

RAPHAEL AUGUSTO DE OLIVEIRA SANTOS

**Projeto preliminar de eixos e chavetas para sistemas de transmissão por
engrenagens cilíndricas utilizando a linguagem VBA**

Raphael Augusto de Oliveira Santos

**Projeto preliminar de eixos e chavetas para sistemas de transmissão por
engrenagens cilíndricas utilizando a linguagem VBA**

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


Orientador (a): Prof. Dr. Fernando de Azevedo Silva

S237p Santos, Raphael Augusto de Oliveira
Projeto preliminar de eixos e chavetas para sistemas de transmissão por engrenagens cilíndricas utilizando a linguagem VBA / Raphael Augusto de Oliveira Santos – Guaratinguetá, 2017.
48 f : il.
Bibliografia: f. 48

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

1. Engrenagens. 2. Visual Basic (Linguagem de programação de computador). 3. Lógica de computador. 4. Projetos de engenharia.
I. Título

CDU 621.83



Luciana Máximo

Bibliotecária/CRB-8 3595


RAPHAEL AUGUSTO DE OLIVEIRA SANTOS

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

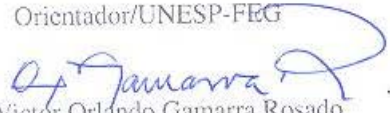
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM NOME DO CURSO

Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS
Coordenador


BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Fernando de Azevedo Silva

Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. Victor Orlando Gamarra Rosado

UNESP-FEG


Prof. Dr. Erick Siqueira Guidi

UNESP-FEG

Novembro 2017

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço ao meu orientador, *Prof. Dr. Fernando de Azevedo Silva* que jamais deixou de me incentivar.

aos meus pais *Alomir dos Santos e Miriam Aparecida de Oliveira Santos*, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram meus estudos.

à todos os amigos que fiz durante essa jornada.

DADOS CURRICULARES

RAPHAEL AUGUSTO DE OLIVEIRA SANTOS

NASCIMENTO 02.02.1992 – Guaratinguetá / SP

FILIAÇÃO Alomir dos Santos
Miriam Aparecida de Oliveira Santos

2010/2017 Curso de Graduação em Engenharia Mecânica
Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - UNESP

RESUMO

Através de uma abordagem atual e prática, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma lógica programacional em linguagem do Visual Basic for Applications (VBA) para cálculos iniciais de eixos e chavetas paralelas em sistemas de transmissão por engrenagens cilíndricas. Assim realizou-se a a construção da lógica programacional do sistema de transmissão em linguagem do Visual Basic. Após isto desenvolveu-se uma interface gráfica amigável para o usuário. Finalizada a programação, calculou-se os valores para um sistema de transmissão e criou-se um relatório contendo todas os parâmetros calculados durante as etapas. Após isto comparou-se com os valores obtidos através do cálculo manual demonstrando desta forma que o software desenvolvido apresenta resultados coerentes ao cálculo manual.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema de transmissões. Redutor de velocidade. Eixo. Chaveta.

ABSTRACT

Through a current and practical approach, this work aims to demonstrate the development of a programacional logic in Visual Basic for Application (VBA) language to calculate the initials values of shafts and square keys in gear transmission system. Thus, the programming of the transmission system in Visual Basic language was performed. After this a user-friendly graphical interface was developed too. After the programming, the values were calculated for a transmission system and a report has created with all the calculated parameters during all the steps. After compared with the values obtained through the manual calculation, thus demonstrating that the software developed presents results consistent with the manual calculation.

KEYWORDS: Transmission system. Speed Reducer. Shafts. Keys.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1- Redutor de Velocidade..... | 14 |
| Figura 2- Engrenagens cilíndricas | 15 |
| Figura 3 - Engrenagens cônicas | 16 |
| Figura 4 - Engrenamento coroa-sem-fim..... | 17 |
| Figura 5 - Eixo árvore com vários tipos de elementos mecânicos fixados..... | 17 |
| Figura 6 - Curva de fadiga por tensão combinada para flexão reversa combinada com tensão estática..... | 18 |
| Figura 7 - Modelos de chavetas paralelas | 21 |
| Figura 8 - Fluxograma do processo de cálculo | 25 |
| Figura 9 - Tela Inicial do projeto | 26 |
| Figura 10 - Dados iniciais do projeto | 27 |
| Figura 11 - Dados sobre as Engrenagens Utilizadas..... | 28 |
| Figura 12 - Disposição do primeiro e último eixo do sistema | 29 |
| Figura 13 - Disposição dos eixos intermediários..... | 30 |
| Figura 14 - Tela para cálculo do diâmetro dos eixos do sistema..... | 31 |
| Figura 15 - Tela para cálculo das chavetas | 32 |
| Figura 16 - Resumo do Projeto | 33 |
| Figura 17 - Tela do relatório final..... | 34 |
| Figura 18 - Tela Inicial do Programa Preenchida | 38 |
| Figura 19- Tela Dados das Engrenagens com as informações preenchidas | 38 |
| Figura 21 - Tela Disposição dos eixos com as dimensões do eixo 2 preenchidas..... | 39 |
| Figura 22 - Tela Disposição dos eixos com as dimensões do eixo 3 preenchidas..... | 40 |
| Figura 23 - Tela cálculo dos eixos preenchidas com as informações do eixo 1 | 40 |
| Figura 24 - Tela cálculo dos eixos preenchidas com as informações do eixo 2..... | 41 |
| Figura 25 - Tela cálculo dos eixos preenchidas com as informações do eixo 3 | 41 |
| Figura 26 - Tela cálculo da chaveta preenchidas com as informações do sistema | 42 |
| Figura 27 - Tela cálculo da chaveta 3 preenchidas com as informações do sistema | 42 |
| Figura 28 - Tela cálculo da chaveta 3 preenchidas com as informações do sistema | 43 |
| Figura 29 - Tela de Resumo do Projeto | 43 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Número de eixos e parâmetros de saída do sistema de transmissão | 35 |
| Tabela 2 – Comprimentos dos eixos utilizados no sistema de transmissão..... | 35 |
| Tabela 3 – Comprimentos dos eixos utilizados no sistema de transmissão | 35 |
| Tabela 4 – Dados referentes ao eixo número 1 | 36 |
| Tabela 4 – Dados referentes ao eixo número 2 | 36 |
| Tabela 4 – Dados referentes ao eixo número 3 | 36 |
| Tabela 7 – Dados referentes aos materiais das chavetas utilizadas | 36 |
| Tabela 8 – Dados referentes ao número de dentes das engrenagens | 37 |
| Tabela 9 – Diâmetro dos eixos calculados a partir do cálculo analítico | 37 |
| Tabela 10 – Altura das chavetas calculadas a partir do cálculo analítico | 37 |
| Tabela 11 – Comparação entre valores do cálculo analítico e do programa desenvolvido | 45 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|---|
| CAD/CAM | Computer Aided Design/ Computer Aided Manufacturing |
| ASME | American Society of Mechanical Engineers |
| ANSI | American National Standards Institute |
| ISO | International Organization for Standardization |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 | OBJETIVO GERAL..... | 11 |
| 1.2 | OBJETIVO ESPECÍFICO | 12 |
| 1.2.1 | Estrutura do Trabalho..... | 12 |
| 2 | REVISÃO..... | 13 |
| 2.1 | SISTEMAS DE TRANSMISSÃO DE POTÊNCIA | 13 |
| 2.2 | REDUTORES DE VELOCIDADE..... | 13 |
| 2.3 | ENGRENAGENS..... | 14 |
| 2.3.1 | Engrenagens cilíndricas | 15 |
| 2.3.2 | Engrenagens cônicas | 15 |
| 2.3.3 | Engrenagens coroa sem-fim..... | 16 |
| 2.4 | EIXOS..... | 17 |
| 2.5 | CHAVETAS..... | 20 |
| 3 | METODOLOGIA | 23 |
| 3.1 | VISUAL BASIC FOR APPLICATION | 23 |
| 3.2 | SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES | 23 |
| 3.3 | PROGRAMA DE CÁLCULO DE EIXOS E CHAVETAS | 24 |
| 3.3.1 | Tela Inicial..... | 25 |
| 3.3.2 | Dados iniciais de Projeto..... | 26 |
| 3.3.3 | Dados sobre as Engrenagens Utilizadas | 27 |
| 3.3.4 | Disposição dos Eixos..... | 29 |
| 3.3.5 | Cálculo dos Eixos..... | 30 |
| 3.3.6 | Cálculo das Chavetas | 32 |
| 3.3.7 | Resumo do Projeto | 33 |
| 3.3.8 | Relatório | 34 |
| 4 | RESULTADOS..... | 35 |
| 5 | CONCLUSÕES | 45 |
| 5.1 | SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS..... | 46 |
| | REFERÊNCIAS | 47 |

1 INTRODUÇÃO

Um mecanismo, segundo Mabie (1967), é a combinação de rígidos ou resistentes corpos então formados e conectados de tal forma que eles movam uma vez após o outro com movimentos relativos definidos. Logo uma máquina pode ser definida como um mecanismo ou coleção de mecanismos os quais transmitem força de uma fonte energética para vencer a resistência. Entre os mecanismos existentes pode-se destacar os redutores e multiplicadores de velocidade.

