

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM ACIONADOR DE MICROTURBINA**

Gustavo Silveira Böhme

São Paulo

2008

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM ACIONADOR DE MICROTURBINA**

Gustavo Silveira Böhme

São Paulo

2008

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM ACIONADOR DE MICROTURBINA**

Trabalho de formatura apresentado à  
Escola Politécnica da Universidade de São  
Paulo para a obtenção do título de  
Graduação em Engenharia

Gustavo Silveira Böhme

Orientador: Marcelo Alves

Área de Concentração:  
Engenharia Mecânica

São Paulo  
2008

### **FICHA CATALOGRÁFICA**

Böhme, Gustavo Silveira

Desenvolvimento de um acionador de microturbina / G. S.  
Böhme. – São Paulo, 2008.

90 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade  
de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1.Turbinas a gás 2.Projeto de máquinas 3.Geração de energia  
elétrica I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Depar-  
tamento de Engenharia Mecânica II.t.

## RESUMO

O presente trabalho apresenta o projeto de desenvolvimento de um acionador de microturbina, desde a fase do reconhecimento do problema até a execução dos desenhos de fabricação. O laboratório de engenharia Térmica e Ambiental da Universidade de São Paulo vem desenvolvendo uma turbina a gás derivada de turbocompressor automotivo para acionamento de um grupo gerador. Devido ao baixo custo do turbocompressor, espera-se obter um grupo gerador elétrico de baixo custo para aplicações em co-geração, geração distribuída e sistemas de back-up. É necessário o desenvolvimento de um componente acionador (ou starter), que atende às necessidades de segurança, funcionalidade e confiabilidade do projeto citado acima, equipamento este desenvolvido neste projeto.

## SUMÁRIO

|                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b>                                            | <b>1</b>  |
| 1.1 Objetivo                                                    | 3         |
| <b>2. DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO</b>               | <b>4</b>  |
| <b>3. MODELOS DESENVOLVIDOS</b>                                 | <b>8</b>  |
| 3.1 Modelo 1: Corpo lateral, Redução monofásica (2 engrenagens) | 8         |
| 3.2 Modelo 2: Corpo lateral, Redução bifásica (4 engrenagens)   | 9         |
| 3.3 Modelo 3: Corpo Frontal, Redução planetária (4 engrenagens) | 11        |
| 3.4 Modelo Definitivo (4):                                      |           |
| Corpo Lateral, Redução Monofásica com 2 rodas de atrito         | 13        |
| <b>4. COMPONENTES DE MERCADO</b>                                | <b>19</b> |
| <b>5. ATENDIMENTO AO CRONOGRAMA</b>                             | <b>24</b> |
| <b>6. ANÁLISE E RESULTADOS PRELIMINARES</b>                     | <b>26</b> |
| 6.1 Cálculos do Modelo 1                                        | 26        |
| 6.2 Cálculos do Modelo 2                                        | 33        |
| 6.3 Cálculos do Modelo 3                                        | 45        |
| 6.4 Cálculos do Modelo 4 - Análise de elementos finitos         | 54        |
| <b>ANEXO 1</b>                                                  | <b>66</b> |
| - Desenhos de Conjunto e de Fabricação, Modelo 4                | 66        |

## 1. INTRODUÇÃO

O Laboratório de engenharia Térmica e Ambiental, da Universidade de São Paulo vem desenvolvendo um modelo de microturbina por meio de um projeto FAPESP (*Desenvolvimento de microturbina a gás derivada de turbocompressor automotivo para geração distribuída de energia elétrica*) e através de trabalhos desenvolvidos por outros alunos da engenharia mecânica da escola politécnica, como Newton Fukumasu, Francisco Profito e Rafael Cavalcanti.

O coordenador do projeto é o prof. Dr. Carlos Günther Krieger, participando também da equipe de desenvolvimento os professores Prof. Dr. Demetrio C. Zachariadis e Prof. Dr. Jurandir Itizo Yanagihara.

Seu objetivo de pesquisa é o desenvolvimento de um grupo gerador acionado por micro turbina a gás derivada de turbocompressor automotivo. Devido ao baixo custo do turbocompressor, espera-se obter um grupo gerador elétrico de baixo custo para aplicações em co-geração, geração distribuída e sistemas de back-up.

Pode-se ver a microturbina em funcionamento na figura 1, durante um ensaio da câmara de combustão.



Figura 1: Ensaio da câmara de combustão da microturbina desenvolvida no LETE, da Poli-USP.

Um breve histórico dos modos de acionamento da turbina até o momento presente abrange o uso de sopradores de ar. Estes atuam na injeção de ar diretamente no bucal da microturbina durante o seu acionamento, até o ponto onde a operação da mesma entra em regime auto-sustentável.

Foi usado inicialmente um ventilador estacionário e robusto da marca Bernauer, modelo WBR-822, que restringia o acionamento da microturbina à área onde o acionador se encontrava instalado. O ar era direcionado manualmente até o bucal através de um tubo flexível, até que o ponto de funcionamento da microturbina fosse atingido, onde a injeção de ar se tornava desnecessária à operação. Era feito então, também manualmente, o desacoplamento do tubo flexível.

Em uma segunda etapa do projeto, foi adquirido pelo laboratório um soprador de folhas comercial da marca Tekna (linha Forest Garden), modelo Sopro Aspirador VB2001, que atendeu ao problema de mobilidade do acionador anterior.

Um fator de risco no uso desse acionador é ainda a presença de um indivíduo próximo ao bucal da entrada de ar do turbocompressor, cuja função é a de sustentar o acoplamento do sistema de acionamento até que o regime auto-sustentável seja alcançado.



## 1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho visa complementar este projeto acadêmico em andamento, através do desenvolvimento de um componente acionador (ou *starter*), que atenda às necessidades de segurança, funcionalidade e confiabilidade aqui definidas.

Através disso, pretende-se contribuir para o acervo do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica com material que forneça um exemplo prático e claro de projeto de máquinas.

O mecanismo desenvolvido deve através de um comando a distância, levar o rotor da microturbina até uma velocidade que garanta seu pleno funcionamento (valor estimado em 30 000 rpm), sem promover qualquer forma de prejuízo com relação aos demais componentes existentes, através de fatores como vibração ou obstrução do fluxo do ar de trabalho.

## 2. DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO

Pode-se acompanhar o fluxo resumido de atividades através do diagrama apresentado abaixo.

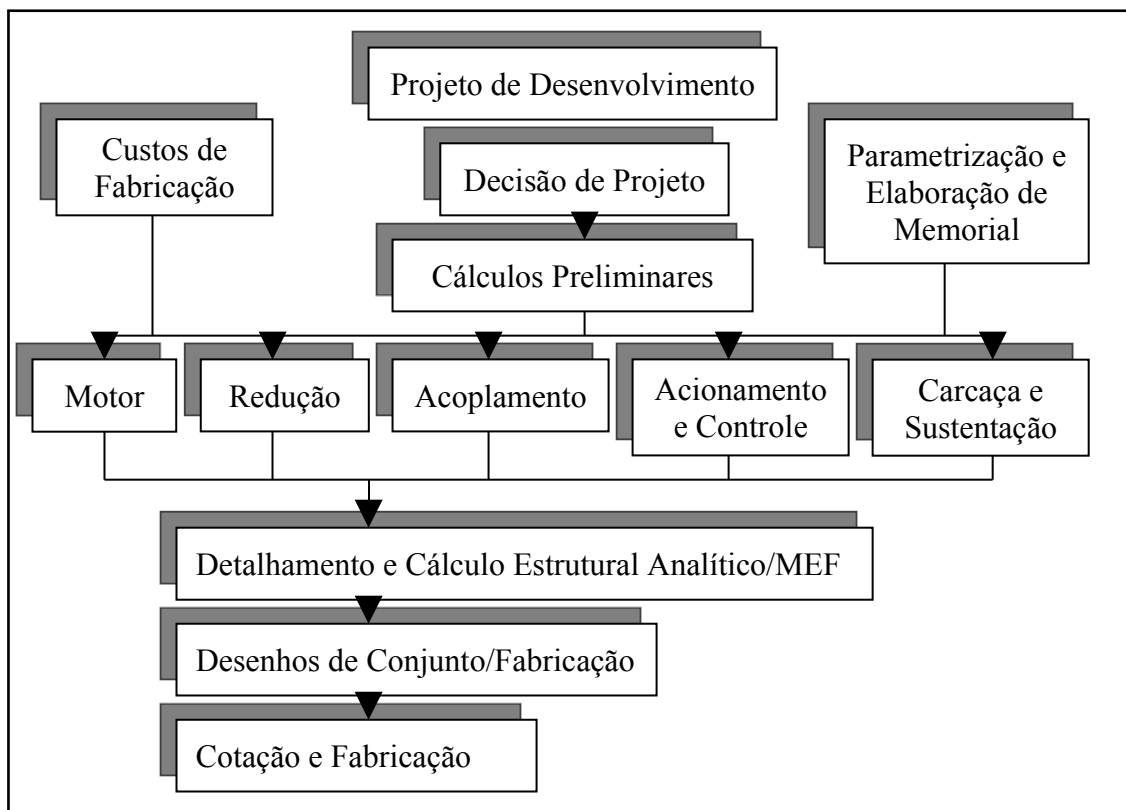


Figura 2: Fluxo simplificado de atividades

Desde o início do projeto, foram tomadas decisões em conjunto com a coordenação do projeto da microturbina relacionadas a fatores como:

1. Escolha da implementação do acionamento através de injeção de ar ou acoplamento mecânico;
2. Escolha entre um mecanismo portátil ou fixo à bancada de funcionamento da turbina;

No caso do tópico 1, optou-se pela escolha do acoplamento mecânico, em detrimento da injeção de ar, decisão essa que afetou o tipo de enfoque que este trabalho terá. Houve, portanto um aprofundamento no estudo de elementos de máquina, ao invés de análises de mecânica dos fluidos. Ambos métodos atenderiam à

mesma finalidade, porém, no caso da injeção de ar, o trabalho a ser desenvolvido resultaria em um mecanismo semelhante em muitos aspectos ao já utilizado na forma do soprador de folhas, mecanismo este que com suas propriedades mecânicas é suficiente para efetuar o acionamento da microturbina. Ao escolher-se o acoplamento mecânico, existiu a necessidade do desenvolvimento de um projeto totalmente novo e de maior segurança.

No caso do tópico 2, foi escolhido desenvolver um mecanismo fixo, preocupando-se em garantir que não haja qualquer tipo de detrimento no funcionamento da microturbina. Ao ser desmontado do conjunto, não há qualquer prejuízo no equipamento. Uma vez atingida a velocidade auto-sustentável, o eixo movido será desacoplado (o sistema da microturbina será acelerado pelo processo até velocidades na ordem de 100 000 rpm).

Por razão do turbocompressor ser comercial (Borgwarner, modelo K27.2), este tem como entradas possíveis para acionamento a entrada e a saída de ar, descartando-se a saída automaticamente pelo fato dos gases no local atingirem altíssimas.

O acoplamento é feito diretamente no eixo que liga o compressor à turbina. Na extremidade onde é feito o acionamento, existe uma rosca onde foi colocada uma porca de formato externo cônico, apresentada na figura 3.

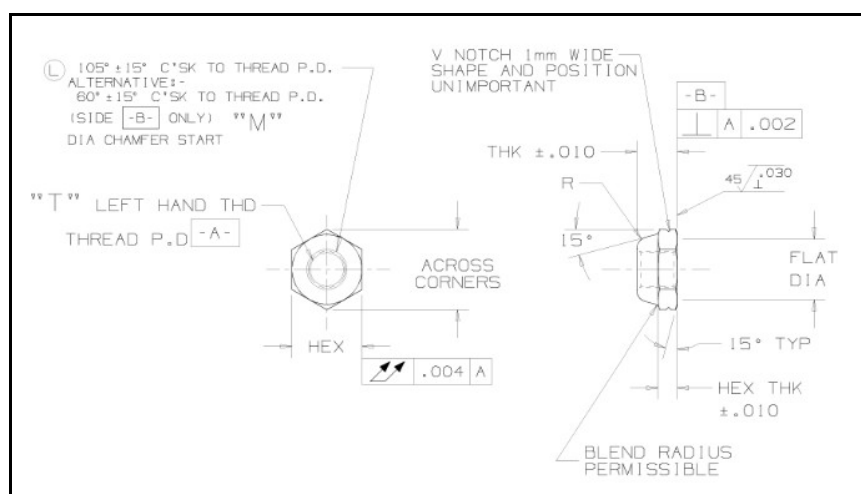


Figura 3: Porca instalada no eixo do rotor do turbocompressor (extraído de desenho de fabricação)

Em sua face externa, encontra-se um ângulo de  $15^\circ$ , valor sugerido na bibliografia para a implementação de embreagens cônicas [5]. Será necessária a fixação da porca por meio de adesivo, pois esta tem a rosca esquerda, o que causa o desrosqueamento da peça ao imprimir-se o momento para acionar o conjunto rotativo da microturbina. Teve-se assim definido o tipo de embreagem a ser utilizada.

Partindo-se das premissas levantadas, pôde-se dar início ao cálculo dos parâmetros básicos dos principais componentes: motor, redução, acoplamento, deixando-se os demais elementos, carcaça e sustentação para uma fase posterior do projeto. Os resultados encontram-se no tópico 3, análise e resultados.

Durante o levantamento dos dados para os cálculos, foi encontrada uma grande dificuldade em suas obtenções. Faltaram valores para parâmetros como a inércia rotacional do conjunto a ser acelerado, suas dimensões e a rotação final que deve ser atingida por ele, sendo assim necessário que fosse feita uma estimativa inicial de tais parâmetros. No caso das dimensões e algumas outras grandezas mecânicas, solicitou-se informações com a empresa Borg Warner que não forneceu qualquer dado técnico do componente turbocompressor. Foi tomada inicialmente então como base valores definidos como mínimo para o acionamento, que tivessem uma margem de segurança para o acionamento da turbina. Valores esses como a inércia do sistema rotativo aproximado por formas geométricas que o descrevessem, e um torque necessário para a ativação de 3 N.m.

Foi feito no início do ano de 2008 uma tomada de dados que resultou em valores de fluxo mássico, elevação de temperatura e rotação da turbina, que na condição de desacoplamento (definida a partir deste momento como 30.000 rpm, e não mais 10.000 rpm como na primeira metade do projeto) correspondeu a um torque de compressão do ar de aproximadamente 0,48 N.m.

Como a inércia rotacional do corpo é quase desprezível (seu cálculo é baseado em um cilindro maciço de aço, do diâmetro externo equivalente ao diâmetro

das pás do compressor, e sua altura equivalente ao comprimento total entre pontas de eixo do turbocompressor), o valor de 3 N.m é conservador, garantindo uma margem de segurança adequada. Cálculos mostrados aqui neste relatório mostram que esse torque irá acelerar o conjunto muito rapidamente, assumida uma quantidade de escorregamento no acoplamento. Estes cálculos conservadores apresentam também o aquecimento equivalente do equipamento (desconsiderando o fluxo de ar na região), e esse efeito não acarretará em nenhum problema, como mostra o capítulo 6 deste documento.

### **3. MODELOS DESENVOLVIDOS**

#### **3.1 Modelo 1: Corpo lateral, Redução monofásica (2 engrenagens)**

O modelo 1 foi apresentado no relatório parcial, e sua estrutura se localiza principalmente na direção normal ao eixo da turbina, a fim de tentar minimizar sua influência no escoamento do ar na entrada do turbocompressor. Esta estrutura facilita ainda sua instalação na bancada atual da microturbina.

A desvantagem do modelo é a necessidade de se empregar uma engrenagem de 300 mm, por haver uma única fase de redução. Isso faz com que o conjunto inteiro tenha um tamanho muito maior do que seria possível obter, tendo em vista a finalidade do projeto. Assim, foi projetado um segundo modelo com redução bifásica, apresentado a seguir.

Não foram feitos desenhos para o modelo 1, por se ter partido diretamente para uma segunda opção de modo construtivo. Os cálculos referentes ao modelo são apresentados no Item 6. Utilizando-se um motor de arranque de um carro pequeno (modelo utilizado para cálculo foi um BOSH ALO314, 0,8 kW), a 1000 rpm, são atingidas velocidades da ordem de 12 000 rpm na microturbina. Assim, garantiu-se uma margem de segurança, uma vez que foi definido no início do projeto que 10 000 rpm eram suficientes para o processo de acionamento.

### 3.2 Modelo 2: Corpo lateral, Redução bifásica (4 engrenagens)

O modelo 2 traz todas as vantagens citadas no modelo 1 com um tamanho reduzido em 33%, e adicionando perdas muito pequenas no sistema (o acréscimo de 2 mancais e 1 par de engrenagens beira uma perda adicional da potência disponível estimada em 2%).

Os cálculos estruturais foram realizados utilizando a potência nominal bruta como margem adicional de segurança, pois assim os esforços resultantes nos componentes submetidos aos esforços mecânicos são maiores. Além disso, os valores das variáveis do projeto são muito pequenos, o que possibilita a adoção de maiores fatores de segurança. Esse fato será discutido posteriormente, no Item 5.

O modelo 2 pode ser visualizado na Figura 4, na qual duas vistas 3D permitem entender a forma de sua carcaça e a disposição geral de seus componentes.

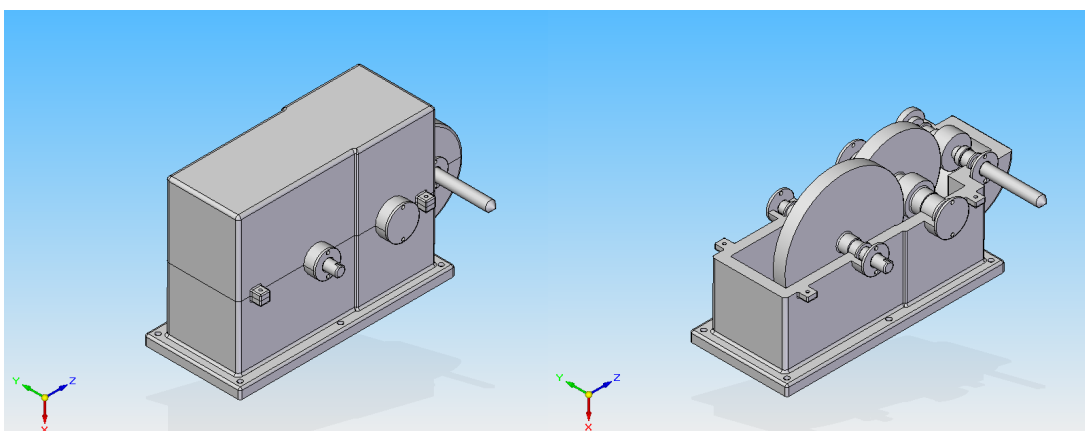


Figura 4: Vista 3D do modelo 2. À esquerda, modelo fechado; à direita, modelo sem a tampa superior.

No eixo do acoplamento foi projetado um mecanismo de deslocamento axial, que aplica a força constante necessária para se atingir o atrito mínimo no contato com o turbocompressor, através do rosqueamento de um corpo cilíndrico (vide figura 5).

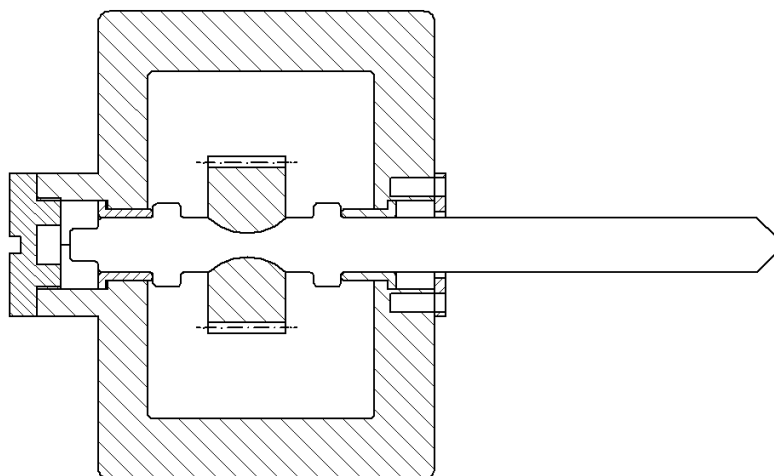


Figura 5: Vista em corte permite visualizar mecanismo de aplicação de força e deslocamento axial

Para a construção do modelo, foram feitas pesquisas em busca de componentes já existentes no mercado. Estes serão apresentados com maior detalhamento no Item 4. Dentre os encontrados, foram selecionados os mancais de deslizamento de bronze sinterizado e os de rolamento (que fazem parte de uma solução abandonada por dificultarem o deslocamento axial do eixo). Porém, a solução para as vedações ainda não foi escolhida, devido à grande diversidade existente. O critério de seleção utilizado será o preço, o que irá exigir maior tempo de pesquisa. Nos desenhos de conjunto, um espaço foi reservado para estes componentes.

Os cálculos referentes ao modelo também são apresentados no Item 6. Utilizando um motor de arranque de um carro pequeno, a 1000 rpm, são atingidos valores de aceleração da microturbina da ordem de 12 000 rpm. Foi definido no início do projeto, que 10 000 rpm eram suficientes para seu acionamento, garantindo-se assim uma margem de segurança. O motor de arranque utilizado foi um BOSH ALO314, 0,8 kW.

O desenho de conjunto do modelo está apresentado no Anexo 1.

Para tentar diminuir ainda mais o tamanho do acionador foi projetado o projeto do modelo 3, no qual há uma redução planetária.



### 3.3 Modelo 3: Corpo Frontal, Redução planetária (4 engrenagens)

Com o modelo 3, foi possível diminuir novamente o tamanho do corpo em 31% com relação ao anterior. Seu desenvolvimento foi diferenciado por se tratar de uma redução planetária, como indicam os cálculos apresentados no Item 5. A Figura 6 apresenta a vista 3D do modelo, facilitando a compreensão do esquema de montagem.

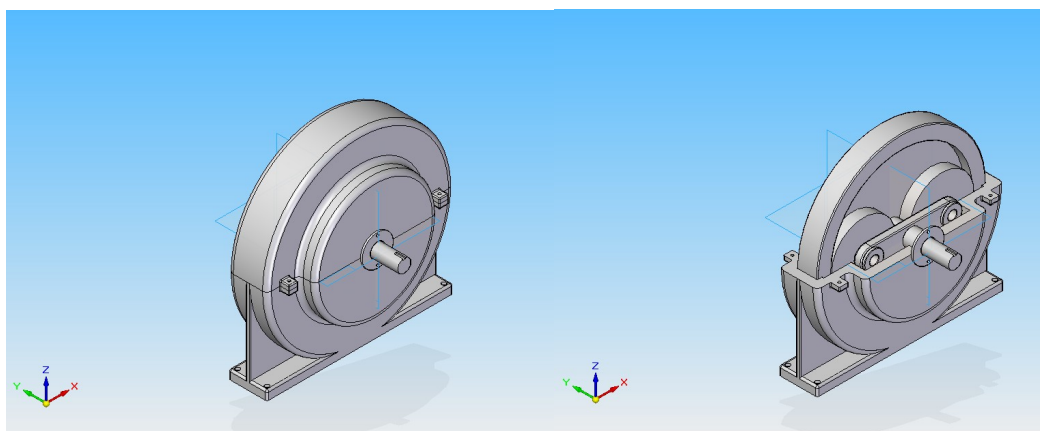


Figura 6: Vista 3D do modelo 2. À esquerda, modelo fechado; à direita, modelo sem a tampa superior.

A montagem do modelo 3 requer sua colocação na direção do eixo do turbocompressor (corpo frontal), o que torna necessária uma redistribuição da microturbina em sua bancada atual. Como uma área maior é ocupada no espaço em frente à entrada de ar, é preciso instalar o acionador a uma distância maior do local. Com isso, é exigida uma precisão maior na sua instalação, devido ao prolongamento do eixo que é acoplado ao turbocompressor.

Este modelo apresenta um componente de aplicação de força axial no acoplamento que permite seu desacoplamento durante o funcionamento do acionador. Isso permite que as perdas no funcionamento da microturbina diminuam, uma vez que o turbocompressor não mais acionará a roda-livre instalada no acionador (a roda-livre será comentada no Item 4). Esse mecanismo é acionado pela

rotação de um disco ranhurado que fica exposto no modelo. Sua visualização pode ser feita através da Figura 7.

O desenho de conjunto do modelo 3 está apresentado no Anexo 1.

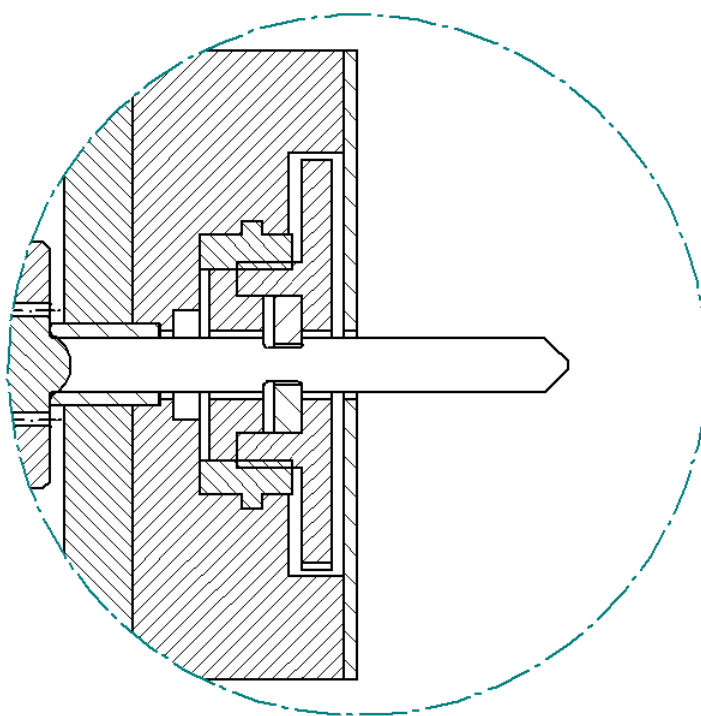


Figura 7: Vista em corte que permite visualizar mecanismo de aplicação de força e deslocamento axial

### **3.4 Modelo Definitivo (4):**

#### **Corpo Lateral, Redução Monofásica com 2 rodas de atrito**

Com o aumento da velocidade final que é requerida pela turbina no momento do desacoplamento (valor obtido em medição no começo do ano de 2008 de 30.000 rpm, e não mais 10.000 rpm), os modelos anteriores deixaram de ser adequados ao projeto.

Foi desenvolvido então um modelo focado puramente em custo e tamanho, de forma que fossem atendidos os novos requerimentos da turbina. Esse modelo foi desenvolvido sobre a plataforma lateral, para que obstruísse da menor forma possível a área de passagem do ar próxima à entrada do bucal do turbocompressor.

Foram adotadas também ao invés das engrenagens, rodas de atrito que tornam o acionador mais barato na fase da fabricação. As rodas de atrito proporcionam também um desacoplamento mais prático e rápido, precisando-se apenas interromper o contato entre as rodas para que a turbina funcione livremente.

Para atingir a velocidade requerida de 30.000 rpm, e manter a redução em um tamanho pequeno (não passar a ordem de grandeza do turbocompressor), foi adotado como motor de acionamento uma Esmerilhadeira Profissional GWS 26-180 Bosch, que atinge rotações de até 8.000 rpm. Esse equipamento tem também uma ponta de eixo com rosca, que permite um fácil acoplamento com a caixa de redução. Com uma redução de fator 4 é alcançada a velocidade de desacoplamento da turbina, mantendo assim as dimensões da redução dentro da faixa desejada.

Com enfoque em preço, foi desenvolvida inicialmente uma caixa de redução composta de chapas soldadas (material a ser estudado, conforme disponibilidade em fornecedores de baixo custo), como é ilustrado na Figura 8.

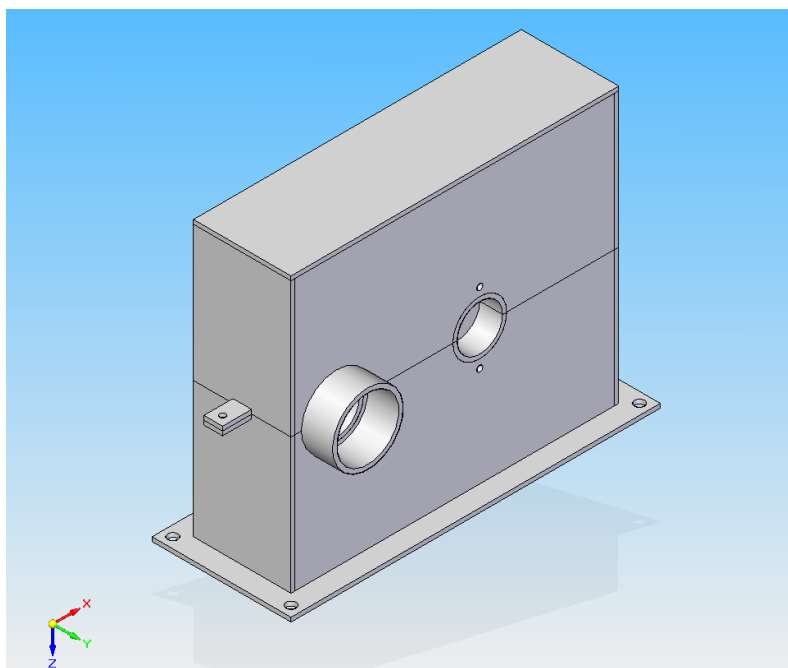


Figura 8: Caixa da redução construída com chapas soldadas para redução de custos

Foi possível, porém, através do surgimento da possibilidade da usinar a caixa, de ser desenvolvida uma caixa de redução totalmente usinada em um bloco bipartido. Na Figura 9 pode ser vista essa caixa com o restante dos componentes montados em duas vistas 3D.

