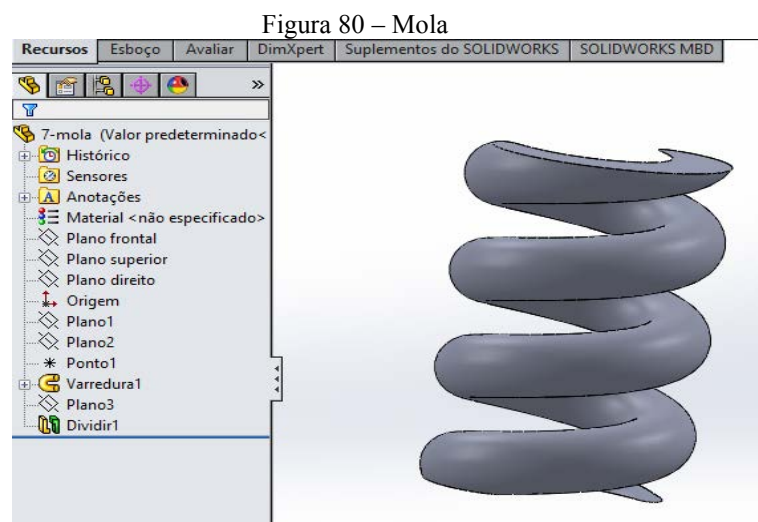
No tampa é realizada um revolução a partir do esboço da figura 17.



Fonte: (Autor, 2016)

4.1.8 Mola

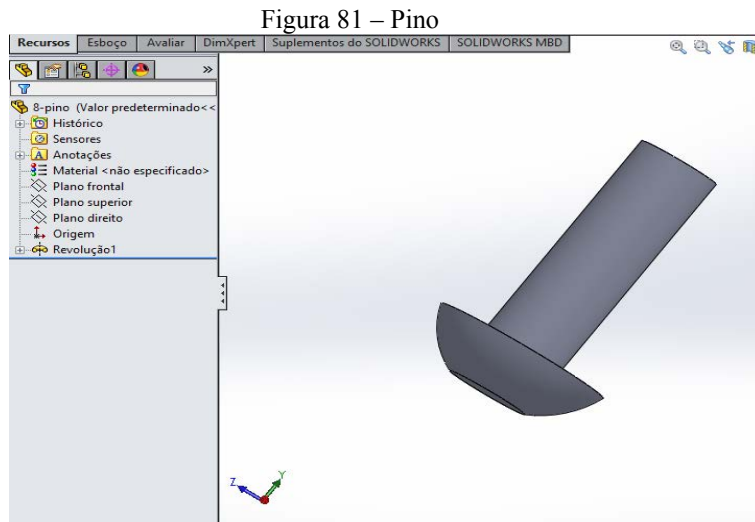
A mola é gerada a partir do desenho da figura 17, sendo feito basicamente através do recurso de varredura.



Fonte: (Autor, 2016)

4.1.9 Pino

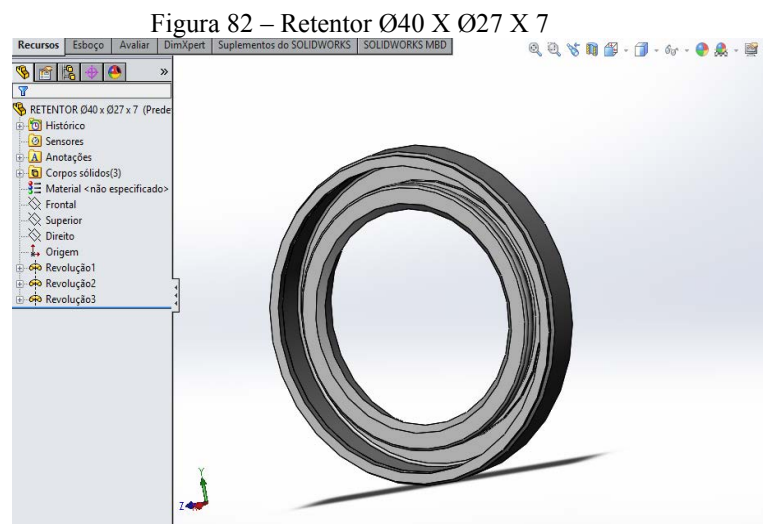
No pino é realizada uma revolução a partir do esboço da figura 17.



Fonte: (Autor, 2016)

4.1.10 Retentor Ø40 X Ø27 X 7

É apresentado o retentor, nele são realizadas três revoluções.

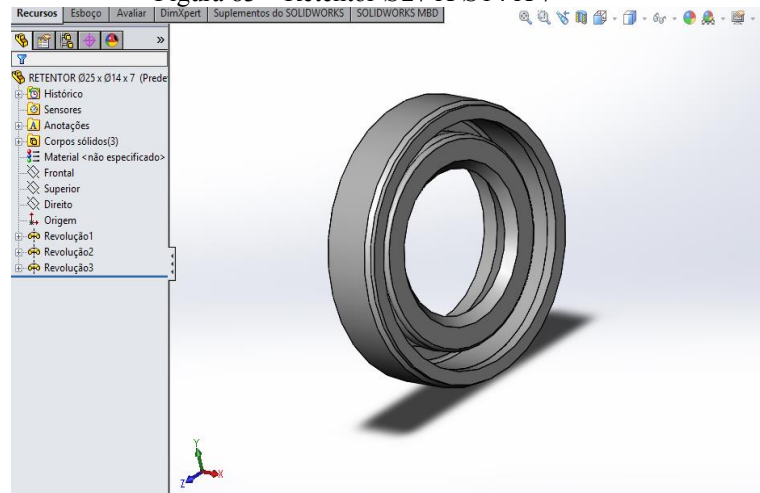


Fonte: (Autor, 2016)

4.1.11 Retentor Ø27 X Ø14 X 7

Utiliza-se o mesmo esboço do retentor anterior, alterando as dimensões das revoluções.

Figura 83 – Retentor Ø27 X Ø14 X 7

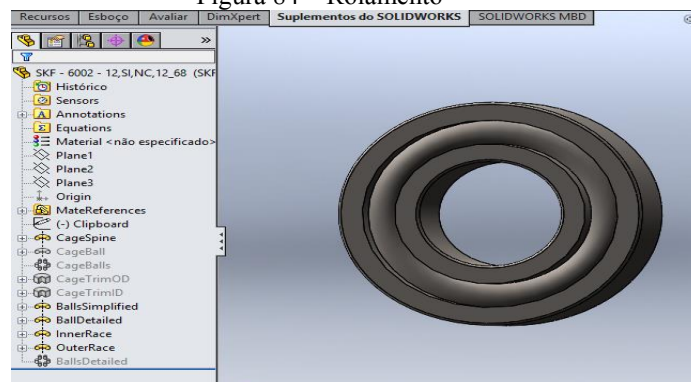


Fonte: (Autor, 2016)

4.1.12 Rolamento

O rolamento é retirado a partir de uma biblioteca do SolidWorks chamada Toolbox em que se contêm vários tipos de peças padrão.

Figura 84 – Rolamento

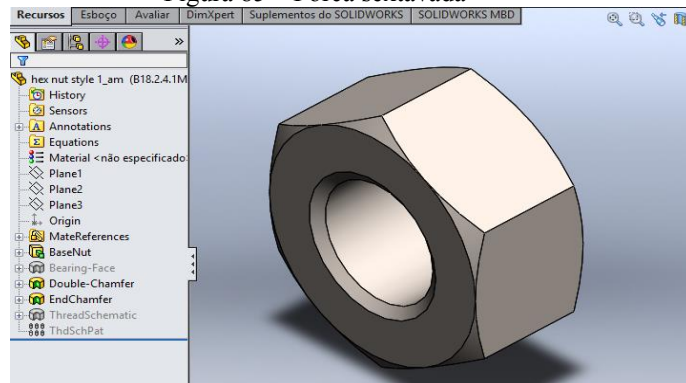


Fonte: (Toolbox, SolidWorks)

4.1.13 Porca Sextavada

A porca é retirada a partir de uma biblioteca do Solidworks chamada Toolbox em que se contêm vários tipos de peças padrão.

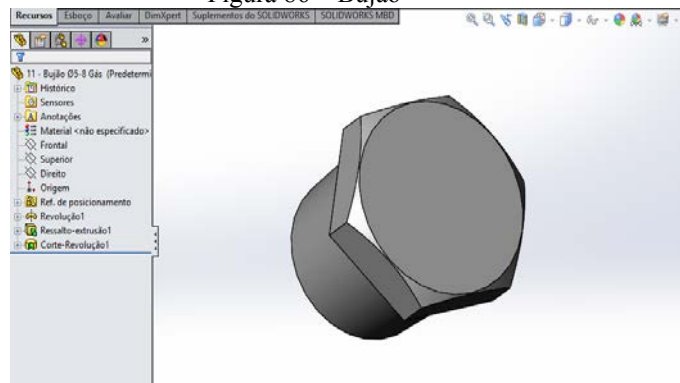
Figura 85 – Porca sextavada



Fonte: (Toolbox, SolidWorks)

4.1.14 Bujão

Figura 86 – Bujão

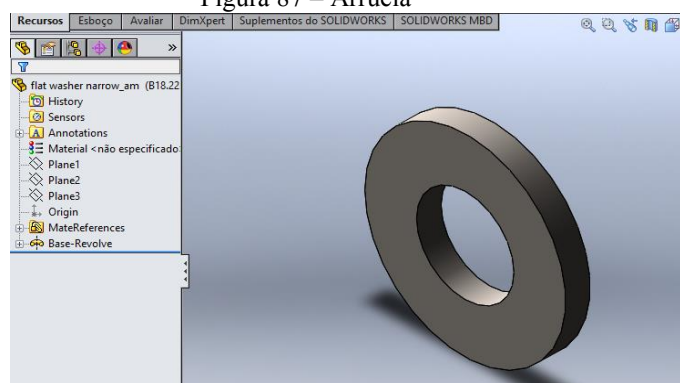


Fonte: (Autor, 2016)

4.1.15 Arruela

A arruela é retirada a partir de uma biblioteca do Solidworks chamada Toolbox em que se contêm vários tipos de peças padrão.

Figura 87 – Arruela

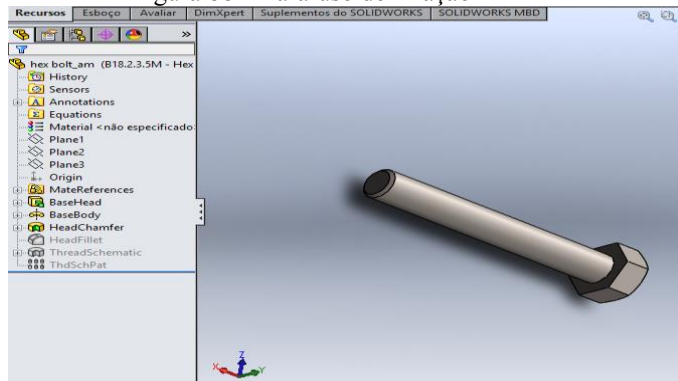


Fonte: (Toolbox, SolidWorks)

4.1.16 Parafuso de Fixação

A mesma situação se aplicar ao parafuso sendo ele retirado do Toolbox

Figura 88 – Parafuso de fixação

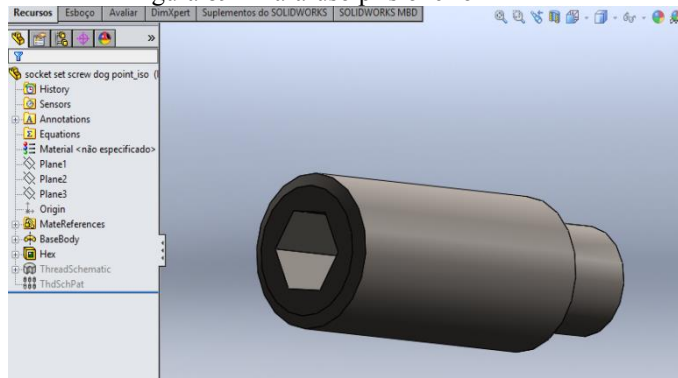


Fonte: (Toolbox, SolidWorks)

4.1.17 Parafuso Prisioneiro

A mesma situação se aplicar ao parafuso prisioneiro, retirado do Toolbox.

Figura 89 – Parafuso prisioneiro

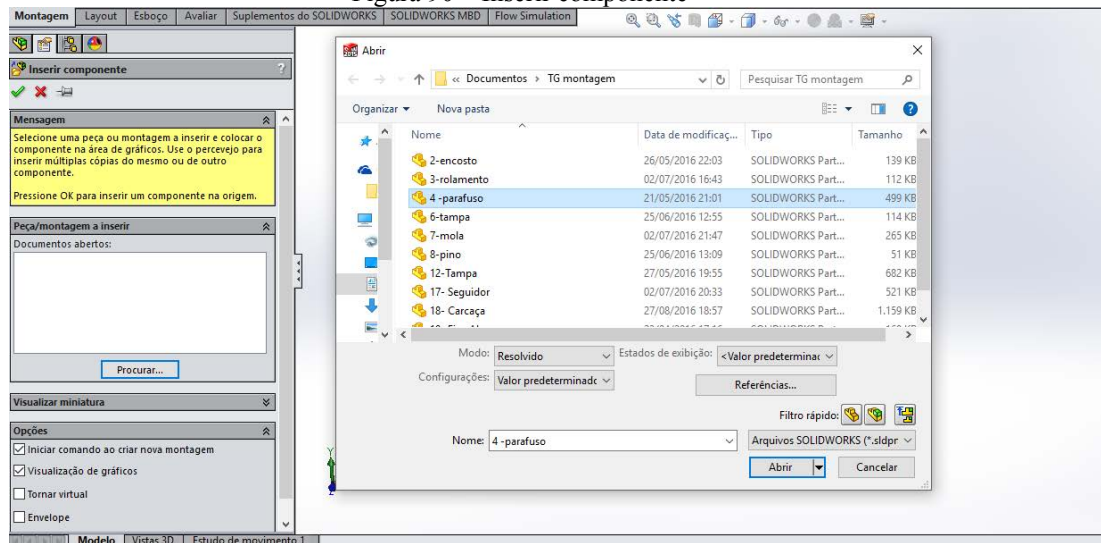


Fonte: (Toolbox, SolidWorks)

4.2 MONTAGEM DOS COMPONENTES

Após a conclusão da modelagem dos componentes, o primeiro passo a ser realizado é criação de um arquivo de montagem, a partir dele são então inseridos os componentes da carcaça através do comando Inserir componente figura 90.

Figura 90 – Inserir componente

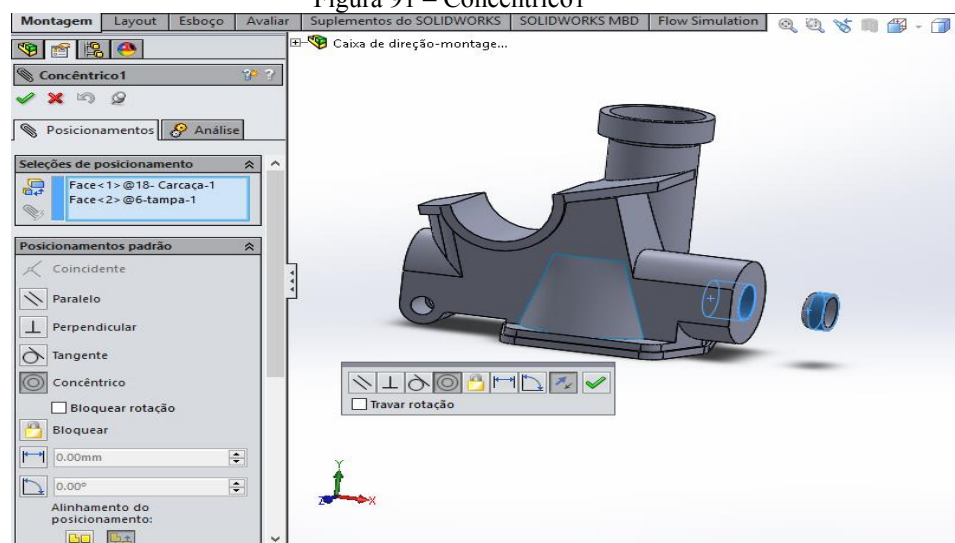


Fonte: (Autor, 2016)

Primeiramente é inserida a carcaça, por ser o componente que abriga a maior parte das peças. Visa-se seguir uma sequência lógica na montagem das peças, inserindo componentes que tem relação direta com os que são montados na sequência. Após a inserção da carcaça é inserida a tampa menor que se posiciona atrás do parafuso sem-fim. Para se posicionar as peças é utilizado o comando Posicionar que se encontra na aba de montagem figura 9, então é exibida uma interface como na figura abaixo, com várias opções de posicionamento, como coincidência, paralelo, tangente, perpendicular, concêntrico, bloquear e distância.