Neste sentido, através da história diversas máquinas e seus componentes tiveram que ser desenvolvidos para suprir as necessidades diárias do homem. Entre essas máquinas destaca-se os redutores e multiplicadores de velocidades e seus componentes como eixos, chavetas, engrenagens.

Redutores e multiplicadores de velocidades são dispositivos mecânicos cuja função é alterar os parâmetros de saída de um sistema dada uma condição inicial, isto é, reduzindo ou multiplicando a velocidade de entrada para que a velocidade de saída satisfaça a necessidade do sistema. Existem diversos tipos de redutores de velocidade constituídos de uma gama de elementos mecânicos, como engrenagens, correias e correntes. Sendo os mais comuns constituídos de engrenagens que podem ser cilíndricas ou cônicas, ou ainda constituídas de um sistema coroa e rosca-sem-fim.

Devido à complexidade do projeto de um redutor, o tempo necessário para dimensionamento de cada elemento pode-se estender a dias considerando o cálculo dos componentes e o desenho mecânicos dos mesmos. Para reduzir esse tempo utiliza-se alguns softwares auxiliares, como os de sistema CAD/CAM, que possibilitam alterar as variáveis de projeto e analisar rapidamente a influência de tais mudanças no resultado final do projeto.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é a criação de uma interface amigável ao usuário que o permita calcular os elementos de um sistema de transmissão por engrenagens, tais como engrenagens, eixos e chavetas.

1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Possibilitar o usuário realizar o cálculo dos elementos de projeto mecânico de sistemas de transmissão por engrenagens cilíndricas.

Somado a esse fato, esse trabalho também propõe a criação de um relatório dimensional com todas as considerações feitas pelo usuário e todas as etapas de cálculo realizadas.

1.2.1 Estrutura do Trabalho

No capítulo 2 serão explorados os aspectos teóricos em relação ao projeto de um sistema de transmissão por engrenagens, isto é, será descrito quais são os elementos principais de um sistema de transmissão.

No capítulo 3 será explorado o modelo desenvolvido para o cálculo do sistema de transmissão, assim como o método de programação e as considerações acerca do problema.

A seguir, no capítulo 4, será realizada uma comparação entre um cálculo analítico de um sistema de transmissão e o resultado obtido através da aplicação desenvolvida.

Por fim, no capítulo 5 serão apresentadas conclusões deste trabalho.

2 REVISÃO

Neste capítulo serão evidenciados as definições dos elementos de máquinas utilizados em um sistema de transmissão de potência e uma teoria básica utilizada no processo de desenvolvimento da aplicação.

2.1 SISTEMAS DE TRANSMISSÃO DE POTÊNCIA

Sistemas de transmissão de potência são grupos mecânicos cuja função é transmitir velocidade (rotação) entre uma fonte e uma saída. São comumente utilizados quando é necessário alterar os parâmetros de saída de um sistema para um fim específico, como por exemplo a elevação de uma carga.

Os sistemas de transmissão de potência são classificados conforme o elemento mecânico utilizado para transmissão de velocidade:

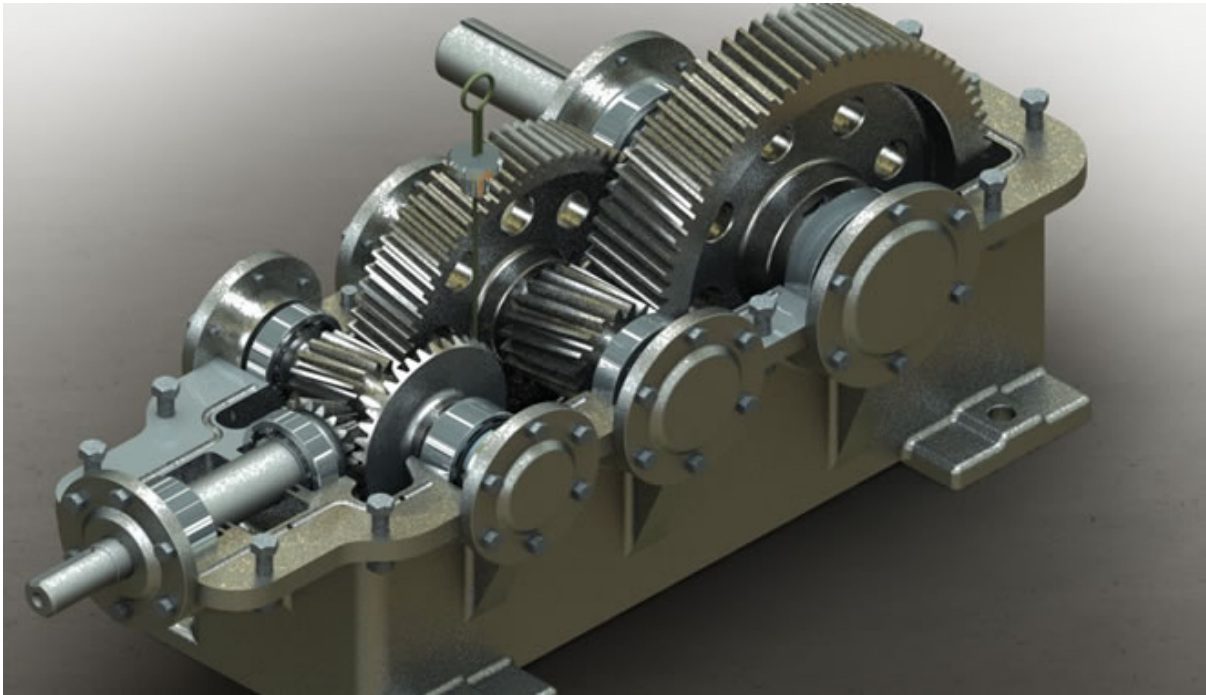
- Sistema de transmissão por engrenagens;
- Sistema de transmissão por correias;
- Sistemas de transmissão por correntes.

2.2 REDUTORES DE VELOCIDADE

Redutores de velocidade podem ser definidos como um dispositivo mecânico cuja função é reduzir a velocidade (rotação) de um acionador. São utilizados quando é necessário alterar os parâmetros de saída (torque e rotação) de um sistema para um fim específico. O aumento do torque transmitido é resultado das combinações entre os números de dentes das engrenagens utilizados no interior do redutor. Os redutores são utilizados em uma vasta gama de aplicações desde as de baixa potência como em um sistema de elevação de carga a aplicações de alta potência como utilizado nas esteiras transportadoras no setor de mineração.

Para transmissão de baixas potências são comumente utilizado engrenagens cilíndricas de dentes retos ou helicoidais, engrenagens cônicas e os do tipo coroa sem-fim. Conforme o aumento da potência transferida é utilizado engrenagens do tipo bi helicoidal.

Figura 1- Redutor de Velocidade



Fonte: Indústria Hoje, (2013).

2.3 ENGRENAGENS

Segundo Norton (2004, p. 681) Engrenagens são elementos de máquinas utilizados para transmitir torque e velocidade angular em uma ampla variedade de aplicações. As engrenagens podem ser fabricadas utilizando uma ampla gama como materiais ferrosos, não-ferrosos ou polímeros e através dos mais diversos processos de fabricação como usinagem, fundição, extrusão. São elementos mecânicos que operam sempre em pares sendo a engrenagem menor chamada de pinhão e a maior chamada de coroa.

As engrenagens podem ser classificadas quanto a geometria:



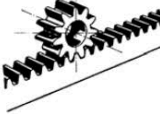

- Engrenagens cilíndricas;
- Engrenagens cônicas;
- Engrenagens Sem-Fim;

2.3.1 Engrenagens cilíndricas

Engrenagens cilíndricas possuem esse nome devido a sua forma se assemelhar a um cilindro. Utilizado na transmissão entre eixos paralelos, podendo ou não haver variação de torque e rotação entre eixos, e em sistemas planetários (NORTON 2004).

As engrenagens cilíndricas são subdivididas (Figura 2):

Figura 2- Engrenagens cilíndricas

| Designação | Desenho | Posição do Eixo | Rendimento |
|--------------------|---|-----------------|---|
| Dentes Retos |  | Paralelos | Alto Rendimento 95-99% |
| Dentes Helicoidais |  | | |
| Cremalheira |  | | |
| Dentes Helicoidais |  | Cruzados | Próximo das engrenagens cilíndricas helicoidais |

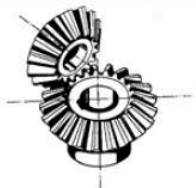


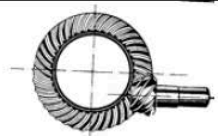
Fonte: Stipkovic Filho (1983).

2.3.2 Engrenagens cônicas

Engrenagens cônicas possuem esse nome, pois são cortadas em cones que são acoplados em eixos não paralelos. O ângulo entre eixos pode assumir qualquer valor, contudo são comumente utilizados em eixos com ângulos de 90° (NORTON 2004).

As engrenagens cônicas são subdivididas (Figura 3):

Figura 3 - Engrenagens cônicas

| Designação | Desenho | Posição do Eixo | Rendimento |
|-------------------|---|------------------------------|--|
| Dentes Retos |  | Cruzados | Próximo das engrenagens cilíndricas helicoidais (principalmente para dentes espirais ou hipoidais) |
| Dentes Inclinados |  | | |
| Dentes Espirais |  | | |
| Dentes Hipoidais |  | Reversos ou com deslocamento | |

Fonte: Stipkovic Filho (1983).

2.3.3 Engrenagens coroa sem-fim

Segundo Norton (2004, p. 768) um engrenamento sem-fim consiste em um sem-fim e uma engrenagem sem-fim (também chamada de roda sem-fim, ou coroa). Eles conectam eixos não paralelos, sem interseção, normalmente em ângulos retos entre eles. O sem-fim é, na realidade, uma engrenagem helicoidal com um ângulo de hélice tão grande que um único dente se envolve continuamente ao redor de sua circunferência.

Figura 4 - Engrenamento coroa-sem-fim

| Designação | Desenho | Posição do Eixo | Rendimento |
|----------------------------|---|-----------------|------------------------------|
| Engrenagem coroa / sem fim |  | Cruzados | Baixos rendimentos 45-95% |

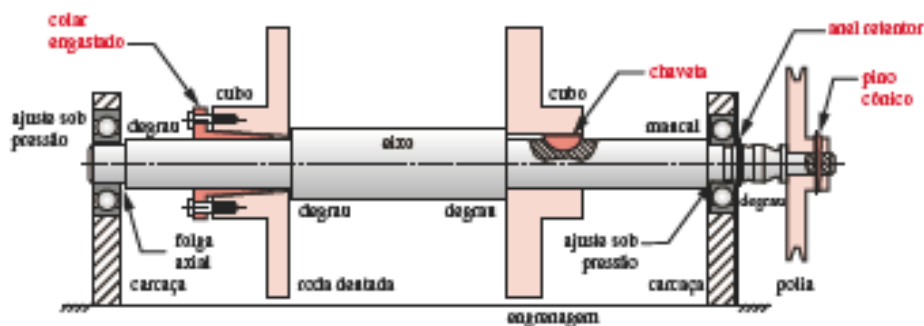
Fonte: Stipkovic Filho (1983).

2.4 EIXOS

Segundo Shigley (2005, p; 864), eixo é um membro rotativo de secção transversal circular, utilizado para transmitir potência ou movimento. Ele provê a linha de centro de rotação, ou oscilação, de elementos como engrenagens, polias, volantes, manivelas, rodas dentadas e similares, bem como controla a geometria de seus movimentos.

Os eixos podem ser classificados em eixos fixos, que membros não rotativos que transmitem torque e estão sujeitos somente a esforços de flexão, e eixos-árvores que são elementos rotativos que transmitem torque e estão sujeitos a esforços de flexão e torção.

Figura 5 - Eixo árvore com vários tipos de elementos mecânicos fixados



Fonte: Norton (2004)

A *American Society of Mechanical Engineers* (ASME) define uma norma para Projeto de Eixo de Transmissão (1985) que será utilizada neste trabalho. Segundo Norton (2004, p. 556), o procedimento pressupõe que o carregamento é constituído de flexão alternada

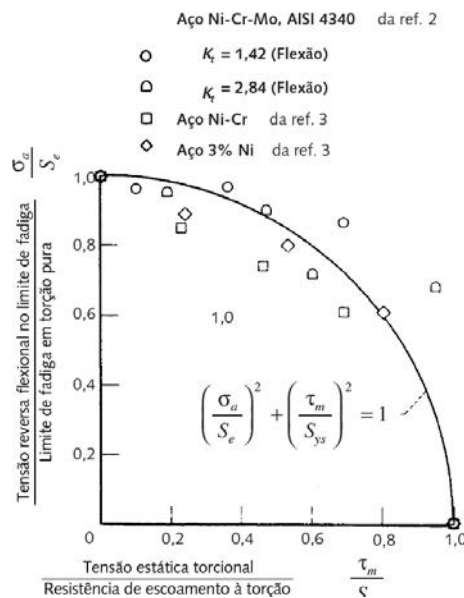
(componente de flexão média nula) e torque fixo (componente alternada nula no torque) em um nível que cria tensões abaixo da resistência ao escoamento de torção material.

A figura 6 representa a curva para diversos materiais da relação entre tensão reversa flexional dividida pelo limite em fadiga em torção pura por tensão estática rotacional dividida pela resistência de escoamento a torção. Cada ponto representa a combinação dos dois esforços atuando cada amostra testada.

Através da figura 6 pode-se definir essa relação em:

$$\left(\frac{\sigma_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{\tau_m}{S_{ys}}\right)^2 = 1 \quad (1)$$

Figura 6 - Curva de fadiga por tensão combinada para flexão reversa combinada com tensão estática



Fonte: Norton (2004)

A tensão alternada atuante no eixo pode ser calculada através da equação:

$$\sigma_a = K_f \frac{M_a c}{I} \quad (2)$$

Na equação 2, K_f representa um fator de concentração de tensão de fadiga, M_a o torque alternado no eixo, c a distância do centro do eixo até a extremidade e o I o momento de inércia do eixo.

Sendo:

$$c = \frac{d}{2} \quad (3)$$

e

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \quad (4)$$

tem-se

$$\sigma_a = K_f \frac{32M_a}{\pi d^3} \quad (5)$$

A tensão torcional atuante no eixo pode ser calculada através da equação:

$$\tau_a = K_{fs} \frac{T_a r}{J} \quad (6)$$

onde K_f é um fator de concentração de tensão, M_a o torque alternado no eixo, c a distância do centro do eixo até a extremidade e o I o momento de inércia do eixo.

Sendo

$$r = \frac{d}{2} \quad (7)$$

e

$$J = \frac{\pi d^4}{32} \quad (8)$$

têm-se

$$\tau_a = K_{fs} \frac{16T_a}{\pi d^3} \quad (9)$$

Utilizando um fator de segurança N_f na equação 1 tem-se

$$\left(N_f \frac{\sigma_a}{S_e}\right)^2 + \left(N_f \frac{\tau_m}{S_{ys}}\right)^2 = 1 \quad (10)$$

Utilizando a relação de Von Mises para S_y :

$$S_{ys} = \frac{S_y}{\sqrt{3}} \quad (11)$$

Logo:

$$\left(N_f \frac{\sigma_a}{S_e}\right)^2 + \left(\sqrt{3}N_f \frac{\tau_m}{S_y}\right)^2 = 1 \quad (12)$$

Substituindo os valores da equação 5 e 9 na equação 12:

$$d = \left\{ \frac{32N_f}{\pi} \left[\left(K_f \frac{M_a}{S_f}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(K_{fsm} \frac{T_m}{S_y}\right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (12)$$

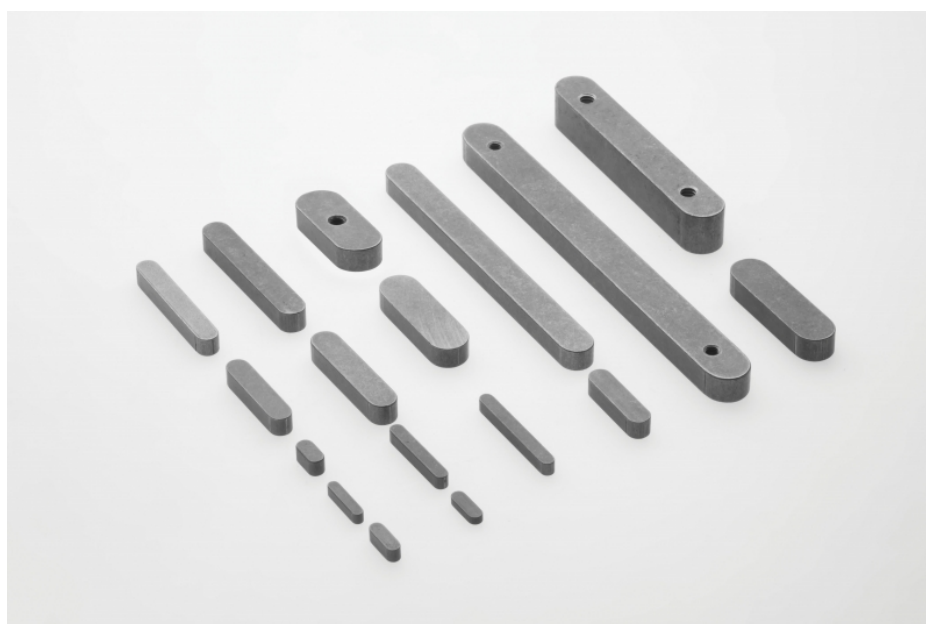
A equação 12 fornece o valor do diâmetro de um eixo sujeito a tensão flexional e torcional considerando os fatores de concentração.

2.5 CHAVETAS

A *ASME* define chaveta como uma parte de maquinaria desmontável que, quando colocada em assentos, representa um meio positivo de transmitir torque entre o eixo e o cubo. As chavetas são padronizadas por tamanho e por forma sendo classificadas em paralelas, cônicas e transversais.

Chaveta paralelas são as mais utilizadas nos eixos, o tamanho de sua seção transversal e profundidades de assentos são padronizadas pela ANSI e ISO e possuem seção transversal de quadrada ou retangular com largura constante ao longo de seu comprimento. Chavetas Cônicas possuem largura constante e altura variável afunilando ao longo do seu comprimento, podem possuir ou não uma cabeça em forma de quilha para uma melhor montagem e retirada. Chavetas Woodruff possuem formato de meia-lua e são utilizadas em eixos menores. Possuem a características de serem auto-alinhantes devido a isto mais utilizadas em eixos afuniladores. Pode-se observar na figura abaixo um exemplo dos três modelos de chavetas:

Figura 7 - Modelos de chavetas paralelas



Fonte: Qualitrans (2015)

Os modos de falhas de uma chaveta são a falha por cisalhamento, quando a chaveta é cisalhada ao longo de sua largura na interface eixo-cubo, e esmagamento, quando ocorre o esmagamento de qualquer lado por compressão.

A falha por cisalhamento é calculada através da equação

$$\tau_{xy} = \frac{F}{A_{cis}} \quad (13)$$

Onde τ_{xy} é a tensão de cisalhamento, F a força transmitida pelo eixo; A a área cisalhante.

A área cisalhante é definida por:

$$A_{cis} = lc \quad (14)$$

Onde l é a largura da chaveta; c o comprimento.

Substituindo os valores da equação 14 na equação 13, têm-se:

$$\tau_{xy} = \frac{F}{lc} \quad (15)$$

A equação 15 nos dá o valor de tensão cisalhante na chaveta a partir do valor da força atuante e os valores de largura e comprimento da mesma.

A falha por esmagamento é através da equação

$$\sigma_x = \frac{F}{A_{esm}} \quad (16)$$

Onde: T_{xy} é a tensão de cisalhamento, F a força transmitida pelo eixo; A a área cisalhante.

A área cisalhante é definida por:

$$A_{cis} = lh \quad (17)$$

Onde: l é a largura da chaveta h a altura.

Substituindo os valores da equação 17 na equação 16, têm-se:

$$\sigma_x = \frac{F}{lh} \quad (18)$$

A equação 18 nos dá o valor de tensão de esmagamento na chaveta a partir do valor da força atuante e os valores de largura e altura da mesma.

3 METODOLOGIA

O objetivo deste capítulo é descrever de uma maneira sucinta a metodologia aplicada à criação de programa de cálculo de eixos e chavetas apresentando a linguagem de programação utilizada e a sequência de passos para a utilização do programa.

3.1 VISUAL BASIC FOR APPLICATION

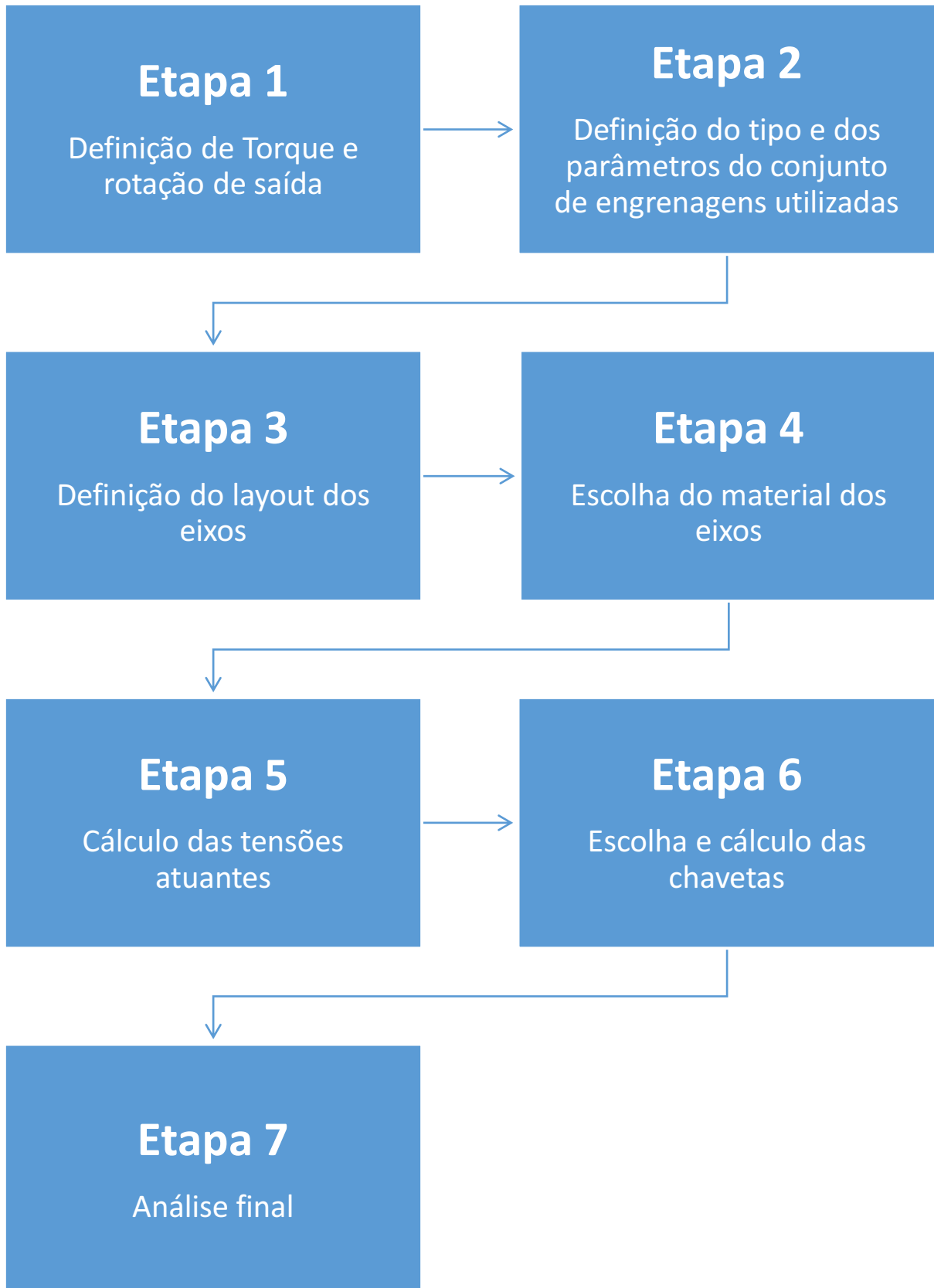
O VBA, *Virtual Basic Application* é uma implementação da linguagem de programação *Virtual Basic* utilizada em todos softwares do *Microsoft Office* e incorporada em diversos softwares como o *Audestk Autocad*, *Mathcad*, *SolidWorks*. Presente em mais de 70 milhões de computadores em diversas versões, o VBA oferece ao programador a criação de aplicações, isto é, lógicas operacionais com uma interface amigável ao usuário.

A escolha do VBA como linguagem de programação a ser utilizada deu-se por gerar uma aplicação que não requer que o computador utilizado possua alta capacidade de processamento e que possa ser facilmente editável para futuras atualizações e implementações que o usuário desejar.

3.2 SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES

Na literatura acadêmica não há uma sequência de operações pré-definidas para o projeto de um sistema de transmissão por engrenagens. Tal fato ocorre porque as variáveis envolvidas no projeto são interdependentes, isto é, uma modificação em um parâmetro do projeto modificará todo o resultado deste mesmo projeto. Contudo pode-se definir um fluxo lógico que melhor se adequa ao projeto de um sistema de transmissão.

Figura 8 – Fluxograma do processo de cálculo



Fonte: Autor

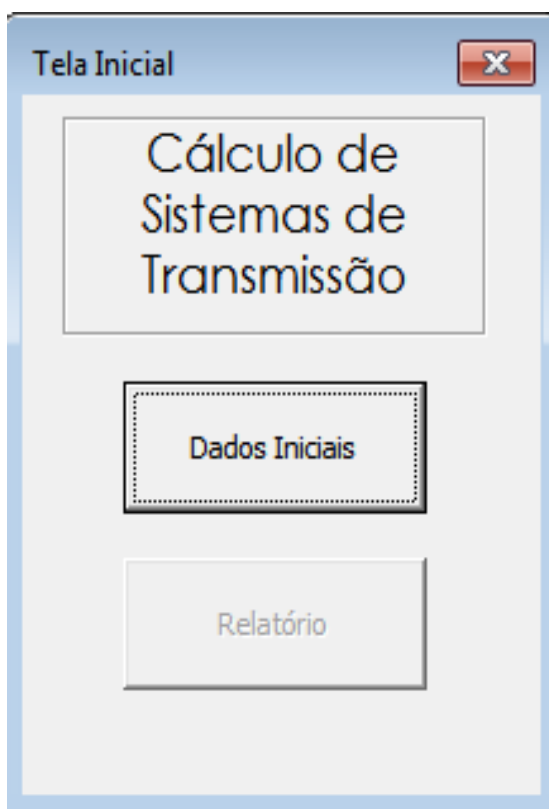
3.3 PROGRAMA DE CÁLCULO DE EIXOS E CHAVETAS

O programa de cálculo de eixos e chavetas apresenta 8 telas disponíveis para o usuário.

3.3.1 Tela Inicial

A tela inicial do programa (Figura 9) apresenta dois botões acessíveis ao usuário: “Dados Iniciais” e “Relatório”. O botão relatório é somente disponibilizado ao usuário no momento em que todos os elementos de projeto foram calculados para que seja produzido um relatório dimensional do projeto. Este relatório irá apresentar os parâmetros do sistema definidos pelo usuário e todas as variáveis calculadas de projeto.

Figura 9 - Tela Inicial do Programa



Fonte: Autor

3.3.2 Dados iniciais de Projeto

A tela “Dados Iniciais de Projeto” (Figura 10) possibilita ao usuário a escolha dos parâmetros de saída e entrada do sistema de transmissão, e classifica o tipo de sistema conforme a relação entre entrada e saída em um sistema redutor ou multiplicador de velocidade.

O campo número de eixos do sistema foi definido para um intervalo que varia entre 2 e 4 eixos. O campo de rotação de saída e torque de saída não possuem qualquer limitação de valores sendo definidos pelo projetista em questão.

Os dados referentes a escolha do motor foram obtidos do catálogo de Siemens (2010). O usuário possui a opção entre 4 valores de rotação: 900, 1200, 1800 e 3600 rpm, o valor da potência dos motores que variam entre um valor mínimo de 0.13 kW para uma rotação de 900 rpm até um valor máximo de 220 kW para uma rotação de 3600 rpm.

Ao definir a potência do motor, o valor do torque de entrada e a quantidade de polos do motor é definida automaticamente através dos dados disponíveis no catálogo de motores de Siemens (2010). O sistema é, ainda, classificado entre multiplicador e redutor de velocidade conforme a relação entre rotação de entrada e rotação de saída.

Figura 10 - Dados Iniciais de Projeto

A interface gráfica da janela "Dados Iniciais de Projeto" apresenta os seguintes elementos:

- Dados do Sistema:**
 - Número de Eixos: 3 (Adm)
 - Rotação de Saída: 200 (rpm)
 - Torque de Saída: 20 (N.m)
- Escolha do Motor:**
 - Rotação: 1200 (rpm)
 - Potência: 1.1 (kW)
 - Torque: 9.3195 (N.m)
 - Número de Pólos: 6 (Adm)
- Sistema:**
 - Redutor
 - Multiplicador
- Botões de ação: "Retornar" e "Próxima etapa".

Fonte: Autor

3.3.3 Dados sobre as Engrenagens Utilizadas

Nesta etapa do processo é disponibilizado ao usuário a opção de definir quais serão os parâmetros das engrenagens utilizadas no sistema de transmissão, o número de dentes de cada engrenagem mostrada na figura esquemática do sistema de transmissão disponível na tela (Figura 11).

É necessário admitir um valor inicial para a largura das engrenagens e o diâmetro mínimo que o eixo calculado deverá possuir.

Os parâmetros disponíveis ao usuário nesta tela são:

- Módulo das engrenagens: disponíveis num intervalo que varia de um mínimo de 0.3 até um máximo 25;
- Fonte de Potência e Máquina Acionada: o usuário deve considerar qual a característica da fonte de potência e da máquina acionada se há variação nas cargas dinâmicas de saída. Como este redutor é projetado utilizado um motor elétrico o fato de potência é sempre uniforme variando somente para o tipo máquina acionada;
- Confiabilidade: Disponível ao usuário nos valores de 0,5, 0,9, 0,99, 0,999 e 0,9999;
- Material Pinhão e Material Coroa: O usuário deve escolher qual será o material do par de engrenagens utilizadas no sistema de transmissão. As opções disponíveis são: aço, ferro maleável, ferro nodular, ferro fundido, alumínio-bronze, estanho-bronze.
- Ângulo de pressão: O usuário possui a opção de definir qual será o ângulo de pressão das engrenagens do sistema de transmissão. Recomenda-se um valor entre 14,5 e 20 graus.

Figura 8 - Dados sobre as Engrenagens Utilizadas

Dados das Engrenagens Utilizadas

Dados Sobre as Engrenagens Utilizadas

Parâmetros

Módulo das Engrenagens: 2

Fonte de Potência: Uniforme

Máquina Acionada: Uniforme

Confiabilidade: 0.999

Material Pinhão: Aço

Material Coroa: Aço

Ângulo de Pressão: 18 °

Número de Dentes

Engrenagem 1: 20

Engrenagem 2: 40

Engrenagem 3: 15

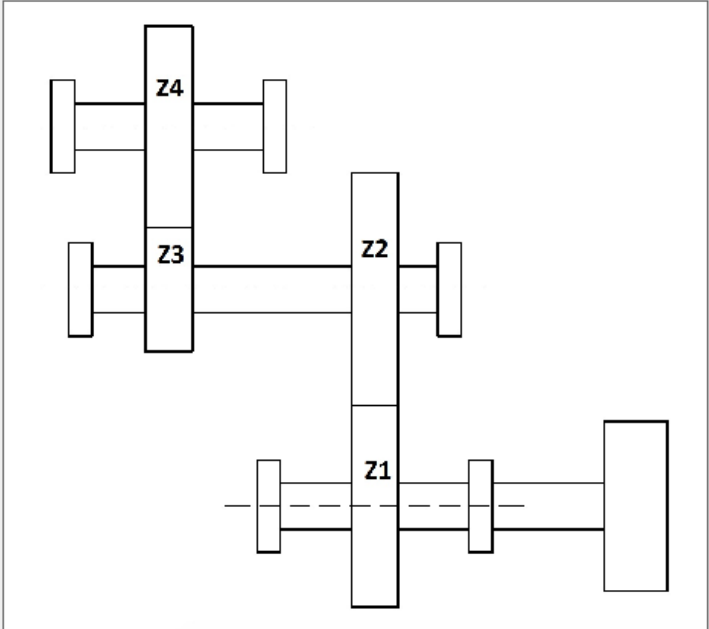
Engrenagem 4: 45

Dimensões Iniciais

Diâmetro Mínimo: 20 mm

Largura da Engrenagem: 30 mm

Próxima etapa Retornar



Fonte: Autor

Após isso o usuário deve definir o número de dentes das engrenagens utilizadas no sistema de transmissão. O número de engrenagens disponíveis é definido conforme o número de eixos escolhidos na tela de *Dados iniciais de projeto* sendo 1 par para 2 eixos, 2 pares para 3 eixos e 3 para 4 eixos no sistema.

O usuário ainda deve definir qual será o diâmetro mínimo do eixo em que as engrenagens estarão acopladas e a largura mínima das engrenagens.

Ao clicar em próxima etapa o programa irá calcular a relação de transmissão entre cada eixo e a total do sistema, a rotação, torque e potência em cada eixo.

3.3.4 Disposição dos Eixos

Nesta tela o usuário deve definir quais as posições dos componentes no eixo definindo a distância dos mancais até o centro da engrenagem acoplada no eixo.

A figura 12 mostra a disposição dos elementos para o primeiro e último eixo do sistema. Neste tipo de disposição os mancais são posicionados na extremidade do eixo e devem ser definidos a distância entre o centro do mancal e o centro da engrenagem acoplada.

Figura 9 - Disposição do primeiro e último eixo do sistema

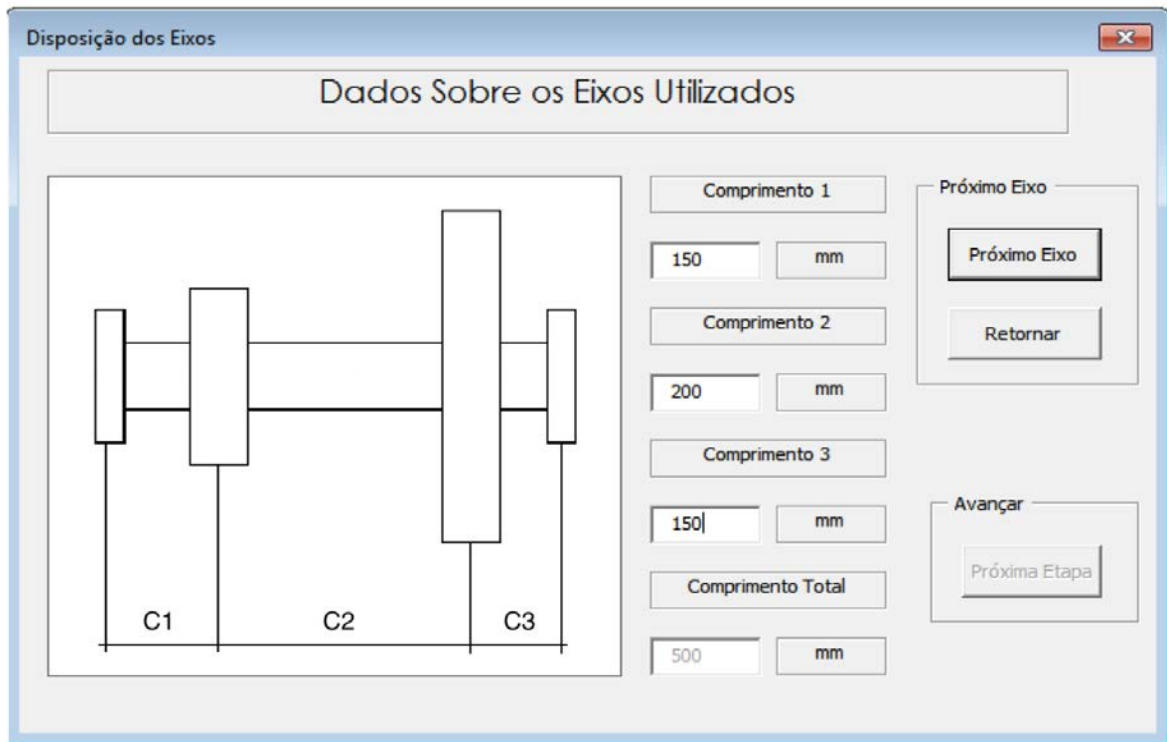
The screenshot shows a software window titled "Disposição dos Eixos" with a sub-header "Dados Sobre os Eixos Utilizados". On the left, a schematic diagram shows a central axle with two bearings labeled "C1" and "C2" at its ends. To the right of the diagram are several input fields and buttons:

- "Comprimento 1" with a value of 200 mm.
- "Comprimento 2" with a value of 200 mm.
- "Comprimento 3" with an empty field and "mm" unit.
- "Comprimento Total" with a value of 400 mm.
- A "Próximo Eixo" section containing a "Próximo Eixo" button and a "Retornar" button.
- An "Avançar" section containing a "Próxima Etapa" button.

Fonte: Autor

A figura 13 mostra a disposição dos elementos para o eixo intermediário para sistemas com 3 e 4 eixos. Nesta disposição os mancais estão posicionados na extremidade do eixo e o usuário deve definir a distância entre o eixo e o centro da primeira engrenagem, a distância de centro entre as engrenagens acopladas e a distância entre a segunda engrenagem até o segundo mancal.

Figura 10 - Disposição dos eixos intermediários



Fonte: Autor

Ao clicar em próxima etapa o programa irá calcular o momento fletor em cada eixo do sistema.

3.3.5 Cálculo dos Eixos

Nesta etapa do cálculo é definido o material utilizado para o eixo a ser calculado e seus fatores de concentração de tensão, além do fator de segurança utilizado no projeto deste eixo em questão.

O fator de segurança para o eixo foi limitado a uma faixa que varia de 2 até 5 conforme critério do projetista. Os dados referentes aos materiais disponíveis no programa foram obtidos a partir de uma consulta ao manual da Gerdau Aços Finos Piratini (2013).

Os fatores de concentração de tensão disponíveis nesta tela:

- Fator de acabamento: Se o eixo será retificado ou usinado;
- Fator de confiabilidade: Disponível os valores de 90%, 95%, 99% e 99%. Neste caso quanto maior for a confiabilidade do eixo menor será o valor do fator.

- Fator de temperatura: Se o eixo trabalhará numa temperatura inferior a 450 ou entre 450 e 550 graus.

O fator de tamanho é estimado baseado no diâmetro inicial do eixo inserido na tela *Dados das Engrenagens Utilizados* e o fator geométrico de concentração de tensão é admitido o valor 1. O objetivo dessa programação é estimar o valor inicial de um eixo devido a isto considera-se que o diâmetro do eixo é constante por todo seu comprimento.

Após pressionar o botão de calcular o programa calculará a tensão de fadiga corrigida, o diâmetro do eixo e a tensão atuante no eixo (Figura 14).

Figura 11 - Tela para cálculo do diâmetro dos eixos do sistema

The screenshot displays the 'Cálculo dos Eixos' software interface. The window title is 'Cálculo dos Eixos'. The interface is organized into several sections:

- Eixo N°:** A text box containing the number '1'.
- Momento Fletor e Torque Máximo:** Two rows of input fields. The first row shows 'Torque no Eixo' with the value '21,88' and units 'N.m'. The second row shows 'Momento Máximo' with the value '93,12' and units 'N.m'.
- Fator de Segurança:** A dropdown menu set to 'Usual de 2 a 5' and a text box containing the value '3'.
- Buttons:** A 'Calcular' button and two 'Próximo' buttons ('Próximo Eixo' and 'Próxima Etapa').
- Fatores de Fadiga:**
 - Material Disponível:** A dropdown menu set to '1060 - Normalizado'.
 - Tensões:** 'Tensão de Ruptura' (775 MPa) and 'Tensão de Escoamento' (420 MPa).
 - Fatores de Correção:**
 - Fator de Acabamento:** Radio buttons for 'Retificado' and 'Usinado' (selected).
 - Confabilidade:** Radio buttons for '90%', '95%' (selected), '99%', and '99,9%'.
 - Temperatura de Opeção:** Radio buttons for 'T < 450°C' (selected) and '450°C < T < 550°C'.
- Diâmetro:**
 - O diâmetro mínimo para o eixo deve ser de:** A text box with '30,69' and units 'mm'.
 - No ponto:** A text box with '300' and units 'mm'.
- Tensões Atuantes:**
 - σ_a : A text box with '32,81' and units 'MPa'.
 - σ_m : A text box with '98,8' and units 'MPa'.
- Diagram:** A schematic drawing of an axle with a central section highlighted by a dashed line.

Fonte: Autor

3.3.6 Cálculo das Chavetas

O cálculo da chaveta é a última etapa de cálculo do projeto de um sistema de transmissão. Para facilitá-los, o programa utilizará somente chavetas planas de seção reta quadrada, desta forma a altura será igual à largura da chaveta e o comprimento total da mesma será considerado igual à largura da engrenagem definida na etapa 3 deste programa.

Nesta etapa o usuário deve definir qual será o material utilizado na chaveta e o fator de segurança utilizado. Recomenda-se um fator de segurança de 1,5 para sistema que possui torque uniforme e 2,5 para um sistema que o torque apresenta variações conforme o tempo.

A tela (Figura 15) apresenta os parâmetros já calculados do eixo nas etapas anteriores como o torque transmitido pelo eixo, o valor do diâmetro calculado na etapa anterior e a largura da engrenagem definida na etapa 3 deste programa.

Figura 12 - Tela para cálculo das chavetas

The screenshot shows a software window titled "Cálculo das Chavetas" with a close button in the top right corner. The window contains a form with the following sections and data:

- Dados Sobre as Chavetas**
 - Eixo Nº: 2
 - Buttons: Calcular, Avançar, Próximo Eixo
- Parâmetros do Eixo**
 - Torque no Eixo: 6.67 N.m
 - Diâmetro do Eixo: 37.55 mm
 - Largura da Eng.: 30 mm
- Material da Chaveta**
 - Material: 4320 - Recozido
 - Tensão de Ruptura: 580 MPa
 - Tensão de Escoamento: 430 MPa
- Fator de Segurança**
 - Usual de 1,5 a 2,5
 - Input: 1,5
- Altura**
 - A altura da chaveta será de:
 - Input: 5.57 mm

Fonte: Autor

3.3.7 Resumo do Projeto

Após todas as etapas de cálculo finalizadas a tela *Resumo do Projeto* (Figura 16) é mostrada ao usuário. Esta tela contém um resumo de todos os parâmetros definidos e calculados do projeto do sistema de transmissão como a relação de transmissão, rotação, torque e potência dos eixos; os parâmetros das engrenagens, módulo, ângulo de pressão, largura e número de dentes.

Está disponível, também, os dados referentes aos eixos como material, tensão de escoamento, tensão de fadiga corrigida, fator de segurança e o diâmetro. Além do material das chavetas e a altura mínima da mesma.

Figura 13 - Resumo do Projeto

The screenshot displays a software window titled 'UserForm1' with a close button (X) in the top right corner. The interface is organized into several panels, each containing input fields, calculated values, and units. A 'Finalizar' button is located at the bottom left.

| Relação de Transmissão | | Rotação | | Eixo 1 | | Eixo 2 | |
|------------------------|-----------|---------------|----------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|
| Relação 1 | 2,4 | Eixo 1 | 1200 rpm | Material | 1060 - Normalizado | Material | 4140 - Normalizado |
| Relação 2 | 3,33 | Eixo 2 | 500 rpm | T. Esc. | 420 MPa | T. Esc. | 655 MPa |
| Relação 3 | 0 | Eixo 3 | 150 rpm | T. Corrigida | 98,8 MPa | T. Corrigida | 139,14 MPa |
| R. Total | 8 | Eixo 4 | 0 rpm | F de Segurança | 3 | F de Segurança | 2 |
| | | | | Diâmetro | 30,69 mm | Diâmetro | 32,53 mm |
| | | | | Mat. Chaveta | 1020 - Normalizado | Mat. Chaveta | 1020 - Normalizado |
| | | | | L. Chaveta | 4,11 mm | L. Chaveta | 6,37 mm |
| Torque | | Potência | | Eixo 3 | | | |
| Eixo 1 | 21,88 rpm | Eixo 1 | 3,19 kW | Material | 1040 - Laminado | | |
| Eixo 2 | 52,5 rpm | Eixo 2 | 3,09 kW | T. Esc. | 415 MPa | | |
| Eixo 3 | 175 rpm | Eixo 3 | 3 kW | T. Corrigida | 32,11 MPa | | |
| Eixo 4 | 0 rpm | Eixo 4 | 0 kW | F de Segurança | 2 | | |
| | | | | Diâmetro | 52,93 mm | | |
| | | | | Mat. Chaveta | 1020 - Recozido | | |
| | | | | L. Chaveta | 12,58 mm | | |
| Engrenagens | | | | | | | |
| Módulo | 3 | A. de Pressão | 20 ° | | | | |
| Z1 | 25 | Z4 | 80 | | | | |
| Z2 | 60 | Z5 | 0 | | | | |
| Z3 | 24 | Z6 | 0 | | | | |
| Largura | 30 | | | | | | |

Finalizar

Fonte: Autor

3.3.8 Relatório

Após finalizado todo o cálculo do projeto onde é definido a data do projeto, o título, o nome do projetista e se necessário algumas informações que o projetista achar necessário (Figura 17).

Figura 14 - Tela do relatório final

The image shows a software window titled "Relatório" with a close button in the top right corner. The window contains a form for generating a project report. The form has the following fields and values:

- Relatório do Projeto** (Section Header)
- Data**: 10/09/2017
- Título do Projeto**: Sistema de Elevação de Carga
- Nome do Projetista**: Raphael Augusto de Oliveira Santos
- Informação Adicional**: Projeto preliminar de um sistema de elevação de carga
- Gerar Relatório** (Button)

Fonte: Autor

4 RESULTADOS

Após a programação executada realizou-se uma comparação entre o cálculo manual e o cálculo realizado através do programa desenvolvido neste trabalho. Os parâmetros do sistema estão mostrados nas tabelas abaixo.

O sistema de transmissão utilizará um motor elétrico para movimentar uma bomba centrífuga. Os parâmetros iniciais do sistema de transmissão são:

Tabela 1 – Número de eixos e parâmetros de saída do sistema de transmissão

| | |
|------------------|---------|
| Número de Eixos | 3 |
| Rotação de Saída | 150 rpm |
| Torque de Saída | 175 N.m |

Fonte: Autor

O comprimento dos eixos utilizados no sistema de transmissão são:

Tabela 2 – Comprimentos dos eixos utilizados no sistema de transmissão

| Eixo | L1 | L2 | L3 |
|------|-----|-----|-----|
| 1 | 300 | 300 | - |
| 2 | 200 | 300 | 200 |
| 3 | 300 | 300 | - |

Fonte: Autor

Os valores referentes ao módulo, ângulo de pressão, largura das engrenagens e diâmetro mínimo do eixo são:

Tabela 3 – Comprimentos dos eixos utilizados no sistema de transmissão

| | |
|-------------------------|-------|
| Módulo das Engrenagens | 3 |
| Ângulo de Pressão | 20° |
| Largura das Engrenagens | 30 mm |
| Diâmetro Mínimo do Eixo | 20 mm |

Fonte: Autor

Nas tabelas 4, 5 e 6 foram definidas as informações referentes ao fator de segurança dos eixos, fatores de concentração de tensão como o de superfície, confiabilidade e temperatura para os eixos 1, 2 e 3 respectivamente.

Tabela 4 – Dados referentes ao eixo número 1

| | |
|--------------------|--------------------|
| Material | 1060 – Normalizado |
| Fator de Segurança | 3 |
| Acabamento | Usinado |
| Confiabilidade | 95% |
| Temperatura | 300° |

Fonte: Autor

Tabela 5 – Dados referentes ao eixo número 2

| | |
|--------------------|--------------------|
| Material | 4140 – Normalizado |
| Fator de Segurança | 2 |
| Acabamento | Usinado |
| Confiabilidade | 99% |
| Temperatura | 300° |

Fonte: Autor

Tabela 6 – Dados referentes ao eixo número 3

| | |
|--------------------|-----------------|
| Material | 1040 - Laminado |
| Fator de Segurança | 2 |
| Acabamento | Usinado |
| Confiabilidade | 99% |
| Temperatura | 300° |

Fonte: Autor

Na tabela 7 encontram-se os materiais definidos para as chavetas utilizadas nos eixos 1, 2 e 3.

Tabela 7 – Dados referentes aos materiais das chavetas utilizadas

| | |
|-----------|--------------------|
| Chaveta 1 | 1020 – Normalizado |
| Chaveta 2 | 1020 – Normalizado |
| Chaveta 3 | 1020 – Normalizado |

Fonte: Autor

Na tabela 8 encontra-se os valores do número de dentes utilizados nas engrenagens do sistema de transmissão:

Tabela 8 – Dados referentes ao número de dentes das engrenagens

| | |
|----|-----------|
| Z1 | 25 dentes |
| Z2 | 60 dentes |
| Z3 | 24 dentes |
| Z4 | 80 dentes |

Fonte: Autor

Nas tabelas abaixo encontram-se os resultados obtidos através do cálculo analítico do sistema do sistema de transmissão:

Tabela 9 – Diâmetro dos eixos calculados a partir do cálculo analítico

| | |
|--------|----------|
| Eixo 1 | 30,93mm |
| Eixo 2 | 32,07 mm |
| Eixo 3 | 36,55 mm |

Fonte: Autor

Tabela 10 – Altura das chavetas calculadas a partir do cálculo analítico

| | |
|-----------|----------|
| Chaveta 1 | 4,11 mm |
| Chaveta 2 | 6,37 mm |
| Chaveta 3 | 11,63 mm |

Fonte: Autor

Nas imagens abaixo encontram-se as telas utilizadas no programa para o cálculo deste sistema de transmissão. A sequência das telas mostradas corresponde as telas do programa desenvolvido

Figura 15 - Tela Inicial do Programa Preenchida

Dados Iniciais de Projeto

Dados do Sistema

| | | |
|------------------|-----|-----|
| Número de Eixos | 3 | Adm |
| Rotação de Saída | 150 | rpm |
| Torque de Saída | 175 | N.m |

Escolha do Motor

| | | |
|-----------------|---------|-----|
| Rotação | 1200 | rpm |
| Potência | 3 | kW |
| Torque | 24,1326 | N.m |
| Número de Pólos | 6 | Adm |

Sistema

Redutor Multiplicador

Retornar Próxima etapa

Fonte: Autor

Na figura 19 encontra-se preenchida a tela *Dados das Engrenagens Utilizadas* com os valores mostrados da tabela 8.

Figura 16- Tela Dados das Engrenagens com as informações preenchidas

Dados das Engrenagens Utilizadas

Dados Sobre as Engrenagens Utilizadas

Parâmetros

| | |
|------------------------|----------|
| Módulo das Engrenagens | 3 |
| Fonte de Potência | Uniforme |
| Máquina Acionada | Uniforme |
| Confabilidade | 0,99 |
| Material Pinhão | Aço |
| Material Coroa | Aço |
| Ângulo de Pressão | 20 ° |

Número de Dentes

| | |
|--------------|----|
| Engrenagem 1 | 25 |
| Engrenagem 2 | 60 |
| Engrenagem 3 | 24 |
| Engrenagem 4 | 80 |

Dimensões Iniciais

| | | |
|-----------------------|----|----|
| Diâmetro Mínimo | 20 | mm |
| Largura da Engrenagem | 30 | mm |

Próxima etapa Retornar

Z4 Z3 Z2 Z1

Fonte: Autor

As figuras 20, 21 e 22 representam a tela *Disposição dos Eixos* com os valores preenchidos referentes a tabela 2.

Figura 20 - Tela *Disposição dos eixos* com as dimensões do eixo 1 preenchidas

Disposição dos Eixos

Dados Sobre os Eixos Utilizados

Comprimento 1: 300 mm

Comprimento 2: 300 mm

Comprimento 3: mm

Comprimento Total: 600 mm

Próximo Eixo: Próximo Eixo, Retornar

Avançar: Próxima Etapa

Fonte: Autor

Figura 17 - Tela *Disposição dos eixos* com as dimensões do eixo 2 preenchidas

Disposição dos Eixos

Dados Sobre os Eixos Utilizados

Comprimento 1: 200 mm

Comprimento 2: 300 mm

Comprimento 3: 200 mm

Comprimento Total: 700 mm

Próximo Eixo: Próximo Eixo, Retornar

Avançar: Próxima Etapa

Fonte: Autor

Figura 18 - Tela Disposição dos eixos com as dimensões do eixo 3 preenchidas

Dados Sobre os Eixos Utilizados

Comprimento 1: 300 mm

Comprimento 2: 300 mm

Comprimento 3: mm

Comprimento Total: 600 mm

Próximo Eixo: Próximo Eixo, Retornar

Avançar: Próxima Etapa

Fonte: Autor

As figuras 23, 24 e 25 representam a tela *Cálculo dos Eixos* com os valores preenchidos referentes a tabela 4, 5 e 6 respectivamente.

Figura 19 - Tela cálculo dos eixos preenchidas com as informações do eixo 1

Cálculo dos Eixos

Eixo Nº: 1

Momento Fletor e Torque Máximo: Torque no Eixo: 21,88 N.m; Momento Máximo: 93,12 N.m

Fator de Segurança: Usual de 2 a 5; 3

Fatores de Fadiga: Material Disponível: 1060 - Normalizado; Tensão de Ruptura: 775 MPa; Tensão de Escoamento: 420 MPa

Fatores de Correção: Fator de Acabamento: Retificado, Usinado; Confiabilidade: 90%, 95%, 99%, 99,9%; Temperatura de Opeção: T < 450°C, 450°C < T < 550°C

Diâmetro: O diâmetro mínimo para o eixo deve ser de: 30,69 mm; No ponto: 300 mm

Tensões Atuantes: σ_a : 32,81 MPa; σ_m : 98,8 MPa

Fonte: Autor

Figura 20 - Tela cálculo dos eixos preenchidas com as informações do eixo 2

Cálculo dos Eixos

Eixo N°

Momento Fletor e Torque Máximo

Torque no Eixo N.m

Momento Máximo N.m

Fator de Segurança Usual de 2 a 5

Calcular

Próximo Eixo

Próxima Etapa

Fatores de Fadiga

Material Disponível

Tensão de Ruptura MPa

Tensão de Escoamento MPa

Fatores de Correção

Fator de Acabamento Retificado Usinado

Confiabilidade 90% 95% 99% 99,9%

Temperatura de Opeção T < 450°C 450°C < T < 550°C

Diâmetro

O diâmetro mínimo para o eixo deve ser de:

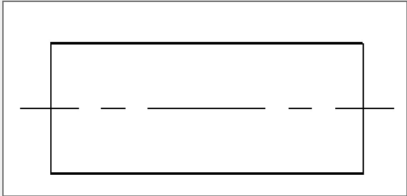
mm

No ponto: mm

Tensões Atuantes

σ_a MPa

σ_m MPa



Fonte: Autor

Figura 21 - Tela cálculo dos eixos preenchidas com as informações do eixo 3

Cálculo dos Eixos

Eixo N°

Momento Fletor e Torque Máximo

Torque no Eixo N.m

Momento Máximo N.m

Fator de Segurança Usual de 2 a 5

Calcular

Próximo Eixo

Próxima Etapa

Fatores de Fadiga

Material Disponível

Tensão de Ruptura MPa

Tensão de Escoamento MPa

Fatores de Correção

Fator de Acabamento Retificado Usinado

Confiabilidade 90% 95% 99% 99,9%

Temperatura de Opeção T < 450°C 450°C < T < 550°C

Diâmetro

O diâmetro mínimo para o eixo deve ser de:

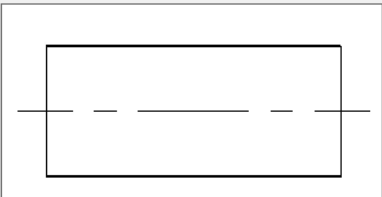
mm

No ponto: mm

Tensões Atuantes

σ_a MPa

σ_m MPa



Fonte: Autor

As figuras 26, 27 e 28 representam a tela *Cálculo dos Eixos* com os valores preenchidos referentes a tabela 4, 5 e 6 respectivamente.

Figura 22 - Tela cálculo da chaveta preenchidas com as informações do sistema

The screenshot shows the 'Cálculo das Chavetas' window with the following data:

| Dados Sobre as Chavetas | | |
|-------------------------|------------------------------|-----|
| Eixo Nº | 1 | |
| Torque no Eixo | 21,88 | N.m |
| Diâmetro do Eixo | 30,69 | mm |
| Largura da Eng. | 30 | mm |
| Material | 1020 - Normalizado | |
| Tensão de Ruptura | 440 | MPa |
| Tensão de Escoamento | 345 | MPa |
| Fator de Segurança | Usual de 1,5 a 2,5 | |
| | 2 | |
| Altura | A altura da chaveta será de: | |
| | 4,11 | mm |

Fonte: Autor

Figura 23 - Tela cálculo da chaveta 3 preenchidas com as informações do sistema

The screenshot shows the 'Cálculo das Chavetas' window with the following data:

| Dados Sobre as Chavetas | | |
|-------------------------|------------------------------|-----|
| Eixo Nº | 2 | |
| Torque no Eixo | 52,5 | N.m |
| Diâmetro do Eixo | 32,53 | mm |
| Largura da Eng. | 30 | mm |
| Material | 1020 - Normalizado | |
| Tensão de Ruptura | 440 | MPa |
| Tensão de Escoamento | 345 | MPa |
| Fator de Segurança | Usual de 1,5 a 2,5 | |
| | 2 | |
| Altura | A altura da chaveta será de: | |
| | 6,37 | mm |

Fonte: Autor

Figura 24 - Tela cálculo da chaveta 3 preenchidas com as informações do sistema

Fonte: Autor

A figura 29 representa o resumo do projeto contendo todas as variáveis calculadas no projeto do sistema de transmissão.

Figura 25 - Tela de Resumo do Projeto

Fonte: Autor

Desta forma na tabela 10 está mostrado a comparação entre os valores obtidos através do cálculo analítico ante os valores obtidos através deste programa.

Tabela 11 – Comparação entre valores do cálculo analítico e do programa desenvolvido

| Valor | Analítico | Programa |
|-----------|-----------|----------|
| Eixo 1 | 30,93 mm | 30,69 mm |
| Eixo 2 | 32,07 mm | 32,53 mm |
| Eixo 3 | 36,55 mm | 36,47 mm |
| Chaveta 1 | 4,11 mm | 4,11 mm |
| Chaveta 2 | 6,37 mm | 6,37 mm |
| Chaveta 3 | 11,63 mm | 11,63 mm |

Fonte: Autor

5 CONCLUSÕES

O cálculo de sistemas de transmissão através de softwares é de extrema ajuda para redução do tempo de cálculo gasto no dimensionamento inicial de sistemas de transmissão por engrenagens cilíndricas de dentes retos uma vez que permite ao projetista realizar o cálculo para uma ampla gama valores em um curto espaço de tempo.

O algoritmo desenvolvido neste trabalho mostrou-se eficaz para estimar o diâmetro inicial de um eixo e a altura mínima da chaveta acoplada a este eixo. Os resultados obtidos comprovam que a lógica desenvolvida obtém os mesmos resultados que o cálculo manual do sistema em questão.

A linguagem de programação Virtual Basic for Applications é de extrema utilidade para o desenvolvimento de algoritmos com uma interface amigável como demonstrado neste trabalho. O fato de estar presente em uma grande porcentagem de computadores permite o uso deste algoritmo quaisquer forem as configurações do computador utilizado.

Em última análise, observa-se a necessidade de que engenheiros projetistas conheçam as linguagens de programação a fim de desenvolver soluções que otimizem o tempo e a precisão de cálculo de diversos tipos de projetos mecânicos.

5.1 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Para futuros trabalho o autor sugere:

Inclusão de novos modelos de engrenagens para transmissão de movimento tais como engrenagens cilíndricas de dentes helicoidais ou engrenagens cônicas.

Desenvolvimento de uma tela onde se possa realizar o desenho do eixo e calcular o diâmetro mínimo para cada seção.

Inclusão de novos elementos mecânicos tais como polias, mancais e rolamentos.

REFERÊNCIAS

GERDAU AÇOS FINOS PIRATINI. **Manual de aços**. 2013. Disponível em: <<https://www.comercialgerdau.com.br/pt/catalogos#k=#s=21>> Acesso em: 10 jun. 2017.

MABIE, Hamilton H.; OCVIRK, Fred W. **Mecanismos e dinâmica de máquinas**. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico; São Paulo: EDUSP, 1967.

MICROSOFT. **Anual Report 2016**. Disponível em: <<https://www.microsoft.com/investor/reports/ar16/index.html>> Acesso em: 10 ago. 2017.

NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

QUALITRANS TRANSMISSÕES INDUSTRIAIS DE QUALIDADE. **Chavetas**. Disponível em: <<http://www.qualitrans.ind.br/produtos/chavetas/>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

REDAÇÃO INDÚSTRIA HOJE. **O que é um redutor de velocidade**. Disponível em: <<http://www.industriahoje.com.br/redutor-velocidade/>>. Acesso em: 10 jun. 2017.

SHIGLEY, Joseph Edward.; MISCHEKE, Charles R.; BUDYNAS, Richard G. **Projeto de Engenharia mecânica**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

STIPKOVIC FILHO, M. **Engrenagens: geometria, dimensionamento, controle, geração, ensaios**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1983.