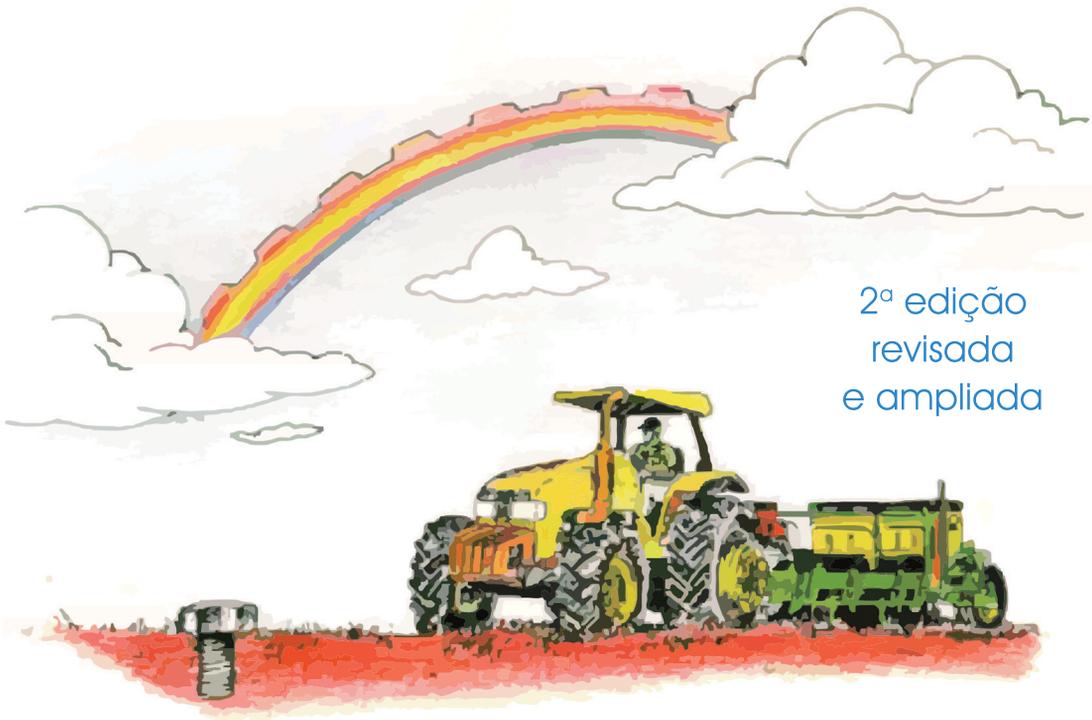


GILMAR TAVARES

ELEMENTOS ORGÂNICOS FUNDAMENTAIS DE MÁQUINAS E IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS



2ª edição
revisada
e ampliada

**ELEMENTOS ORGÂNICOS
FUNDAMENTAIS DE MÁQUINAS E
IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS**

Gilmar Tavares

**ELEMENTOS ORGÂNICOS
FUNDAMENTAIS DE MÁQUINAS E
IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS**

2ª Edição - Revisada e Ampliada
Versão para eBook



© 2017 by Gilmar Tavares

1ª Edição: 2000

2ª Edição - Revisada e Ampliada: 2014

eBook: 2017

Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, por qualquer meio ou forma, sem a autorização escrita e prévia dos detentores do copyright.

Direitos de publicação reservados à Editora UFLA.

Impresso no Brasil – ISBN: 978-85-8127-053-1

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

Reitor: José Roberto Soares Scolforo

Vice-Reitora: Édila Vilela de Resende Von Pinho



Editora UFLA

Campus UFLA - Pavilhão 5

Caixa Postal 3037 – 37200-000 – Lavras – MG

Tel: (35) 3829-1532 – Fax: (35) 3829-1551

E-mail: editora@editora.ufla.br

Homepage: www.editora.ufla.br

Diretoria Executiva: Marco Aurélio Carbone Carneiro (Diretor) e Nilton Curi (Vice-Diretor)

Conselho Editorial: Marco Aurélio Carbone Carneiro (Presidente), Nilton Curi, Francisval de Melo Carvalho, Alberto Colombo, João Domingos Scalon, Wilson Magela Gonçalves.

Administração: Flávio Monteiro de Oliveira

Secretária: Késia Portela de Assis

Comercial/Financeiro: Damiana Joana Geraldo Souza

Revisão de Texto: Maria de Carvalho Tavares e Valdete Moreira de Carvalho

Referências Bibliográficas: Editora UFLA

Editoração Eletrônica: Marco Aurélio Costa Santiago, Patrícia Carvalho de Moraes, Renata de Lima Rezende

Capa: Carlos Frederico Hermeto Bueno (In memoriam)

Ficha catalográfica elaborada pela Coordenadoria de Processos Técnicos da Biblioteca Universitária da UFLA

Tavares, Gilmar.

Elementos orgânicos fundamentais de máquinas e implementos agrícolas / Gilmar Tavares. – 2. ed. rev. e ampl. – Lavras : Ed. UFLA, 2014.

259 p. : il. ; PDF

Bibliografia.

ISBN: 978-85-8127-030-2

1. Engenharia agrícola. 2. Estudo quantitativo.
3. Cinematismo. 4. Anteprojeto. 5. Mecanismo. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 681.763

Dedico à Meirinha, mais que esposa,
um presente especial de Deus para a minha vida.

Agradecimentos

Ao meu Deus toda a glória por tantos anos de vitórias.

Aos meus filhos João Tavares Neto (Netinho) e Antonio Gilmar Carvalho Tavares (Toninho), por serem filhos tão maravilhosos.

À Editora UFLA, nas pessoas do Prof. Renato Paiva e da funcionária Patrícia Carvalho de Moraes.

Ao Departamento de Engenharia da UFLA

Às prof(as) Maria de Carvalho Tavares (D. Meirinha) e Valdete Moreira de Carvalho, pela revisão dos textos.

Aos acadêmicos Daniel Sannomia e Eduardo Tiradentes, pelo apoio técnico responsável e eficiente.

Apresentação

Uma máquina ou um implemento agrícola, por mais simples ou extremamente complexos que possam ser, serão sempre constituídos de partes fundamentais, como: eixos, buchas, rolamentos, parafusos, chavetas, correias, engrenagens, polias, pinos, chapas, barras etc.

Estudando-se qualitativa e quantitativamente estes elementos fundamentais, mesmo de maneira didática, é possível desenvolver novos equipamentos ou aperfeiçoar os já existentes, a partir das informações colhidas no dia-a-dia da mecanização agrícola.

Como pré-requisito, é apresentado o estudo de Tecnologia de Materiais, onde as ligas ferro/carbono são preferencialmente estudadas, pois são matéria prima para a maioria dos elementos orgânicos e fundamentais das máquinas agrícolas. O próximo estudo seria o de Operação, Manutenção e Regulagem de Máquinas Agrícolas ou Mecanização Agrícola.

Embora este livro tenha finalidades exclusivamente didáticas, acreditamos que o profissional de ciências agrárias que opera, regula e mantém suas máquinas, após desenvolver estes estudos com aproveitamento, poderá também modificá-las ou repará-las, e até mesmo desenvolver novos equipamentos, de acordo com as necessidades particulares de cada condição de utilização.

Gilmar Tavares

Prefácio

A história do nascimento de práticas agrícolas está correlacionada com a própria evolução de nossos ancestrais, que ao esgotarem os recursos naturais dos “sítios” onde viviam, se tornaram nômades à busca de novas regiões que lhes garantissem a sobrevivência.

Finalmente, se viram diante do esgotamento de recursos naturais com o “crescimento populacional” da época.

Curiosos e intuitivos passaram novamente a se fixarem definitivos. Surgiram as primeiras comunidades e trabalhos cooperativos, usando ferramentas rudimentares, sendo eles mesmos, a fonte principal de potência, visando práticas de produção de espécies vegetais para alimento: nasceu a agricultura. Uma história fascinante e uma epopéia que não cessou mais...

Nos nossos dias, o objetivo não mudou. Tecnologias avançadas, e ao invés de homens e animais, máquinas modernas e versáteis. E em certas regiões, até sofisticadas, surgiram como decorrência natural.

Abnegados agrônomo se dedicaram a este desenvolvimento. Sem esquecer, é claro, da prática e experiência transmitidas de geração em geração.

Impossível permanecer neste estágio. O desdobramento da profissão do agrônomo e conseqüentemente maior especialização de profissionais ligados à agropecuária, foram inevitáveis.

A necessidade de aplicar de forma mais setorial e eficiente, as técnicas que suportam as ciências agrárias, faz nascer acerca de 80 anos atrás, nos Estados Unidos, o Engenheiro Agrícola. Cerca de 25 anos, em nosso país.

É aquele profissional que congrega um mínimo necessário de conhecimento das diversas áreas de engenharia aplicadas ao campo, para possibilitar o alimento em nossas mesas. Sem esquecer outras especialidades que são indispensáveis, e se somam a este nobre e árduo trabalho, quase sempre sem o devido reconhecimento; lidar com a terra e garantir nossa sobrevivência. Uma análise crítica mostra o oposto, a fome, onde estes profissionais e suas técnicas não chegaram ainda. Esperamos que seja rápido! Temos a honra de apresentar esta obra contendo técnicas indispensáveis a quem não só usa as máquinas agrícolas, mas que tenha condições de intervir nelas, e até desenvolver novos equipamentos. Máquinas, equipamento sem conhecer os elementos que os compõem e as técnicas para calculá-los não há como manter o que existe, desenvolver o novo. Gilmar

Tavares coloca à disposição de estudantes, ou já profissional, obra compilada ao longo de sua dedicação, como engenheiro mecânico e professor. Esperamos a devida valorização do profissional em ciências agrárias, e de dedicados profissionais que apreendam e repassem o saber.

Tomás de Aquino Ferreira

Sumário

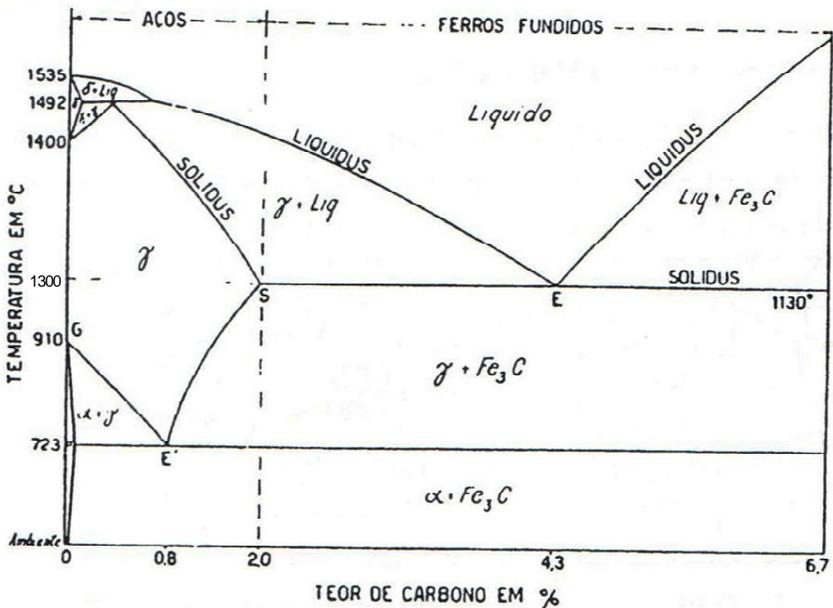
1. FUNDAMENTOS DAS LIGAS FERRO-CARBONO	17
2. DIAGRAMA TENSÃO - DEFORMAÇÃO	21
3. VIBRAÇÕES MECÂNICAS	27
3.1. INTRODUÇÃO AO ESTUDO DO MOVIMENTO HARMÔNICO	28
3.2. SISTEMA MASSA/MOLA	29
3.3. VIBRAÇÃO LIVRE	30
3.4. VIBRAÇÃO FORÇADA	32
3.5. RESSONÂNCIA	33
3.6. AMORTECIMENTO	36
3.7. TRANSMISSIBILIDADE	40
3.8. ROTAÇÃO CRÍTICA PARA EIXOS	42
3.9. BALANCEAMENTO: (Estático e Dinâmico)	46
3.10. MANUTENÇÃO PREDITIVA	49
4. A FADIGADOS ELEMENTOS DE MÁQUINAS	53
4.1. FATORES E CAUSAS	53
4.2. FRATURA POR FADIGA	54
4.3. ESTUDO DAS SOLICITAÇÕES OU ESFORÇOS QUE CAUSAM FADIGA	55
4.4. DIAGRAMA DE WHÖLER	58
4.5. DIAGRAMA DE GOODMAN	60
4.6. COEFICIENTE DE SEGURANÇA	63
5. INTRODUÇÃO AO ESTUDO DOS MANCAIS DE DESLIZAMENTO (BUCHAS)	67
5.1. CÁLCULO DE MANCAIS	69
5.2. RESISTÊNCIA AO PIVOTAMENTO	69
5.3. COMPARAÇÃO COM OS ROLAMENTOS	80
6. ROLAMENTOS MANCAIS DE ROLAMENTO	85
6.1. SELEÇÃO OU ESCOLHA DO ROLAMENTO.....	85
6.2. DETERMINAÇÃO DAS DIMENSÕES ADEQUADAS DE UM ROLAMENTO.....	87
6.3. EXERCÍCIOS FUNDAMENTAIS.....	88

6.4. INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES	91
6.5. VEDAÇÃO (RETENTORES)	93
6.6. PRINCIPAIS ROLAMENTOS PARA MÁQUINAS E IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS	94
6.7. FALHAS DE ROLAMENTOS	95
7 ENGRENAGENS (Cinematismo)	103
7.1. INTRODUÇÃO AO ANTEPROJETO DE ENGRENAGENS (Cinematismo)	103
7.2. INTERFERÊNCIA	113
7.3. CORTADORES DE ENGRENAGENS	115
7.4. DIMENSÕES DA ENGRENAGEM DENTES RETOS	116
7.5. ENGRENAGENS CILÍNDRICAS DE DENTES HELICOIDAIS (INCLINADOS).....	119
8 ENGRENAGENS CÔNICAS.....	125
9 ENGRENAMENTO SEM-FIM / COROA	129
10 EIXOS	135
10.1. EXEMPLO DE CÁLCULO DO DIÂMETRO DE UM EIXO	135
11 SOLDA	141
11.1. SOLDA DE MANUTENÇÃO	141
11.2. PROCESSOS MAIS UTILIZADOS EM ENGENHARIA AGRÍCOLA: ...	143
11.3. TÉCNICAS DE SOLDAGEM A ARCO VOLTAICO:	146
11.4. AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA NA JUNTA SOLDADA A ARCO VOLTAICO	147
11.5. COMPLEMENTAÇÃO	151
11.6. PRINCÍPIOS BÁSICOS DE METALURGIA PARA SOLDA-DORES ...	161
12 ROSCAS E PARAFUSOS: JUNÇÕES POR MEIO DE PARA-FUSOS	167
12.1. CLASSIFICAÇÃO DOS PARAFUSOS	168
12.2. SISTEMAS DE ROSCA PADRONIZADAS:	171
12.3. DIMENSIONAMENTO	175
13 CHAVETAS	179
14 MOLAS: TEORIA	183
14.1. MOLAS HELICOIDAIS CILÍNDRICAS E FEIXE-DE-MOLAS	184
15 CABOS DE AÇO E CORRENTES	189
16 TOLERÂNCIA E AJUSTAGEM MECÂNICA	193

16.1. INTRODUÇÃO	193
16.2. ESTUDO DE JOGOS E INTERFERÊNCIA	196
16.3. CLASSES DE AJUSTES	198
16.3.1. Ajuste ISO - ABNT (Instrument Society of América)	199
16.4. APLICAÇÃO DOS SISTEMAS DE AJUSTE	203
16.5. MONTAGENS RECOMENDADAS	205
16.6. QUANTIFICAÇÃO DOS AJUSTES	210
16.7. RUGOSIDADE	211
17 TRANSMISSÃO POR CORREIAS	223
18 NOÇÕES DE MÁQUINAS OPERATRIZES	225
19 LUBRIFICAÇÃO E LUBRIFICANTES	233
20 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	239
ANEXOS	243

FUNDAMENTOS DAS LIGAS Fe-C

Diagrama de Equilíbrio das Ligas Ferro-Carbono



Revisão de algumas definições importantes:

1) **Ferro gusa:** liga ferro-carbono, contendo ainda outros elementos, obtida por fusão redutora e destinada, geralmente, a refusão e refino.

2) **Aço:** liga ferrosa (Fe+ C), capaz de ser deformada plasticamente, com teores mínimo e máximo de carbono da ordem de 0,008% a 2% respectivamente, podendo conter outros elementos de liga, além das impurezas inerentes ao processo de fabricação.

3) Aço-carbono: aço em que não se fizeram adições de elementos de liga e o qual os seguintes elementos não ultrapassam os teores indicados: Manganês - 1,65%; Silício - 0,60%; Cobre - 0,60%.

Costuma-se classificar os aços-carbonos segundo as denominações abaixo:

Teor de C em %		Denominação	
menos que 0,15	Extra-doce	Baixo-carbono	< 1030
0,15 - 0,30	Doce		
0,30 - 0,40	Meio-doce	Médio-carbono	1030 - 1060
0,40 - 0,60	Meio-duro		
0,60 - 0,70	Duro	Alto-carbono	1060 - 10120
0,70 - 1,20	Extra-duro		

Estas denominações e os teores correspondentes são variáveis e são apresentadas apenas como indicação.

4) Aço-comum: denominação obsoleta impropriamente utilizada para designar aços-carbono.

5) Aço-liga: (aço ligado) aço que contém elementos de liga adicionados intencionalmente com a finalidade de conferir-lhe propriedades desejadas.

6) Aço de baixa-liga: aço em que a soma dos teores dos elementos de liga não ultrapassa 5%.

7) Aço de alta liga: aço em que a soma dos teores dos elementos de liga ultrapassa 5%.

8) Aço especial (aço fino): aço caracterizado por propriedades superiores, para finalidade específicas, em virtude de precauções especiais na fabricação ou de requisitos de composição química, podendo ser ligado ou não ligado.

9) Aço estrutural: aço destinado a construção de estruturas, de baixo ou médio carbono.

10) Aço ferramenta: aço adequado a confecção de ferramentas de corte ou conformação.

11) Aço rápido: aço para ferramentas capaz de suportar as elevadas temperaturas de trabalho de usinagem com altas velocidades de corte, sem perder a dureza. Contém tungstênio, cromo e vanádio e, eventualmente, molibdênio, cobalto e outros elementos.

12) Aço de usinagens fácil (aço resulfurado): aço mais facilmente usinável que outro de composição análoga quanto aos elementos principais; contém adições propositadas de enxofre, chumbo, bismuto ou outros que assegurem melhoria na usinabilidade.

13) Aço inoxidável: nome genérico das séries de aços de alto teor de cromo frequentemente com níquel e cuja principal propriedade é sua alta resistência a oxidação e corrosão.

14) Aço manganês: aço com excelente resistência a abrasão e choques, com 10 a 14% de manganês e de 1 a 1,4% de carbono (aço Hadfield).

15) Ferro-liga: liga de ferro e um ou mais elementos que não o carbono. Usado em siderurgia como um meio de introduzir estes elementos no aço e no ferro fundido; ou como agente desgaseificante ou de limpeza do aço e do ferro fundido.

16) Microconstituintes fundamentais dos aços:

- **Ferrita**

É o ferro α ($Fe \alpha$), à temperatura ambiente com pouco carbono dissolvido. Como a ferrita possui estrutura ccc, os espaços interatômicos são pequenos, de forma que não podem acomodar com facilidade mesmo os pequenos átomos de carbono. O átomo de C é muito pequeno para formar uma solução substitucional e muito grande para formar uma intersticial. O ferro α ($Fe \alpha$) consegue absorver no máximo 0,025% de C e esta solução tem a denominação metalográfica de ferrita.

- **Austenita**

Entre 910°C e 1400°C o ferro tem estrutura cfc com espaços interatômicos maiores que a ferrita. Possui portanto um limite de solubilidade maior, ou seja, no máximo 2% de C. **Por definição os aços possuem até 2% de C e conseqüentemente 0 carbono está dissolvido na austenita (Fe), na quantidade máxima possível (limite de solubilidade)**, na temperatura de 1130°C indicada pelo diagrama Fe-C. Observada no microscópio com equipamentos especiais, pois estará a uma temperatura elevada, tem o aspecto granular semelhante a da ferrita a temperatura ambiente.

- **Cementita:**

Nas ligas Fe-C, o excesso de C, além do limite de solubilidade forma uma segunda fase, o carbeto de ferro - Fe_3C - chamado cementita. O Fe_3C (cementita) analisado isoladamente possui 6,67% de C. É o micro-constituente mais duro dos aços e ferros fundidos.

- **Perlita:**

É o resultado da reação eutetóide das ligas Fe-C. A reação envolve a formação simultânea e direta de ferrita e cementita a partir da austenita de composição eutetóide (0,8% de C).

- **Ledeburita**

É o microconstituente fundamental dos ferros fundidos, formada por glóbulos de perlita sobre um fundo de cementita, gerada em ligas Fe-C com teores de carbono acima de 2% e temperaturas abaixo de 723°C.

17) Ferros fundidos mais usados e classificados como:

- Ferro fundido branco
- Ferro fundido cinzento
- Ferro fundido ligado
- Ferro fundido maleabilizado .
- Ferro fundido nodular
- Ferro fundido mesclado
- Ferro fundido vermicular

18) Distinção de Produtos Laminados Planos (Aços C.)

- **Folha:** É um laminado que tem espessura inferior a 0,30 mm com qualquer largura.

- **Tira:** É um laminado com espessura entre 0,30 mm a 0,60 mm com largura inferior a 0,40 m.

- **Chapa fina:** É um laminado com espessura entre 0,30 mm a 6,00mm com largura igual ou superior a 0,40 m.

- **Barra-chata:** É um laminado com espessura superior a 6,00 mm e largura igual ou inferior a 0,30 m.

- **Chapa-grossa:** É um laminado cuja espessura é superior a 6,00 mm e largura igual ou superior a 0,30 m.

- **Chapa galvanizada:** É uma chapa cuja superfície está recoberta por banho com sais de zinco.

- **Folha de Flandres:** É um laminado de fina espessura cuja superfície está recoberta com banho de estanho puro.

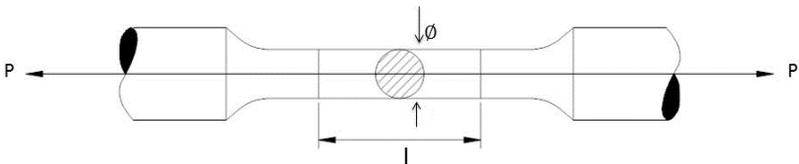
DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO

Revisão:

Conforme é detalhadamente estudado no Módulo de Tecnologia de Materiais, o ensaio tensão x deformação tem como finalidade principal a determinação dos limites de escoamento e ruptura dos materiais ensaiados, os quais serão utilizados no dimensionamento dos elementos de máquinas.

Com esta finalidade, tomou-se um corpo de prova conforme desenho a seguir, onde observam-se os seguintes cuidados.

- 1) Parte central com menor diâmetro que nas extremidades para garantir a ruptura nessa região.
- 2) Superfícies em concordância (cantos arredondados) para evitar a concentração de tensões.
- 3) Pré-marcação de dois pontos, cuja distância será a referência para comparação de deformações ($l = 10 \times \varnothing$).
- 4) As cargas aplicadas são axiais com tração progressiva (P).



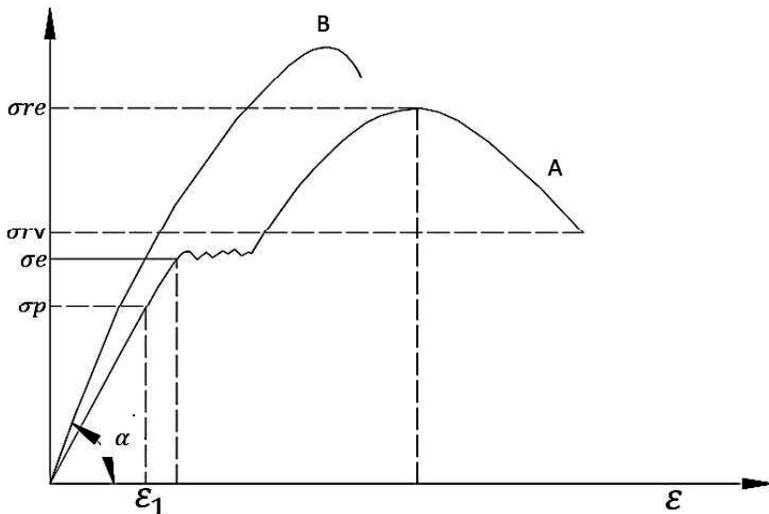
Para cada acréscimo de carga P, mediu-se Δl que é a variação do comprimento de referência ($l_1 - l$).

Definiu-se:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (\text{deformação linear ou alongamento})$$

Definiu-se $\sigma = \frac{P}{S}$ como sendo tensão normal ou tensão

Portanto para cada P_i ($i = 0, 1, 2, \dots, n$; e $P_{i+1} > P_i$) existirá σ_i que provocará uma deformação linear ε_i . t. q. $\varepsilon = f(\sigma)$.



σ_p = Limite de Proporcionalidade e/ou Limite de Elasticidade

Até este ponto, ϵ é proporcional elasticamente a σ e o gráfico é uma linha reta.

σ_e = Limite de Escoamento ou Tensão de Escoamento

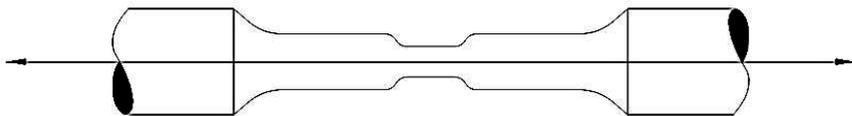
Nesse ponto, o material se deforma plasticamente sem que haja acréscimo de carga. O comprimento "l" aumenta irreversivelmente.

σ_{rv} = Limite de Ruptura ou Tensão de Ruptura (σ_r)

Nesse ponto o corpo de prova se rompe.

σ_{re} = Limite de Resistência. É a máxima tensão verificada num ensaio.

A partir desse ponto o material esco (estricção) para romper, conforme croqui abaixo.



Nota: O estudo feito no gráfico $\sigma \times \epsilon$ (A) corresponde a materiais dúcteis, como o aço por exemplo.

O gráfico B corresponde a materiais não dúcteis ou frágeis como o ferro fundido que rompem sem entrar em escoamento. A ruptura nesse caso é brusca e inesperada.

Módulo de Elasticidade (E):

Conhecido também por módulo de Yong é um dado particular de cada material, por isso muitas vezes é tabelado.

$$E = \text{tg } \alpha = \frac{\sigma_p}{\varepsilon_1}$$

1. Material (Din)	E [kgf / mm ²]
2. Aço St 37	21.000
3. Aço St 52	21.000
4. Aço Si - Mn para molas	21.000
5. Alumínio puro, duro	7.100
6. Aço Al - Cu - Mg de construção	7.200
7. Aço Mg - Al de construção	4.300
8. Fofo GG - 18	10.000
9. Aço fundido GS - 45	21.500
10. Liga fundida de Al	7.600
11. Liga fundida de Mg	4.100
12. Liga fina de Zn	73.000
13. Cobre	12.500
14. Latão	9.000

Lei de Hooke: Em 1678, Robert Hooke observou que a função $\varepsilon = f(\sigma)$ era linear até σ_p

$$\varepsilon = f(\sigma) \text{ é t. q. } \sigma = \varepsilon \cdot E$$

que é equação de uma reta chamada Lei de Hooke.

Ensaia-se também os materiais submetendo-os a outros tipos de esforços que podem ser:

Compressão, flexão, torção e flexo - torção obtendo-se os valores limites de resistência, conforme tabela da página 9.

Estudou-se também, em Tecnologia de Materiais, o Ensaio de Dureza, que determinou a resistência da peça à penetração de punções de material duro. Os valores de dureza são: Brinell, Vickers e Rockwell.

Existem tabelas de conversão entre durezas.

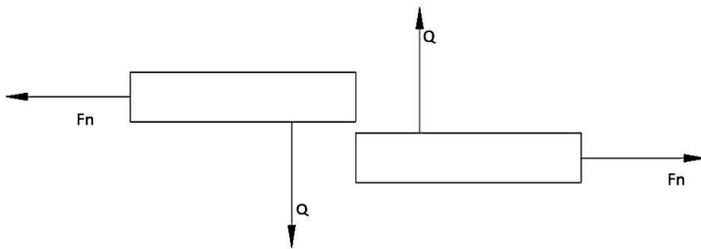
A experiência mostrou que existe também, proporcionalidade entre a Dureza em Brinell (Hb) e o Limite de Ruptura (σ_r).

Material	Relação
Aço - Carbono	$\sigma_r \cong 0,36 H_b$
Aço - Carbono fund. e recozidos	$\sigma_r \cong 0,34 H_b$
Fofo cinzento	$\sigma_r \cong 0,1 H_b$

Dados práticos para aços comuns:

- 1) $\sigma_{fr} = 1,7 \sigma_r$ { σ_{fr} = Limite de Ruptura à Flexão }
- 2) $\sigma_{fe} = \sigma_e$ { σ_{fe} = Limite de Escoamento à Flexão }
- 3) $\zeta_r = 0,75 \sigma_r$ { ζ_r = Limite de Ruptura ao Cisalhamento }
- 4) $\zeta_e = 0,60 \sigma_e$ { ζ_e = Limite de Escoamento ao Cisalhamento }

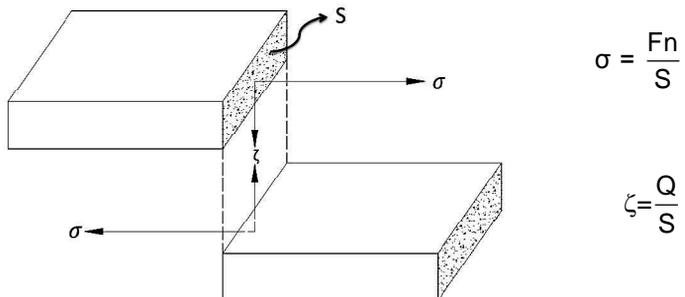
Cisalhamento:



Para entendermos o cisalhamento, primeiramente devemos saber o que é Força Cortante (Q).

Força Cortante é a componente contida no plano da seção transversal das forças que atuam nessa seção considerada. A outra componente é a Força Normal (Fn).

Olhando o desenho acima em perspectiva, vemos:



Um exemplo típico de ruptura por cisalhamento é a ação da tesoura - guilhotina.

Há casos em que os esforços de cisalhamento são muito maiores do que os esforços normais. É quando faz-se o dimensionamento exclusivamente pelo cisalhamento.

Dimensionam-se assim: parafusos curtos, rebites e juntas soldadas.

$$\zeta = \frac{Q}{S}$$

a tensão de cisalhamento é, na verdade, um valor médio, pois as tensões de cisalhamento são desuniformes na distribuição. Portanto, para esse valor adota-se coeficientes de segurança.

Aplicação do Diagrama Tensão x Deformação em Elementos Orgânicos e Fundamentais de Máquinas e Implementos Agrícolas:

Suponhamos que um eixo esteja submetido a uma carga de tração de 1000 kgf. Se este eixo é de aço St 34, a tabela da página 258 "Valores de Resistência para Aços e Ferros Fundidos" informa: Tensão de Escoamento ou Limite de Alongamento igual a 21 kp/mm². Tensão de Ruptura ou Resistência a Tração igual a 34 ~ 42 kp/mm².

Como em Mecânica, uma peça não é só condenada quando quebra (ruptura), mas também quando escoar (deformação permanente sem ruptura), então o diâmetro mínimo deste eixo deverá ser 7,787 mm porque:

$$\text{tensão} = \frac{\text{força}}{\text{área}} \Rightarrow 21 = \frac{1000}{\frac{\pi d^2}{4}} \Rightarrow d = 7,787 \text{ mm}$$

Evidentemente, queremos segurança, então poderemos adotar um coeficiente de segurança e executar este eixo com d = 15 mm, por exemplo.

É de se esperar que este eixo não escoe e muito menos se quebre, quando as cargas de tração forem 1000 kgf ou menos.

Infelizmente, nem sempre é assim. A vibração mecânica e a fadiga do metal podem provocar a inutilização deste eixo com cargas bem inferiores ao máximo permitido, conforme veremos a seguir.

VIBRAÇÕES MECÂNICAS

A vibração é uma constante em todas as máquinas pelo movimento das partes que oscilam, giram ou se alternam.

O que ponto em que a vibração é indesejável ou desejável depende da intensidade com o qual as partes são tensionadas pela vibração e principalmente da finalidade da máquina. Desejável: colheitadeira. Indesejável: estrutura da máquina.

Em máquinas agrícolas, este estudo é imprescindível para entendermos e prevenirmos as rupturas por fadiga que são as grandes limitadoras da vida útil destas máquinas. Quando dimensionamos os elementos orgânicos das máquinas agrícolas apenas pelo diagrama tensão deformação, conforme exemplo da pág. 7, é provável que eles se quebrem, mesmo com carregamentos inferiores aos especificados como limite. A tendência é tentar aumentar a dimensão ou melhorar o material. Provavelmente, a peça continuará a se quebrar caso não se considere o par vibração/fadiga, objeto deste capítulo e do seguinte.

Vibrações - Termos mais utilizados:

1. Vibração Livre: quando a peça vibra espontaneamente em frequência natural, excitada por uma fonte ocasional, instantânea e não repetitiva.

2. Vibração Forçada: quando a peça vibra excitada por uma fonte externa sistemática, repetitiva e contínua. Então a peça vibra na frequência da excitação. Se esta frequência for a natural da peça, dizemos haver ressonância com a fonte, que é um fenômeno extremamente importante e será detalhado posteriormente.

3. Amortecimento: capacidade intrínseca das peças em limitar as amplitudes de vibração. Não confundir com amortecedor que tem a mesma função junto às molas dos veículos.

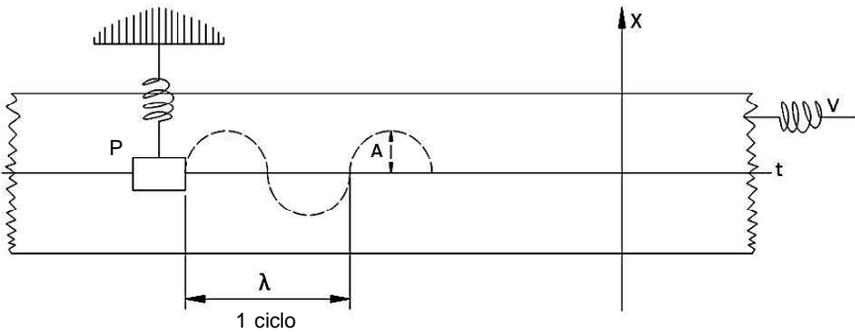
4. Grau de Liberdade de um Sistema: é o número de coordenadas independentes requeridas para a descrição do seu movimento. Ex.: partícula no espaço = 3 graus de liberdade

5. Movimento Harmônico: é um movimento oscilatório repetido regularmente.

6. Função Transiente de Tempo: é uma função não periódica que existe apenas num espaço limitado de tempo, sendo nula em outro tempo. Ex.: estrondo

7. Função Aleatória de Tempo: são fenômenos de valor instantâneo imprevisível em qualquer tempo futuro. Ex.: altura de ondas em mar encapelado.
Obs.: Com o advento dos fractais, esta definição está sendo revisada ou no mínimo rediscutida.

3.1. INTRODUÇÃO AO ESTUDO DO MOVIMENTO HARMÔNICO



Sabe-se que:

$$X = A \operatorname{sen} \frac{2\pi}{T} \cdot t$$

$$X = A \operatorname{sen} 2\pi \cdot f \cdot t$$

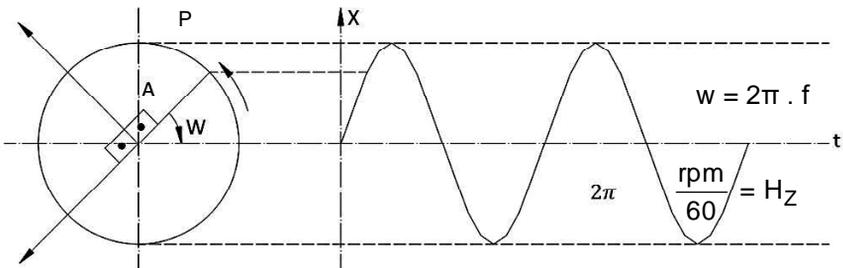
A = amplitude [m]

T = período [s]

f = frequência [s⁻¹ ou hertz]

λ = comprimento de onda [m]

Outra forma de representação, com A sendo um vetor giratório:
(Cada giro completo representa 1 ciclo completo)



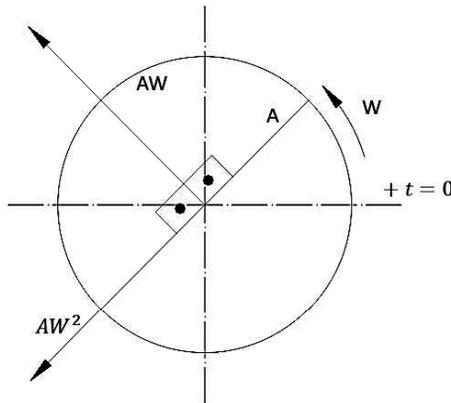
Sabe-se que:

$$X = A \sin \omega t$$

- $X = A \sin \omega t \rightarrow$ espaço
- $\frac{dx}{dt} = v = A\omega \cos \omega t \rightarrow$ velocidade
- $\frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = a = -A\omega^2 \sin \omega t \rightarrow$ aceleração
- $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot f =$ frequência circular [rd/s]

Representação do perpendicularismo de X; V; a

Note que para $\omega t = 90^\circ$ (extremo da crista da onda) $X = A; V = 0; a = -A\omega^2$



3.2. SISTEMA MASSA/MOLA

O sistema massa/mola é um sistema ou modelo que representa com grande fidelidade o fenômeno de vibração mecânica.

Assim, todos os elementos orgânicos de uma máquina agrícola como eixos, engrenagens, mancais etc, podem ser teoricamente transformados em um sistema massa/mola equivalente, com o qual é possível analisar as vibrações que estes elementos de máquina estão sendo submetidos. Desta análise surge o dimensionamento à fadiga, as necessidades de balanceamento para peças rotativas e alternativas e outras situações que veremos no decorrer do estudo.

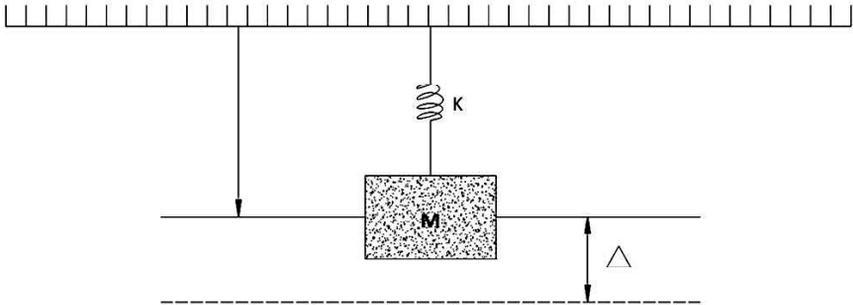
Existem software no mercado que permitem fazer cálculos algébricos, modelagens matemáticas, simulações e ainda possuir uma linguagem de

programação de alto nível. O ponto de vista que se deve destacar é sua aplicação nos campos da engenharia, como exemplo o estudo de vibrações em sistemas massamola.

3.3. VIBRAÇÃO LIVRE

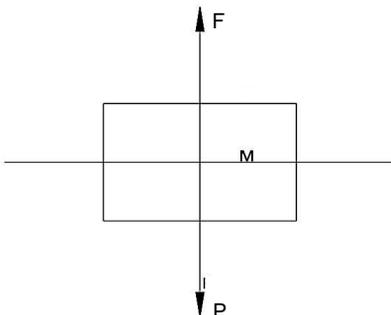
É o primeiro passo, para entender-se a vibração e sua aplicação em elementos de máquinas.

Utilizando-se então o sistema massa/mola como modelo, supõe-se a inexistência qualquer tipo de amortecimento. Uma excitação é aplicada instantaneamente e retirada em seguida, como uma pancada, por exemplo. O sistema inicia uma vibração de duração de tempo indeterminada, mas invariável.



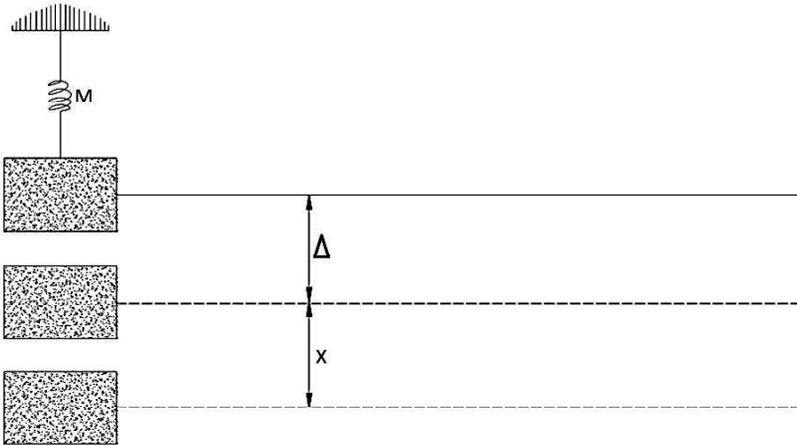
- Sistema (1 grau de liberdade, sem amortecimento)
- Mola (massa desprezível com constante K)

Isolando-se a massa “M” para análise de esforços, antes da ação excitadora externa e súbita, têm-se:



$P = \text{peso}$
 $F = \text{força da mola} \quad P = F = K \cdot \Delta \text{ (equilíbrio)}$
 $\Delta = \text{deslocamento ou distensão da mola}$

Conforme foi proposto anteriormente, se uma excitação externa for aplicada subitamente e retirada, como por exemplo um solavanco, ou pancada, tem-se:



$$P - K(\Delta + X) = m\ddot{X}$$

como $P = K\Delta$

$$\Rightarrow -KX = m\ddot{X} \text{ ou seja, } m\ddot{X} + KX = 0$$

Definindo-se $\omega_n^2 = K/m$, como sendo “**frequência circular natural**” e substituindo-se na equação anterior, tem-se:

$$\ddot{X} + \omega_n^2 X = 0$$

que é uma equação diferencial linear de segunda ordem homogênea.

- linear = 1 variável
- 2ª ordem = 2ª derivada
- homogênea = 0

Solução geral: $X = A \sin \omega_n t + B \cos \omega_n t$ (A, B constantes)

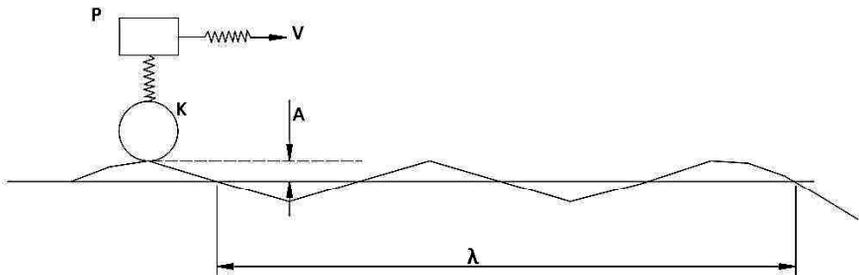
Informações:

- Período natural de oscilação $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K}}$
- Frequência natural $f_n = \omega_n/2\pi$
- Expressão geral: $f =$ (frequência) $= \omega/2\pi$

3.4. VIBRAÇÃO FORÇADA

É o segundo passo para entender-se a vibração e sua aplicação em elementos de máquinas.

Utilizando-se dos conhecimentos de Vibração Livre e do exercício abaixo, faremos a Introdução ao Estudo da Vibração Forçada, a qual é a que realmente atua nos elementos de máquinas, embora ainda não estejamos considerando o amortecimento, para nosso modelo ficar 100% real.



Um veículo desloca-se em chão acidentado com $V = 54 \text{ m/s}$, conforme croqui acima, tendo peso $P = 900 \text{ N}$. As irregularidades da pista são tais que: $A = 50 \text{ mm}$ e $l = 12 \text{ m}$.

Pede-se:

1) A constante da mola K do veículo para que 54 m/s seja a velocidade de ressonância.

• Resolução: sabe-se que ressonância ocorre quando $W = W_n$

$$\bullet f = \frac{W}{2\pi}$$

• $V = 54 \text{ m/s}$ e $\lambda = 12 \text{ m} \Rightarrow f = 4,5 \text{ cps}$, porque $V = \lambda \cdot f$

$$\therefore W = 2\pi \cdot 4,5 = 28,27 \text{ rd/s}$$

• $W_n^2 = K/m$

• Se $W = W_n \rightarrow (28,27)^2 = K/900/9,81$

$$\therefore K = (28,27)^2 \cdot \frac{900}{9,81}$$

$$K = 73320 \frac{N}{m}$$

NB: Num projeto deve-se escolher P, K, M, t. que se evite a ressonância, a menos que se esteja trabalhando com colheitadeiras mecânicas, onde se quer que a fruta entre em ressonância com a máquina e caia no coletor (vide pág. 21).

3.5. RESSONÂNCIA

A ressonância é um dos fenômenos mais extraordinários da natureza.

Só foi possível compreender este incrível fenômeno após o entendimento matemático das vibrações, graças à transformação da peça em modelo massa/mola.

Hoje, sabe-se que todos os entes materiais (aqueles que possuem massa), inclusive os elementos orgânicos de máquinas agrícolas (peças), possuem uma ou mais frequência natural de vibração. Esta frequência é intrínseca ao ente material e depende de várias variáveis como por exemplo: peso, forma, ajuste, constituição física e química. Quando estimulado a vibrar por uma fonte excitadora externa ocasional, instantânea e súbita, este ente material vibra espontaneamente na sua frequência natural como um axioma da natureza (é assim e pronto!!!). Esta frequência que chamamos W_n é determinada pela expressão $\sqrt{K/m}$, equivalente ao sistema massa/mola sem amortecimento. Vibrando nesta frequência, o que se pode variar é a amplitude da vibração (quanto maior a excitação instantânea externa, maior a amplitude da vibração), mas a frequência será sempre a natural. Caso a fonte excitadora externa em vez de ocasional, instantânea e súbita, passe a ser sistemática, contínua e repetitiva, diz-se haver **Vibração Forçada** e a frequência da vibração do ente material será definida pela fonte excitadora externa. Se a fonte excitadora externa fizer o ente material vibrar na sua frequência natural, dizemos haver ressonância, as amplitudes tendem ao infinito e o ente se rompe (quebrou por ressonância). Assim podem-se explicar vários fenômenos da natureza como a queda das muralhas de Jericó, a queda da ponte de Tacoma, a ruptura de cristais pela voz de tenores, a proibição de marcha de tropas sobre pontes de madeira, a litotripsia (quebra de cálculos renais por ultra som), o forno de microondas, a quebra de eixos, mancais, parafusos em máquinas que vibram continuamente, embora estes elementos de máquinas estejam super dimensionados, pelo diagrama tensão x deformação:

Amplitude da vibração forçada sem amortecimento:

$$Ampl = \frac{F_0}{K \sqrt{1 - (W/W_n)^2}}$$

$$\therefore \frac{\text{Ampl}}{F_0/k} = \frac{1}{1 - (W/W_n)^2} = \text{fator de modulação} = \frac{\text{Amplitude de Reação}}{\text{Ampliação de Ação}}$$

Fo será o valor máximo da força excitadora externa (Força Perturbadora Máxima).
W será qualquer frequência da fonte excitadora externa, e Wn será a frequência natural do elemento de máquina excitado.

K é a constante de mola equivalente.

Caso $W = W_n$, então tem-se $A = F_{0/k} / \text{zero}$, ou seja “A” tenderá para o infinito, havendo a quebra da peça. Isto é ressonância.

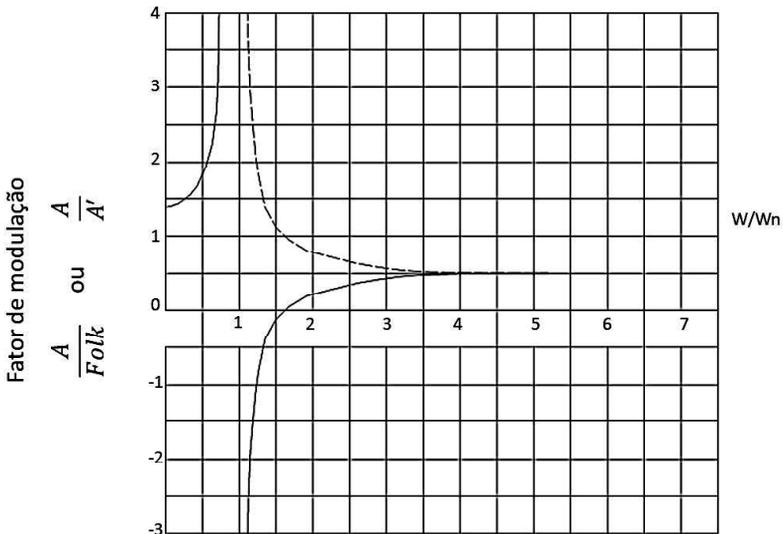
Voltando ao problema:

2) Qual a constante da mola para que a vibração induzida tenha amplitude = 12 mm?

$$\frac{A}{A'} = \frac{12}{50} = 0,24 \Rightarrow \frac{W}{W_n} = 2,5$$

A é a amplitude da fonte excitadora externa, que neste problema são as irregularidades da pista (50 mm).

A' é a amplitude da vibração induzida no móvel que se desloca nesta pista (12 mm).
0,24 e 2,5 são dados obtidos no gráfico de Fator de Modulação abaixo:



- $W_n = \sqrt{\frac{K}{m}}$ $W_n = \frac{2\pi \cdot f}{2,5}$
- $\frac{W}{W_n} = 2,5 \Rightarrow W_n = \frac{W}{2,5}$
- $f = \frac{W}{2\pi} \Rightarrow W = 2\pi \cdot f$ $\frac{2\pi f}{2,5} = \sqrt{\frac{K}{m}}$
- $f = \frac{54}{12} = 4,5$ (idem anterior) e $P = mg$
 $\therefore \left(\frac{2\pi (4,5)}{2,5}\right)^2 = \frac{K}{900/9,81} \Rightarrow K = 1174 \frac{N}{m}$

1) O operador deixará seu assento nas condições do item (2)? Ou seja, ficará dando pulinhos no banco do veículo?

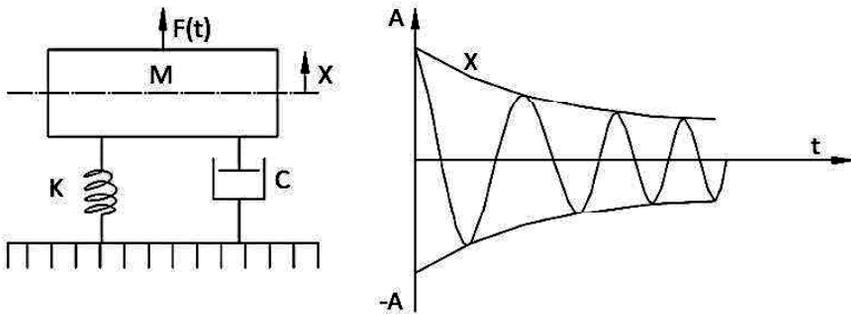
- $X = A \sin Wt$ (posição)
 $\frac{dx}{dt} = V = AW \cos Wt$ (velocidade)
 $\frac{dv}{dt} = \frac{d^2X}{dt^2} = -AW^2 \sin Wt$ (aceleração)
 $\therefore a = AW^2 \sin Wt$
 $a = a_{\max} \leftrightarrow \sin wt = 1 \Rightarrow a_{\max} = -aw^2$
- $f = \frac{W}{2\pi}$
- $f = \frac{54}{12} = 4,5 \text{ s}^{-1}$
 $\therefore a_{\max} = 12 \cdot (2\pi \cdot 4,5)^2$
 $a_{\max} = 9,593 \frac{\text{mm}}{\text{s}^2}$
 $a_{\max} = 9,6 \text{ m/s}^2 < g$, que é a aceleração da gravidade,
 $9,81 \text{ m/s}^2$.

Portanto, o operador não deixará o banco do veículo com pulinhos consecutivos, ele oscilará junto com o banco em amplitudes de 12 mm.

Observação: Com base no gráfico do fator de modulação da página 34 para $W/W_n = 2,5$, o veículo passará pela velocidade crítica $W/W_n = 1$ onde A tende para infinito. Haverá necessidade de dispositivos amortecedores para diminuir a amplitude dessas vibrações perigosas que ocorrerão neste instante.

3.6. AMORTECIMENTO

Modelo massa/mola completo, representando a realidade do elemento de máquina submetido às vibrações



C = coeficiente de amortecimento, $[kgf \cdot s/m]$, depende da forma do corpo e viscosidade do fluido

$$\text{Força do amortecedor} = C.V$$

O amortecimento se opõe ao deslocamento diminuindo as amplitudes de vibração.

O amortecimento pode ser conseguido principalmente pela resistência viscosa dos fluidos, ou materiais de grande resistência friccional interna como a borracha, fibras e cortiça.

Recomenda-se distinguir amortecimento de amortecedor.

Amortecedor é um elemento de máquina destinado a trabalhar junto às molas de um veículo para impedir que elas entrem em ressonância e/ou que suas deformações sejam muito grandes, além de manter as rodas do veículo em permanente contato com a pista.

Amortecimento é um fenômeno intrínseco a todos os entes materiais, inclusive aos elementos orgânicos de máquinas agrícolas. É o amortecimento que impede através das forças de coesão atômica e atritos moleculares que material vibre indefinidamente.

Assim, quando bate-se uma vez em um sino, ele ecoa e silencia. Silencia pelo amortecimento natural, senão ele ecoaria indefinidamente em frequência natural.

$$\therefore m \ddot{X} + c\dot{X} + KX = F(t) \Rightarrow m\ddot{X} + c\dot{X} + KX = F(t)$$

A solução tem duas partes:

$F(t) = 0 \Rightarrow$ eq. dif. homogênea

$F(t) \neq 0 \Rightarrow$ eq. dif. não homogênea = movimento excitado harmonicamente

$F(t) = F_0 \text{ sen } Wt$ (representa matematicamente todas as fontes excitadoras externas)

$$\Rightarrow F_0 \text{ sen } Wt - c\dot{X} - KX = m\ddot{X} \text{ (somatório de forças que atuam no sistema)}$$

Solução: $X = A \text{ sen } (Wt + \varnothing)$, com \varnothing sendo ângulo de fase ou ângulo pelo qual o deslocamento da vibração se retarda da força que produz, sendo

$$\text{Tg } \varnothing = \frac{CW}{K - mW^2}$$

$$A = \frac{F_0/K}{\sqrt{1 - \left(\frac{mW^2}{K}\right)^2 + \left(\frac{CW}{K}\right)^2}} = \frac{F_0}{\sqrt{(K - mW^2)^2 + (CW)^2}}$$

Amplitude da vibração forçada com amortecimento.

Atenção: Na ressonância $A = F_0/C \cdot Wn$. Quando a fadiga vencer o amortecimento ($C = 0$), então A será infinita, ou seja, ruptura da peça.

É por isso que na ressonância há um certo tempo (segundos, horas, séculos) de resistência à ruptura. O amortecimento impede amplitudes infinitas, mas pela fadiga ele é vencido e só então ocorre a ruptura da peça.

Curiosidade: para uma esfera de 1 cm de diâmetro

$$C (\text{água } 35^\circ) = 0,66 \times 10^{-7} \frac{\text{kgf.s}}{\text{cm}}$$

$$C (\text{ar } 35^\circ) = 1,88 \times 10^{-9} \frac{\text{kgf.s}}{\text{cm}}$$

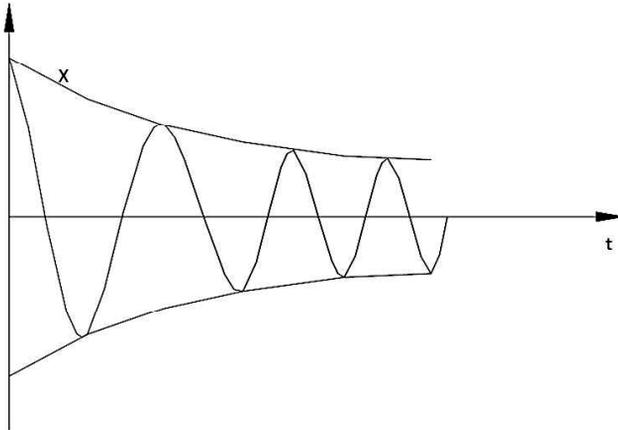
$$C (\text{SAE - 10 - } 35^\circ) = 0,03 \times 10^{-5} \frac{\text{kgf.s}}{\text{cm}}$$

$$C (\text{SAE} - 10 - 35^\circ) = 0,03 \times 10^{-5} \frac{\text{kgf.s}}{\text{cm}}$$

$$C (\text{SAE} - 90 - 35^\circ) = 0,88 \times 10^{-5} \frac{\text{kgf.s}}{\text{cm}}$$

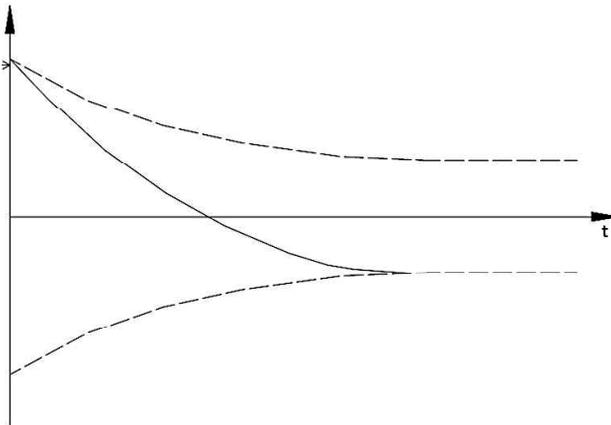
Existem três tipos de amortecimento:

1) Movimento Vibratório Amortecido: (Amortecimento Natural)

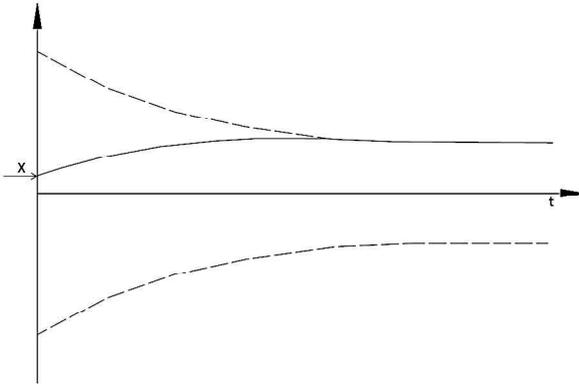


2) Amortecimento Crítico:

Ex.: partes móveis de instrumentos a fim de evitar oscilação das medidas.



3) Movimento Super Amortecido: (Impede qualquer Vibração)
 Ex.: amortecedores de veículos



Coefficiente de amortecimento crítico (C_c)

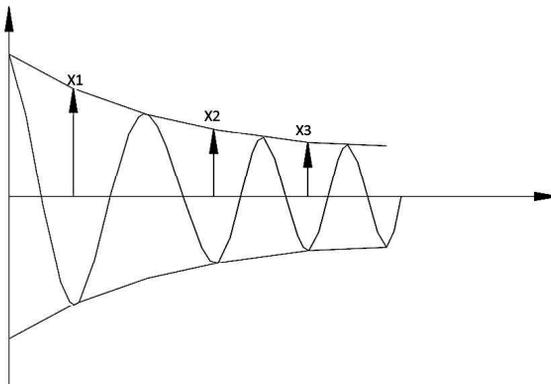
$$C_c = 2 \cdot m \cdot \omega_n = 2\sqrt{K \cdot m}$$

Fração de amortecimento (σ) (ou fator de amortecimento)

$$\sigma = \frac{C}{C_c} \quad \begin{array}{l} \sigma > 1 \rightarrow \text{super amortecido} \\ \sigma = 1 \rightarrow \text{amortecimento crítico} \\ \sigma < 1 \rightarrow \text{movimento vibratório amortecido} \end{array}$$

Na ressonância $A = F_0/2 \sigma \cdot k$

Para o Movimento Vibratório Amortecido, aquele que ocorre realmente com os elementos de máquinas, têm-se:



$$\frac{X_1}{X_2} = e^{\delta}; \delta = \frac{2\pi\sigma}{\sqrt{1-\sigma^2}}; \sigma = \frac{C}{C_c}$$

Aplicação: Se um eixo possui as seguintes características:

$$m = 10 \text{ kg}$$

$$K = 30 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$C = 0,12 \frac{\text{N.s}}{\text{m}}$$

Qual a razão entre duas amplitudes consecutivas se ele sofrer uma pancada.

$$\bullet W_n = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{30}{10}} = 1,73\text{s}^{-1}$$

$$\bullet C_c = 2 mW_n = 2 \cdot 10 \cdot 1,73 = \frac{35\text{kgf.s}}{\text{m}}$$

$$\bullet \sigma = \frac{0,12}{35} = 0,004 < 1 \rightarrow \text{Mov. Vibratorio Amortecido}$$

$$\bullet \delta = \frac{2\pi\sigma}{\sqrt{1-\sigma^2}} \rightarrow \delta = 0,025$$

$$\bullet \frac{X_1}{X_2} = e^{0,025} \rightarrow \frac{X_1}{X_2} = 1,025$$

Ou seja, se a 1ª amplitude for 1mm, a 2ª será 0,976 mm, a 3ª 0,952mm, a 4ª 0,929mm e assim sucessivamente

3.7. TRANSMISSIBILIDADE

Toda máquina que vibra transmite uma força à sua base. Portanto, nesta base atuam o peso próprio da máquina mais a força transmitida.

$$F_{tr_{\max}} = \sqrt{(KA)^2 + (cAW)^2}$$

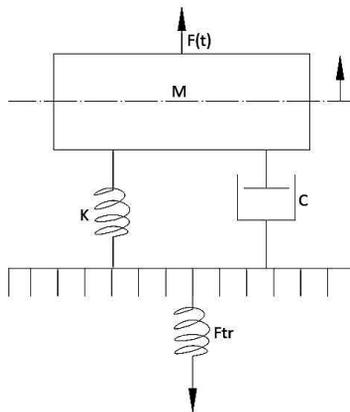
Um vibrador pesa 3000 N e é montado sobre uma mola tq $K = 333\text{N/m}$ e sobre um amortecedor com $C = 0,28\text{N.s/m}$. Se na ressonância, a amplitude for 1 cm, determinar a força máxima transmitida para a base.

$$\bullet P = 3000 \text{ N}$$

- $K = 333 \frac{N}{m}$
- $A_R = 1\text{cm}$ ou $0,01\text{ m}$
- $C = 0,28 \frac{N \cdot s}{m}$
- $W = W_n = \sqrt{\frac{K}{m}} = \sqrt{\frac{333}{\frac{3000}{9,81}}} = 1,044\text{ s}^{-1} \therefore W_n = 1,044\text{s}^{-1}$

$$F_{tr} \text{ (na ressonância)} = \sqrt{(333 \cdot 0,01)^2 + (0,28 \cdot 0,01 \cdot 1,044)^2}$$

$$F_{tr} = 3,5\text{N}$$



Exemplo: Um debulhador de milho pesa 200 lb e é suportado por uma mola t. q. $K = 4000\text{ lb/pol}$. Ela possui um elemento rotativo desbalanceado que resulta numa força perturbadora de 80 lb na velocidade de regime de 3000 rpm.

Se $\sigma = 0,2$, qual a amplitude de vibração em face deste

$$F(t) = F_0 \text{ sen } wt$$

$F_0 = 80\text{ lb}$ $F(t) = 80 \text{ sen } 314t$ que é a expressão matemática da excitação que provoca vibração nas peças da máquina
 $W = 3000\text{ rpm}$

$$A = \frac{F_0}{\sqrt{[k - m\omega^2]^2 + [C\omega]^2}}$$

- $F_o = 80 \text{ | b/pol}$
 - $K = 4000 \text{ | b/pol}$
 - $W = 3000 \text{ rpm} = 314 \text{ rd/s}$
 - $s = 0,2$
 - $P = 200 \text{ |b}$
- $m = \frac{200 \text{ lb}}{386 \frac{\text{pol}}{\text{s}^2}} = 0,52 \text{ lb (massa)}$
- $W_n = \sqrt{\frac{K}{m}} = \sqrt{\frac{4000}{0,52}} = 87,7 \text{ rd/s}$
- $\sigma = \frac{C}{C_c}$; $C_c = 2mW_n \rightarrow C_c = 2 \cdot 0,52 \cdot 87,7 = 91,2$
- $\therefore 0,2 = \frac{C}{91,2} \rightarrow C = 18,24 \frac{\text{lb} \cdot \text{s}}{\text{pol}}$
- $\therefore A = \frac{80}{\sqrt{[4000 - 0,52 (314)^2]^2 - [18,24 \cdot 314]^2}} \rightarrow A = 1,68 \times 10^3 \text{ pol}$
- $F_{tr} = \sqrt{(KA)^2 + (CAW)^2} = \sqrt{(4000 \cdot 1,68 \times 10^{-3})^2 + (18,24 \cdot 1,68 \times 10^{-3} \cdot 314)^2}$
- $F_{tr} = 12 \text{ lb (força)}$

desbalanceamento e qual a força transmitida à base da máquina?

Atenção: 1lb (força) = 4,448 N e 1 kgf = 9,81 N

1lb (massa) = 0,454 kg

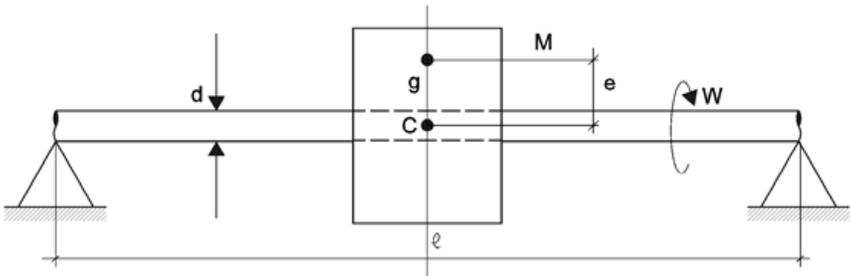
1 pol = 25,4 mm

$g = 9,81 \text{ m/s}^2 = 386 \text{ pol/s}^2$

3.8. ROTAÇÃO CRÍTICA PARA EIXOS

No croqui abaixo, seja “C” o centro de massa do rotor “M”. Mesmo considerando um alto grau de balanceamento, haverá pequena excentricidade “e” que propiciará o aparecimento de uma força centrífuga que tenderá a fletir o eixo segundo um raio “r”.

O desbalanceamento proveniente de um desequilíbrio provocado por desigualdade de massa - que irá fazer com que o eixo de inércia não coincida com o eixo de rotação da peça e que pode ser causado por detalhes de fabricação mecânica, geometria do equipamento, detalhes de montagem ou problemas térmicos - é sempre estudado estática e dinamicamente.



Surgirá no eixo, uma vibração, devido à própria rotação do eixo, pois ele tenderá a funcionar como uma mola (portanto existe um k equivalente).

$$M(r + e) W^2 = K \cdot r \Rightarrow r = \frac{eW^2}{(K/M) - W^2} = \text{Deformação elástica do eixo}$$

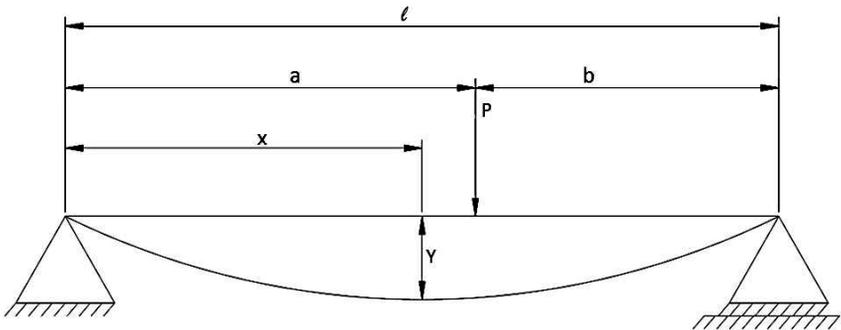
Se o eixo girar numa rotação $W = \sqrt{K/M}$, então $r = eW^2/\text{zero}$, $r =$ infinito, ou seja, o eixo quebra após certo tempo de funcionamento.

Portanto $W =$, é uma rotação perigosa para o eixo, e será chamada Rotação Crítica (W_c) na qual o eixo não deve girar jamais, quando em serviço.

$$\text{Em rpm, } W_c = \frac{60}{2\pi} \sqrt{K/M}$$

Como os eixos se assemelham a vigas bi-apoiadas, então:

$$\Delta = \frac{Pl^3}{48EI} \cdot \frac{\pi d^4}{64} E = 21000 \text{ Kgl/mm}^2$$



$$y = \frac{Pbx}{6 E.I.l} (l^2 - b^2 - x^2) \text{ (quando } 0 \leq x \leq a)$$

$$y = \frac{Pax}{6 E.I.l} (l^2 - a^2 - x^2) \text{ } x > a$$

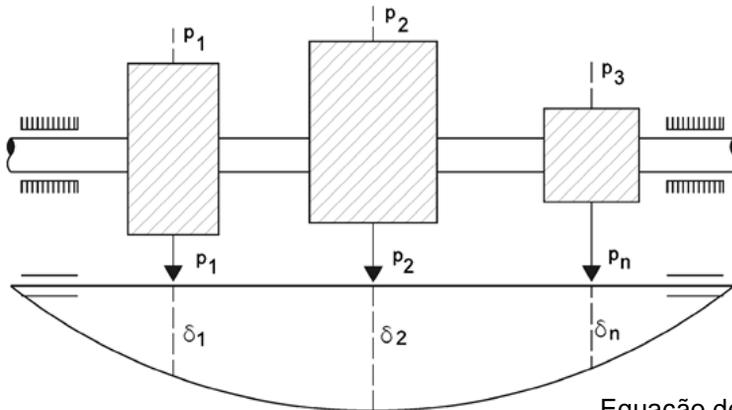
Para uma carga no meio do eixo bi-apoiado tem-se:

$$Wc = 46 \sqrt{\frac{Ed^4}{Pl^3}} \text{ [rpm]} : \left(a=b=\frac{l}{2} \right)$$

Atenção: Quando um rotor gira na sua própria rotação crítica, podemos dizer que a fonte indutora de vibrações é interna ao rotor, pois sempre existirá excentricidade. Veremos que o balanceamento tende a diminuir esta excentricidade, mas não a eliminará jamais.

Notem que neste caso, não há uma fonte excitadora externa provocando vibração e ressonância, e o fenômeno ocorre do mesmo jeito, quebrando a peça. A rotação crítica é uma "rotação suicida".

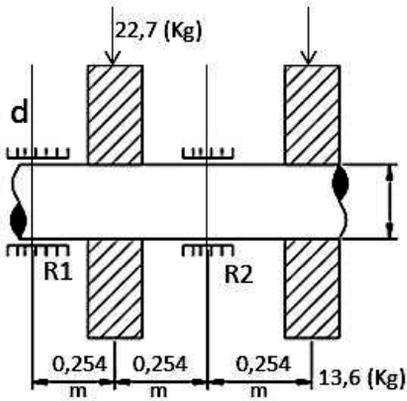
Eixos com muitas massas: A fórmula acima descrita para Wc é particular para uma carga no meio do eixo bi-apoiado. E quando existem várias cargas em variadas posições de aplicação, no eixo?



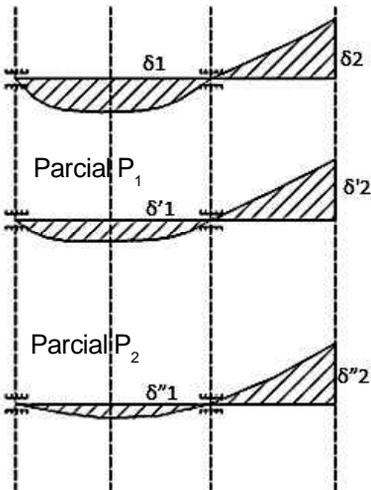
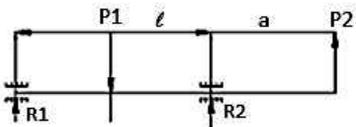
Equação de Rayleigh

$$Wc^2 = g \frac{\sum P_i \delta_i}{\sum P_i \delta_i^2} \text{ [rd/s]}$$

$$nc = \frac{60Wc}{2\pi} \text{ [rd/s]}$$



Nr = 10.000 rpm E = 21000 K gf/mm²
 Qual o diâmetro do eixo para que
 nc = 12.000 rpm



$$\delta'_1 = \frac{P_1 l^3}{48 EI}$$

$$\delta'_2 = \frac{P_2 l^2 a}{16 EI}$$

$$\delta''_1 = \frac{P_2 l^2 a}{16 EI}$$

$$\delta''_2 = \frac{P_2 a^2 \cdot (l+a)}{3 EI}$$

Sabe-se que:

$$\delta_1 = \delta'_1 + \delta''_1$$

$$\delta_2 = \delta'_2 + \delta''_2$$

$$\bullet \delta_1 = \frac{P_1 l^3}{48EI} + \frac{P_2 l^2 a}{16EI} \Rightarrow \delta_1 = \frac{1}{E.I} \left(\frac{P_1 l^3}{48} + \frac{P_2 l^2 a}{16} \right)$$

$$\bullet \delta_2 = \frac{P_1 l^2 a}{16EI} + \frac{P_2 a^2 (l+a)}{3EI} \Rightarrow \delta_2 = \frac{1}{E.I} \left(\frac{P_1 l^2 a}{16} + \frac{P_2 a^2 (l+a)}{3} \right)$$

$$\therefore \delta_1 = \frac{0,117}{E.I} \text{ e } \delta_2 = \frac{0,316}{E.I}$$

$$\bullet W_c^2 = g \left(\frac{P_1 \delta_1 + P_2 \delta_2}{P_1 \delta_1^2 + P_2 \delta_2^2} \right) \text{ substituído } \delta_1 \text{ e } \delta_2$$

$$\bullet W_c^2 = g \frac{P_1 \left(\frac{0,117}{E.I} \right) + P_2 \left(\frac{0,316}{E.I} \right)}{P_1 \left(\frac{0,117}{E.I} \right)^2 + P_2 \left(\frac{0,316}{E.I} \right)^2} g E.I \frac{P_1 \cdot 0,117 + P_2 \cdot 0,316}{P_2 (0,117)^2 + P_2 (0,316)^2}$$

$$\bullet W_c^2 = 86 \times 10^{10} l \Rightarrow l = 1,16 \times 10^{-12} W_c^2$$

$$\bullet n_c = 12.000 \text{ rpm} \Rightarrow W_c = 1257 \text{ rd/s}$$

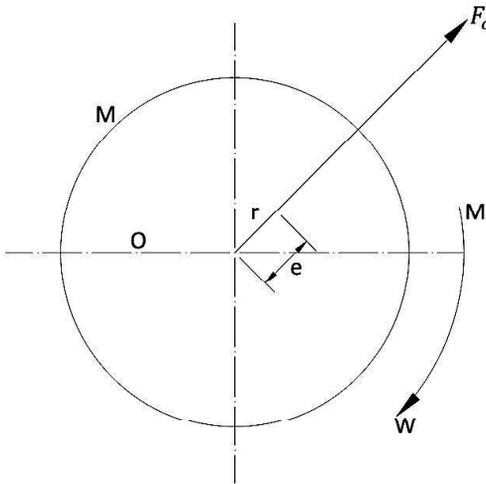
$$\therefore l = 1,16 \times 10^{-12} \cdot (1257)^2 \Rightarrow l = 1,84 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$\bullet l = \frac{\pi d^4}{64} \Rightarrow 1,84 \times 10^{-6} = \frac{\pi d^4}{64} \Rightarrow d = 0,0782 \cong 80 \text{ mm}$$

3.9. BALANCEAMENTO: (Estático e Dinâmico)

• Definição pelo ISO (International Standart Organization)

“Balancear é um processo pelo qual a distribuição de massas de um rotor é verificada, e se necessário corrigida a fim de garantir que as **vibrações** nos eixos e/ou forças nos mancais se encontrem dentro de limites especificados ou tolerados”.



$$F_c = m \cdot r \cdot W^2 \text{ [kgf]}$$

Forçacentrifuga

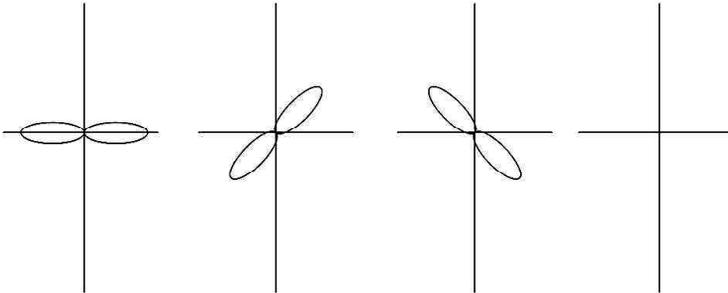
$$U = m \cdot e \text{ [g.mm]}$$

desbalanceamento

$$0 < e \leq r \text{ [mm]}$$

excentricidade

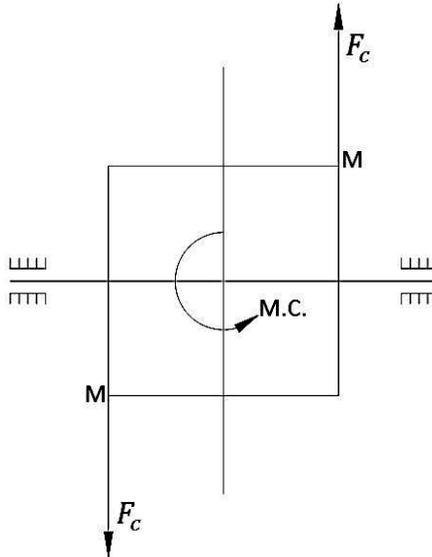
• O **desbalanceamento estático** provoca o deslocamento do C. M em relação ao eixo de rotação.



Se em qualquer posição que a hélice for deixada, permanecer parada, dizemos estaticamente balanceada.

O desbalanceamento estático aparece quando a máquina não permanece parada em todas as posições e gira sozinha. É facilmente corrigido através de prismas de balanceamento (mancais praticamente sem atrito), mas é operação impossível de ser realizada com a máquina montada, o que faz com que os técnicos prefiram fazer o balanceamento dinâmico, com a máquina em movimento, o que diminui o preço da manutenção.

No croqui abaixo, o rotor estará estatisticamente balanceado, mas ao girar surgirão vibrações causadas pelo “Momento Centrifugo” que surge através do binário F_c/F_c em rotação. Dizemos desbalanceado dinamicamente:



• **Danos causados pelo desbalanceamento dinâmico:**

- 1) Sobre cargas nos mancais (carga extra).
- 2) Trincas em carcaças, fundações etc (Prédios 16-50 Hz)
- 3) Diminuição da qualidade da peça obra
- 4) Parafusos e porcas se soltam
- 5) Fadiga do operador
- 6) Ruído elevado

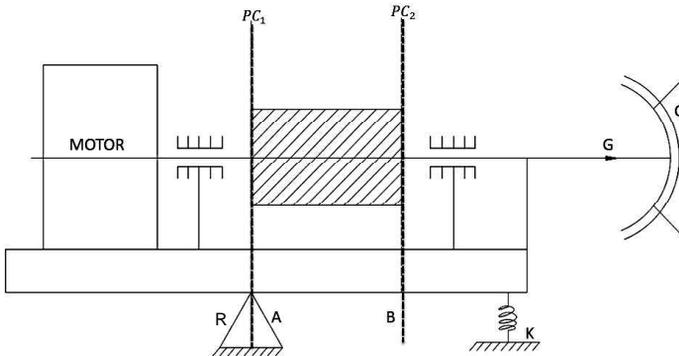
Atenção: “um motor balanceado dinamicamente está automaticamente balanceado estaticamente”. O inverso **não** é válido.

O balanceamento dinâmico é feito por máquinas próprias e consiste em eliminar o par F_c/F_c pela adição ou subtração de massa do motor baseado no **Teorema da Calibragem** que diz:

“É sempre possível realizar o equilíbrio dinâmico de um motor, acrescentando ou retirando material, em dois planos perpendiculares ao eixo de rotação, arbitrariamente escolhidos, que recebem o nome de **plano de correção**”.

Atenção: Nem sempre as vibrações em máquinas são causadas por desbalanceamento. Mancais defeituosos, falta de alinhamento, excesso de folgas também causam vibrações indesejadas.

Princípio de Função da Máquina de Balancear Dinâmica



P_{c1} = articulação R em A

O motor gira M, havendo desbalanceamento \Rightarrow G oscila.

Determina-se a maior oscilação de G, pela variação de rotação de M.

Colam-se massas em P_{c2} até zerar G.

Repete-se a operação com R passando para B. P_{c2} passa a ser articulação R em B

3.10. MANUTENÇÃO PREDITIVA

- Análise de Vibrações
- Termografia
- Ferrografia
- Análise de Óleos

Atenção: Não confundir com Manutenção Corretiva e Preventiva.

Denomina-se manutenção Preditiva por Análise de Vibrações, o controle efetuado com instrumental de medição próprio, das condições de funcionamento de máquinas em serviço, com a finalidade de prever as falhas e detectar tais mudanças no estado físico, que tornem necessárias a programação dos serviços de manutenção com a antecedência necessária para evitar quebras ou estragos maiores.

A vibração mecânica sempre preocupou o pessoal da manutenção: ela é considerada como o melhor índice de mau funcionamento de uma máquina. Para eliminá-la, durante muito tempo a sensibilidade foi a ferramenta mais usada. Hoje, com o analisador de vibrações e com os estudos que começaram a ser realizados desde que o tamanho e a potência dos equipamentos aumentaram, é possível uma análise muito mais correta das causas das vibrações. Uma boa análise das vibrações evita a necessidade de desmontagem da máquina e os prejuízos causados pelas quebras da produção e/ou de seus elementos orgânicos e fundamentais, ou seja, dos elementos de máquinas. Somente nas colheitadeiras, as vibrações são desejadas e portanto provocadas com critério.

Relação entre as medidas e as causas das vibrações,

Causa	Amplitude	Frequência	Observações
Desbalanceamento	Proporcional ao desbalanceamento. Maior na direção radial	Igual à de rotação da máquina	Causa mais comum de vibração
Desalinhamento	Maior na direção axial	Igual à de rotação da máquina (mais comum). 2/3 da rotação da máquina (algumas vezes)	Muito comum. A vibração na direção axial é 0,5 vez maior que na direção radial
Rolamentos ruins	Instável. Usar velocidade como índice	Várias vezes maior que a de rotação da máquina. Número de esferas vezes a rotação da máquina	
Eixo excêntrico	Baixa	Igual à de rotação da máquina	
Engrenagem (ruído)		Número de dentes vezes a de rotação da máquina	
Forças aerodinâmicas		Número de palhetas vezes a de rotação da máquina	
Forças hidráulicas		Número de pás vezes a de rotação da máquina	A cavitação também concorre nesta causa
Elétricas	Geralmente baixa	Múltiplo de 60 ou 50 CC	
Torque variável	Baixa	Duas vezes a de rotação da máquina,	
Correias em V	Variável	1, 2 ou 3 vezes a de rotação da correia	

Aparelhos:

Apesar da grande variedade, existem no mercado aparelhos convencionais para a análise de vibrações - os analisadores de vibração, compostos de um medidor de amplitude e de um medidor de frequência. Estes aparelhos portáteis ou semiportáteis, têm um pickup para sentir a vibração e uma lâmpada estroboscópica para a determinação da fase do movimento, são de manuseio bastante simples e resolvem grande parte dos problemas de manutenção preventiva ou de rotina.

1. Objetivos da Manutenção Preditiva por aferição de vibrações

- Determinar antecipadamente quando será necessário realizar serviços de manutenção num elemento de máquina.
- Eliminar desvantagens desnecessárias para inspeção.
- Impedir propagação de danos.
- Redução de custos de manutenção.

2. Ao aferir-se vibrações, é possível detectar:

- Rolamentos deteriorados
- Engrenagens defeituosas
- Acoplamentos desalinhados
- Motores desbalanceados
- Vínculos desajustados
- Eixos deformados
- Lubrificação deficiente.
- Folgas excessivas de buchas.
- Falta de rigidez de apoios.

A FADIGA DOS ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Conforme citamos várias vezes no capítulo anterior, em máquinas e implementos agrícolas é muito comum a ruptura dos elementos orgânicos que constituem a própria máquina, mesmo quando o projetista e/ou usuário respeita todos os limites de tensão admissível dado pelo diagrama tensão x deformação. Neste caso, provavelmente estará ocorrendo um fenômeno que chamaremos **fadiga**.

4.1. FATORES E CAUSAS

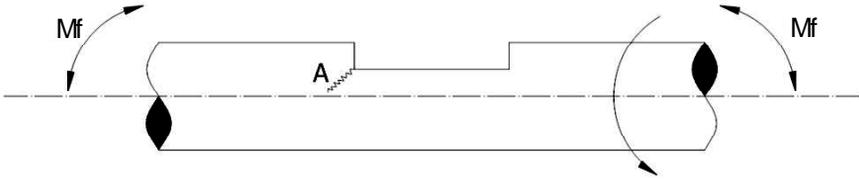
O fenômeno da fadiga ocorre quando existe incidência de três fatores simultâneos ou não, que chamaremos primários.

1. Tensão máxima elevada. (A peça trabalha no limite de tensão máxima admissível)
2. Grandes diferenças nos valores de tensão máxima e mínima aplicadas à peça que está solicitada por esforços alternados ou pulsativos.
3. Vibração mecânica, que é o principal agente causador de fadiga em máquinas e implementos agrícolas e por isso mereceu um capítulo especial neste livro.

Existem outros fatores que aceleram o processo de ruptura por fadiga que chamaremos secundários.

1. Concentração de tensões
 - Efeito do formato
 - Rugosidade superficial
2. Defeitos metalúrgicos
 - Processos de fabricação
 - