

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
LUCAS RAIHS KIPEL

**A CONSTRUÇÃO DE ENGRENAGENS CILÍNDRICAS COM O
AUXÍLIO DE EQUAÇÕES EM SOFTWARES CAD/CAE**

LAGES
2018

LUCAS RAITHS KIPEL

**A CONSTRUÇÃO DE ENGRENAGENS CILÍNDRICAS COM O
AUXÍLIO DE EQUAÇÕES EM SOFTWARES CAD/CAE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro Universitário
UNIFACVEST, como parte dos
requisitos para a obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Mecânica.

Prof. Alisson Ribeiro de Oliveira

Coorientador: Prof. Me. Arlindo
Bampi Filho

LAGES
2018

LUCAS RAITHS KIPEL

**A CONSTRUÇÃO DE ENGRENAGENS CILÍNDRICAS COM O
AUXÍLIO DE EQUAÇÕES EM SOFTWARES CAD/CAE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro Universitário
UNIFACVEST, como parte dos
requisitos para a obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Mecânica.

Prof. Alisson Ribeiro de Oliveira

Coorientador: Prof. Me. Arlindo
Bampi Filho

Lages, SC __/__/2018. Nota _____

Prof. Alisson Ribeiro de Oliveira

Prof. Dr. Rodrigo Botan

LAGES
2018

A CONSTRUÇÃO DE ENGRENAGENS CILÍNDRICAS COM O AUXÍLIO DE EQUAÇÕES EM SOFTWARES CAD/CAE

Lucas Raiths Kipel¹
Alisson Ribeiro de Oliveira²
Arlindo Bampi Filho³

RESUMO

Engrenagens são componentes de transmissão que estão presentes em diversos mecanismos e máquinas. Tais componentes seguem normas para sua confecção e manufatura e são dimensionados a partir de equações que padronizam sua concepção. Sendo assim, é possível modelar uma engrenagem levando apenas parâmetros primordiais como o seu módulo, número de dentes e seu ângulo de pressão. Com esse pressuposto, o presente trabalho busca o desenvolvimento de um sistema auxiliar para a modelagem de engrenagens cilíndricas dentro dos softwares CAD/CAE, baseado em suas normas técnicas em vigor para o levantamento das equações que regem as engrenagens, a fim de otimizar o processo de modelagem e projeto de tais componentes, que muitas vezes é realizado de forma manual. O intuito é desenvolver uma ferramenta simples e de fácil compreensão que auxilie projetos industriais.

Palavras-chave: Otimização, Transmissão, Mecânica.

¹Acadêmico da 10ª fase do Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário UNIFACVEST.
E-mail: lucasrkipel@hotmail.com

² Professor Especialista Do Centro Universitário UNIFACVEST

³ Professor Mestre Do Centro Universitário UNIFACVEST

THE CONSTRUCTION OF CYLINDRICAL GEARS WITH THE ASSISTANCE OF EQUATIONS IN CAD / CAE SOFTWARE

Lucas Raiths Kipel¹
Alisson Ribeiro de Oliveira²
Arlindo Bampi Filho³

ABSTRACT

Gears are transmission components that are present in various mechanisms and machines. Such components follow norms for their manufacture and manufacture and are dimensioned from equations that standardize their design. Thus, it is possible to model a gear bearing only primordial parameters such as its modulus, number of teeth and its angle of pressure. With this assumption, the present work seeks the development of an auxiliary system for the modeling of cylindrical gears within CAD / CAE software, based on its current technical standards for surveying the equations governing the gears, in order to to optimize the process of modeling and designing such components, which is often done manually. The aim is to develop a simple and easy-to-understand tool that supports industrial projects.

Key-Words: Optimization, Transmission, Mechanical.

¹Acadêmico da 10ª fase do Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário UNIFACVEST.
E-mail: lucasrkipel@hotmail.com

² Professor Especialista Do Centro Universitário UNIFACVEST

³ Professor Mestre Do Centro Universitário UNIFACVEST

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Engrenagens e sua Representação Convencional (BINI & RABELLO, 2007)	14
Figura 2 – Par de Engrenagens Cilíndricas (RICHARDS, 2013).....	15
Figura 3 - Partes de uma engrenagem (FRANCESCHI & ANTONELLO, 2014).....	15
Figura 4– Dimensões Reais dos Dentes de Engrenagens para Diversos Passos Diametraais (JUNIVALL & MARSHEK, 2016).....	17
Figura 5 – Comparações do Tamanho dos Dentes de Engrenagens para Diversos Módulos (KOHARA, 2007).....	18
Figura 6 - Disposição simplificada de um par de engrenagens cilíndricas (BUDYNAS, 2011)	19
Figura 7 – Sentido de Rotação das Engrenagens (MESA, FLOR & RIBERO, 2004)	19
Figura 8 - Ângulo de Ação ou de Pressão (FRANCESCHI & ANTONELLO, 2014).....	20
Figura 9 – Interação Entre os Dentes Formando a Linha de Pressão (BUDYNAS, 2011)	21
Figura 10- Ângulo de Pressão e outras Características (MANFÉ et. al., 2004)	21
Figura 11 - Comparação entre os perfis de engrenagens cilíndricas para ângulos de pressão de 14° 30', 17° 30', 20°, 22°30' e 25°. (SILVA, 2015).....	22
Figura 12 - Efeito do Ângulo de Pressão nos Dentes das Engrenagens (DANTAS, 2018)	23
Figura 13 - Nomenclatura dos Dentes da Engrenagem (JUNIVALL, 2016)	24
Figura 14 - Fresas de Fabricação de Engrenagens (REY, 2001)	25
Figura 15 - Raios de Traçado do Perfil dos Dentes (PROVENZA, 1991)	26
Figura 16 - Representação de Engrenagem em Desenho Técnico (ABNT, 1991)	27
Figura 17 - Idealização para Engrenagens transmitindo como Cilindros em Contato (JUNIOR, 2003)	27
Figura 18 - Sistema de Acoplamento por Chaveta (TELECURSO 2000, 1997 [1]).....	28
Figura 19 – Fabricação e montagem de alguns tipos de chavetas (ABBOTT, 1976).....	29
Figura 20 – Formatos de Chaveta (FISCHER, 2008)	29

Figura 21 - Eixo Ranhurado (TELECURSO 2000, 1997 [2])	30
Figura 22 - Desenho cotado, projeções ortogonais, com três vistas, feito com um aplicativo de CAD 2D. (NORTON, 2013).....	32
Figura 23 - Exemplo de modelo de peça criado no software SolidWorks (DASSAULT, 2010)	32
Figura 24 - Representação do Modelo 3D e Suas Vistas Ortográficas (SOUSA et. al., 2001)33	
Figura 25 – Representação de Vistas a partir de um Modelo (ABNT, 1995).....	34
Figura 26 - Exemplo de Posicionamento de Engrenagens no Software Inventor (CRUZ, 2011)	35
Figura 27 – Extrusão do Cilindro utilizando o SolidWorks (O Autor, 2018)	39
Figura 28 – Esboço do corte do Perfil do vão do Dente da Engrenagem (O Autor, 2018)	40
Figura 29 – Corte do vão do Dente da Engrenagem (O Autor, 2018).....	41
Figura 30 – Comparação do Perfil do Dente antes (esquerda) e depois (direita) da adição do Filete (O Autor, 2018).....	42
Figura 31 – Padrão Circular dos Dentes da Engrenagem (O Autor, 2018)	42
Figura 32 – Engrenagem após a Propagação dos Dentes por Padrão Linear (O Autor, 2018)43	
Figura 33 – Furação para a Passagem do Eixo na Engrenagem (O Autor, 2018)	44
Figura 34 – Rasgo de Chaveta e suas Respectivas Dimensões (O Autor, 2018).....	45
Figura 35 – Exemplo de Engrenagem com Alívio de Peso e Ressalto (TEBALDI, 2015)	46
Figura 36 – Engrenagem completa nos softwares SolidWorks e Inventor (O Autor, 2018) ...	47
Figura 37 – Mensagem de Alerta do Bloqueio das Cédulas do Excel (O Autor, 2018).....	51
Figura 38 – Imagem do Ângulo de Pressão (O Autor, 2018)	52
Figura 39 – Imagem do Diâmetro do Eixo (O Autor, 2018)	52
Figura 40 – Imagem da Largura da Engrenagem (O Autor, 2018).....	53
Figura 41– Imagem do Diâmetro Primitivo (O Autor, 2018).....	53
Figura 42 – Imagem do Diâmetro Externo (O Autor, 2018)	54
Figura 43 – Imagem do Diâmetro Interno (O Autor, 2018)	54

Figura 44 – Imagem do Diâmetro Base (O Autor, 2018)	55
Figura 45 – Imagem da Altura Total do Dente (O Autor, 2018)	55
Figura 46 – Imagem da Altura da Cabeça do Dente (O Autor, 2018)	56
Figura 47 – Imagem da Altura do Pé do Dente (O Autor, 2018).....	56
Figura 48 – Imagem da Espessura do Dente (O Autor, 2018).....	57
Figura 49 – Imagem da Folga entre os Dentes das Engrenagens (O Autor, 2018).....	57
Figura 50 – Imagem do Passo (O Autor, 2018)	58
Figura 51 – Imagem do Raio de Addendum (O Autor, 2018).....	58
Figura 52 – Imagem do Raio de Dedendum (O Autor, 2018)	59
Figura 53 – Imagem do Raio do Filete do Pé do Dente (O Autor, 2018).....	59
Figura 54 – Imagem do Vão do Dente (O Autor, 2018).....	60
Figura 55 – Comentário Inserido na Cédula Módulo (O Autor, 2018)	61
Figura 56 – Comentário Inserido na Cédula N° de Dentes (O Autor, 2018).....	61
Figura 57 – Comentário Inserido na Cédula Ângulo de Pressão (O Autor, 2018)	62
Figura 58 – Comentário Inserido na Cédula Diâmetro do Eixo (O Autor, 2018)	62
Figura 59 – Aviso Inserido na Cédula Módulo (O Autor, 2018).....	62
Figura 60 – Aviso Inserido na Cédula N° de Dentes (O Autor, 2018)	63
Figura 61 – Aviso Inserido na Cédula Ângulo de Pressão (O Autor, 2018)	63
Figura 62 – Tabela de Projeto no SolidWorks (O Autor, 2018).....	64
Figura 63 – Montagem das engrenagens utilizando o SolidWorks (O Autor, 2018)	67
Figura 64 – Vista Frontal das Engrenagens Sobrepostas no Solidworks (O Autor, 2018).....	68
Figura 65 - Comparação dos Dentes das Engrenagens no SolidWorks (O Autor, 2018).....	69
Figura 66 – Ampliação da Vista Isométrica (O Autor, 2018).....	70
Figura 67 - Vista Frontal das Engrenagens Sobrepostas no Inventor (O Autor, 2018).....	70
Figura 68 Comparação dos Dentes das Engrenagens no Inventor (O Autor, 2018).....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Padrões de Módulo de Engrenagens (SILVA et. al., 2011).....	18
Tabela 2 – Parâmetros da engrenagem (O Autor, 2018)	47
Tabela 3 – Seleção do Ângulo de Pressão (O Autor, 2018)	48
Tabela 4 – Lista de Dimensões da Engrenagem (O Autor, 2018)	49
Tabela 5 – Dimensões do Rasgo de Chaveta (O Autor, 2018)	50
Tabela 6 – Inserção da Tabela de Módulos ao Sistema (O Autor, 2018)	51
Tabela 7 – Lista de Parâmetros do Inventor	65
Tabela 8 – Tabela de Variáveis do Solid Edge (O Autor, 2018)	66

LISTA DE SÍMBOLOS

α = Ângulo de Pressão (graus)

\emptyset = Diâmetro do Eixo (mm)

a = Altura da Cabeça do Dente / Addendum (mm)

b = Altura do Pé do Dente / Dedendum (mm)

D_b = Diâmetro de Base (mm)

D_e = Diâmetro Externo (mm)

D_i = Diâmetro Interno (mm)

D_p = Diâmetro Primitivo (mm)

e = Espessura do dente (mm)

f = Coeficiente de Addendum

f' = Coeficiente de Dedendum

F = Folga entre os dentes das engrenagens (mm)

h = Altura Total do Dente (mm)

L = Largura da Engrenagem (mm)

m = Módulo

P = Passo (mm)

P_d = Diametral Pitch

ra = Raio de Addendum (mm)

rb = Raio de Dedendum (mm)

rf = Raio do Filete no pé do Dente (mm)

v = Vão do Dente (mm)

z = Número de Dentes

LISTA DE EQUAÇÕES

$$Dp = m \cdot z$$

$$De = m \cdot (z + 2)$$

$$De = Dp + (m \cdot 2)$$

$$Di = De - 2 \cdot h$$

$$Db = Dp \cdot \cos \alpha$$

$$m = \frac{Dp}{z}$$

$$m = \frac{De}{(z + 2)}$$

$$a = 1 \cdot m$$

$$b = 1 \cdot m + \frac{m}{6}$$

$$h = a + b$$

$$h = 2 \cdot m + \frac{m}{6}$$

$$p = \pi \cdot m$$

$$e = \frac{p}{2}$$

$$v = e$$

$$F = \frac{m}{6}$$

$$ra = m \cdot f$$

$$rb = m \cdot f'$$

$$rf = \frac{m}{6}$$

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	12
2. ENGRENAGENS.....	14
2.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS	16
2.2 DEMAIS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS	23
2.3 REPRESENTAÇÃO DE ENGRENAGENS	26
2.4 RASGO DE CHAVETA.....	28
3. SOFTWARES CAD/CAE	31
4. DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA.....	37
4.1 MODELAGEM DA ENGRENAGEM PADRÃO.....	38
4.2 DESENVOLVIMENTO DA PLANILHA DE FÓRMULAS E DADOS	47
4.3 ERGONOMIA DE SOFTWARE	50
4.4 LINKAGEM DA TABELA COM OS SOFTWARES DE MODELAGEM.....	64
5. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS	67
6. CONCLUSÃO	72
7. TRABALHOS FUTUROS	74
REFERÊNCIAS	75
APÊNDICES.....	81
ANEXOS	82

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

As engrenagens são elementos de máquinas dentados que compõe a transmissão de movimento, sendo de grande utilização em uma alta gama de mecanismos desde os tempos mais remotos. Basicamente, são elementos que auxiliam na transmissão de forças, sendo para controlar a velocidade e a força de um sistema, como as caixas de câmbio de um carro, ou para transformar movimento rotativo em movimento linear, como o par de pinhão e cremalheira disposto na maioria dos portões eletrônicos, movidos por um motor acoplado. Assim como outros elementos de máquinas, tais componentes seguem normas para sua criação e são atribuídas equações que padronizam sua concepção. Sendo assim, é possível modelar toda a engrenagem com base em algumas poucas informações, como o módulo e o número de dentes e seu ângulo de pressão.

Os softwares CAD/CAE são softwares que auxiliam projetos de engenharia facilitando a criação de modelos 3D com geometrias e superfícies complexas capazes de editar informações e valores de forma rápida, principalmente quando são usados em conjunto com equações pré-determinadas e tabelas específicas de projetos para componentes de máquinas para atribuir as dimensões às peças. Muitos desses softwares possuem bibliotecas de componentes mecânicos integrados, os quais as engrenagens fazem parte. Entretanto, tais bibliotecas geralmente são de cunho demonstrativo para visualização e não podem ser utilizadas como moldes tridimensionais para manufatura, devido a sua falta de informações.

Com os pressupostos citados é proposto o desenvolvimento de um sistema automatizado integrado com os softwares de modelagem mais conhecidos no mercado para a criação de modelos de engrenagem utilizando as equações, baseando-se das diversas normas técnicas vigentes para tais elementos a fim de otimizar o processo de criação e projeto de engrenagens, que muitas vezes é realizado de forma manual, desenhando o padrão dos dentes de cada engrenagem criada. O intuito é desenvolver uma ferramenta simples e de fácil compreensão que facilite a criação de projetos que envolvam engrenagens e faça com que os projetistas desses elementos ganhem tempo no desenvolvimento e edição de projetos, além de ganhar confiabilidade no modelo criado, sabendo que o mesmo segue as normas vigentes para a sua criação, levando em conta também a ergonomia da ferramenta integrada ao software para que a mesma possa ter uma maior integração com o seu público alvo.

Para o desenvolvimento do sistema foram elaborados os seguintes tópicos a serem seguidos:

- Elaborar uma pesquisa sobre os diferentes padrões de engrenagens e suas normas equivalentes;
- Assimilar os diferentes tipos de engrenagens com as equações adequadas e levantar todos os parâmetros que podem influenciar na criação das mesmas;
- Elaborar o sistema de automatização com base nos dados coletados utilizando softwares específicos para criação de sólidos em conjunto com o Excel;
- Levantar os dados de tempo de criação média de engrenagens nos métodos convencionais;
- Comparar o resultado das engrenagens criadas com o projeto de pesquisa e as criadas com o método convencional para concluir se a ferramenta é viável e aplicável em segmentos da indústria de projetos mecânicos.

O caminho metodológico para a criação do sistema foi baseado em conhecimentos pessoais de software, pesquisas bibliográficas e fóruns específicos sobre os mesmos, já que tais sistemas estão em desenvolvimento e aprimoramento constantes.

Assim, a presente monografia é estruturada em quatro capítulos principais:

O primeiro capítulo é uma revisão bibliográfica sobre engrenagens, suas principais partes, dimensões e normas técnicas, a fim de conhecer o modelo a ser criado pelo sistema e fazer o levantamento das equações necessárias, tendo sido escolhido o desenvolvimento do sistema pra engrenagens cilíndricas de dentes retos devido a serem engrenagens de geometria mais simples de modelar para facilitar o processo de desenvolvimento e entendimento do sistema criado.

O segundo capítulo traz os fundamentos dos softwares CAD/CAE, um breve histórico e sua influência e utilização atualmente, mostrando seus benefícios em comparação com sistemas de desenho técnico mais ultrapassados, como o do papel e prancheta de desenho.

O terceiro capítulo trata do desenvolvimento da ferramenta em si, onde são selecionados os softwares para a criação do modelo, o sistema de criação do modelo em si com todas as fórmulas e parâmetros necessários, o desenvolvimento da tabela do Microsoft Excel e o uso de ergonomia de software para torna-la mais adequada ao usuário e a linkagem da tabela aos softwares CAD/CAE para sua utilização.

O quarto capítulo aborda uma comparação entre as engrenagens geradas pelo sistema linkado ao Excel com as engrenagens criadas automaticamente nos sistemas de Toolbox dos softwares CAD/CAE, mostrando as diferenças geométricas das mesmas de forma mais representativa.

2. ENGRENAGENS

Engrenagens são rodas com dentes padronizados que servem para transmitir movimento e força entre dois eixos. Muitas vezes, as engrenagens são usadas para variar o número de rotações e o sentido da rotação de um eixo para o outro. (TELECURSO 2000, 1997 [2])

Já a NBR 6174 (ABNT, 1980) define as engrenagens como todo elemento mecânico denteado de forma constante, destinado a transmitir movimento e/ou receber movimento de um outro elemento mecânico também denteado, pela ação dos dentes em contatos sucessivos.

Segundo Bini & Rabello (2007) engrenagens são mecanismos formados por duas rodas dentadas, ou seja, duas roldanas cujos aros têm dentes, de tal maneira construídos que as saliências se introduzem, sem choque, nas reentrâncias das outras, transmitindo-se o movimento não por atrito, mas por empuxo direto.

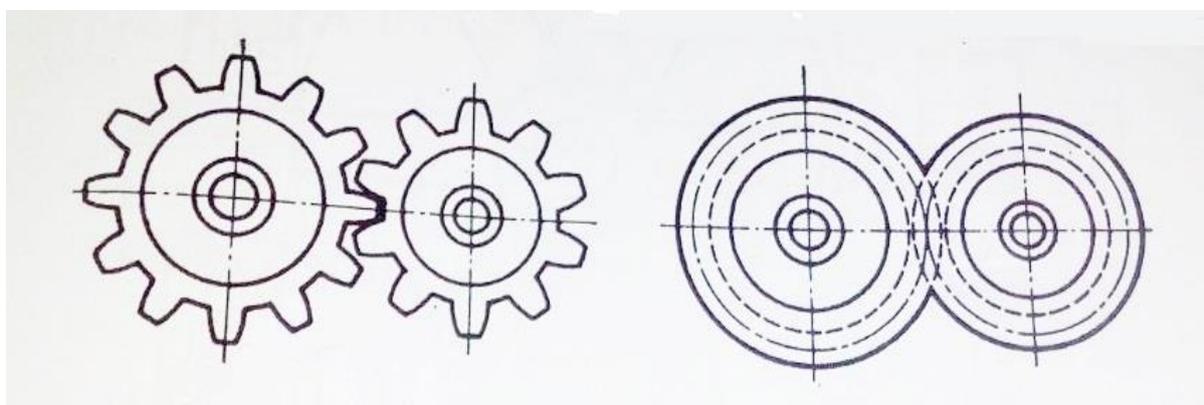


Figura 1 - Engrenagens e sua Representação Convencional (BINI & RABELLO, 2007)

As transmissões por engrenagens podem ser definidas como a ligação entre dois elementos que apresentam certa relação de movimento e podem ser classificadas quanto ao tipo de dente, posição relativa entre eixos, relação de transmissão, rendimento e tipos de engrenagens, entre estes se destacam: engrenagens cilíndricas, cônicas, parafuso sem fim coroa, de corrente, etc. As engrenagens cilíndricas podem ser de dentes retos ou helicoidais. (SILVA, 2015)

Segundo Budynas (2011), de todos os tipos de engrenagens, as engrenagens cilíndricas são as mais simples e, por esta razão, são utilizadas para desenvolver as relações cinemáticas primárias na forma de dente.

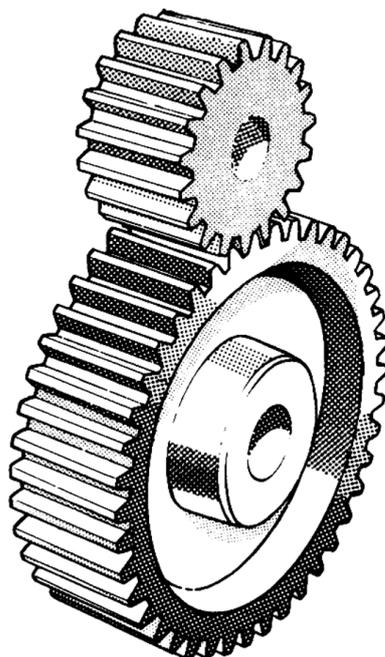


Figura 2 – Par de Engrenagens Cilíndricas (RICHARDS, 2013)

Os dentes das engrenagens são projeções desenhadas para se ajustar nos espaços entre os dentes da roda de engrenagem combinada, fazendo o contato dos dentes ao longo de uma linha conhecida como “linha de pressão”, que é determinada pelo ângulo de pressão. (FRENCH & VIERCK, 1999)

A função de um par de engrenagens é transmitir movimento de um eixo para outro com uma velocidade uniforme. (RICHARDS, 2013)

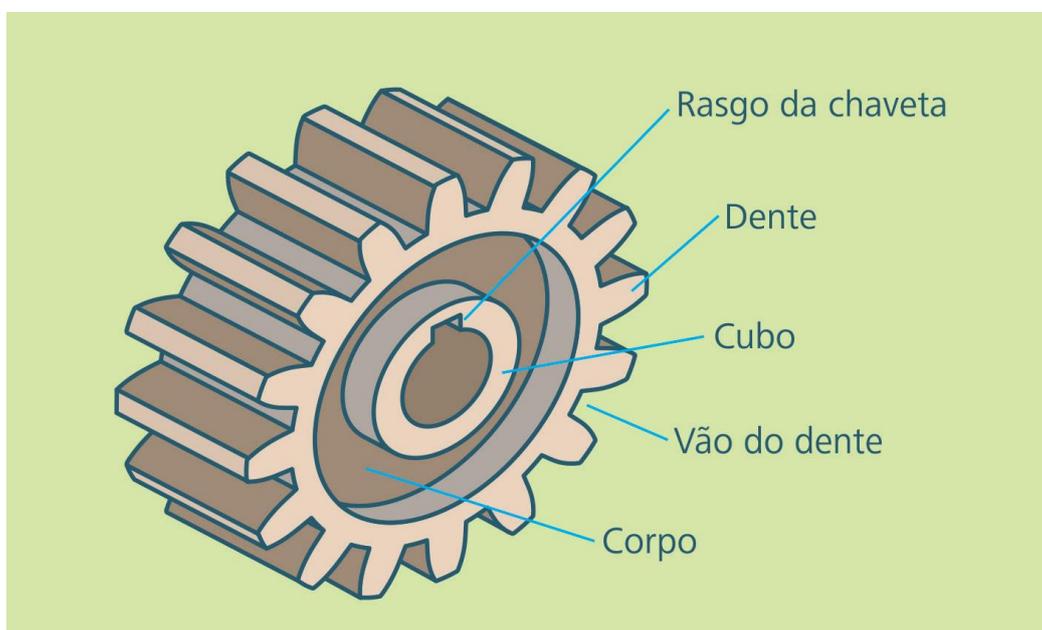


Figura 3 - Partes de uma engrenagem (FRANCESCHI & ANTONELLO, 2014)

A exigência básica para a geometria dos dentes das engrenagens é que propiciem uma relação de velocidades angulares que seja exatamente constante. Por exemplo, a relação de velocidades angulares entre uma engrenagem de 20 dentes e outra de 40 dentes deve ser precisamente igual a dois, qualquer que seja a posição das engrenagens. Ela não deve ser, por exemplo, 1,99 quando um par de engrenagens iniciar o contato e 2,01 quando eles deixarem o contato. Evidentemente, as imprecisões do processo de fabricação e as deformações causarão ligeiros desvios na relação de velocidades, porém os perfis aceitáveis para a geometria dos dentes são baseados em curvas teóricas que atendem a esse critério. (JUNIVALL & MARSHEK, 2016)

Segundo Collins (2015), a seleção do melhor tipo de engrenamento para um cenário particular de projeto depende de muitos fatores, incluindo o arranjo geométrico proposto para a máquina, a relação de redução necessária, a potência a ser transmitida, as velocidades de rotação, as metas de eficiência, as limitações do nível de ruído e as restrições de custos. Sendo assim, é muito comum a mudança de características de engrenagens ao longo do projeto, como por exemplo o número de dentes devido a mudança de rotação ou para trabalhar em espaços limitados, o módulo da engrenagem em relação as ferramentas de fabricação, e a espessura da engrenagem em relação ao seu dimensionamento a cargas.

Dubbel (2013) ressalta que para o acoplamento de engrenagens ocorrer da forma correta, devem ser observadas as seguintes condições: que tenham o mesmo passo/módulo; que pelo menos um par de dentes esteja engrenado; que as linhas de ação do perfil de ambos os dentes coincidam. Quaisquer sistemas de engrenagens que seguirem estas condições passam a formar um sistema de transmissão.

2.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

As características geométricas do perfil frontal das engrenagens podem ser simplificadas a partir de três variáveis: o seu módulo (ou passo diametral, para engrenagens do sistema inglês), o seu ângulo de pressão e o seu número de dentes. Com esses valores, pode-se traçar todos os pontos necessários para a criação da engrenagem.

O passo diametral P (também chamado de diametral pitch) é definido como o número de dentes por polegada do diâmetro primitivo. Já o módulo m , que é basicamente o inverso de P , é definido como o diâmetro primitivo em milímetros dividido pelo número de dentes. (JUNIVALL & MARSHEK, 2016)

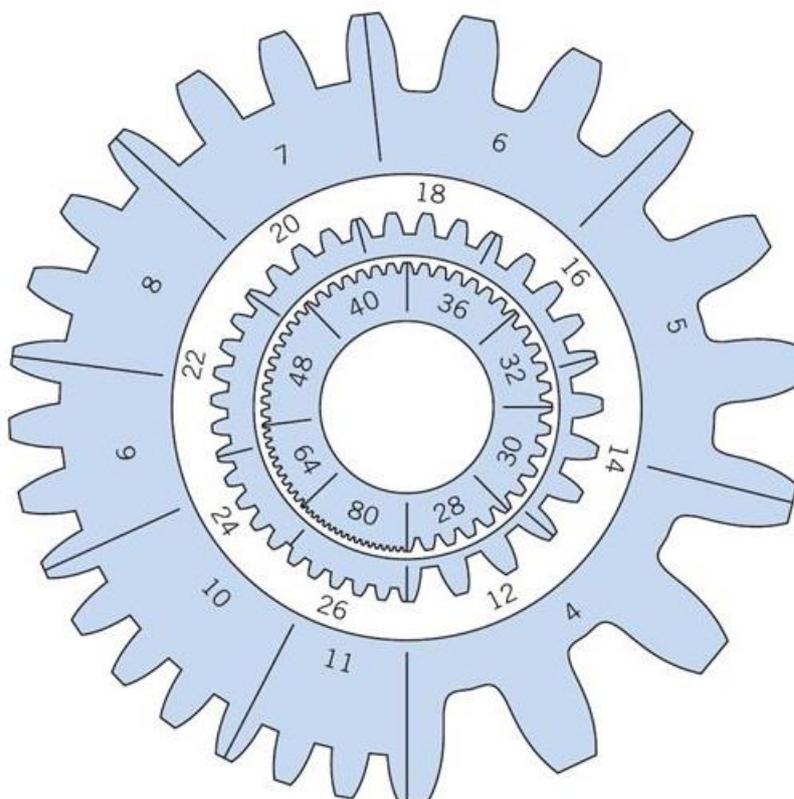


Figura 4– Dimensões Reais dos Dentes de Engrenagens para Diversos Passos Diametraes
(JUNIVALL & MARSHEK, 2016)

No caso do sistema métrico onde utiliza-se como base o módulo, diferente do que mostra a Figura 3, quanto maior for o módulo, maior será o perfil do dente das engrenagens. Tais parâmetros devem ser levados em consideração já que módulo e passo diametral são de sistemas diferentes. Tanto as engrenagens de módulo como de passo diametral seguem medidas preestabelecidas a fim de padronizar a fabricação das mesmas. Sendo assim, engrenagens que possuam módulo ou passo diametral diferente da recomendação da norma vigente são engrenagens especiais que não são projetadas para fabricação em série e reposição rápida.

As engrenagens são fabricadas geralmente com formas diretas de engrenagem, em forma de cilindro cujas secções aumentam com o módulo. Para reduzir o custo das ferramentas, foi reduzido a variedade das ferramentas de corte, estabelecendo uma série de módulos. (SCHNEIDER, 2008)

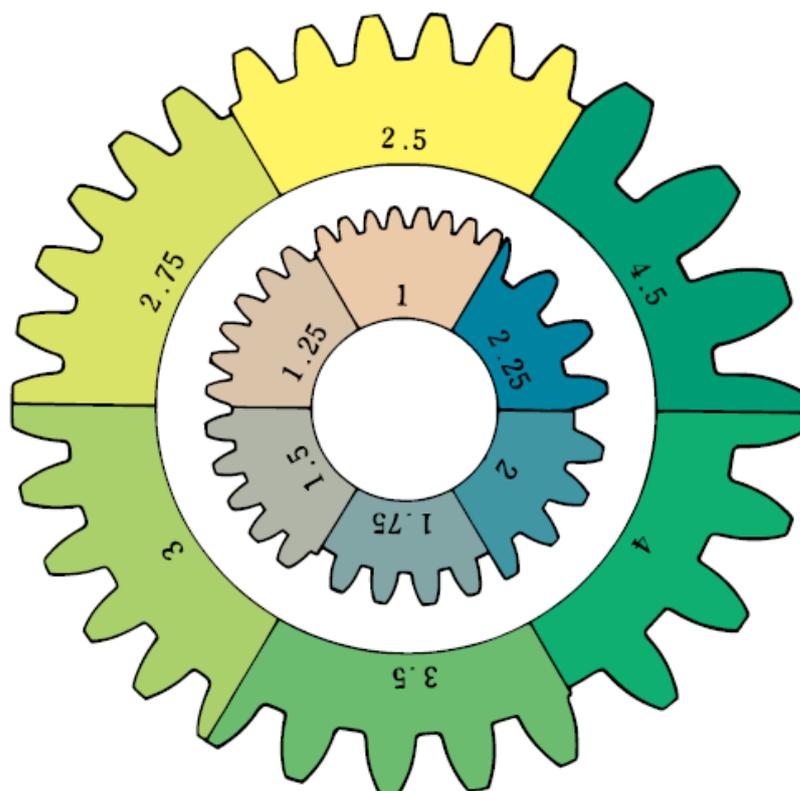


Figura 5 – Comparações do Tamanho dos Dentes de Engrenagens para Diversos Módulos (KOHARA, 2007)

Na Tabela 1, Silva et. al. (2011) mostra alguns dos módulos mais utilizados para engrenagens, baseado na norma ISO 54 (1996) e ressalta os módulos mais utilizados destacando-os em negrito:

0,5	0,55	0,6	0,7	0,8	0,9	1
1,125	1,25	1,375	1,5	1,75	2	2,25
2,5	2,75	3	3,5	4	4,5	5
5,5	6	7	8	9	10	11
12	14	16	20	25		

Tabela 1 – Padrões de Módulo de Engrenagens (SILVA et. al., 2011)

A partir do módulo ou do passo diametral de uma engrenagem e do seu número de dentes, podemos descobrir boa parte das dimensões de uma engrenagem, como o seu diâmetro primitivo. Uma tabela comparativa entre módulos e passos diametraes pode ser encontrada no Anexo E.

O sistema de módulo é geralmente usado em países que adotaram o sistema métrico; consequentemente, o termo módulo é geralmente compreendido como o passo diametral em milímetros. O sistema módulo, entretanto, também pode ser baseado em medidas em polegadas, sendo conhecido assim como Módulo Inglês (English Module) para evitar ser confundido com o sistema de módulo métrico. O Módulo em si é uma medida real, enquanto o passo diametral é somente uma relação. (OBERG et al., 2012)

É importante ressaltar que nas transmissões por engrenagem o sentido de rotação dos eixos é oposto, ou seja, invente-se de horário para anti-horário para cada etapa de transmissão.

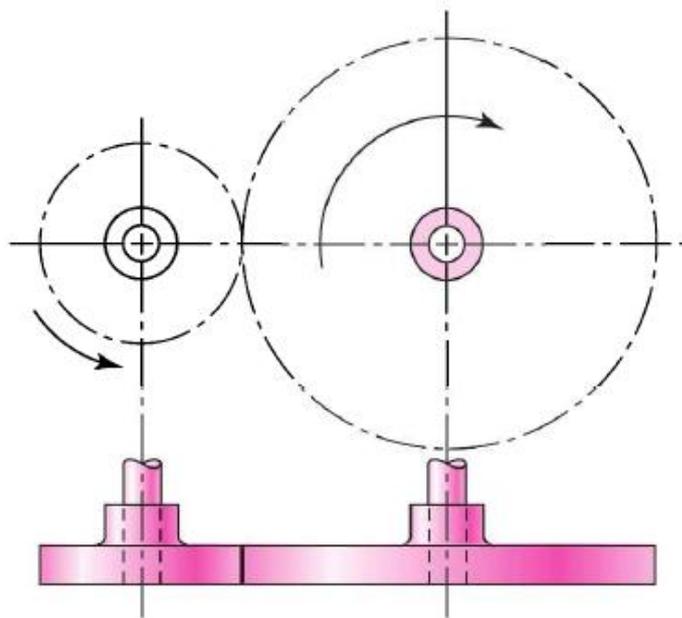


Figura 6 - Disposição simplificada de um par de engrenagens cilíndricas (BUDYNAS, 2011)

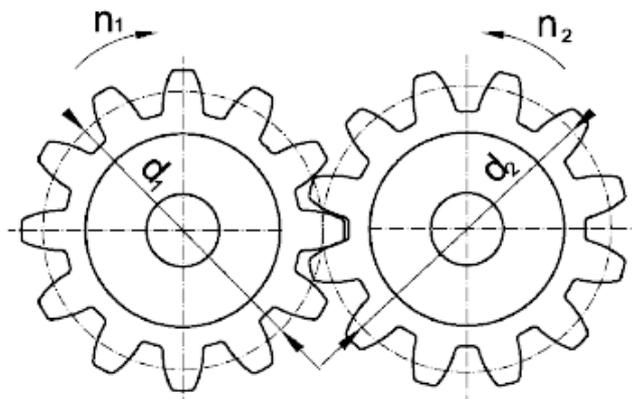


Figura 7 – Sentido de Rotação das Engrenagens (MESA, FLOR & RIBERO, 2004)

Já o ângulo de ação ou de pressão é o ângulo que define a direção da força que a engrenagem motora exerce sobre a engrenagem movida. A Figura 5 a seguir mostra que o pinhão exerce uma força na coroa, formando um ângulo (ϕ) com a tangente comum às circunferências primitivas (linhas tracejadas na Figura 5). (FRANCESCHI & ANTONELLO, 2014)

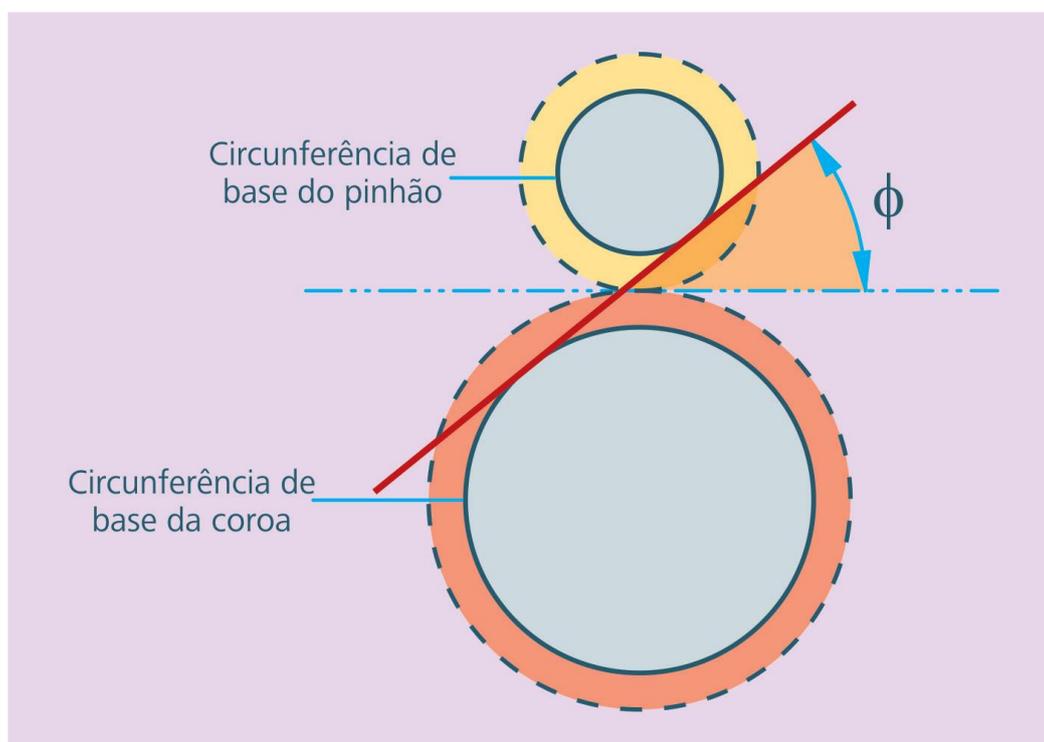


Figura 8 - Ângulo de Ação ou de Pressão (FRANCESCHI & ANTONELLO, 2014)

Outra definição mais aceita é a citada por Melkonian (2005), onde ele enfatiza que o ângulo de pressão é o ângulo formado pela tangente comum aos diâmetros primitivos das duas engrenagens e a trajetória descrita por um ponto de contato entre um par de dentes das engrenagens, onde as engrenagens iniciam o contato no ponto A e a cinemática das engrenagens faz com que o dente acionado percorra a trajetória AB, sendo o ponto B o ponto onde se finaliza o contato entre os dentes. O segmento de reta AB, descrito pela trajetória do ponto de contato e a tangente comum aos diâmetros primitivos das engrenagens, define o ângulo de pressão, conforme a Figura 6 exemplifica:

Já a NBR 6684 (1981) denomina o ângulo de pressão como o ângulo de incidência frontal no ponto em que o perfil aparente corta a circunferência primitiva.

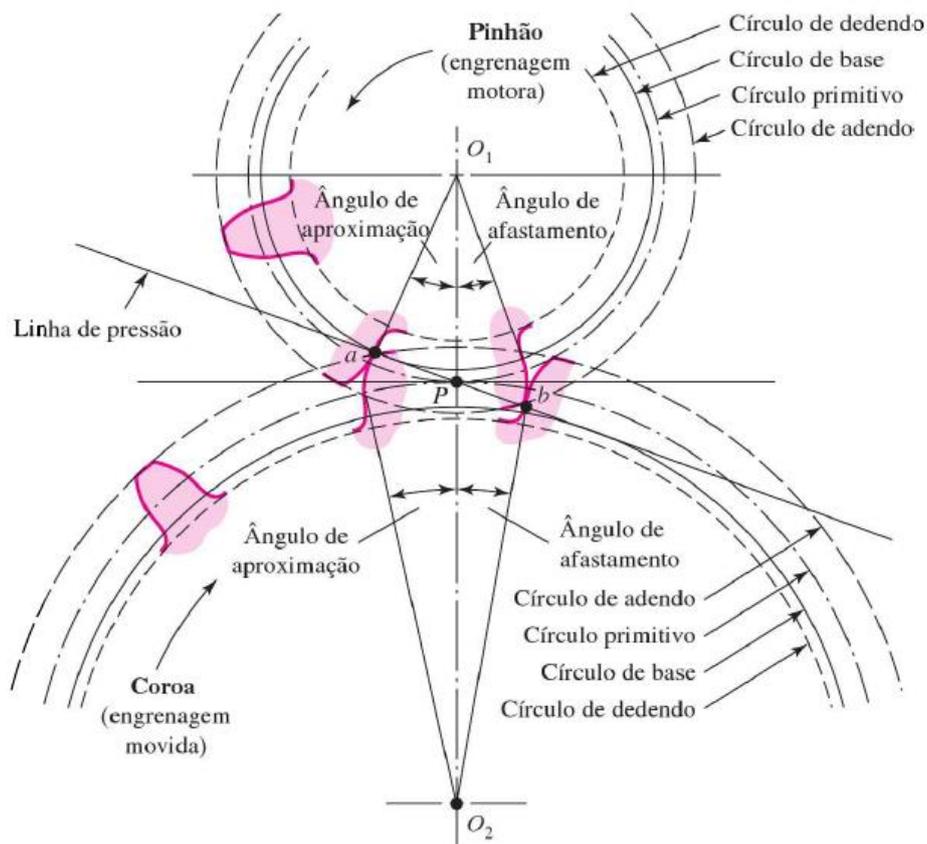


Figura 9 – Interação Entre os Dentes Formando a Linha de Pressão (BUDYNAS, 2011)

Manfé et. al. (2004) cita que o ângulo de pressão é o ângulo formado entre a reta de pressão e a tangente do círculo primitivo, no ponto de intersecção do perfil do dente primitivo, que pode ser melhor observado na Figura 7.

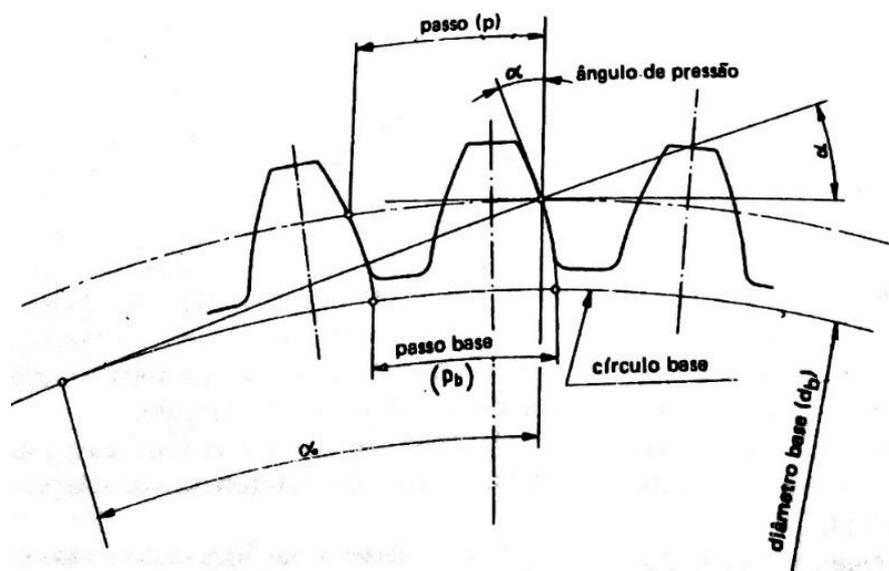


Figura 10- Ângulo de Pressão e outras Características (MANFÉ et. al., 2004)

Os ângulos de pressão, assim como os módulos, também são normalizados a fim de padronizar as engrenagens e as ferramentas para sua confecção. Os ângulos mais comuns são de $\alpha = 20^\circ$ e $\alpha = 14^\circ 30'$, sendo o primeiro o mais amplamente utilizado, comumente padronizado pelas normas DIN 867 (1986) e ISO 53 (1998). Pode-se notar na Figura 7 que os dentes com ângulo menor tem um perfil que aparenta ser mais fino do que os de ângulo maior, devido as suas correções de perfil ajustadas ao ângulo de pressão. Uma lista mais aprofundada dos padrões de ângulos de pressão e dentes para diversos tipos de engrenagens pode ser encontrada em Radzevich (2012) de acordo com as normas vigentes de cada padrão.

O ângulo de pressão é denominado geralmente como o ângulo do maior ponto de contato durante o engrenamento e a linha de centro das engrenagens. Na prática, ele pode determinar a ferramenta a ser utilizada para a confecção das engrenagens, já que as fresas módulo são compradas em jogos com módulo e ângulo de pressão pré-definidos, sendo selecionado apenas a fresa correta de acordo com o número de dentes da engrenagem a ser usinada.

O ângulo de pressão mais utilizado, tanto no sistema inglês quanto no SI é de 20° . Nos Estados Unidos, o ângulo de 25° também é padronizado, e $14^\circ 30'$ foi por algum tempo, no passado, um valor padronizado alternativo. (JUNIVALL, 2016)

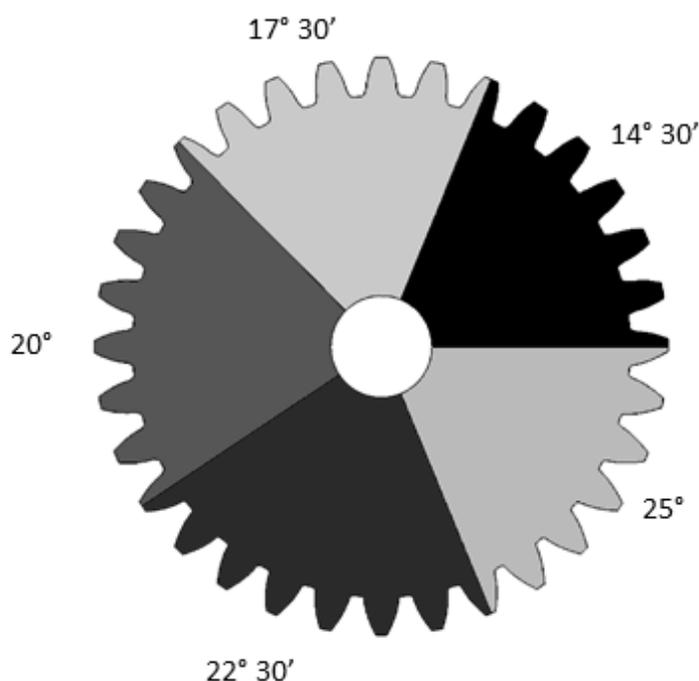


Figura 11 - Comparação entre os perfis de engrenagens cilíndricas para ângulos de pressão de $14^\circ 30'$, $17^\circ 30'$, 20° , $22^\circ 30'$ e 25° . (SILVA, 2015)

Pode-se observar pela Figura 8 e Figura 9 que o ângulo de pressão influencia diretamente no perfil do dente da engrenagem, definindo principalmente o perfil da parte superior (geralmente denominado de Addendum), como pode ser observado na Figura 9. Apesar de existirem diversos ângulos de pressão, devido a padronização das ferramentas de corte para a confecção de engrenagens, dificilmente, nas engrenagens atuais, esse ângulo é diferente de 20° . Ângulos de pressão diferentes são adotados em engrenagens especiais que tem o propósito de evitar cópias ou em engrenagens antigas onde a padronização ainda não havia sido feita em critérios mundiais pelo sistema internacional.

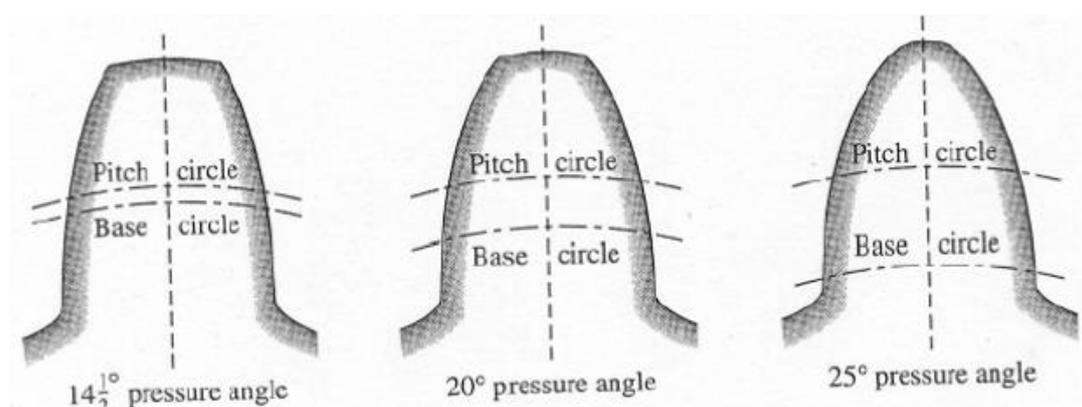


Figura 12 - Efeito do Ângulo de Pressão nos Dentes das Engrenagens (DANTAS, 2018)

2.2 DEMAIS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

Uma nomenclatura mais completa em relação aos dentes das engrenagens pode ser observada na Figura 10. Pode-se observar que os dentes das engrenagens geralmente são divididos acima e abaixo do diâmetro primitivo em Adendo e Dedendo, sendo que cada um possui um raio próprio que varia de acordo com o número de dentes. A parte inferior do Dedendo apresenta ainda uma folga e um filete para alívio de tensões, que também varia de acordo com o número de dentes e o módulo da engrenagem. Basicamente, todas as outras dimensões relacionadas aos dentes da engrenagem vão ser de acordo com suas dimensões principais e podem ser calculadas.

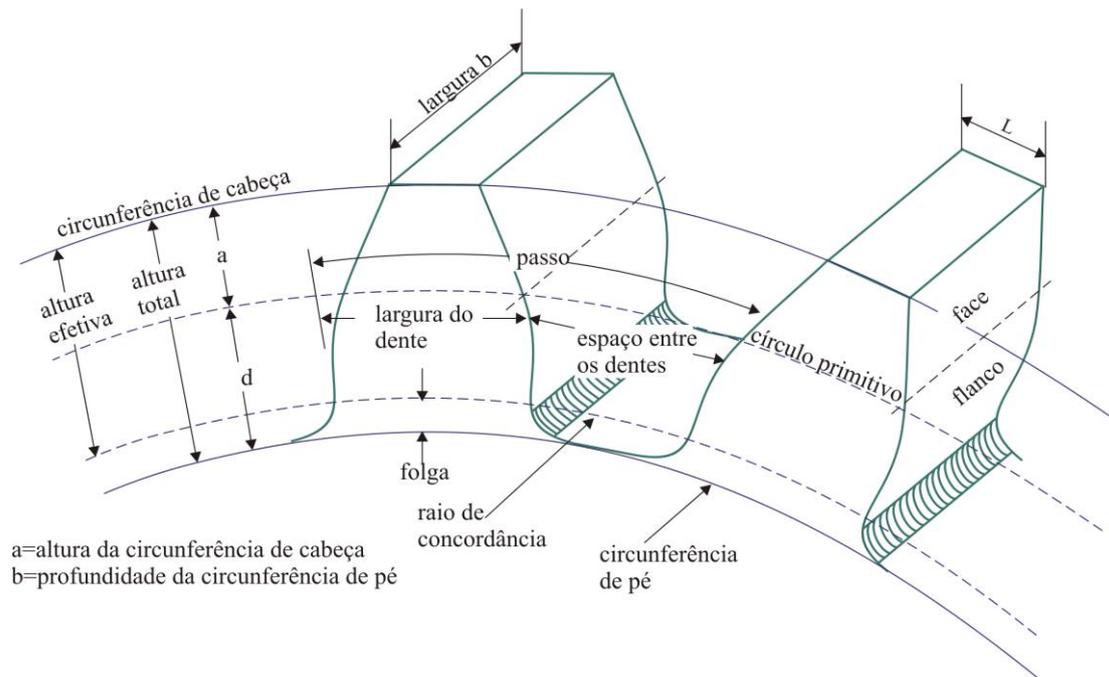


Figura 13 - Nomenclatura dos Dentes da Engrenagem (JUNIVALL, 2016)

Manfé et. al. (2004) traz algumas definições das principais partes das engrenagens:

- Flanco: porção da superfície de um dente compreendida entre a superfície externa (addendum) e a interna (dedendum);
- Profundidade de trabalho (altura do dente): distância radial entre o diâmetro interno e externo;
- Dedendum (altura da circunferência da cabeça): distância radial entre o diâmetro primitivo e diâmetro interno;
- Addendum (altura da circunferência do pé): distância radial entre o diâmetro primitivo e diâmetro externo;
- Passo: comprimento do arco do diâmetro primitivo compreendido entre dois perfis homólogos consecutivos;
- Passo base: passo medido no diâmetro interno.

Alessandri (1970) complementa ainda com algumas definições importantes:

- Diâmetro externo: limita a altura máxima do dente, concêntrico ao diâmetro primitivo;
- Diâmetro Interno: limita a base do dente, concêntrico ao diâmetro primitivo;
- Largura do dente: distância entre as faces frontal e posterior da engrenagem;
- Espessura do dente: comprimento do diâmetro ocupado pelo dente, referente ao diâmetro primitivo;
- Espaço entre dentes (intervalo): distância entre dois dentes da engrenagem, referente ao diâmetro primitivo.

Outros autores citam diversas outras dimensões dos dentes das engrenagens, mas raramente fazem definições das mesmas, usando apenas desenhos técnicos para demonstrar o significado das mesmas. Para uma maior compreensão pode-se observar tais dimensões no desenvolvimento da ferramenta em conjunto com a lista de símbolos ou consultar as normas técnicas de nomenclatura, como a NBR 6684 (ABNT, 1981)

Como as engrenagens são compradas prontas ou fabricadas em máquinas com ferramentas especiais (as denominadas fresas módulo), elas acabam adquirindo a forma geométrica das ferramentas, que já são padronizadas com a forma adequada. Contudo, é vantajoso que o desenhista se acostume a criar as engrenagens de acordo com o perfil correto pois em casos especiais, as engrenagens podem passar por processos de manufatura que reconhecem exatamente os perfis e superfícies desenhadas, o que pode acarretar em erros de manufatura ou na criação de engrenagens sem filetes e raios de alívio de tensão dos dentes, além de perfis de dentes que não são padronizados, o que faz com que a engrenagem se torne uma engrenagem especial.

Mesmo com todas essas relações disponíveis, ainda restam algumas relações necessárias para a criação do perfil do dente de uma engrenagem, principalmente quando se quer garantir a precisão via software. Autores já consagrados no meio como Casillas (1981) trazem alguns parâmetros adicionais e várias informações técnicas de comparação de engrenagens de diversos sistemas e os mecanismos para sua fabricação e medição, mas não se aprofundam tanto na forma de traçado e criação dos dentes, mas sim numa exemplificação geral para se ter uma ideia básica da forma que os mesmos irão obter.

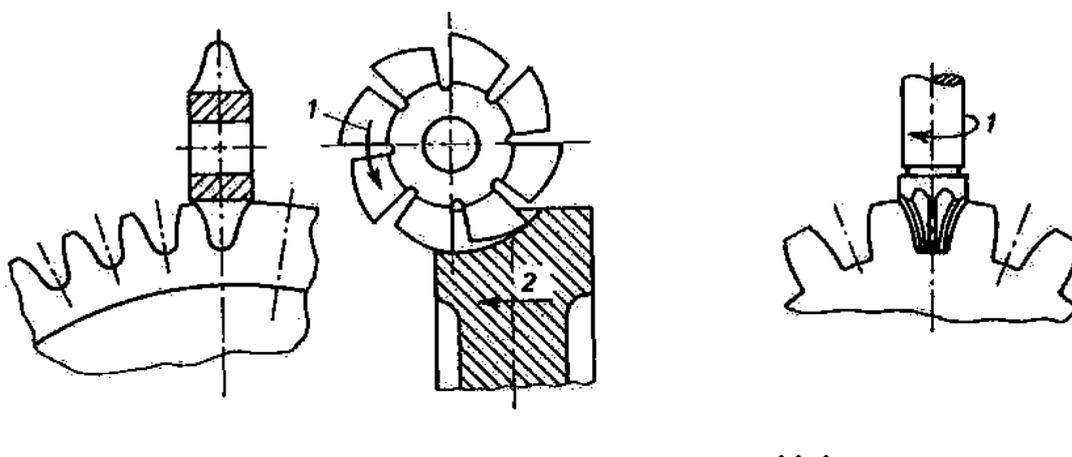


Figura 14 - Fresas de Fabricação de Engrenagens (REY, 2001)

Shigley (2005) comenta que existem muitas maneiras de fabricar dentes de engrenagens, tais como processos de fundição, metalurgia do pó, extrusão, usinagem e conformação. Quando a engrenagem é fabricada por usinagem, os dentes podem ser usinados por fresagem, moldagem ou fresagem de caracol e podem também ser acabados por rebarbação, brunimento, retífica ou lapidação.

Assim, quando se deseja precisão quanto ao formato do dente das engrenagens, o autor mais reconhecido é Grant (1890, 1891 & 1893), que tem uma vasta bibliografia sobre o assunto a qual é utilizada até os dias atuais. Basicamente, Grant definiu alguns coeficientes que variam a partir do número de dentes das engrenagens, que devem ser multiplicados pelo módulo para se determinar o valor dos raios do perfil dos dentes, no que ficou conhecido como o Odontógrafo de Grant. Uma versão simplificada desse odontógrafo pode ser encontrada no livro Pro-tec – Desenhista de Máquinas, da Provenza (1991) e está exposta no Anexo A.

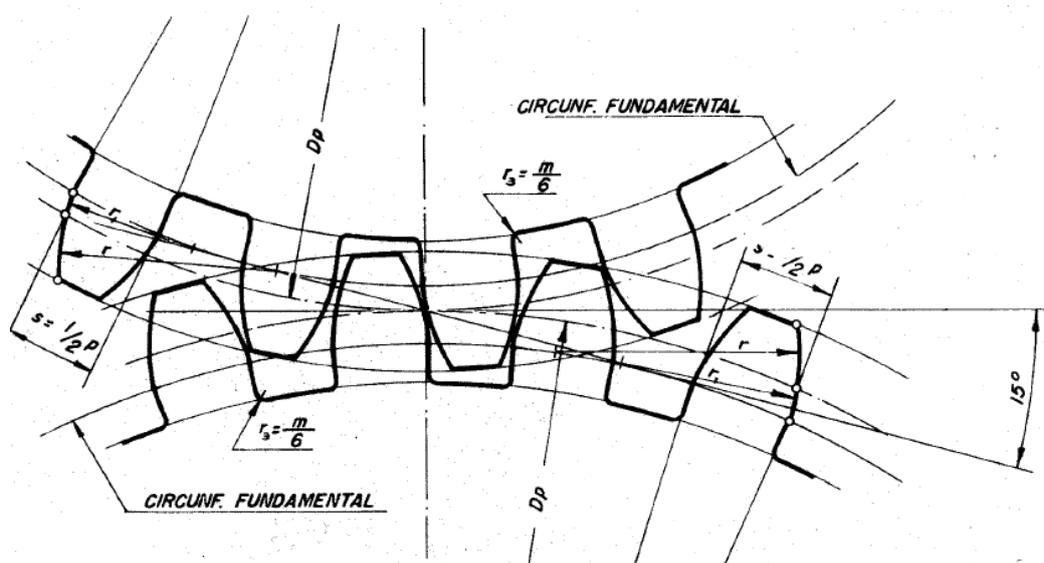


Figura 15 - Raios de Traçado do Perfil dos Dentes (PROVENZA, 1991)

2.3 REPRESENTAÇÃO DE ENGRENAGENS

Segundo a NBR 11534 (ABNT 1991) e a ISO 2203 (INTERNATIONAL STANDART, 1997), a representação de engrenagens em desenho técnico pode ser representada como uma peça sólida sem dentes, indicando-se apenas o diâmetro primitivo com uma linha, traços e pontos estreitos, conforme NBR 8403 (ABNT, 1984), e, se for necessário, representar um ou dois dentes no desenho, representa-los com linha contínua larga, conforme a imagem.

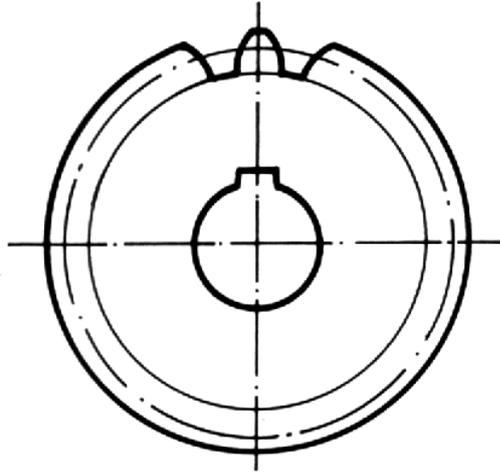


Figura 16 - Representação de Engrenagem em Desenho Técnico (ABNT, 1991)

Entretanto, quando relacionamos a criação de modelos tridimensionais para auxiliar no desenvolvimento e aplicação de elementos de um determinado conjunto, é necessário realizar a criação de todos os dentes pertencentes aquela engrenagem, com todos os detalhes necessários para que softwares auxiliares possam reconhecer as superfícies e auxiliar em sua fabricação.

Assim, uma transmissão por engrenagens pode ser imaginada como que formada por dois cilindros em contato sem deslizamento, com diâmetros iguais aos dos círculos primitivos das engrenagens. (JUNIOR, 2003)

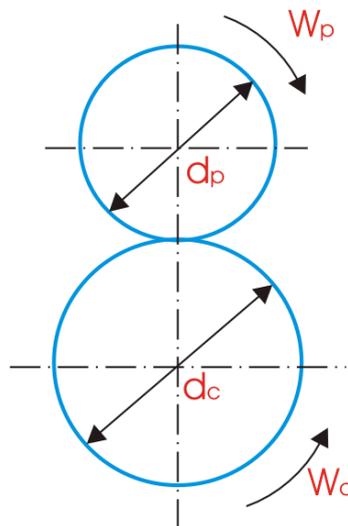


Figura 17 - Idealização para Engrenagens transmitindo como Cilindros em Contato (JUNIOR, 2003)

2.4 RASGO DE CHAVETA

Chavetas são elementos de máquinas utilizados para fixar elementos como engrenagens ou polias aos eixos, de modo que se possa travar a rotação dos dois elementos e transmitir torque entre eles. (IZILDO & FREIRE, 1997)

As chavetas de engrenagens, geralmente paralelas, são peças geralmente fabricadas de aço que se interpõe entre as cavidades do eixo e da engrenagem, evitando deslizamento entre eles. Em polias pode-se também fixar os elementos com parafusos na parte lateral, mas tal sistema raramente é utilizado em engrenagens pois a furação não pode ser feita em cima dos dentes da mesma. Sendo assim, geralmente as engrenagens são ligadas por chavetas ou por pressão com um conjunto de parafuso e arruela montado de forma axial no eixo prendendo a engrenagem a um ressalto, geralmente do próprio eixo.

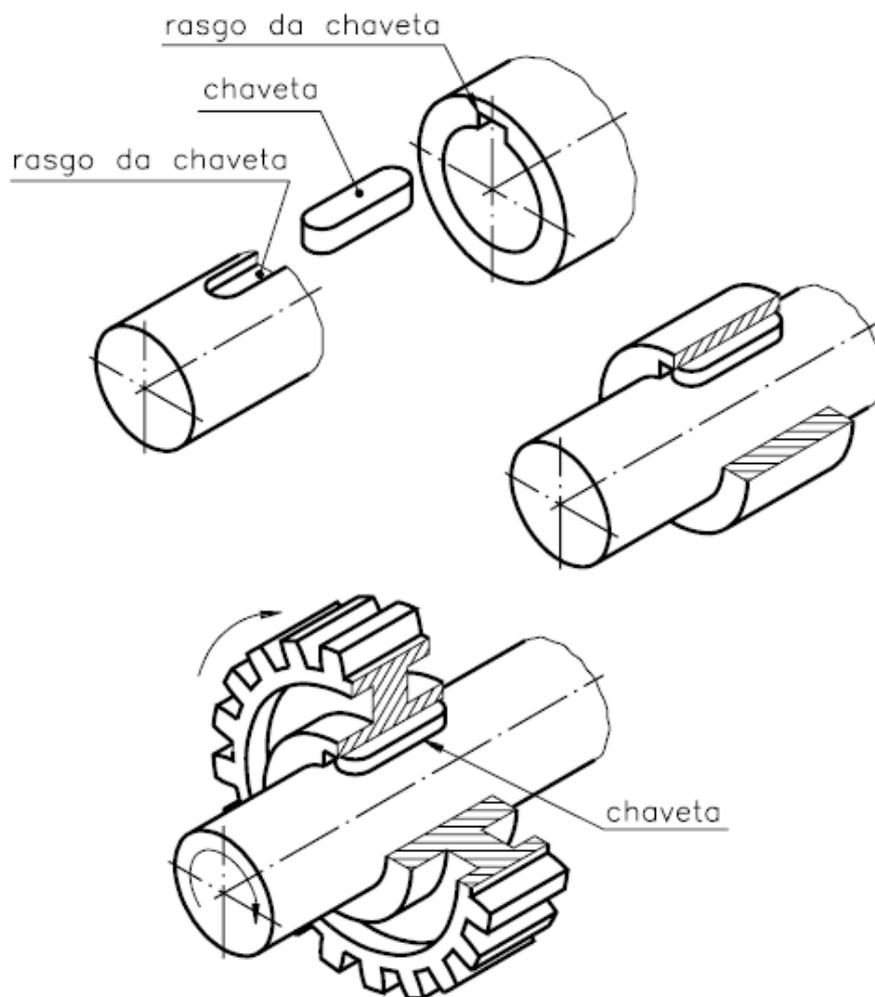


Figura 18 - Sistema de Acoplamento por Chaveta (TELECURSO 2000, 1997 [1])

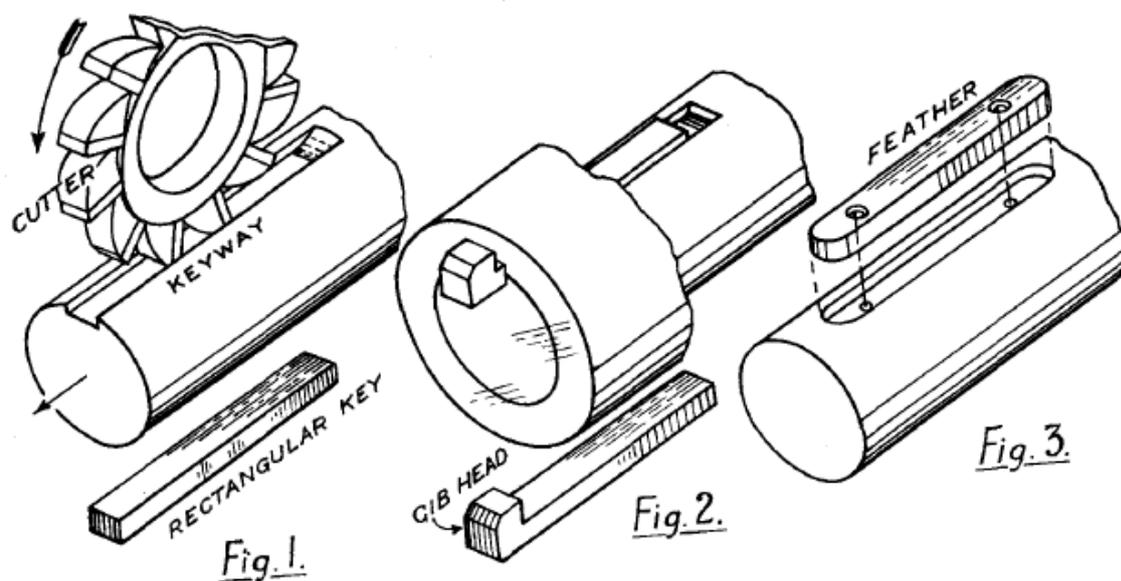


Figura 19 – Fabricação e montagem de alguns tipos de chavetas (ABBOTT, 1976)

As chavetas são usadas para evitar o movimento relativo entre árvores e os elementos a elas conectados, através dos quais se transmite potência. Embora engrenagens, polias, etc. possam ser presas ao eixo por meio de ajustes prensados, é sempre aconselhável projetar uma chaveta para transmitir toda a potência. (HALL, HOLLOWENKO & LAUGHLIN, 1977)

Assim como outros elementos mecânicos, as chavetas têm formatos padronizados para facilitar sua fabricação e podem conter cantos arredondados e furações para fixação, conforme mostra a Figura 20.

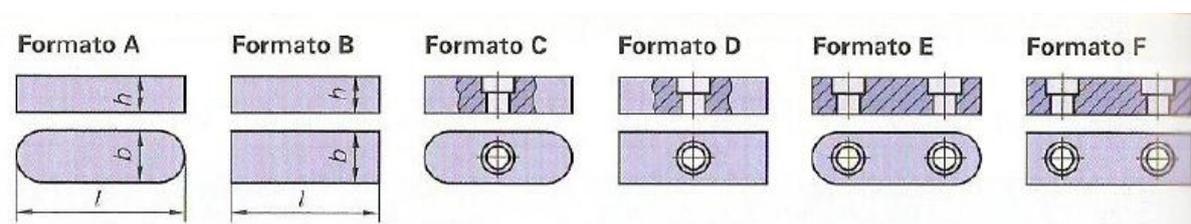


Figura 20 – Formatos de Chaveta (FISCHER, 2008)

Segundo Dobrovolski (1970), as ligações chavetadas tem adquirido ampla difusão devido à grande simplicidade e segurança da sua construção, facilidade de montagem e desmontagem e baixo custo. Alguns outros sistemas podem ser usados para substituir as uniões chavetadas, como por exemplo o uso de eixos ranhurados. Esse tipo de eixo possui ranhuras de

sentido axial, as quais engrenam em cavidades correspondentes na peça a ser montada ao eixo. Apesar de tal sistema ter uma grande eficiência mecânica, geralmente se torna inviável devido à complexidade de sua fabricação, o que aumentaria muito o custo de ambos os elementos (eixo e engrenagem).

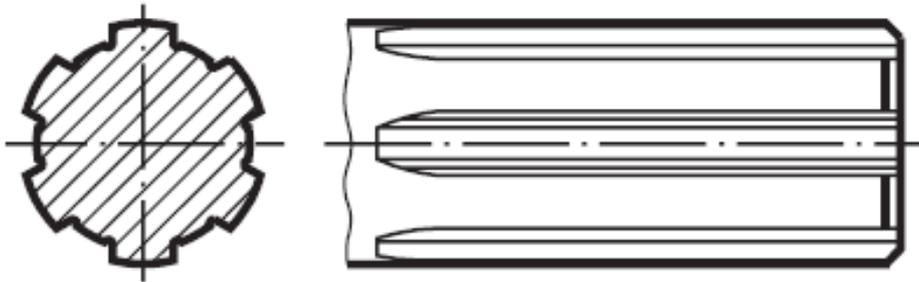


Figura 21 - Eixo Ranhurado (TELECURSO 2000, 1997 [2])

As chavetas e rasgos para eixos ranhurados são dimensionados e padronizados a partir do diâmetro do eixo a ser acoplado na engrenagem. Sendo assim, as dimensões de rasgos de chaveta no eixo e na engrenagem são padronizadas. Pode-se consultar a medida do rasgo de chaveta no anexo B ou na norma alemã DIN 6885 (1968), enquanto os entalhes para eixos ranhurados podem ser encontrados na norma ISO 14 (1982), dispostos no Anexo C, ou na tabela encontrada em Provenza (1996), disposta no Anexo D.

3. SOFTWARES CAD/CAE

Métodos antigos de desenho e projeto estão cada vez mais obsoletos com o passar dos anos. O sistema, que consistia no cálculo manual de peças e componentes e no detalhamento de componentes projetando-os em folhas com equipamentos de desenho como compassos, esquadros e régua perde cada vez mais espaço para o mundo computadorizado atual. Norton (2013) enfatiza que:

Alguns desses métodos ainda têm valor porque podem mostrar os resultados de uma forma compreensível, mas não se pode mais “fazer engenharia” sem utilizar o instrumento mais recente e mais poderoso: o computador.

Atualmente, uma das ferramentas mais utilizadas nas empresas é o sistema CAD (Computer Aided Design ou projeto auxiliado por computador), que permite o modelamento baseado em sólidos e superfícies, transformando o croqui de projeto inicial em um modelo de componente físico tridimensional. Esse sistema é utilizado para o desenvolvimento, geração e detalhamento. A classificação do sistema CAD é disponibilizada através da característica de trabalho e utilização, seja de pequeno, médio ou grande porte. (FILHO & RAITHS, 2016)

A otimização e automatização dos processos de criação tem contribuído para a melhoria de projetos que se tornam cada vez mais complexos. Essa contribuição é significativa devido às melhorias na capacidade de execução de projetos e na interação entre softwares que podem conter diversos dados técnicos que anteriormente necessitavam de árduas pesquisas em catálogos, livros técnicos e tabelas. Outra contribuição importante é o transporte de modelos tridimensionais para os desenhos técnicos convencionais, que em muitas empresas ainda são realizados de forma bidimensional e impressos em papel para a fabricação das peças.

Levando em conta a vasta utilização dos softwares CAD para projetos, Shigley (2005) ressalta as vantagens do sistema:

[...] Uma vantagem de uma base de dados tridimensional é que ela permite cálculos rápidos e precisos das propriedades de massa, tais como massa, localização do centro de gravidade e momentos de inércia das massas. Outras propriedades geométricas, como áreas e distâncias entre pontos, são provavelmente obtidas de maneira fácil. [...]

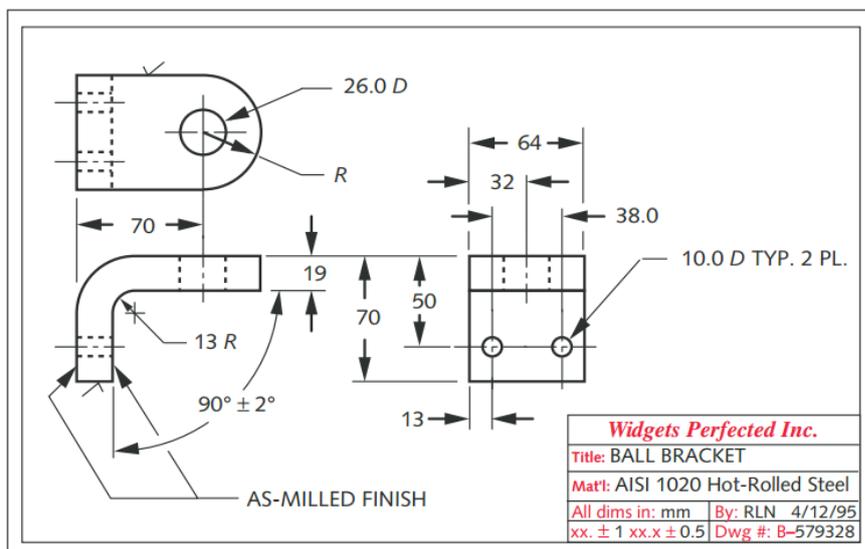


Figura 22 - Desenho cotado, projeções ortogonais, com três vistas, feito com um aplicativo de CAD 2D. (NORTON, 2013)

Segundo Lazzuri (1999), só seria possível realizar trabalhos mais elaborados em um espaço de tempo menor oferecendo aos usuários ferramentas que permitissem desenvolver o projeto já em 3D, e depois deixar o próprio sistema automaticamente gerar vistas e cortes, colocar cotas, e ainda manter a associação entre os dois tipos de desenho, ou seja, se fizermos uma alteração, seja no 2D ou no 3D, todas as vistas, cortes e o modelo se atualizam.

Na década de 1990, os sistemas CAD evoluíram para uma outra filosofia, baseada na representação paramétrica de modelos tridimensionais. Toda a informação das peças individuais e de montagem do conjunto pode ficar guardada, sejam quais forem as dimensões envolvidas e a sua complexidade. (SILVA et. al., 2011)

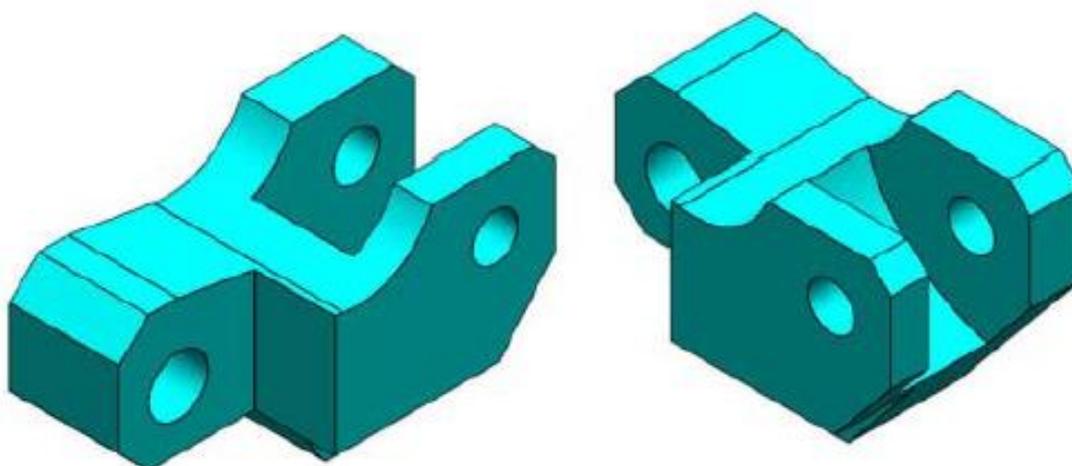


Figura 23 - Exemplo de modelo de peça criado no software SolidWorks (DASSAULT, 2010)

Conforme a NBR 10067 (ABNT, 1995), a representação técnica de uma peça deve ser realizada em três vistas (geralmente vista frontal, vista superior e vista lateral esquerda), para ser melhor interpretada nos desenhos técnicos. Com modelos 3D, pode-se substituir a representação convencional simplificada pelo método das vistas por uma visão 3D de qualquer ângulo do modelo, podendo obter medidas de praticamente qualquer ponto ou superfície necessário, a possibilidade de efetuar simulações como a análise térmica, estrutural e diagramas de tensões concentradas e também realizar a integração do software CAD com softwares utilizados para a fabricação dos modelos, ocorrendo muitas vezes a exportação integrada do modelo 3D para o ambiente de fabricação tridimensional.

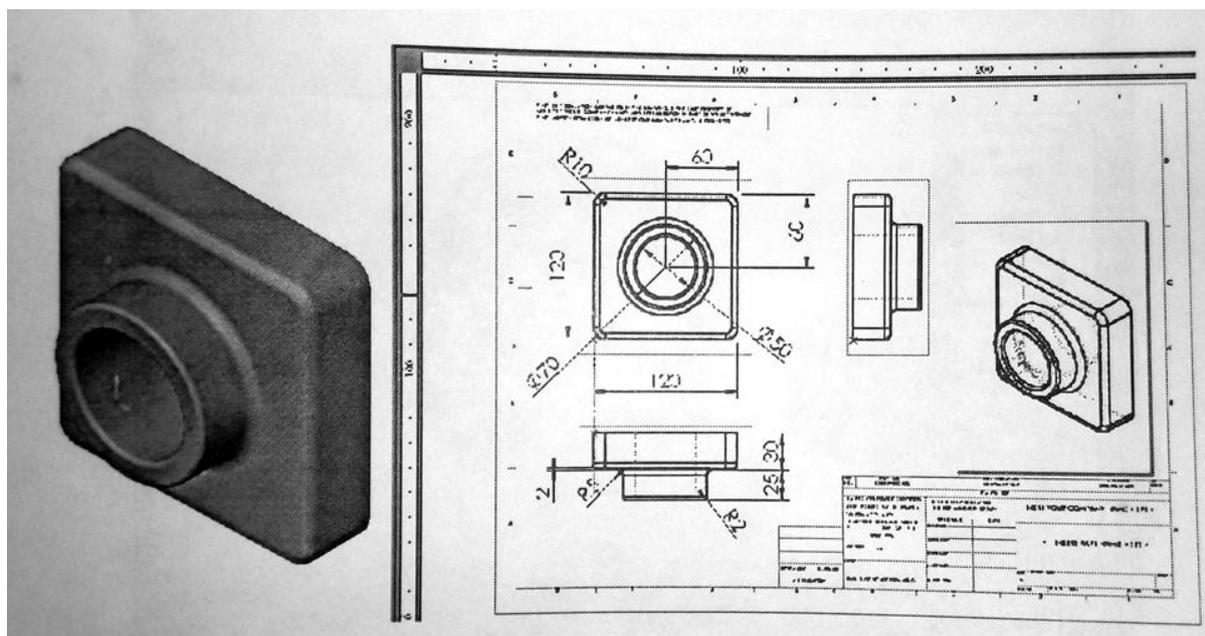


Figura 24 - Representação do Modelo 3D e Suas Vistas Ortográficas (SOUSA et. al., 2001)

Os softwares CAD ajudam a preparar desenhos no computador. Seu produto pode então ser impresso no papel. Ele permite alargamentos, reduções, cópias, rotações e outras flexibilidades conforme a necessidade do projetista. (SHAH & RANA, 2007)

Estes sistemas fornecem uma série de ferramentas para construção de entidades geométricas planas (como linhas, curvas, polígonos) ou mesmo objetos tridimensionais (cubos, esferas, etc.). Também disponibilizam ferramentas para relacionar essas entidades ou esses objetos, como por exemplo: criar um arredondamento (filete) entre duas linhas ou subtrair as formas de dois objetos tridimensionais para obter um terceiro. (HELLMEISTER & FRAGELLI, 2009)

A grande vantagem da representação gráfica em 3D sobre a representação bidimensional, (representação através das vistas ortográficas), é que o usuário trabalha com a forma real do objeto ou da peça sem precisar interpretá-la a partir da representação das vistas, o que normalmente apresenta um percentual razoável de erros de interpretação, principalmente quando as peças ou objetos possuem um alto grau de detalhamento ou complexidade. (SPECK, 2005)

Nos softwares CAD que trabalham com modelos 3D geralmente esse modelo é exportado para um ambiente 2D representado em uma folha para ser realizado sua manufatura de acordo com as dimensões e tolerâncias apresentadas. Em essência, os softwares são capazes de passar informações a partir do modelo, gerando automaticamente suas vistas e atualizando-as conforme o modelo for alterado, o que implica numa automatização enorme quando comparado com desenhos técnicos manuais.

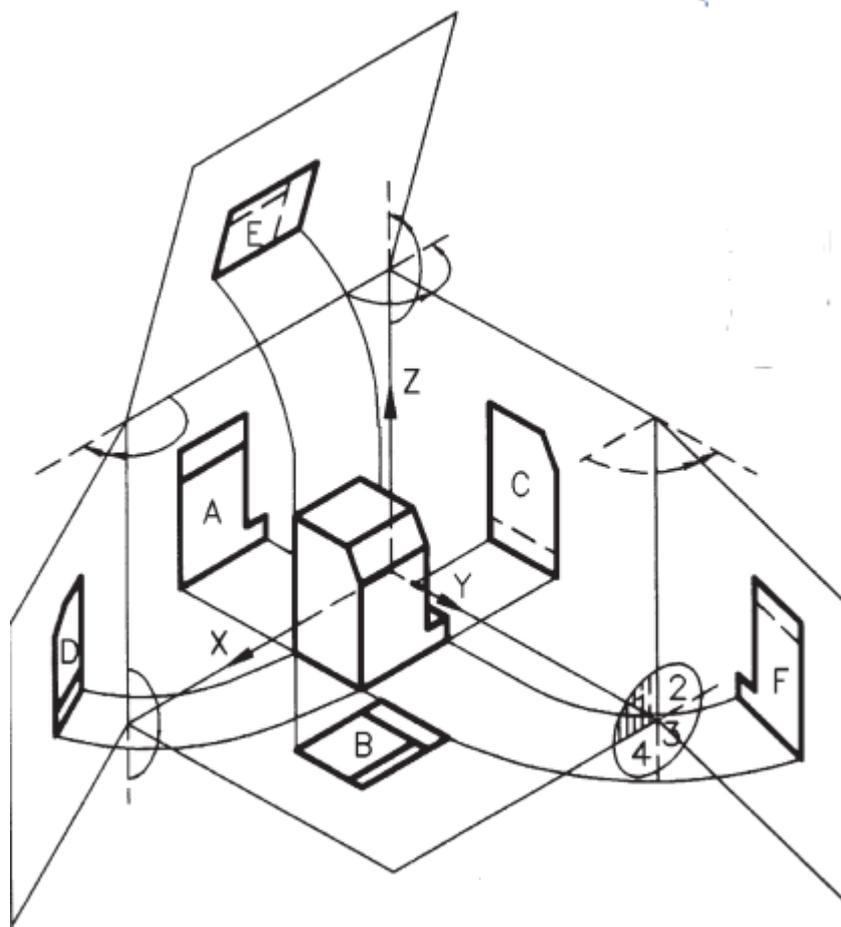


Figura 25 – Representação de Vistas a partir de um Modelo (ABNT, 1995)

Nos anos que se seguiram até a atualidade, o desenvolvimento de softwares de CAD se deu de forma generalizada, com ofertas feitas por diversas empresas do ramo. A tecnologia vem sendo aprimorada a cada dia e com difusão da Internet no final dos anos 90, tal gênero de software tornou-se muito acessível ao redor do mundo, possuindo versões que podem ser utilizadas de forma gratuita (freewares). (AMARAL & FILHO, 2010)

Segundo Pahl et al. (2005), é necessário estabelecer estratégias para a geração de modelos gerados por sistemas CAD, principalmente no início do trabalho, com um procedimento orientado por corpos básicos ou superfícies, a fim de facilitar a criação de componentes mais complexos. Essas estratégias tornam mais acessível a edição do modelo e seus posicionamentos em uma montagem.

Na criação de engrenagens, por exemplo, deve-se desenhar um esboço com o diâmetro primitivo das engrenagens para fator de posicionamento quando as mesmas forem incluídas em uma montagem, sendo que seus diâmetros primitivos devem ser tangentes entre si para que ocorra o engrenamento correto. Os softwares CAD realizam também a simulação do engrenamento, e é possível até mesmo fazer uma análise estrutural das tensões nas engrenagens para casos de dimensionamento.

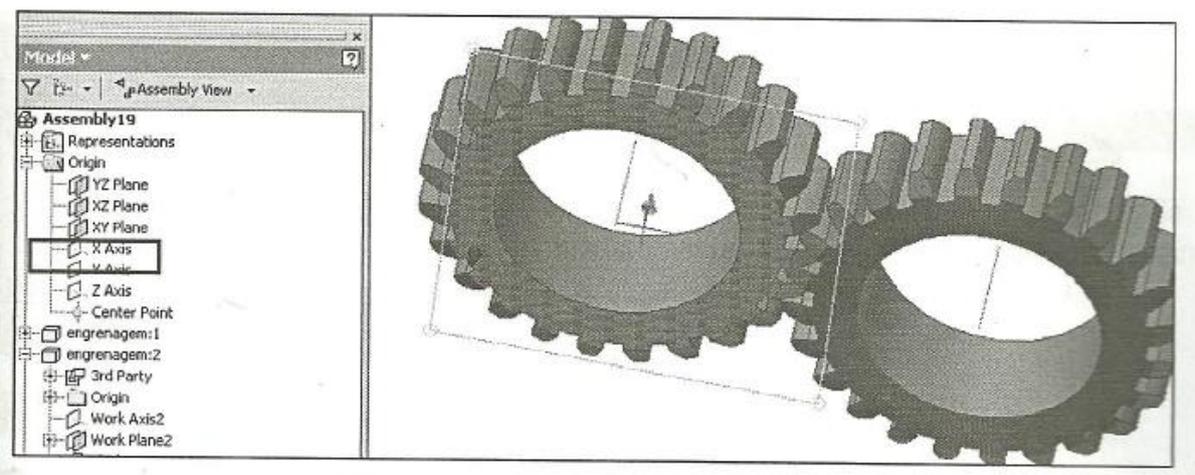


Figura 26 - Exemplo de Posicionamento de Engrenagens no Software Inventor (CRUZ, 2011)

Pahl et al. (2005), também enfatiza que o trabalho de geração pode ser diminuído por meio da utilização de componentes padronizados e repetitivos, e que a constituição de um banco de dados de componentes padronizados e repetitivos alocado a memória do computador facilita a criação de projetos.

Existem diversos métodos para o traçado de perfis de dentes de engrenagens. Os métodos gráficos são mais simples e fáceis de executar, simulam o processo de geração e são muito úteis no caso de perfis especiais. Porém, os métodos analíticos são os mais precisos e com o uso de artifícios computacionais, pode-se obter qualquer número de pontos do perfil, de forma rápida e precisa. (SOUSA, 2003)

Os desenhos de engenharia geralmente são aplicados para uso técnico e estão preocupados com a representação gráfica direta dos projetos de objetos físicos, assim como os usados na engenharia e na ciência. Os sistemas CAD, em contrapartida, são a aplicação de técnicas computacionais convencionais, com o auxílio de sistemas de processamento de dados, a fim de apresentar uma solução gráfica. Eles são voltados para a criação, armazenamento e manipulação de modelos e objetos e seus desenhos e representações. O usuário gera representações gráficas conforme sua interação com o computador. Tais desenhos e interações gráficas são mostrados no display de vídeo do computador e podem ser convertidos em cópias por impressoras ou plotadoras. (NARAYANA, KANNAIAH & REDDY, 2006)

Reddy (2008) cita as principais vantagens dos softwares CAD:

- (i) Desenhos detalhados podem ser criados mais rapidamente e fazer mudanças é muito mais eficiente que corrigir os desenhos feitos manualmente.
- (ii) Permite diferentes vistas do mesmo objeto e uma ilustração da vista em 3D, o que garante uma melhor visualização dos desenhos.
- (iii) Projetos e símbolos podem ser armazenados para serem reutilizados ou analisados facilmente.
- (iv) Usando o computador, o desenho pode ser reproduzido com maior precisão.
- (v) Os desenhos podem ser arquivados mais facilmente, além de recuperados e transmitidos em mídias.
- (vi) Rápida análise de projetos, além de simulações e testes possíveis.

4. DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA

O método para se traçar os dentes da engrenagem era relativamente complexo quando trabalhado de forma manual em pranchetas, de forma que grande parte dos autores que falam sobre o assunto em livros de desenho técnico tendem a exemplificar a forma de criação a partir do que se caracterizou como a evolvente do perfil do dente por métodos aproximados do arco de circunferência, traçando apenas as circunferências principais da engrenagem (primitiva, interna e externa). Autores como Schneider (2008), Silva (2011), Alessandri (1970) e French & Vierck (1999) trazem somente métodos similares para criação aproximada dos dentes das engrenagens para representações em pranchetas, que não são tão interessantes quando se tem uma infinidade de recursos devido aos softwares de modelagem atuais, que podem facilmente representar os dentes das engrenagens de forma muito mais precisa.

Para levantamento dos dados, resolveu-se adotar o padrão estabelecido na NBR 10099 (ABNT, 1989) que trata especificamente da simbologia e nomenclatura utilizada em engrenagens cilíndricas, além de abreviações e termos técnicos comuns para a criação das mesmas, além das unidades de medida correspondentes para cada variável possível.

Na escolha dos softwares a serem utilizados para a criação das engrenagens, fez-se um levantamento dos softwares mais utilizados pelas empresas e instituições de ensino superior e técnico da região, onde pode-se constatar os três predominantes de forma respectiva:

- a) SolidWorks 2018, software desenvolvido pela Dassault Systèmes, sendo o software mais conhecido da região e um dos mais renomados e completos softwares para modelagem de peças e sistemas voltados para a indústria;
- b) Inventor Professional 2018, software desenvolvido pela Autodesk (mesmo criador do famoso AutoCAD), voltado mais para o âmbito industrial, contando com ferramentas e recursos específicos para a área da mecânica. Apesar de vir de uma empresa muito forte no mercado de softwares CAD, é mais utilizado em instituições de ensino por possuir licença gratuita com facilidade de acesso para estudantes e professores, além de ter uma plataforma mais similar à do AutoCAD;
- c) Solid Edge ST10, software desenvolvido pela Siemens, similar em vários aspectos a ambos os anteriores, contando também com licença gratuita para estudantes, mas inexistente nas instituições de ensino da região. Utilizado no setor de projetos de algumas empresas, entretanto.

Vale ressaltar que o AutoCAD poderia facilmente ser o software predominante da região. Entretanto, seu uso geralmente é limitado a plantas baixas, diagramas elétricos ou máquinas que utilizam seu formato de arquivo para leitura de perfis e confecção de peças e/ou obtenção de pontos específicos ao longo das peças. Por conta das limitações que o próprio software apresenta, geralmente é mais utilizado para desenhos em 2D, sendo que a própria Autodesk desenvolveu outro software para suprir as necessidades dessa gama específica de mercado, com funções mais atualizadas e voltadas a recursos mecânicos e simulações, tornando o Inventor um software CAD/CAE.

Para a elaboração da planilha de dados das engrenagens foi utilizado o software Microsoft Excel presente no pacote do Microsoft Office 2016, desenvolvido pela Microsoft para as plataformas Windows. Existem outros softwares e sistemas operacionais que poderiam ter sido usados para o desenvolvimento da tabela e equações, mas todos os softwares de modelagem (SolidWorks, Inventor e Solid Edge) estão disponíveis somente para o sistema operacional Windows, sendo que o próprio SolidWorks já o Excel como extensão interna para auxílio na criação de tabelas de projeto, tornando mais fácil a integração entre as plataformas de modelagem com a tabela criada.

4.1 MODELAGEM DA ENGRENAGEM PADRÃO

Existem inúmeras formas de se criar engrenagens em softwares CAD 3D. Para facilitar a sua edição com a planilha de dados e facilitar a transgressão da engrenagem para um ambiente de detalhamento 2D, foram selecionados os recursos conforme descritos nos passos a seguir.

Para facilitar a criação da engrenagem padrão antes da linkagem com a tabela de fórmulas, usou-se as dimensões de uma engrenagem de módulo (m) = 8 e número de dentes (z) = 17, com ângulo de pressão (α) = 20° , calculada manualmente.

Os recursos utilizados nos softwares são recursos básicos que são detalhados em apostilas e tutoriais específicos como Motta (2010) e Dassault (2010). As imagens demonstradas dos procedimentos foram feitas a partir da modelagem no software SolidWorks da Dassault Systemes, mas o processo de criação para o Inventor da Autodesk e o Solid Edge da Siemens são praticamente idênticos, sendo apontados apenas alguns comentários das diferenças de procedimento.

O primeiro passo para a criação da engrenagem é a criação de um cilindro com as dimensões externas da mesma, simulando o material bruto a ser cortado para sua confecção.

Dessa forma, toda vez que um duplo clique for dado nas faces externas da engrenagem ela mostra suas dimensões máximas: diâmetro externo (D_e) e largura (L).

A criação do cilindro é feita com o recurso de extrusão, com o centro do círculo externo criado na origem e executando o comando como “plano médio” para que o centro da peça seja exatamente na origem, facilitando cálculos e posicionamentos de montagem. O nome exato do recurso varia para cada software, mas todos funcionam de maneira praticamente idêntica.

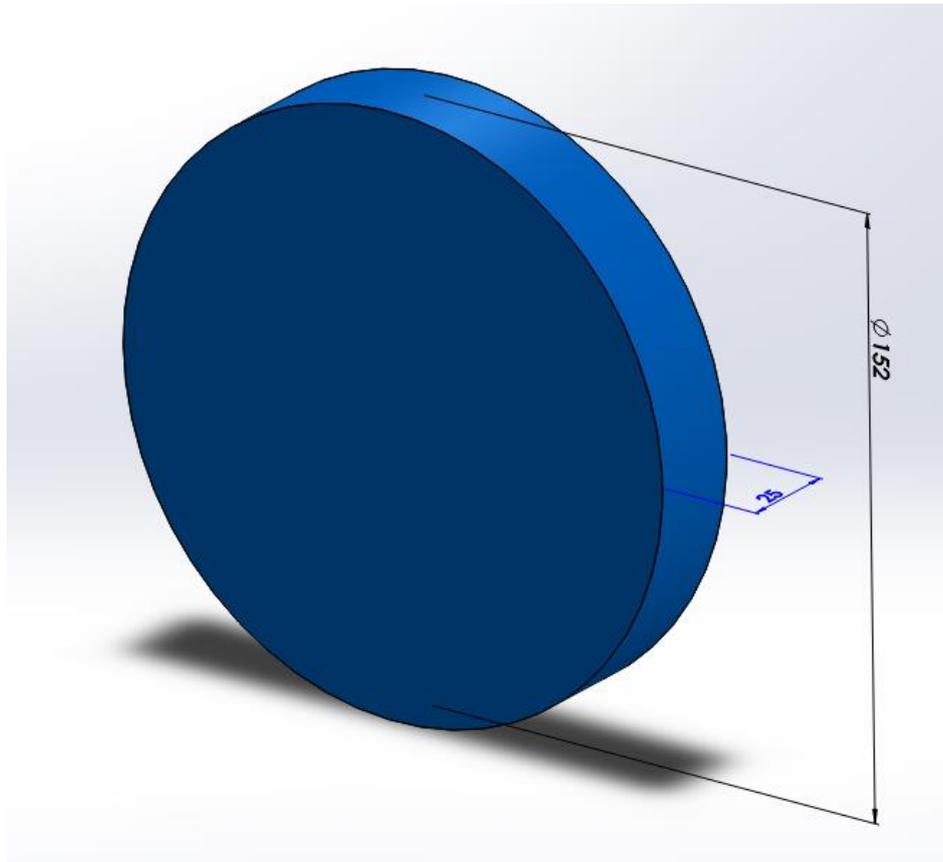


Figura 27 – Extrusão do Cilindro utilizando o SolidWorks (O Autor, 2018)

A largura de 25 mm foi determinada arbitrariamente e serve apenas de parâmetro inicial, já que o projetista pode escolher a espessura da engrenagem de acordo com o seu projeto, sendo que, segundo Cunha (2005) a mesma geralmente varia de 8 a 12 vezes o módulo, enquanto o diâmetro externo de 152 mm foi obtido a partir da seguinte fórmula:

$$D_e = m \cdot (z + 2) = 8 \cdot (17 + 2) = 152 \text{ mm}$$

O segundo passo foi a criação do recorte do vão entre os dentes da engrenagem, conforme esboço demonstrado na imagem abaixo. As circunferências mais fracas representadas por traço e ponto são somente linhas auxiliares para o traçado dos raios do perfil do dente e representam respectivamente, de cima para baixo os diâmetros primitivo (D_p), de base (D_b) e interno (D_i), enquanto a linha traço-ponto é utilizada para garantir a simetria do dente em relação ao centro da engrenagem.

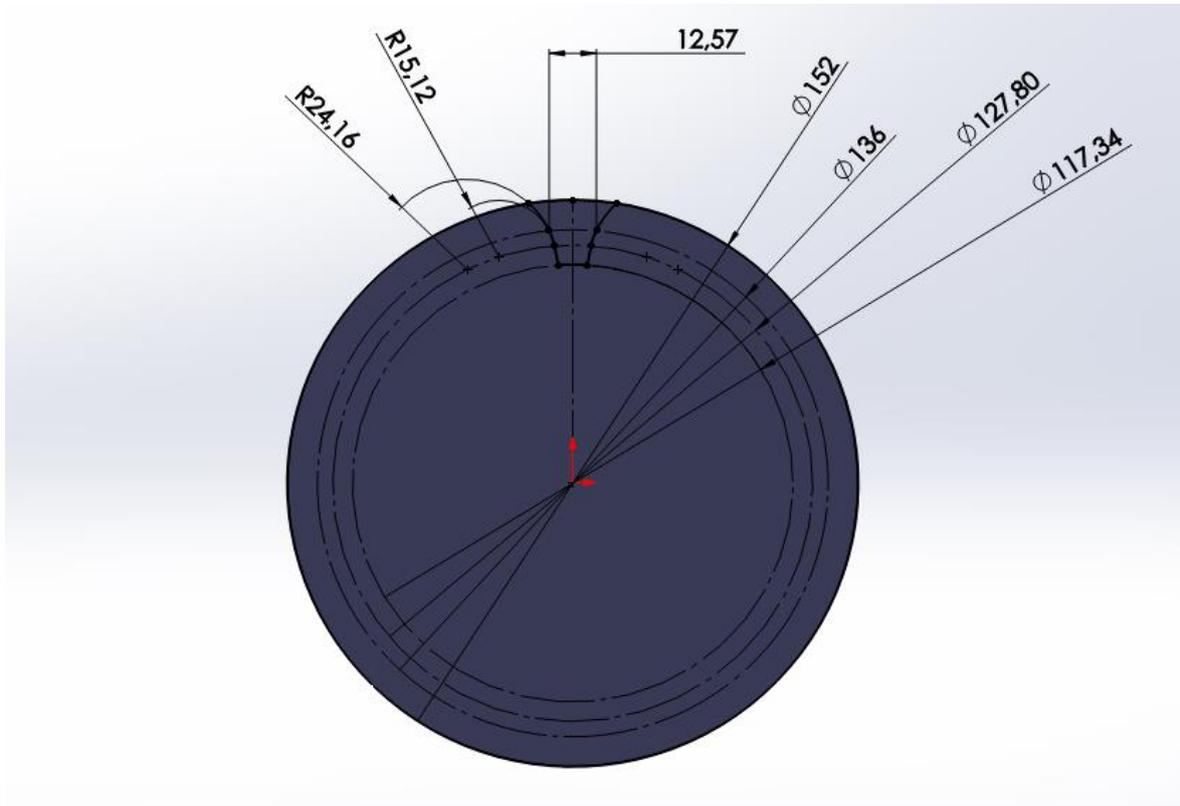


Figura 28 – Esboço do corte do Perfil do vão do Dente da Engrenagem (O Autor, 2018)

Para o traçado do esboço da imagem demonstrada acima foram utilizadas as seguintes fórmulas:

$$D_p = m \cdot z = 8 \cdot 17 = 136 \text{ mm}$$

$$D_b = D_p \cdot \cos \alpha = 136 \cdot \cos 20^\circ = 127,80 \text{ mm}$$

$$a = m = 8 \text{ mm}$$

$$b = m + \frac{m}{6} = 8 + \frac{8}{6} = 9,33 \text{ mm}$$

$$h = a + b = 8 + 9,33 = 17,33 \text{ mm}$$

$$D_i = D_e - 2 \cdot h = 152 - 2 \cdot 17,33 = 117,34 \text{ mm}$$

$$P = m \cdot \pi = 8 \cdot \pi = 25,13 \text{ mm}$$

$$e = v = \frac{P}{2} = 12,57 \text{ mm}$$

$$ra = m \cdot f = 8 \cdot 3,02 = 24,16 \text{ mm}$$

$$rb = m \cdot f' = 8 \cdot 1,89 = 15,12 \text{ mm}$$

É importante ressaltar que os valores dos coeficientes f e f' utilizados para calcular os valores dos raios de addendum e dedendum são obtidos a partir do odontógrafo de Grant, disponível no Anexo A.

No SolidWorks o comando utilizado foi o Corte Extrudado, recurso que realiza um corte em uma determinada direção a partir de um perfil. Nos softwares Inventor e Solid Edge o recurso é muito semelhante, entretanto ele está incluso como uma aba do recurso Extrusão do Inventor e Extrudar do Solid Edge (mesmo utilizado para a criação do cilindro bruto), devendo ser selecionado a opção Recorte para a remoção de material.

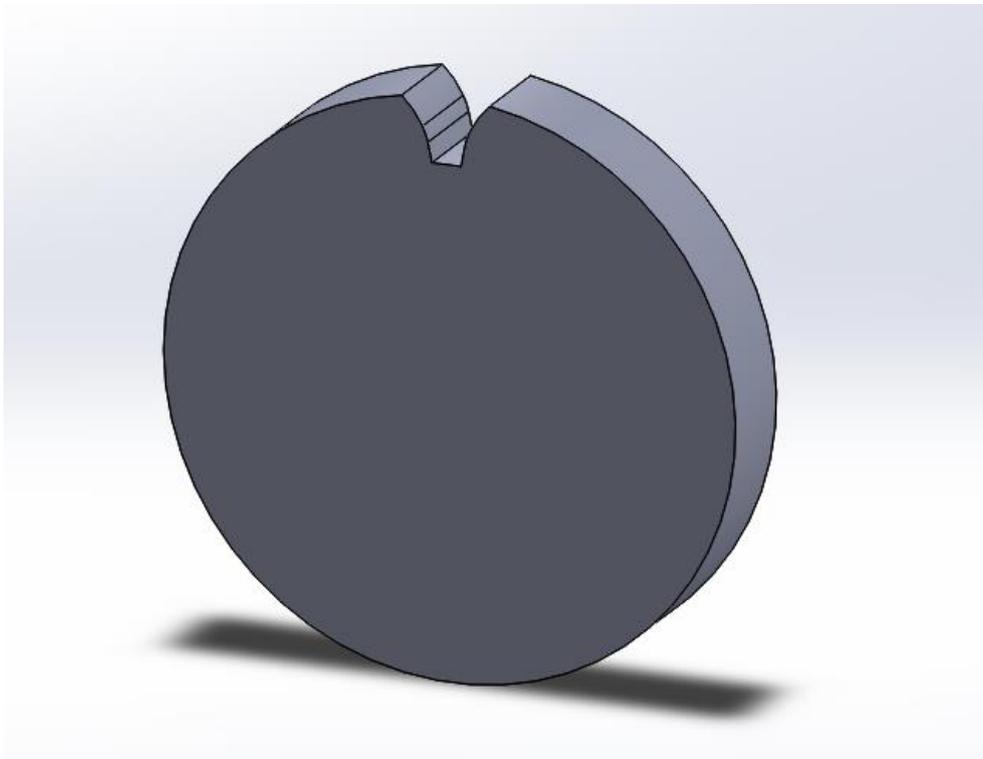


Figura 29 – Corte do vão do Dente da Engrenagem (O Autor, 2018)

Após o corte do perfil do dente, pode-se então adicionar o filete do pé do dente, que serve para aliviar a tensão concentrada em uma aresta em forma de canto vivo, arredondando o canto do fundo do dente dissipando melhor as tensões, utilizando a seguinte fórmula para calcular o raio do filete:

$$rf = \frac{m}{6} = \frac{8}{6} = 1,33 \text{ mm}$$

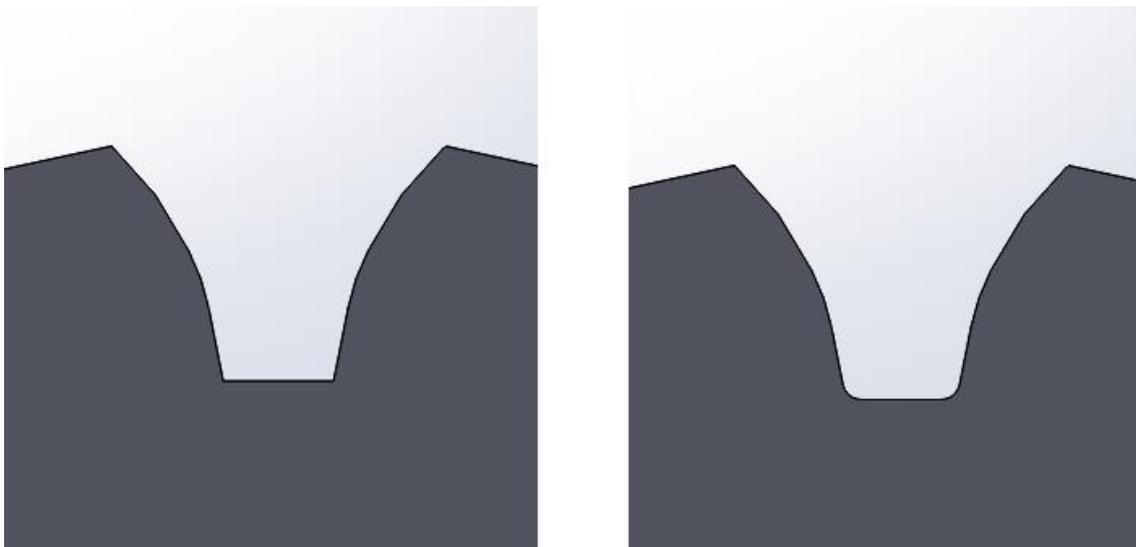


Figura 30 – Comparação do Perfil do Dente antes (esquerda) e depois (direita) da adição do Filete (O Autor, 2018)

A etapa seguinte é propagar o recurso de corte ao longo da circunferência da engrenagem utilizando o padrão circular se propagando em 360° em torno da engrenagem com espaçamento igual entre os recursos e com o número de instâncias igual ao número de dentes da engrenagem (z).

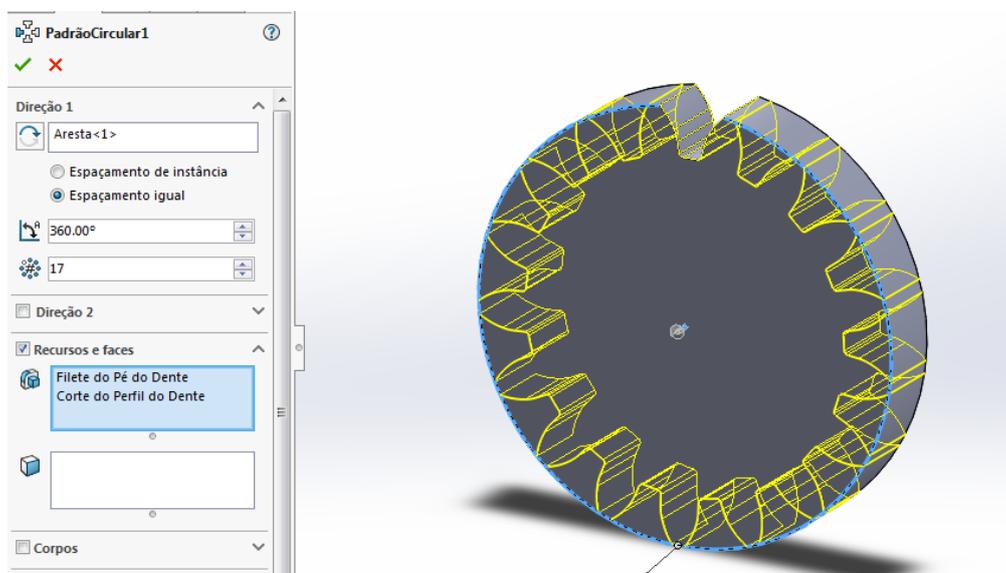


Figura 31 – Padrão Circular dos Dentes da Engrenagem (O Autor, 2018)

É interessante ressaltar que para a propagação correta dos dentes em torno do diâmetro da engrenagem deve-se aplicar o padrão linear para os recursos de corte do perfil do dente e filete do perfil do dente (motivo pelo qual o recurso de filete foi realizado antes do padrão circular), garantindo que todos os dentes tenham o raio de alívio de tensão.

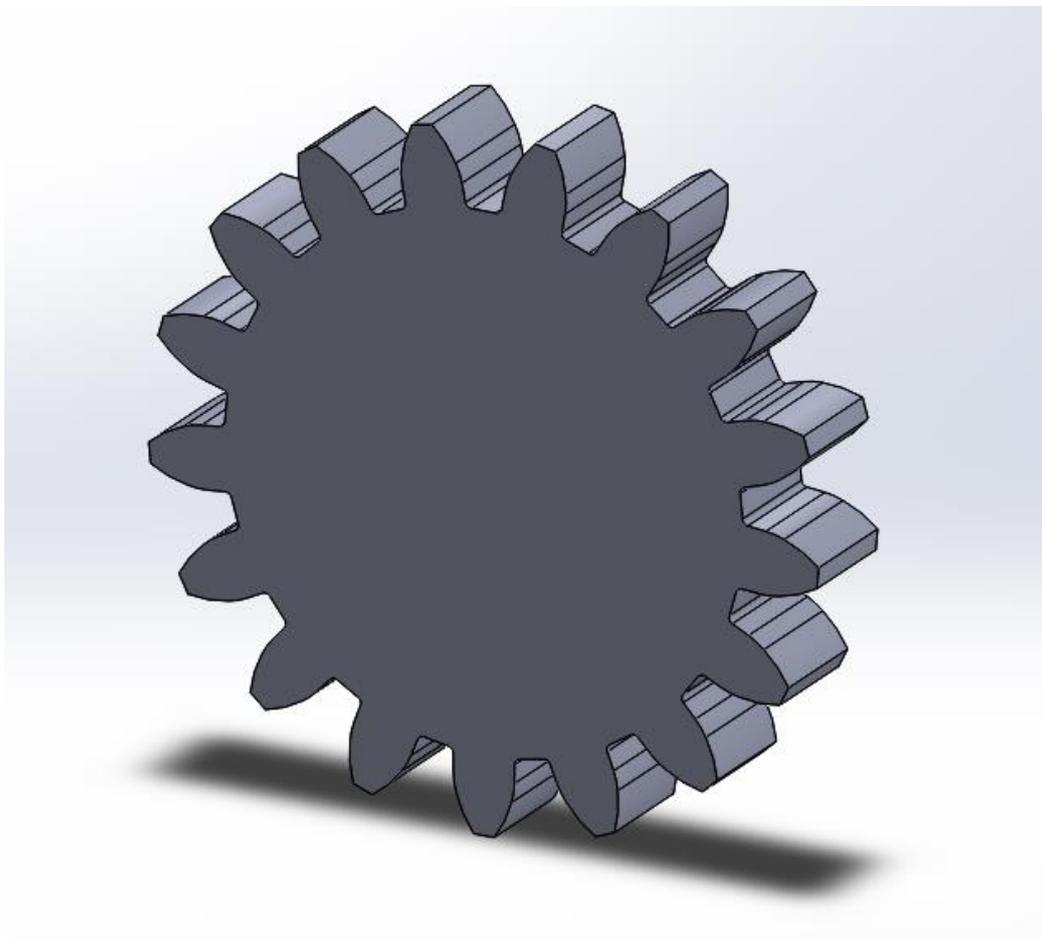


Figura 32 – Engrenagem após a Propagação dos Dentes por Padrão Linear (O Autor, 2018)

Após obter o perfil do dentado da engrenagem, passamos para sua fixação. Como as engrenagens são sistemas montados a eixos de transmissão, é necessário fazer um furo de acordo com o diâmetro do eixo a ser montado na engrenagem. A medida do eixo deve ser estabelecida pelo usuário, mas para a criação da engrenagem padrão foi selecionado o diâmetro de 40mm.

Para engrenagens que serão montadas a eixos ranhurados a fim de substituir as montagens por pressão ou chavetadas, deve-se realizar posteriormente o rasgo de acordo com o perfil da ranhura apresentada no eixo que será acoplado à engrenagem.

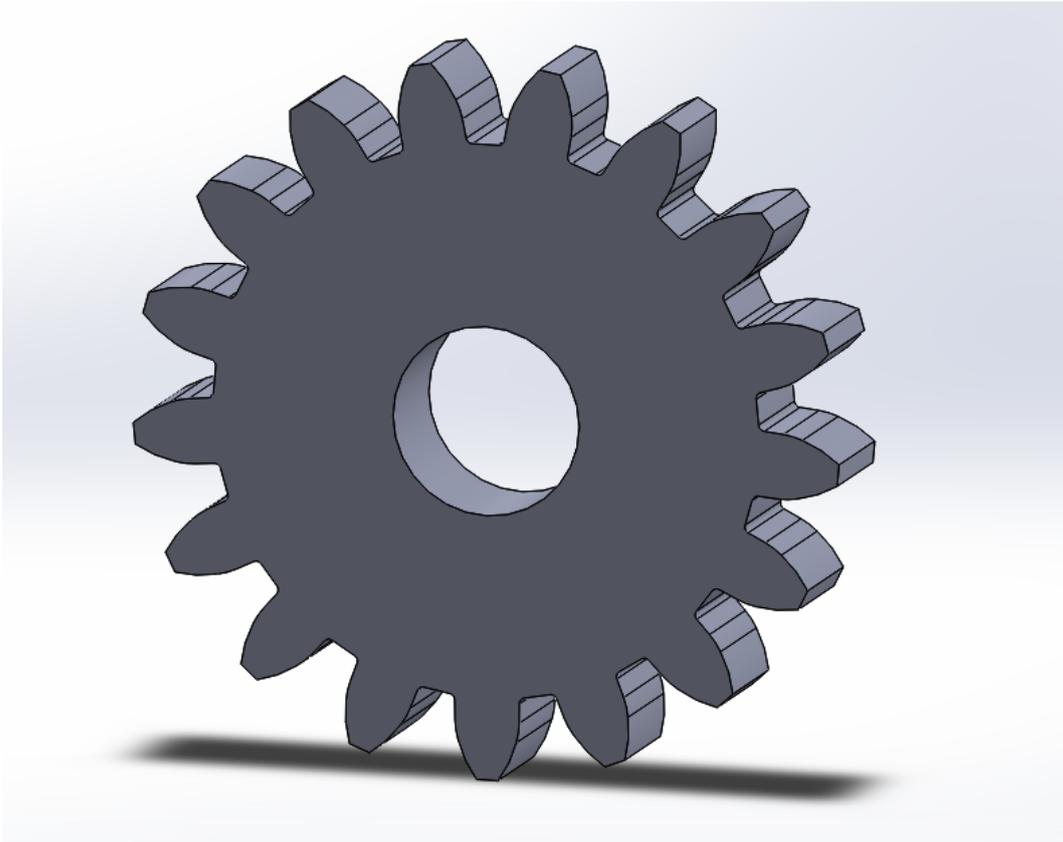


Figura 33 – Furação para a Passagem do Eixo na Engrenagem (O Autor, 2018)

Com o rasgo para passagem do eixo realizado pode-se obter as medidas do rasgo de chaveta com o auxílio do Anexo B. Tanto o rasgo quanto a chaveta são elementos padronizados que, conforme o diâmetro do eixo a ser montado varia, seleciona-se o perfil da chaveta e as dimensões consequentes da mesma. Apesar de nem todas as engrenagens possuírem rasgo de chaveta, é importante deixar o recurso pré-formado para que possa ser desenvolvida a opção posterior de habilitá-lo na tabela a ser linkada com a engrenagem caso haja necessidade.

Seguindo a tabela utilizando o diâmetro de 40 mm como parâmetro inicial, pode-se extrair os dados nos quais a chaveta possui dimensões de 12 mm x 8 mm (base x altura), sendo a largura do rasgo idêntica à largura da chaveta (mudando somente suas tolerâncias dependendo do tipo de montagem a qual a transmissão será submetida), e a profundidade varia de acordo com a chaveta, conforme apresentado na tabela. Para a chaveta selecionada, o rasgo no eixo teria uma profundidade (t_1) de 5 mm, enquanto o rasgo no cubo (peça a ser montada no eixo, geralmente engrenagens ou polias), possui profundidade de 3,3 mm.

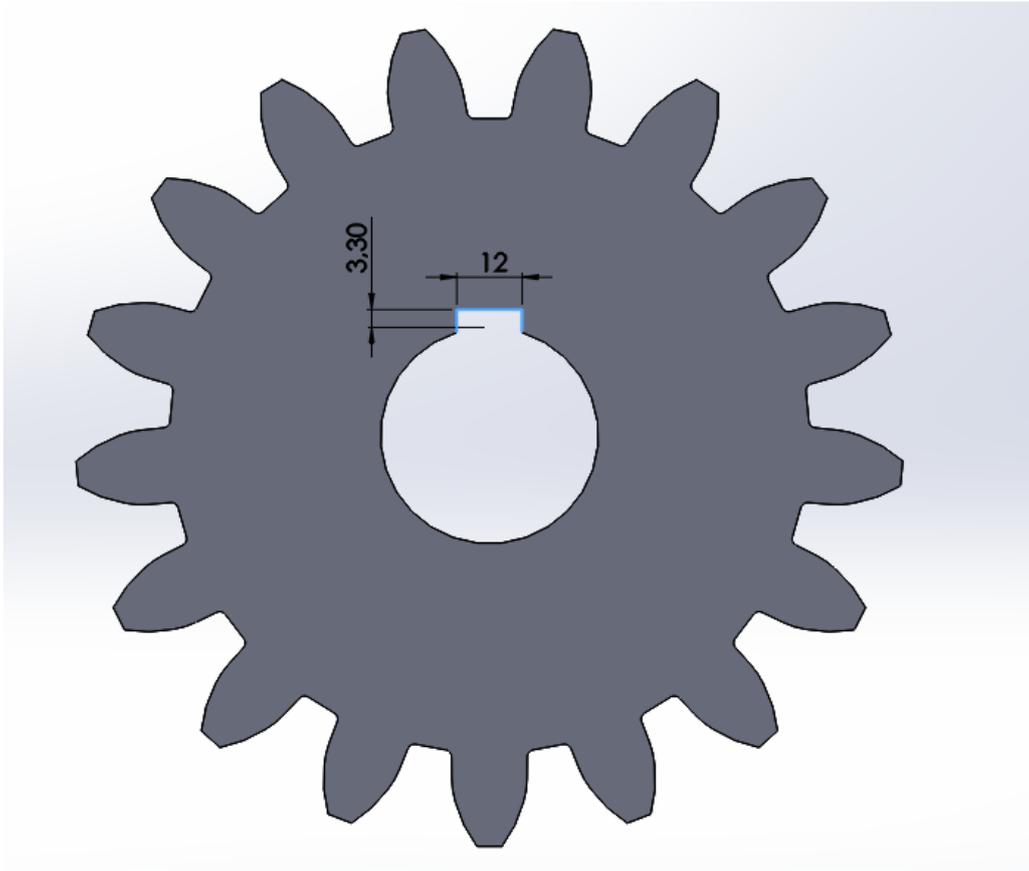


Figura 34 – Rasgo de Chaveta e suas Respectivas Dimensões (O Autor, 2018)

Com isso a engrenagem está de criada visando facilitar a compreensão dos recursos e sua posterior edição. Para engrenagens com um elevado número de dentes e consequentemente diâmetros grandes, é comum serem adicionados rasgos e furos para alívio de peso evitando tensões e torque desnecessários. Os padrões de alívio em rodas dentadas podem variar de acordo com as ferramentas e processos de fabricação as quais as mesmas serão submetidas, sendo esse tipo de rasgo geralmente estipulado pelo projetista de acordo com sua necessidade. Mastro (2009) apresenta as formas mais comuns de alívio em rodas de transmissão e algumas formas de calcular a quantidade de material a ser retirada a fim de não enfraquecer e tornar as engrenagens subdimensionadas após a retirada de material, o qual é analisado de forma mais aprofundada por Paz et. al. (2017). Além do alívio de peso, algumas engrenagens apresentam ressaltos com diâmetros menores que os diâmetros do perfil do dente a fim de serem melhor guiadas no eixo (pois geralmente são engrenagens com diâmetro menor que fazem pouco contrapeso) ou com o intuito de adicionar uma furação roscada a fim de fixar e garantir sua posição de montagem no eixo.



Figura 35 – Exemplo de Engrenagem com Alívio de Peso e Ressalto (TEBALDI, 2015)

Todos os softwares apresentaram características similares nos processos de criação da engrenagem e utilização dos recursos para modelagem. Ao todo, a engrenagem foi feita utilizando 6 recursos:

- a) Ressalto Extrudado do Cilindro Bruto;
- b) Corte Extrudado do Perfil do Dente;
- c) Filete do Pé do Dente;
- d) Padrão Circular dos Dentes;
- e) Furação para Passagem do Eixo;
- f) Corte Extrudado do Rasgo de Chaveta.

Os recursos *b)* e *c)* poderiam ter sido unidos no mesmo esboço, assim como os recursos *e)* e *f)*, tendo sido feitos de forma separada para não poluir muito os recursos nem os tornar muito pesados e de difícil edição posterior.

Devido a existir diversos padrões em relação aos entalhes para eixos ranhurados foi preferível não incorporar a engrenagem tal recurso. Exemplos de entalhes e suas tolerâncias podem ser verificados no Anexo C ou na norma técnica ISO 14 (1982).

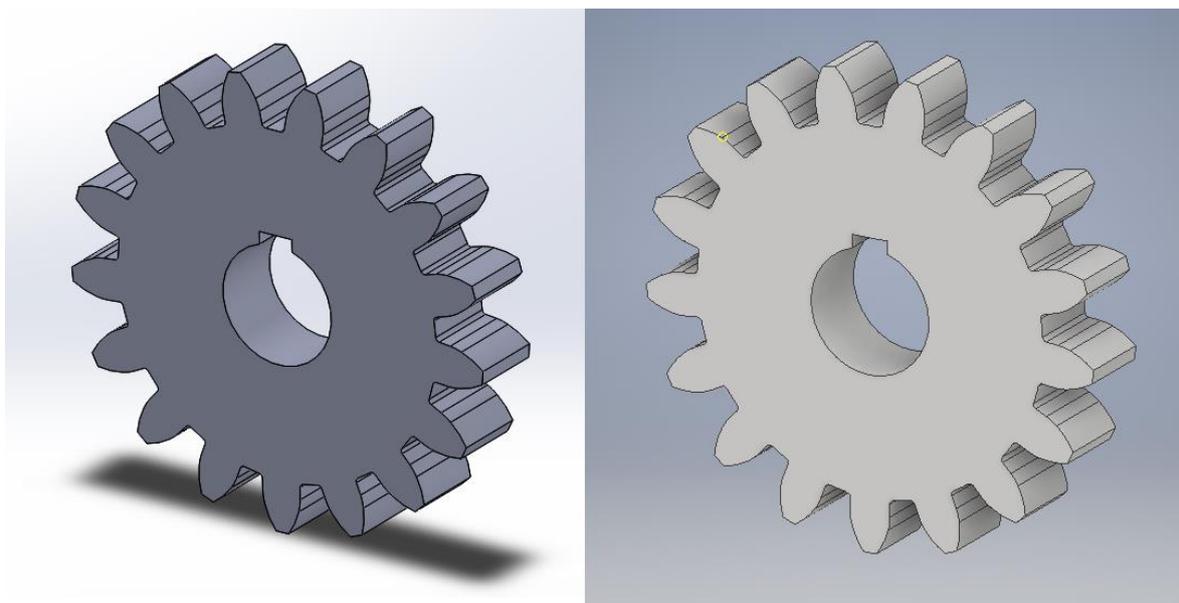


Figura 36 – Engrenagem completa nos softwares SolidWorks e Inventor (O Autor, 2018)

4.2 DESENVOLVIMENTO DA PLANILHA DE FÓRMULAS E DADOS

Para a construção da tabela de dados foi utilizado o software Microsoft Excel devido a alguns softwares serem compatíveis somente com o sistema operacional Windows e terem o Excel integrado ao seu sistema para auxiliar na criação de equações e tabelas de projeto.

As fórmulas utilizadas na criação da tabela e suas respectivas descrições podem ser encontradas no site da Microsoft (2018), assim como em livros como Manzano & Manzano (2010), Sá (2015), Pinto (2011) e Silva (2017).

Dando início a criação da tabela com os parâmetros, foi selecionado todos os parâmetros da engrenagem que podem ser alterados pelo usuário, de forma a criar a parte interativa da mesma, conforme mostrado na Tabela 2. Para melhor entendimento da tabela preferiu-se disponibilizar a unidade de medida, a descrição e o símbolo das variáveis.

Lista de Variáveis	Símbolo	Valor	Unidade
Módulo	m	8	-
Nº de Dentes	z	17	-
Ângulo de Pressão	α	20	Graus
Diâmetro do Eixo (\varnothing)	\varnothing	10	mm
Largura da Engrenagem	L	8	mm
Possui Rasgo de Chaveta?	-	Sim	-

Tabela 2 – Parâmetros da engrenagem (O Autor, 2018)

Para confeccionar a opção de escolha do ângulo de pressão foi utilizado uma Validação de Dados do tipo Lista com os três principais ângulos de pressão, que são os ângulos de 14,5°, 20° e 25°. O comando de validação permite que o usuário digite um valor diferente caso o ângulo de pressão da engrenagem que ele está trabalhando seja diferente dos ângulos mais utilizados e facilita a escolha dos ângulos característicos.

Lista de Variáveis	Símbolo	Valor	Unidade
Módulo	m	8	-
Nº de Dentes	z	17	-
Ângulo de Pressão	α	20	Graus
Diâmetro do Eixo (\emptyset)	\emptyset	14,5 20 25	mm
Largura da Engrenagem	L		mm
Possui Rasgo de Chaveta?	-	Sim	-

Tabela 3 – Seleção do Ângulo de Pressão (O Autor, 2018)

Assim como o ângulo de pressão, o campo para seleção “Possui Rasgo de Chaveta?” conta com uma validação de resposta “Sim” e “Não”, já que a engrenagem pode ou não possuir o mesmo.

Com os dados de entrada selecionados, pode-se utilizar as fórmulas estabelecidas anteriormente para a criação das dimensões da engrenagem que variam a partir das variáveis principais. A nomenclatura adotada para cada medida está de acordo com a lista de símbolos, que segue a nomenclatura básica utilizada na NBR 10099 para auxiliar na compreensão do usuário e facilitar o acesso a pesquisa em possíveis referências externas. Assim como na aba dos parâmetros principais, conta-se com uma lista de símbolos, valor e unidades, sendo ainda adicionado o campo fórmula caso o usuário queira conferir o cálculo de forma manual ou compreender de onde o valor foi tirado sem necessidade de consultar a lista de equações.

Lista de Medidas	Símbolo	Valor	Unidade	Fórmula
Diâmetro Primitivo	Dp	136,00	mm	$D_p = m \cdot Z$
Diâmetro Externo	De	152,00	mm	$D_e = m \cdot (z + 2)$
Diâmetro Interno	Di	117,33	mm	$D_i = D_e - (2 \cdot h)$
Diâmetro de Base	Db	127,80	mm	$D_b = D_p \cdot \cos \alpha$
Altura Total do Dente	h	17,33	mm	$h = a + b$
Altura da Cabeça do Dente	a	8,00	mm	$a = m$
Altura do Pé do Dente	b	9,33	mm	$b = 1,166 \cdot M$
Espessura do Dente	e	12,57	mm	$e = P / 2$
Coefficiente de Addendum	f	3,02	-	Odontógrafo
Coefficiente de Deddedum	f'	1,89	-	Odontógrafo
Folga entre os Dentes das Engrenagens	F	1,33	mm	$F = m / 6$
Passo	P	25,13	mm	$P = m \cdot \pi$
Raio de Addendum	ra	24,16	mm	$ra = m \cdot f$
Raio de Deddedum	rb	15,12	mm	$rb = m \cdot f'$
Raio do Filete no Pé do Dente	rf	1,33	mm	$rf = m / 6$
Vão do Dente	v	12,57	mm	$v = e$

Tabela 4 – Lista de Dimensões da Engrenagem (O Autor, 2018)

É importante ressaltar que os coeficientes de addendum e deddedum são adimensionais e podem ser encontrados no Anexo A. Todos os dados da tabela foram calculados utilizando funções matemáticas simples como adição, subtração, multiplicação e divisão, com exceção dos dois coeficientes. Para a extração do valor dos mesmos, foi necessário transferir o Odontógrafo para uma aba auxiliar do Excel, utilizando assim o comando denominado de PROCV para procurar verticalmente o valor do número de dentes indicado pelo usuário e assumir o valor dos coeficientes conforme as colunas subsequentes.

A tabela com as dimensões do rasgo de chaveta seguiu uma metodologia de criação similar a dos coeficientes de addendum e deddedum, sendo necessário transportar os dados contidos no Anexo B para o formato de tabela no Excel e utilizar uma combinação das funções PROCV e CORRESP devido ao rasgo de chaveta ser padronizado para um intervalo variável de medidas, e não para um número exato, como o número de dentes.

Quanto a nomenclatura, optou-se por preservar a nomenclatura b x h que correspondem a largura (base) e altura do perfil da chaveta, e mudar somente a nomenclatura do rasgo para b2 (largura do rasgo de chaveta) e t2 (altura do rasgo de chaveta) evitando que o usuário confunda com a medida b que se refere à altura do pé do dente. A nomenclatura 2 veio como consequência do Anexo A tratar a medida t1 relacionado à altura do rasgo no eixo e t2 como a altura do rasgo no cubo (peça que vai encaixada no eixo, como, por exemplo, uma engrenagem).

Rasgo de Chaveta			
Lista de Variáveis	Símbolo	Valor	Unidade
Chaveta	b x h	12 x 8	mm
Largura do Rasgo	b2	12	mm
Altura do Rasgo	t2	3,3	mm

Tabela 5 – Dimensões do Rasgo de Chaveta (O Autor, 2018)

4.3 ERGONOMIA DE SOFTWARE

Ao projetar software segundo uma orientação mais funcional que operacional, a concepção de interface com o usuário privilegia primeiro os aspectos internos ligados ao funcionamento do sistema e depois adapta esta interface para o usuário. A utilização desse software fica comprometida, muitas vezes não atendendo os objetivos, necessidades e expectativas básicas dos usuários. (OLIVEIRA & SILVA, 2011)

Entende-se que, tanto na área da ergonomia como da pedagogia, uma coisa é aprender o sistema, ou operar o sistema (usabilidade), outra é o aprender mediatizado pelo sistema (aprendizagem). Pressupõe-se que estas duas dimensões estão intimamente ligadas, sendo possível desenvolver um sistema de avaliação contemplando estas propriedades fundamentais para conferir qualidade pedagógica a um software educacional. (HACK, et al., 1999)

A ideia principal, após levantar todos os dados necessários, é deixar a ferramenta de uma forma simples para melhorar a interação da mesma com o usuário. Foram feitos então ajustes prevendo possíveis erros do usuário, bloqueando as partes de programação e formulário da ferramenta, e realizando a concepção de um design autoexplicativo para facilitar o acesso a usuários com pouca experiência.

Primeiramente, para bloqueio das células as quais o usuário supostamente não deve interagir foi utilizado uma proteção de planilha com senha no Excel. Sempre que o usuário tenta modificar algum parâmetro ou célula que não deveria, uma mensagem de alerta é emitida pelo próprio Microsoft Excel, bloqueando a ação, conforme a Figura 37.

Principais				Demais Dimensões				
Símbolo	Valor	Unidade		Lista de Medidas	Símbolo	Valor	Unidade	Fórmula
m	8	-		Diâmetro Primitivo	Dp	136,00	mm	$Dp = m \cdot Z$
z	17	-		Diâmetro Externo	De	152,00	mm	$De = m \cdot (z + 2)$
α	20	Graus		Diâmetro Interno	Di	117,33	mm	$Di = De - (2 \cdot h)$
\varnothing	40	mm		Diâmetro de Base	Db	127,80	mm	$Db = Dp \cdot \cos \alpha$
L	25	mm		Altura Total do Dente	h	17,33	mm	$h = a + b$
-	Sim	-		Altura da Cabeça do Dente	a	8,00	mm	$a = m$
				Altura do Pé do Dente	b	9,33	mm	$b = 1,166 \cdot m$

Microsoft Excel							
 A célula ou gráfico que você está tentando alterar está em uma planilha protegida. Para fazer uma alteração, desproteja a planilha. Pode ser necessário inserir uma senha.							
OK							

25			Raio de Addendum	ra	24,16	mm	$ra = m \cdot f$
			Raio de Dedendum	rb	15,12	mm	$rb = m \cdot f'$
			Raio do Filote no Pé do Dente	rf	1,33	mm	$rf = m / 6$

Figura 37 – Mensagem de Alerta do Bloqueio das Cédulas do Excel (O Autor, 2018)

Uma tabela de módulos padronizados similar a apresentada na Tabela 1 foi incorporada abaixo da tabela dos parâmetros principais, auxiliando no usuário na escolha do módulo a ser utilizado.

Parâmetros Principais						
Lista de Variáveis		Símbolo	Valor	Unidade		
Módulo		m	8	-		
Nº de Dentes		z	17	-		
Ângulo de Pressão		α	20	Graus		
Diâmetro do Eixo (\varnothing)		\varnothing	40	mm		
Largura da Engrenagem		L	25	mm		
Possui Rasgo de Chaveta?		-	Sim	-		

Padrões de Módulo de Engrenagens						
0,5	0,55	0,6	0,7	0,8	0,9	1
1,125	1,25	1,375	1,5	1,75	2	2,25
2,5	2,75	3	3,5	4	4,5	5
5,5	6	7	8	9	10	11
12	14	16	20	25		

Obs: Os valores em negrito contém os módulos mais utilizados

Tabela 6 – Inserção da Tabela de Módulos ao Sistema (O Autor, 2018)

Para o usuário compreender melhor cada parâmetro e medida alterado na engrenagem, foi implementado um comentário para cada medida alterada utilizando como base a engrenagem criada acima, facilitando uma possível edição de parâmetros posterior e compreensão dos cálculos técnicos para confecção de uma engrenagem:

1) Ângulo de Pressão

Parâmetros Principais			
Lista de Variáveis	Símbolo	Valor	Unidade
Módulo	m	8	-
Nº de Dentes		17	
Ângulo de Pressão			
Diâmetro do Eixo (ϕ)			
Largura da Engrenagem			
Possui Rasgo de Chaveta?			

Padrões de Módulo de E			
0,5	0,55	0,6	0,7
1,125	1,25	1,375	1,5
2,5	2,75	3	3,5

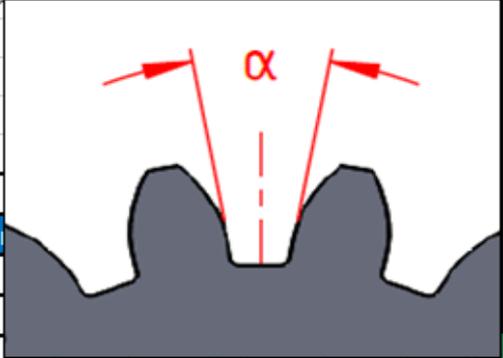


Figura 38 – Imagem do Ângulo de Pressão (O Autor, 2018)

2) Diâmetro do Eixo

Parâmetros Principais			
Lista de Variáveis	Símbolo	Valor	Unidade
Módulo	m	8	-
Nº de Dentes	z	17	-
Ângulo de Pressão		20	Grav
Diâmetro do Eixo (ϕ)			
Largura da Engrenagem			
Possui Rasgo de Chaveta?			

Padrões de Módulo de E			
0,5	0,55	0,6	0,7
1,125	1,25	1,375	1,5
2,5	2,75	3	3,5
5,5	6	7	8
12	14	16	20

Obs: Os valores em negrito contêm os

Rasgo de Chave			
Lista de Variáveis	Símbolo	Valor	Unidade

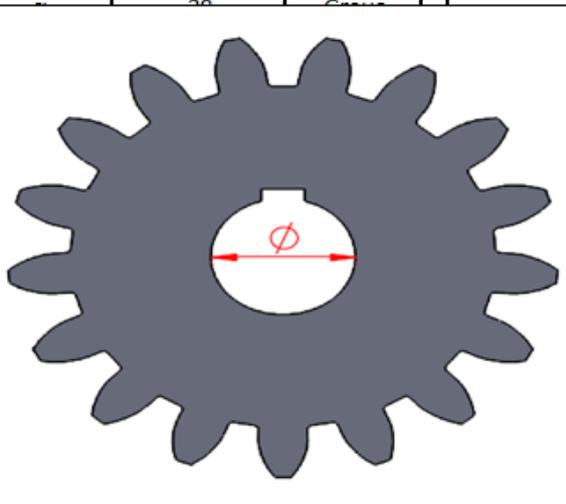


Figura 39 – Imagem do Diâmetro do Eixo (O Autor, 2018)

3) Largura da Engrenagem

Parâmetros Principais				
Lista de Variáveis	Símbolo	Valor	Unidade	
Módulo	m	8	-	Diâ
Nº de Dentes	z	17	-	Diâ
Ângulo de Pressão	α	20	Graus	Diâ
Diâmetro do Eixo (ϕ)	d	40	mm	Diâ
Largura da Engrenagem	b	12	mm	
Possui Rasgo de Chaveta?				

Padrões de Módulo de Engrenagem				
0,5	0,55	0,6	0,7	
1,125	1,25	1,375	1,5	
2,5	2,75	3	3,5	
5,5	6	7	8	
12	14	16	20	

Obs: Os valores em negrito contém os

Rasgo de Chaveta				
Lista de Variáveis	Símbolo	Valor	Unidade	Fórmula
Chaveta				
Largura do Rasgo	b_2	12	mm	

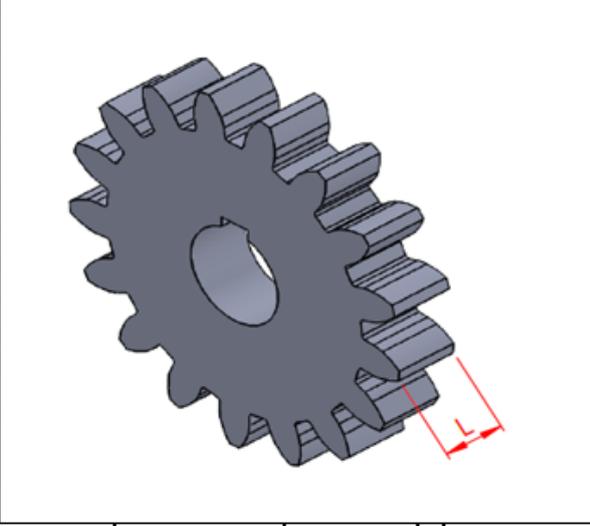


Figura 40 – Imagem da Largura da Engrenagem (O Autor, 2018)

4) Diâmetro Primitivo

Demais Dimensões				
Lista de Medidas	Símbolo	Valor	Unidade	Fórmula
Diâmetro Primitivo	D_p			
Diâmetro Externo	D_e			
Diâmetro Interno	D_i			
Diâmetro de Base	D_b			
Altura Total do Dente	a			
Altura da Cabeça do Dente	a_a			
Altura do Pé do Dente	a_f			
Espessura do Dente	s			
Coefficiente de Addendum	y_a			
Coefficiente de Dedendum	y_f			
Folga entre os Dentes das Engrenagens	c			
Passo	p			
Raio de Addendum	r_a			
Raio de Dedendum	r_f	1,33	mm	$r_f = m / 6$
Raio do Filete no Pé do Dente	r_f	1,33	mm	$r_f = m / 6$
Vão do Dente	v	12,57	mm	$v = e$

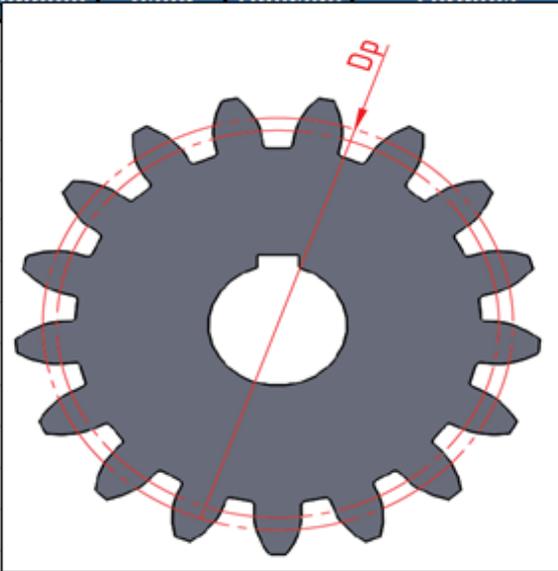


Figura 41– Imagem do Diâmetro Primitivo (O Autor, 2018)

5) Diâmetro Externo

Demais Dimensões				
Lista de Medidas	Símbolo	Valor	Unidade	Fórmula
Diâmetro Primitivo	D_p	136,00	mm	$D_p = m \cdot Z$
Diâmetro Externo	D_e	152,00	mm	$D_e = m \cdot (Z + 2)$
Diâmetro Interno	D_i	104,00	mm	$D_i = m \cdot (Z - 2)$
Diâmetro de Base	D_b	136,00	mm	$D_b = D_p \cdot \cos(\alpha)$
Altura Total do Dente	a	20,00	mm	$a = m$
Altura da Cabeça do Dente	a_a	12,50	mm	$a_a = m \cdot f_a$
Altura do Pé do Dente	a_f	7,50	mm	$a_f = m \cdot f_f$
Espessura do Dente	s	13,60	mm	$s = m \cdot Z$
Coeficiente de Addendum	f_a	1,25		$f_a = 1,25$
Coeficiente de Dedendum	f_f	0,75		$f_f = 0,75$
Folga entre os Dentes das Engrenagens	c	1,00	mm	$c = m$
Passo	m	4,00	mm	$m = 4$
Raio de Addendum	r_a	15,12	mm	$r_a = m \cdot f_a$
Raio de Dedendum	r_f	1,33	mm	$r_f = m / 6$
Raio do Filete no Pé do Dente	r_f	1,33	mm	$r_f = m / 6$
Vão do Dente	v	12,57	mm	$v = e$

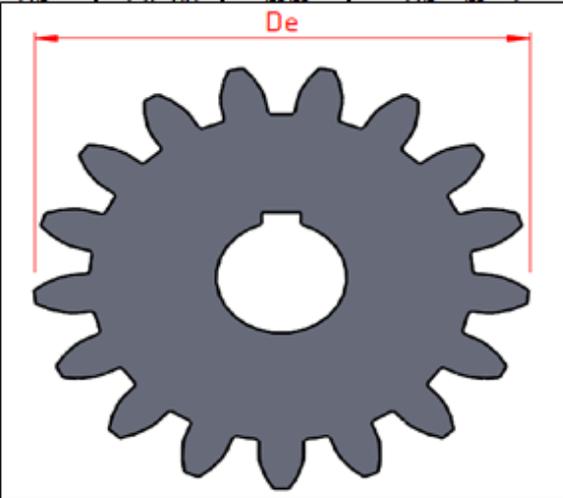


Figura 42 – Imagem do Diâmetro Externo (O Autor, 2018)

6) Diâmetro Interno

Demais Dimensões				
Lista de Medidas	Símbolo	Valor	Unidade	Fórmula
Diâmetro Primitivo	D_p	136,00	mm	$D_p = m \cdot Z$
Diâmetro Externo	D_e	152,00	mm	$D_e = m \cdot (Z + 2)$
Diâmetro Interno	D_i	104,00	mm	$D_i = m \cdot (Z - 2)$
Diâmetro de Base	D_b	136,00	mm	$D_b = D_p \cdot \cos(\alpha)$
Altura Total do Dente	a	20,00	mm	$a = m$
Altura da Cabeça do Dente	a_a	12,50	mm	$a_a = m \cdot f_a$
Altura do Pé do Dente	a_f	7,50	mm	$a_f = m \cdot f_f$
Espessura do Dente	s	13,60	mm	$s = m \cdot Z$
Coeficiente de Addendum	f_a	1,25		$f_a = 1,25$
Coeficiente de Dedendum	f_f	0,75		$f_f = 0,75$
Folga entre os Dentes das Engrenagens	c	1,00	mm	$c = m$
Passo	m	4,00	mm	$m = 4$
Raio de Addendum	r_a	15,12	mm	$r_a = m \cdot f_a$
Raio de Dedendum	r_f	1,33	mm	$r_f = m / 6$
Raio do Filete no Pé do Dente	r_f	1,33	mm	$r_f = m / 6$
Vão do Dente	v	12,57	mm	$v = e$

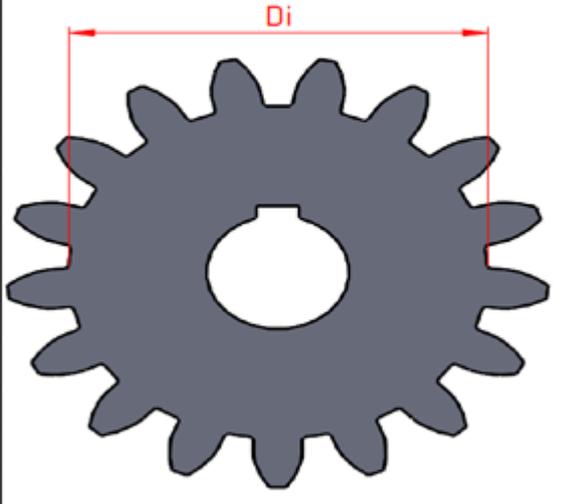


Figura 43 – Imagem do Diâmetro Interno (O Autor, 2018)

7) Diâmetro Base

Demais Dimensões				
Lista de Medidas	Símbolo	Valor	Unidade	Fórmula
Diâmetro Primitivo	Dp	136,00	mm	$D_p = m \cdot Z$
Diâmetro Externo	De	152,00	mm	$D_e = m \cdot (z + 2)$
Diâmetro Interno	Di	117,33	mm	$D_i = D_e - (2 \cdot h)$
Diâmetro de Base	Db			
Altura Total do Dente				
Altura da Cabeça do Dente				
Altura do Pé do Dente				
Espessura do Dente				
Coeficiente de Addendum				
Coeficiente de Dedendum				
Folga entre os Dentes das Engrenagens				
Passo				
Raio de Addendum				
Raio de Dedendum				
Raio do Filete no Pé do Dente				
Vão do Dente	v	12,57	mm	$v = e$

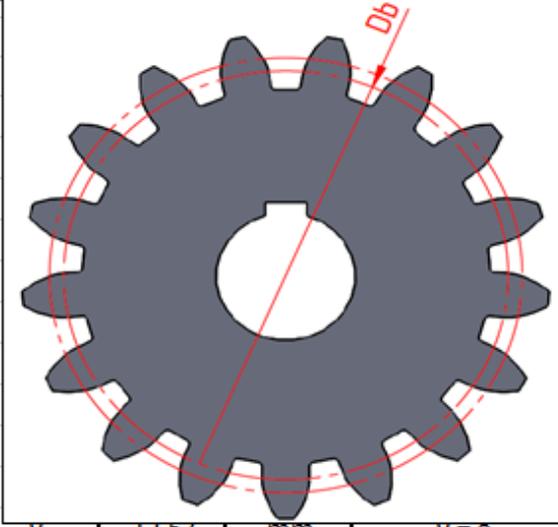


Figura 44 – Imagem do Diâmetro Base (O Autor, 2018)

8) Altura Total do Dente

Demais Dimensões				
Lista de Medidas	Símbolo	Valor	Unidade	Fórmula
Diâmetro Primitivo	Dp	136,00	mm	$D_p = m \cdot Z$
Diâmetro Externo	De	152,00	mm	$D_e = m \cdot (z + 2)$
Diâmetro Interno	Di	117,33	mm	$D_i = D_e - (2 \cdot h)$
Diâmetro de Base	Db			$D_b = D_p \cdot \cos \alpha$
Altura Total do Dente				$a + b$
Altura da Cabeça do Dente				$a = m$
Altura do Pé do Dente				$b = 1,166 \cdot M$
Espessura do Dente				$e = P / 2$
Coeficiente de Addendum				antógrafa
Coeficiente de Dedendum				antógrafa
Folga entre os Dentes das Engrenagens				$f = m / 6$
Passo				$P = m \cdot \pi$
Raio de Addendum	ra	24,16	mm	$ra = m \cdot f$
Raio de Dedendum	rb	15,12	mm	$rb = m \cdot f'$
Raio do Filete no Pé do Dente	rf	1,33	mm	$rf = m / 6$
Vão do Dente	v	12,57	mm	$v = e$

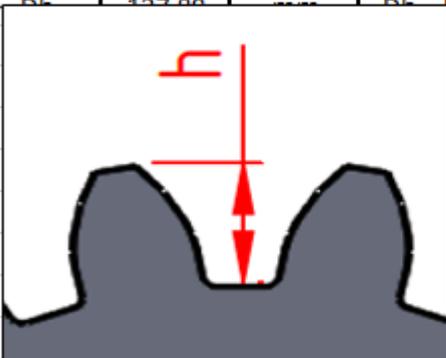


Figura 45 – Imagem da Altura Total do Dente (O Autor, 2018)

9) Altura da Cabeça do Dente

Demais Dimensões				
Lista de Medidas	Símbolo	Valor	Unidade	Fórmula
Diâmetro Primitivo	Dp	136,00	mm	$D_p = m \cdot Z$
Diâmetro Externo	De	152,00	mm	$D_e = m \cdot (z + 2)$
Diâmetro Interno	Di	117,33	mm	$D_i = D_e - (2 \cdot h)$
Diâmetro de Base	Db	127,80	mm	$D_b = D_p \cdot \cos \alpha$
Altura Total do Dente	h	17,33	mm	$h = a + b$
Altura da Cabeça do Dente	a	8,00	mm	$a = m$
Altura do Pé do Dente	b	9,33	mm	$b = 1,166 \cdot M$
Espessura do Dente	e	12,57	mm	$e = P / 2$
Coeficiente de Addendum	f	1,00		ontógrafo
Coeficiente de Dedendum	f'	1,25		ontógrafo
Folga entre os Dentes das Engrenagens	c	1,25		$c = m / 6$
Passo	P	25,14	mm	$P = m \cdot \pi$
Raio de Addendum	f	1,00		$a = m \cdot f$
Raio de Dedendum	f'	1,25		$b = m \cdot f'$
Raio do Filete no Pé do Dente	rf	1,33	mm	$rf = m / 6$
Vão do Dente	v	12,57	mm	$v = e$

Figura 46 – Imagem da Altura da Cabeça do Dente (O Autor, 2018)

10) Altura do Pé do Dente

Demais Dimensões				
Lista de Medidas	Símbolo	Valor	Unidade	Fórmula
Diâmetro Primitivo	Dp	136,00	mm	$D_p = m \cdot Z$
Diâmetro Externo	De	152,00	mm	$D_e = m \cdot (z + 2)$
Diâmetro Interno	Di	117,33	mm	$D_i = D_e - (2 \cdot h)$
Diâmetro de Base	Db	127,80	mm	$D_b = D_p \cdot \cos \alpha$
Altura Total do Dente	h	17,33	mm	$h = a + b$
Altura da Cabeça do Dente	a	8,00	mm	$a = m$
Altura do Pé do Dente	b	9,33	mm	$b = 1,166 \cdot M$
Espessura do Dente	e	12,57	mm	$e = P / 2$
Coeficiente de Addendum	f	1,00		rafo
Coeficiente de Dedendum	f'	1,25		rafo
Folga entre os Dentes das Engrenagens	c	1,25		6
Passo	P	25,14	mm	$P = m \cdot \pi$
Raio de Addendum	f	1,00		f
Raio de Dedendum	f'	1,25		f'
Raio do Filete no Pé do Dente	rf	1,33	mm	6
Vão do Dente	v	12,57	mm	e

Figura 47 – Imagem da Altura do Pé do Dente (O Autor, 2018)

11) Espessura do Dente

Demais Dimensões				
Lista de Medidas	Símbolo	Valor	Unidade	Fórmula
Diâmetro Primitivo	Dp	136,00	mm	$D_p = m \cdot Z$
Diâmetro Externo	De	152,00	mm	$D_e = m \cdot (z + 2)$
Diâmetro Interno	Di	117,33	mm	$D_i = D_e - (2 \cdot h)$
Diâmetro de Base	Db	127,80	mm	$D_b = D_p \cdot \cos \alpha$
Altura Total do Dente	h	17,33	mm	$h = a + b$
Altura da Cabeça do Dente	a	8,00	mm	$a = m$
Altura do Pé do Dente	b	9,33	mm	$b = 1,166 \cdot M$
Espessura do Dente	e			
Coeficiente de Addendum				
Coeficiente de Dedendum				
Folga entre os Dentes das Engrenagens				
Passo				
Raio de Addendum				
Raio de Dedendum				
Raio do Filete no Pé do Dente				
Vão do Dente				

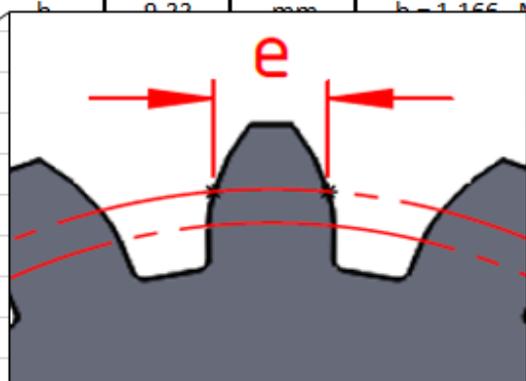


Figura 48 – Imagem da Espessura do Dente (O Autor, 2018)

12) Folga entre os Dentes das Engrenagens

Demais Dimensões				
Lista de Medidas	Símbolo	Valor	Unidade	Fórmula
Diâmetro Primitivo	Dp	136,00	mm	$D_p = m \cdot Z$
Diâmetro Externo	De	152,00	mm	$D_e = m \cdot (z + 2)$
Diâmetro Interno	Di	117,33	mm	$D_i = D_e - (2 \cdot h)$
Diâmetro de Base	Db	127,80	mm	$D_b = D_p \cdot \cos \alpha$
Altura Total do Dente	h	17,33	mm	$h = a + b$
Altura da Cabeça do Dente	a	8,00	mm	$a = m$
Altura do Pé do Dente	b	9,33	mm	$b = 1,166 \cdot M$
Espessura do Dente	e	12,57	mm	$e = P / 2$
Coeficiente de Addendum	f	3,02	-	Odontógrafo
Coeficiente de Dedendum	f'	1,80	-	Odontógrafo
Folga entre os Dentes das Engrenagens	F			$F = m / 6$
Passo	P			$P = m \cdot \pi$
Raio de Addendum	ra			$ra = m \cdot f$
Raio de Dedendum	rb			$rb = m \cdot f'$
Raio do Filete no Pé do Dente	rf			$rf = m / 6$
Vão do Dente	v			$v = e$



Obs: Caso tenha dúvida do que significa cada uma das medidas acima clique o mouse em

Figura 49 – Imagem da Folga entre os Dentes das Engrenagens (O Autor, 2018)

13) Passo

Demais Dimensões				
Lista de Medidas	Símbolo	Valor	Unidade	Fórmula
Diâmetro Primitivo	Dp	136,00	mm	$Dp = m \cdot Z$
Diâmetro Externo	De	152,00	mm	$De = m \cdot (z + 2)$
Diâmetro Interno	Di	117,33	mm	$Di = De - (2 \cdot h)$
Diâmetro de Base	Db	127,80	mm	$Db = Dp \cdot \cos \alpha$
Altura Total do Dente	h	17,33	mm	$h = a + b$
Altura da Cabeça do Dente	a	8,00	mm	$a = m$
Altura do Pé do Dente	b	9,33	mm	$b = 1,166 \cdot M$
Espessura do Dente	e	12,57	mm	$e = P / 2$
Coefficiente de Addendum	f	3,02	-	Odontógrafo
Coefficiente de Dedendum	f'	1,89	-	Odontógrafo
Folga entre os Dentes das Engrenagens	F	1,33	mm	$F = m / 6$
Passo	P	25,12	mm	$P = m \cdot \pi$
Raio de Addendum	r _a	25,12	mm	$r_a = m \cdot f$
Raio de Dedendum	r _d	15,12	mm	$r_d = m \cdot f'$
Raio do Filete no Pé do Dente	r _f	6	mm	$r_f = m \cdot 6$
Vão do Dente	se	em		
Obs: Caso tenha dúvida do que significa cada uma das medidas, habilite o ícone de ajuda (seta amarela) acima do nome da medida, habilitando o ícone de ajuda (seta amarela) no ícone de ajuda (seta amarela).				
Obs2: Os coeficientes não possuem imagem, apenas coeficientes consultados que, caso contrário, não possuem imagem.				

Figura 50 – Imagem do Passo (O Autor, 2018)

14) Raio de Addendum

Demais Dimensões				
Lista de Medidas	Símbolo	Valor	Unidade	Fórmula
Diâmetro Primitivo	Dp	136,00	mm	$Dp = m \cdot Z$
Diâmetro Externo	De	152,00	mm	$De = m \cdot (z + 2)$
Diâmetro Interno	Di	117,33	mm	$Di = De - (2 \cdot h)$
Diâmetro de Base	Db	127,80	mm	$Db = Dp \cdot \cos \alpha$
Altura Total do Dente	h	17,33	mm	$h = a + b$
Altura da Cabeça do Dente	a	8,00	mm	$a = m$
Altura do Pé do Dente	b	9,33	mm	$b = 1,166 \cdot M$
Espessura do Dente	e	12,57	mm	$e = P / 2$
Coefficiente de Addendum	f	3,02	-	Odontógrafo
Coefficiente de Dedendum	f'	1,89	-	Odontógrafo
Folga entre os Dentes das Engrenagens	F	1,33	mm	$F = m / 6$
Passo	P	25,12	mm	$P = m \cdot \pi$
Raio de Addendum	r _a	25,12	mm	$r_a = m \cdot f$
Raio de Dedendum	r _d	15,12	mm	$r_d = m \cdot f'$
Raio do Filete no Pé do Dente	r _f	6	mm	$r_f = m \cdot 6$
Vão do Dente	se	em		
Obs: Caso tenha dúvida do que significa cada uma das medidas, habilite o ícone de ajuda (seta amarela) acima do nome da medida, habilitando o ícone de ajuda (seta amarela) no ícone de ajuda (seta amarela).				
Obs2: Os coeficientes não possuem imagem, apenas coeficientes consultados que, caso contrário, não possuem imagem.				

Figura 51 – Imagem do Raio de Addendum (O Autor, 2018)

15) Raio de Dedendum

Demais Dimensões				
Lista de Medidas	Símbolo	Valor	Unidade	Fórmula
Diâmetro Primitivo	Dp	136,00	mm	$D_p = m \cdot Z$
Diâmetro Externo	De	152,00	mm	$D_e = m \cdot (z + 2)$
Diâmetro Interno	Di	117,33	mm	$D_i = D_e - (2 \cdot h)$
Diâmetro de Base	Db	127,80	mm	$D_b = D_p \cdot \cos \alpha$
Altura Total do Dente	h	17,33	mm	$h = a + b$
Altura da Cabeça do Dente	a	8,00	mm	$a = m$
Altura do Pé do Dente	b	9,33	mm	$b = 1,166 \cdot M$
Espessura do Dente	e	12,57	mm	$e = P / 2$
Coefficiente de Addendum	f	3,02	-	Odontógrafo
Coefficiente de Deddedum	f'	1,89	-	Odontógrafo
Folga entre os Dentes das Engrenagens	F	1,33	mm	$F = m / 6$
Passo	P	25,13	mm	$P = m \cdot \pi$
Raio de Addendum	ra	24,16	mm	$r_a = m \cdot f$
Raio de Dedendum	rb	15,12	mm	$r_b = m \cdot f'$
Raio do Filete no Pé do Dente	rf	1,89	mm	$r_f = m / 6$
Vão do Dente	v	e	mm	$v = e$
Obs: Caso tenha dúvida do que significa cada uma das medidas, clique no mouse em cima do nome da medida, habilitando o pop-up de informações.				
Obs2: Os coeficientes não possuem imagens, apenas coeficientes consultados que, correspondem aos valores reais, do módulo.				

Figura 52 – Imagem do Raio de Dedendum (O Autor, 2018)

16) Raio do Filete do Pé do Dente

Demais Dimensões				
Lista de Medidas	Símbolo	Valor	Unidade	Fórmula
Diâmetro Primitivo	Dp	136,00	mm	$D_p = m \cdot Z$
Diâmetro Externo	De	152,00	mm	$D_e = m \cdot (z + 2)$
Diâmetro Interno	Di	117,33	mm	$D_i = D_e - (2 \cdot h)$
Diâmetro de Base	Db	127,80	mm	$D_b = D_p \cdot \cos \alpha$
Altura Total do Dente	h	17,33	mm	$h = a + b$
Altura da Cabeça do Dente	a	8,00	mm	$a = m$
Altura do Pé do Dente	b	9,33	mm	$b = 1,166 \cdot M$
Espessura do Dente	e	12,57	mm	$e = P / 2$
Coefficiente de Addendum	f	3,02	-	Odontógrafo
Coefficiente de Deddedum	f'	1,89	-	Odontógrafo
Folga entre os Dentes das Engrenagens	F	1,33	mm	$F = m / 6$
Passo	P	25,13	mm	$P = m \cdot \pi$
Raio de Addendum	ra	24,16	mm	$r_a = m \cdot f$
Raio de Dedendum	rb	15,12	mm	$r_b = m \cdot f'$
Raio do Filete no Pé do Dente	rf	1,89	mm	$r_f = m / 6$
Vão do Dente	v	e	mm	$v = e$
Obs: Caso tenha dúvida do que significa cada uma das medidas, clique no mouse em cima do nome da medida, habilitando o pop-up de informações.				
Obs2: Os coeficientes não possuem imagens, apenas coeficientes consultados que, correspondem aos valores reais, do módulo.				

Figura 53 – Imagem do Raio do Filete do Pé do Dente (O Autor, 2018)

17) Vão do Dente

Demais Dimensões				
Lista de Medidas	Símbolo	Valor	Unidade	Fórmula
Diâmetro Primitivo	Dp	136,00	mm	$D_p = m \cdot Z$
Diâmetro Externo	De	152,00	mm	$D_e = m \cdot (z + 2)$
Diâmetro Interno	Di	117,33	mm	$D_i = D_e - (2 \cdot h)$
Diâmetro de Base	Db	127,80	mm	$D_b = D_p \cdot \cos \alpha$
Altura Total do Dente	h	17,33	mm	$h = a + b$
Altura da Cabeça do Dente	a	8,00	mm	$a = m$
Altura do Pé do Dente	b	9,33	mm	$b = 1,166 \cdot M$
Espessura do Dente	e	12,57	mm	$e = P / 2$
Coeficiente de Addendum	f	3,02	-	Odontógrafo
Coeficiente de Dedendum	f'	1,89	-	Odontógrafo
Folga entre os Dentes das Engrenagens	F	1,33	mm	$F = m / 6$
Passo	P	25,13	mm	$P = m \cdot \pi$
Raio de Addendum	ra	24,16	mm	$ra = m \cdot f$
Raio de Dedendum	rb	15,12	mm	$rb = m \cdot f'$
Raio do Filete no Pé do Dente	rf	1,33	mm	$rf = m / 6$
Vão do Dente				
Obs: Caso tenha dúvida do que significa cada símbolo, clique no ícone de ajuda (em forma de ponto de interrogação) acima do nome da medida, habilitando a opção de ajuda.				
Obs2: Os coeficientes não possuem imagem, apenas coeficientes consultados que, o usuário pode alterar.				

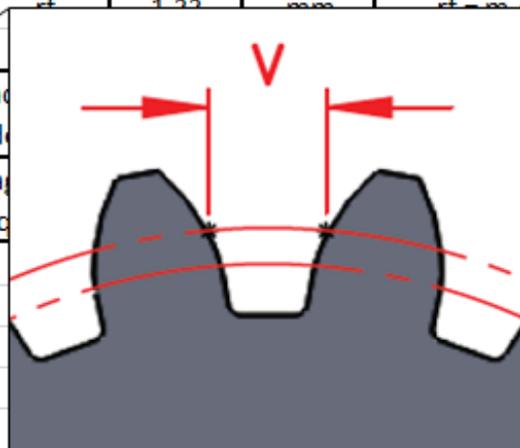


Figura 54 – Imagem do Vão do Dente (O Autor, 2018)

Além das imagens, alguns comentários foram inseridos nos valores que podem ser alterados pelo usuário, evitando erros por parte do usuário e tornando a tabela a mais simplificada possível. Assim como as imagens das dimensões, os comentários ficam ocultos e somente são mostrados quando o usuário posiciona o mouse na cédula que irá editar, tornando o sistema mais dinâmico para o usuário, evitando uma tela poluída que possa confundir o próprio usuário.

Os seguintes comentários foram inseridos:

1) Módulo

Parâmetros Principais						
Lista de Variáveis	Símbolo	Valor	Unidade	Lista de Medi...		
Módulo	m	8		Selecione o módulo desejado de acordo com a tabela abaixo		
Nº de Dentes	z	17				
Ângulo de Pressão	α	20				
Diâmetro do Eixo (\emptyset)	\emptyset	40				
Largura da Engrenagem	L	25	mm			
Possui Rasgo de Chaveta?	-	Sim	-			
Padrões de Módulo de Engrenagens						
0,5	0,55	0,6	0,7	0,8	0,9	1
1,125	1,25	1,375	1,5	1,75	2	2,25
2,5	2,75	3	3,5	4	4,5	5
5,5	6	7	8	9	10	11
12	14	16	20	25		
Obs: Os valores em negrito contém os módulos mais utilizados						

Figura 55 – Comentário Inserido na Cédula Módulo (O Autor, 2018)

Sendo o módulo um valor padronizado, as ferramentas para confecção das engrenagens também seguem tais padrões estabelecidos nas normas técnicas. A utilização de um módulo não contido nos valores de módulo padrão pode acarretar na necessidade de uma ferramenta especial ou de um sistema diferente para a usinagem dos dentes da engrenagem, tornando a mesma uma engrenagem especial que não pode ser encontrada com facilidade no mercado.

2) Número de Dentes

Parâmetros Principais				Lista de Medi...		
Lista de Variáveis	Símbolo	Valor	Unidade	Lista de Medi...		
Módulo	m	8		O número de Dentes deve ser um número inteiro e maior do que 8.		
Nº de Dentes	z	17				
Ângulo de Pressão	α	20				
Diâmetro do Eixo (\emptyset)	\emptyset	40				
Largura da Engrenagem	L	25				
Possui Rasgo de Chaveta?	-	Sim	-			

Figura 56 – Comentário Inserido na Cédula Nº de Dentes (O Autor, 2018)

O número de dentes deve ser maior do que 8 pois o Odontógrafo de Grant disposto no Anexo A dispõe de valores a partir do número 8, sendo assim não se pode confeccionar uma engrenagem com um número de dentes inferior seguindo o mesmo sistema.

Além disso, obviamente as engrenagens devem conter um número inteiro de dentes pois somente uma parcela de dente irá interromper a continuidade do engrenamento da roda dentada.

3) Ângulo de Pressão

Parâmetros Principais				Lista de Me
Lista de Variáveis	Símbolo	Valor	Unidade	
Módulo	m	8	-	Diâmetro Pri
Nº de Dentes	z	17	-	Diâmetro Ex
Ângulo de Pressão	α	20	-	h
Diâmetro do Eixo (\emptyset)	\emptyset	40	-	E
Largura da Engrenagem	L	25	-	Altura Total d
Possui Rasgo de Chaveta?	-	Sim	-	Altura da Cabeça

Selecione o ângulo de pressão padronizado

Figura 57 – Comentário Inserido na Cédula Ângulo de Pressão (O Autor, 2018)

4) Diâmetro do Eixo

Parâmetros Principais				Lista de Medidas
Lista de Variáveis	Símbolo	Valor	Unidade	
Módulo	m	8	-	Diâmetro Primitivo
Nº de Dentes	z	17	-	Diâmetro Externo
Ângulo de Pressão	α	20	-	Diâmetro Interno
Diâmetro do Eixo (\emptyset)	\emptyset	40	-	
Largura da Engrenagem	L	25	-	
Possui Rasgo de Chaveta?	-	Sim	-	

O Diâmetro do eixo deve ser menor do que o diâmetro interno da engrenagem.

Figura 58 – Comentário Inserido na Cédula Diâmetro do Eixo (O Autor, 2018)

Para garantir que o usuário não insira valores errados apesar dos comentários auxiliares, foram inseridos na tabela alguns avisos de erro a partir da Validação de Dados do Excel que surgem quando o usuário digita um valor inválido na cédula:

1) Módulo

Parâmetros Principais				Demais Dimensões				
Símbolo	Valor	Unidade		Lista de Medidas	Símbolo	Valor	Unidade	Fórmula
m	7,89	-		Diâmetro Primitivo	Dp	136,00	mm	Dp = m . z
z	17	-		Diâmetro Externo	De	152,00	mm	De = m . z
	20	Graus		Diâmetro Interno	Di	117,00	mm	Di = m . z

Módulo Fora do Padrão

O módulo inserido não é um módulo padronizado. Continuar com esse módulo pode transformar esta engrenagem numa engrenagem especial que não pode ser fabricada pelos meios convencionais.

Continuar?

Sim

Não

Cancelar

Ajuda

Figura 59 – Aviso Inserido na Cédula Módulo (O Autor, 2018)

É importante ressaltar que no valor do módulo o usuário tem a opção de manter o valor contido fora do padrão das normas, mas o aviso resalta que isso irá afetar o processo de fabricação da engrenagem.

2) Número de Dentes

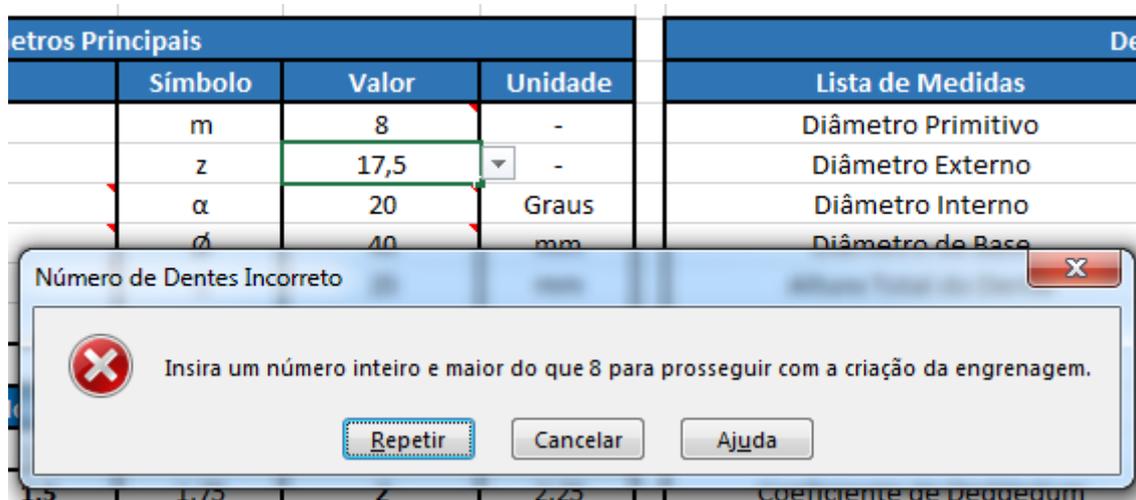


Figura 60 – Aviso Inserido na Cédula Nº de Dentes (O Autor, 2018)

No caso do número de dentes o aviso é em formato de Alerta de Erro, impedindo o usuário de prosseguir a menos que efetue a alteração do valor, impedindo que o mesmo crie engrenagens com um número de dentes muito baixo ou que o mesmo não seja um número inteiro.

3) Ângulo de Pressão

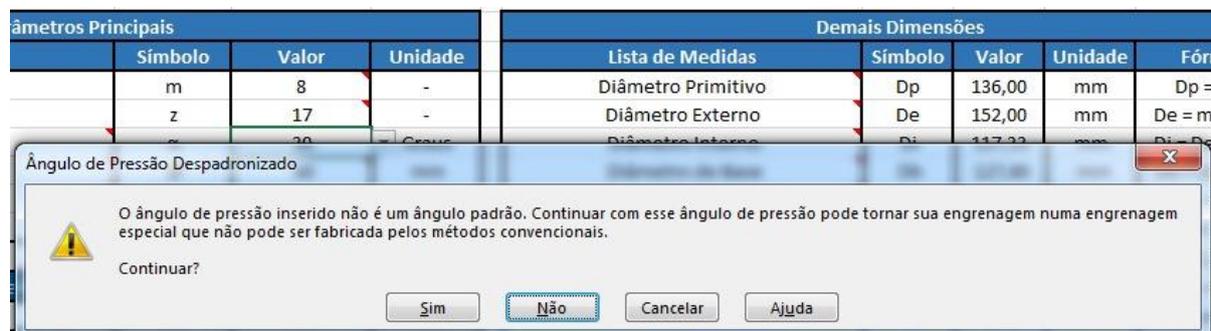


Figura 61 – Aviso Inserido na Cédula Ângulo de Pressão (O Autor, 2018)

Assim como o módulo, o ângulo de pressão pode ser alterado caso o usuário necessite, tanto que algumas engrenagens mais antigas têm ângulos de pressão variados. Sendo assim, um aviso similar ao da cédula Módulo já se constatou suficiente.

4.4 LINKAGEM DA TABELA COM OS SOFTWARES DE MODELAGEM

Com a tabela de fórmulas e dados estabelecida, é necessário estabelecer uma conexão entre a mesma e os softwares que fazem a modelagem da engrenagem. Fialho (2013) apresenta um sistema similar acoplado uma tabela de fatores de dobras para chapas metálicas utilizando o SolidWorks 2013. A própria Siemens (2011) apresenta o uso de variáveis dentro do software, e o Inventor conta com vários artigos sobre o assunto como o de Pacher (2014). Além disso, todos os softwares possuem sites de ajuda para consulta online com exemplos do uso de inúmeras funções, incluindo a de uso de variáveis para edição de parâmetros de peças.

O SolidWorks foi o software que apresentou melhor desempenho para o sistema devido a conter uma plataforma do Microsoft Excel inclusa dentro do software. Já nos softwares Inventor e SolidEdge foi necessário a criação de uma tabela externa no Microsoft Excel para alimentar os parâmetros e variáveis contidos no arquivo da engrenagem, o que pode confundir o usuário na reprodução das engrenagens, já que para cada engrenagem criada precisa-se criar também uma nova tabela auxiliar, pois a edição da tabela padrão mudaria todas as engrenagens criadas a partir dela. Apesar da necessidade de uma tabela externa, todos os softwares conseguiram suprir ao sistema sem dificuldade já que são softwares geralmente utilizados com tal intuito de edição de variáveis a partir de equações.

O SolidWorks possui também a forma de linkagem da tabela mais simples das três plataformas. Utilizando o recurso Tabela de Projeto, existe uma opção disponível para seleccionar a origem da tabela a partir de um arquivo já existente, puxando todos os dados dessa tabela para dentro do arquivo da engrenagem, sendo a tabela gerada idêntica à do Microsoft Excel com os comandos superiores do software ocultos.

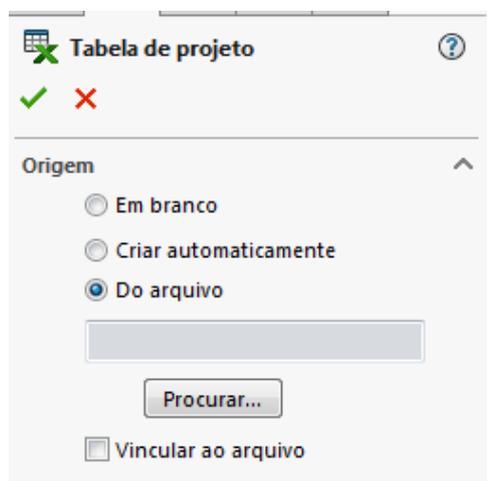


Figura 62 – Tabela de Projeto no SolidWorks (O Autor, 2018)

Já no Inventor é necessário criar uma tabela de acordo com o padrão estabelecido pelo software, exportar os parâmetros da tabela para a lista de equações do modelo gerado e então criar o vínculo entre as medidas da peça e os parâmetros da tabela. Dessa forma, quanto mais parâmetros e medidas o modelo gerado necessitar, maior o tempo para a linkagem da tabela ao software, enquanto no caso anterior o mesmo era feito de forma praticamente instantânea.

Nome de parâmetro	Usado(s) por	Unidade/Tipo	Equação	Valor nominal	Tol.	Valor de modelo	Chave	Export	Comentário
Parâmetros do modelo									
d0	Esboco1	mm	diametro_externo	152,000000	●	152,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d1	Extrusão1	mm	largura	25,000000	●	25,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d2	Extrusão1	grau	0,0 grau	0,000000	●	0,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d3	Esboco2	mm	diametro_primitivo	136,000000	●	136,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d4	Esboco2	mm	diametro_base	127,798196	●	127,798196	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d6	Esboco2	mm	diametro_interno	117,333333	●	117,333333	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d7	Esboco2	mm	espessura_dente	12,566371	●	12,566371	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d8	Esboco2	mm	raio_addendum	24,160000	●	24,160000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d9	Esboco2	mm	raio_dedendum	15,120000	●	15,120000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d11	Esboco2	grau	20,00 grau	20,000000	●	20,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d13	Extrusão2	grau	0,0 grau	0,000000	●	0,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d14	Arredondamento1	mm	raio_flete	1,333333	●	1,333333	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d15	Padrão circular1	s_m	numero_de_dentes	17,000000	●	17,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d16	Padrão circular1	grau	360 grau	360,000000	●	360,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d18	Esboco3	mm	diametro_eixo	40,000000	●	40,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d20	Extrusão3	grau	0,0 grau	0,000000	●	0,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d21	Esboco4	mm	largura_rasgo_chaveta	12,000000	●	12,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d22	Esboco4	mm	3,3 mm	3,300000	●	3,300000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
d24	Extrusão4	grau	0,0 grau	0,000000	●	0,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Parâmetros do usuário									
C:\Users\Raiths\Docum...									
modulo		s_m	8 s_m	8,000000	●	8,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
numero_de_dentes	d15	s_m	17 s_m	17,000000	●	17,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
largura	d1	mm	25 mm	25,000000	●	25,000000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Tabela 7 – Lista de Parâmetros do Inventor

Pode-se observar na Tabela 7 que as linhas que começam em branco são as medidas geradas a partir da criação do modelo da engrenagem, e que as linhas da parte inferior que começam em cinza são os parâmetros linkados a tabela do Excel. Esses valores só são disponibilizados na lista de parâmetros após o vínculo da tabela, sendo necessário especificar o caminho onde a mesma está disponível.

No Solid Edge um processo similar ao do Inventor pode ser aplicado no comando Variáveis, que da mesma forma gera a lista de parâmetros utilizados no modelo. A diferença principal do processo do Solid Edge é que pode-se simplesmente copiar o link da cédula direto da planilha do Excel, não sendo necessário incluir o vínculo primeiramente, como foi feito na tabela anterior.

TCC - .par:Tabela de Variáveis

Tipo de unidade: Distância

Tipo	Nome	Valor	Unidades	Regra	Fórmula	Intervalo	Expor	Nome Exposto	Comentário
D..	Radial_2	24,16	mm				<input type="checkbox"/>		
D..	Radial_1	15,12	mm				<input type="checkbox"/>		
D..	Diâmetro_Ra...	117,34	mm				<input type="checkbox"/>		
D..	Diâmetro_Ra...	40,00	mm				<input type="checkbox"/>		
D..	Padrão_1_Di...	133,67	mm				<input type="checkbox"/>		
D..	Linear_1	12,00	mm				<input type="checkbox"/>		
D..	V2737	3,30	mm				<input type="checkbox"/>		
Va.	Propriedades...	0,000	kg/m ³	Limite		[0,000 k...	<input checked="" type="checkbox"/>	Densidade	
Va.	Propriedades...	0,990		Limite		(0,000 ;...	<input checked="" type="checkbox"/>	Precisão	
Va.	Padrão_1_XC...	17,000					<input type="checkbox"/>		

Tabela 8 – Tabela de Variáveis do Solid Edge (O Autor, 2018)

5. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Para uma comparação dos modelos gerados foi realizado uma montagem de ambas as engrenagens (a engrenagem criada pelo sistema descrito acima e a engrenagem criada automaticamente pelos softwares de modelagem) a fim de melhor analisar as diferenças no perfil dos dentes sobrepondo-os. É importante ressaltar que as engrenagens estão dispostas em diferentes colorações para facilitar tal visualização.

No SolidWorks, a comparação é realizada com uma engrenagem do Toolbox (biblioteca de elementos de máquinas inclusa dentro do próprio SolidWorks listada de acordo com as normas desejadas) utilizando uma engrenagem do padrão ISO com parâmetros idênticos aos da engrenagem gerada pelo sistema criado utilizando a tabela de projetos.

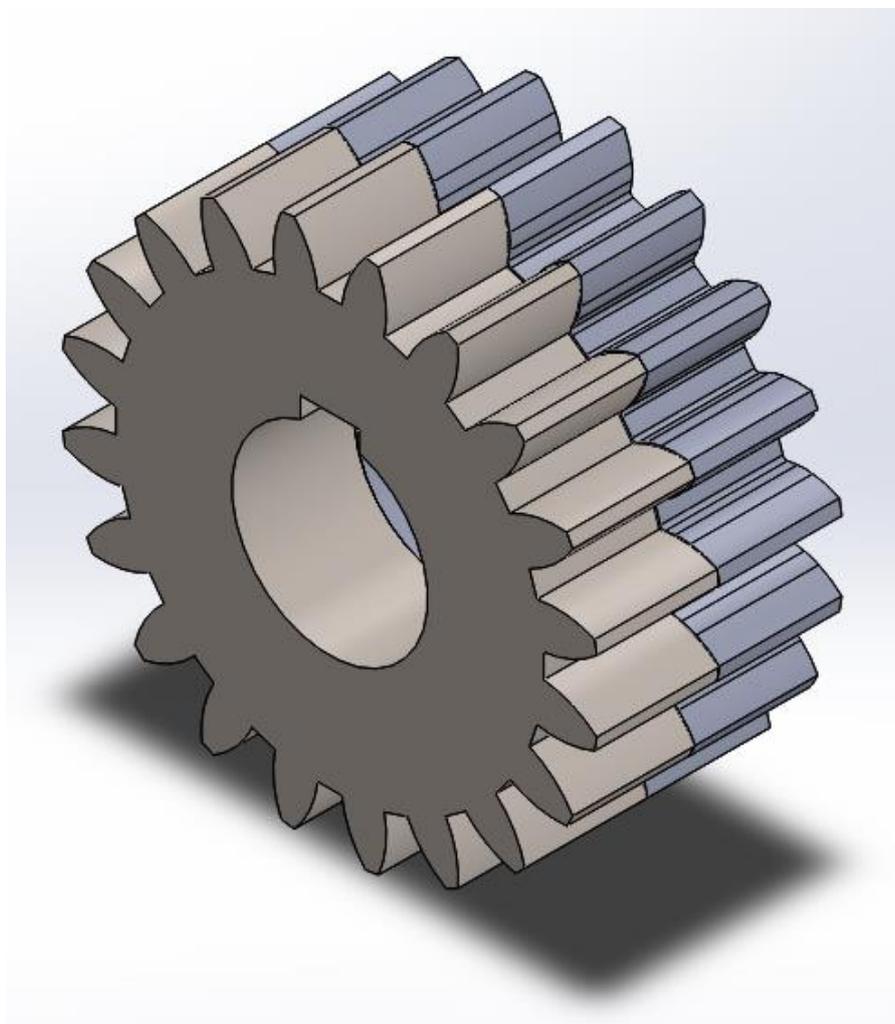


Figura 63 – Montagem das engrenagens utilizando o SolidWorks (O Autor, 2018)

A principal função dessa montagem é exibir uma visão frontal de sobreposição das engrenagens e facilitar a comparação. Com uma vista frontal pode-se visualizar com maior precisão a diferença no padrão dos dentes conforme mostrado nas Figuras 38 e 39. Os raios de addendum e dedendum ficam mais ressaltados na engrenagem criada, enquanto a engrenagem do Toolbox do SolidWorks tem uma tendência a ser mais “reta” por ser uma engrenagem geralmente demonstrativa. O raio de filete no fundo do dente também fica evidenciado, assim como uma certa diferença no diâmetro interno. Apesar de pequenas, essas diferenças podem acarretar divergências na fabricação das engrenagens, além de reduzir a suavização do engrenamento gerada pelos raios do dente, gerando maior atrito, ruído e concentração de tensões devido a engrenagem não obter os raios de alívio de tensão e possivelmente ter mais de um ponto de contato ou ponto de contato diferente do que na tangente dos diâmetros primitivos, o que gera uma perda na eficiência por atrito e pode gerar uma má distribuição de forças ao longo do dente.

As engrenagens utilizadas na comparação são as mesmas das calculadas durante a criação do sistema, com 17 dentes, módulo 8 e ângulo de pressão de 20° , sendo a engrenagem posterior a criada conforme as equações descritas e a engrenagem frontal a disponível no banco de dados do Toolbox do SolidWorks.

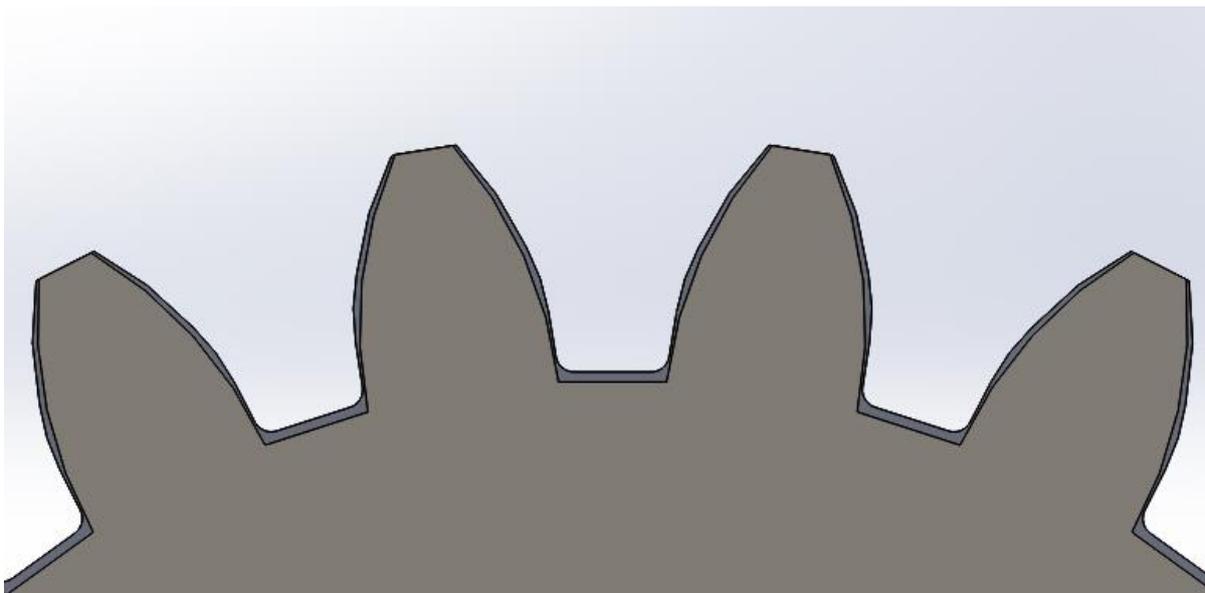


Figura 64 – Vista Frontal das Engrenagens Sobrepostas no Solidworks (O Autor, 2018)

A Figura 39 mostra de forma isolada os perfis dos dentes de ambas as engrenagens para uma visualização individual de cada uma delas, ressaltando ainda mais as diferenças dos perfis dos dentes:

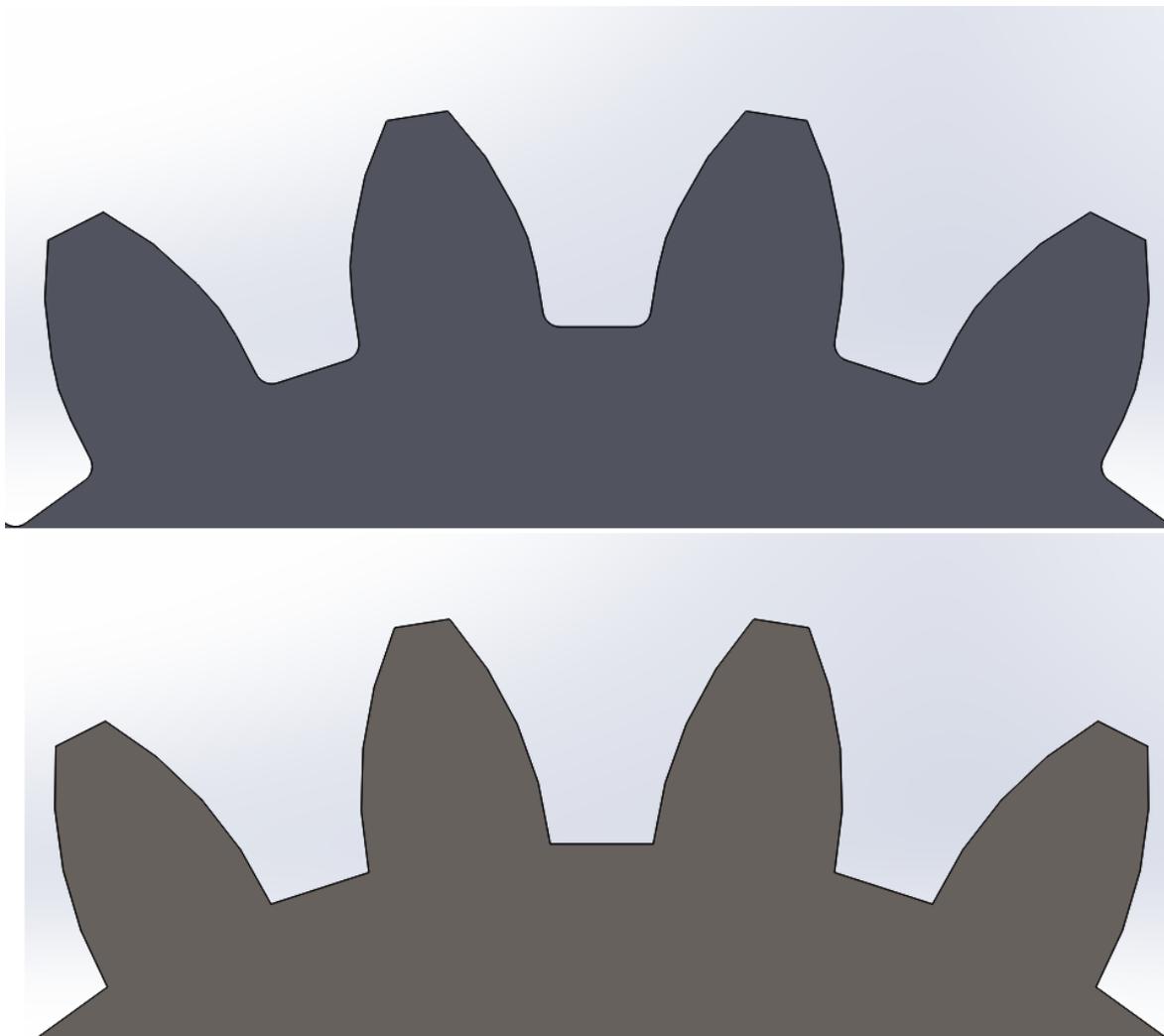


Figura 65 - Comparação dos Dentes das Engrenagens no SolidWorks (O Autor, 2018)

Aproximando a vista isométrica da Figura 37 é possível visualizar que a engrenagem do Toolbox considera somente um raio do fundo até o diâmetro externo da engrenagem, enquanto na engrenagem criada leva em consideração o raio de addendum e raio de dedendum segundo o Coeficiente de Grant, separando o dente do diâmetro externo até o diâmetro primitivo e do primitivo até o diâmetro de base, adicionando ainda o raio de filete do pé do dente para alívio de tensão na engrenagem e na ferramenta de fabricação. Tal relato fica exposto na Figura 40, evidenciando que a engrenagem do Toolbox não possui nenhuma linha de separação dos raios ao longo dos dentes.

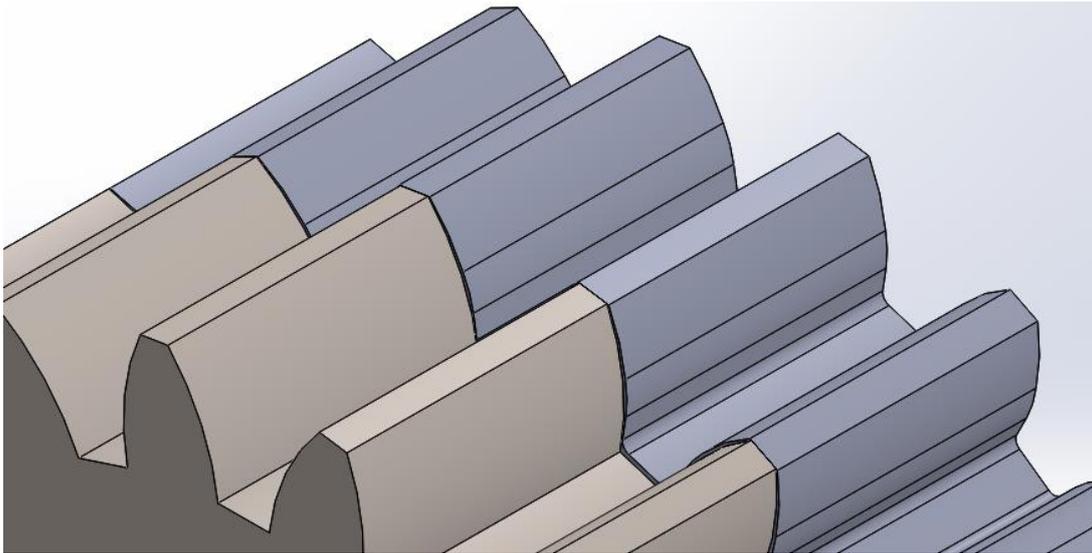


Figura 66 – Ampliação da Vista Isométrica (O Autor, 2018)

Um processo similar de comparação foi feito com o Inventor utilizando a engrenagem criada pelo recurso de montagem Engrenagem Reta, disponível na aba de Projeto. A engrenagem criada de forma automática pelo Inventor é mais próxima da desejada, mas ainda tem diferenças similares. Representada em azul na Figura 41, pode-se notar que a engrenagem possui os dentes mais “retos” como no caso anterior, além de somente um raio do pé a cabeça do dente. Na Figura 42 fica ressaltado que a mesma também não possui o filete de alívio no pé do dente, como na engrenagem do SolidWorks. O seu diâmetro primitivo também é um pouco menor.

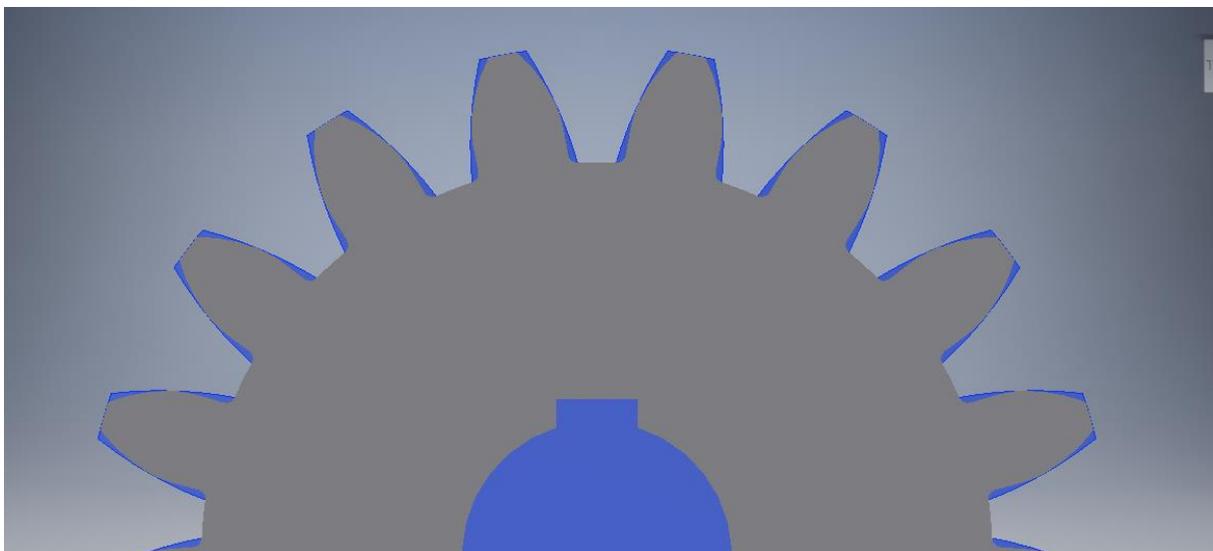


Figura 67 - Vista Frontal das Engrenagens Sobrepostas no Inventor (O Autor, 2018)

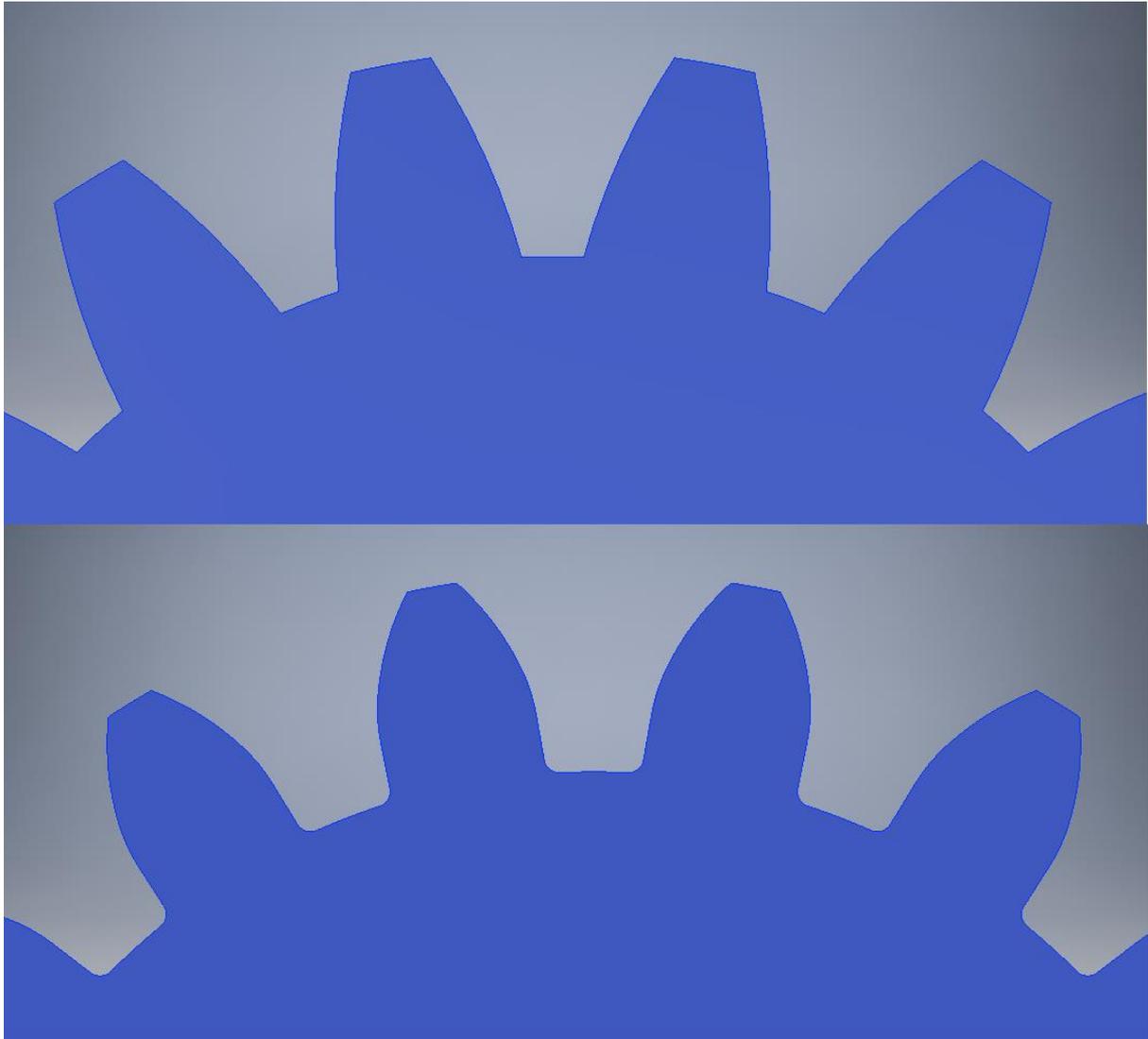


Figura 68 Comparação dos Dentes das Engrenagens no Inventor (O Autor, 2018)

O Software Solid Edge não apresentou nenhum banco de dados de elementos de máquinas padrão criados de forma automática pelo software, sendo assim impossível comparar com a engrenagem gerada pelo sistema integrado com o Microsoft Excel.

6. CONCLUSÃO

A partir da análise disposta no capítulo anterior com a comparação das engrenagens em cada software pelos sistemas automáticos dos softwares CAD/CAE, sendo o Toolbox do SolidWorks ou o recurso de Engrenagem Reta do Inventor, fica evidente que as engrenagens geradas são apenas representativas e que não podem ser transportadas fielmente para softwares de manufatura (CAM), devido ao perfil dos dentes ser diferente do perfil real que a engrenagem deve ter de acordo com a norma.

As engrenagens criadas pelos softwares CAD/CAE ainda podem ser transportadas para softwares CAM e gerados modelos físicos a partir delas, mas as engrenagens físicas não terão a mesma confiabilidade de uma engrenagem que segue as normas para sua criação, podendo ter um aumento de tensão indesejável nos dentes da engrenagem, podendo acarretar na diminuição do tempo de quebra por fadiga.

A principal vantagem da criação de engrenagens utilizando o sistema de tabela de projeto em conjunto com o Excel é a facilidade para edição das engrenagens, já que todos os parâmetros estão ligados a recursos convencionais da árvore de projeto dos softwares, podendo ser modificados e editados por qualquer usuário convencional do software, enquanto nos modelos gerados automaticamente pelos softwares são limitados quanto à sua edição, muitas vezes sendo preferível a criação de um modelo novo com os parâmetros requeridos do que a edição de um modelo já criado, o que tende a tomar um maior tempo no desenvolvimento de um projeto.

Em contrapartida, a principal desvantagem do sistema é a sua vulnerabilidade, já que sua programação é realizada com simples fórmulas do Microsoft Excel, assim como seu bloqueio para células em que o usuário não deve interagir, o que pode fazer com que algum usuário mais avançado modifique alguns parâmetros ou fórmulas, deixando o sistema exposto a erros, o que só poderia ser corrigido transformando o sistema em um software independente que trabalhasse em conjunto com os softwares CAD/CAE.

Para os softwares Inventor e Solid Edge podemos contar como ponto negativo a necessidade do uso externo da tabela do Excel, o que faz com que o usuário precise transitar entre abas de diferentes softwares, além da possibilidade de esquecer de salvar uma nova tabela para cada engrenagem criada, o que pode acarretar na tabela alterando todas as engrenagens criadas simultaneamente. Para esses dois softwares recomenda-se a utilização de um computador com sistema de multimitores para que o usuário deixe o software CAD/CAE aberto no monitor principal e a tabela do Excel disponível no monitor secundário.

Como o sistema foi somente utilizado para testes e não como implantação de um software comercial, o mesmo foi testado sem a utilização de uma senha para desbloqueio da mesma, no comando Proteger Planilha do Microsoft Excel, liberando apenas as cédulas necessárias para a interação do usuário. Para sistemas mais seguros seria mais recomendado a utilização de uma senha gerada automaticamente por algum sistema automático a fim de proteger a planilha contra criptografias que poderiam decodificar uma senha gerada pelo usuário e modificar a planilha, alterando assim também as engrenagens geradas.

Outra desvantagem é a interação do usuário com o sistema. Apesar do mesmo ter sido adaptado e terem sido utilizadas técnicas de ergonomia de software na tabela do Microsoft Excel, a mesma ainda não se assemelha ao sistema de trabalho dos softwares CAD/CAE, o que pode atrasar o aprendizado do usuário por serem plataformas distintas, de certa forma. A elaboração de um manual do sistema poderia minimizar tais aspectos, tendo uma fonte de pesquisa para o usuário aprender a utilizar melhor o sistema.

Os próprios softwares CAD/CAE dispõem de sistemas de equações que não necessitam de tabelas internas ou externas vinculadas ao Microsoft Excel, porém o sistema de listas de coeficientes de addendum e dedendum para utilização nos raios do dente e as dimensões padronizadas dos rasgos de chaveta não podem ser definidos a partir de equações, o que dificulta a criação e edição destes recursos. Além disso, o sistema não conta com nenhum tipo de proteção contra o próprio usuário, sendo sua única vantagem o uso direto do software, sem necessidade de um sistema externo, mesmo que acoplado.

Com os pressupostos citados acima, pode-se concluir que o sistema desenvolvido tem uma confiabilidade maior quanto ao modelo criado, principalmente quando necessita transportar tais engrenagens para softwares CAM ou similares para manufatura, garantindo que o modelo gerado seja o mais próximo possível da peça finalizada. Em contrapartida, por ser um sistema relativamente gerado de forma simples pode fazer com que o usuário não se adapte corretamente ao mesmo, gerando erros de criação e edição das engrenagens, principalmente por usuários que ainda não estão adaptados ao sistema. A velocidade de criação dos sistemas é relativamente similar levando em consideração as configurações dispostas no Apêndice A, sendo o sistema gerado em conjunto com o Excel de fácil edição quando comparados aos sistemas de Toolbox originais dos softwares, o que faz com que o sistema seja mais adequado quando há necessidade de mudanças nas engrenagens durante o processo de modelagem, principalmente devido a mudanças de projeto, muito comuns em sistemas de transmissão.

7. TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, citam-se:

- Elaboração de um sistema de segurança mais arrojado para evitar desbloqueios do usuário com o uso de criptografias;
- Criação de um gráfico interativo no Excel que demonstre a mudança nas dimensões da engrenagem sem que o usuário tenha de retornar para o software CAD/CAE;
- Elaboração de um software externo que possibilite a criação e edição de engrenagens a partir das equações demonstradas para criar um sistema totalmente independente que foque especificamente na ergonomia de software facilitando a interação com o usuário;
- Desenvolvimento de sistemas similares para outras engrenagens e elementos de máquinas padronizados a fim de criar uma biblioteca de projeto que siga rigorosamente as normas técnicas vigentes;
- Comparação dos modelos gerados pelo software integrado com o Microsoft Excel e dos modelos gerados pelos Toolbox dos softwares CAD/CAE com a utilização do método de análise de tensão localizada, realizando também uma estimativa de horas rodadas antes da fratura a partir dos modelos criados.

REFERÊNCIAS

ABBOTT, W. **Technical Drawing**. Revised by T. H. Hewitt. Fourth Edition, Blackie & Son Limited, Bishopbriggs, Glasgow, 1976.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6174 – Definições Gerais de Engrenagens**. Rio de Janeiro - RJ, ABNT – BR, 1980.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6684 – Engrenagens Cilíndricas (Dentes Retos e Helicoidais) - Terminologia**. Rio de Janeiro - RJ, ABNT – BR, 1981.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8403 – Aplicação de Linhas em Desenhos - Tipos de Linhas - Larguras das Linhas**. Rio de Janeiro - RJ, ABNT – BR, 1984.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10067 – Princípios Gerais de Representação em Desenho Técnico**. Rio de Janeiro - RJ, ABNT – BR, 1995.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10099 – Símbolos de engrenagens cilíndricas**. Rio de Janeiro - RJ, ABNT – BR, 1989.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11534 – Representação de Engrenagem em Desenho Técnico**. Rio de Janeiro - RJ, ABNT – BR, 1991.

ALESSANDRI, Aureo. **Mecânica Industrial Ilustrada – Cálculo de Engrenagens**. Editora Técnica Dragão, São Paulo – SP, 4ª. Ed., 1970.

AMARAL, Renato Dias Calado do; FILHO, Armando Carlos de Pina. **A Evolução do CAD e sua Aplicação em Projetos de Engenharia**. Nono Simpósio de Mecânica Computacional, Universidade Federal de São João Del-Rei–MG, Associação Brasileira de Métodos Computacionais em Engenharia, 2010.

BIANCO, Gianfranco. **Module and Diametral Pitch**. Disponível em: <<http://www.biancogianfranco.com/agg%20area%20uk/gears/module%20and%20diametral%20pitch.pdf>>. Acessado 09/10/2018 às 22h.

BINI, Edson; RABELLO, Ivone D. **Tolerâncias, Rolamentos e Engrenagens – Tecnologia Mecânica**. Editora Hemus, Curitiba – PR, 2007.

BUDYNAS, Richard G.; NISBETT, J. Keith. **Elementos de Máquinas de Shigley: Projeto de Engenharia Mecânica**. Tradução: João Batista de Aguiar, José Manoel de Aguiar – 8. ed. – Porto Alegre, Editora AMGH, 2011.

CASILLAS, A. L. **Máquinas: Formulário Técnico**. Tradução de Raimundo Nonato Corrêa, Editora Mestre Jou – São Paulo-SP, 3ª ed., 1981.

COLLINS, Jack A. **Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas: Uma Perspectiva de Prevenção de Falhas**. Tradução de Pedro Manuel Calas Lopel Pacheco... [et. Al]. Rio de Janeiro: LTC - 2015.

CRUZ, Michele David da. **Autodesk Inventor 11 – Guia Prático para Projetos Mecânicos 3D**. 2. Ed. – São Paulo - SP, Editora Érica, 2011.

CUNHA, Lamartine Bezerra da. **Elementos de Máquinas**. Rio de Janeiro - RJ, Editora LTC, 2005.

DASSAULT SYSTEMES. **Manual do Instrutor de Ensino do Software SolidWorks**. Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, Concord, Massachusetts – EUA, 2010.

DANTAS, Alan Christie da Silva. **Engrenagens cilíndricas de dentes retos**. UNIVASF – Colegiado de Engenharia Mecânica. Disponível em:
<<http://www.univasf.edu.br/~alan.dantas/disciplinas/Elementos2/Engrenagensretas.pdf>>
Acesso 22/04/2018 às 14:00h.

DEUTSCHE INDUSTRIE NORM. **DIN 867 - Basic Rack Tooth Profiles for involute teeth of cylindrical gears for general engineering and heavy engineering**. Deutsches Institut Für Normung E.V., German Standarts, Berlin, 1986.

DEUTSCHE INDUSTRIE NORM. **DIN 6885 - Parallel Keys, Deep Pattern, Dimensions and Application**. Deutsches Institut Für Normung E.V., German Standarts, Berlin, 1968.

DOBROVOLSKI, V; ZANBLONSKI, K.; MAK, S.; BADCHIK, A.; ERLIJ, L. **Elementos de Máquinas**. Moscou: Editorial Mir, 1970.

DORTE, Fernando Carlos; BITENCOURT, Geovane; WITTACZIK, Jackson F. A.; FERREIRA, Robson A. **Componentes Mecânicos**. Apostila do Curso Técnico em Eletromecânica, Florianópolis: SENAI/SC, 2010.

DUBBEL, Heinrich. **Manual de Construção de Máquinas – Volume 1**. Tradução de Agatha M. Auersperg e Norberto de Paula Lima, Editora Hemus, Curitiba – PR, 13ª edição, 2013.

FIALHO, Arivelto Bustamante. **SolidWorks Premium 2013 – Plataforma CAD/CAE/CAM para projeto, desenvolvimento e validação de produtos industriais**. São Paulo: Editora Érica, 1ª edição, 2013.

FILHO, Arlindo B.; RATHS, Lucas K. **Otimização De Projetos Por Meio De Softwares Para Modelagem De Sólidos**. Synthesis - ISSN 1676-9805, Papervest Editora, nº 30, 2016, 70p.

FISCHER, Ullrich; et al. **Manual de Tecnologia Metal Mecânica**. Editora Blucher, São Paulo – SP, 2008.

FRANCESCHI, Alessandro de; ANTONELLO, Miguel Guilherme. **Elementos de Máquinas**. Santa Maria, RS: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria: Rede e-Tec Brasil, 2014. 152 p.: il.; 28 cm; ISBN 978-85-63573-61-2.

FRENCH, Thomas E.; VIERCK, Charles J. **Desenho Técnico e Tecnologia Gráfica**. Tradução Eny Ribeiro Esteves, Lais Knijnik, Maria Clarissa Juchen, Maria Teresa Chaves Custódio, Marli Merker Moreira – 6. Ed. – São Paulo: Globo, 1999.

GRANT, George B. **A Handbook on the Teeth of Gears, Their Curves, Properties and Practical Construction.** Published by the Lexington Gear Works, Lexington, Mass. Third Edition, 1890.

GRANT, George B. **Odontics or the Theory and Practice of the Teeth of Gears.** Published by the Lexington Gear Works, Lexington, Mass, 1891.

GRANT, George B. **A Treatise on Gear Wheels.** Published by the Lexington Gear Works, Lexington, Mass. Sixth Edition, 1893.

HALL, Allen Strickland; HOLLOWENKO, Alfred R.; LAUGHLIN, Herman G. **Elementos Orgânicos de Máquinas.** Tradução de Paulo Murilo Araújo da Rocha, São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1977.

HACK, Catapan Araci; et al. **Ergonomia de Software Educacional: a possível integração entre usabilidade e aprendizagem.** Campinas/SP. Outubro/99, coautoria. In: IHC 99 - IIº Workshop Sobre Fatores Humanos Em Sistemas Computacionais, 1999, CAMPINAS/SP. CD-ROM, ART. 24, 1999.

HELLMEISTER, Luiz Antonio V.; FRAGELLI, Renan Luis. **Comparação Entre Softwares Do Projeto “Inventor” & “Solid Edge” E Sua Relação Como Ferramenta Tecnológica De Informação E Comunicação Em Sala De Aula.** FAAC - Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, LECOTEC - II Simpósio de Comunicação, Tecnologia e Educação Cidadã, Bauru-SP, 2009.

INTERNATIONAL STANDART. **ISO 14: Straight-sided splines for cylindrical shafts with internal centering - Dimensions, Tolerances and Verification.** International Organization for Standardization, Second edition Printed in Switzerland, 1982.

INTERNATIONAL STANDART. **ISO 53: Cylindrical gears for general and heavy engineering — Standard basic rack tooth profile.** International Organization for Standardization, Second edition Printed in Switzerland, 1998.

INTERNATIONAL STANDART. **ISO 54: Cylindrical gears for general engineering and for heavy engineering - Modules.** International Organization for Standardization, Second edition Printed in Switzerland, 1996.

INTERNATIONAL STANDART. **ISO 2203: Technical Drawings – Conventional Representation of Gears.** International Organization for Standardization, Printed in Switzerland, 1997.

IZILDO, Antunes; FREIRE, Marcos A. C. **Elementos de Máquinas.** São Paulo- SP: Editora Érica, 1ª ed., 1997.

JUNIOR, Auteliano Antunes dos Santos. **Engrenagens Cilíndricas de Dentes Retos.** Apostila para o Curso de Sistemas Mecânicos e Elementos de Máquinas. Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP, Campinas, 2003.

JUNIVALL, Robert C.; MARSHEK, Kurt M. **Fundamentos do Projeto de Elementos de Máquina.** 5. Ed. – Rio de Janeiro - RJ, Editora LTC, 2016.

KOHARA GEAR INDUSTRY. **KHK - The ABC's of Gears: A - The Introductory Course.** Kohara Gear Industry Co., LTD. - Japan – First Edition, 2007.

LAZZURI, José Eduardo Cunha. **Mechanical Desktop 4.0 – Guia Prático.** São Paulo: Editora Érica, 1a Ed. 1999.

MANFÉ, Giovanni; et al. **Desenho Técnico Mecânico – Curso Completo Vol. 3.** Tradução Eng. Carlos Antonio Lauand, Editora Hemus, Brasil, 2004.

MANZANO, José Augusto N. G.; MANZANO, André Luiz N. G. **Estudo Dirigido de Microsoft Office Excel 2007 Avançado.** Editora Érica, 2ª edição, São Paulo – SP, 2010.

MASTRO, Edson Del. **Desenho Técnico Mecânico II - Rodas De Transmissão: Alívio Em Rodas.** Faculdade De Tecnologia De Sorocaba, Centro Paula Souza, Sorocaba - SP, 2009.

MELKONIAN, Sarkis. **Elementos de Máquinas.** 9a Ed. – Editora Érica: São Paulo, 2005.

MESA, Ildefonso Jiménez; FLOR, Jose I. Días-Tendero y de la; RIVERO, José Pablo Suárez. **Dibujo Industrial – Manual de Apoyo y Docencia.** Departamento de Cartografía y Expresión Gráfica em la Ingeniería. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, ISBN:84-7806-295-5, 2004.

MICROSOFT. **Central de ajuda do Excel.** Disponível em: < <https://support.office.com/pt-br/excel> >; Acessado 27/08/2018 às 01:47h.

MOTTA, Reginaldo. **Desenho Técnico: CAD.** Apostila do curso técnico em Mecânica, Florianópolis: SENAI - SC, 2010.

NARAYANA, K. L.; KANNAIAH, P.; REDDY, K. Venkata. **Machine Drawing.** Third Edition, New Age International Publishers, ISBN (13) : 978-81-224-2518-5, 2006.

NORTON, Robert L. **Projeto de Máquinas: Uma Abordagem Integrada.** Tradução: Konstantinos Dimitiou Stavropoulos ... et al. – 4. Ed. – Dados Eletrônicos. – Porto Alegre: Bookman, 2013.

BERG, Erik; JONES, Franklin D.; HORTON, Holbrook L.; RYFFEL, Henry H. **Machinery's Handbook.** Industrial Press, 29th Edition - New York, 2800 p. – 2012.

OLIVEIRA, Luis Eduardo dos Santos; SILVA, Simone de Cassia. **Uma Análise Sobre O Papel Da Ergonomia Na Concepção De Software.** XXXI Encontro Nacional De Engenharia De Produção (ENEGEP), ABEPRO - Associação Brasileira de Engenharia de Produção, Belo Horizonte - MG, 04 a 07 de outubro de 2011.

PACHER, Jean Carlos. **Projetos Inteligentes – Reduzindo seu tempo de projeto usando o iLogic + Vault.** Autodesk University Brasil, 2014. Disponível em: < http://damassets.autodesk.net/content/dam/au/Brasil2014/documents/materialapoio/AUTP21_Jean_Pacher-Keepcad.pdf > Acessado em 12/10/2018 às 21h.

PAHL, Gerhard; et al. **Projeto na Engenharia – Fundamentos do Desenvolvimento Eficaz de Produtos, Métodos e Aplicações**. Tradução de Hans Andreas Werner – São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

PAZ, Renan G. et. al. **Estudo De Caso Da Tensão Atuante Em Engrenagem Com Massa Reduzida Pelo Método De Elementos Finitos**. CRICTE - XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica de Engenharia. UNIJUÍ - Universidade Regional, Ijuí – RS – Brasil, 2017.

PINTO, Mário Paulo. **Microsoft Excel 2010**. Coleção: Software Obrigatório, Famalicão, Portugal, Centro Atlântico, Lda., 1.^a edição, 2011. ISBN: 978 -989 -615 -109 -6

PROVENZA, Francesco. **Pro-tec – Desenhista de Máquinas**. Editora F. Provenza, São Paulo – SP, 46^a ed. – 1991.

PROVENZA, Francesco. **Pro-tec – Projetista de Máquinas**. Editora F. Provenza, São Paulo – SP, 71^a ed. – 1996.

RADZEVICH, Stephen P. **Dudley's - Handbook of Practical Gear Design and Manufacture**. Second Edition, CRC Press – Taylor & Francis Group, New York, 2012.

REDDY, K. Venkata. **Textbook of Engineering Drawing**. C.R. Engineering College, Tirupati - 517 506. BS Publications, Second Edition, ISBN: 81-7800-149-7, 2008.

REY, Gonzalo González. **Cálculo de Engrenajes Cilíndricos**. CUJAE, Facultad de Ingeniería Mecánica. Ciudad de la Habana. Cuba. Experto de ISO TC60 y Miembro Académico de AGMA. Ciudad Habana 2001.

RICHARDS, Keith L. **Design Engineer's Handbook**. CRC Press. Taylor & Francis Group. New York, 2013.

RODRIGUES, Renato; GONÇALVES, José Correia. **Procedimentos de Metodologia Científica**. 8^a. Ed. Lages: PAPERVEST, 2017, 195p.

SÁ, Sofia. **Manual de Microsoft Excel**. Publicado em Fevereiro de 2015. Disponível em : < http://www.ispa.pt/ficheiros/documentos/microsoft_excel.pdf >; Acessado 27/08/2018 às 01:47h.

SCHNEIDER, W. **Desenho Técnico Industrial – Introdução aos Fundamentos do Desenho Técnico Industrial**. Tradução de Guarany Edu, Título original: Technisches Zeichen Für Die Praxis. Editora Hemus, 2008.

SHAH, M. B.; RANA, B. C. **Engineering Drawing**. Dorling Kindersley (India) Pvt. Ltd. Second Impression, ISBN 978-81-317-0944-3, 2007.

SHIGLEY, Joseph E.; MISCHKE, Charles R.; BUDYNAS, Richard G. **Projeto de Engenharia Mecânica**. Tradução: João Batista de Aguiar, José Manoel de Aguiar – 7. ed. – Porto Alegre, Bookman, 2005.

SIEMENS Product Lifecycle Management Software Inc. **Solid Edge fundamentals**. Publication Number mt01413-s-1040, 2011. Disponível em: <https://support.industrysoftware.automation.siemens.com/training/se/en/ST4/pdf/mt01413-s-1040_en.pdf> Acessado em 12/10/2018 às 21h.

SILVA, Arlindo; et. al. **Desenho Técnico Moderno**. Tradução de Antônio Eustáquio de Melo Pertence, Ricardo Nicolau Nassar Koury, 4ª ed. Rio de Janeiro – RJ, editora LTC, 2011.

SILVA, Paulo Sergio D. da. **Desenvolvimento De Uma Metodologia Para Otimização Do Projeto De Transmissões Por Engrenagens Cilíndricas De Perfil Evolvente Com Aplicação De Técnicas De Correção De Perfil**. Dissertação de Mestrado enviada a Universidade Federal de Minas Gerais - Belo Horizonte, 2015.

SILVA, Felix de Sena. **Microsoft Excel 2016 básico: para pessoas com deficiência visual: Educação Profissional: manual do aluno**. InfoServer - Osasco, SP: Fundação Bradesco, 2017.

SOUSA, Antônio Carlos de; et. al. **SolidWorks: Guia Prático para Modelagem Sólida**. Editora Visual Books. Florianópolis-SC, 2001.

SOUSA, Geraldo Roberto de. **Influência Do Ângulo De Pressão Em Projeto De Engrenagens**. Dissertação de mestrado apresentada a Universidade Estadual De Campinas para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mecânica. Campinas-SP, 2003.

SPECK, Henderson José. **Proposta De Método Para Facilitar A Mudança Das Técnicas De Projetos: Da Prancheta À Modelagem Sólida (Cad) Para Empresas De Engenharia De Pequeno E Médio Porte**. Universidade Federal de Santa Catarina, Tese de Doutorado Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2005.

TEBALDI, Adriano de Moura. **Projeto De Uma Caixa De Transmissão Com Uma Marcha Reduzida Para Protótipo Baja Sae**. Escola Politécnica, UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, 2015.

TELECURSO 2000 PROFISSIONALIZANTE. **Elementos de Máquinas – Volume 1**. São Paulo. 1997. [1]

TELECURSO 2000 PROFISSIONALIZANTE. **Elementos de Máquinas – Volume 2**. São Paulo. 1997. [2]

APÊNDICE A – CONFIGURAÇÕES DO COMPUTADOR UTILIZADO

Para elaboração das configurações, listou-se apenas os componentes que podem ter influência direta no sistema:

- Sistema Operacional: Windows 7 Ultimate 64 bits Service Pack 1

- Processador Intel Core i5 3330, 3000MHz (30 x 100)

- Placa mãe ASRock H61M-HVS

- 2 Memórias RAM 8GB DDR3 totalizando 16GB sendo elas:
 - Kingston HyperX KHX1600C10D3/8G
 - SpecTek OP:98300 11/13 2M

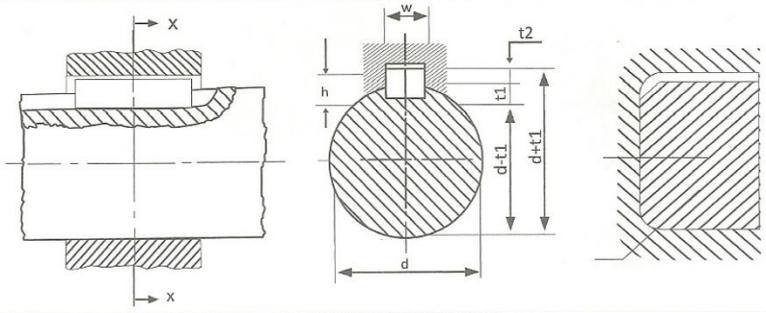
- Placa de Video AMD Radeon HD 7700 Series

ANEXO A – ODONTÓGRAFO DE GRANT SIMPLIFICADO

Nº DE DENTES	COEFICIENTES	
	Z	f
8	2,10	0,45
10	2,28	0,69
11	2,40	0,83
12	2,51	0,96
13	2,62	1,09
14	2,72	1,22
15	2,82	1,34
16	2,92	1,46
17	3,02	1,58
18	3,12	1,69
19	3,22	1,79
20	3,32	1,89
21	3,41	1,98
22	3,49	2,06
23	3,57	2,15
24	3,64	2,24
25	3,71	2,33
26	3,78	2,42
27	3,85	2,50
28	3,92	2,59
29	3,99	2,67
30	4,06	2,76
32	4,20	2,93
33	4,27	3,01
34	4,33	3,09
35	4,39	3,16
36	4,45	3,23
37-40	4,20	
41-45	4,63	
46-51	5,06	
52-60	5,74	
61-70	6,52	
71-90	7,72	
91-120	7,78	
121-180	13,38	
181-360	21,62	

Fonte: PROVENZA (1991)

ANEXO B – TABELA DE CHAVETAS E RASGOS NO EIXO/CUBO



Eixo		Chave- ta	Canaletas											
Diâmetro d			Largura					Profundidade					Raio r	
			Afastamentos					Eixo t ₁		Cubo t ₂				
			ajuste c/ folga no		ajuste c/ folga no		ajuste c/ interfe- rência no cubo P 9	Eixo t ₁		Cubo t ₂				
Eixo H9	Cubo D10	Eixo N9	Cubo JS 9	Nominal	Afaste- mentos	Nominal		Afaste- mentos	Máximo	Mínimo				
de	até	Seção bxh Nominal		ajuste c/ folga no		ajuste c/ interfe- rência no cubo P 9	Eixo t ₁		Cubo t ₂			Raio r		
6	8	2x2	2	+ 0,025	+ 0,060		- 0,004	+ 0,012	- 0,006	1,2	+ 0,1 0	1,0	+ 0,1 0	0,2
8	10	3x3	3	0	+ 0,020	- 0,029	- 0,013	- 0,031	1,8	1,4		0,2		0,1
10	12	4x4	4	+ 0,030	+ 0,078	0	+ 0,015	- 0,012	2,5	1,8		0,2		0,1
12	17	5x5	5	0	+ 0,030	- 0,030	- 0,015	- 0,042	3,0	+ 0,2 0	2,3	+ 0,2 0	0,3	0,2
17	22	6x6	6						3,5		2,8		0,3	0,2
22	30	8x7	8	+ 0,036	+ 0,098	0	+ 0,018	- 0,015	4,0		3,3		0,3	0,2
30	38	10x8	10	0	+ 0,040	- 0,036	- 0,018	- 0,051	5,0	+ 0,2 0	3,3	+ 0,2 0	0,4	0,3
38	44	12x8	12						5,0		3,3		0,4	0,3
44	50	14x9	14	+ 0,043	+ 0,120	0	+ 0,021	- 0,018	5,5		3,8		0,4	0,3
50	58	16x10	16	0	+ 0,050	- 0,043	- 0,022	- 0,061	6,0	+ 0,2 0	4,3	+ 0,2 0	0,4	0,3
58	65	18x11	18						7,0		4,4		0,4	0,3
65	75	20x12	20						7,5		4,9		0,6	0,4
75	85	22x14	22	+ 0,052	+ 0,149	0	+ 0,026	- 0,022	9,0	+ 0,3 0	5,4	+ 0,3 0	0,6	0,4
85	95	25x14	25	0	+ 0,065	- 0,052	- 0,026	- 0,074	9,0		5,4		0,6	0,4
95	110	28x16	28						10,0		6,4		0,6	0,4
110	130	32x18	32						11,0	+ 0,3 0	7,4	+ 0,3 0	0,6	0,4
130	150	36x20	36						12,0		8,4		1,0	0,7
150	170	40x22	40	+ 0,062	+ 0,180	0	+ 0,031	- 0,026	13,0		9,4		1,0	0,7
170	200	45x25	45	0	+ 0,080	- 0,062	- 0,031	- 0,088	15,0	+ 0,3 0	10,5	+ 0,3 0	1,0	0,7
200	230	50x28	50						17,0		11,4		1,0	0,7
230	260	56x32	56						20,0		12,4		1,6	1,2
260	290	63x32	63	+ 0,074	+ 0,220	0	+ 0,037	- 0,032	20,0	+ 0,3 0	12,4	+ 0,3 0	1,6	1,2
290	330	70x36	70	0	+ 0,100	- 0,074	- 0,037	- 0,106	22,0		14,4		1,6	1,2
330	380	80x40	80						25,0		15,4		2,5	2,0
380	440	90x45	90	+ 0,087	+ 0,260	0	+ 0,043	- 0,037	28,0	+ 0,3 0	17,4	+ 0,3 0	2,5	2,0
440	500	100x50	100	0	+ 0,120	- 0,087	- 0,044	- 0,124	31,0		19,5		2,5	2,0

Fonte: DORTE, et. al. (2010)

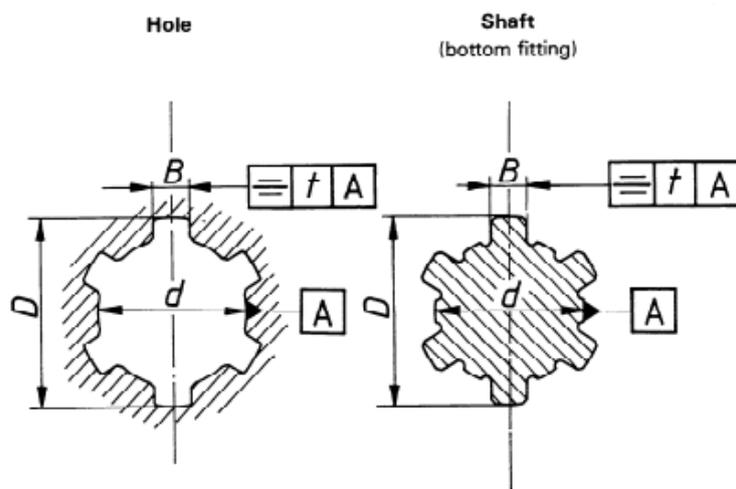
ANEXO C – TABELA EIXOS RANHURADOS ISO 14

Tabela A – Medidas Nominais

d mm	Light series				Medium series			
	Designation	N	D mm	B mm	Designation	N	D mm	B mm
11					6 × 11 × 14	6	14	3
13					6 × 13 × 16	6	16	3,5
16					6 × 16 × 20	6	20	4
18					6 × 18 × 22	6	22	5
21					6 × 21 × 25	6	25	5
23	6 × 23 × 26	6	26	6	6 × 23 × 28	6	28	6
26	6 × 26 × 30	6	30	6	6 × 26 × 32	6	32	6
28	6 × 28 × 32	6	32	7	6 × 28 × 34	6	34	7
32	8 × 32 × 36	8	36	6	8 × 32 × 38	8	38	6
36	8 × 36 × 40	8	40	7	8 × 36 × 42	8	42	7
42	8 × 42 × 46	8	46	8	8 × 42 × 48	8	48	8
46	8 × 46 × 50	8	50	9	8 × 46 × 54	8	54	9
52	8 × 52 × 58	8	58	10	8 × 52 × 60	8	60	10
56	8 × 56 × 62	8	62	10	8 × 56 × 65	8	65	10
62	8 × 62 × 68	8	68	12	8 × 62 × 72	8	72	12
72	10 × 72 × 78	10	78	12	10 × 72 × 82	10	82	12
82	10 × 82 × 88	10	88	12	10 × 82 × 92	10	92	12
92	10 × 92 × 98	10	98	14	10 × 92 × 102	10	102	14
102	10 × 102 × 108	10	108	16	10 × 102 × 112	10	112	16
112	10 × 112 × 120	10	120	18	10 × 112 × 125	10	125	18

Tabela B – Tolerâncias nos Furos e Entalhes

Tolerances on hole						Tolerances on shaft			Mounting type
Not treated after broaching			Treated after broaching			B	D	d	
B	D	d	B	D	d				
H9	H10	H7	H11	H10	H7	d10	a11	f7	Sliding
						f9	a11	g7	Close sliding
						h10	a11	h7	Fixed



Fonte: INTERNATIONAL STANDART - ISO 14 (1982)

ANEXO D – EIXOS E CUBOS RANHURADOS ENTALHADOS

		Leve DIN 5462				Médio DIN 5463				Pesado DIN 5464			
Diâmetro d_1	Número de entalhes	d_2	b	M_1 cmkgf/mm	Número de entalhes	d_2	b	M_{10} cmkgf/mm	Número de entalhes	d_2	b	M_{10} cmkgf/mm	Número de entalhes
11	—	—	—	—	6	14	3	25,4	—	—	—	—	—
13	—	—	—	—	6	16	3,5	29,5	—	—	—	—	—
16	—	—	—	—	6	20	4	57	10	20	2,5	94,5	—
18	—	—	—	—	6	22	5	63	10	23	3	146	—
21	—	—	—	—	6	25	5	72,5	10	26	3	167	—
23	6	26	6	49,5	6	28	6	109	10	29	4	234	—
26	6	30	6	88,2	6	32	6	144	10	32	4	240	—
28	6	32	7	94,5	6	34	7	154	10	35	4	320	—
32	8	36	6	122	8	38	6	231	10	40	5	432	—
36	8	40	7	138	8	42	7	258	10	45	5	570	—
42	8	46	8	159	8	48	8	297	10	52	6	706	—
46	8	50	9	173	8	54	9	450	10	56	7	766	—
52	8	58	10	330	8	60	10	505	16	60	5	1010	—
56	8	62	10	354	8	65	10	635	16	65	5	1280	—
62	8	68	12	390	8	72	12	805	16	72	6	1620	—
72	10	78	12	563	10	82	12	1155	16	82	7	1850	—
82	10	88	12	638	10	92	12	1350	20	92	6	2610	—
92	10	98	14	712	10	102	14	1455	20	102	7	2910	—
102	10	108	16	790	10	112	16	1605	20	115	8	4480	—
112	10	120	18	1300	10	125	18	2450	20	125	9	4900	—

Para veículos a motor DIN 5461 até 5464		Para máquinas operatrizes (DIN 5471)	

Para veículos a motor
DIN 5461 até 5464
Tolerância: DIN 5465
Centragem: centragem interna, para eixos com 6 a 10 ranhuras; centragem pelos flancos, para eixos com 8 a 20 ranhuras.

Para máquinas operatrizes (DIN 5471)

Dimensões em mm

Dimensões nominais do eixo e do cubo em mm d · D · b

M_{10} cmkgf/mm

Fonte: PROVENZA (1996)

ANEXO E – RELAÇÕES ENTRE MÓDULO E PASSO DIAMETRAL

Relationship between Module and Diametral Pitch

Module	Diametral Pitch						
0,50	50,8000	3,75	6,7733	8,00	3,1750	19	1,3368
0,75	33,8666	4,00	6,3500	8,50	2,9882	20	1,2700
1,00	25,4000	4,25	5,9765	9,00	2,8222	22	1,1545
1,25	20,3200	4,50	5,6444	9,50	2,6737	24	1,0583
1,50	16,9333	4,75	5,3474	10	2,5400	26	0,9769
1,75	14,5143	5,00	5,0800	11	2,3091	28	0,9071
2,00	12,7000	5,25	4,8381	12	2,1167	30	0,8467
2,25	11,2889	5,50	4,6182	13	1,9538	32	0,7937
2,50	10,1500	5,75	4,4174	14	1,8143	34	0,7471
2,75	9,2364	6,00	4,2333	15	1,6933	36	0,7056
3,00	8,4667	6,50	3,9077	16	1,5875	38	0,6684
3,25	7,8154	7,00	3,6286	17	1,4941	40	0,6350
3,50	7,2572	7,50	3,3867	18	1,4111	--	--

Relationship between Diametral Pitch and Module

Diametral Pitch	Module	Diametral Pitch	Module	Diametral Pitch	Module	Diametral Pitch	Module
48	0,5292	13	1,9538	5 1/2	4,6182	2 1/4	11,2889
44	0,5773	12	2,1167	5 1/4	4,8381	2	12,7000
40	0,6350	11	2,3091	5	5,0800	1 7/8	13,5467
36	0,7056	10	2,5400	4 3/4	5,3474	1 3/4	14,5143
32	0,7937	9 1/2	2,6737	4 1/2	5,6444	1 5/8	15,6308
28	0,9071	9	2,8222	4 1/4	5,9765	1 1/2	16,9333
24	1,0583	8 1/2	2,9882	4	6,3500	1 3/8	18,4727
20	1,2700	8	3,1750	3 3/4	6,7733	1 1/4	20,3200
18	1,4111	7 1/2	3,3867	3 1/2	7,2572	1 1/8	22,5778
17	1,4941	7	3,6286	3 1/4	7,8154	1	25,4000
16	1,5875	6 1/2	3,9077	3	8,4667	.7/8	29,0286
15	1,6933	6	4,2333	2 3/4	9,2364	.3/4	33,8666
14	1,8143	5 3/4	4,4174	2 1/2	10,1500	.5/8	40,6400
--	--	--	--	--	--	1/2	50,8000

Fonte: BIANCO (2018)