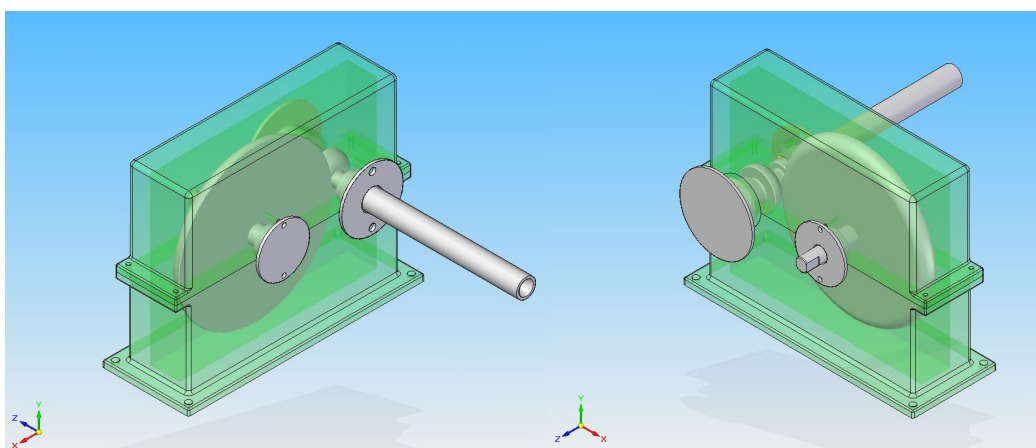


Figura9: Vistas 3D do modelo 4. Caixa fundida em verde translúcido para visualização dos demais componentes

Outra mudança necessária no modelo 4 foi a utilização de rolamentos de alta velocidade, pois ao optar pelo uso de rodas de atrito, foi descartado o uso de lubrificação a óleo, utilizado nos mancais de deslizamento dos modelos anteriores.

O desacoplamento do modelo 4 é feito de forma semelhante ao do modelo 3, e pode ser visto na Figura 10.

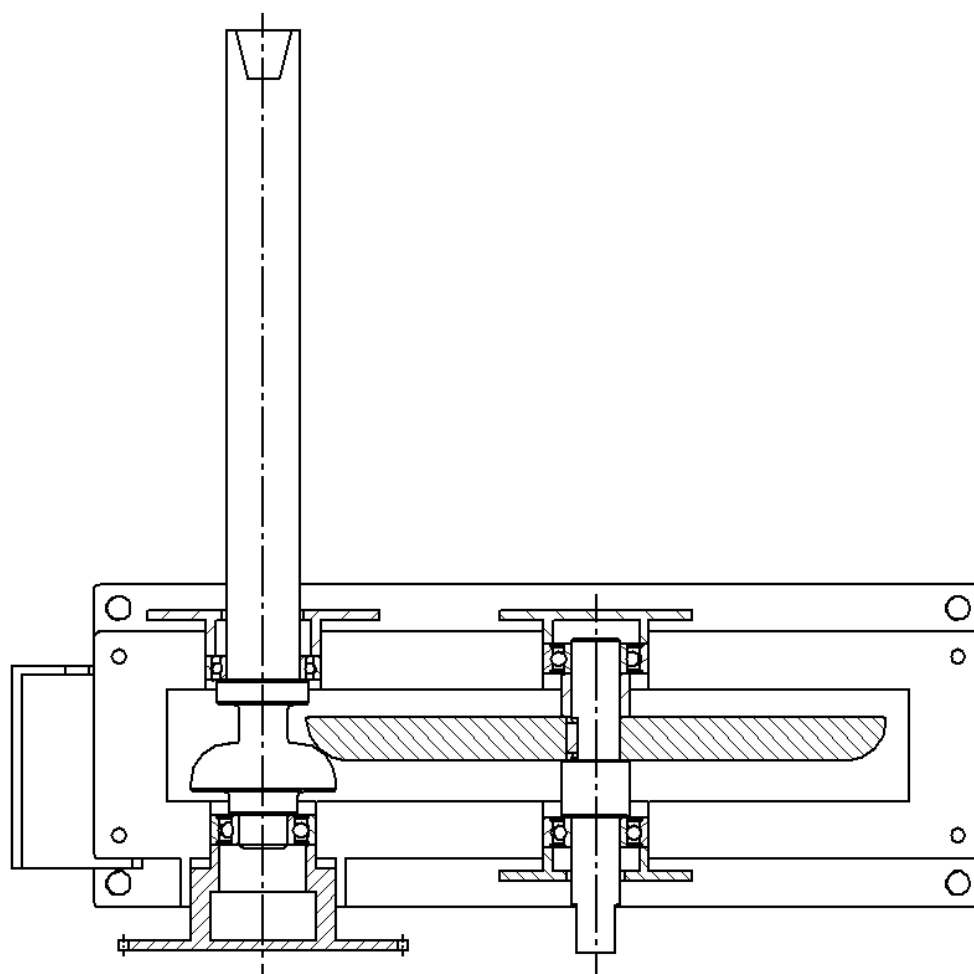


Figura10: Vistas em corte do modelo 4. Caixa Fica visível o mecanismo de deslocamento axial

A engrenagem acoplada a um motor elétrico reduzido (mostrada no detalhe da Fig.11) é responsável pelo acionamento do sistema de desacoplamento. O acionamento do motor é feito a distância, por um interruptor simples que alterna a fase do potencial enviado ao motor garantindo a movimentação do eixo nos dois

sentidos. Ao ser mantido o curso limite da mola como referência para o avanço do eixo, têm-se que o motor elétrico não sobrecarrega os discos, sendo a pressão aplicada também sobre as molas totalmente comprimidas. Assim, pode-se desligar o motor manualmente, depois de feito o acoplamento.

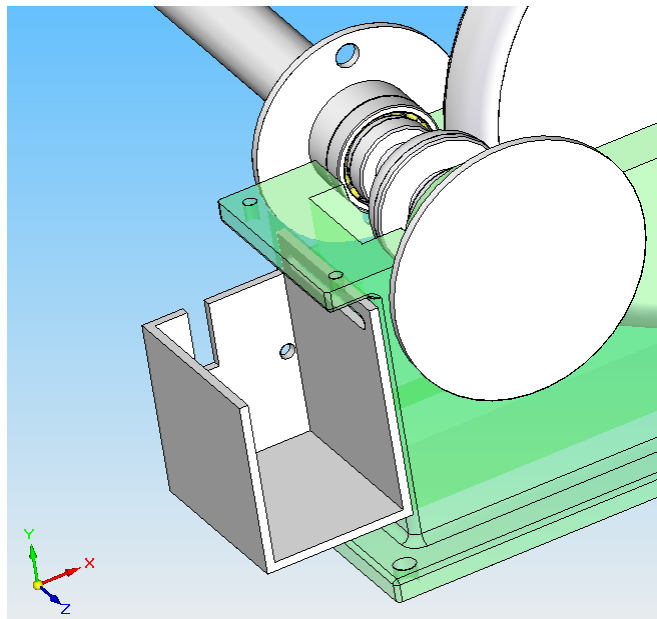


Figura11: Detalhe do modelo 4. Local do acionador elétrico que movimenta o eixo do acoplamento

Um desenvolvimento de pistas de deslizamento axiais para os rolamentos permite que seja feito o ajuste na montagem do equipamento, minimizando os riscos que a falta de precisão pode ocasionar. O ajuste é feito através do rosqueamento de 2 parafusos em cada pista externa dos rolamentos.

Não foram feitos cálculos analíticos referentes ao modelo 4, pois foi feito uma análise de elementos finitos que verificou tensões nos eixos e rodas de atrito, assim como deflexões decorrentes do contato entre os componentes do equipamento. Essa análise é apresentada no item 6 deste documento. A análise de deflexão é importante para verificar se o contato entre as rodas de atrito causa uma deflexão significativa na ponta de eixo onde é feito o acoplamento, que pode resultar em eventuais

carregamentos indesejáveis no turbocompressor. A análise provou que o modelo não sofre tensões significantes (picos de tensão equivalente de Von Mises de 35 MPa), e a deflexão resultante em ponta de eixo é de ordem micrométrica.

Como a fresadora BOSH GWS25-180 não foi adquirida no prazo do projeto (de forma que fosse feita a medição detalhada da sua carcaça), foi desenvolvido um apoio adaptável que abrange diferentes geometrias e posições (Fig. 12).

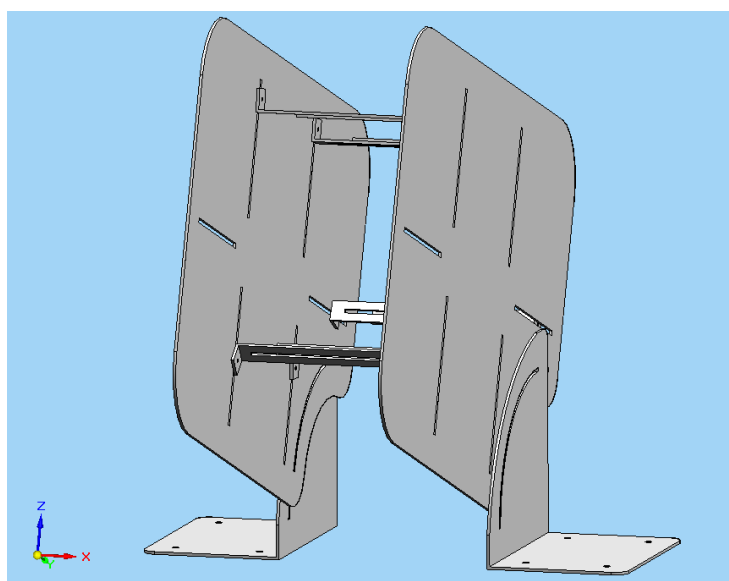


Figura12: Apoio da esmerilhadeira BOSH GWS25-180 totalmente adaptável

A fabricação dos componentes do modelo 4 foi orçada na mesma empresa já responsável pela fabricação das peças envolvidas nos demais trabalhos relacionados à microturbina (Fresadora Santana). Porém, o preço final ficou muito alto (por volta de 3300 reais ainda sem o apoio da esmerilhadeira), e por isso foi recorrido a uma fresadora que é envolvida em outros projetos relacionados ao LETE. O pedido de orçamento não foi respondido até o presente momento, tendo-se entrado em contado mais de uma vez com a empresa.

Assim, não foi possível de se fabricar o mecanismo desenvolvido neste projeto na duração do trabalho de conclusão de curso, deixando-se o projeto a ponto de fabricação com análises mecânicas aprofundadas e desenhos completos e explicativos.

O modelo 4 tinha inicialmente 77,5 mm de ponta livre de eixo para fazer o acoplamento com o turbocompressor (sendo essa a distância entre o corpo da redução e a entrada de ar de trabalho).

Foi estudado mais tarde, como mostra o item 6.4, que 120 mm de ponta livre eram possíveis, sendo essa a distância adotada entre o corpo da redução e a entrada de ar de trabalho do turbocompressor. Com isso garante-se que não haja qualquer influência significativa no escoamento de ar presente na região.



#### 4. COMPONENTES DE MERCADO

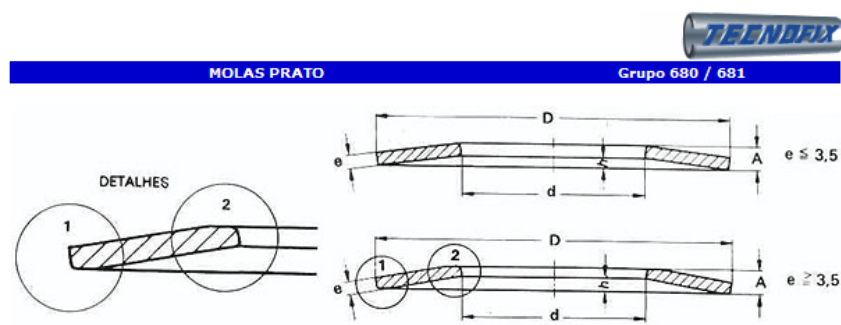
A fim de minimizar o número de componentes fabricados, foi realizada junto aos cálculos uma pesquisa em catálogos de produtos disponíveis no mercado. Com isso, evita-se a deseconomia de escala que encarece todo componente fabricado em pequenas quantidades, e há uma diminuição dos custos do projeto. A seguir são apresentados os dados utilizados no projeto, todos extraídos de catálogos atualizados das empresas respectivas.

Retentores Wylerson:

|  | Diâm.<br>do Eixo | Diâm. do<br>Alojam. | Seg.<br>Diâm. | Alt. do<br>Ret. | Seg.<br>Alt. | Mat.<br>lábio | orien-<br>tação |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------|---------------|-----------------|--------------|---------------|-----------------|
| 41371 PMLZ                                                                        | 5,50             | 9,20                | 0,00          | 8,00            | 0,00         | PO            | L               |
| 41392 BMLD                                                                        | 40,00            | 50,00               | 0,00          | 5,00            | 0,00         | NT            | L               |
| 41412 BMLD                                                                        | 30,00            | 62,00               | 0,00          | 10,00           | 0,00         | NT            | L               |
| 41425 BML                                                                         | 15,00            | 25,00               | 0,00          | 7,00            | 0,00         | NT            | AH              |
| 41432 BMLDZ                                                                       | 27,00            | 39,20               | 0,00          | 10,50           | 0,00         | NT            | L               |
| 41442 BMLD                                                                        | 28,00            | 42,00               | 0,00          | 7,00            | 0,00         | NT            | L               |
| 41452 BMLD                                                                        | 14,00            | 28,00               | 0,00          | 7,00            | 0,00         | NT            | L               |
| 41462 BMD                                                                         | 6,50             | 14,50               | 0,00          | 7,00            | 0,00         | NT            | L               |
| 41472 BMLD                                                                        | 16,00            | 28,00               | 0,00          | 7,00            | 0,00         | NT            | L               |
| 41492 BMLD                                                                        | 40,00            | 52,00               | 0,00          | 7,40            | 0,00         | NT            | L               |
| 41509 BMLDDZ                                                                      | 21,00            | 37,00               | 0,00          | 7,00            | 11,00        | NT            | L               |
| 41519 BMLDDZ                                                                      | 23,00            | 37,00               | 0,00          | 7,00            | 11,00        | NT            | L               |
| 41529 BMLDDZ                                                                      | 27,00            | 37,00               | 0,00          | 7,00            | 9,00         | NT            | L               |
| 41539 BMLDDZ                                                                      | 47,00            | 58,00               | 0,00          | 7,00            | 0,00         | NT            | L               |
| 41562 BMLD                                                                        | 28,00            | 51,95               | 0,00          | 6,00            | 0,00         | NT            | L               |
| 41572 BMLD                                                                        | 25,00            | 51,95               | 0,00          | 8,00            | 0,00         | NT            | L               |
| 41581 BML                                                                         | 14,00            | 24,00               | 0,00          | 6,00            | 0,00         | NT            | L               |
| 41582 BMLD                                                                        | 14,00            | 24,00               | 0,00          | 6,00            | 0,00         | NT            | L               |
| 41592 BMLD                                                                        | 18,00            | 37,00               | 0,00          | 8,00            | 0,00         | NT            | L               |
| 41622 BMLLD                                                                       | 28,00            | 39,95               | 0,00          | 8,00            | 0,00         | NT            | L               |
| 41635 BML                                                                         | 10,00            | 22,00               | 0,00          | 7,00            | 0,00         | NT            | AH              |

Estes retentores apresentam o diâmetro do eixo na ordem daqueles utilizados no projeto, oferecendo diversos modelos em seus catálogos. O que é apresentado aqui é uma extração de um catálogo de produtos ofertados pela empresa Wylerson.

## Molas-prato Tecnofix:



- O desenho acima refere-se a um lay-out de aparência geral das molas prato pertencentes aos Grupos 608 e 681.
- As seqüências de códigos referem-se ao Código Seeger Reno para encomenda de cada mola. Cada código refere-se a um tipo de arruela dos Grupo 680 e 681, os quais foram agrupados em uma só tabela.

| d<br>H12 | D<br>h12 | MOLAS GROSSAS GRUPO 680           |      |      |            |                     |                   |
|----------|----------|-----------------------------------|------|------|------------|---------------------|-------------------|
|          |          | Código Seeger Reno para encomenda | e    | A    | f<br>Curso | C<br>Carga em (Kgf) | Peso<br>(Kg/1000) |
| 4,2      | 8,0      | 680.004                           | 0,40 | 0,60 | 0,15       | 21                  | 0,120             |
| 5,2      | 10,0     | 680.005                           | 0,50 | 0,75 | 0,19       | 34                  | 0,225             |
| 6,2      | 12,5     | 680.006                           | 0,70 | 1,00 | 0,22       | 67                  | 0,504             |
| 7,2      | 14,0     | 680.007                           | 0,80 | 1,10 | 0,22       | 81                  | 0,704             |
| 8,2      | 16,0     | 680.008                           | 0,90 | 1,25 | 0,26       | 103                 | 1,050             |
| 9,2      | 18,0     | 680.009                           | 1,00 | 1,40 | 0,30       | 128                 | 1,471             |
| 10,2     | 20,0     | 680.010                           | 1,10 | 1,55 | 0,34       | 155                 | 1,994             |
| 11,2     | 22,5     | 680.011                           | 1,25 | 1,75 | 0,37       | 195                 | 2,922             |
| 12,2     | 25,0     | 680.012                           | 1,50 | 2,05 | 0,41       | 298                 | 4,367             |
| 14,2     | 28,0     | 680.014                           | 1,50 | 2,15 | 0,49       | 290                 | 5,025             |
| 16,3     | 31,5     | 680.016                           | 1,75 | 2,45 | 0,52       | 398                 | 7,784             |
| 18,3     | 35,5     | 680.018                           | 2,00 | 2,80 | 0,60       | 528                 | 11,360            |

As molas prato têm um grande número de produtores e fornecedores no Brasil com uma variação de preços considerável. Como a aquisição não foi feita e as variações na geometria são consideráveis de marca para marca mantidas suas características, esses componentes não foram representados nos desenhos técnicos. Os dados apresentados aqui foram extraídos de um catálogo on-line dos produtos ofertados pela empresa Tecnofix.

## Rodas-livre Zensa:

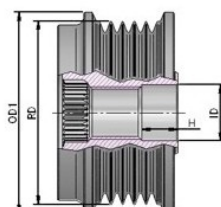
### Ficha do Produto

**5376** (2.05.0376.0)  
**Polia Roda Livre**  
 (POLIA RODA-LIVRE - 5376)

Aplicações  
 Produtos Originais Equivalentes  
 Equipamentos Onde o Produto Pode Ser Montado



### Dimensões

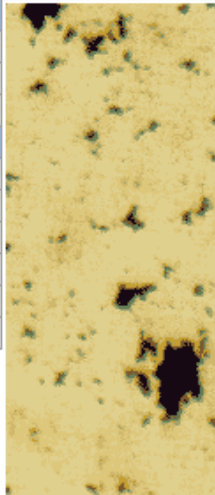


|     |      |                         |
|-----|------|-------------------------|
| R   | 5    | Nº de Filetes           |
| OD1 | 61   | Diâmetro Externo 1 (mm) |
| OD2 | -    | Diâmetro Externo 2 (mm) |
| ID  | 17   | Diâmetro do Rebaixo     |
| H   | 11   | Altura do Rebaixo       |
| RD  | 55.6 | Diâmetro dos Filetes    |
| CW  |      | Sentido Horário         |
| S   | M 16 | Rosca                   |

Houve uma grande dificuldade para se encontrar rodas-livre no mercado. Os produtos encontrados, utilizados na maioria das vezes em alternadores de carros, tratam-se de polias roda-livre, como a apresentada aqui. Sua montagem pode ser feita entre o motor e a redução, deixando o componente em trabalho sob menores velocidades, mas isso gerará perdas e esforços maiores na redução, pois a microturbina passará a exercer trabalho sobre ela.

Foi decidido que não será necessária a utilização da roda-livre no projeto, pois o modelo 4 permite um rápido desacoplamento fazendo uso do contato circular das rodas de atrito.

### Mancais de deslizamento de bronze sinterizado GGBearings

| Propriedades do Mancal       | Unidade             | Valor       | Microseção                                                                          |
|------------------------------|---------------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Impregnado de leo            |                     |             |  |
| Veloc. max. de deslizam. U   | m/s                 | 10          |                                                                                     |
| Valor max. PU                | N/mm² * m/s = W/mm² | 10          |                                                                                     |
| Coefficiente de atrito f     | —                   | 0,08 - 0,12 |                                                                                     |
| Geral                        |                     |             |                                                                                     |
| Temperatura max. Tmax        | °C                  | +90         |                                                                                     |
| Temperatura min. Tmin        | °C                  | -5          |                                                                                     |
| Carga estática max. P static | N/mm²               | 10          |                                                                                     |
| Carga din. max. P dynamic    | N/mm²               | 5           |                                                                                     |
| Rugosidade sup.do eixo Ra    | µm                  | ≤ 0,2       |                                                                                     |
| Dureza do eixo               | HB                  | > 350       |                                                                                     |

Bronze sinterizado tipo SINT B 50, conforme a ISO 2795, embebido de óleo. Grupo 1 de absorção de óleo

Este material se provou capaz de suportar a velocidade de deslizamento que ocorre no mancal mais rápido do acionador, que gira a 11 000-12 000 rpm. Suas dimensões na faixa utilizada no projeto são apresentadas abaixo. Os dados foram extraídos do catálogo de produtos on-line da GGB.

**Buchas flangeadas de bronze sinterizado**



**GGB**  
BEARING TECHNOLOGY

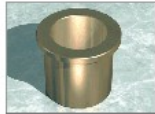
Fabricante de buchas metal-polímero

Sítio(s) web: [www.ggbearings.com](http://www.ggbearings.com)

Correio electrónico: [brasil@ggbearings.com](mailto:brasil@ggbearings.com)

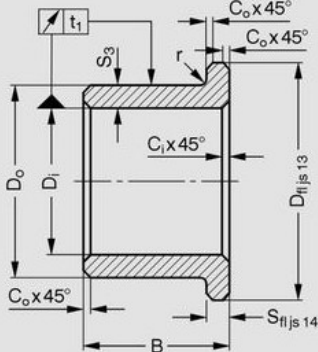
Documento(s)

Informação



Documento(s) técnico(s)

- Desenho com dimensional



Selecione uma linha do quadro em baixo :

| Código da Peça | Di (mm) | Do (mm) | Sfl (mm) | Dfl (mm) | B (mm) | alojamento (mm) | Eixo (mm) | Ø montado máx no alojamento H9 (mm) | Ø montado min no alojamento H12 (mm) | Folga máx. (mm) | Folga mín. (mm) |
|----------------|---------|---------|----------|----------|--------|-----------------|-----------|-------------------------------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------|
| BB142018BP25   | 14      | 20      | 3        | 26       | 18     | H7              | f7        | 14,061                              | 14,016                               | 0,086           | 0,016           |
| BB142022BP25   | 14      | 20      | 3        | 26       | 22     | H7              | f7        | 14,061                              | 14,016                               | 0,086           | 0,016           |
| BB142028BP25   | 14      | 20      | 3        | 26       | 28     | H7              | f7        | 14,061                              | 14,016                               | 0,086           | 0,016           |



## 6. ANÁLISE E RESULTADOS PRELIMINARES

Os cálculos preliminares referentes ao acoplamento, engrenagens, rolamentos e eixos das reduções seguem no formato da planilha de cálculo desenvolvida para este projeto. Em amarelo constam os dados calculados, e em azul as entradas necessárias para a obtenção dos resultados. À direita em azul são mostrados os cálculos efetuados, e em preto são feitas observações pertinentes. Todas as referências de páginas são da bibliografia [10]. Os cálculos referentes ao acoplamento são comuns a todos os modelos, sendo este apresentado somente no Item 6.1.

### 6.1 Cálculos do Modelo 1

#### Estudo de embreagens

##### Dados de entrada

|                        |      |                 |                                      |
|------------------------|------|-----------------|--------------------------------------|
| Coefficiente de atrito | f    | 0,3             |                                      |
| Diâmetro externo       | D    | 5 mm            |                                      |
| Diâmetro interno       | d    | 2 mm            |                                      |
| Inclinação             | alfa | 0,261799388 rad | sugerido 10<alfa<15 graus (12 graus) |

|        |   |               |                  |
|--------|---|---------------|------------------|
| Força  | F | 0 N           |                  |
|        |   | ou            |                  |
| Torque | T | 3,00E+03 N*mm | (3 N*m sugerido) |

##### Segundo desgaste uniforme

|        |   |               |                                                         |
|--------|---|---------------|---------------------------------------------------------|
| Força  | F | 1478,965972 N | $F = T * 4 * \text{sen}(\text{alfa}) / (f * d + f * D)$ |
| Torque | T | ---           | $T = F * f * (d + D) / (4 * \text{sen}(\text{alfa}))$   |

##### Segundo pressão uniforme

|        |   |               |                                                                         |
|--------|---|---------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Força  | F | 1393,641012 N | $F = T * 3 * \text{sen}(\text{alfa}) / f * (D^2 - d^2) / (D^3 - d^3)$   |
| Torque | T | ---           | $T = F * f / (3 * \text{sen}(\text{alfa})) * (D^3 - d^3) / (D^2 - d^2)$ |

##### Aceleração

|                           |    |                    |                                     |
|---------------------------|----|--------------------|-------------------------------------|
| Momento de inércia motor  | I1 | 0,001498186 kg*m^2 | $J = M * r^2 / 2$ (r=3 cm, L=15 cm) |
| Momento de inércia movido | I2 | ---                |                                     |
| Velocidade final          | wf | 1047,197551 rad/s  |                                     |

|                   |         |               |                    |
|-------------------|---------|---------------|--------------------|
| Tempo requerido   | delta t | ---           |                    |
|                   |         | ou            |                    |
| Torque disponível | Treq    | 3,00E+03 N*mm | sugerido 3000 N*mm |

|                          |         |     |                                                                 |
|--------------------------|---------|-----|-----------------------------------------------------------------|
| Tempo requerido (c/ I2)  | delta t | 0 s | $\text{delta } t = I1 * I2 * wf / (T * (I1 + I2))$              |
| Torque requerido (c/ I2) | Treq    | --- | $T_{\text{req}} = I1 * I2 * wf / (\text{delta } t * (I1 + I2))$ |

|                          |         |               |                                              |
|--------------------------|---------|---------------|----------------------------------------------|
| Tempo requerido (s/ I2)  | delta t | 0,000522966 s | $\text{delta } t = wf * I1 / T_{\text{req}}$ |
| Torque requerido (s/ I2) | Treq    | ---           | $T_{\text{req}} = wf * I1 / \text{delta } t$ |

##### Energia dissipada

|                                 |        |                   |                                                   |
|---------------------------------|--------|-------------------|---------------------------------------------------|
| Velocidade ang. motor           | w1     | 104,7197551 rad/s | (1000*PI/30)                                      |
| Velocidade ang. movido          | w2     | 1047,197551 rad/s | (10000*PI/30)                                     |
| Massa da embreagem              | m      | 0,1 kg            | (100 g)                                           |
| Capacidade térmica específica   | Cp     | 448 J/kg*K        |                                                   |
| Tempo de escorregamento         | t esc  | 1 s               | (1 s)                                             |
| Energia dissipada (c/ I2)       | Ediss  | 0,00E+00 J        | $Ediss = I2 * I2 * (w1 - w2)^2 / (2 * (I1 + I2))$ |
| Elevação de temperatura (c/ I2) | DeltaT | 0,00E+00 K        | $\Delta T = Ediss / (Cp * m)$                     |
| Energia dissipada (s/ I2)       | Ediss  | 3,14E+03 J        | $Ediss = T * wf * t_{\text{esc}}$                 |
| Elevação de temperatura (s/ I2) | DeltaT | 70,12483602 K     | $\Delta T = Ediss / (Cp * m)$                     |

**Flexão de engranagens de dentes retos**  
**ANSI/AGMA 2001, Shigley**

**Equação de tensão de flexão AGMA (14-15)**

$$\sigma = W_t \cdot K_o \cdot K_v \cdot K_s \cdot K_m \cdot K_b \cdot P_d / (F \cdot J) \quad [\text{N/mm}^2]$$

6,40

onde:

$$W_t = 60 \cdot 10^3 \cdot H / (\pi \cdot d \cdot n)$$

|     |                                              |         |                                                           |
|-----|----------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------------|
| Wt: | Carga transmitida [kN]                       | 22,92   |                                                           |
| H:  | Potência disponível (motor de arranque) [kW] | 36,00   | = 300 * 120V                                              |
| d:  | Diâmetro prim. da engr. [mm]                 | 30,00   | $M_t \cdot w = 3 \cdot (3000 \cdot \pi / 30) \text{ [W]}$ |
| n:  | Velocidade [rpm]                             | 1000,00 | $M_t \cdot w = 942,48$                                    |
| J:  | Fator geométrico                             | 0,40    | p. 699                                                    |
| m:  | Módulo [mm/dente]                            | 1,00    |                                                           |
| Pd: | Passo diametral [dentes/mm]                  | 1,00    | $P_d = 1/m$                                               |
| F:  | Largura de borda [mm]                        | 10,00   | $F = 10/P_d$                                              |

|     |                     |      |                                                                             |
|-----|---------------------|------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Ko: | Fator de sobrecarga | 1,00 | p. 711                                                                      |
| Kv: | Fator dinâmico      | 1,10 | $K_v = \text{se}(V_t \max < V_t; 1; 1; [(A + 200 \cdot B^{0,5})/23]^{0,5})$ |

**necessário calcular:**

|         |                                         |         |                                        |
|---------|-----------------------------------------|---------|----------------------------------------|
| Qv:     | Qualidade                               | 8,00    |                                        |
| B:      | Parâmetro de cálculo B                  | 0,63    | $B = 0,25 \cdot (1 - Q_v)^{2/3}$       |
| A:      | Parâmetro de cálculo A                  | 70,72   | $A = 50 + 56 \cdot (1 - B)$            |
| Vt max: | Velocidade tan. máx. para gráfico [m/s] | 28,67   | $V_t \max = [(A + Q_v - 3)^2] / 200$   |
| Vt:     | Velocidade para graf. 14.9              | 1570,80 | $V_t = (n \cdot \pi / 30) \cdot (d/2)$ |

|     |                         |      |                                        |
|-----|-------------------------|------|----------------------------------------|
| Ks: | Fator de Tamanho (AGMA) | 1,00 | $K_s = \text{se}(1/k_b > 1; 1/k_b; 1)$ |
|-----|-------------------------|------|----------------------------------------|

**necessário calcular:**

|     |                  |      |                         |
|-----|------------------|------|-------------------------|
| kb: | Fator de Tamanho | 1,64 | $k_b = (d/0,3)^{0,107}$ |
|-----|------------------|------|-------------------------|

|     |                             |      |                                                    |
|-----|-----------------------------|------|----------------------------------------------------|
| Kb: | Fator de espessura de borda | 1,00 | $K_b = \text{se}(m_b > 1,2; 1; 1, \ln(2,242/m_b))$ |
|-----|-----------------------------|------|----------------------------------------------------|

**necessário calcular:**

|     |                         |       |                         |
|-----|-------------------------|-------|-------------------------|
| tr: | Espessura da borda [mm] | 10,00 | $tr = F$                |
| ht: | Altura do dente [mm]    | 2,25  | $ht = 1/P_d + 1,25/P_d$ |
| mb: | Razão auxiliar          | 4,44  | $mb = tr/ht$            |

$$k_m = 1 + C_{mc} \cdot (C_{pf} \cdot C_{pm} + C_{ma} \cdot C_e)$$

|     |                                |      |            |
|-----|--------------------------------|------|------------|
| Km: | Fator de distribuição de carga | 1,02 | p. 705,706 |
|-----|--------------------------------|------|------------|

**necessário calcular:**

|      |                        |           |            |
|------|------------------------|-----------|------------|
| Cmc: | Com/Sem coroamento     | 1         |            |
| Cpf: | Fator diâmetro/largura | 8,33E-03  | (eq 14-32) |
| Com: | Posição entre mancais  | 1         |            |
| A:   | Cte empírica A         | 0,0036    |            |
| B:   | Cte empírica B         | 0,0102    |            |
| C:   | Cte empírica C         | -8,22E-05 |            |
| Cma: | Fator de precisão      | 7,60E-03  | (eq 14-34) |
| Ce:  | Fator de montagem      | 1         |            |

**Equação AGMA para o limite de resistência à fadiga de flexão**

$$\sigma_{all} = S_t \cdot Y_n / (S_f \cdot K_t \cdot K_r)$$

42,44

onde:

|         |                                           |          |                                              |
|---------|-------------------------------------------|----------|----------------------------------------------|
| St:     | Núm. de tensão admissível de flexão [Mpa] | 241,15   | p. 694                                       |
| Yn:     | Fator de ciclagem de tensão               | 1,10     | p. 708                                       |
| N:      | Número de ciclos de carga                 | 1,00E+07 |                                              |
| Sf:     | Fator de segurança                        | 5,00     | definir ou isolar                            |
| Kt:     | Fator de temperatura                      | 1,00     | p. 709                                       |
| Kr:     | Fator de confiabilidade                   | 1,25     | p. 709                                       |
| Sf tot: | Fator de segurança à flexão               | 33,14    | $SF_{tot} = \sigma_{all} \cdot S_f / \sigma$ |



**Desgaste de engrenagens de dentes retos**  
**ANSI/AGMA 2001**

**Equação para a tensão de contato AGMA**

$$\sigma_c = C_p \left[ \frac{W_t \cdot K_o \cdot K_v \cdot K_s \cdot K_m \cdot C_f}{(d_p \cdot F)^{1/2}} \right]^{0,5}$$

155,43

onde:

Cp: Coeficiente elástico (mesmos materiais)

187,03

$$C_p = \left\{ \frac{1}{\pi \left[ \frac{(1-\nu_p)^2}{E_p} + \frac{(1-\nu_c)^2}{E_c} \right]} \right\}^{0,5}$$

**necessário calcular:**

Ep: Mód. de elasticidade pinhão [MPa]

2,00E+05

aço

vp: Coef. de Poisson pinhão

0,30

Ec: Mód. de elasticidade coroa [MPa]

2,00E+05

aço

vc: Coef. de Poisson coroa

0,30

Ko Fator de sobrecarga

1,00

p.711

Kv: Fator dinâmico

1,10

análogo acima

Ks: Fator de Tamanho

1,00

análogo acima

Km: Fator de distribuição de carga

1,02

análogo acima

Cf: Fator de condição superficial

1,00

p.691

I: Fator geométrico

0,12

p.701

**necessário calcular**

mg: Razão de velocidades

3,33

mg = razão de redução

phi: Ângulo de pressão [rad]

0,35

20 graus

dp: Diâmetro (pinhão)

30,00

análogo acima

F: Largura de face

10,00

análogo acima

**Resistência à fadiga de desgaste**

$$\sigma_{c\ all} = S_c \cdot Z_n \cdot C_h / (S_h \cdot K_t \cdot K_r)$$

136,42

Sc: Resistência de contato

775,13

p.697,698

(conversão pág.901)

Zn: Fator de ciclagem de tensão

1,10

p.708

Ch: Fator de razão de dureza

1,00

Ch=1+A\*(mg-1)

**necessário calcular:**

A': Fator de cálculo

0,00

(durezas de pinhão e coroa iguais)

Sh: Fator de segurança

5,00

definir ou isolar

Kt: Fator de temperatura

1,00

p.709

Kr: Fator de confiabilidade

1,25

p.709

SF tot: Fator de segurança à fadiga (10<sup>6</sup> ciclos)

4,39

$$SF_{tot} = \sigma_c \cdot S_h / \sigma_{all}$$

**Dimensionamento de eixos****ASME B106 (segunda impressão), Shigley****Eixo de entrada (dist. mínima motor-mancal)****Cargas atuantes**

|     |                              |         |                                   |
|-----|------------------------------|---------|-----------------------------------|
| Fr: | Força radial na engr. [N]    | 1390,26 | $Fr = Ft \cdot \tan(\phi)$        |
| Fa: | Força radial no mancal A [N] | 695,13  | $Fa = Fr \cdot L_b / (L_a + L_b)$ |
| Fb: | Força radial no mancal B [N] | 695,13  | $Fb = Fr - Fa$                    |

**Necessário calcular:**

|          |                                     |         |                        |
|----------|-------------------------------------|---------|------------------------|
| Ft:      | Força tangencial [N]                | 3819,72 | $Ft = 2 \cdot Mt / d$  |
| $\phi$ : | Ângulo de pressão [rad]             | 0,35    | 20 graus               |
| Wt:      | Potência disponível [kW]            | 36,00   | $Wt = 300A \cdot 120V$ |
| Mt:      | Momento torsor [N*m]                | 114,59  | $Mt = Wt / w$          |
| w:       | Velocidade de rotação [rad/s]       | 314,16  | 3000 rpm               |
| d:       | Diâmetro prim. engr. [mm]           | 30,00   |                        |
| La:      | Maior dist. entre mancal-engr. [mm] | 10,00   |                        |
| Lb:      | Menor dist. entre mancal-engr. [mm] | 10,00   |                        |

**Iteração para diâmetro de eixo (Mm=0 e Ta=0)**

|         |                                   |       |
|---------|-----------------------------------|-------|
| d min1: | Diâmetro mínimo (iteração 1) [mm] | 17,12 |
|---------|-----------------------------------|-------|

$$d_{min} = \{16 \cdot n \cdot K_f \cdot Ma / (P \cdot Se) \cdot [1 + (1 + 3 \cdot (K_f \cdot T_m \cdot Se / (K_f \cdot Ma \cdot Sut))^{1/2})^{1/2}]\}^{1/3}$$
**Necessário calcular:**

|             |                                        |           |                                                                       |
|-------------|----------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------|
| Ma:         | Momento de flexão alternante [N*mm]    | 13902,64  | $Ma = Fr \cdot La$                                                    |
| Tm:         | Momento de torção média [N*mm]         | 114591,56 | $Tm = Ft \cdot d$                                                     |
| d1:         | Diâmetro inicial de cálculo [mm]       | 20,00     |                                                                       |
| Se:         | Resistência ao escoamento [MPa]        | 517,00    | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931                                  |
| Sut:        | Resistência à tração [MPa]             | 669,00    | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931                                  |
| Kf:         | Fator de conc. tensão de fadiga-flexão | 1,83      | $Kf = Kt / [(1 + 2 \cdot (Kt - 1) / Kt) \cdot a^{0,5} / r^{0,5}]$     |
| Kfs:        | Fator de conc. tensão de fadiga-torsão | 1,49      | $Kft = Ktf / [(1 + 2 \cdot (Ktf - 1) / Ktf) \cdot a^{0,5} / r^{0,5}]$ |
| $a^{0,5}$ : | Parâmetro de Heywood                   | 0,21      | $a^{0,5} = 139 / Sut$ p.330                                           |
| r:          | Raio de arredondamento [mm]            | 1,00      |                                                                       |
| Kt:         | Fator de conc. de tensão-flexão        | 2,25      | p.921                                                                 |
| Kts:        | Fator de conc. de tensão-torsão        | 1,75      | p.921                                                                 |
| D1:         | Diâmetro inicial de ressalto [mm]      | 30,00     |                                                                       |
| D1/d1:      | Razão de consulta 1-conc. de tensão    | 1,50      | na descrição                                                          |
| r/d1:       | Razão de consulta 2-conc. de tensão    | 0,05      | na descrição                                                          |
| n:          | Fator de segurança                     | 2,00      |                                                                       |

|         |                                   |       |
|---------|-----------------------------------|-------|
| d min2: | Diâmetro mínimo (iteração 2) [mm] | 16,56 |
|---------|-----------------------------------|-------|

$$d_{min} = \{16 \cdot n \cdot K_f \cdot Ma / (P \cdot Se) \cdot [1 + (1 + 3 \cdot (K_f \cdot T_m \cdot Se / (K_f \cdot Ma \cdot Sut))^{1/2})^{1/2}]\}^{1/3}$$
**Necessário calcular:**

|             |                                        |           |                                                                       |
|-------------|----------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------|
| Ma:         | Momento de flexão alternante [N*mm]    | 13902,64  | $Ma = Fr \cdot La$                                                    |
| Tm:         | Momento de torção média [N*mm]         | 114591,56 | $Tm = Ft \cdot d$                                                     |
| d2:         | Diâmetro 2 de cálculo [mm]             | 15,00     |                                                                       |
| Se:         | Resistência ao escoamento [MPa]        | 517,00    | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931                                  |
| Sut:        | Resistência à tração [MPa]             | 669,00    | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931                                  |
| Kf:         | Fator de conc. tensão de fadiga-flexão | 1,59      | $Kf = Kt / [(1 + 2 \cdot (Kt - 1) / Kt) \cdot a^{0,5} / r^{0,5}]$     |
| Kfs:        | Fator de conc. tensão de fadiga-torsão | 1,35      | $Kft = Ktf / [(1 + 2 \cdot (Ktf - 1) / Ktf) \cdot a^{0,5} / r^{0,5}]$ |
| $a^{0,5}$ : | Parâmetro de Heywood                   | 0,21      | $a^{0,5} = 139 / Sut$ p.330                                           |
| r:          | Raio de arredondamento [mm]            | 1,00      |                                                                       |
| Kt:         | Fator de conc. de tensão-flexão        | 1,90      | p.921                                                                 |
| Kts:        | Fator de conc. de tensão-torsão        | 1,55      | p.921                                                                 |
| D2:         | Diâmetro 2 de ressalto [mm]            | 20,00     |                                                                       |
| D2/d2:      | Razão de consulta 1-conc. de tensão    | 1,33      | na descrição                                                          |
| r/d2:       | Razão de consulta 2-conc. de tensão    | 0,07      | na descrição                                                          |
| n:          | Fator de segurança                     | 2,00      |                                                                       |

|         |                                   |       |
|---------|-----------------------------------|-------|
| d min3: | Diâmetro mínimo (iteração 3) [mm] | 16,13 |
|---------|-----------------------------------|-------|

$$d_{min} = \{16 \cdot n \cdot K_f \cdot Ma / (P \cdot Se) \cdot [1 + (1 + 3 \cdot (K_f \cdot T_m \cdot Se / (K_f \cdot Ma \cdot Sut))^{1/2})^{1/2}]\}^{1/3}$$
**Necessário calcular:**

|             |                                        |           |                                                                       |
|-------------|----------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------|
| Ma:         | Momento de flexão alternante [N*mm]    | 13902,64  | $Ma = Fr \cdot La$                                                    |
| Tm:         | Momento de torção média [N*mm]         | 114591,56 | $Tm = Ft \cdot d$                                                     |
| d3:         | Diâmetro 3 de cálculo [mm]             | 18,00     |                                                                       |
| Se:         | Resistência ao escoamento [MPa]        | 517,00    | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931                                  |
| Sut:        | Resistência à tração [MPa]             | 669,00    | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931                                  |
| Kf:         | Fator de conc. tensão de fadiga-flexão | 1,45      | $Kf = Kt / [(1 + 2 \cdot (Kt - 1) / Kt) \cdot a^{0,5} / r^{0,5}]$     |
| Kfs:        | Fator de conc. tensão de fadiga-torsão | 1,25      | $Kft = Ktf / [(1 + 2 \cdot (Ktf - 1) / Ktf) \cdot a^{0,5} / r^{0,5}]$ |
| $a^{0,5}$ : | Parâmetro de Heywood                   | 0,21      | $a^{0,5} = 139 / Sut$ p.330                                           |
| r:          | Raio de arredondamento [mm]            | 1,00      |                                                                       |
| Kt:         | Fator de conc. de tensão-flexão        | 1,70      | p.921                                                                 |
| Kts:        | Fator de conc. de tensão-torsão        | 1,40      | p.921                                                                 |
| D3:         | Diâmetro 3 de ressalto [mm]            | 20,00     |                                                                       |
| D3/d3:      | Razão de consulta 1-conc. de tensão    | 1,11      | na descrição                                                          |
| r/d3:       | Razão de consulta 2-conc. de tensão    | 0,06      | na descrição                                                          |
| n:          | Fator de segurança                     | 2,00      |                                                                       |

**Eixo de saída (dist. mínima embreagem-mancal)****Cargas atuantes**

|     |                              |        |                                |
|-----|------------------------------|--------|--------------------------------|
| Fr: | Força radial na engr. [N]    | 125,12 | $Fr = Ft \cdot \tan(\phi)$     |
| Fa: | Força radial no mancal A [N] | 62,56  | $Fa = Fr \cdot Lb / (La + Lb)$ |
| Fb: | Força radial no mancal B [N] | 62,56  | $Fb = Fr - Fa$                 |

**Necessário calcular:**

|          |                                     |         |                        |
|----------|-------------------------------------|---------|------------------------|
| Ft:      | Força tangencial [N]                | 343,77  | $Ft = 2 \cdot Mt / d$  |
| $\phi$ : | Ângulo de pressão [rad]             | 0,35    | 20 graus               |
| Wt:      | Potência disponível [kW]            | 36,00   | $Wt = 300A \cdot 120V$ |
| Mt:      | Momento torsor [N*m]                | 34,38   | $Mt = Wt / w$          |
| w:       | Velocidade de rotação [rad/s]       | 1047,20 | 10000 rpm              |
| d:       | Diâmetro prim. engr. [mm]           | 100,00  |                        |
| La:      | Maior dist. entre mancal-engr. [mm] | 10,00   |                        |
| Lb:      | Menor dist. entre mancal-engr. [mm] | 10,00   |                        |

**Iteração para diâmetro de eixo (Mm=0 e Ta=0)**

d min1: Diâmetro mínimo (iteração 1) [mm] 11,17

$$d_{\min} = \{16 \cdot n \cdot K_f \cdot Ma / (P \cdot Se) \cdot [1 + (1 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot T_m \cdot Se / (K_f \cdot Ma \cdot Sut))^2)^{(1/2)}]\}^{(1/3)}$$

**Necessário calcular:**

|             |                                        |          |                                                                         |
|-------------|----------------------------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------|
| Ma:         | Momento de flexão alternante [N*mm]    | 1251,24  | $Ma = Fr \cdot La$                                                      |
| Tm:         | Momento de torção média [N*mm]         | 34377,47 | $Tm = Ft \cdot d$                                                       |
| d1:         | Diâmetro inicial de cálculo [mm]       | 20,00    |                                                                         |
| Se:         | Resistência ao escoamento [MPa]        | 517,00   | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931                                    |
| Sut:        | Resistência à tração [MPa]             | 669,00   | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931                                    |
| Kf:         | Fator de conc. tensão de fadiga-flexão | 1,83     | $Kf = Kt / \{[1 + 2 \cdot (Kt - 1) / Kt] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$     |
| Kfs:        | Fator de conc. tensão de fadiga-torsão | 1,49     | $Kft = Ktf / \{[1 + 2 \cdot (Ktf - 1) / Ktf] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$ |
| $a^{0,5}$ : | Parâmetro de Heywood                   | 0,21     | $a^{0,5} = 139 / Sut$ p.330                                             |
| r:          | Raio de arredondamento [mm]            | 1,00     |                                                                         |
| Kt:         | Fator de conc. de tensão-flexão        | 2,25     | p.921                                                                   |
| Kts:        | Fator de conc. de tensão-torsão        | 1,75     | p.921                                                                   |
| D1:         | Diâmetro inicial de ressalto [mm]      | 30,00    |                                                                         |
| D1/d1:      | Razão de consulta 1-conc. de tensão    | 1,50     | na descrição                                                            |
| r/d1:       | Razão de consulta 2-conc. de tensão    | 0,05     | na descrição                                                            |
| n:          | Fator de segurança                     | 2,00     |                                                                         |

d min2: Diâmetro mínimo (iteração 2) [mm] 10,72

$$d_{\min} = \{16 \cdot n \cdot K_f \cdot Ma / (P \cdot Se) \cdot [1 + (1 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot T_m \cdot Se / (K_f \cdot Ma \cdot Sut))^2)^{(1/2)}]\}^{(1/3)}$$

**Necessário calcular:**

|             |                                        |          |                                                                         |
|-------------|----------------------------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------|
| Ma:         | Momento de flexão alternante [N*mm]    | 1251,24  | $Ma = Fr \cdot La$                                                      |
| Tm:         | Momento de torção média [N*mm]         | 34377,47 | $Tm = Ft \cdot d$                                                       |
| d2:         | Diâmetro 2 de cálculo [mm]             | 10,00    |                                                                         |
| Se:         | Resistência ao escoamento [MPa]        | 517,00   | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931                                    |
| Sut:        | Resistência à tração [MPa]             | 669,00   | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931                                    |
| Kf:         | Fator de conc. tensão de fadiga-flexão | 1,45     | $Kf = Kt / \{[1 + 2 \cdot (Kt - 1) / Kt] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$     |
| Kfs:        | Fator de conc. tensão de fadiga-torsão | 1,32     | $Kft = Ktf / \{[1 + 2 \cdot (Ktf - 1) / Ktf] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$ |
| $a^{0,5}$ : | Parâmetro de Heywood                   | 0,21     | $a^{0,5} = 139 / Sut$ p.330                                             |
| r:          | Raio de arredondamento [mm]            | 1,00     |                                                                         |
| Kt:         | Fator de conc. de tensão-flexão        | 1,70     | p.921                                                                   |
| Kts:        | Fator de conc. de tensão-torsão        | 1,50     | p.921                                                                   |
| D2:         | Diâmetro 2 de ressalto [mm]            | 15,00    |                                                                         |
| D2/d2:      | Razão de consulta 1-conc. de tensão    | 1,50     | na descrição                                                            |
| r/d2:       | Razão de consulta 2-conc. de tensão    | 0,10     | na descrição                                                            |
| n:          | Fator de segurança                     | 2,00     |                                                                         |

d min3: Diâmetro mínimo (iteração 3) [mm] 10,81

$$d_{\min} = \{16 \cdot n \cdot K_f \cdot Ma / (P \cdot Se) \cdot [1 + (1 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot T_m \cdot Se / (K_f \cdot Ma \cdot Sut))^2)^{(1/2)}]\}^{(1/3)}$$

**Necessário calcular:**

|             |                                        |          |                                                                         |
|-------------|----------------------------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------|
| Ma:         | Momento de flexão alternante [N*mm]    | 1251,24  | $Ma = Fr \cdot La$                                                      |
| Tm:         | Momento de torção média [N*mm]         | 34377,47 | $Tm = Ft \cdot d$                                                       |
| d3:         | Diâmetro 3 de cálculo [mm]             | 12,00    |                                                                         |
| Se:         | Resistência ao escoamento [MPa]        | 517,00   | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931                                    |
| Sut:        | Resistência à tração [MPa]             | 669,00   | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931                                    |
| Kf:         | Fator de conc. tensão de fadiga-flexão | 1,49     | $Kf = Kt / \{[1 + 2 \cdot (Kt - 1) / Kt] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$     |
| Kfs:        | Fator de conc. tensão de fadiga-torsão | 1,35     | $Kft = Ktf / \{[1 + 2 \cdot (Ktf - 1) / Ktf] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$ |
| $a^{0,5}$ : | Parâmetro de Heywood                   | 0,21     | $a^{0,5} = 139 / Sut$ p.330                                             |
| r:          | Raio de arredondamento [mm]            | 1,00     |                                                                         |
| Kt:         | Fator de conc. de tensão-flexão        | 1,75     | p.921                                                                   |
| Kts:        | Fator de conc. de tensão-torsão        | 1,55     | p.921                                                                   |
| D3:         | Diâmetro 3 de ressalto [mm]            | 17,00    |                                                                         |
| D3/d3:      | Razão de consulta 1-conc. de tensão    | 1,42     | na descrição                                                            |
| r/d3:       | Razão de consulta 2-conc. de tensão    | 0,08     | na descrição                                                            |
| n:          | Fator de segurança                     | 2,00     |                                                                         |

**Seleção de rolamentos na redução (de esferas, lubrificados e fechados)**Catálogo NSK: [http://www.nsk.com.br/pag\\_cat\\_manu2.pdf](http://www.nsk.com.br/pag_cat_manu2.pdf) (pág.30)

Engrenagem reta: carga equivalente puramente radial

**Eixo de entrada****Cargas atuantes**

|     |                              |         |                                |
|-----|------------------------------|---------|--------------------------------|
| Fr: | Força radial na engr. [N]    | 1390,26 | $Fr = Ft \cdot \tan(\phi)$     |
| Fa: | Força radial no mancal A [N] | 695,13  | $Fa = Fr \cdot Lb / (La + Lb)$ |
| Fb: | Força radial no mancal B [N] | 695,13  | $Fb = Fr - Fa$                 |

**Necessário calcular:**

|          |                                     |         |                        |
|----------|-------------------------------------|---------|------------------------|
| Ft:      | Força tangencial [N]                | 3819,72 | $Ft = 2 \cdot Mt / d$  |
| $\phi$ : | Ângulo de pressão [rad]             | 0,35    | 20 graus               |
| Wt:      | Potência disponível [kW]            | 36,00   | $Wt = 300A \cdot 120V$ |
| Mt:      | Momento torsor [N*m]                | 114,59  | $Mt = Wt / w$          |
| w:       | Velocidade de rotação [rad/s]       | 314,16  | 3000 rpm               |
| d:       | Diâmetro prim. engr. [mm]           | 30,00   |                        |
| La:      | Maior dist. entre mancal-engr. [mm] | 10,00   |                        |
| Lb:      | Menor dist. entre mancal-engr. [mm] | 10,00   |                        |

**Mancal A**

|    |                                    |         |                          |
|----|------------------------------------|---------|--------------------------|
| w: | velocidade de rotação [rpm]        | 3000,00 | análogo acima            |
| d: | diâmetro interno do rolamento [mm] | 18,00   |                          |
| C: | Capacidade de carga dinâmica [kN]  | 43,86   | $C = L^{(3/10)} \cdot P$ |

**Necessário calcular:**

|    |                       |          |          |
|----|-----------------------|----------|----------|
| L: | Vida nominal [rev]    | 1,00E+06 |          |
| P: | Carga equivalente [N] | 695,13   | $P = Fa$ |

**Mancal B**

|    |                                    |         |                          |
|----|------------------------------------|---------|--------------------------|
| w: | velocidade de rotação [rpm]        | 3000,00 | análogo acima            |
| d: | diâmetro interno do rolamento [mm] | 18,00   |                          |
| C: | Capacidade de carga dinâmica [kN]  | 43,86   | $C = L^{(3/10)} \cdot P$ |

**Necessário calcular:**

|    |                       |          |          |
|----|-----------------------|----------|----------|
| L: | Vida nominal [rev]    | 1,00E+06 |          |
| P: | Carga equivalente [N] | 695,13   | $P = Fb$ |

**Eixo de saída****Cargas atuantes**

|     |                              |        |                                |
|-----|------------------------------|--------|--------------------------------|
| Fr: | Força radial na engr. [N]    | 125,12 | $Fr = Ft \cdot \tan(\phi)$     |
| Fa: | Força radial no mancal A [N] | 62,56  | $Fa = Fr \cdot Lb / (La + Lb)$ |
| Fb: | Força radial no mancal B [N] | 62,56  | $Fb = Fr - Fa$                 |

**Necessário calcular:**

|      |                                     |         |                        |
|------|-------------------------------------|---------|------------------------|
| Ft:  | Força tangencial [N]                | 343,77  | $Ft = 2 \cdot Mt / d$  |
| phi: | Ângulo de pressão [rad]             | 0,35    | 20 graus               |
| Wt:  | Potência disponível [kW]            | 36,00   | $Wt = 300A \cdot 120V$ |
| Mt:  | Momento torsor [N*m]                | 34,38   | $Mt = Wt / w$          |
| w:   | Velocidade de rotação [rad/s]       | 1047,20 | 3000 rpm               |
| d:   | Diâmetro prim. engr. [mm]           | 100,00  |                        |
| La:  | Maior dist. entre mancal-engr. [mm] | 10,00   |                        |
| Lb:  | Menor dist. entre mancal-engr. [mm] | 10,00   |                        |

**Mancal A**

|    |                                    |          |                          |
|----|------------------------------------|----------|--------------------------|
| w: | velocidade de rotação [rpm]        | 10000,00 | análogo acima            |
| d: | diâmetro interno do rolamento [mm] | 12,00    |                          |
| C: | Capacidade de carga dinâmica [kN]  | 3,95     | $C = L^{(3/10)} \cdot P$ |

**Necessário calcular:**

|    |                       |          |          |
|----|-----------------------|----------|----------|
| L: | Vida nominal [rev]    | 1,00E+06 |          |
| P: | Carga equivalente [N] | 62,56    | $P = Fa$ |

**Mancal B**

|    |                                    |          |                          |
|----|------------------------------------|----------|--------------------------|
| w: | velocidade de rotação [rpm]        | 10000,00 | análogo acima            |
| d: | diâmetro interno do rolamento [mm] | 12,00    |                          |
| C: | Capacidade de carga dinâmica [kN]  | 3,95     | $C = L^{(3/10)} \cdot P$ |

**Necessário calcular:**

|    |                       |          |          |
|----|-----------------------|----------|----------|
| L: | Vida nominal [rev]    | 1,00E+06 |          |
| P: | Carga equivalente [N] | 62,56    | $P = Fb$ |

## 6.2 Cálculos do Modelo 2

Eixo de saída do motor - pinhão

**Flexão de engrenagens de dentes retos**  
ANSI/AGMA 2001, Shigley

**Equação de tensão de flexão AGMA (14-15)**

$$\sigma = W_t \cdot K_0 \cdot K_v \cdot K_s \cdot K_m \cdot K_b \cdot P_d / (F \cdot J) \quad [\text{N/mm}^2]$$

41,68

onde:

$$W_t = 60 \cdot 10^6 \cdot H / (\pi \cdot d \cdot n)$$

Wt: Carga transmitida [N]  
H: Potência disponível (motor de arranque) [kW]  
d: Diâmetro prim. da engr. [mm]  
n: Velocidade [rpm]  
J: Fator geométrico  
m: Módulo [mm/dente]  
Pd: Passo diametral [dentes/mm]  
F: Largura de borda [mm]

127,32  
0,80  
120,00  
1000,00  
0,40  
1,00  
1,00  
12,00

Catálogo BOSH (carros pequenos)

p.699

$P_d = 1/m$

$F = 10/P_d$

Ko Fator de sobrecarga

1,00 p.711

Kv: Fator dinâmico

1,58  $K_v = \text{se}(V_t \max < V_t; 1, 1; [(A + 200 \cdot B^{0,5})/23]^B)$

**necessário calcular:**

Qv: Qualidade  
B: Parâmetro de cálculo B  
A: Parâmetro de cálculo A  
Vt max: Velocidade tan. máx. para gráfico [m/s]  
Vt: Velocidade para graf. 14.9 [m/s]

8,00  
0,63  
70,72  
28,67  
6,28

$B = 0,25 \cdot (1 - Q_v)^{2/3}$

$A = 50 + 56 \cdot (1 - B)$

$V_t \max = [(A + Q_v - 3)^2]/200$

$V_t = (n \cdot \pi / 30) \cdot (d/2)$

Ks: Fator de Tamanho (AGMA)

1,00  $K_s = \text{se}(1/k_b > 1; 1/k_b; 1)$

**necessário calcular:**

kb Fator de Tamanho

1,90  $k_b = (d/0,3)^{0,107}$

Kb: Fator de espessura de borda

1,00  $K_b = \text{se}(m_b > 1,2; 1; 1, \ln(2,242/m_b))$

**necessário calcular:**

tr: Espessura da borda [mm]  
ht: Altura do dente [mm]  
mb: Razão auxiliar

12,00  
2,25  
5,33

$tr = F$

$ht = 1/P_d + 1,25/P_d$

$mb = tr/ht$

$$k_m = 1 + C_{mc} \cdot (C_{pf} \cdot C_{pm} + C_{ma} \cdot C_e)$$

Km: Fator de distribuição de carga

0,99 p.705,706

**necessário calcular:**

Cmc: Com/Sem coroamento  
Cpf: Fator diâmetro/largura  
Com: Posção entre mancais  
A: Cte empírica A  
B: Cte empírica B  
C: Cte empírica C  
Cma: Fator de precisão  
Ce: Fator de montagem

1  
-1,50E-02  
1  
0,0036  
0,0102  
-8,22E-05  
8,40E-03  
1

(eq 14-32)

(eq 14-34)

**Equação AGMA para o limite de resistência à fadiga de flexão**

$$\sigma_{all} = S_t \cdot Y_n / (S_f \cdot K_t \cdot K_r)$$

42,44

**onde:**

St: Núm. de tensão admissível de flexão [Mpa]

241,15 p.694

Yn: Fator de ciclagem de tensão

1,10 p.708

**necessário calcular:**

N: Número de ciclos de carga

1,00E+07

Sf: Fator de segurança

5,00 definir ou isolar

Kt: Fator de temperatura

1,00 p.709

Kr: Fator de confiabilidade

1,25 p.709

Sf tot: Fator de segurança à flexão

5,09  $SF_{tot} = \sigma_{all} \cdot S_f / \sigma$ **Desgaste de engrenagens de dentes retos****ANSI/AGMA 2001****Equação para a tensão de contato AGMA**

$$\sigma_c = C_p [W_t \cdot K_o \cdot K_v \cdot K_s \cdot K_m \cdot C_f / (d_p \cdot F \cdot I)]^{0,5}$$

200,81

**onde:**

Cp: Coeficiente elástico (mesmos materiais)

187,03  $C_p = \{1/[PI \cdot ((1-\nu_p^2)/E_p + (1-\nu_c)/E_c)]\}^{0,5}$ **necessário calcular:**

Ep: Mód. de elasticidade pinhão [MPa]

2,00E+05 aço

vp: Coef. de Poisson pinhão

0,30

Ec: Mód. de elasticidade coroa [MPa]

2,00E+05 aço

vc: Coef. de Poisson coroa

0,30

Ko: Fator de sobrecarga

1,00 p.711

Kv: Fator dinâmico

1,58 análogo acima

Ks: Fator de Tamanho

1,00 análogo acima

Km: Fator de distribuição de carga

0,99 análogo acima

Cf: Fator de condição superficial

1,00 p.691

I: Fator geométrico

0,12 p.701

**necessário calcular:**

mg: Razão de velocidades

3,00  $mg = \text{razão de redução}$ 

phi: Ângulo de pressão [rad]

0,35 20 graus

dp: Diâmetro

120,00 análogo acima

F: Largura de face

12,00 análogo acima

**Resistência à fadiga de desgaste**

$$\sigma_{all} = S_c \cdot Z_n \cdot C_h / (S_h \cdot K_t \cdot K_r)$$

136,42

Sc: Resistência de contato

775,13 p.697,698

(conversão pág.901)

Zn: Fator de ciclagem de tensão

1,10 p.708

Ch: Fator de razão de dureza

1,00  $Ch = 1 + A \cdot (mg - 1)$ **necessário calcular:**

A': Fator de cálculo

0,00 (durezas de pinhão e coroa iguais)

Sh: Fator de segurança

5,00 definir ou isolar

Kt: Fator de temperatura

1,00 p.709

Kr: Fator de confiabilidade

1,25 p.709

Sh tot: Fator de segurança à fadiga (10^6 ciclos)

3,40  $SF_{tot} = \sigma \cdot c \cdot Sh / \sigma_{all}$

Eixo intermediário - pinhão

**Flexão de engrenagens de dentes retos**  
**ANSI/AGMA 2001, Shigley**

**Equação de tensão de flexão AGMA (14-15)**

$$\sigma = W_t \cdot K_O \cdot K_v \cdot K_s \cdot K_m \cdot K_b \cdot P_d / (F \cdot J) \quad [\text{N/mm}^2]$$

18,5869

onde:

$$W_t = 60 \cdot 10^6 \cdot H / (\pi \cdot d \cdot n)$$

|     |                                              |         |                                 |
|-----|----------------------------------------------|---------|---------------------------------|
| Wt: | Carga transmitida [N]                        | 56,59   |                                 |
| H:  | Potência disponível (motor de arranque) [kW] | 0,80    | Catálogo BOSH (carros pequenos) |
| d:  | Diâmetro prim. da engr. [mm]                 | 90,00   |                                 |
| n:  | Velocidade [rpm]                             | 3000,00 |                                 |
| J:  | Fator geométrico                             | 0,40    | p.699                           |
| m:  | Módulo [mm/dente]                            | 1,00    |                                 |
| Pd: | Passo diametral [dentes/mm]                  | 1,00    | $Pd = 1/m$                      |
| F:  | Largura de borda [mm]                        | 12,00   | $F = 10/Pd$                     |

|     |                     |      |                                                                        |
|-----|---------------------|------|------------------------------------------------------------------------|
| Ko  | Fator de sobrecarga | 1,00 | p.711                                                                  |
| Kv: | Fator dinâmico      | 1,58 | $K_v = se(V_t \max < V_t; 1; 1; [(A + 200 \cdot B^{0,5})/23]^{0,5} B)$ |

**necessário calcular:**

|         |                                         |       |                                        |
|---------|-----------------------------------------|-------|----------------------------------------|
| Qv:     | Qualidade                               | 8,00  |                                        |
| B:      | Parâmetro de cálculo B                  | 0,63  | $B = 0,25 \cdot (1 - Q_v)^{2/3}$       |
| A:      | Parâmetro de cálculo A                  | 70,72 | $A = 50 + 56 \cdot (1 - B)$            |
| Vt max: | Velocidade tan. máx. para gráfico [m/s] | 28,67 | $V_t \max = [(A + Q_v - 3)^2] / 200$   |
| Vt:     | Velocidade para graf. 14.9 [m/s]        | 14,14 | $V_t = (n \cdot \pi / 30) \cdot (d/2)$ |

|     |                         |      |                                 |
|-----|-------------------------|------|---------------------------------|
| Ks: | Fator de Tamanho (AGMA) | 1,00 | $K_s = se(1/k_b > 1; 1/k_b; 1)$ |
|-----|-------------------------|------|---------------------------------|

**necessário calcular:**

|    |                  |      |                         |
|----|------------------|------|-------------------------|
| kb | Fator de Tamanho | 1,84 | $k_b = (d/0,3)^{0,107}$ |
|----|------------------|------|-------------------------|

|     |                             |      |                                           |
|-----|-----------------------------|------|-------------------------------------------|
| Kb: | Fator de espessura de borda | 1,00 | $K_b = se(mb > 1,2; 1; 1, \ln(2,242/mb))$ |
|-----|-----------------------------|------|-------------------------------------------|

**necessário calcular:**

|     |                         |       |                       |
|-----|-------------------------|-------|-----------------------|
| tr: | Espessura da borda [mm] | 12,00 | $tr = F$              |
| ht: | Altura do dente [mm]    | 2,25  | $ht = 1/Pd + 1,25/Pd$ |
| mb: | Razão auxiliar          | 5,33  | $mb = tr/ht$          |

$$k_m = 1 + C_{mc} \cdot (C_{pf} \cdot C_{pm} + C_{ma} \cdot C_e)$$

|     |                                |      |           |
|-----|--------------------------------|------|-----------|
| Km: | Fator de distribuição de carga | 1,00 | p.705,706 |
|-----|--------------------------------|------|-----------|

**necessário calcular:**

|      |                        |           |            |
|------|------------------------|-----------|------------|
| Cmc: | Com/Sem coroamento     | 1         |            |
| Cpf: | Fator diâmetro/largura | -1,17E-02 | (eq 14-32) |
| Com: | Posção entre mancais   | 1         |            |
| A:   | Cte empírica A         | 0,0036    |            |
| B:   | Cte empírica B         | 0,0102    |            |
| C:   | Cte empírica C         | -8,22E-05 |            |
| Cma: | Fator de precisão      | 8,40E-03  | (eq 14-34) |
| Ce:  | Fator de montagem      | 1         |            |

**Equação AGMA para o limite de resistência à fadiga de flexão**

$$\sigma_{all} = S_t \cdot Y_n / (S_f \cdot K_t \cdot K_r)$$

42,44

onde:

|     |                                           |        |       |
|-----|-------------------------------------------|--------|-------|
| St: | Núm. de tensão admissível de flexão [Mpa] | 241,15 | p.694 |
| Yn: | Fator de ciclagem de tensão               | 1,10   | p.708 |

**necessário calcular:**

|    |                           |          |  |
|----|---------------------------|----------|--|
| N: | Número de ciclos de carga | 1,00E+07 |  |
|----|---------------------------|----------|--|

|     |                         |      |                   |
|-----|-------------------------|------|-------------------|
| Sf: | Fator de segurança      | 5,00 | definir ou isolar |
| Kt: | Fator de temperatura    | 1,00 | p.709             |
| Kr: | Fator de confiabilidade | 1,25 | p.709             |

|         |                             |       |                                             |
|---------|-----------------------------|-------|---------------------------------------------|
| Sf tot: | Fator de segurança à flexão | 11,42 | $SF_{tot} = \sigma_{all} \cdot Sf / \sigma$ |
|---------|-----------------------------|-------|---------------------------------------------|



**Desgaste de engrenagens de dentes retos**  
**ANSI/AGMA 2001**

**Equação para a tensão de contato AGMA**

$$\sigma_c = C_p [W_t K_o K_v K_s K_m C_f / (d_p F I)]^{0,5}$$

154,84

onde:

Cp: Coeficiente elástico (mesmos materiais)

187,03

$$C_p = \{1 / [PI * ((1 - \nu_p^2) / E_p + (1 - \nu_c) / E_c)]\}^{0,5}$$

**necessário calcular:**

Ep: Mód. de elasticidade pinhão [MPa]

2,00E+05 aço

vp: Coef. de Poisson pinhão

0,30

Ec: Mód. de elasticidade coroa [MPa]

2,00E+05 aço

vc: Coef. de Poisson coroa

0,30

Ko Fator de sobrecarga

1,00 p.711

Kv: Fator dinâmico

1,58 análogo acima

Ks: Fator de Tamanho

1,00 análogo acima

Km: Fator de distribuição de carga

1,00 análogo acima

Cf: Fator de condição superficial

1,00 p.691

I: Fator geométrico

0,12 p.701

**necessário calcular**

mg: Razão de velocidades

3,00 mg = razão de redução

phi: Ângulo de pressão [rad]

0,35 20 graus

dp: Diâmetro

90,00 análogo acima

F: Largura de face

12,00 análogo acima

**Resistência à fadiga de desgaste**

$$\sigma_{c\ all} = S_c Z_n C_h / (S_h K_t K_r)$$

136,42

Sc: Resistência de contato

775,13 p.697,698

(conversão pág.901)

Zn: Fator de ciclagem de tensão

1,10 p.708

Ch: Fator de razão de dureza

1,00 Ch=1+A'\*(mg-1)

**necessário calcular:**

A': Fator de cálculo

0,00 (durezas de pinhão e coroa iguais)

Sh: Fator de segurança

5,00 definir ou isolar

Kt: Fator de temperatura

1,00 p.709

Kr: Fator de confiabilidade

1,25 p.709

Sh tot: Fator de segurança à fadiga (10^6 ciclos)

4,41 SF tot =  $\sigma_c S_h / \sigma_{all}$

Eixo intermediário - coroa

**Flexão de engrenagens de dentes retos**  
**ANSI/AGMA 2001, Shigley**

**Equação de tensão de flexão AGMA (14-15)**

$$\sigma = W_t \cdot K_O \cdot K_v \cdot K_s \cdot K_m \cdot K_b \cdot P_d / (F \cdot J) \quad [\text{N/mm}^2]$$

49,43

onde:

$$W_t = 60 \cdot 10^6 \cdot H / (\pi \cdot d \cdot n)$$

|     |                                              |         |                                 |
|-----|----------------------------------------------|---------|---------------------------------|
| Wt: | Carga transmitida [N]                        | 169,77  |                                 |
| H:  | Potência disponível (motor de arranque) [kW] | 0,80    | Catálogo BOSH (carros pequenos) |
| d:  | Diâmetro prim. da engr. [mm]                 | 30,00   |                                 |
| n:  | Velocidade [rpm]                             | 3000,00 |                                 |
| J:  | Fator geométrico                             | 0,40    | p.699                           |
| m:  | Módulo [mm/dente]                            | 1,00    |                                 |
| Pd: | Passo diametral [dentes/mm]                  | 1,00    | $P_d = 1/m$                     |
| F:  | Largura de borda [mm]                        | 14,00   | $F = 10/P_d$                    |

|     |                     |      |                                                                                     |
|-----|---------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Ko  | Fator de sobrecarga | 1,00 | p.711                                                                               |
| Kv: | Fator dinâmico      | 1,58 | $K_v = \sqrt[3]{\frac{V_t \max < V_t; 1,1; [(A + 200 \cdot B^{0,5})/23]^3 \cdot B}$ |

**necessário calcular:**

|         |                                         |       |                                        |
|---------|-----------------------------------------|-------|----------------------------------------|
| Qv:     | Qualidade                               | 8,00  |                                        |
| B:      | Parâmetro de cálculo B                  | 0,63  | $B = 0,25 \cdot (1 - Q_v)^{2/3}$       |
| A:      | Parâmetro de cálculo A                  | 70,72 | $A = 50 + 56 \cdot (1 - B)$            |
| Vt max: | Velocidade tan. máx. para gráfico [m/s] | 28,67 | $V_t \max = [(A + Q_v - 3)^2] / 200$   |
| Vt:     | Velocidade para graf. 14.9 [m/s]        | 4,71  | $V_t = (n \cdot \pi / 30) \cdot (d/2)$ |

|     |                         |      |                                               |
|-----|-------------------------|------|-----------------------------------------------|
| Ks: | Fator de Tamanho (AGMA) | 1,00 | $K_s = \sqrt[3]{\frac{1}{k_b} > 1; 1/k_b; 1}$ |
|-----|-------------------------|------|-----------------------------------------------|

**necessário calcular:**

|    |                  |      |                         |
|----|------------------|------|-------------------------|
| kb | Fator de Tamanho | 1,64 | $k_b = (d/0,3)^{0,107}$ |
|----|------------------|------|-------------------------|

|     |                             |      |                                                            |
|-----|-----------------------------|------|------------------------------------------------------------|
| Kb: | Fator de espessura de borda | 1,00 | $K_b = \sqrt[3]{\frac{1}{k_b} > 1,2; 1; 1, \ln(2,242/mb)}$ |
|-----|-----------------------------|------|------------------------------------------------------------|

**necessário calcular:**

|     |                         |       |                         |
|-----|-------------------------|-------|-------------------------|
| tr: | Espessura da borda [mm] | 14,00 | $tr = F$                |
| ht: | Altura do dente [mm]    | 2,25  | $ht = 1/P_d + 1,25/P_d$ |
| mb: | Razão auxiliar          | 6,22  | $mb = tr/ht$            |

$$k_m = 1 + C_{mc} \cdot (C_{pf} \cdot C_{pm} + C_{ma} \cdot C_e)$$

|     |                                |      |           |
|-----|--------------------------------|------|-----------|
| Km: | Fator de distribuição de carga | 1,03 | p.705,706 |
|-----|--------------------------------|------|-----------|

**necessário calcular:**

|      |                        |           |            |
|------|------------------------|-----------|------------|
| Cmc: | Com/Sem coroamento     | 1         |            |
| Cpf: | Fator diâmetro/largura | 2,17E-02  | (eq 14-32) |
| Com: | Posção entre mancais   | 1         |            |
| A:   | Cte empírica A         | 0,0036    |            |
| B:   | Cte empírica B         | 0,0102    |            |
| C:   | Cte empírica C         | -8,22E-05 |            |
| Cma: | Fator de precisão      | 9,19E-03  | (eq 14-34) |
| Ce:  | Fator de montagem      | 1         |            |

**Equação AGMA para o limite de resistência à fadiga de flexão**

$$\sigma_{all} = S_t \cdot Y_n / (S_f \cdot K_t \cdot K_r)$$

42,44

onde:

|     |                                           |        |       |
|-----|-------------------------------------------|--------|-------|
| St: | Núm. de tensão admissível de flexão [Mpa] | 241,15 | p.694 |
| Yn: | Fator de ciclagem de tensão               | 1,10   | p.708 |

**necessário calcular:**

|    |                           |          |  |
|----|---------------------------|----------|--|
| N: | Número de ciclos de carga | 1,00E+07 |  |
|----|---------------------------|----------|--|

|     |                         |      |                   |
|-----|-------------------------|------|-------------------|
| Sf: | Fator de segurança      | 5,00 | definir ou isolar |
| Kt: | Fator de temperatura    | 1,00 | p.709             |
| Kr: | Fator de confiabilidade | 1,25 | p.709             |

|         |                             |      |                                              |
|---------|-----------------------------|------|----------------------------------------------|
| Sf tot: | Fator de segurança à flexão | 4,29 | $SF_{tot} = \sigma_{all} \cdot S_f / \sigma$ |
|---------|-----------------------------|------|----------------------------------------------|

**Desgaste de engrenagens de dentes retos**  
**ANSI/AGMA 2001**

**Equação para a tensão de contato AGMA**

$$\sigma_c = C_p [W_t K_o K_v K_s K_m C_f / (d_p F I)]^{0,5}$$

437,36

onde:

Cp: Coeficiente elástico (mesmos materiais)

187,03

$$C_p = \{1/[PI*((1-v_p^2)/E_p + (1-v_c)/E_c)]\}^{0,5}$$

**necessário calcular:**

Ep: Mód. de elasticidade pinhão [MPa]

2,00E+05 aço

vp: Coef. de Poisson pinhão

0,30

Ec: Mód. de elasticidade coroa [MPa]

2,00E+05 aço

vc: Coef. de Poisson coroa

0,30

Ko Fator de sobrecarga

1,00 p.711

Kv: Fator dinâmico

1,58 análogo acima

Ks: Fator de Tamanho

1,00 análogo acima

Km: Fator de distribuição de carga

1,03 análogo acima

Cf: Fator de condição superficial

1,00 p.691

I: Fator geométrico

0,12 p.701

**necessário calcular**

mg: Razão de velocidades

3,00 mg = razão de redução

phi: Ângulo de pressão [rad]

0,35 20 graus

dp: Diâmetro

30,00 análogo acima

F: Largura de face

14,00 análogo acima

**Resistência à fadiga de desgaste**

$$\sigma_{c\ all} = S_c Z_n Ch / (Sh K_t Kr)$$

136,42

Sc: Resistência de contato

775,13 p.697,698

(conversão pág.901)

Zn: Fator de ciclagem de tensão

1,10 p.708

Ch: Fator de razão de dureza

1,00 Ch=1+A'\*(mg-1)

**necessário calcular:**

A': Fator de cálculo

0,00 (durezas de pinhão e coroa iguais)

Sh: Fator de segurança

5,00 definir ou isolar

Kt: Fator de temperatura

1,00 p.709

Kr: Fator de confiabilidade

1,25 p.709

Sh tot: Fator de segurança à fadiga (10^6 ciclos)

1,56 SF tot =  $\sigma_c Sh / \sigma_{all}$

Eixo de saída - coroa (acoplamento)

**Flexão de engrenagens de dentes retos**  
**ANSI/AGMA 2001, Shigley**

**Equação de tensão de flexão AGMA (14-15)**

$$\sigma = W_t \cdot K_O \cdot K_v \cdot K_s \cdot K_m \cdot K_b \cdot P_d / (F \cdot J) \quad [\text{N/mm}^2]$$

12,3578

onde:

$$W_t = 60 \cdot 10^6 \cdot H / (\pi \cdot d \cdot n)$$

|     |                                              |          |                                 |
|-----|----------------------------------------------|----------|---------------------------------|
| Wt: | Carga transmitida [N]                        | 42,44    |                                 |
| H:  | Potência disponível (motor de arranque) [kW] | 0,80     | Catálogo BOSH (carros pequenos) |
| d:  | Diâmetro prim. da engr. [mm]                 | 30,00    |                                 |
| n:  | Velocidade [rpm]                             | 12000,00 |                                 |
| J:  | Fator geométrico                             | 0,40     | p.699                           |
| m:  | Módulo [mm/dente]                            | 1,00     |                                 |
| Pd: | Passo diametral [dentes/mm]                  | 1,00     | $P_d = 1/m$                     |
| F:  | Largura de borda [mm]                        | 14,00    | $F = 10/P_d$                    |

|     |                     |      |                                                                                     |
|-----|---------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Ko  | Fator de sobrecarga | 1,00 | p.711                                                                               |
| Kv: | Fator dinâmico      | 1,58 | $K_v = \sqrt[3]{\frac{V_t \max < V_t; 1,1; [(A + 200 \cdot B^{0,5})/23]^3 \cdot B}$ |

**necessário calcular:**

|         |                                         |       |                                        |
|---------|-----------------------------------------|-------|----------------------------------------|
| Qv:     | Qualidade                               | 8,00  |                                        |
| B:      | Parâmetro de cálculo B                  | 0,63  | $B = 0,25 \cdot (1 - Q_v)^{2/3}$       |
| A:      | Parâmetro de cálculo A                  | 70,72 | $A = 50 + 56 \cdot (1 - B)$            |
| Vt max: | Velocidade tan. máx. para gráfico [m/s] | 28,67 | $V_t \max = [(A + Q_v - 3)^2] / 200$   |
| Vt:     | Velocidade para graf. 14.9 [m/s]        | 18,85 | $V_t = (n \cdot \pi / 30) \cdot (d/2)$ |

|     |                         |      |                                               |
|-----|-------------------------|------|-----------------------------------------------|
| Ks: | Fator de Tamanho (AGMA) | 1,00 | $K_s = \sqrt[3]{\frac{1}{k_b} > 1; 1/k_b; 1}$ |
|-----|-------------------------|------|-----------------------------------------------|

**necessário calcular:**

|    |                  |      |                         |
|----|------------------|------|-------------------------|
| kb | Fator de Tamanho | 1,64 | $k_b = (d/0,3)^{0,107}$ |
|----|------------------|------|-------------------------|

|     |                             |      |                                                            |
|-----|-----------------------------|------|------------------------------------------------------------|
| Kb: | Fator de espessura de borda | 1,00 | $K_b = \sqrt[3]{\frac{1}{k_b} > 1,2; 1; 1, \ln(2,242/mb)}$ |
|-----|-----------------------------|------|------------------------------------------------------------|

**necessário calcular:**

|     |                         |       |                         |
|-----|-------------------------|-------|-------------------------|
| tr: | Espessura da borda [mm] | 14,00 | $tr = F$                |
| ht: | Altura do dente [mm]    | 2,25  | $ht = 1/P_d + 1,25/P_d$ |
| mb: | Razão auxiliar          | 6,22  | $mb = tr/ht$            |

$$k_m = 1 + C_{mc} \cdot (C_{pf} \cdot C_{pm} + C_{ma} \cdot C_e)$$

|     |                                |      |           |
|-----|--------------------------------|------|-----------|
| Km: | Fator de distribuição de carga | 1,03 | p.705,706 |
|-----|--------------------------------|------|-----------|

**necessário calcular:**

|      |                        |           |            |
|------|------------------------|-----------|------------|
| Cmc: | Com/Sem coroamento     | 1         |            |
| Cpf: | Fator diâmetro/largura | 2,17E-02  | (eq 14-32) |
| Com: | Posção entre mancais   | 1         |            |
| A:   | Cte empírica A         | 0,0036    |            |
| B:   | Cte empírica B         | 0,0102    |            |
| C:   | Cte empírica C         | -8,22E-05 |            |
| Cma: | Fator de precisão      | 9,19E-03  | (eq 14-34) |
| Ce:  | Fator de montagem      | 1         |            |

**Equação AGMA para o limite de resistência à fadiga de flexão**

$$\sigma_{all} = S_t \cdot Y_n / (S_f \cdot K_t \cdot K_r)$$

42,44

onde:

|     |                                           |        |       |
|-----|-------------------------------------------|--------|-------|
| St: | Núm. de tensão admissível de flexão [Mpa] | 241,15 | p.694 |
| Yn: | Fator de ciclagem de tensão               | 1,10   | p.708 |

**necessário calcular:**

|    |                           |          |  |
|----|---------------------------|----------|--|
| N: | Número de ciclos de carga | 1,00E+07 |  |
|----|---------------------------|----------|--|

|     |                         |      |                   |
|-----|-------------------------|------|-------------------|
| Sf: | Fator de segurança      | 5,00 | definir ou isolar |
| Kt: | Fator de temperatura    | 1,00 | p.709             |
| Kr: | Fator de confiabilidade | 1,25 | p.709             |

|         |                             |       |                                             |
|---------|-----------------------------|-------|---------------------------------------------|
| Sf tot: | Fator de segurança à flexão | 17,17 | $SF_{tot} = \sigma_{all} \cdot Sf / \sigma$ |
|---------|-----------------------------|-------|---------------------------------------------|

**Desgaste de engrenagens de dentes retos**  
**ANSI/AGMA 2001**

**Equação para a tensão de contato AGMA**

$$\sigma_c = C_p [W_t K_o K_v K_s K_m C_f / (d_p F I)]^{0,5}$$

218,68

onde:

Cp: Coeficiente elástico (mesmos materiais)

187,03

$$C_p = \{1 / [PI * ((1 - \nu_p^2) / E_p + (1 - \nu_c) / E_c)]\}^{0,5}$$

**necessário calcular:**

Ep: Mód. de elasticidade pinhão [MPa]

2,00E+05

aço

vp: Coef. de Poisson pinhão

0,30

Ec: Mód. de elasticidade coroa [MPa]

2,00E+05

aço

vc: Coef. de Poisson coroa

0,30

Ko Fator de sobrecarga

1,00

p.711

Kv: Fator dinâmico

1,58

análogo acima

Ks: Fator de Tamanho

1,00

análogo acima

Km: Fator de distribuição de carga

1,03

análogo acima

Cf: Fator de condição superficial

1,00

p.691

I: Fator geométrico

0,12

p.701

**necessário calcular**

mg: Razão de velocidades

3,00

mg = razão de redução

phi: Ângulo de pressão [rad]

0,35

20 graus

dp: Diâmetro

30,00

análogo acima

F: Largura de face

14,00

análogo acima

**Resistência à fadiga de desgaste**

$$\sigma_{c\ all} = S_c Z_n C_h / (S_h K_t K_r)$$

136,42

Sc: Resistência de contato

775,13

p.697,698

(conversão pág.901)

Zn: Fator de ciclagem de tensão

1,10

p.708

Ch: Fator de razão de dureza

1,00

Ch=1+A'\*(mg-1)

**necessário calcular:**

A': Fator de cálculo

0,00

(durezas de pinhão e coroa iguais)

Sh: Fator de segurança

5,00

definir ou isolar

Kt: Fator de temperatura

1,00

p.709

Kr: Fator de confiabilidade

1,25

p.709

Sh tot: Fator de segurança à fadiga (10^6 ciclos)

3,12

$$SF\ tot = \sigma_c S_h / \sigma_{all}$$

**Dimensionamento de eixos**  
**ASME B106 (segunda impressão), Shigley**

**Eixo de entrada (dist. mínima motor-mancal)**

**Cargas atuantes**

|     |                              |       |                                |
|-----|------------------------------|-------|--------------------------------|
| Fr: | Força radial na engr. [N]    | 23,17 | $Fr = Ft \cdot \tan(\phi)$     |
| Fa: | Força radial no mancal A [N] | 6,87  | $Fa = Fr \cdot Lb / (La + Lb)$ |
| Fb: | Força radial no mancal B [N] | 16,31 | $Fb = Fr - Fa$                 |

**Necessário calcular:**

|          |                                     |        |                                 |
|----------|-------------------------------------|--------|---------------------------------|
| Ft:      | Força tangencial [N]                | 63,66  | $Ft = 2 \cdot Mt / d$           |
| $\phi$ : | Ângulo de pressão [rad]             | 0,35   | 20 graus                        |
| Wt:      | Potência disponível [kW]            | 0,80   | Catálogo BOSH (carros pequenos) |
| Mt:      | Momento torsor [N*m]                | 7,64   | $Mt = Wt / w$                   |
| w:       | Velocidade de rotação [rad/s]       | 104,72 | 1000 rpm                        |
| d:       | Diâmetro prim. engr. [mm]           | 120,00 |                                 |
| La:      | Maior dist. entre mancal-engr. [mm] | 38,00  |                                 |
| Lb:      | Menor dist. entre mancal-engr. [mm] | 16,00  |                                 |

**Iteração para diâmetro de eixo ( $M_m \neq 0$ ,  $T_m \neq 0$ ,  $M_a = 0$  e  $T_a = 0$ )**

d min1: Diâmetro mínimo (iteração 1) [mm] 6,98

$$d_{\min} = \{16 \cdot n / \pi \cdot [4 \cdot (K_f \cdot M_a / S_e)^2 + 3 \cdot (K_f \cdot T_a / S_e)^2 + 4 \cdot (K_f \cdot M_m / S_y)^2 + 3 \cdot (K_f \cdot T_m / S_y)^2]^{1/2}\}^{1/3}$$

**Necessário calcular:**

|             |                                        |         |                                                                         |
|-------------|----------------------------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------|
| Ma:         | Momento de flexão alternante [N*mm]    | 0,00    |                                                                         |
| Ta:         | Momento de torção alternante [N*mm]    | 0,00    |                                                                         |
| Mm:         | Momento de flexão média [N*mm]         | 880,50  | $Ma = Fr \cdot La$                                                      |
| Tm:         | Momento de torção média [N*mm]         | 7639,44 | $Tm = Ft \cdot d$                                                       |
| d1:         | Diâmetro inicial de cálculo [mm]       | 20,00   |                                                                         |
| Sy:         | Resistência ao escoamento [MPa]        | 517,00  | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931                                    |
| Se:         | Resistência à tração [MPa]             | 334,50  | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931 = Sut/2                            |
| Kf:         | Fator de conc. tensão de fadiga-flexão | 1,54    | $Kf = Kt / \{[1 + 2 \cdot (Kt - 1) / Kt] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$     |
| Kfs:        | Fator de conc. tensão de fadiga-torsão | 1,29    | $Kft = Ktf / \{[1 + 2 \cdot (Ktf - 1) / Ktf] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$ |
| $a^{0,5}$ : | Parâmetro de Heywood                   | 0,42    | $a^{0,5} = 139 / Sut$ p.330                                             |
| r:          | Raio de arredondamento [mm]            | 1,00    |                                                                         |
| Kt:         | Fator de conc. de tensão-flexão        | 2,25    | p.921                                                                   |
| Kts:        | Fator de conc. de tensão-torsão        | 1,75    | p.921                                                                   |
| D1:         | Diâmetro inicial de ressalto [mm]      | 30,00   |                                                                         |
| D1/d1:      | Razão de consulta 1-conc. de tensão    | 1,50    | na descrição                                                            |
| r/d1:       | Razão de consulta 2-conc. de tensão    | 0,05    | na descrição                                                            |
| n:          | Fator de segurança                     | 2,00    |                                                                         |

d min2: Diâmetro mínimo (iteração 1) [mm] 6,85

$$d_{\min} = \{16 \cdot n / \pi \cdot [4 \cdot (K_f \cdot M_a / S_e)^2 + 3 \cdot (K_f \cdot T_a / S_e)^2 + 4 \cdot (K_f \cdot M_m / S_y)^2 + 3 \cdot (K_f \cdot T_m / S_y)^2]^{1/2}\}^{1/3}$$

**Necessário calcular:**

|             |                                        |         |                                                                         |
|-------------|----------------------------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------|
| Ma:         | Momento de flexão alternante [N*mm]    | 0,00    |                                                                         |
| Ta:         | Momento de torção alternante [N*mm]    | 0,00    |                                                                         |
| Mm:         | Momento de flexão média [N*mm]         | 880,50  | $Ma = Fr \cdot La$                                                      |
| Tm:         | Momento de torção média [N*mm]         | 7639,44 | $Tm = Ft \cdot d$                                                       |
| d1:         | Diâmetro inicial de cálculo [mm]       | 15,00   |                                                                         |
| Sy:         | Resistência ao escoamento [MPa]        | 517,00  | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931                                    |
| Se:         | Resistência à tração [MPa]             | 334,50  | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931 = Sut/2                            |
| Kf:         | Fator de conc. tensão de fadiga-flexão | 1,30    | $Kf = Kt / \{[1 + 2 \cdot (Kt - 1) / Kt] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$     |
| Kfs:        | Fator de conc. tensão de fadiga-torsão | 1,22    | $Kft = Ktf / \{[1 + 2 \cdot (Ktf - 1) / Ktf] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$ |
| $a^{0,5}$ : | Parâmetro de Heywood                   | 0,42    | $a^{0,5} = 139 / Sut$ p.330                                             |
| r:          | Raio de arredondamento [mm]            | 0,50    |                                                                         |
| Kt:         | Fator de conc. de tensão-flexão        | 2,10    | p.921                                                                   |
| Kts:        | Fator de conc. de tensão-torsão        | 1,90    | p.921                                                                   |
| D1:         | Diâmetro inicial de ressalto [mm]      | 20,00   |                                                                         |
| D1/d1:      | Razão de consulta 1-conc. de tensão    | 1,33    | na descrição                                                            |
| r/d1:       | Razão de consulta 2-conc. de tensão    | 0,03    | na descrição                                                            |
| n:          | Fator de segurança                     | 2,00    |                                                                         |

d min3: Diâmetro mínimo (iteração 1) [mm] **6,85**

$$d_{\min} = \{16 \cdot n / \pi \cdot [4 \cdot (K_f \cdot Ma / Se)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot Ta / Se)^2 + 4 \cdot (K_f \cdot Mm / Sy)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot Tm / Sy)^2]^{1/2}\}^{1/3}$$

**Necessário calcular:**

|                    |                                        |                |                                                                                       |
|--------------------|----------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Ma:                | Momento de flexão alternante [N*mm]    | <b>0,00</b>    |                                                                                       |
| Ta:                | Momento de torção alternante [N*mm]    | <b>0,00</b>    |                                                                                       |
| Mm:                | Momento de flexão média [N*mm]         | <b>880,50</b>  | Ma=Fr*La                                                                              |
| Tm:                | Momento de torção média [N*mm]         | <b>7639,44</b> | Tm=Ft*d                                                                               |
| d1:                | Diâmetro inicial de cálculo [mm]       | <b>15,00</b>   |                                                                                       |
| Sy:                | Resistência ao escoamento [MPa]        | <b>517,00</b>  | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931                                                  |
| Se:                | Resistência à tração [MPa]             | <b>334,50</b>  | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931 =Sut/2                                           |
| Kf:                | Fator de conc. tensão de fadiga-flexão | <b>1,30</b>    | $K_f = K_t / \{ [1 + 2 \cdot (K_t - 1) / K_t] \cdot a^{0,5} / r^{0,5} \}$             |
| Kfs:               | Fator de conc. tensão de fadiga-torsão | <b>1,22</b>    | $K_{ft} = K_{tf} / \{ [1 + 2 \cdot (K_{tf} - 1) / K_{tf}] \cdot a^{0,5} / r^{0,5} \}$ |
| a <sup>0,5</sup> : | Parâmetro de Heywood                   | <b>0,42</b>    | a <sup>0,5</sup> =139/Sut p.330                                                       |
| r:                 | Raio de arredondamento [mm]            | <b>0,50</b>    |                                                                                       |
| Kt:                | Fator de conc. de tensão-flexão        | <b>2,10</b>    | p.921                                                                                 |
| Kts:               | Fator de conc. de tensão-torsão        | <b>1,90</b>    | p.921                                                                                 |
| D1:                | Diâmetro inicial de ressalto [mm]      | <b>20,00</b>   |                                                                                       |
| D1/d1:             | Razão de consulta 1-conc. de tensão    | <b>1,33</b>    | na descrição                                                                          |
| r/d1:              | Razão de consulta 2-conc. de tensão    | <b>0,03</b>    | na descrição                                                                          |
| n:                 | Fator de segurança                     | <b>2,00</b>    |                                                                                       |

n final: Fator de segurança final obtido **21,00**

$$1/n_{\text{final}} = 16 / (\pi \cdot d_{\min}^3) \cdot [4 \cdot (K_f \cdot Ma / Se)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot Ta / Se)^2 + 4 \cdot (K_f \cdot Mm / Sy)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot Tm / Sy)^2]^{1/2}$$

#### Eixo de saída (dist. mínima embreagem-mancal)

##### Cargas atuantes

|     |                              |             |                  |
|-----|------------------------------|-------------|------------------|
| Fr: | Força radial na engr. [N]    | <b>2,32</b> | Fr=Ft*tan(phi)   |
| Fa: | Força radial no mancal A [N] | <b>1,16</b> | Fa=Fr*Lb/(La+Lb) |
| Fb: | Força radial no mancal B [N] | <b>1,16</b> | Fb=Fr-Fa         |

**Necessário calcular:**

|      |                                     |                |                                 |
|------|-------------------------------------|----------------|---------------------------------|
| Ft:  | Força tangencial [N]                | <b>6,37</b>    | Ft=2*Mt/d                       |
| phi: | Ângulo de pressão [rad]             | <b>0,35</b>    | 20 graus                        |
| Wt:  | Potência disponível [kW]            | <b>0,80</b>    | Catálogo BOSH (carros pequenos) |
| Mt:  | Momento tursor [N*m]                | <b>0,64</b>    | Mt=Wt/w                         |
| w:   | Velocidade de rotação [rad/s]       | <b>1256,64</b> | 12000 rpm                       |
| d:   | Diâmetro prim. engr. [mm]           | <b>100,00</b>  |                                 |
| La:  | Maior dist. entre mancal-engr. [mm] | <b>10,00</b>   |                                 |
| Lb:  | Menor dist. entre mancal-engr. [mm] | <b>10,00</b>   |                                 |

**Iteração para diâmetro de eixo (Mm != 0 , Tm != 0 , Ma = 0 e Ta = 0)**

d min1: Diâmetro mínimo (iteração 1) [mm] **3,04**

$$d_{\min} = \{16 \cdot n / \pi \cdot [4 \cdot (K_f \cdot Ma / Se)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot Ta / Se)^2 + 4 \cdot (K_f \cdot Mm / Sy)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot Tm / Sy)^2]^{1/2}\}^{1/3}$$

**Necessário calcular:**

|                    |                                        |               |                                                                                       |
|--------------------|----------------------------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Ma:                | Momento de flexão alternante [N*mm]    | <b>0,00</b>   |                                                                                       |
| Ta:                | Momento de torção alternante [N*mm]    | <b>0,00</b>   |                                                                                       |
| Mm:                | Momento de flexão média [N*mm]         | <b>23,17</b>  | Ma=Fr*La                                                                              |
| Tm:                | Momento de torção média [N*mm]         | <b>636,62</b> | Tm=Ft*d                                                                               |
| d1:                | Diâmetro inicial de cálculo [mm]       | <b>20,00</b>  |                                                                                       |
| Sy:                | Resistência ao escoamento [MPa]        | <b>517,00</b> | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931                                                  |
| Se:                | Resistência à tração [MPa]             | <b>334,50</b> | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931 =Sut/2                                           |
| Kf:                | Fator de conc. tensão de fadiga-flexão | <b>1,54</b>   | $K_f = K_t / \{ [1 + 2 \cdot (K_t - 1) / K_t] \cdot a^{0,5} / r^{0,5} \}$             |
| Kfs:               | Fator de conc. tensão de fadiga-torsão | <b>1,29</b>   | $K_{ft} = K_{tf} / \{ [1 + 2 \cdot (K_{tf} - 1) / K_{tf}] \cdot a^{0,5} / r^{0,5} \}$ |
| a <sup>0,5</sup> : | Parâmetro de Heywood                   | <b>0,42</b>   | a <sup>0,5</sup> =139/Sut p.330                                                       |
| r:                 | Raio de arredondamento [mm]            | <b>1,00</b>   |                                                                                       |
| Kt:                | Fator de conc. de tensão-flexão        | <b>2,25</b>   | p.921                                                                                 |
| Kts:               | Fator de conc. de tensão-torsão        | <b>1,75</b>   | p.921                                                                                 |
| D1:                | Diâmetro inicial de ressalto [mm]      | <b>30,00</b>  |                                                                                       |
| D1/d1:             | Razão de consulta 1-conc. de tensão    | <b>1,50</b>   | na descrição                                                                          |
| r/d1:              | Razão de consulta 2-conc. de tensão    | <b>0,05</b>   | na descrição                                                                          |
| n:                 | Fator de segurança                     | <b>2,00</b>   |                                                                                       |

d min2: Diâmetro mínimo (iteração 1) [mm] **2,98**

$$d_{\min} = \{16 \cdot n / \pi \cdot [4 \cdot (K_f \cdot Ma / Se)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot Ta / Se)^2 + 4 \cdot (K_f \cdot Mm / Sy)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot Tm / Sy)^2]^{1/2}\}^{1/3}$$

**Necessário calcular:**

|                    |                                        |        |                                                                                     |
|--------------------|----------------------------------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Ma:                | Momento de flexão alternante [N*mm]    | 0,00   |                                                                                     |
| Ta:                | Momento de torção alternante [N*mm]    | 0,00   |                                                                                     |
| Mm:                | Momento de flexão média [N*mm]         | 23,17  | Ma=Fr*La                                                                            |
| Tm:                | Momento de torção média [N*mm]         | 636,62 | Tm=Ft*d                                                                             |
| d1:                | Diâmetro inicial de cálculo [mm]       | 15,00  |                                                                                     |
| Sy:                | Resistência ao escoamento [MPa]        | 517,00 | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931                                                |
| Se:                | Resistência à tração [MPa]             | 334,50 | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931 =Sut/2                                         |
| Kf:                | Fator de conc. tensão de fadiga-flexão | 1,30   | $K_f = K_t / \{[1 + 2 \cdot (K_t - 1) / K_t] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$             |
| Kfs:               | Fator de conc. tensão de fadiga-torsão | 1,22   | $K_{ft} = K_{tf} / \{[1 + 2 \cdot (K_{tf} - 1) / K_{tf}] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$ |
| a <sup>0,5</sup> : | Parâmetro de Heywood                   | 0,42   | a <sup>0,5</sup> =139/Sut p.330                                                     |
| r:                 | Raio de arredondamento [mm]            | 0,50   |                                                                                     |
| Kt:                | Fator de conc. de tensão-flexão        | 2,10   | p.921                                                                               |
| Kts:               | Fator de conc. de tensão-torsão        | 1,90   | p.921                                                                               |
| D1:                | Diâmetro inicial de ressalto [mm]      | 20,00  |                                                                                     |
| D1/d1:             | Razão de consulta 1-conc. de tensão    | 1,33   | na descrição                                                                        |
| r/d1:              | Razão de consulta 2-conc. de tensão    | 0,03   | na descrição                                                                        |
| n:                 | Fator de segurança                     | 2,00   |                                                                                     |

d min3: Diâmetro mínimo (iteração 1) [mm] **2,94**

$$d_{\min} = \{16 \cdot n / \pi \cdot [4 \cdot (K_f \cdot Ma / Se)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot Ta / Se)^2 + 4 \cdot (K_f \cdot Mm / Sy)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot Tm / Sy)^2]^{1/2}\}^{1/3}$$

**Necessário calcular:**

|                    |                                        |        |                                                                                     |
|--------------------|----------------------------------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Ma:                | Momento de flexão alternante [N*mm]    | 0,00   |                                                                                     |
| Ta:                | Momento de torção alternante [N*mm]    | 0,00   |                                                                                     |
| Mm:                | Momento de flexão média [N*mm]         | 23,17  | Ma=Fr*La                                                                            |
| Tm:                | Momento de torção média [N*mm]         | 636,62 | Tm=Ft*d                                                                             |
| d1:                | Diâmetro inicial de cálculo [mm]       | 10,00  |                                                                                     |
| Sy:                | Resistência ao escoamento [MPa]        | 517,00 | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931                                                |
| Se:                | Resistência à tração [MPa]             | 334,50 | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931 =Sut/2                                         |
| Kf:                | Fator de conc. tensão de fadiga-flexão | 1,30   | $K_f = K_t / \{[1 + 2 \cdot (K_t - 1) / K_t] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$             |
| Kfs:               | Fator de conc. tensão de fadiga-torsão | 1,16   | $K_{ft} = K_{tf} / \{[1 + 2 \cdot (K_{tf} - 1) / K_{tf}] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$ |
| a <sup>0,5</sup> : | Parâmetro de Heywood                   | 0,42   | a <sup>0,5</sup> =139/Sut p.330                                                     |
| r:                 | Raio de arredondamento [mm]            | 0,50   |                                                                                     |
| Kt:                | Fator de conc. de tensão-flexão        | 2,10   | p.921                                                                               |
| Kts:               | Fator de conc. de tensão-torsão        | 1,75   | p.921                                                                               |
| D1:                | Diâmetro inicial de ressalto [mm]      | 15,00  |                                                                                     |
| D1/d1:             | Razão de consulta 1-conc. de tensão    | 1,50   | na descrição                                                                        |
| r/d1:              | Razão de consulta 2-conc. de tensão    | 0,05   | na descrição                                                                        |
| n:                 | Fator de segurança                     | 2,00   |                                                                                     |

n final: Fator de segurança final obtido **79,02**

$$1/n_{\text{final}} = 16 / (\pi \cdot d_{\min}^3) \cdot [4 \cdot (K_f \cdot Ma / Se)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot Ta / Se)^2 + 4 \cdot (K_f \cdot Mm / Sy)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot Tm / Sy)^2]^{1/2}$$

### Eixo intermediário - 2 engrenagens (dist. mínima motor-mancal)

#### Cargas atuantes

|     |                              |       |                  |
|-----|------------------------------|-------|------------------|
| Fr: | Força radial na engr. [N]    | 92,68 | Fr=Ft*tan(phi)   |
| Fa: | Força radial no mancal A [N] | 27,46 | Fa=Fr*Lb/(La+Lb) |
| Fb: | Força radial no mancal B [N] | 65,22 | Fb=Fr-La         |

**Necessário calcular:**

|      |                                     |        |                                 |
|------|-------------------------------------|--------|---------------------------------|
| Ft:  | Força tangencial [N]                | 254,65 | Ft=2*Mt/d                       |
| phi: | Ângulo de pressão [rad]             | 0,35   | 20 graus                        |
| Wt:  | Potência disponível [kW]            | 0,80   | Catálogo BOSH (carros pequenos) |
| Mt:  | Momento torsor [N*m]                | 7,64   | Mt=Wt/w                         |
| w:   | Velocidade de rotação [rad/s]       | 104,72 | 1000 rpm                        |
| d:   | Diâmetro prim. engr. [mm]           | 30,00  |                                 |
| La:  | Maior dist. entre mancal-engr. [mm] | 38,00  |                                 |
| Lb:  | Menor dist. entre mancal-engr. [mm] | 16,00  |                                 |



**Iteração para diâmetro de eixo (Mm != 0 , Tm != 0 , Ma = 0 e Ta = 0)**d min1: Diâmetro mínimo (iteração 1) [mm] **7,36**

$$d_{\min} = \{16 \cdot n / \pi \cdot [4 \cdot (K_f \cdot Ma / Se)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot Ta / Se)^2 + 4 \cdot (K_f \cdot Mm / Sy)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot Tm / Sy)^2]^{1/2}\}^{1/3}$$

**Necessário calcular:**

|        |                                        |         |                                                                                     |
|--------|----------------------------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Ma:    | Momento de flexão alternante [N*mm]    | 0,00    |                                                                                     |
| Ta:    | Momento de torção alternante [N*mm]    | 0,00    |                                                                                     |
| Mm:    | Momento de flexão média [N*mm]         | 3522,00 | Ma=Fr*La                                                                            |
| Tm:    | Momento de torção média [N*mm]         | 7639,44 | Tm=Ft*d                                                                             |
| d1:    | Diâmetro inicial de cálculo [mm]       | 20,00   |                                                                                     |
| Sy:    | Resistência ao escoamento [MPa]        | 517,00  | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931                                                |
| Se:    | Resistência à tração [MPa]             | 334,50  | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931 =Sut/2                                         |
| Kf:    | Fator de conc. tensão de fadiga-flexão | 1,54    | $K_f = K_t / \{[1 + 2 \cdot (K_t - 1) / K_t] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$             |
| Kfs:   | Fator de conc. tensão de fadiga-torsão | 1,29    | $K_{fs} = K_{tf} / \{[1 + 2 \cdot (K_{tf} - 1) / K_{tf}] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$ |
| a^0,5: | Parâmetro de Heywood                   | 0,42    | $a^{0,5} = 139 / S_{ut}$ p.330                                                      |
| r:     | Raio de arredondamento [mm]            | 1,00    |                                                                                     |
| Kt:    | Fator de conc. de tensão-flexão        | 2,25    | p.921                                                                               |
| Kts:   | Fator de conc. de tensão-torsão        | 1,75    | p.921                                                                               |
| D1:    | Diâmetro inicial de ressalto [mm]      | 30,00   |                                                                                     |
| D1/d1: | Razão de consulta 1-conc. de tensão    | 1,50    | na descrição                                                                        |
| r/d1:  | Razão de consulta 2-conc. de tensão    | 0,05    | na descrição                                                                        |
| n:     | Fator de segurança                     | 2,00    |                                                                                     |

d min2: Diâmetro mínimo (iteração 1) [mm] **7,15**

$$d_{\min} = \{16 \cdot n / \pi \cdot [4 \cdot (K_f \cdot Ma / Se)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot Ta / Se)^2 + 4 \cdot (K_f \cdot Mm / Sy)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot Tm / Sy)^2]^{1/2}\}^{1/3}$$

**Necessário calcular:**

|        |                                        |         |                                                                                     |
|--------|----------------------------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Ma:    | Momento de flexão alternante [N*mm]    | 0,00    |                                                                                     |
| Ta:    | Momento de torção alternante [N*mm]    | 0,00    |                                                                                     |
| Mm:    | Momento de flexão média [N*mm]         | 3522,00 | Ma=Fr*La                                                                            |
| Tm:    | Momento de torção média [N*mm]         | 7639,44 | Tm=Ft*d                                                                             |
| d1:    | Diâmetro inicial de cálculo [mm]       | 15,00   |                                                                                     |
| Sy:    | Resistência ao escoamento [MPa]        | 517,00  | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931                                                |
| Se:    | Resistência à tração [MPa]             | 334,50  | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931 =Sut/2                                         |
| Kf:    | Fator de conc. tensão de fadiga-flexão | 1,30    | $K_f = K_t / \{[1 + 2 \cdot (K_t - 1) / K_t] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$             |
| Kfs:   | Fator de conc. tensão de fadiga-torsão | 1,22    | $K_{fs} = K_{tf} / \{[1 + 2 \cdot (K_{tf} - 1) / K_{tf}] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$ |
| a^0,5: | Parâmetro de Heywood                   | 0,42    | $a^{0,5} = 139 / S_{ut}$ p.330                                                      |
| r:     | Raio de arredondamento [mm]            | 0,50    |                                                                                     |
| Kt:    | Fator de conc. de tensão-flexão        | 2,10    | p.921                                                                               |
| Kts:   | Fator de conc. de tensão-torsão        | 1,90    | p.921                                                                               |
| D1:    | Diâmetro inicial de ressalto [mm]      | 20,00   |                                                                                     |
| D1/d1: | Razão de consulta 1-conc. de tensão    | 1,33    | na descrição                                                                        |
| r/d1:  | Razão de consulta 2-conc. de tensão    | 0,03    | na descrição                                                                        |
| n:     | Fator de segurança                     | 2,00    |                                                                                     |

d min3: Diâmetro mínimo (iteração 1) [mm] **7,36**

$$d_{\min} = \{16 \cdot n / \pi \cdot [4 \cdot (K_f \cdot Ma / Se)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot Ta / Se)^2 + 4 \cdot (K_f \cdot Mm / Sy)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot Tm / Sy)^2]^{1/2}\}^{1/3}$$

**Necessário calcular:**

|        |                                        |         |                                                                                     |
|--------|----------------------------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Ma:    | Momento de flexão alternante [N*mm]    | 0,00    |                                                                                     |
| Ta:    | Momento de torção alternante [N*mm]    | 0,00    |                                                                                     |
| Mm:    | Momento de flexão média [N*mm]         | 3522,00 | Ma=Fr*La                                                                            |
| Tm:    | Momento de torção média [N*mm]         | 7639,44 | Tm=Ft*d                                                                             |
| d1:    | Diâmetro inicial de cálculo [mm]       | 20,00   |                                                                                     |
| Sy:    | Resistência ao escoamento [MPa]        | 517,00  | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931                                                |
| Se:    | Resistência à tração [MPa]             | 334,50  | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931 =Sut/2                                         |
| Kf:    | Fator de conc. tensão de fadiga-flexão | 1,54    | $K_f = K_t / \{[1 + 2 \cdot (K_t - 1) / K_t] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$             |
| Kfs:   | Fator de conc. tensão de fadiga-torsão | 1,29    | $K_{fs} = K_{tf} / \{[1 + 2 \cdot (K_{tf} - 1) / K_{tf}] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$ |
| a^0,5: | Parâmetro de Heywood                   | 0,42    | $a^{0,5} = 139 / S_{ut}$ p.330                                                      |
| r:     | Raio de arredondamento [mm]            | 1,00    |                                                                                     |
| Kt:    | Fator de conc. de tensão-flexão        | 2,25    | p.921                                                                               |
| Kts:   | Fator de conc. de tensão-torsão        | 1,75    | p.921                                                                               |
| D1:    | Diâmetro inicial de ressalto [mm]      | 30,00   |                                                                                     |
| D1/d1: | Razão de consulta 1-conc. de tensão    | 1,50    | na descrição                                                                        |
| r/d1:  | Razão de consulta 2-conc. de tensão    | 0,05    | na descrição                                                                        |
| n:     | Fator de segurança                     | 2,00    |                                                                                     |

n final: Fator de segurança final obtido **40,15**

$$1/n_{\text{final}} = 16 / (\pi \cdot d_{\min}^3) \cdot [4 \cdot (K_f \cdot Ma / Se)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot Ta / Se)^2 + 4 \cdot (K_f \cdot Mm / Sy)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot Tm / Sy)^2]^{1/2}$$

### 6.3 Cálculos do Modelo 3

#### Projeto de trem planetário de redução

| Rotação           |              | N dentes  |            | Diâmetro |    |
|-------------------|--------------|-----------|------------|----------|----|
| n sol             | 11000 rpm    | N sol     | 16 dentes  | 16       | mm |
| n anular          | 0 rpm        | N anular  | 160 dentes | 160      | mm |
| n braço           | 1000 rpm*    | -         | -          | -        | -  |
| n planeta         | -1222,22 rpm | N planeta | 72 dentes  | 72       | mm |
|                   |              |           |            | OK       |    |
| * nota            |              |           |            |          |    |
| USAR ATINGIR META |              |           |            |          |    |
| e                 | -0,1         |           |            |          |    |
| m                 | 1            | dente/mm  |            |          |    |

#### Engrenagem na saída do motor - sol

#### Flexão de engrenagens de dentes retos ANSI/AGMA 2001, Shigley

#### Equação de tensão de flexão AGMA (14-15)

$$\sigma = W_t \cdot K_o \cdot K_v \cdot K_s \cdot K_m \cdot K_b \cdot P_d / (F \cdot J) \quad [\text{N/mm}^2]$$

33,16

onde:

$$W_t = 60 \cdot 10^6 \cdot H / (\pi \cdot d \cdot n)$$

|     |                                              |         |                                 |
|-----|----------------------------------------------|---------|---------------------------------|
| Wt: | Carga transmitida [N]                        | 95,49   |                                 |
| H:  | Potência disponível (motor de arranque) [kW] | 0,80    | Catálogo BOSH (carros pequenos) |
| d:  | Diâmetro prim. da engr. [mm]                 | 160,00  |                                 |
| n:  | Velocidade [rpm]                             | 1000,00 |                                 |
| J:  | Fator geométrico                             | 0,48    | p.699                           |
| m:  | Módulo [mm/dente]                            | 1,00    |                                 |
| Pd: | Passo diametral [dentes/mm]                  | 1,00    | $P_d = 1/m$                     |
| F:  | Largura de borda [mm]                        | 10,00   | $F = 10/P_d$                    |

|    |                     |      |                                                    |
|----|---------------------|------|----------------------------------------------------|
| Ko | Fator de sobrecarga | 1,00 | p.711                                              |
| Kv | Fator dinâmico      | 1,58 | $K_v = \sqrt[3]{\frac{1}{1 + (V_t \max / V_t)^2}}$ |

necessário calcular:

|         |                                         |       |                                        |
|---------|-----------------------------------------|-------|----------------------------------------|
| Qv:     | Qualidade                               | 8,00  |                                        |
| B:      | Parâmetro de cálculo B                  | 0,63  | $B = 0,25 \cdot (1 - Q_v)^{2/3}$       |
| A:      | Parâmetro de cálculo A                  | 70,72 | $A = 50 + 56 \cdot (1 - B)$            |
| Vt max: | Velocidade tan. máx. para gráfico [m/s] | 28,67 | $V_t \max = [(A + Q_v - 3)^2] / 200$   |
| Vt:     | Velocidade para graf. 14.9 [m/s]        | 8,38  | $V_t = (n \cdot \pi / 30) \cdot (d/2)$ |

|     |                         |      |                                               |
|-----|-------------------------|------|-----------------------------------------------|
| Ks: | Fator de Tamanho (AGMA) | 1,00 | $K_s = \sqrt[3]{\frac{1}{k_b} + 1; 1/k_b; 1}$ |
|-----|-------------------------|------|-----------------------------------------------|

necessário calcular:

|     |                             |      |                                                       |
|-----|-----------------------------|------|-------------------------------------------------------|
| kb  | Fator de Tamanho            | 1,96 | $k_b = (d/0,3)^{0,107}$                               |
| Kb: | Fator de espessura de borda | 1,00 | $K_b = \sqrt[3]{\frac{1}{k_b} + 1; 1; \ln(2,242/mb)}$ |

necessário calcular:

|     |                         |       |                         |
|-----|-------------------------|-------|-------------------------|
| tr: | Espessura da borda [mm] | 10,00 | $tr = F$                |
| ht: | Altura do dente [mm]    | 2,25  | $ht = 1/P_d + 1,25/P_d$ |
| mb: | Razão auxiliar          | 4,44  | $mb = tr/ht$            |

$$k_m = 1 + C_{mc} \cdot (C_{pf} \cdot C_{pm} + C_{ma} \cdot C_e)$$

|     |                                |      |           |
|-----|--------------------------------|------|-----------|
| Km: | Fator de distribuição de carga | 1,05 | p.705,706 |
|-----|--------------------------------|------|-----------|

necessário calcular:

|      |                        |           |            |
|------|------------------------|-----------|------------|
| Cmc: | Com/Sem coroamento     | 1         |            |
| Cpf: | Fator diâmetro/largura | -1,88E-02 | (eq 14-32) |
| Com: | Posção entre mancais   | 1         |            |
| A:   | Cte empírica A         | 0,0675    |            |
| B:   | Cte empírica B         | 0,0128    |            |
| C:   | Cte empírica C         | -9,26E-05 |            |
| Cma: | Fator de precisão      | 7,25E-02  | (eq 14-34) |
| Ce:  | Fator de montagem      | 1         |            |

**Equação AGMA para o limite de resistência à fadiga de flexão**

$$\sigma_{all} = S_t \cdot Y_n / (S_f \cdot K_t \cdot K_r)$$

42,44

**onde:**

St: Núm. de tensão admissível de flexão [Mpa]

241,15

p.694

Yn: Fator de ciclagem de tensão

1,10

p.708

**necessário calcular:**

N: Número de ciclos de carga

1,00E+07

Sf: Fator de segurança

5,00

definir ou isolar

Kt: Fator de temperatura

1,00

p.709

Kr: Fator de confiabilidade

1,25

p.709

Sf tot: Fator de segurança à flexão

6,40

SF tot =  $\sigma_{all} \cdot S_f / \sigma$ **Desgaste de engrenagens de dentes retos  
ANSI/AGMA 2001****Equação para a tensão de contato AGMA**

$$\sigma_c = C_p \cdot [W_t \cdot K_o \cdot K_v \cdot K_s \cdot K_m \cdot C_f / (d_p \cdot F \cdot I)]^{0,5}$$

109,13

**onde:**

Cp: Coeficiente elástico (mesmos materiais)

187,03

Cp =  $\{1/[P \cdot ((1 - \nu_p^2)/E_p + (1 - \nu_c)/E_c)]\}^{0,5}$ **necessário calcular:**

Ep: Mód. de elasticidade pinhão [MPa]

2,00E+05

aço

vp: Coef. de Poisson pinhão

0,30

Ec: Mód. de elasticidade coroa [MPa]

2,00E+05

aço

vc: Coef. de Poisson coroa

0,30

Ko: Fator de sobrecarga

1,00

p.711

Kv: Fator dinâmico

1,58

análogo acima

Ks: Fator de Tamanho

1,00

análogo acima

Km: Fator de distribuição de carga

1,05

análogo acima

Cf: Fator de condição superficial

1,00

p.691

I: Fator geométrico

0,29

p.701

**necessário calcular**

mg: Razão de velocidades

2,22

mg = razão de redução

phi: Ângulo de pressão [rad]

0,35

20 graus

dp: Diâmetro

160,00

análogo acima

F: Largura de face

10,00

análogo acima

**Resistência à fadiga de desgaste**

$$\sigma_{c\ all} = S_c \cdot Z_n \cdot C_h / (S_h \cdot K_t \cdot K_r)$$

136,42

Sc: Resistência de contato

775,13

p.697,698

(conversão pág.901)

Zn: Fator de ciclagem de tensão

1,10

p.708

Ch: Fator de razão de dureza

1,00

Ch =  $1 + A' \cdot (mg - 1)$ **necessário calcular:**

A': Fator de cálculo

0,00

(durezas de pinhão e coroa iguais)

Sh: Fator de segurança

5,00

definir ou isolar

Kt: Fator de temperatura

1,00

p.709

Kr: Fator de confiabilidade

1,25

p.709

Sh tot: Fator de segurança à fadiga ( $10^6$  ciclos)

6,25

SF tot =  $\sigma_c \cdot S_h / \sigma_{all}$

**Engrenagem intermediária - planeta****Flexão de engrenagens de dentes retos  
ANSI/AGMA 2001, Shigley****Equação de tensão de flexão AGMA (14-15)**

$$\sigma = W_t \cdot K_0 \cdot K_v \cdot K_s \cdot K_m \cdot K_b \cdot P_d / (F \cdot J) \quad [\text{N/mm}^2]$$

58,0426

**onde:**

$$W_t = 60 \cdot 10^6 \cdot H / (\pi \cdot d \cdot n)$$

Wt: Carga transmitida [N]

173,62

H: Potência disponível (motor de arranque) [kW]

0,80

Catálogo BOSH (carros pequenos)

d: Diâmetro prim. da engr. [mm]

72,00

n: Velocidade [rpm]

1222,22

J: Fator geométrico

0,42

p.699

m: Módulo [mm/dente]

1,00

Pd: Passo diametral [dentes/mm]

1,00

Pd=1/m

F: Largura de borda [mm]

12,00

F=10/Pd

Ko: Fator de sobrecarga

1,00

p.711

Kv: Fator dinâmico

1,58

 $K_v = \text{se}(V_t \max < V_t; 1, 1; [(A + 200 \cdot B^{0,5}) / 23]^B)$ **necessário calcular:**

Qv: Qualidade

8,00

B: Parâmetro de cálculo B

0,63

 $B = 0,25 \cdot (1 - Q_v)^{2/3}$ 

A: Parâmetro de cálculo A

70,72

 $A = 50 + 56 \cdot (1 - B)$ 

Vt max: Velocidade tan. máx. para gráfico [m/s]

28,67

 $V_t \max = [(A + Q_v - 3)^2] / 200$ 

Vt: Velocidade para graf. 14.9 [m/s]

4,61

 $V_t = (n \cdot \pi / 30) \cdot (d / 2)$ 

Ks: Fator de Tamanho (AGMA)

1,00

 $K_s = \text{se}(1/k_b > 1; 1/k_b; 1)$ **necessário calcular:**

kb: Fator de Tamanho

1,80

 $k_b = (d / 0,3)^{0,107}$ 

Kb: Fator de espessura de borda

1,00

 $K_b = \text{se}(m_b > 1,2; 1; \ln(2,242/m_b))$ **necessário calcular:**

tr: Espessura da borda [mm]

12,00

tr=F

ht: Altura do dente [mm]

2,25

 $h_t = 1/P_d + 1,25/P_d$ 

mb: Razão auxiliar

5,33

mb=tr/ht

$$k_m = 1 + C_{mc} \cdot (C_{pf} \cdot C_{pm} + C_{ma} \cdot C_e)$$

Km: Fator de distribuição de carga

1,07

p.705,706

**necessário calcular:**

Cmc: Com/Sem coroamento

1

Cpf: Fator diâmetro/largura

-8,33E-03

(eq 14-32)

Com: Posção entre mancais

1

A: Cte empírica A

0,0675

B: Cte empírica B

0,0128

C: Cte empírica C

-9,26E-05

Cma: Fator de precisão

7,35E-02

(eq 14-34)

Ce: Fator de montagem

1

**Equação AGMA para o limite de resistência à fadiga de flexão**

$$\sigma_{all} = S_t \cdot Y_n / (S_f \cdot K_t \cdot K_r)$$

42,44

**onde:**

St: Núm. de tensão admissível de flexão [Mpa]

241,15

p.694

Yn: Fator de ciclagem de tensão

1,10

p.708

**necessário calcular:**

N: Número de ciclos de carga

1,00E+07

Sf: Fator de segurança

5,00

definir ou isolar

Kt: Fator de temperatura

1,00

p.709

Kr: Fator de confiabilidade

1,25

p.709

Sf tot: Fator de segurança à flexão

3,66

 $S_f \text{ tot} = \sigma_{all} \cdot S_f / \sigma$

**Desgaste de engrenagens de dentes retos  
ANSI/AGMA 2001**

**Equação para a tensão de contato AGMA**

$$\sigma_c = C_p [W_t K_o K_v K_s K_m C_f / (d_p F I)]^{0,5}$$

313,47

onde:

Cp: Coeficiente elástico (mesmos materiais)

187,03

$$C_p = \{1/[P^* ((1 - \nu_p^2)/E_p + (1 - \nu_c)/E_c)]\}^{0,5}$$

**necessário calcular:**

Ep: Mód. de elasticidade pinhão [MPa]

2,00E+05

aço

vp: Coef. de Poisson pinhão

0,30

Ec: Mód. de elasticidade coroa [MPa]

2,00E+05

aço

vc: Coef. de Poisson coroa

0,30

Ko Fator de sobrecarga

1,00

p.711

Kv: Fator dinâmico

1,58

análogo acima

Ks: Fator de Tamanho

1,00

análogo acima

Km: Fator de distribuição de carga

1,07

análogo acima

Cf: Fator de condição superficial

1,00

p.691

I: Fator geométrico

0,12

p.701

**necessário calcular:**

mg: Razão de velocidades

3,00

mg = razão de redução

phi: Ângulo de pressão [rad]

0,35

20 graus

dp: Diâmetro

72,00

análogo acima

F: Largura de face

12,00

análogo acima

**Resistência à fadiga de desgaste**

$$\sigma_{c\ all} = S_c Z_n C_h / (S_h K_t K_r)$$

136,42

Sc: Resistência de contato

775,13

p.697,698

(conversão pág.901)

Zn: Fator de ciclagem de tensão

1,10

p.708

Ch: Fator de razão de dureza

1,00

Ch=1+A\*(mg-1)

**necessário calcular:**

A': Fator de cálculo

0,00

(durezas de pinhão e coroa iguais)

Sh: Fator de segurança

5,00

definir ou isolar

Kt: Fator de temperatura

1,00

p.709

Kr: Fator de confiabilidade

1,25

p.709

Sh tot: Fator de segurança à fadiga (10^6 ciclos)

2,18

$$SF_{tot} = \sigma_c S_h / \sigma_{c\ all}$$

### Eixo fixo da redução - sol

#### Flexão de engrenagens de dentes retos ANSI/AGMA 2001, Shigley

##### Equação de tensão de flexão AGMA (14-15)

$$\sigma = W_t \cdot K_o \cdot K_v \cdot K_s \cdot K_m \cdot K_b \cdot P_d / (F \cdot J) \quad [\text{N/mm}^2]$$

47,62

onde:

$$W_t = 60 \cdot 10^6 \cdot H / (\pi \cdot d \cdot n)$$

Wt: Carga transmitida [N]

86,81

H: Potência disponível (motor de arranque) [kW]

0,80

Catálogo BOSH (carros pequenos)

d: Diâmetro prim. da engr. [mm]

16,00

n: Velocidade [rpm]

11000,00

J: Fator geométrico

0,27

p.699

m: Módulo [mm/dente]

1,00

Pd: Passo diametral [dentes/mm]

1,00

Pd=1/m

F: Largura de borda [mm]

12,00

F=10/Pd

Ko: Fator de sobrecarga

1,00

p.711

Kv: Fator dinâmico

1,58

Kv=se(Vt max&lt;Vt;1,1;[(A+200\*B^0,5)/23]^B)

necessário calcular:

Qv: Qualidade

8,00

B: Parâmetro de cálculo B

0,63

B=0,25\*(1-Qv)^(2/3)

A: Parâmetro de cálculo A

70,72

A=50+56\*(1-B)

Vt max: Velocidade tan. máx. para gráfico [m/s]

28,67

Vt max=[(A+Qv-3)^2]/200

Vt: Velocidade para graf. 14.9 [m/s]

9,22

Vt=(n\*PI/30)\*(d/2)

Ks: Fator de Tamanho (AGMA)

1,00

Ks=se(1/kb&gt;1;1/kb;1)

necessário calcular:

kb: Fator de Tamanho

1,53

kb=(d/0,3)^0,107

Kb: Fator de espessura de borda

1,00

Kb=se(mb&gt;1,2;1;1,ln(2,242/mb))

necessário calcular:

tr: Espessura da borda [mm]

12,00

tr=F

ht: Altura do dente [mm]

2,25

ht=1/Pd+1,25/Pd

mb: Razão auxiliar

5,33

mb=tr/ht

$$K_m = 1 + C_{mc} \cdot (C_{pf} \cdot C_{pm} + C_{ma} \cdot C_e)$$

Km: Fator de distribuição de carga

1,12

p.705,706

necessário calcular:

Cmc: Com/Sem coroamento

1

Cpf: Fator diâmetro/largura

5,00E-02

(eq 14-32)

Com: Posção entre mancais

1

A: Cte empírica A

0,0675

B: Cte empírica B

0,0128

C: Cte empírica C

-9,26E-05

Cma: Fator de precisão

7,35E-02

(eq 14-34)

Ce: Fator de montagem

1

**Equação AGMA para o limite de resistência à fadiga de flexão**

$$\sigma_{all} = S_t \cdot Y_n / (S_f \cdot K_t \cdot K_r)$$

42,44

**onde:**

St: Núm. de tensão admissível de flexão [Mpa]

241,15

p.694

Yn: Fator de ciclagem de tensão

1,10

p.708

**necessário calcular:**

N: Número de ciclos de carga

1,00E+07

Sf: Fator de segurança

5,00

definir ou isolar

Kt: Fator de temperatura

1,00

p.709

Kr: Fator de confiabilidade

1,25

p.709

Sf tot: Fator de segurança à flexão

4,46

SF tot =  $\sigma_{all} \cdot S_f / \sigma$ **Desgaste de engrenagens de dentes retos  
ANSI/AGMA 2001****Equação para a tensão de contato AGMA**

$$\sigma_c = C_p \cdot [W_t \cdot K_o \cdot K_v \cdot K_s \cdot K_m \cdot C_f / (d_p \cdot F \cdot I)]^{0,5}$$

563,92

**onde:**

Cp: Coeficiente elástico (mesmos materiais)

187,03

Cp =  $\{1/[P \cdot ((1 - \nu_p^2)/E_p + (1 - \nu_c)/E_c)]\}^{0,5}$ **necessário calcular:**

Ep: Mód. de elasticidade pinhão [MPa]

2,00E+05

aço

vp: Coef. de Poisson pinhão

0,30

Ec: Mód. de elasticidade coroa [MPa]

2,00E+05

aço

vc: Coef. de Poisson coroa

0,30

Ko: Fator de sobrecarga

1,00

p.711

Kv: Fator dinâmico

1,58

análogo acima

Ks: Fator de Tamanho

1,00

análogo acima

Km: Fator de distribuição de carga

1,12

análogo acima

Cf: Fator de condição superficial

1,00

p.691

I: Fator geométrico

0,09

p.701

**necessário calcular**

mg: Razão de velocidades

1,22

mg = razão de redução

phi: Ângulo de pressão [rad]

0,35

20 graus

dp: Diâmetro

16,00

análogo acima

F: Largura de face

12,00

análogo acima

**Resistência à fadiga de desgaste**

$$\sigma_{c\ all} = S_c \cdot Z_n \cdot C_h / (S_h \cdot K_t \cdot K_r)$$

136,42

Sc: Resistência de contato

775,13

p.697,698

(conversão pág.901)

Zn: Fator de ciclagem de tensão

1,10

p.708

Ch: Fator de razão de dureza

1,00

Ch =  $1 + A' \cdot (mg - 1)$ **necessário calcular:**

A': Fator de cálculo

0,00

(durezas de pinhão e coroa iguais)

Sh: Fator de segurança

5,00

definir ou isolar

Kt: Fator de temperatura

1,00

p.709

Kr: Fator de confiabilidade

1,25

p.709

Sh tot: Fator de segurança à fadiga ( $10^6$  ciclos)

1,21

SF tot =  $\sigma_c \cdot S_h / \sigma_{all}$

## Projeto de trem planetário de redução

### Dimensionamento de eixos

ASME B106 (segunda impressão), Shigley

#### Eixo de entrada com braço (dist. mínima motor-mancal)

##### Cargas atuantes

Fr: Força radial na engr. [N] 63,19  $Fr = Ft \cdot \tan(\phi)$

##### Necessário calcular:

|          |                                     |        |                                 |
|----------|-------------------------------------|--------|---------------------------------|
| Ft:      | Força tangencial [N]                | 173,62 | $Ft = Mt/b$                     |
| b:       | Braço de alavanca - redução [mm]    | 44,00  |                                 |
| $\phi$ : | Ângulo de pressão [rad]             | 0,35   | 20 graus                        |
| Wt:      | Potência disponível [kW]            | 0,80   | Catálogo BOSH (carros pequenos) |
| Mt:      | Momento torsor [N*m]                | 7,64   | $Mt = Wt/w$                     |
| w:       | Velocidade de rotação [rad/s]       | 104,72 | 1000 rpm                        |
| La:      | Maior dist. entre mancal-engr. [mm] | 9,50   |                                 |

#### Iteração para diâmetro de eixo ( $M_m \neq 0$ , $T_m \neq 0$ , $M_a = 0$ e $T_a = 0$ )

d min1: Diâmetro mínimo (iteração 1) [mm] 6,92

$$d_{\min} = \{16 \cdot n / \pi \cdot [4 \cdot (K_f \cdot M_a / S_e)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot T_a / S_e)^2 + 4 \cdot (K_f \cdot M_m / S_y)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot T_m / S_y)^2]^{1/2}\}^{1/3}$$

##### Necessário calcular:

|             |                                        |         |                                                                         |
|-------------|----------------------------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------|
| Ma:         | Momento de flexão alternante [N*mm]    | 0,00    |                                                                         |
| Ta:         | Momento de torsão alternante [N*mm]    | 0,00    |                                                                         |
| Mm:         | Momento de flexão média [N*mm]         | 600,34  | $Ma = Fr \cdot La$                                                      |
| Tm:         | Momento de torsão média [N*mm]         | 7639,44 | $Tm = b \cdot Ft$                                                       |
| d1:         | Diâmetro inicial de cálculo [mm]       | 20,00   |                                                                         |
| Sy:         | Resistência ao escoamento [MPa]        | 517,00  | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931                                    |
| Se:         | Resistência à tração [MPa]             | 334,50  | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931 = Sut/2                            |
| Kf:         | Fator de conc. tensão de fadiga-flexão | 1,41    | $Kf = Kt / \{[1 + 2 \cdot (Kt - 1) / Kt] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$     |
| Kfs:        | Fator de conc. tensão de fadiga-torsão | 1,27    | $Kft = Ktf / \{[1 + 2 \cdot (Ktf - 1) / Ktf] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$ |
| $a^{0,5}$ : | Parâmetro de Heywood                   | 0,42    | $a^{0,5} = 139 / Sut$ p.330                                             |
| r:          | Raio de arredondamento [mm]            | 1,00    |                                                                         |
| Kt:         | Fator de conc. de tensão-flexão        | 2,00    | p.921                                                                   |
| Kts:        | Fator de conc. de tensão-torsão        | 1,70    | p.921                                                                   |
| D1:         | Diâmetro inicial de ressalto [mm]      | 30,00   |                                                                         |
| D1/d1:      | Razão de consulta 1-conc. de tensão    | 1,50    | na descrição                                                            |
| r/d1:       | Razão de consulta 2-conc. de tensão    | 0,05    | na descrição                                                            |
| n:          | Fator de segurança                     | 2,00    |                                                                         |

d min2: Diâmetro mínimo (iteração 1) [mm] 6,84

$$d_{\min} = \{16 \cdot n / \pi \cdot [4 \cdot (K_f \cdot M_a / S_e)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot T_a / S_e)^2 + 4 \cdot (K_f \cdot M_m / S_y)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot T_m / S_y)^2]^{1/2}\}^{1/3}$$

##### Necessário calcular:

|             |                                        |         |                                                                         |
|-------------|----------------------------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------|
| Ma:         | Momento de flexão alternante [N*mm]    | 0,00    |                                                                         |
| Ta:         | Momento de torsão alternante [N*mm]    | 0,00    |                                                                         |
| Mm:         | Momento de flexão média [N*mm]         | 600,34  | $Ma = Fr \cdot La$                                                      |
| Tm:         | Momento de torsão média [N*mm]         | 7639,44 | $Tm = Ft \cdot d$                                                       |
| d1:         | Diâmetro inicial de cálculo [mm]       | 15,00   |                                                                         |
| Sy:         | Resistência ao escoamento [MPa]        | 517,00  | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931                                    |
| Se:         | Resistência à tração [MPa]             | 334,50  | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931 = Sut/2                            |
| Kf:         | Fator de conc. tensão de fadiga-flexão | 1,38    | $Kf = Kt / \{[1 + 2 \cdot (Kt - 1) / Kt] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$     |
| Kfs:        | Fator de conc. tensão de fadiga-torsão | 1,22    | $Kft = Ktf / \{[1 + 2 \cdot (Ktf - 1) / Ktf] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$ |
| $a^{0,5}$ : | Parâmetro de Heywood                   | 0,42    | $a^{0,5} = 139 / Sut$ p.330                                             |
| r:          | Raio de arredondamento [mm]            | 0,50    |                                                                         |
| Kt:         | Fator de conc. de tensão-flexão        | 2,30    | p.921                                                                   |
| Kts:        | Fator de conc. de tensão-torsão        | 1,90    | p.921                                                                   |
| D1:         | Diâmetro inicial de ressalto [mm]      | 20,00   |                                                                         |
| D1/d1:      | Razão de consulta 1-conc. de tensão    | 1,33    | na descrição                                                            |
| r/d1:       | Razão de consulta 2-conc. de tensão    | 0,03    | na descrição                                                            |
| n:          | Fator de segurança                     | 2,00    |                                                                         |



|                                                                                                                                                                                        |                                        |         |                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| d min3:                                                                                                                                                                                | Diâmetro mínimo (iteração 1) [mm]      | 7,10    |                                                                                     |
| $d_{min} = \{16 \cdot n / \pi \cdot [4 \cdot (K_f \cdot Ma / Se)^2 + 3 \cdot (K_f \cdot Ta / Se)^2 + 4 \cdot (K_f \cdot Mm / Sy)^2 + 3 \cdot (K_f \cdot Tm / Sy)^2]^{1/2}\}^{1/3}$     |                                        |         |                                                                                     |
| <b>Necessário calcular:</b>                                                                                                                                                            |                                        |         |                                                                                     |
| Ma:                                                                                                                                                                                    | Momento de flexão alternante [N*mm]    | 0,00    |                                                                                     |
| Ta:                                                                                                                                                                                    | Momento de torção alternante [N*mm]    | 0,00    |                                                                                     |
| Mm:                                                                                                                                                                                    | Momento de flexão média [N*mm]         | 600,34  | Ma=Fr*La                                                                            |
| Tm:                                                                                                                                                                                    | Momento de torção média [N*mm]         | 7639,44 | Tm=Ft*d                                                                             |
| d1:                                                                                                                                                                                    | Diâmetro inicial de cálculo [mm]       | 15,00   |                                                                                     |
| Sy:                                                                                                                                                                                    | Resistência ao escoamento [MPa]        | 517,00  | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931                                                |
| Se:                                                                                                                                                                                    | Resistência à tração [MPa]             | 334,50  | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931 =Sut/2                                         |
| Kf:                                                                                                                                                                                    | Fator de conc. tensão de fadiga-flexão | 1,56    | $K_f = K_t / \{[1 + 2 \cdot (K_t - 1) / K_t] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$             |
| Kfs:                                                                                                                                                                                   | Fator de conc. tensão de fadiga-torsão | 1,36    | $K_{ft} = K_{tf} / \{[1 + 2 \cdot (K_{tf} - 1) / K_{tf}] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$ |
| a^0,5:                                                                                                                                                                                 | Parâmetro de Heywood                   | 0,42    | $a^{0,5} = 139 / Sut$ p.330                                                         |
| r:                                                                                                                                                                                     | Raio de arredondamento [mm]            | 1,00    |                                                                                     |
| Kt:                                                                                                                                                                                    | Fator de conc. de tensão-flexão        | 2,30    | p.921 OBS: fator de tensão no braço estimado ~ 5 (verificar FEM)                    |
| Kts:                                                                                                                                                                                   | Fator de conc. de tensão-torsão        | 1,90    | p.921                                                                               |
| D1:                                                                                                                                                                                    | Diâmetro inicial de ressalto [mm]      | 20,00   |                                                                                     |
| D1/d1:                                                                                                                                                                                 | Razão de consulta 1-conc. de tensão    | 1,33    | na descrição                                                                        |
| r/d1:                                                                                                                                                                                  | Razão de consulta 2-conc. de tensão    | 0,07    | na descrição                                                                        |
| n:                                                                                                                                                                                     | Fator de segurança                     | 2,00    |                                                                                     |
| n final:                                                                                                                                                                               | Fator de segurança final obtido        | 18,89   |                                                                                     |
| $1/n_{final} = 16 / (\pi \cdot d_{min}^3) \cdot [4 \cdot (K_f \cdot Ma / Se)^2 + 3 \cdot (K_f \cdot Ta / Se)^2 + 4 \cdot (K_f \cdot Mm / Sy)^2 + 3 \cdot (K_f \cdot Tm / Sy)^2]^{1/2}$ |                                        |         |                                                                                     |

#### Eixo de saída sol (dist. mínima embreagem-mancal)

##### Cargas atuantes

|                             |                                     |         |                                 |
|-----------------------------|-------------------------------------|---------|---------------------------------|
| Fr:                         | Força radial na engr. [N]           | 15,80   | Fr=Ft*tan(phi)                  |
| <b>Necessário calcular:</b> |                                     |         |                                 |
| Ft:                         | Força tangencial [N]                | 43,41   | Ft=2*Mt/d                       |
| phi:                        | Ângulo de pressão [rad]             | 0,35    | 20 graus                        |
| Wt:                         | Potência disponível [kW]            | 0,80    | Catálogo BOSH (carros pequenos) |
| Mt:                         | Momento torsor [N*m]                | 0,69    | Mt=Wt/w                         |
| w:                          | Velocidade de rotação [rad/s]       | 1151,92 | 11000 rpm                       |
| d:                          | Diâmetro prim. engr. [mm]           | 16,00   |                                 |
| La:                         | Maior dist. entre mancal-engr. [mm] | 2,00    |                                 |

#### Iteração para diâmetro de eixo (Mm != 0 , Tm != 0 , Ma = 0 e Ta = 0)

|                                                                                                                                                                                    |                                        |        |                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| d min1:                                                                                                                                                                            | Diâmetro mínimo (iteração 1) [mm]      | 3,10   |                                                                                     |
| $d_{min} = \{16 \cdot n / \pi \cdot [4 \cdot (K_f \cdot Ma / Se)^2 + 3 \cdot (K_f \cdot Ta / Se)^2 + 4 \cdot (K_f \cdot Mm / Sy)^2 + 3 \cdot (K_f \cdot Tm / Sy)^2]^{1/2}\}^{1/3}$ |                                        |        |                                                                                     |
| <b>Necessário calcular:</b>                                                                                                                                                        |                                        |        |                                                                                     |
| Ma:                                                                                                                                                                                | Momento de flexão alternante [N*mm]    | 0,00   |                                                                                     |
| Ta:                                                                                                                                                                                | Momento de torção alternante [N*mm]    | 0,00   |                                                                                     |
| Mm:                                                                                                                                                                                | Momento de flexão média [N*mm]         | 31,60  | Ma=Fr*La                                                                            |
| Tm:                                                                                                                                                                                | Momento de torção média [N*mm]         | 694,49 | Tm=Ft*d                                                                             |
| d1:                                                                                                                                                                                | Diâmetro inicial de cálculo [mm]       | 10,00  |                                                                                     |
| Sy:                                                                                                                                                                                | Resistência ao escoamento [MPa]        | 517,00 | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931                                                |
| Se:                                                                                                                                                                                | Resistência à tração [MPa]             | 334,50 | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931 =Sut/2                                         |
| Kf:                                                                                                                                                                                | Fator de conc. tensão de fadiga-flexão | 1,47   | $K_f = K_t / \{[1 + 2 \cdot (K_t - 1) / K_t] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$             |
| Kfs:                                                                                                                                                                               | Fator de conc. tensão de fadiga-torsão | 1,26   | $K_{ft} = K_{tf} / \{[1 + 2 \cdot (K_{tf} - 1) / K_{tf}] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$ |
| a^0,5:                                                                                                                                                                             | Parâmetro de Heywood                   | 0,42   | $a^{0,5} = 139 / Sut$ p.330                                                         |
| r:                                                                                                                                                                                 | Raio de arredondamento [mm]            | 0,50   |                                                                                     |
| Kt:                                                                                                                                                                                | Fator de conc. de tensão-flexão        | 2,50   | p.921                                                                               |
| Kts:                                                                                                                                                                               | Fator de conc. de tensão-torsão        | 2,00   | p.921                                                                               |
| D1:                                                                                                                                                                                | Diâmetro inicial de ressalto [mm]      | 6,00   |                                                                                     |
| D1/d1:                                                                                                                                                                             | Razão de consulta 1-conc. de tensão    | 1,67   | na descrição                                                                        |
| r/d1:                                                                                                                                                                              | Razão de consulta 2-conc. de tensão    | 0,05   | na descrição                                                                        |
| n:                                                                                                                                                                                 | Fator de segurança                     | 2,00   |                                                                                     |

|                                                                                                                                                                                              |                                        |        |                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| d min2:                                                                                                                                                                                      | Diâmetro mínimo (iteração 1) [mm]      | 3,27   |                                                                                     |
| $d_{min} = \{16 \cdot n / \pi \cdot [4 \cdot (K_f \cdot Ma / Se)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot Ta / Se)^2 + 4 \cdot (K_f \cdot Mm / Sy)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot Tm / Sy)^2]^{1/2}\}^{1/3}$     |                                        |        |                                                                                     |
| <b>Necessário calcular:</b>                                                                                                                                                                  |                                        |        |                                                                                     |
| Ma:                                                                                                                                                                                          | Momento de flexão alternante [N*mm]    | 0,00   |                                                                                     |
| Ta:                                                                                                                                                                                          | Momento de torção alternante [N*mm]    | 0,00   |                                                                                     |
| Mm:                                                                                                                                                                                          | Momento de flexão média [N*mm]         | 31,60  | Ma=F*La                                                                             |
| Tm:                                                                                                                                                                                          | Momento de torção média [N*mm]         | 694,49 | Tm=Ft*d                                                                             |
| d1:                                                                                                                                                                                          | Diâmetro inicial de cálculo [mm]       | 8,00   |                                                                                     |
| Sy:                                                                                                                                                                                          | Resistência ao escoamento [MPa]        | 517,00 | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931                                                |
| Se:                                                                                                                                                                                          | Resistência à tração [MPa]             | 334,50 | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931 =Sut/2                                         |
| Kf:                                                                                                                                                                                          | Fator de conc. tensão de fadiga-flexão | 1,68   | $K_f = K_t / \{[1 + 2 \cdot (K_t - 1) / K_t] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$             |
| Kfs:                                                                                                                                                                                         | Fator de conc. tensão de fadiga-torsão | 1,47   | $K_{ft} = K_{tf} / \{[1 + 2 \cdot (K_{tf} - 1) / K_{tf}] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$ |
| a^0,5:                                                                                                                                                                                       | Parâmetro de Heywood                   | 0,42   | $a^{0,5} = 139 / Sut$ p.330                                                         |
| r:                                                                                                                                                                                           | Raio de arredondamento [mm]            | 0,50   |                                                                                     |
| Kt:                                                                                                                                                                                          | Fator de conc. de tensão-flexão        | 3,00   | p.921 : extrapolação                                                                |
| Kts:                                                                                                                                                                                         | Fator de conc. de tensão-torsão        | 2,50   | p.921 : extrapolação                                                                |
| D1:                                                                                                                                                                                          | Diâmetro inicial de ressalto [mm]      | 4,00   |                                                                                     |
| D1/d1:                                                                                                                                                                                       | Razão de consulta 1-conc. de tensão    | 2,00   | na descrição                                                                        |
| r/d1:                                                                                                                                                                                        | Razão de consulta 2-conc. de tensão    | 0,06   | na descrição                                                                        |
| n:                                                                                                                                                                                           | Fator de segurança                     | 2,00   |                                                                                     |
| d min3:                                                                                                                                                                                      | Diâmetro mínimo (iteração 1) [mm]      | 3,27   |                                                                                     |
| $d_{min} = \{16 \cdot n / \pi \cdot [4 \cdot (K_f \cdot Ma / Se)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot Ta / Se)^2 + 4 \cdot (K_f \cdot Mm / Sy)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot Tm / Sy)^2]^{1/2}\}^{1/3}$     |                                        |        |                                                                                     |
| <b>Necessário calcular:</b>                                                                                                                                                                  |                                        |        |                                                                                     |
| Ma:                                                                                                                                                                                          | Momento de flexão alternante [N*mm]    | 0,00   |                                                                                     |
| Ta:                                                                                                                                                                                          | Momento de torção alternante [N*mm]    | 0,00   |                                                                                     |
| Mm:                                                                                                                                                                                          | Momento de flexão média [N*mm]         | 31,60  | Ma=F*La                                                                             |
| Tm:                                                                                                                                                                                          | Momento de torção média [N*mm]         | 694,49 | Tm=Ft*d                                                                             |
| d1:                                                                                                                                                                                          | Diâmetro inicial de cálculo [mm]       | 8,00   |                                                                                     |
| Sy:                                                                                                                                                                                          | Resistência ao escoamento [MPa]        | 517,00 | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931                                                |
| Se:                                                                                                                                                                                          | Resistência à tração [MPa]             | 334,50 | AISI1030 temp. e rev. a 540° C p.931 =Sut/2                                         |
| Kf:                                                                                                                                                                                          | Fator de conc. tensão de fadiga-flexão | 1,68   | $K_f = K_t / \{[1 + 2 \cdot (K_t - 1) / K_t] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$             |
| Kfs:                                                                                                                                                                                         | Fator de conc. tensão de fadiga-torsão | 1,47   | $K_{ft} = K_{tf} / \{[1 + 2 \cdot (K_{tf} - 1) / K_{tf}] \cdot a^{0,5} / r^{0,5}\}$ |
| a^0,5:                                                                                                                                                                                       | Parâmetro de Heywood                   | 0,42   | $a^{0,5} = 139 / Sut$ p.330                                                         |
| r:                                                                                                                                                                                           | Raio de arredondamento [mm]            | 0,50   |                                                                                     |
| Kt:                                                                                                                                                                                          | Fator de conc. de tensão-flexão        | 3,00   | p.923 : extrapolação                                                                |
| Kts:                                                                                                                                                                                         | Fator de conc. de tensão-torsão        | 2,50   | p.923 : extrapolação                                                                |
| D1:                                                                                                                                                                                          | Diâmetro inicial de ressalto [mm]      | 4,00   |                                                                                     |
| D1/d1:                                                                                                                                                                                       | Razão de consulta 1-conc. de tensão    | 2,00   | na descrição                                                                        |
| r/d1:                                                                                                                                                                                        | Razão de consulta 2-conc. de tensão    | 0,06   | na descrição                                                                        |
| n:                                                                                                                                                                                           | Fator de segurança                     | 2,00   |                                                                                     |
| n final:                                                                                                                                                                                     | Fator de segurança final obtido        | 29,42  |                                                                                     |
| $1/n_{final} = 16 / (\pi \cdot d_{min}^3) \cdot [4 \cdot (K_f \cdot Ma / Se)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot Ta / Se)^2 + 4 \cdot (K_f \cdot Mm / Sy)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot Tm / Sy)^2]^{1/2}$ |                                        |        |                                                                                     |

#### 6.4 Cálculos do Modelo 4 - Análise de elementos finitos

Foi feita uma análise por elementos finitos no sistema rotativo do modelo 4, de forma que as tensões e as deflexões fossem averiguadas durante o acionamento do conjunto.

A análise foi feita de forma análoga para dois comprimentos de ponta livre de eixo (onde é feito o acoplamento), para que fosse comprovado que o desalinhamento da ponta de eixo onde o acoplamento é feito é pequeno. Com isso pôde-se adotar o valor de 120 mm de distância entre o acionador e o bucal do turbocompressor, de modo a afetar da menor forma possível o escoamento de ar na entrada da microturbina.

Como pode ser visto na tabela abaixo com o resumo dos resultados obtidos, não há problemas ao observar-se as tensões equivalentes de Von Mises ou a deformação na ponta de eixo do equipamento.

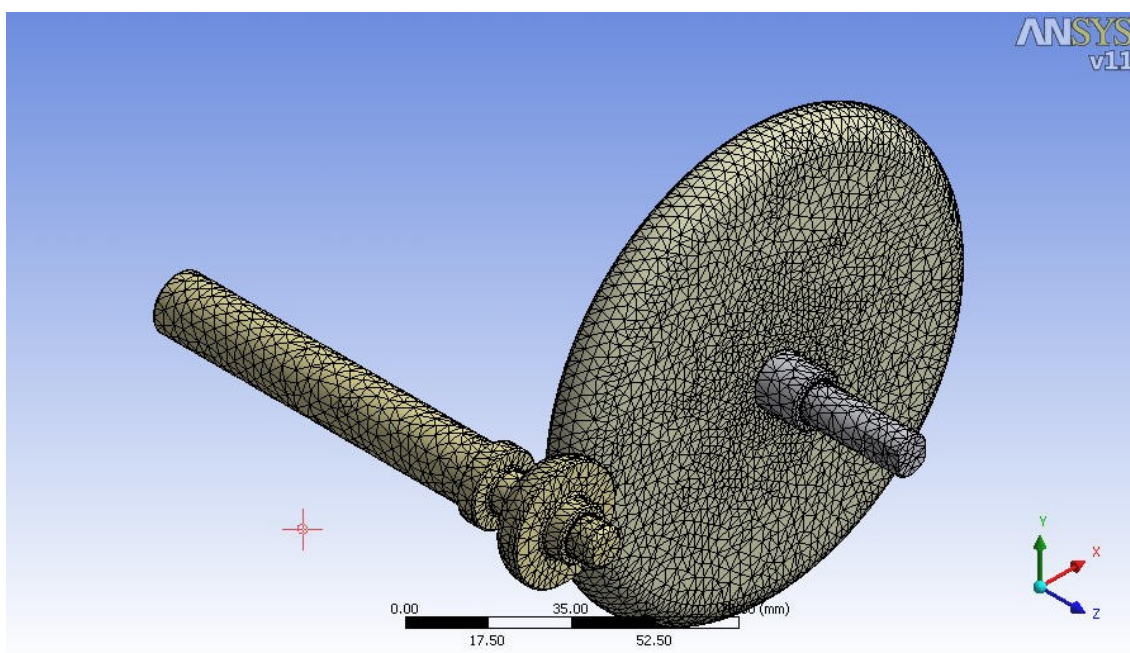
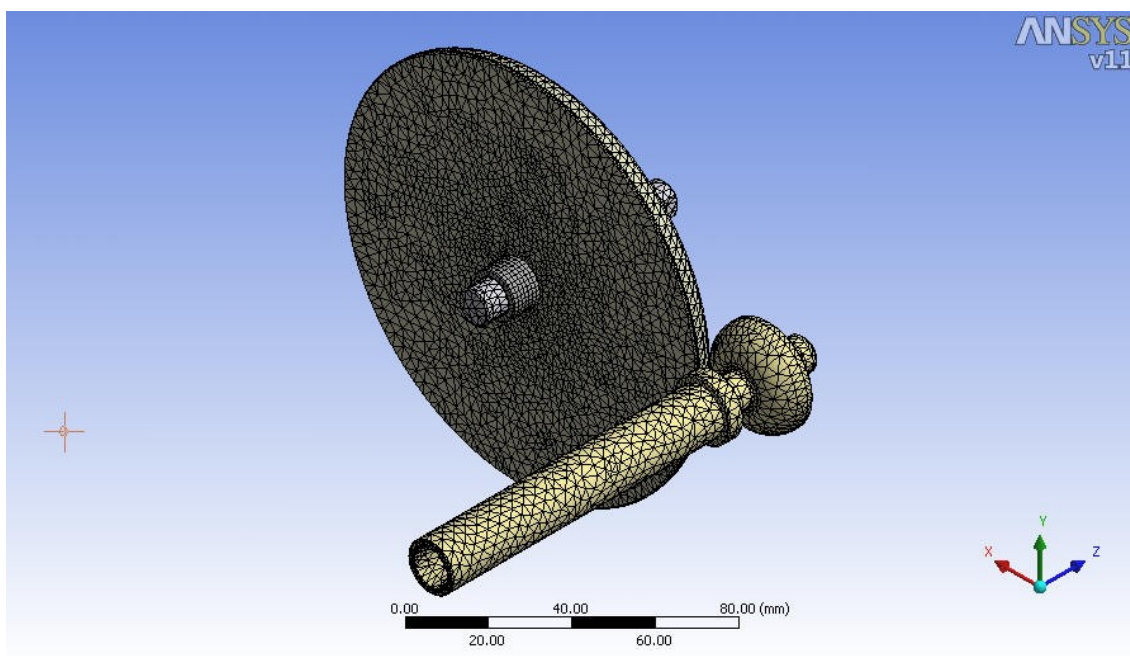
##### Resumo dos resultados

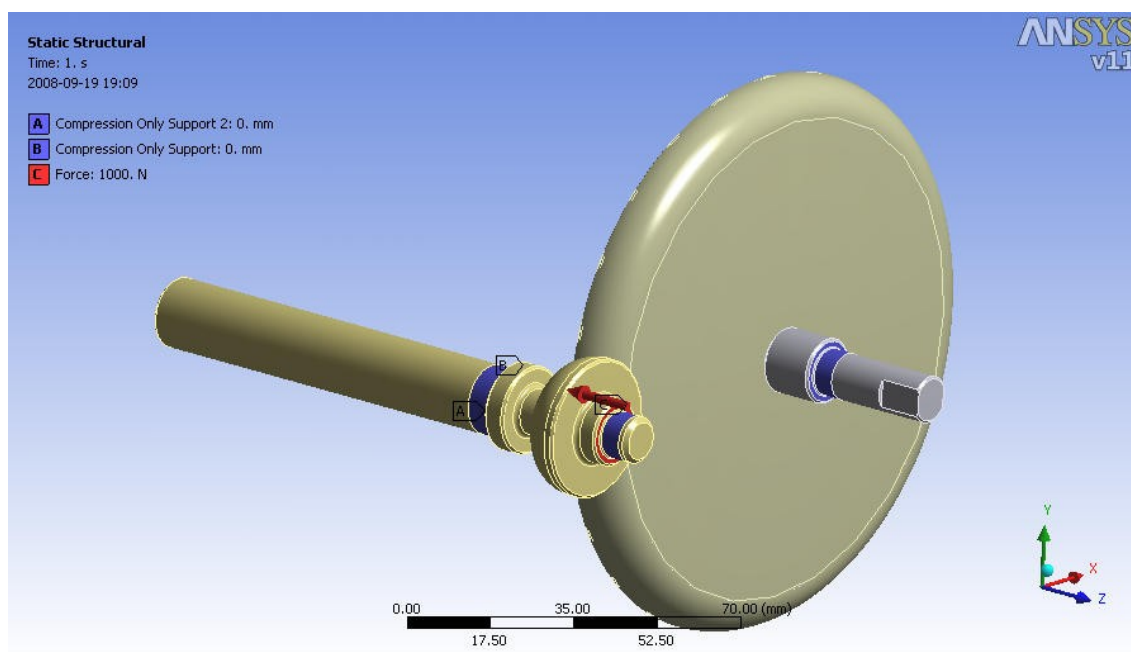
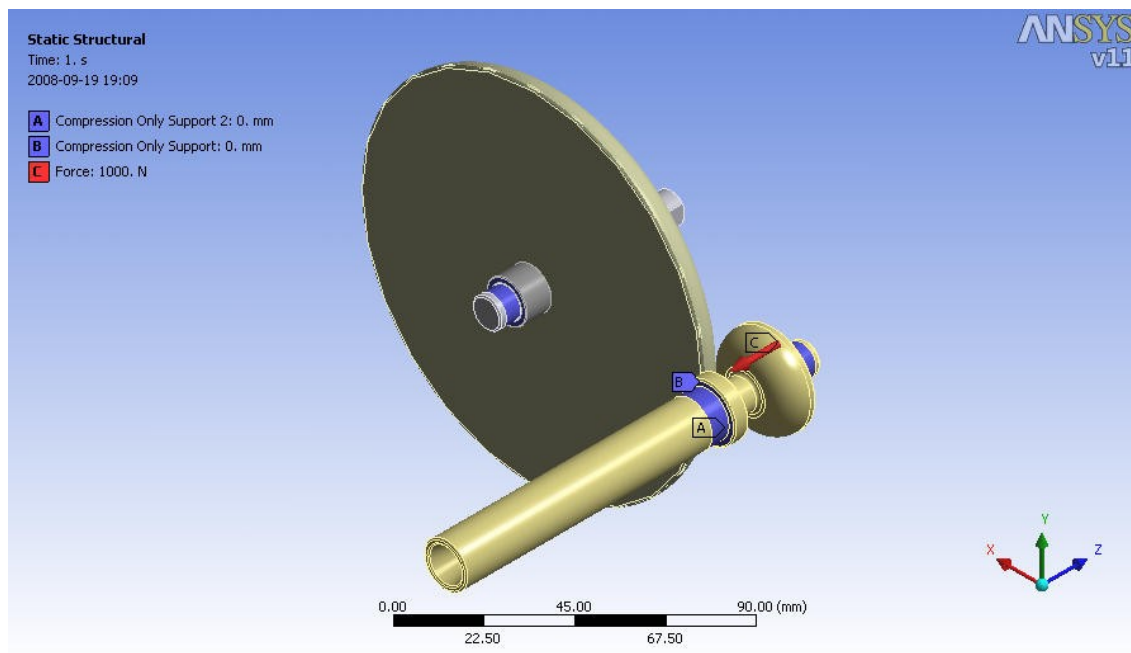
| Modelo | Tensão de Pico<br>[MPa] | Tensão Nominal<br>[MPa] | Deformação de Ponta de Eixo<br>[mm] |
|--------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| 77.5mm | 32.45                   | 15.63                   | 1.40 $\mu\text{m}$                  |
| 120mm  | 32.11                   | 15.63                   | 1.41 $\mu\text{m}$                  |

A seguir são apresentados os modelos utilizados na análise, com suas malhas, condições de contorno e resultados de tensão e deformações respectivos.

**Modelo/Malha**

77.5 mm de ponta de eixo livre / Número de elementos: 46030

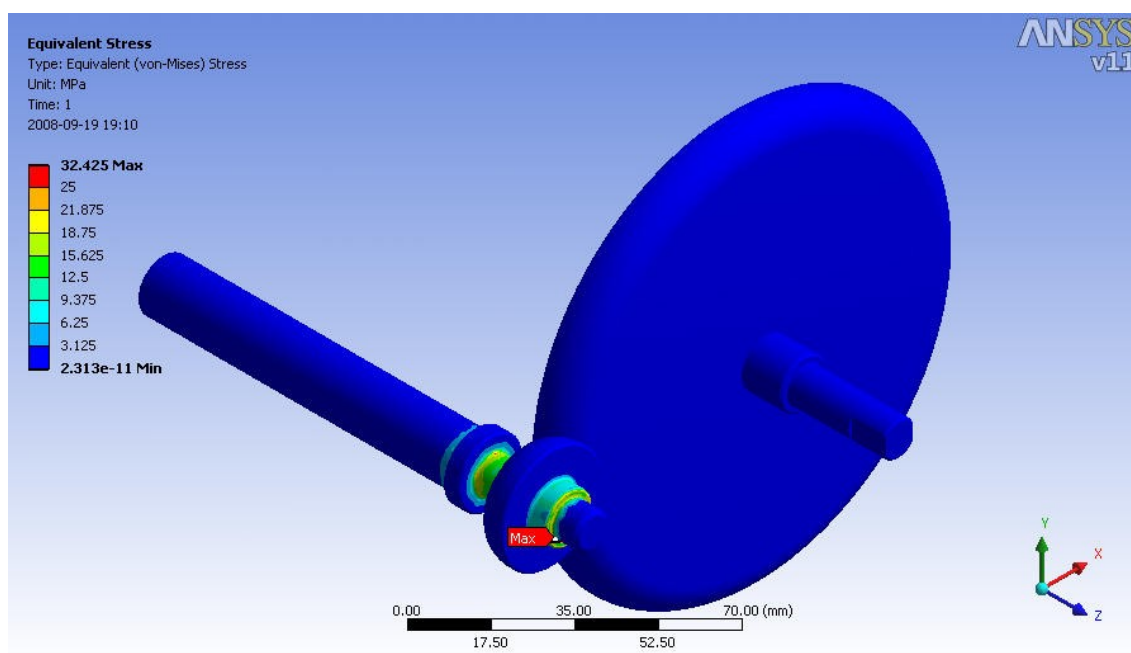
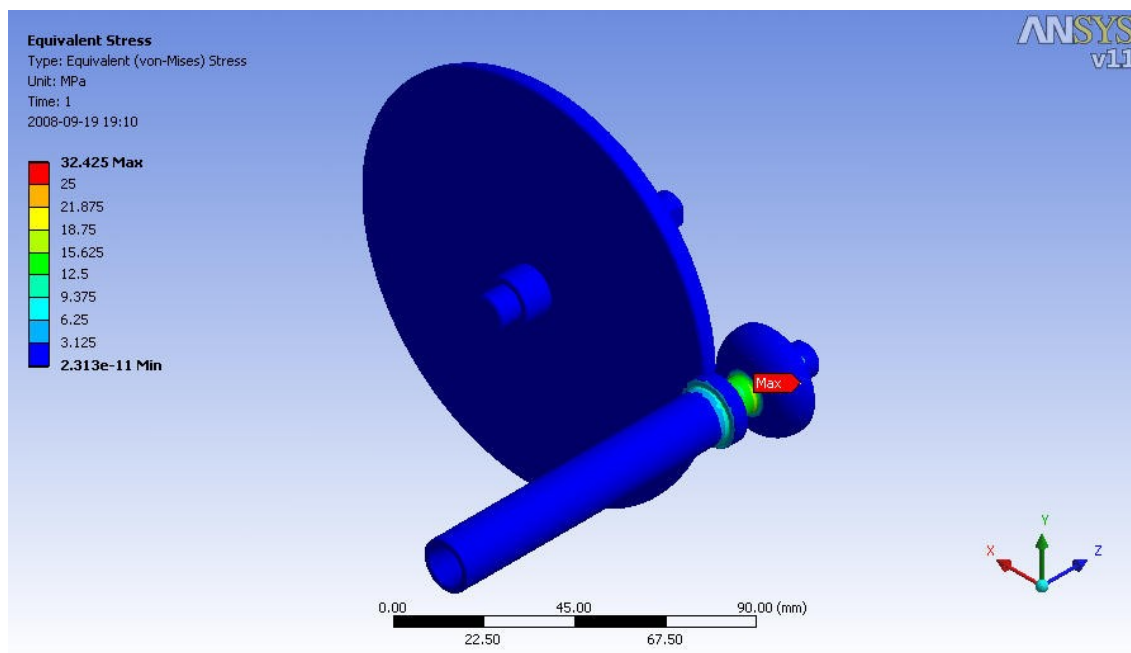


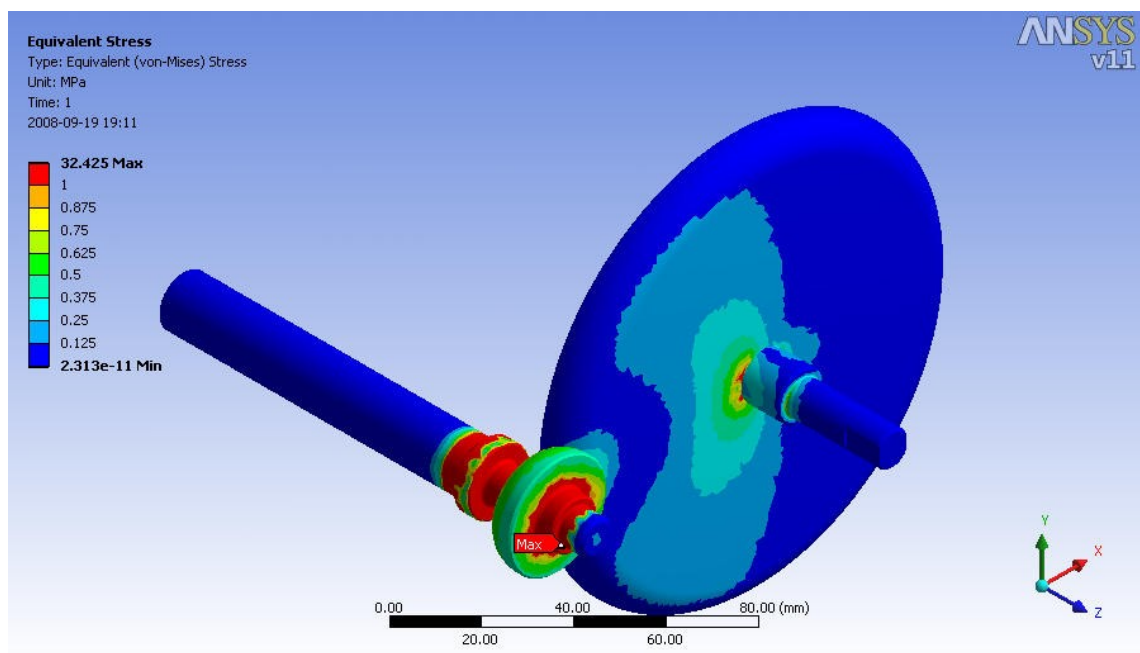
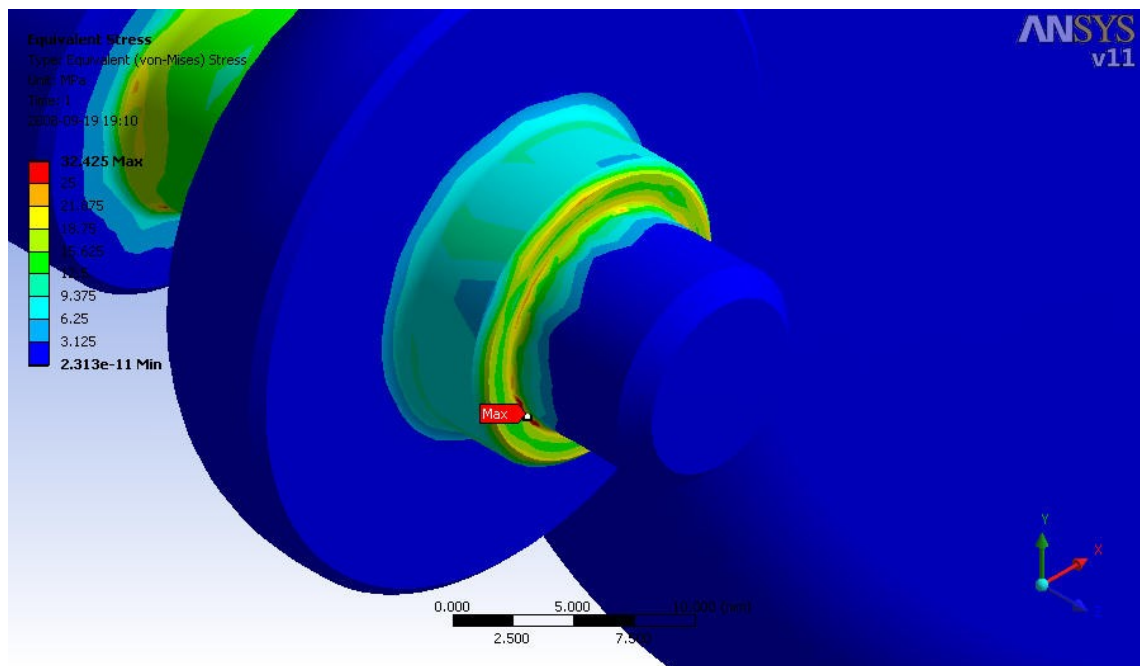
**Condições de contorno (77.5 mm de ponta de eixo livre)**

**Resultados** (77.5 mm de ponta de eixo livre)

Tensão equivalente de Von Mises

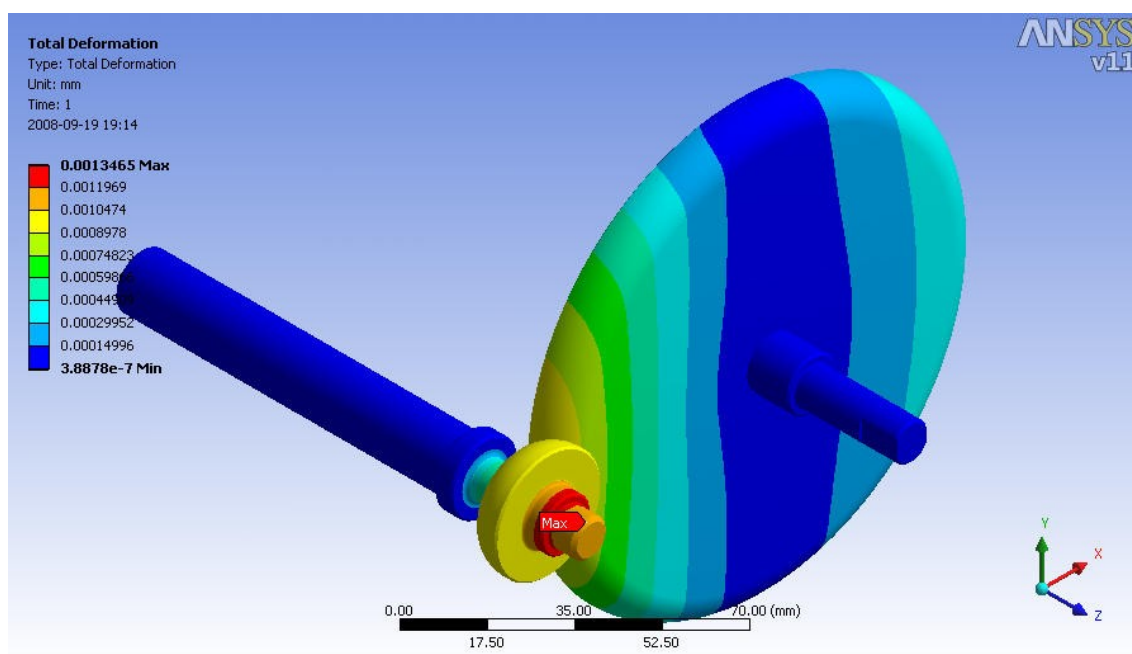
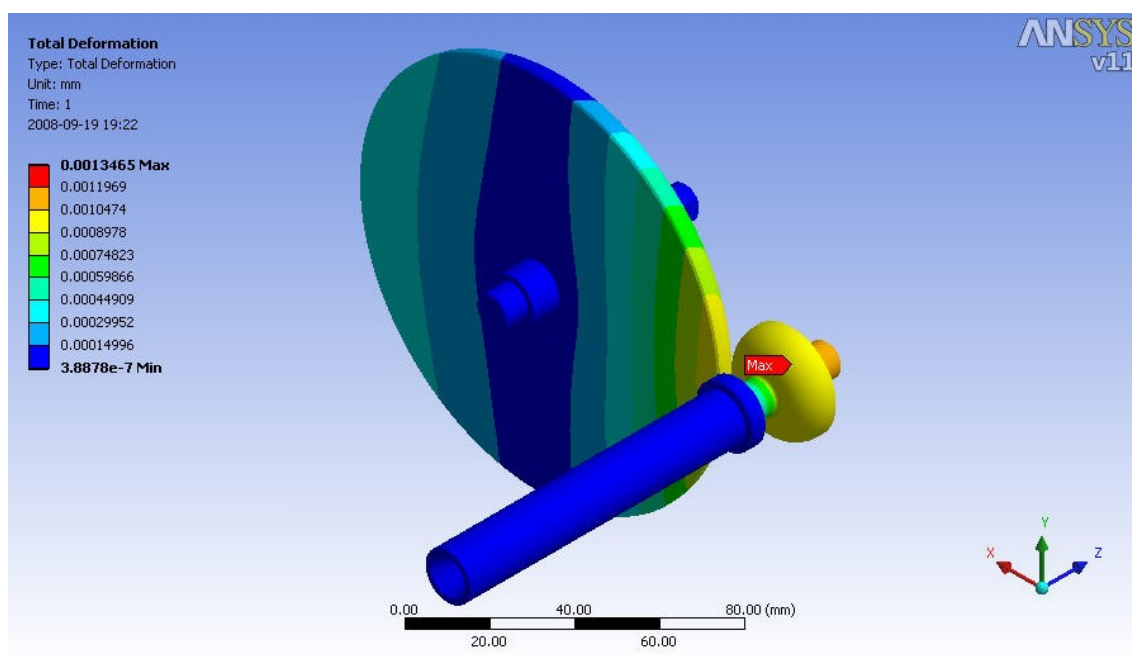
(escalas normais e reduzidas de amostragem)







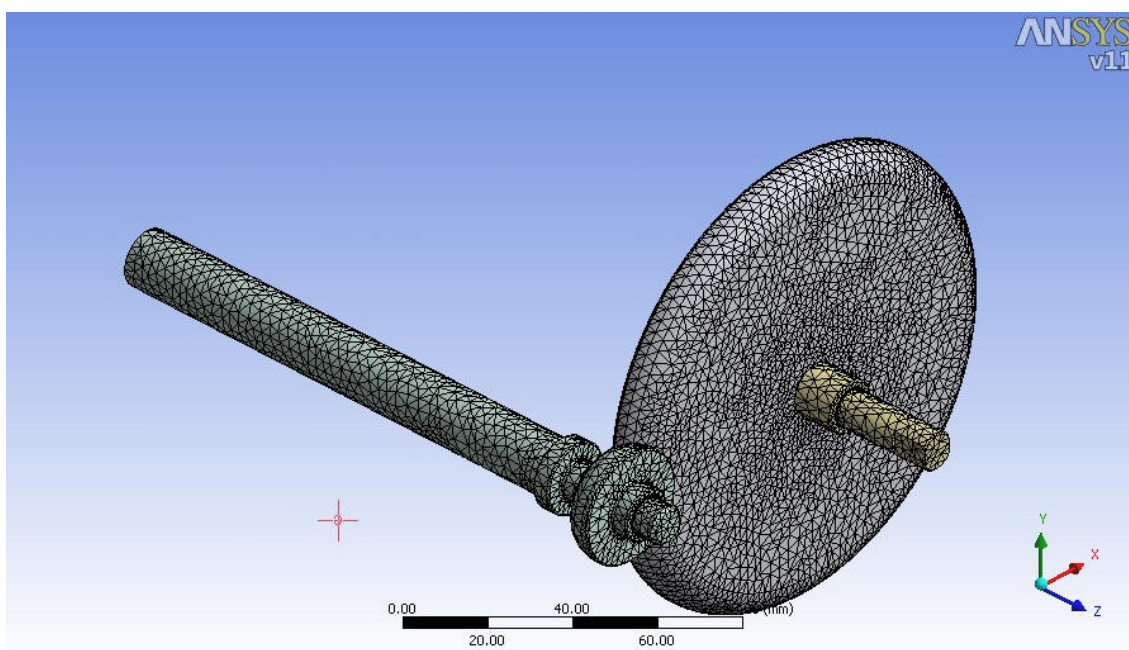
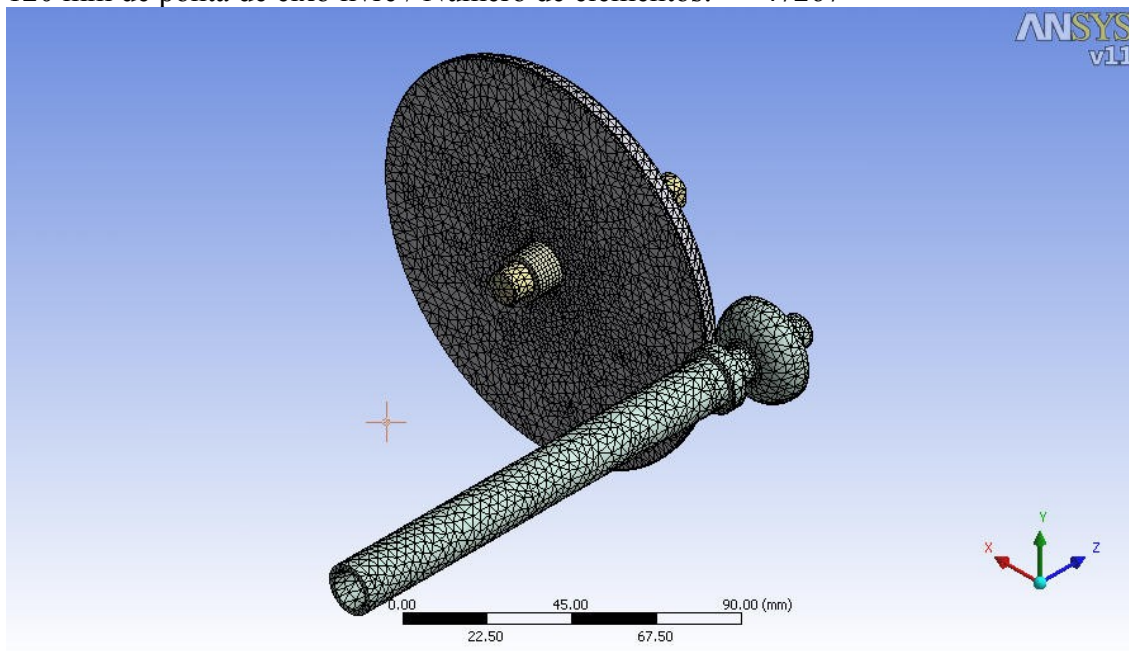
## Deformação

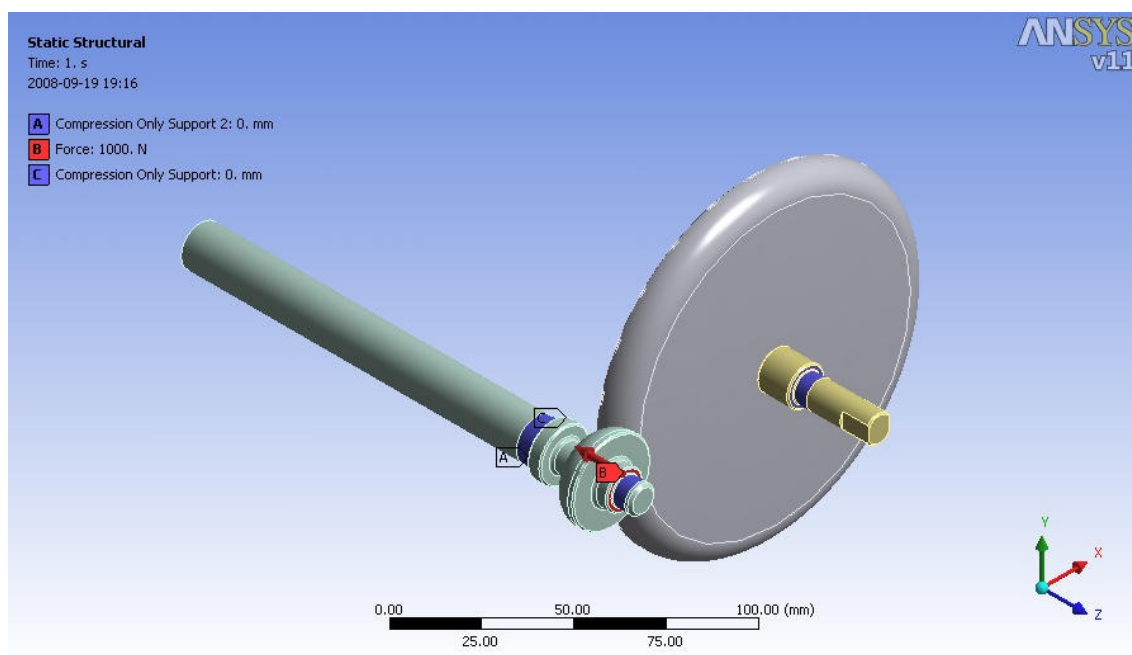
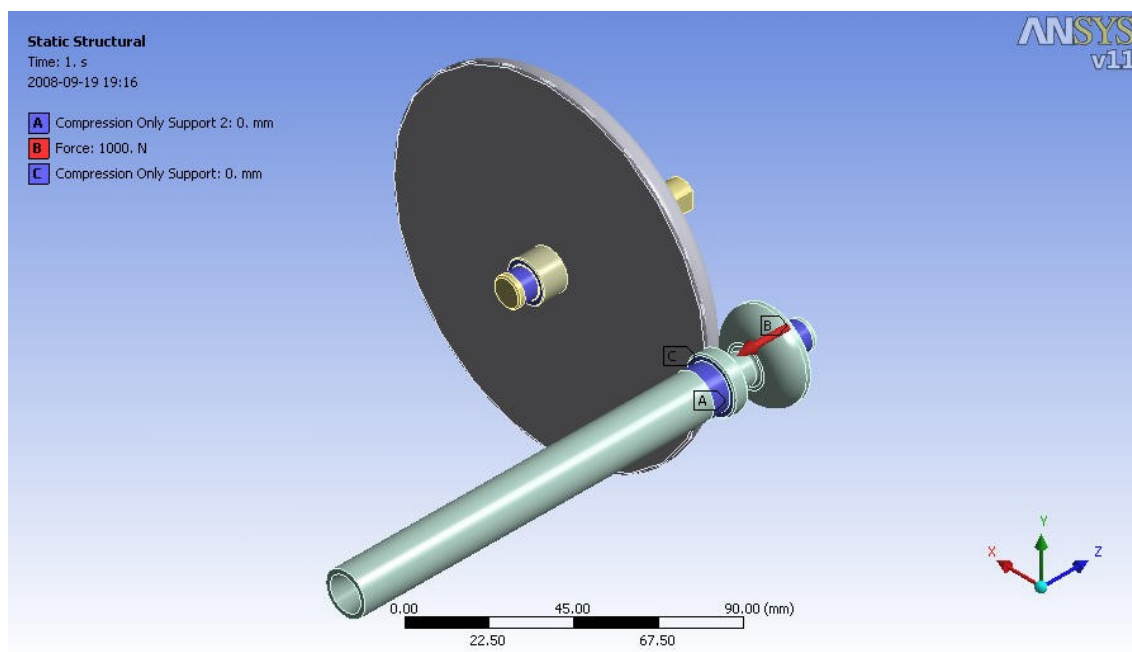




**Modelo/Malha**

120 mm de ponta de eixo livre / Número de elementos: 47267

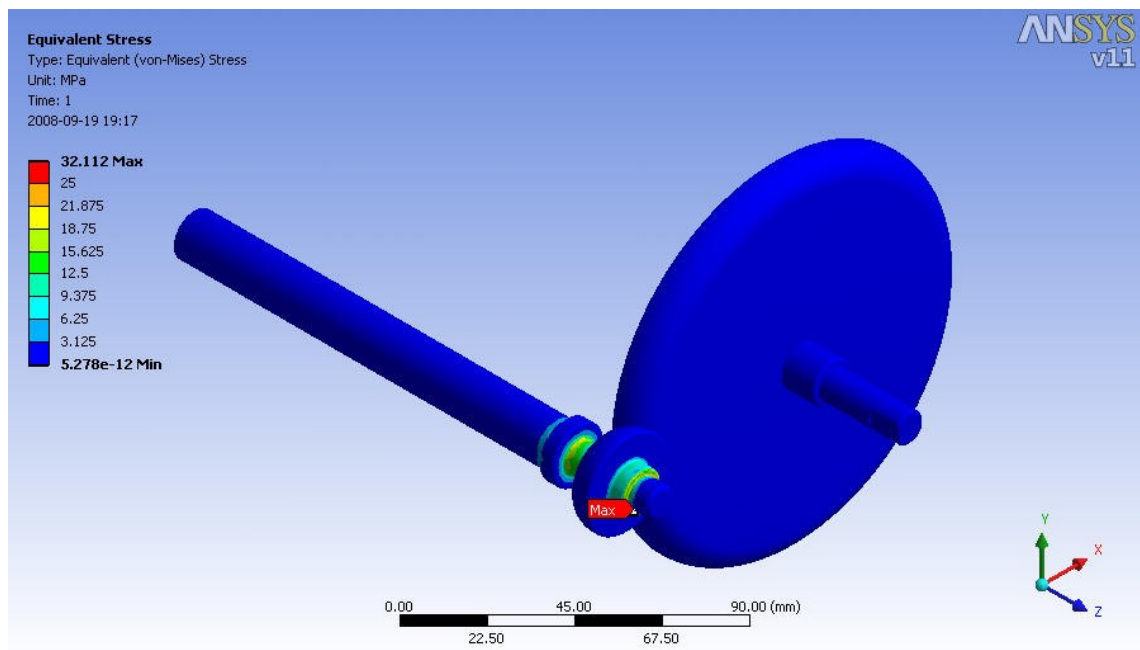
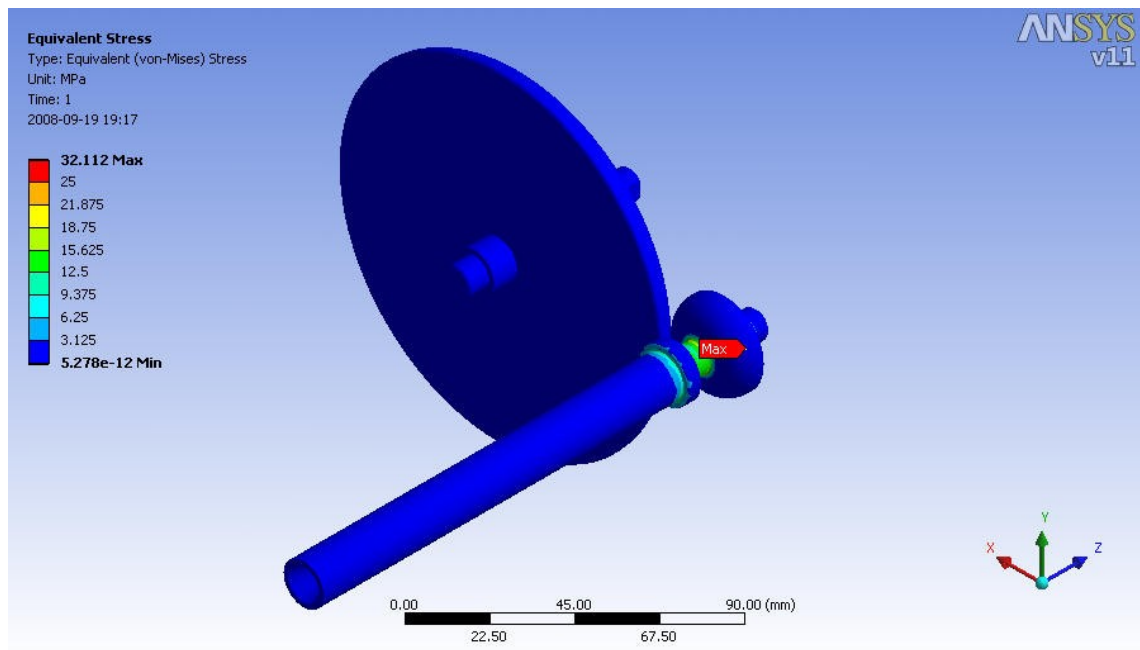


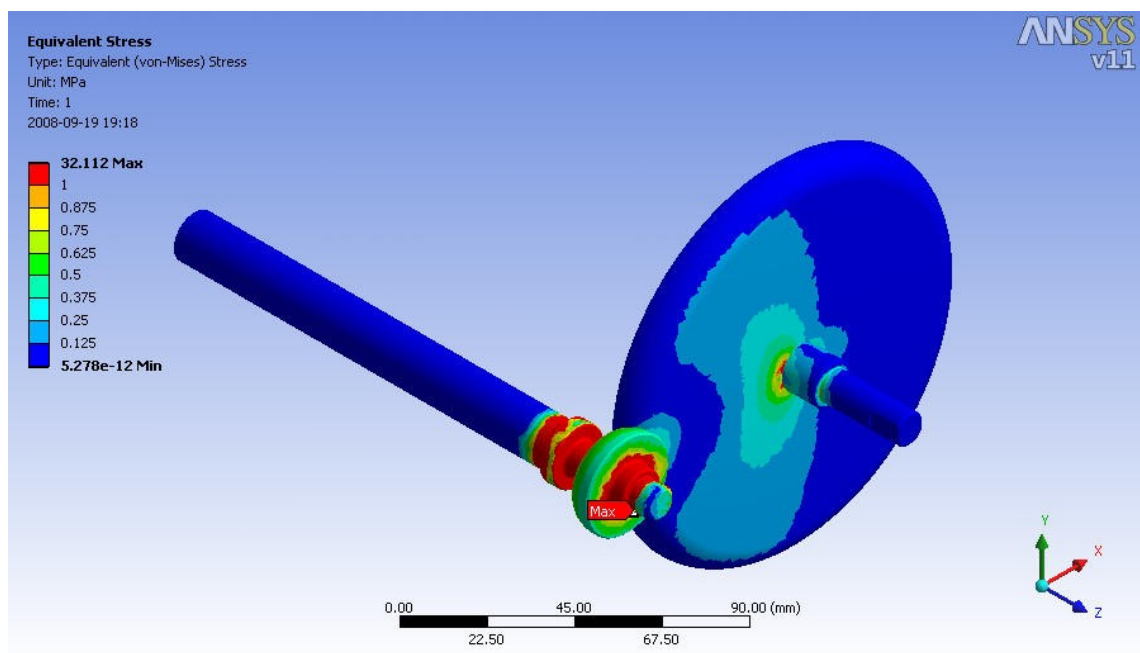
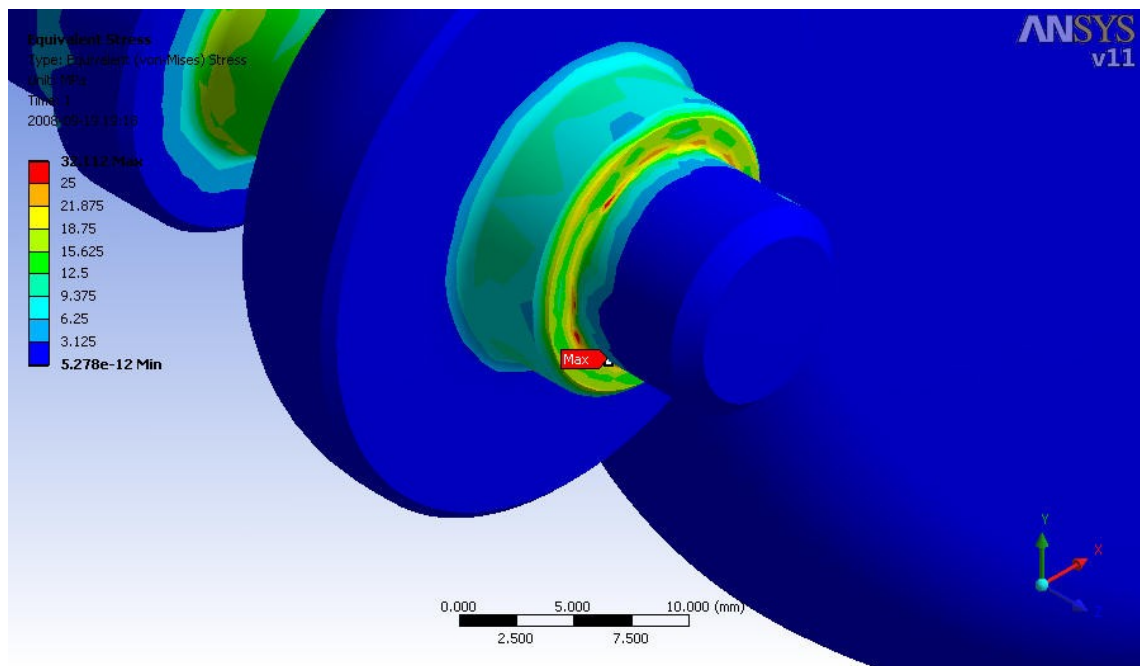
**Condições de contorno (120 mm de ponta de eixo livre)**

**Resultados (120 mm de ponta de eixo livre)**

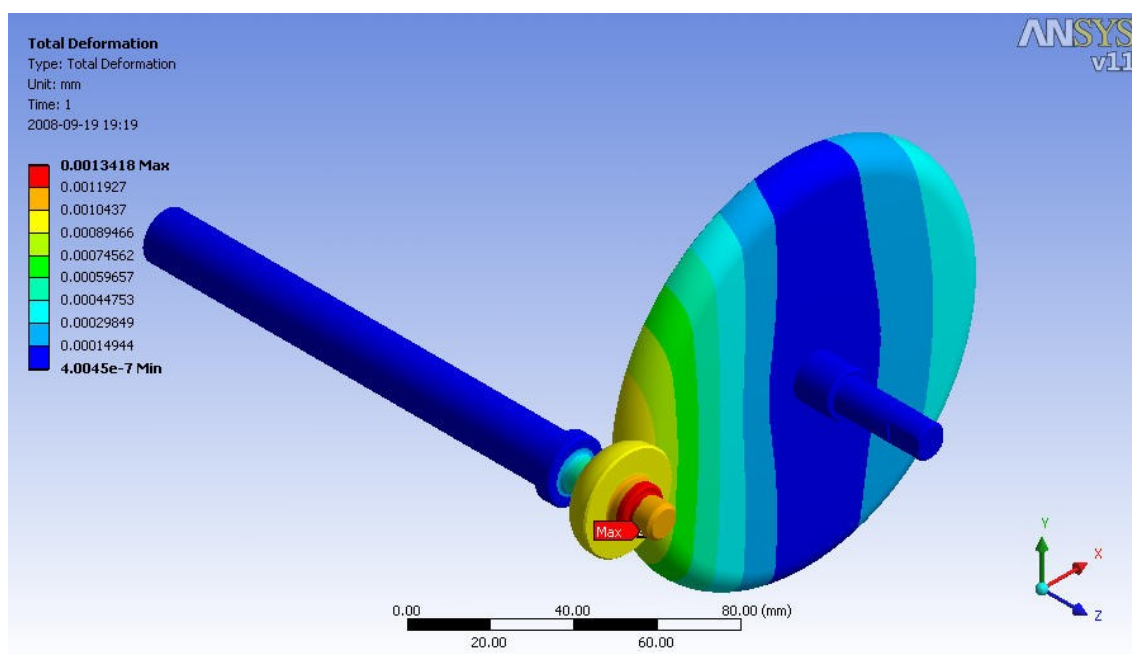
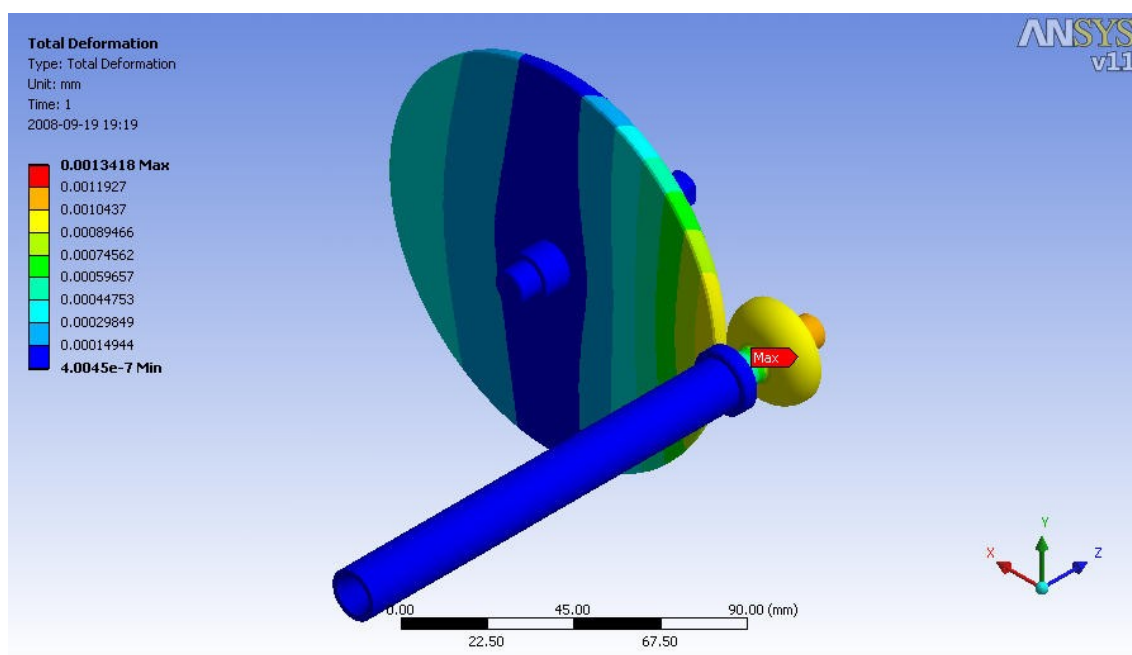
Tensão equivalente de Von Mises

(escalas normais e reduzidas de amostragem)





## Deformação



## 7. BIBLIOGRAFIA

Internet (acessos entre agosto 2007 e novembro de 2008)

- (1) <http://www.skf.com>
- (2) <http://www.br.nsk.com>
- (3) <http://www.weg.com.br>
- (4) <http://www.vulkan-brasil.com.br>
- (5) <http://www.schaeffler.com>
- (6) <http://www.flowserve.com>
- (7) <http://www.zollern.com>
- (8) <http://www.fcm.ind.br>
- (9) <http://www.irusa.com.br>

Livros e catálogos

- (10) Shigley, Joseph E. et al; "*Projeto de Engenharia Mecânica*" – 2005;
- (11) Zampese, Boris; "*Manuais de Rolamento - notas de aula*";
- (12) Zampese, Boris; "*Dimensionamento*" – 1986;

**ANEXO 1**

- Desenhos de Conjunto e de Fabricação, Modelo 4