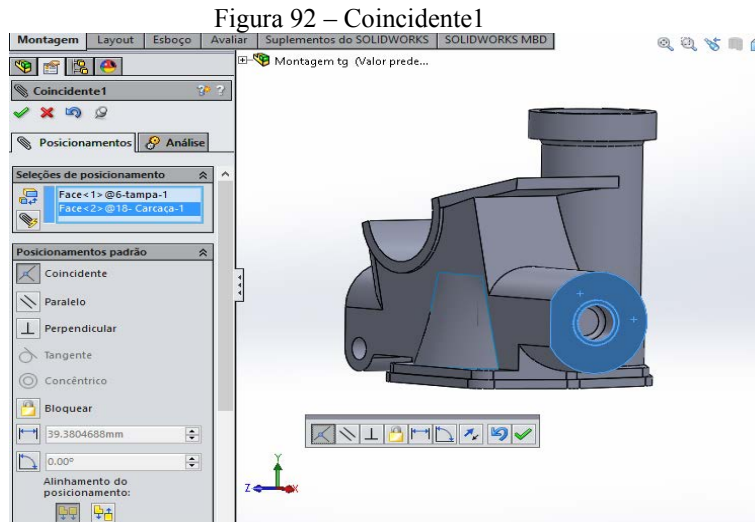
Para o posicionamento da tampa é selecionada sua face externa e face interior do furo da carcaça onde fica alojado o sem-fim. Então é selecionado o comando concêntrico.

Figura 91 – Concêntrico1



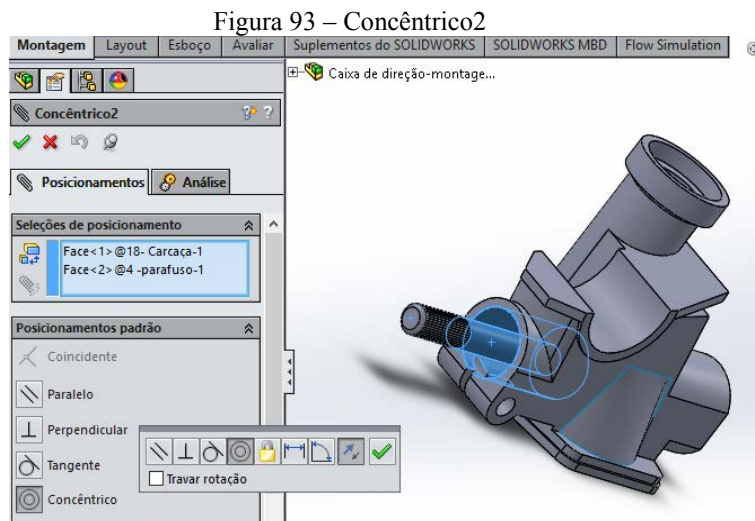
Fonte: (Autor, 2016)

Em seguida é aplicado o comando Coincidente, as faces selecionadas em azul (figura 92) da carcaça e tampa. Posicionando corretamente a tampa como no desenho técnico de montagem.



Fonte: (Autor, 2016)

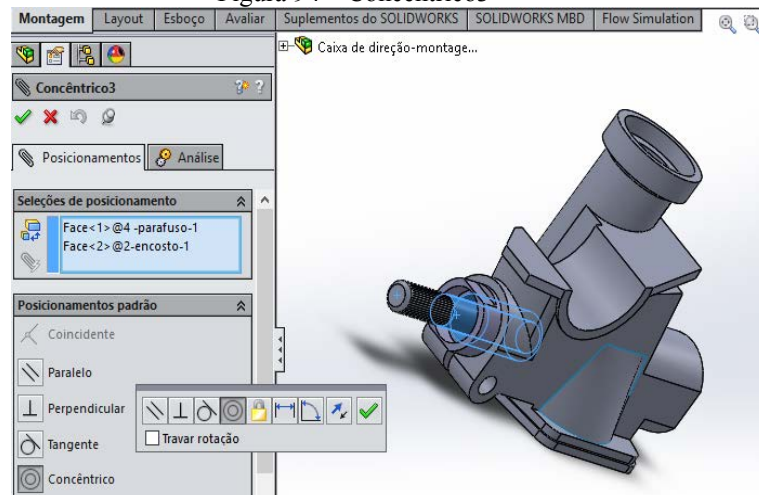
A próxima peça a ser inserida é o parafuso sem-fim, como no primeiro comando, é utilizado o posicionamento Concêntrico, sendo selecionada a superfície externa do parafuso e interna da carcaça em azul (figura 93).



Fonte: (Autor, 2016)

Na sequencia é inserido o encosto entre o sem-fim e a carcaça, sendo repetido o mesmo comando de concentricidade.

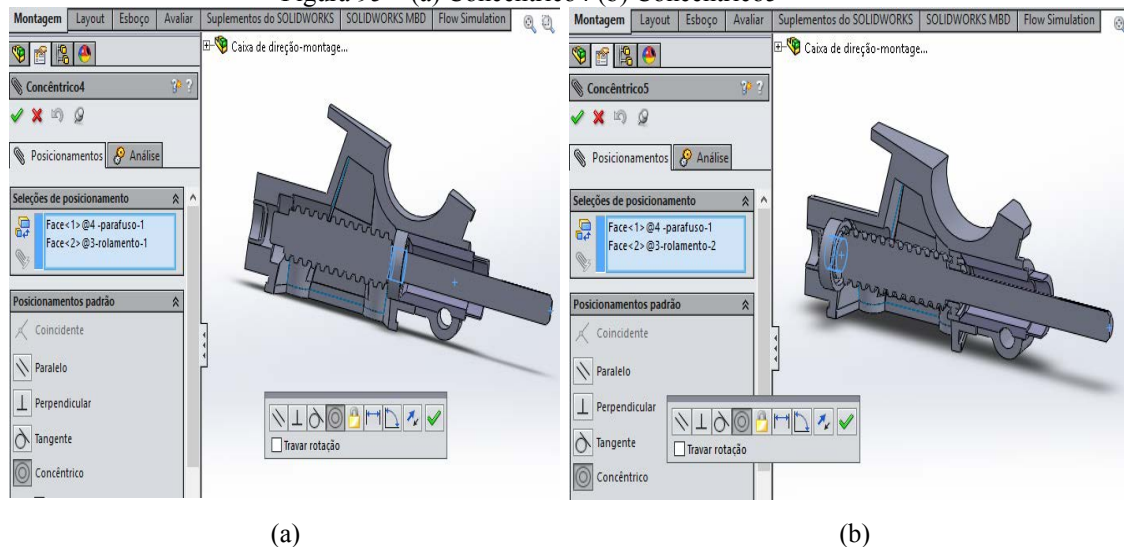
Figura 94 – Concêntrico3



Fonte: (Autor, 2016)

São então inseridos dois rolamentos que são posicionados concêntricos ao parafuso sem-fim.

Figura 95 – (a) Concêntrico4 (b) Concêntrico5



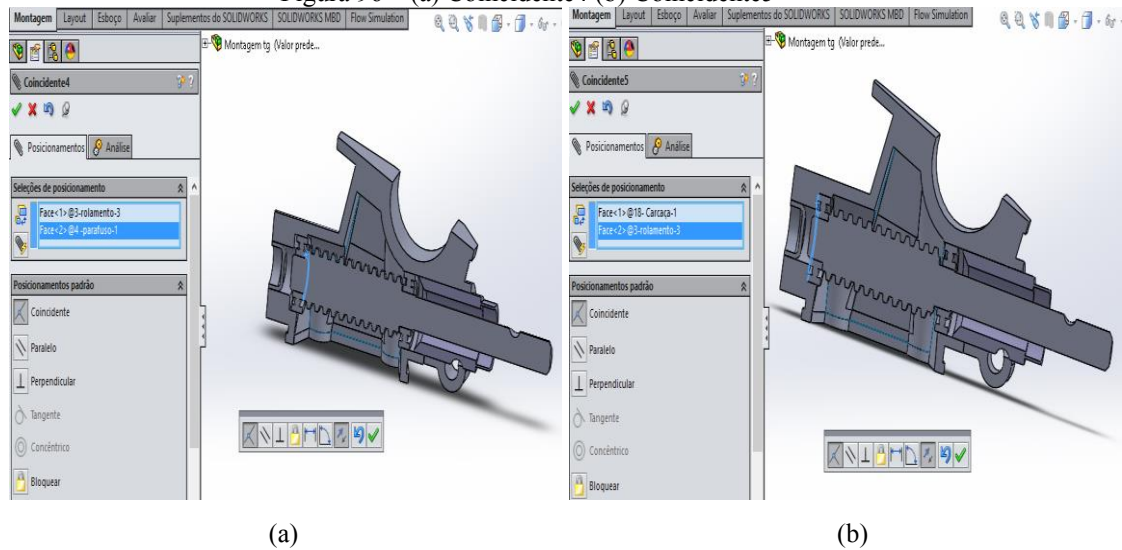
(a)

(b)

Fonte: (Autor, 2016)

O próximo passo é posicionar mais precisamente o rolamento, como é verificado no desenho técnico do sem-fim, os valores de tolerância indicam a posição em que deve ser posicionado o rolamento, mais a tolerância da carcaça. Para isso são aplicados dois comandos de coincidências seguidos, o primeiro da face do rolamento com a face do parafuso em azul (figura 96a) e o segundo da face oposta do rolamento com a face da carcaça em azul (figura 96b).

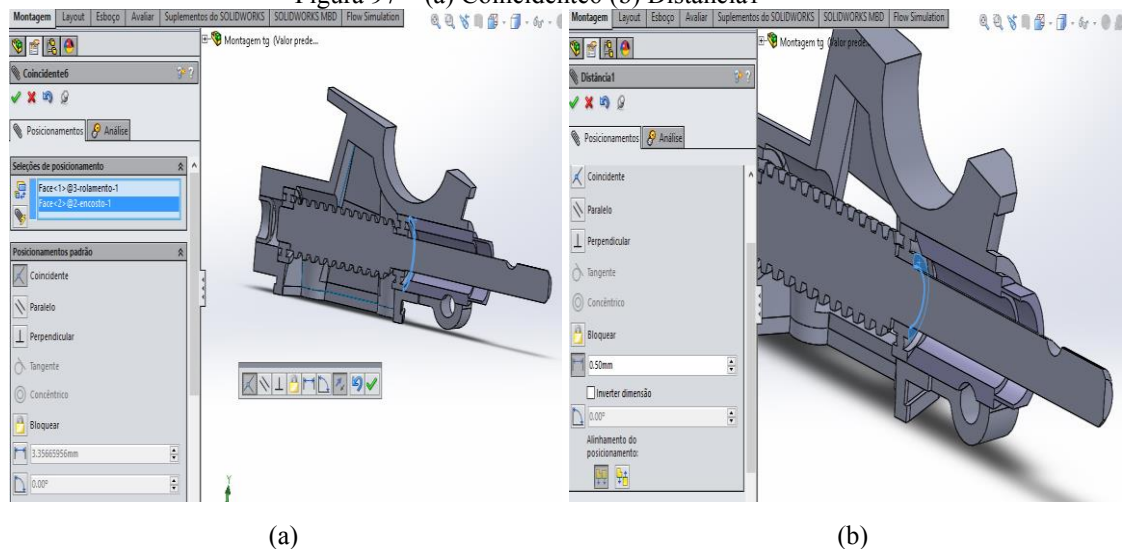
Figura 96 – (a) Coincidente4 (b) Coincidente5



Fonte: (Autor, 2016)

Para o posicionamento do segundo rolamento, é utilizado o comando Coincidente, sendo selecionada a face do rolamento e a face do encosto em azul (figura 97 a), definindo em conjunto o encosto. Em seguida é utilizado o posicionamento Distância, nele é definida uma distancia de 0,5 mm entre as faces do rolamento e do parafuso selecionadas em azul (figura 97 b), assim posicionando o rolamento corretamente entre o sem-fim e a carcaça.

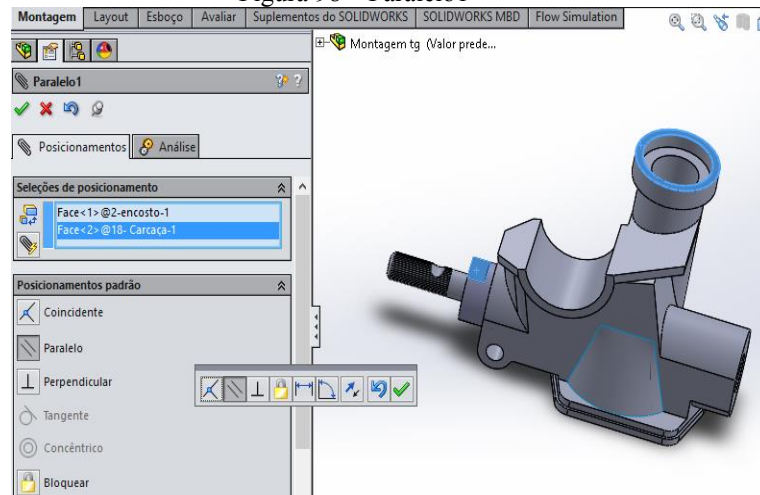
Figura 97 – (a) Coincidente6 (b) Distância1



Fonte: (Autor, 2016)

No comando seguinte é aplicado o posicionamento Paralelo, a face do encosto e da carcaça em azul são selecionadas, alinhando dessa maneira o encosto corretamente.

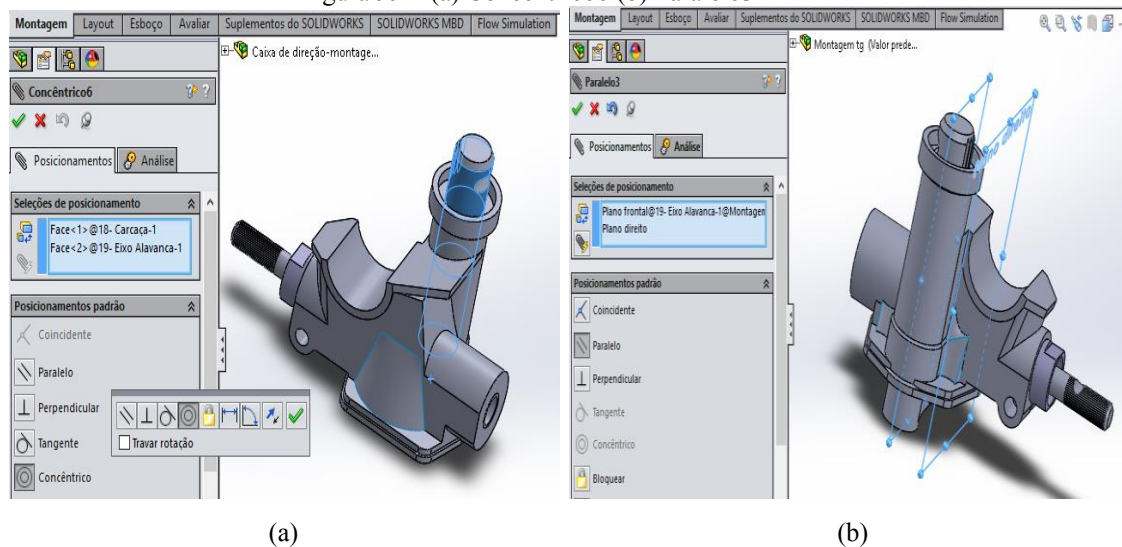
Figura 98 – Paralelo1



Fonte: (Autor, 2016)

O eixo alavanca é posicionado na carcaça através do comando concêntrico. É então alinhado seu plano frontal com o plano direito de montagem.

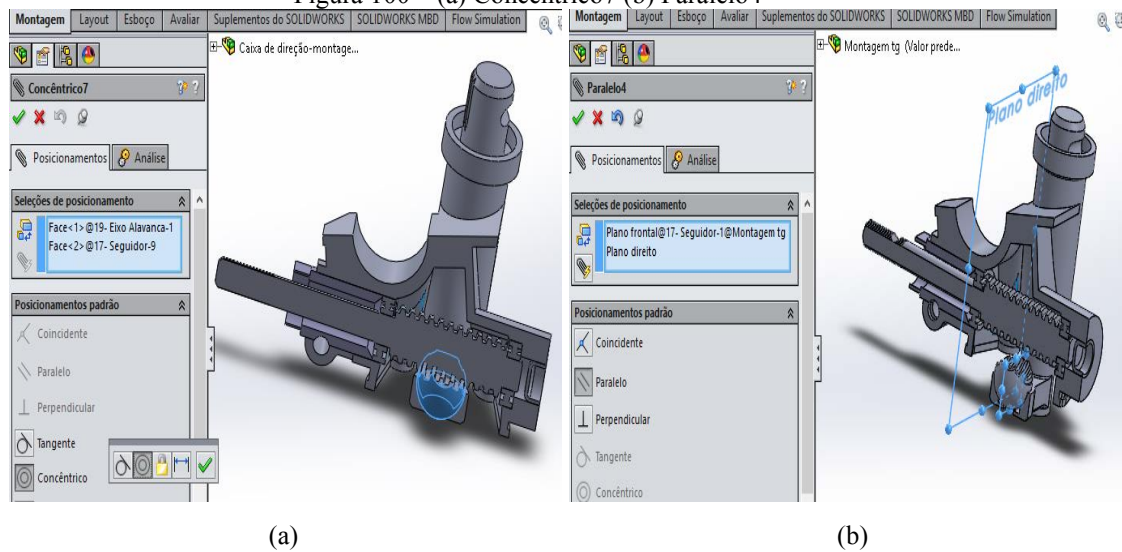
Figura 99 – (a) Concêntrico6 (b) Paralelo3



Fonte: (Autor, 2016)

O próximo componente a ser inserido é o seguidor primeiramente ele é posicionado no eixo alavanca utilizado o comando concêntrico. Em seguida ele alinhado com o plano direito da montagem.

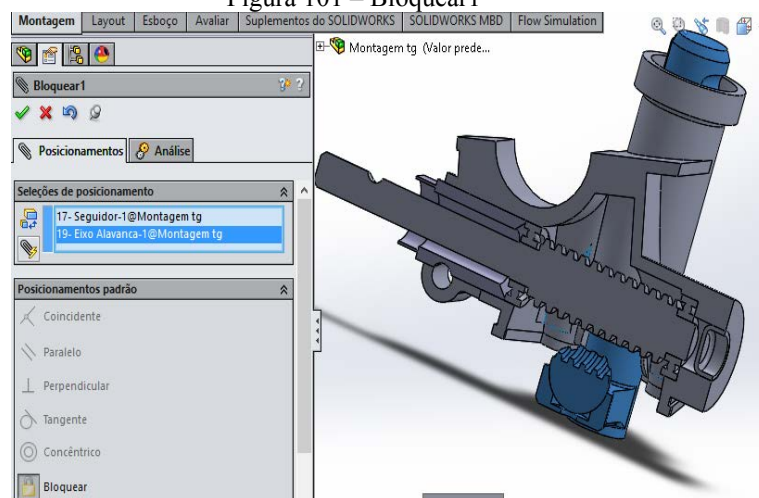
Figura 100 – (a) Concêntrico7 (b) Paralelo4



Fonte: (Autor, 2016)

Por fim, o seguidor é fixo ao eixo alavanca por terem o movimento conjunto, sendo utilizado o posicionamento bloquear.

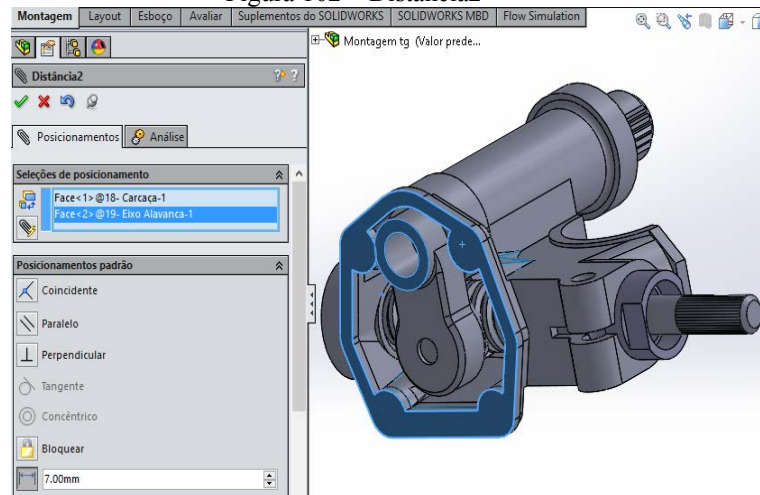
Figura 101 – Bloquear1



Fonte: (Autor, 2016)

No próximo posicionamento é definida a distancia de 7,00 mm entre as faces em azul do eixo alavanca e a carcaça, para que se tenha um encaixe perfeito com tampa.

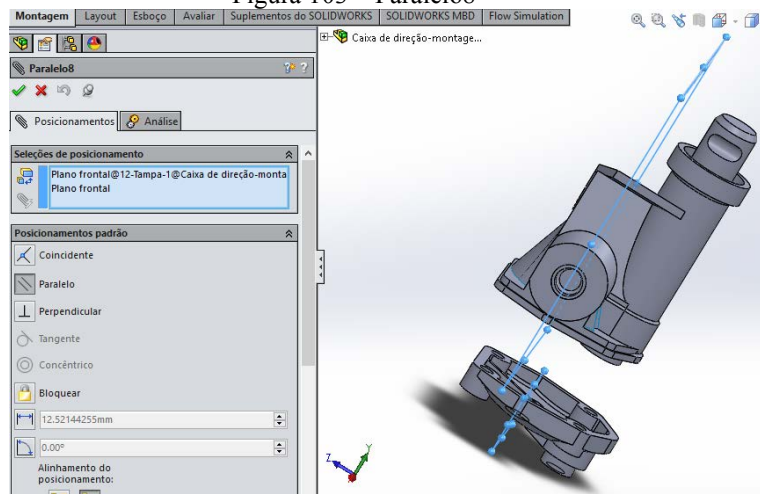
Figura 102 – Distância2



Fonte: (Autor, 2016)

A tampa da carcaça é agora inserida e alinhada e alinhada com o plano de montagem

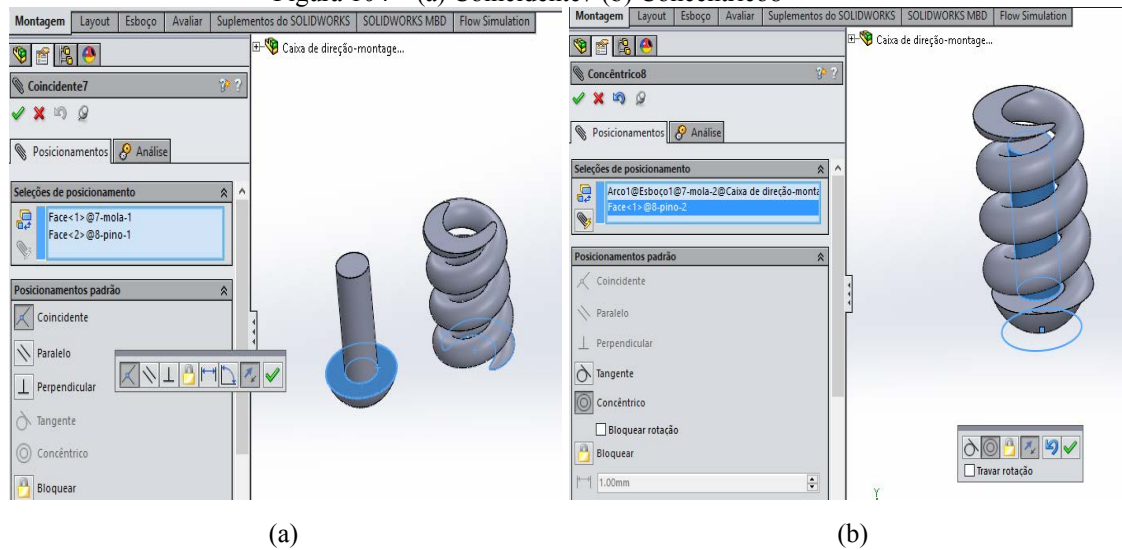
Figura 103 – Paralelo8



Fonte: (Autor, 2016)

A parte da montagem, o pino e a mola são inseridos, sendo aplicados os posicionamentos de coincidência e concentricidade.

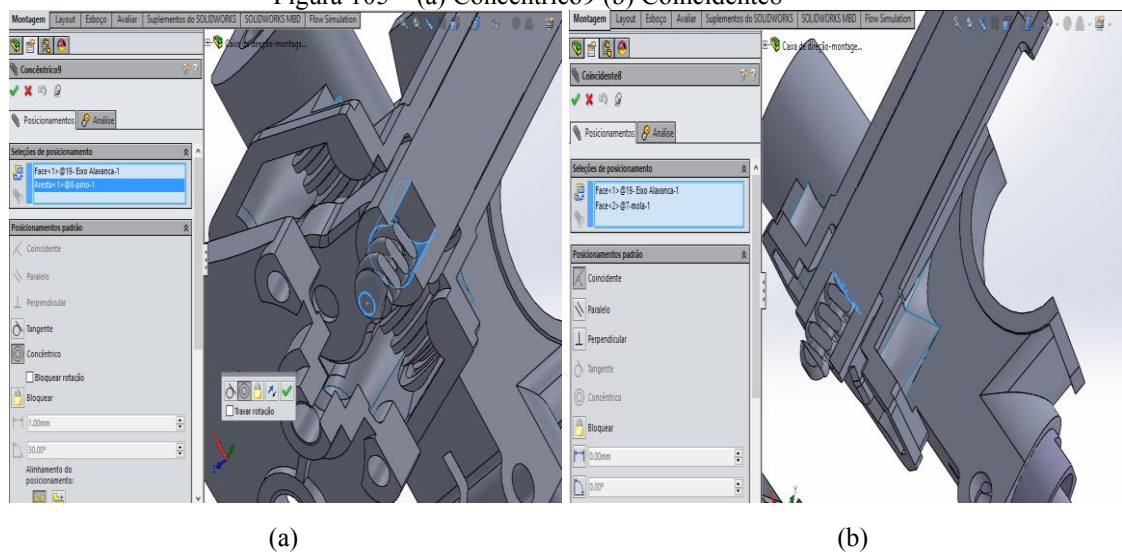
Figura 104 – (a) Coincidente7 (b) Concêntrico8



Fonte: (Autor, 2016)

Para poder-se então posicioná-los na montagem, através novamente dos comandos concêntrico e coincidente, sendo alojados na face em azul do eixo alavanca (figura 105).

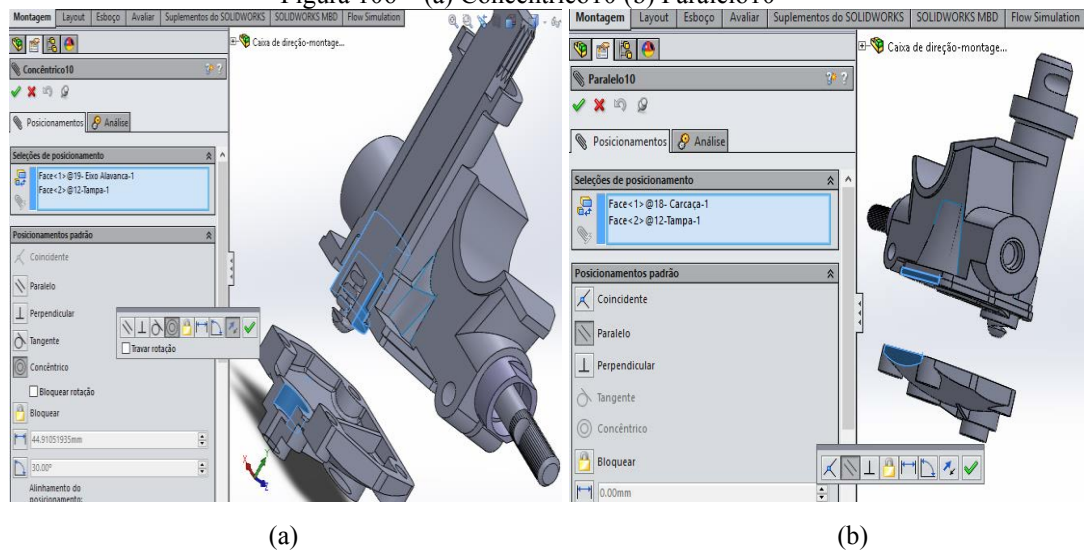
Figura 105 – (a) Concêntrico9 (b) Coincidente8



Fonte: (Autor, 2016)

Com a conclusão da inserção do pino, a tampa pode ser posicionada. São utilizados os comandos de Concêntrico e Paralelo, sendo as seleções do posicionamento marcadas em azul (figura 106).

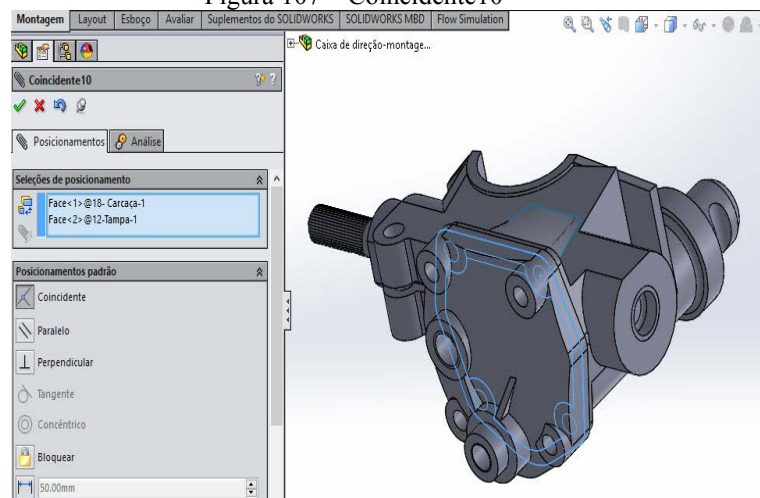
Figura 106 – (a) Concêntrico10 (b) Paralelo10



Fonte: (Autor, 2016)

Com o comando Coincidente a tampa é posicionada no conjunto. As faces da carcaça e da tampa em azul são selecionadas

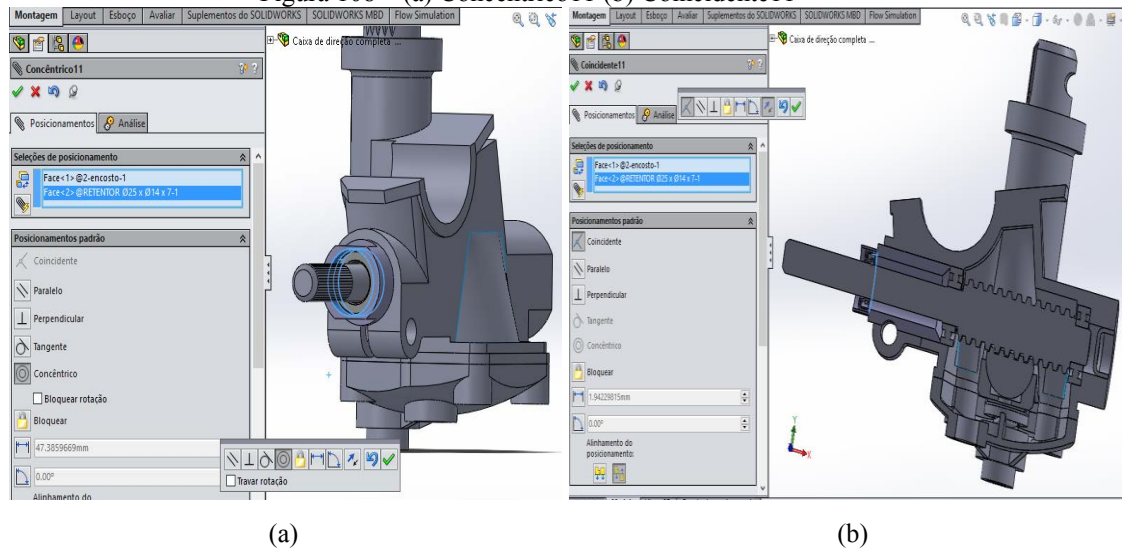
Figura 107 – Coincidente10



Fonte: (Autor, 2016)

O próximo componente se trata do retentor ele é posicionado seguindo a montagem do desenho técnico entre o encosto e o sem-fim. Sendo utilizados os comandos Concêntrico e Coincidente.

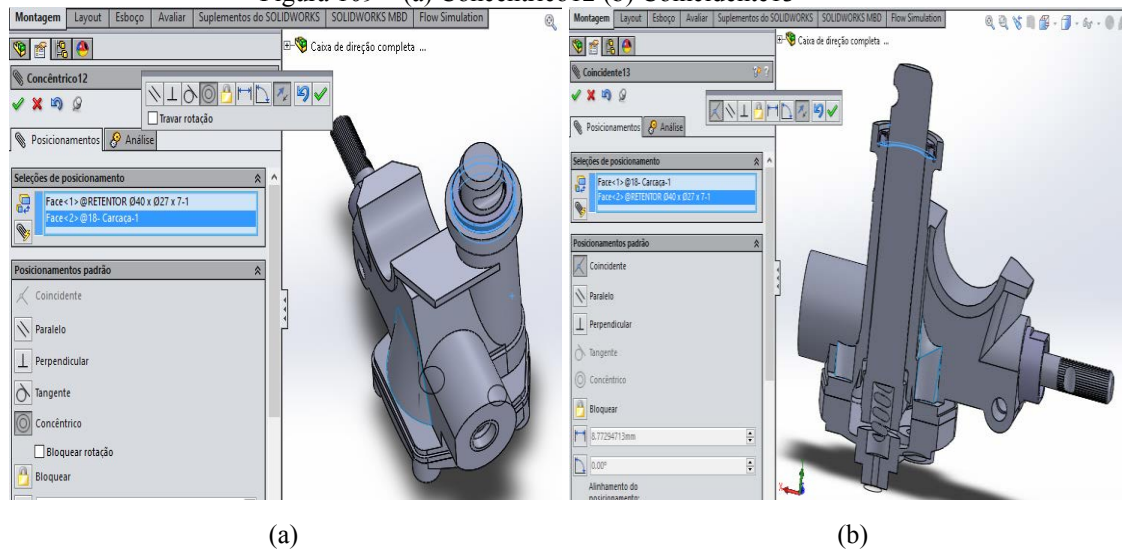
Figura 108 – (a) Concêntrico11 (b) Coincidente11



Fonte: (Autor, 2016)

Um segundo retentor é posicionado entre o eixo alavanca e a carcaça, com os mesmos comandos usados previamente.

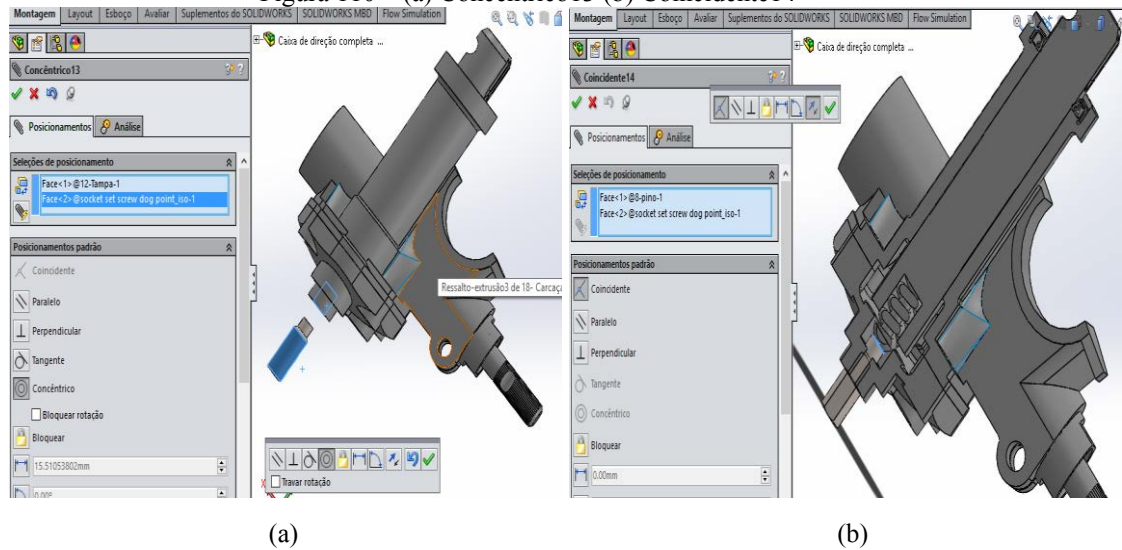
Figura 109 – (a) Concêntrico12 (b) Coincidente13



Fonte: (Autor, 2016)

Na sequência é posicionado o parafuso prisioneiro utilizando os comandos concêntrico e coincidente.

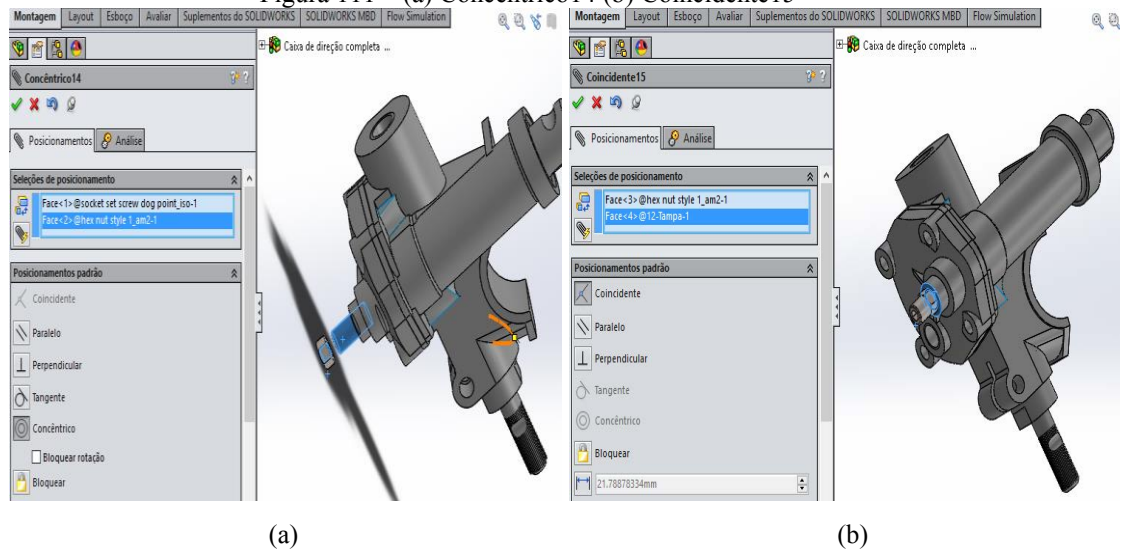
Figura 110 – (a) Concêntrico13 (b) Coincidente14



Fonte: (Autor, 2016)

Com os mesmos movimentos é posicionada a porca que fixa o parafuso prisioneiro.

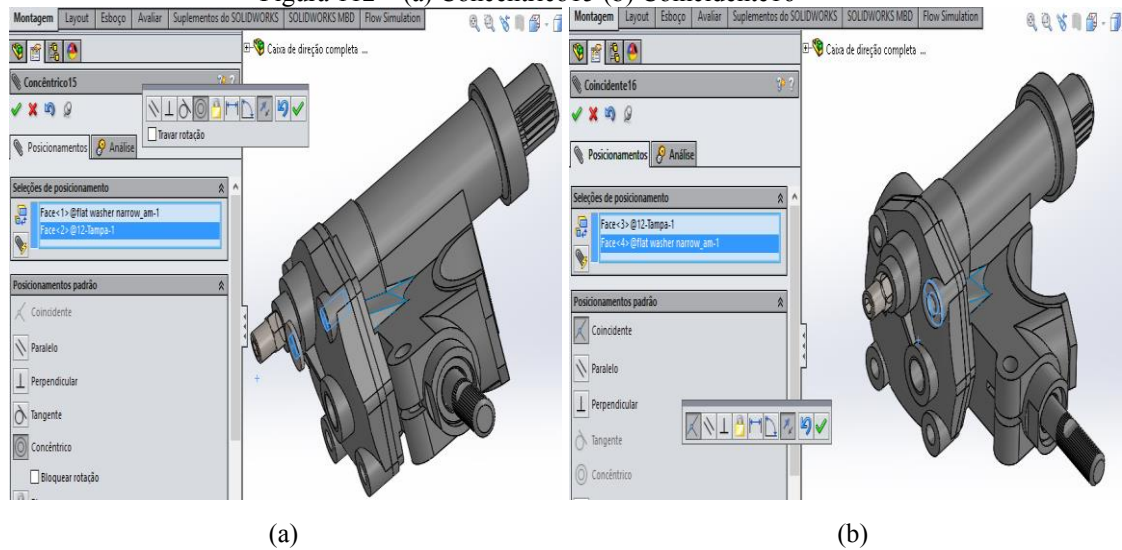
Figura 111 – (a) Concêntrico14 (b) Coincidente15



Fonte: (Autor, 2016)

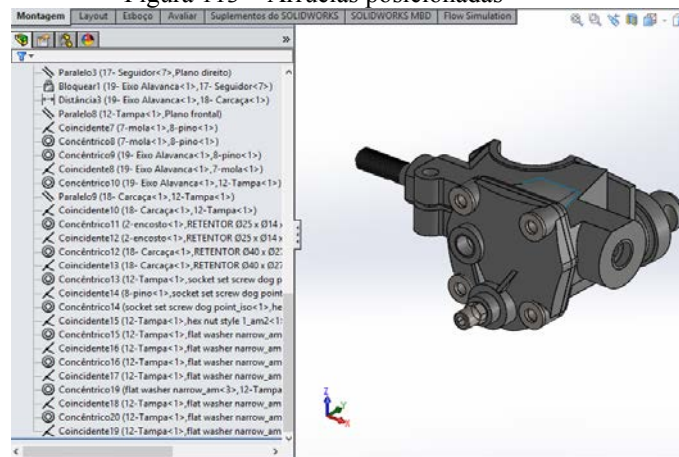
Seguindo a mesma lógica a arruela é posicionada usando os mesmo comandos, sendo eles repetidos pra as três arruelas seguintes. A arruela é um elemento retirado do toolbox que apresenta a opção de alterar suas dimensões através de uma caixa de comando, sem necessidade de redesenhar.

Figura 112 – (a) Concêntrico15 (b) Coincidente16



Fonte: (Autor, 2016)

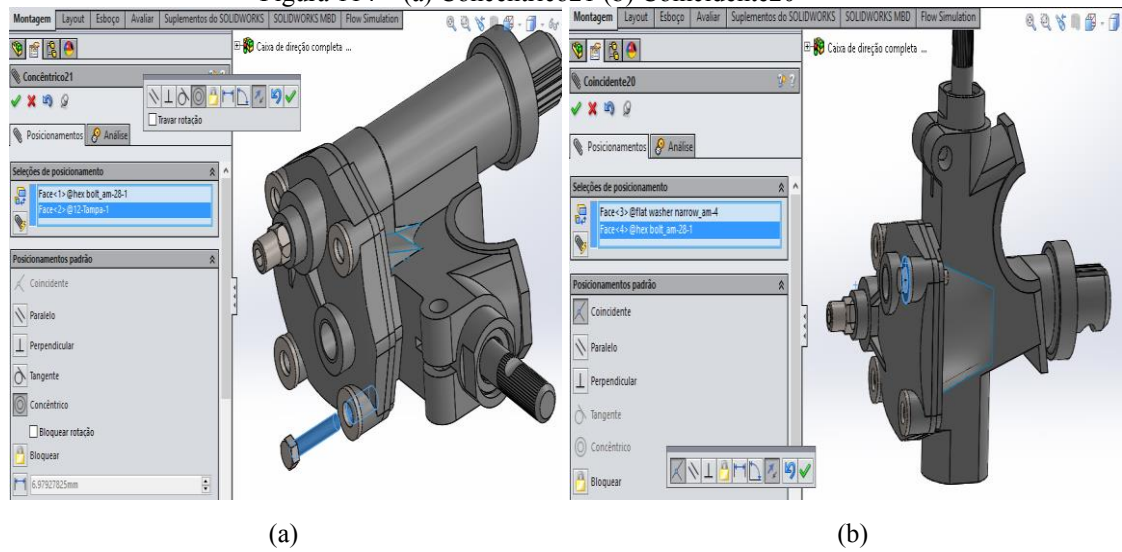
Figura 113 – Arruelas posicionadas



Fonte: (Autor, 2016)

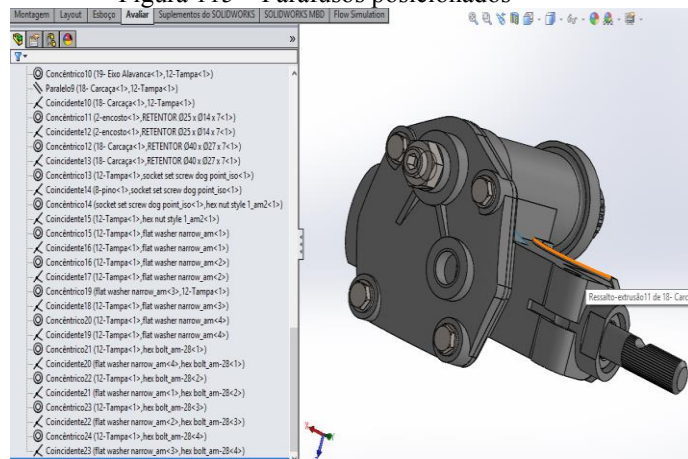
O mesmo vale para os parafusos de fixação da tampa que se posicionam coincidentes com a arruela e concêntricos com a tampa, sendo repetidos os mesmos passos para os três parafusos seguintes.

Figura 114 – (a) Concêntrico21 (b) Coincidente20



Fonte: (Autor, 2016)

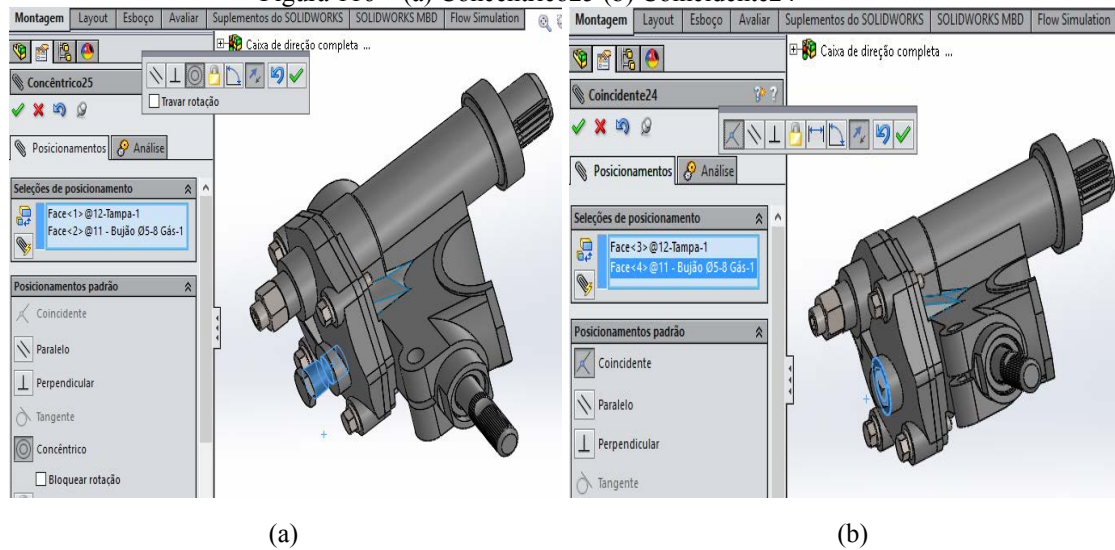
Figura 115 – Parafusos posicionados



Fonte: (Autor, 2016)

O bujão é posicionado utilizando os comandos concêntrico e coincidente novamente.

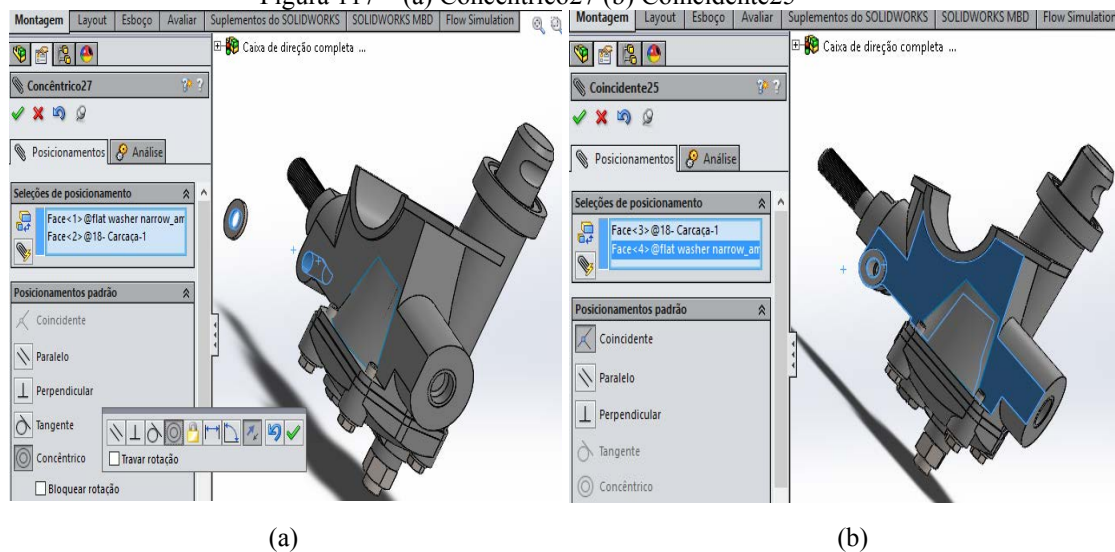
Figura 116 – (a) Concêntrico25 (b) Coincidente24



Fonte: (Autor, 2016)

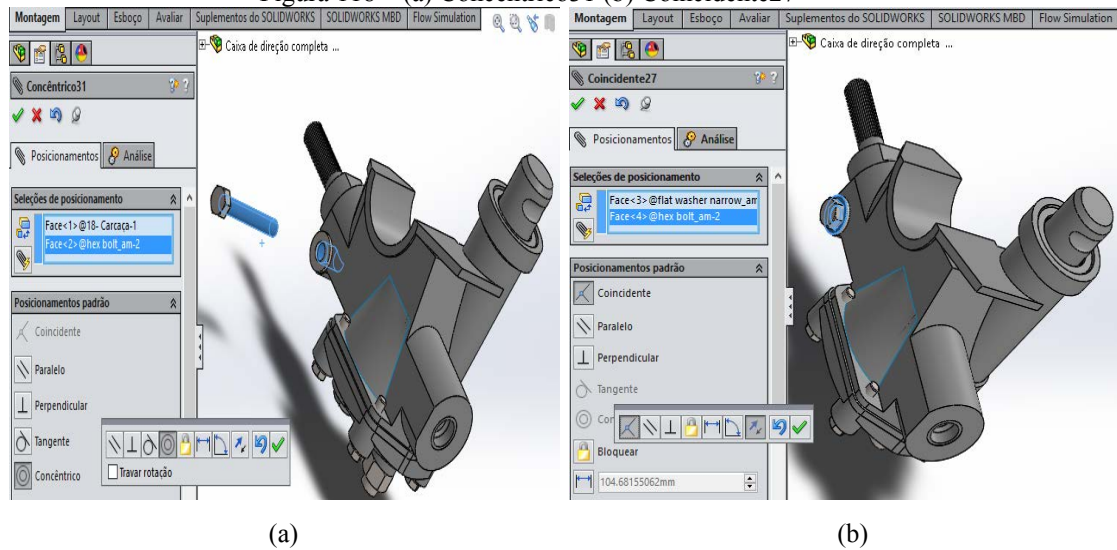
Por ultimo é realizado uma sequencia de comandos utilizando os mesmos passos de montagem, Concêntrico e Coincidente. Sendo fixados arruela, parafuso e porca.

Figura 117 – (a) Concêntrico27 (b) Coincidente25



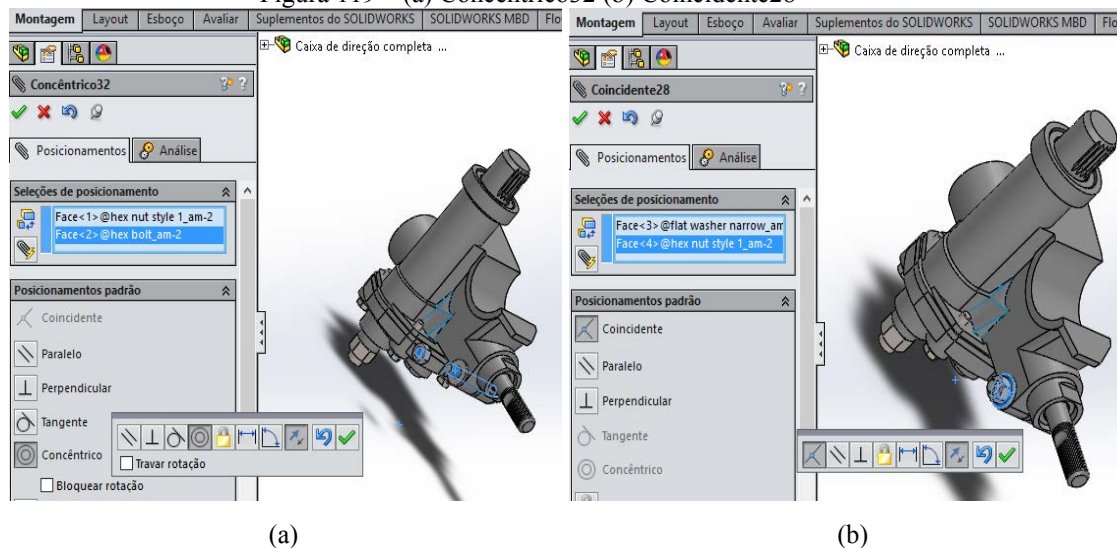
Fonte: (Autor, 2016)

Figura 118 – (a) Concêntrico31 (b) Coincidente27



Fonte: (Autor, 2016)

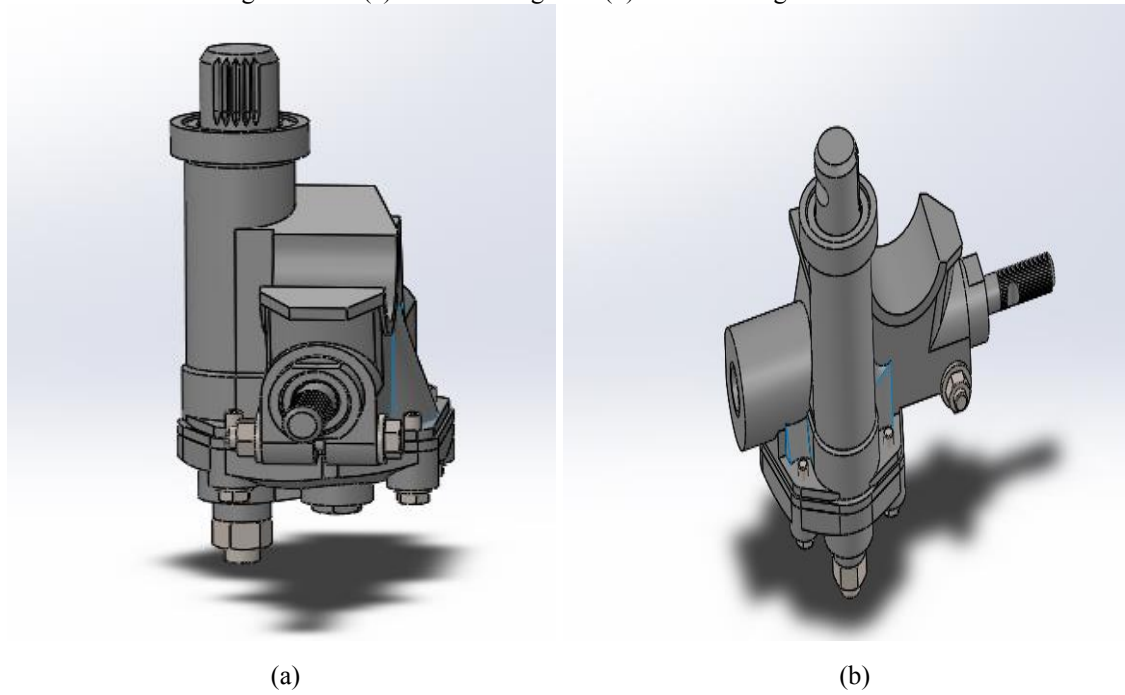
Figura 119 – (a) Concêntrico32 (b) Coincidente28



Fonte: (Autor, 2016)

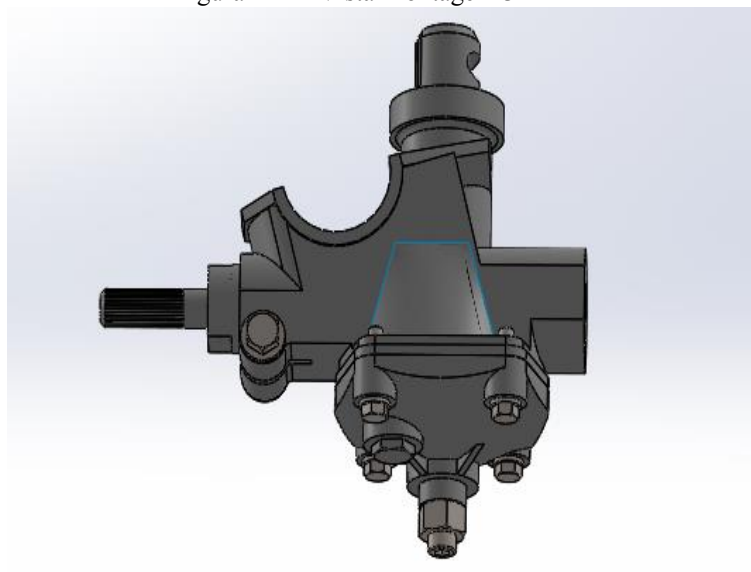
A montagem de um conjunto mecânico é um trabalho no qual é necessária atenção e saber interpretar os dados que o desenho técnico oferece. Definir os planos de referência, procurando sempre planejar antes de executar e montar uma lógica de encaixe. Encaixar uma peça preferencialmente relacionada a apenas uma para que os encaixes possam ser identificados de forma simples e rápida. São maneiras para facilitar a montagem e evitar retrabalho. É apresentada a caixa direção completa montada nas figuras 120 e 121 e a vista explodida na figura 122.

Figura 120 – (a) Vista Montagem 1 (b) Vista Montagem 2



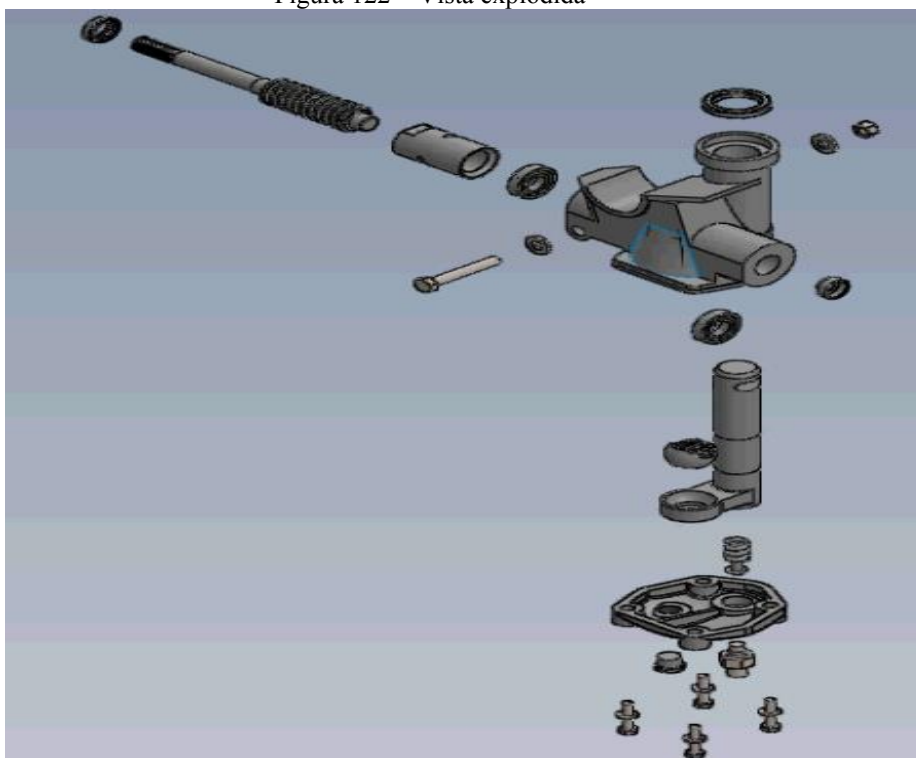
Fonte: (Autor, 2016)

Figura 121 – Vista Montagem 3



Fonte: (Autor, 2016)

Figura 122 – Vista explodida



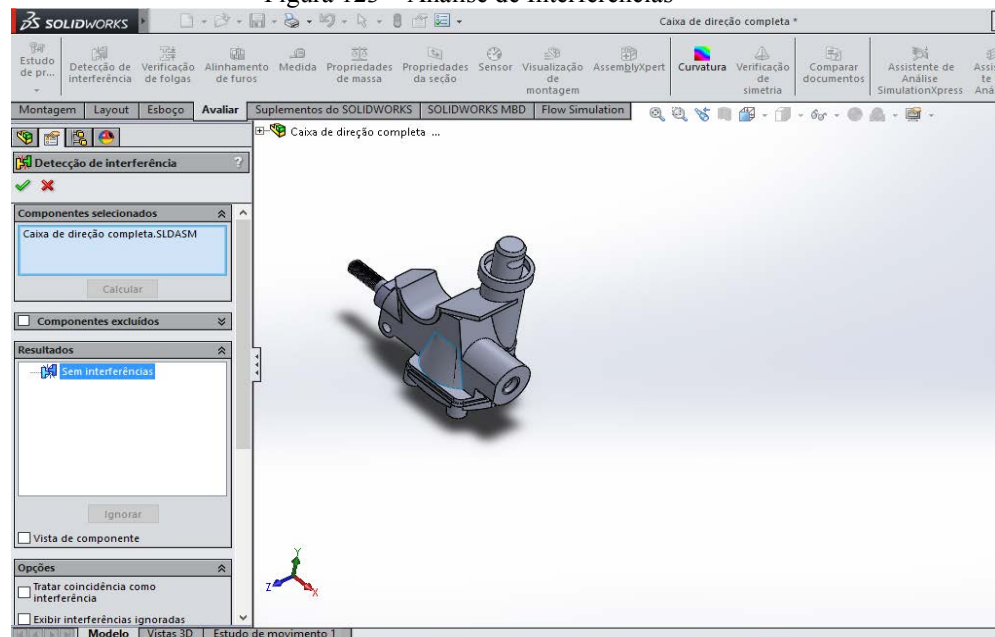
Fonte: (Autor, 2016)

4.3 INTERFÊRENCIA NA MONTAGEM

O SolidWorks apresenta uma ferramenta onde é possível avaliar a interferência entre os componentes da montagem na caixa de direção, assim é possível verificar durante a montagem se os comandos utilizados para a união entre as peças não geraram interferências entre elas, ou seja, nenhuma peça entrando na outra, encavalando ou invadindo a massa de outra. A partir dessa ferramenta é possível verificar durante a montagem que não foi cometido nenhum erro no posicionamento das peças.

Dessa forma, durante a montagem quando as peças foram posicionadas, foi realizada a verificação no ambiente de montagem, clicando-se na aba Avaliar e após no ícone de Detecção de interferência, aparece à caixa de direção como selecionada, então é calculado se existe alguma interferência, podendo ser verificado na figura 123 que a montagem não apresenta interferências entre os componentes.

Figura 123 – Análise de Interferências



Fonte: (Autor, 2016)

5 TOLERÂNCIA NA MONTAGEM

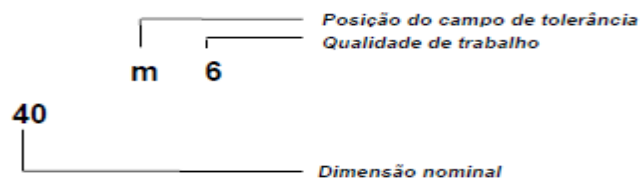
No desenho técnico são apresentados os valores de tolerâncias para o eixo do parafuso sem-fim e eixo alavanca e o corte na carcaça, a tolerância é o valor da variação permitida na dimensão de uma peça, em termos práticos é a diferença tolerada entre as dimensões máxima e mínima de uma dimensão nominal.

A maior aplicação da tolerância é na execução de peças em série possibilitando a intercambiabilidade delas.

No desenho técnico as tolerâncias são representadas pela norma ISO adotada pela ABNT. Segundo Braga (2008) o sistema ISO, consiste numa serie de princípios, regras e tabelas que permitem a escolha racional de tolerâncias na produção de peças.

A tolerância ISO é representada por uma letra e um numeral colocados à direita da cota. A letra representa a posição do campo de tolerância e o numeral a qualidade do trabalho.

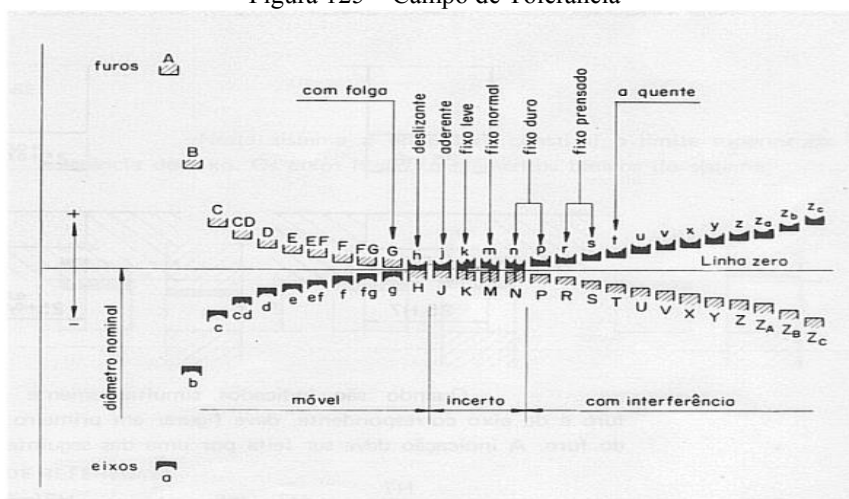
Figura 124 – Representação ISO



Fonte: (SENAI, 1996)

Braga (2008) afirma que os campos de tolerância são um conjunto de valores compreendidos entre as dimensões máxima e mínima, sendo as maiúsculas para furos e as minúsculas pra eixos.

Figura 125 – Campo de Tolerância



Fonte: (<http://tecmechanico.blogspot.com.br/2014/07/tolerancia-e-ajustes.html>)

A qualidade do trabalho pode ser definida como o grau de tolerância e acabamento das peças, ela varia de acordo com a função que as peças desempenham no conjunto, sendo classificadas em dezoito qualidades de trabalho.

Figura 126 – Qualidade de Trabalho

		Qualidade de Trabalho																	
		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
Eixos	Furos	mecânica extra-precisa						mecânica corrente								mecânica grosseira			

Fonte: (<http://tecmechanico.blogspot.com.br/2014/07/tolerancia-e-ajustes.html>)

Existem dois tipos de sistemas de ajustes: o sistema Furo-base e o sistema Eixo base. O sistema Furo-base é o sistema pelo qual todas as classes de ajuste as medidas mínimas dos furos são iguais à medida nominal, enquanto que o Eixo-base às medidas mínimas dos eixos são iguais à medida nominal.

O sistema furo-base é normalmente adotado para todos os acoplamentos entre eixos polias, engrenagens, pelo fato de que é normalmente mais fácil de usar-se uma dimensão externa do que uma interna. Por esse motivo, o acoplamento entre a carcaça e o eixo alavanca da caixa de direção utiliza o sistema Furo-base. Segundo Braga (2008) nesse sistema a linha zero constitui o limite inferior da tolerância do furo.

Figura 127 – Sistemas de Ajustes



Fonte: (Rodrigues, 2013)

Analizando as tolerâncias utilizadas nas peças, ao realizar a montagem do eixo alavanca na carcaça é proposta a seguinte relação de tolerância 27 H7/h6 indicada na representação ISO, analisando o caso e o tipo de ajuste utilizando na montagem desse componente na tabela 2, verifica-se o seguinte caso de emprego para a relação utilizada: peças imóveis uma em relação à outra, desmontagem e remontagem sem danificar as peças, acoplamento não pode transmitir esforços e montagem possível à mão.

Analizando o tipo de movimento do eixo alavanca e sua aplicabilidade de transmitir o movimento ao braço de direção, acredita-se que o tipo de tolerância proposto no desenho técnico mecânico utiliza uma relação de tolerância muito justa. Propõe-se dessa forma a manutenção do sistema Furo-base H7, porém utilizando a tolerância g6 para o eixo. Dessa forma tendo a relação H7/g6 que é utilizada para peças móveis uma em relação à outra e com guia precisa para movimentos de pequena amplitude. Os valores dos afastamentos para furos e eixos podem ser verificados nas tabelas 6, 7, 8 e 9.

Tabela 2 – Ajuste usualmente utilizados

AJUSTES USUALMENTE UTILIZADOS										
Casos para emprego				Eixos (afastamento)	Furos					
					H6	H7	H8	H9	H11	
					Eixos (IT)					
Peças móveis uma em relação à outra	Peça onde o funcionamento necessite de uma grande folga. (dilatação, mau alinhamento, etc)			c				9	11	
				d				9	11	
	Casos comuns de peças que giraram ou deslizam em anéis ou guias. (deve-se assegurar boa lubrificação)			e		7	8	9		
				f	6	6-7	7			
	Peças com guia precisa para movimentos de pequena amplitude			g	5	6				
Peças imóveis uma em relação à outra	Desmontagem e remontagem possível sem danificar as peças	O acoplamento não pode transmitir esforços	Montagem possível à mão	h	5	6	7	8		
				js	5	6				
			Montagem por golpe	k	5					
				m		6				
	Desmontagem impossível sem danificar as peças	O acoplamento pode transmitir esforços	Montagem com prensa	p		6				
				s			7			
			Montagem com prensa ou por dilatação	u			7			
				x			7			
				z			7			

 Graus de tolerância padrão mais utilizados

(Fonte: Andretta, 2012)

Tolerância de fabricação entre a carcaça e o eixo alavanca proposto é de: 27 H7/g6

FURO: 27 H7

- Qualidade de trabalho: IT 7 (preciso)
- Dimensão nominal [mm]: $D = 27$
- Posição no campo de tolerância: H (Sistema Furo Base)
- Afastamento superior [μm]: $A_s = 21$
- Afastamento inferior [μm]: $A_i = 0$
- Dimensão máxima [mm]: $D_{\text{máx}} = D + A_s = 27 + (0,021) = 27,021$
- Dimensão mínima [mm]: $D_{\text{mín}} = D + A_i = 27$
- Tolerância de fabricação [μm]: $t_e = A_s - A_i = 21 - 0 = 21$

Indicação: $27^{+0}_{+0,021}$

EIXO: 27 g6

- Qualidade de trabalho: IT 6 (preciso)
- Dimensão nominal [mm]: $D = 27$
- Posição no campo de tolerância: g
- Afastamento superior [μm]: $a_s = -7$

- Afastamento inferior [μm]: $a_i = -20$
- Dimensão máxima [mm]: $D_{\text{máx}} = D + a_s = 27 + (-0,007) = 26,993$
- Dimensão mínima [mm]: $D_{\text{mín}} = D + a_i = 27 + (-0,020) = 26,980$
- Tolerância de fabricação [μm]: $t_e = a_s - a_i = -7 - (-21) = 14$

Indicação: $27^{-0,007}_{-0,020}$

AJUSTE: 27 H7/g6

- Folga máxima [μm]: $F = A_s - a_i = 21 - (-20) = 41$
- Folga mínima [μm]: $f = A_i - a_s = 0 - (-7) = 7$
- Ajuste com folga, livre, normal.

Na montagem dos rolamentos é proposta a tolerância de 15 k5 para o eixo (parafuso sem-fim) e 32 M7 para o furo (carcaça) onde será alojado o rolamento. Na especificação do desenho técnico vemos que se trata de um rolamento do tipo 6002.

Existem vários fornecedores de rolamentos, eles adotam numerações parecidas para os rolamentos. Embora sejam muito parecidos, para uma definição mais precisa da tolerância é indicado verificar as tolerâncias propostas para eixos e alojamentos de cada fabricante.

Ao analisar o tipo de tolerância e ajuste que devemos aplicar no parafuso sem-fim e na carcaça, devemos analisar a carga e a rotação do rolamento, verificando a tabela 3 fornecida pela NTN, conclui-se que o rolamento encaixa no primeiro caso, carga rotativa no anel interno devendo ser utilizado ajuste por interferência.

Com a avaliação do tipo de carga é possível definir qual tolerância deve ser aplicado no eixo, examinando a tabela 4, na opção de carga rotativa no anel interno e carga normal para a dimensão de 15 mm o ideal seria uma tolerância js5, diferentemente da tolerância k5 proposta no *Provenza*. Porém devido à proximidade mantém-se a mesma tolerância.

EIXO: 15 k5

- Qualidade de trabalho: IT 5
- Dimensão nominal [mm]: $D = 15$
- Posição no campo de tolerância: g
- Afastamento superior [μm]: $a_s = 9$
- Afastamento inferior [μm]: $a_i = 1$
- Dimensão máxima [mm]: $D_{\text{máx}} = D + a_s = 15 + (0,009) = 15,009$

- Dimensão mínima [mm]: $D_{\min} = D + a_i = 15 + (0,001) = 15,001$
- Tolerância de fabricação [μm]: $t_e = a_s - a_i = 9 - 1 = 8$

Indicação: $15^{+0,009}_{+0,001}$

Examina-se então o ajuste que é indicado para o alojamento do rolamento na carcaça, analisando a tabela 5, verificam-se as condições que o rolamento será alojado: considerando alojamento inteiro e que o deslocamento do anel externo do rolamento não é possível, a partir dessas características chega-se ao ajuste de tolerância M7, que se assemelha ao proposto no desenho técnico.

FURO: 32 M7

- Qualidade de trabalho: IT 7 (preciso)
- Dimensão nominal [mm]: $D = 32$
- Posição no campo de tolerância: M
- Afastamento superior [μm]: $A_s = 34$
- Afastamento inferior [μm]: $A_i = 9$
- Dimensão máxima [mm]: $D_{\max} = D + A_s = 32 + 0,034 = 32,034$
- Dimensão mínima [mm]: $D_{\min} = D + A_i = 32 + 0,009 = 32,009$
- Tolerância de fabricação [μm]: $t_e = A_s - A_i = 34 - 9 = 23$

Indicação: $32^{+0,034}_{+0,009}$

Tabela 3 – Carga radial e ajuste de rolamento

Ilustração	Rotação do rolamento	Carga do anel	Ajuste
Carga estática	Anel interno: com rotação Anel externo: estacionário	Carga rotativa no anel interno	Anel interno: ajuste por interferência
Carga deslocada	Anel interno: estacionário Anel externo: com rotação	Carga estática no anel externo	Anel externo: ajuste com folga
Carga estática	Anel interno: estacionário Anel externo: com rotação	Carga estática no anel interno	Anel interno: Ajuste com folga
Carga deslocada	Anel interno: com rotação Anel externo: estacionário	Carga rotativa no anel externo	Anel externo: Ajuste por interferência

Fonte: (NTN, 2013)

Tabela 4 – Ajuste de eixos para rolamentos radiais

Condições		Rolamentos de esferas		Rolamentos de rolos cilíndricos		Rolamentos autocompensadores de rolos		Tolerância	Observações
		Diâmetro do eixo (mm)							
		Acima	Inclusive	Acima	Inclusive	Acima	Inclusive		
Rolamentos radiais com furo cilíndrico (Classes 0, 6X e 6)									
Direção da carga não terminada ou carga rotativa no anel interno	Carga leve ou flutuante e variável	—	18	—	—	—	—	h5	Quando é exigida uma precisão mais alta, js5, k5 e m5 devem ser substituídas por js6, k6 e m6.
		18	100	—	40	—	—	js6	
		100	200	40	140	—	—	k6	
	Carga normal	—	18	—	—	—	—	h5	A alteração da folga interna para acomodar o ajuste não é considerado para rolamentos de contato angular de uma carreira e rolamentos de rolos cônicos. Portanto, k5 e m5 devem ser substituídos por k6 e m6.
		18	100	—	40	—	40	js5	
		100	140	40	100	40	65	k5	
		140	200	100	140	65	100	m5	
		200	280	140	200	100	140	m6	
		—	—	200	400	140	280	p6	
		—	—	—	—	280	500	r6	
	Carga pesada ou de choque	—	—	50	140	50	100	n6	Use rolamentos com folga interna maior que a normal.
		—	—	140	200	100	140	p6	
—		—	200	—	140	200	r6		
Carga estática no anel interno	Possibilidade de deslocamento axial do anel interno	Todos os diâmetros de eixos						g6	Quando é exigida uma precisão mais alta, use g5, para rolamentos grandes, t6 pode ser aplicado.
	Desnecessário o deslocamento axial do anel interno	Todos os diâmetros de eixos						h6	Quando é exigida uma precisão mais alta, use h5.
Carga axial central		Todos os diâmetros de eixos						js6	Em geral, dependendo do ajuste, o eixo e os anéis internos não são fixos.
Rolamentos com furo cônico (classe 0) com buchas adaptadoras e de desmontagem									
Todas as cargas		Todos os diâmetros de eixos						h9/IT5 ^①	h10/IT7 ^② para eixos de transmissão

Fonte: (NTN, 2013)

Tabela 5 – Ajuste de alojamentos usados para rolamentos radiais

Condições				Tolerância	Observação
Alojamento	Tipo de carga		Deslocamento axial do anel externo		
Alojamento interno ou bipartido	Carga estática no anel externo	Todos os tipos de carga	Possibilidade de deslocamento	H7	G7 também é aceitável para rolamentos de grande porte ou com alta diferença de temperatura entre o anel externo e o alojamento
		De cargas leves ou normais	Possibilidade de deslocamento	H8	—
		Eixo e anel interno atingem alta temperatura	Deslocamento fácil	G7	F7 também é aceitável para rolamentos de grande porte ou com alta diferença de temperatura entre o anel externo e o alojamento
Alojamento interno	Carga com direção indeterminada	Requer precisão rotacional com cargas leves ou normais	Deslocamento não é possível (em princípio)	K6	Aplica-se primordialmente a rolamentos de rolos
		Requer funcionamento silencioso	Possibilidade de deslocamento	JS6	Aplica-se primordialmente a rolamentos de esferas
		Requer funcionamento silencioso	Possibilidade de deslocamento	H6	—
	Carga rotacional no anel externo	Carga leve ou normal	Possibilidade de deslocamento	JS7	Quando é requerida uma precisão maior, substitua JS7 por JS6 e K7 por K6
		Carga normal ou pesada	Deslocamento não é possível (em princípio)	K7	—
		Carga pesada de choque	Deslocamento não é possível	M7	—
		Carga leve ou variável	Deslocamento não é possível	M7	—
		Carga pesada ou variável	Deslocamento não é possível	N7	Aplica-se primordialmente a rolamentos de esferas
		Carga pesada (alojamento de parede fina) ou carga pesada de choque	Deslocamento não é possível	P7	Aplica-se primordialmente a rolamentos de rolos

Fonte: (NTN, 2013)

Tabela 6 – Tolerância Furo 1

Ø mm	H6	H7	H8	H9	H10	J6	J7	J8	J9	K6	K7
1-3	0 +0,006	0 +0,010	0 +0,014	0 +0,025	0 +0,040	-0,004 +0,002	-0,006 +0,004	-0,008 +0,006	-0,013 +0,012	-0,006 0	-0,010 0
3-6	0 +0,008	0 +0,012	0 +0,018	0 +0,030	0 +0,048	-0,003 +0,005	-0,006 +0,006	-0,008 +0,010	-0,015 +0,015	-0,006 +0,002	-0,009 +0,003
6-10	0 +0,009	0 +0,015	0 +0,022	0 +0,036	0 +0,058	-0,004 +0,002	-0,007 +0,008	-0,010 +0,012	-0,018 +0,018	-0,007 +0,002	-0,010 +0,005
10-18	0 +0,011	0 +0,018	0 +0,027	0 +0,043	0 +0,070	-0,005 +0,006	-0,008 +0,010	-0,012 +0,015	-0,022 +0,021	-0,009 +0,002	-0,012 +0,006
18-30	0 +0,013	0 +0,021	0 +0,033	0 +0,052	0 +0,084	-0,005 +0,008	-0,009 +0,012	-0,013 +0,020	-0,026 +0,026	-0,011 +0,002	-0,015 +0,006
30-50	0 +0,016	0 +0,025	0 +0,039	0 +0,062	0 +0,100	-0,005 +0,010	-0,011 +0,014	-0,015 +0,024	-0,031 +0,031	-0,013 +0,003	-0,018 +0,007
50-80	0 +0,019	0 +0,030	0 +0,045	0 +0,074	0 +0,120	-0,006 +0,013	-0,012 +0,018	-0,018 +0,028	-0,037 +0,037	-0,015 +0,004	-0,021 +0,009
80-120	0 +0,022	0 +0,035	0 +0,054	0 +0,087	0 +0,140	-0,006 +0,016	-0,013 +0,022	-0,020 +0,034	-0,044 +0,043	-0,018 +0,004	-0,025 +0,010
120-180	0 +0,025	0 +0,040	0 +0,063	0 +0,100	0 +0,160	-0,007 +0,018	-0,014 +0,026	-0,022 +0,041	-0,050 +0,050	-0,021 +0,004	-0,028 +0,012
180-250	0 +0,029	0 +0,048	0 +0,072	0 +0,115	0 +0,185	-0,007 +0,022	-0,016 +0,030	-0,025 +0,047	-0,058 +0,057	-0,024 +0,005	-0,033 +0,013

Fonte: (<http://usimarusinagem.com/tabelas>)

Tabela 7 – Tolerância Furo 2

Ø mm	K5	K6	M6	M7	N6	N7	P6	P7	R6	S6	S7
1-3	+0,004 0	+0,006 0			+0,010 +0,004		+0,012 +0,008	+0,016 +0,006	+0,016 +0,010	+0,020 +0,014	+0,024 +0,014
3-6	+0,008 +0,001	+0,009 +0,001	+0,012 +0,004	+0,016 +0,004	+0,016 +0,008	+0,020 +0,008	+0,020 +0,012	+0,024 +0,012	+0,023 +0,015	+0,027 +0,019	+0,031 +0,019
6-10	+0,007 +0,001	+0,010 +0,001	+0,015 +0,006	+0,021 +0,006	+0,019 +0,010	+0,025 +0,010	+0,024 +0,015	+0,030 +0,015	+0,028 +0,019	+0,032 +0,023	+0,038 +0,023
10-18	+0,009 +0,001	+0,012 +0,001	+0,018 +0,007	+0,025 +0,007	+0,023 +0,012	+0,030 +0,012	+0,029 +0,018	+0,036 +0,016	+0,034 +0,023	+0,039 +0,026	+0,045 +0,028
18-30	+0,011 +0,002	+0,015 +0,002	+0,021 +0,008	+0,029 +0,008	+0,028 +0,015	+0,036 +0,015	+0,035 +0,022	+0,043 +0,022	+0,041 +0,028	+0,048 +0,035	+0,056 +0,035
30-50	+0,013 +0,002	+0,018 +0,002	+0,025 +0,009	+0,034 +0,009	+0,033 +0,017	+0,042 +0,017	+0,042 +0,026	+0,051 +0,026	+0,050 +0,034	+0,059 +0,043	+0,068 +0,043
50-80	+0,015 +0,002	+0,021 +0,002	+0,030 +0,011	+0,041 +0,011	+0,039 +0,020	+0,050 +0,020	+0,051 +0,032	+0,062 +0,032	+0,062 +0,041	+0,078 +0,053	+0,089 +0,053
80-120	+0,018 +0,003	+0,025 +0,003	+0,035 +0,013	+0,048 +0,013	+0,045 +0,023	+0,058 +0,023	+0,059 +0,037	+0,072 +0,037	+0,076 +0,051	+0,101 +0,071	+0,114 +0,071
120-180	+0,021 +0,003	+0,028 +0,003	+0,040 +0,015	+0,055 +0,015	+0,052 +0,027	+0,067 +0,027	+0,068 +0,043	+0,083 +0,043	+0,93 +0,063	+0,133 +0,092	+0,146 +0,092
180-250	+0,024 +0,004	+0,033 +0,004	+0,046 +0,017	+0,063 +0,017	+0,060 +0,031	+0,077 +0,031	+0,079 +0,050	+0,096 +0,050	+0,113 +0,077	+0,169 +0,122	+0,186 +0,122

Fonte: (<http://usimarusinagem.com/tabelas>)

Tabela 8 – Tolerância Eixo 1

AJUSTES RECOMENDADOS - SISTEMA FURO-BASE H7(*)
Tolerância em milésimos de milímetros (µm)

Dimensão nominal mm		Furo H7	EIXOS									
			afastamento superior					afastamento inferior				
acima de	até	H 7	f 7	g 6	h 6	j 6	k 6	m 6	n 6	p 6	r 6	
0	1	0	- 6	- 2	0	+ 4	+ 6	-	+ 10	+ 12	+ 16	
1	3	+ 10	- 16	- 8	- 6	- 2	0	-	+ 4	+ 6	+ 10	
3	6	0	- 10	- 4	0	+ 6	+ 9	+ 12	+ 16	+ 20	+ 23	
		+ 12	- 22	- 12	- 8	- 2	+ 1	+ 4	+ 8	+ 12	+ 15	
6	10	0	- 13	- 5	0	+ 7	+ 10	+ 15	+ 19	+ 24	+ 28	
		+ 15	- 28	- 14	- 9	- 2	+ 1	+ 6	+ 10	+ 15	+ 19	
10	14	0	- 16	- 6	0	+ 8	+ 12	+ 18	+ 23	+ 29	+ 34	
14	18	+ 18	- 34	- 17	- 11	- 3	+ 1	+ 7	+ 12	+ 18	+ 23	
18	24	0	- 20	- 7	0	+ 9	+ 15	+ 21	+ 28	+ 35	+ 41	
24	30	+ 21	- 41	- 20	- 13	- 4	+ 2	+ 8	+ 15	+ 22	+ 28	
30	40	0	- 25	- 9	0	+ 11	+ 18	+ 25	+ 33	+ 42	+ 50	
40	50	+ 25	- 50	- 25	- 16	- 5	+ 2	+ 9	+ 17	+ 26	+ 34	
50	65	0	- 30	- 10	0	+ 12	+ 21	+ 30	+ 39	+ 51	+ 60	
											+ 41	
65	80	+ 30	- 60	- 29	- 19	- 7	+ 2	+ 1	+ 20	+ 32	+ 43	
											+ 62	
80	100	0	- 36	- 12	0	+ 13	+ 25	+ 35	+ 45	+ 59	+ 73	
											+ 51	
100	120	+ 35	- 71	- 34	- 22	- 9	+ 3	+ 13	+ 23	+ 37	+ 54	
											+ 76	
120	140	0	- 43	- 14	0	+ 14	+ 28	+ 40	+ 52	+ 68	+ 88	
											+ 63	
140	160										+ 90	
											+ 65	
160	180	+ 40	- 83	- 39	- 25	- 11	+ 3	+ 15	+ 27	+ 43	+ 93	
											+ 68	
180	200	0	- 50	- 15	0	+ 16	+ 33	+ 46	+ 60	+ 79	+ 106	
											+ 77	
200	225										+ 109	
											+ 80	
225	250	+ 46	- 96	- 44	- 29	- 13	+ 4	+ 17	+ 31	+ 50	+ 113	
											+ 84	
250	280	0	- 56	- 17	0	+ 16	+ 36	+ 52	+ 66	+ 88	+ 126	
											+ 94	
280	315	+ 52	- 108	- 49	- 32	- 16	+ 4	+ 20	+ 34	+ 56	+ 130	
											+ 98	
315	355	0	- 62	- 18	0	+ 18	+ 40	+ 57	+ 73	+ 98	+ 144	
											+ 108	
355	400	+ 57	- 119	- 54	- 36	- 18	+ 4	+ 21	+ 37	+ 62	+ 150	
											+ 114	
400	450	0	- 68	- 20	0	+ 20	+ 45	+ 63	+ 80	+ 108	+ 166	
											+ 126	
450	500	+ 63	- 131	- 60	- 40	- 20	+ 5	+ 23	+ 40	+ 68	+ 172	
											+ 132	

(*) Reprodução parcial de Tabela ABNT/ISO NBR 6158

Fonte: (Barbosa, 2010)

Tabela 9 – Tolerância Eixo 2

Ømm	j6	j7	j8	k5	k6	m6	m7	n6	n7	p6	p7	r6	s6	s7
1-3	+ 0,004 - 0,002	+ 0,006 - 0,004	+ 0,007 - 0,007	+ 0,004 0	+ 0,006 0			+ 0,010 + 0,004		+ 0,012 + 0,006	+ 0,016 + 0,008	+ 0,016 + 0,010	+ 0,020 + 0,014	+ 0,024 + 0,014
3-6	+ 0,006 - 0,002	+ 0,008 - 0,004	+ 0,009 - 0,003	+ 0,006 + 0,001	+ 0,009 + 0,001	+ 0,012 + 0,004	+ 0,016 + 0,004	+ 0,016 + 0,008	+ 0,020 + 0,008	+ 0,020 + 0,012	+ 0,024 + 0,012	+ 0,023 + 0,015	+ 0,027 + 0,019	+ 0,031 + 0,019
6-10	+ 0,007 - 0,002	+ 0,010 - 0,005	+ 0,011 - 0,011	+ 0,007 + 0,001	+ 0,010 + 0,001	+ 0,015 + 0,006	+ 0,021 + 0,006	+ 0,019 + 0,010	+ 0,025 + 0,010	+ 0,024 + 0,015	+ 0,030 + 0,015	+ 0,028 + 0,019	+ 0,032 + 0,023	+ 0,038 + 0,023
10-18	+ 0,008 - 0,003	+ 0,012 + 0,006	+ 0,014 + 0,013	+ 0,009 + 0,001	+ 0,012 + 0,001	+ 0,018 + 0,007	+ 0,025 + 0,007	+ 0,023 + 0,012	+ 0,030 + 0,012	+ 0,029 + 0,018	+ 0,036 + 0,018	+ 0,034 + 0,023	+ 0,039 + 0,028	+ 0,046 + 0,028
18-30	+ 0,009 - 0,004	+ 0,013 + 0,008	+ 0,017 + 0,016	+ 0,011 + 0,002	+ 0,015 + 0,002	+ 0,021 + 0,008	+ 0,029 + 0,008	+ 0,028 + 0,015	+ 0,036 + 0,015	+ 0,035 + 0,022	+ 0,043 + 0,022	+ 0,041 + 0,028	+ 0,048 + 0,035	+ 0,058 + 0,035
30-50	+ 0,011 - 0,005	+ 0,015 - 0,010	+ 0,020 - 0,019	+ 0,013 + 0,002	+ 0,018 + 0,002	+ 0,025 + 0,009	+ 0,034 + 0,009	+ 0,033 + 0,017	+ 0,042 + 0,017	+ 0,042 + 0,026	+ 0,051 + 0,026	+ 0,050 + 0,034	+ 0,059 + 0,043	+ 0,068 + 0,043
50-80	+ 0,012 + 0,007	+ 0,018 - 0,012	+ 0,023 - 0,023	+ 0,015 + 0,002	+ 0,021 + 0,002	+ 0,030 + 0,011	+ 0,041 + 0,011	+ 0,039 + 0,020	+ 0,050 + 0,020	+ 0,051 + 0,032	+ 0,062 + 0,032	+ 0,062 + 0,041	+ 0,078 + 0,053	+ 0,089 + 0,053
80-120	+ 0,013 - 0,009	+ 0,020 - 0,015	+ 0,027 - 0,027	+ 0,018 + 0,003	+ 0,025 + 0,003	+ 0,035 + 0,013	+ 0,048 + 0,013	+ 0,045 + 0,023	+ 0,058 + 0,023	+ 0,059 + 0,037	+ 0,072 + 0,037	+ 0,076 + 0,051	+ 0,101 + 0,071	+ 0,114 + 0,071
120-180	+ 0,014 - 0,011	+ 0,022 - 0,018	+ 0,032 - 0,031	+ 0,021 + 0,003	+ 0,028 + 0,003	+ 0,040 + 0,015	+ 0,055 + 0,015	+ 0,052 + 0,027	+ 0,067 + 0,027	+ 0,068 + 0,043	+ 0,083 + 0,043	+ 0,093 + 0,063	+ 0,133 + 0,092	+ 0,148 + 0,092
180-250	+ 0,016 - 0,013	+ 0,025 - 0,021	+ 0,036 - 0,036	+ 0,024 + 0,004	+ 0,033 + 0,004	+ 0,046 + 0,017	+ 0,063 + 0,017	+ 0,060 + 0,031	+ 0,077 + 0,031	+ 0,079 + 0,050	+ 0,096 + 0,050	+ 0,113 + 0,077	+ 0,169 + 0,122	+ 0,186 + 0,122

Fonte: (<http://www.moldesinjecaoplasticos.com.br/tabelafuroseixo.asp>)

Segundo Pizzolato (2011) existem quatro tipos de tolerâncias geométricas, de forma, de orientação, de posição e de batimento. A tolerância geométrica de forma limita os afastamentos de um dado elemento em relação à sua forma geométrica ideal.

Figura 128 – Representação de Tolerância

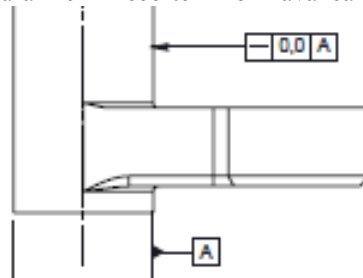
FORMA				
ORIENTAÇÃO				
POSICÃO				
BATIMENTO				

REFERÊNCIA		
MODIFICADORES		
APLICAÇÃO		

Fonte: (ABNT, 2001)

No caso do desenho é proposta a tolerância geométrica de forma de retitude conforme na figura 116, isso significa que a medida não pode ter nenhuma variação, devendo alinhar totalmente com a face A, a linha indicada deve situar-se entre duas retas paralelas distanciadas de 0,03 mm , medida no plano indicado e simétricas à linha ideal.

Figura 129 – Recorte Eixo Alavanca



Fonte: (Autor, 2016)

As representações 2D da montagem, da carcaça e do eixo alavanca são apresentas no com os valores de tolerância no Apêndice A, B ,C e D.

6 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Para um bom desenvolvimento do projeto é importante definir um plano de ação, e planejar por etapas a modelagem das peças, seguir um planejamento propiciar uma maior organização e facilitar a visualização dos passos seguintes.

Com base no desenho técnico da caixa de direção retirado do *Provenza* foram feitas modificações a fim de redimensionar a peça, permitindo um melhor encaixe entre as mesmas e um melhor acabamento, corrigindo algumas inconsistências de medidas retiradas do desenho.

A carcaça foi o componente que apresentou maior grau de dificuldade na modelagem, por contém muitas curvas e saliências, além de ser necessário o seu redimensionamento. Analisando sua modelagem ela se mostrou uma peça complexa, com a utilização de uma grande quantidade de recursos, a escolha do recurso de superfície para a definição do interior da carcaça gerou a necessidade de um grande número de recursos para conseguir definir os limites da superfície interior, mas não se pode dizer que a utilização de outra forma de modelagem acarretaria em um caminho mais fácil. Acredita-se que os primeiros passos na geração da superfície exterior poderiam ser otimizados, assim como qualquer outra peça que quando é refeita enxergam-se atalhos e melhores alternativas que não foram visualizados em um primeiro momento.

A tolerância é um importante processo no desenvolvimento de um produto, saber a avaliar as tolerâncias e os ajustes na montagem é muito importante para garantir a montagem correta do conjunto e evitar consequências negativas causadas por ajustes impróprios, como trincas, abrasão, travamento causado pela perda de folga interna no rolamento, aumento do ruído e diminuição da precisão de rotação.

O SolidWorks é uma ferramenta muito abrangente e que apresenta muito recursos, facilitando muito a elaboração dos esboços, ferramentas como adição de relações e edição do esboço através da cota, delimitam o rascunho e economizam muito tempo.

Há uma grande variedade de recursos 3D que permitem a modelagem dos mais diferentes tipos de superfícies, com uma linguagem simples e de fácil aprendizado. Foram apresentados recursos que podem ser utilizados nas mais variadas situações. O SolidWorks apresenta um extensa bibliotecas com peças padrão que são de grande utilidade e economizam tempo na montagem de conjuntos. O ambiente do SolidWorks para montagem de conjuntos possui uma interface muito clara e de fácil entendimento, a montagem de peças é realizada através da adição de relações entre as peças como: concentricidade, coincidência e distância,

podendo se verificar a ocorrência de interferências entre as peças para que não ocorra nenhuma peça dentro da outra ou encavalando.

Foi possível concluir a importância das ferramentas CAD na elaboração de projetos mecânicos e no aprendizado de desenho técnico mecânico. Possibilitando a realização de análises que antes só eram possíveis através de protótipos físicos, e muito mais práticos e precisos que desenhos feitos à mão, reduzindo custos e otimizando processos. Verificando dessa forma a grande importância dos softwares CAD no auxílio aos desenhos técnicos e como importante ferramenta de desenvolvimento tecnológico.

Com o desenvolvimento deste trabalho foi possível adquirir grande conhecimento na modelagem 3D, nessa ferramenta que é tão importante no ambiente acadêmico e profissional.

Como sugestão para futuros trabalhos é proposto uma análise estrutural em elementos finitos no próprio SolidWorks que também executa esse tipo de análise. Realizando uma análise para verificar os esforços nos principais componentes e no conjunto mecânico.

REFERÊNCIAS

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

WEINFURTER, Delcio Vill. **Customização para acrescentar atributos em sólidos do solidworks**. Disponível em: <www.inf.furb.br/~rodacki/tcc/266469_1_1.pdf> Acesso em: 27 jul. 2016.

CRUZ, José Mauro Xavier Da. **Estudo de caso de ruído “Knock Noise” em mecanismos de caixa de direção hidráulica tipo pinhão-cremalheira**. Disponível em: < www.automotiva-poliusp.org.br/wp-content/uploads/2013/02/cruz_jose.pdf> Acesso em 3 de jul. 2016.

SOUZA, Antônio Carlos de et al. **SolidWorks – guia prático para modelagem sólida**. Florianópolis: Visual Books Editora, 2001. 220 p.

FERNANDES, Marcelo Arronilas. **Estudos em sistemas de direção veicular**. Disponível em < <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM053/Bibliografia/direcao/%5BBR%5D%20-%20Dire%E7%E3o%20-%20Fernandes%20Marcelo.pdf>> Acesso em 3 jul. 2016.

CIVIL ENGINEERING HAND BOOK. **Summary and forward and reverse efficiency**. Disponível em < <http://www.civilengineeringhandbook.tk/vehicle-technology/summary-and-forward-and-reverse-efficiency-the.html> > Acesso em 7 jul. 2016.

WHAT WHEN HOW. **Steering Components Automobile**. Disponível em: <<http://what-when-how.com/automobile/steering-components-automobile>> Acesso em: 7 jul. 2016

Goodheart-Willcox. **Chapter 9 Steering Systems**. Disponível em: < www.gw.com/pdf/sampchap/9781605252230_ch09.pdf > Acesso em 14 ago. 2016.

SARANCAR. **Reparo Caixa de Direção ou Rosca Sem Fim / sem retentores**. Disponível < <http://www.sarancar.com.br/detalhes.asp?cod=2116> > Acesso em 3 de jul. 2016.

IMPERIAL CLUB. **Steering System Terms and How The System Works**. Disponível em < <http://www.imperialclub.com/Repair/Steering/terms.htm> > Acesso em 5 set. 2016.

PAULI, Evandro Armini. **SENAI Mecânica - Leitura e Interpretação de Desenho Técnico Mecânico**. Disponível em <http://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/prof_shiroma/Senai_Leitura_e_interpretacao_de_projetos.pdf> Acesso em 29 ago. 2016.

PIZZOLATO, Morgana. **Tolerâncias**. Disponível em: < http://w3.ufsm.br/engproducao/wp-content/uploads/tolgeom_texto_aula.pdf > Acesso em 07 set. 2016.

ESSEL. **Aula 29 - Tolerância geométrica**. Disponível em: < <http://www.essel.com.br/cursos/material/01/DesenhoTecnico/aula29.pdf> > Acesso em 7 set. 2016.

BRAGA, Eduardo. **Metrologia 1 - Introdução - Ufpa**. Disponível em; < ufpa.br/getsolda/docs_graduacao/AULA%20METROLOGIA.pdf > Acesso em 4 set. 2016.

BARBOSA, João Paulo. **Desenho técnico mecânico**. Disponível em: <
ftp://ftp.ifes.edu.br/Campus/SaoMateus/Coordenadorias/Mecanica/Professores/joaopb/apostila_desenho.pdf> Acesso em 10 set. 2016

RODRIGUES, Alexandre de Cássio. **Aula Tolerância dimensional**. Disponível em: <
http://pt.slideshare.net/alexandre23cefet/tolerncia-dimensional> Acesso em 10 set. 2016.

TECMECANICO. **Tolerância e ajustes**. Disponível em: <
http://tecmechanico.blogspot.com.br/2014/07/tolerancia-e-ajustes.html> Acesso em 8 set. 2016.

MARCO FILHO, Flávio de. **Apostila de metrologia**. Disponível em:
<http://www.mecanica.scire.coppe.ufrj.br/util/b2evolution/media/blogs/flavio/Apostila_de_Metrologia_2009.pdf> Acesso em 16 set. 2016.

ANDRETTA, Cláudio da Silva. **Tolerâncias e Ajustes (Sistema ISO)**. Disponível em:
<http://paginapessoal.utfpr.edu.br/jefferson/disciplinas/metrologia/aps/aps2/material-3/tolerancia_dimensional.pdf/> Acesso em 16 de set. 2016.

USIMAR USINAGEM. **Tabelas para ajustes de Eixos e Furos**. Disponível em: <
http://usimarusinagem.com/tabelas/Tabelas%20para%20ajustes%20de%20Eixos%20e%20Furos.pdf> Acesso em 5 set. 2016.

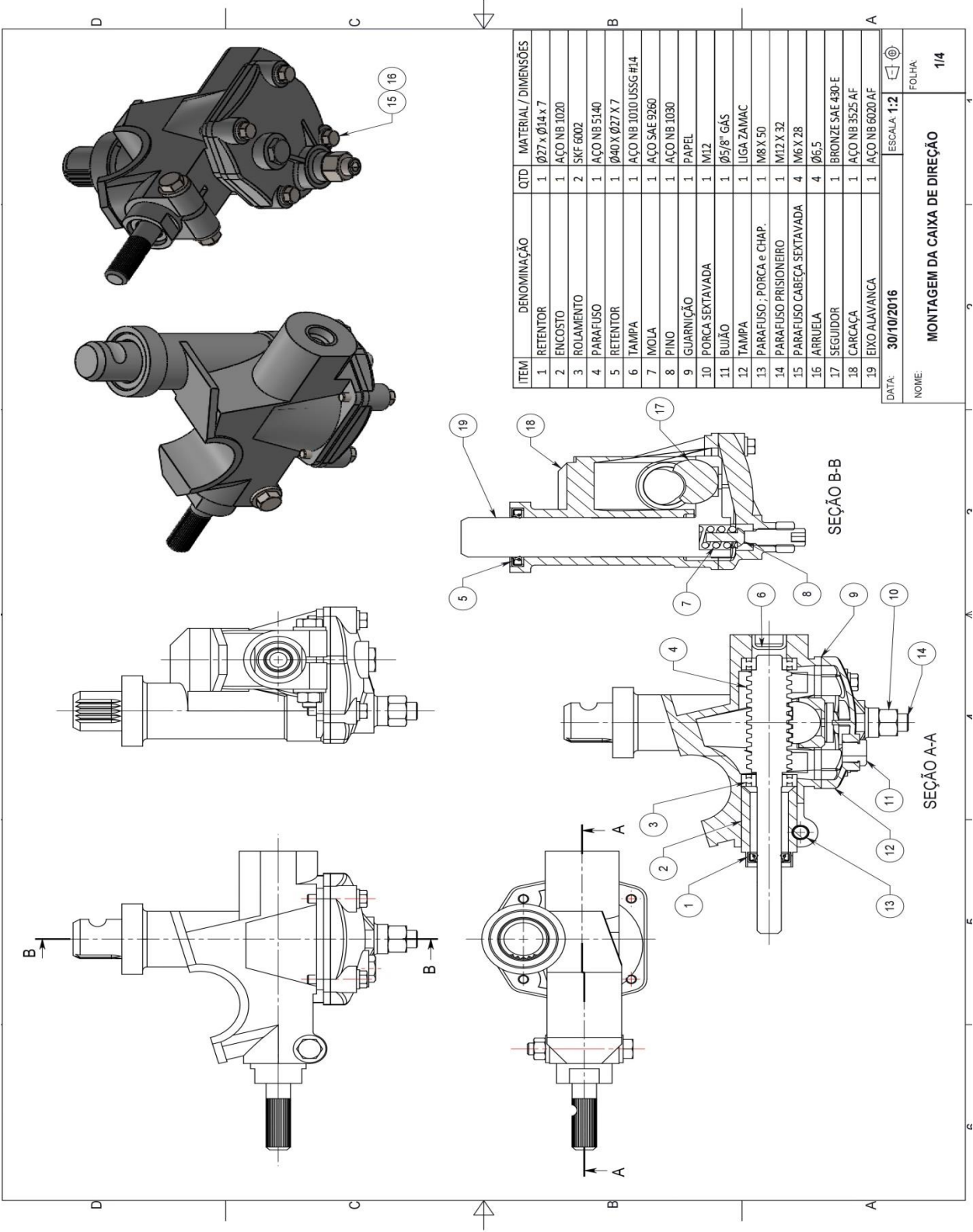
NTN. **Ajuste dos Rolamentos**. Disponível em:
<http://www.ntn.com.br/pdfServicos/indiceA7/indiceA7.pdf> Acesso em 19 set. 2016.

SKF. **Ajustes recomendados**. Disponível em: <http://www.skf.com/br/products/bearings-units-housings/ball-bearings/principles/application-of-bearings/radial-location-of-bearings/selection-of-fit/recommended-fits/index.html?switch=y> Acesso em 19 set. 2016.

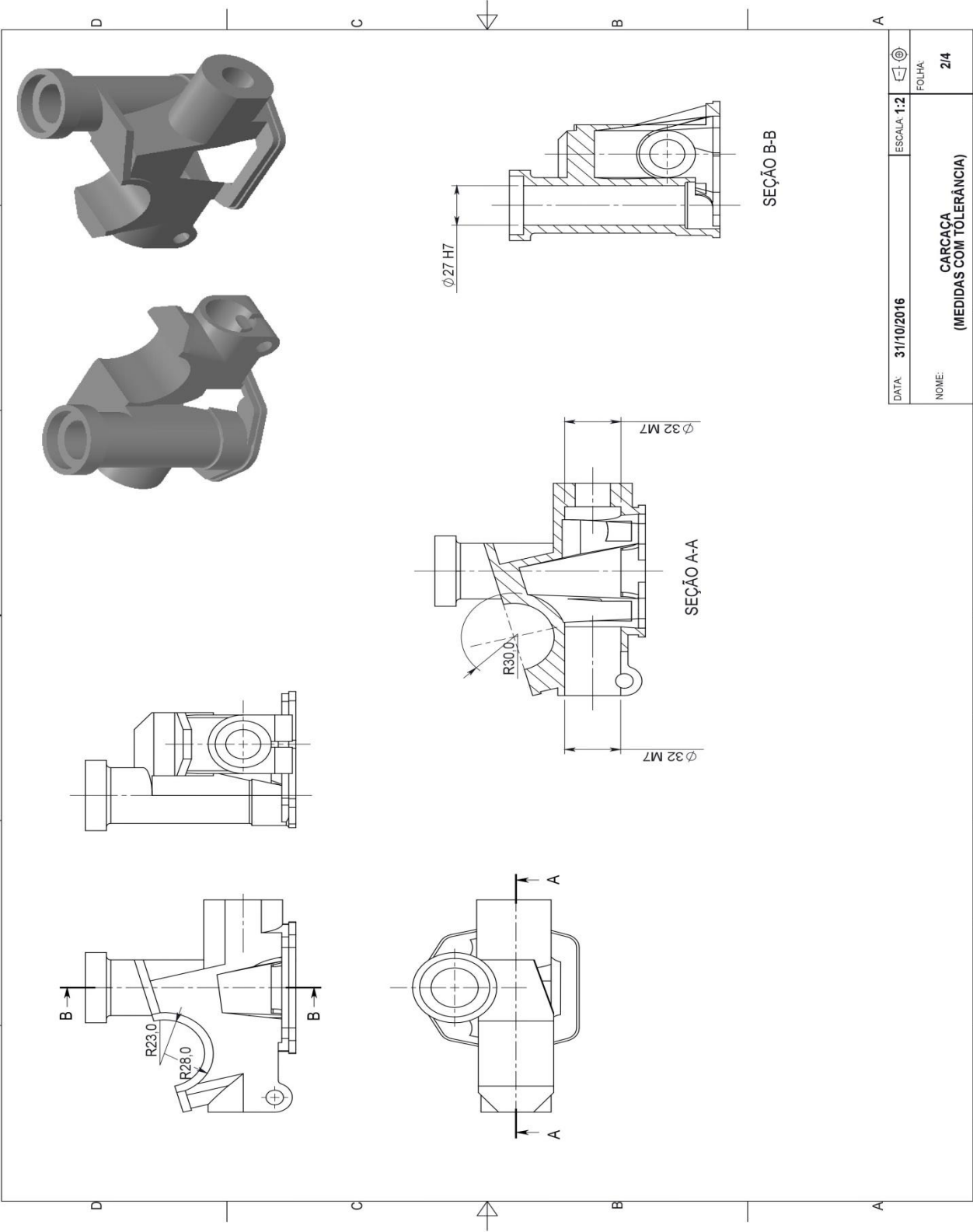
MOLDES INJEÇÃO PLÁSTICOS. **Tabela de ajuste para eixos**. Disponível em:
<http://www.moldesinjecao plasticos.com.br/tabela furoseixo.asp> Acesso em 19 set. 2016.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14699 – Desenho Técnico Representação de símbolos aplicados a tolerância geométricas – proporções e dimensões. Rio de Janeiro: 2001.

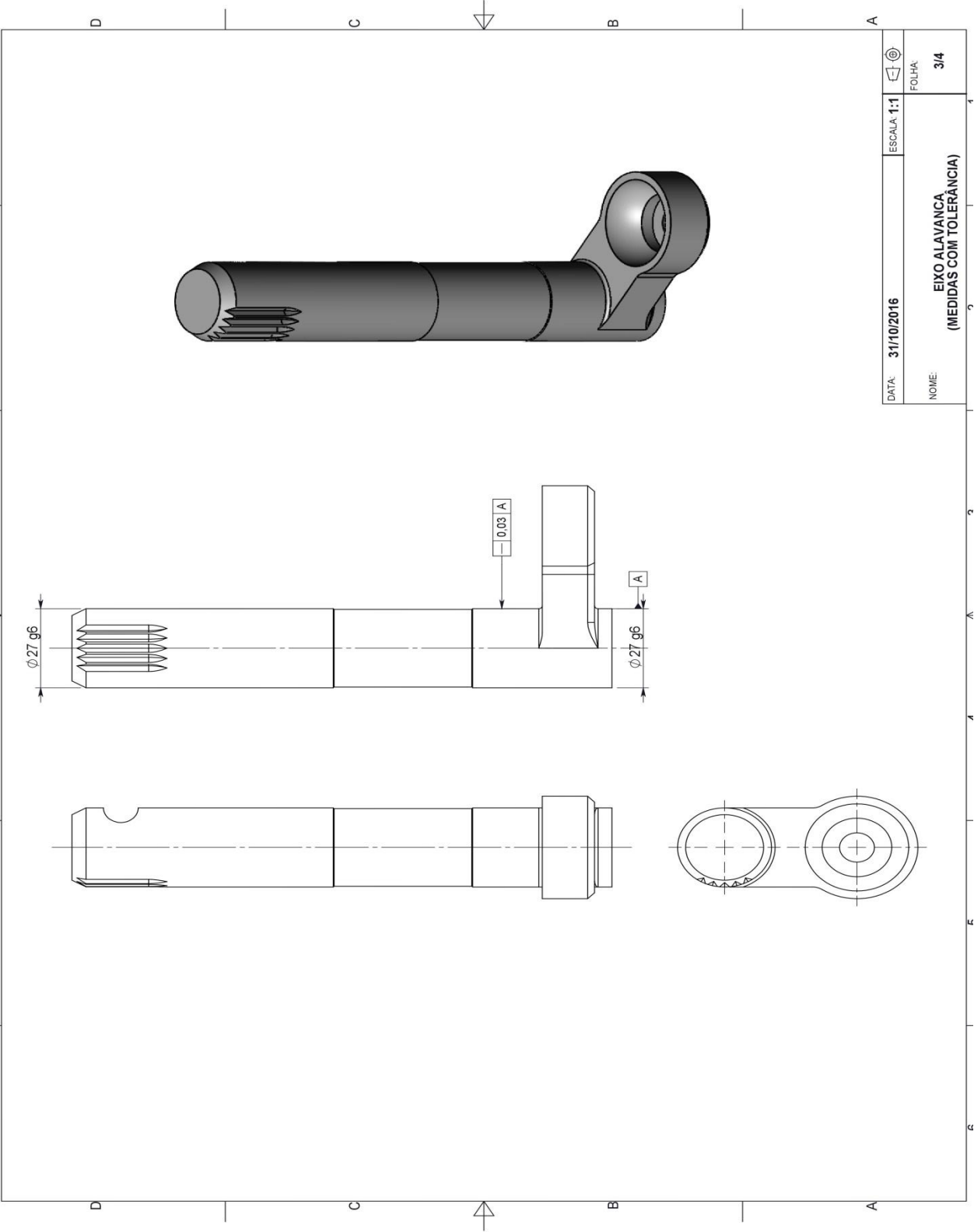
APÊNDICE A – MONTAGEM DA CAIXA DE DIREÇÃO



APÊNDICE B – CARCAÇA (MEDIDAS COM TOLERÂNCIA)



APÊNDICE C – EIXO ALAVANCA (MEDIDAS COM TOLERÂNCIA)



APÊNDICE D – PARAFUSO SEM-FIM (MEDIDAS COM TOLERÂNCIA)

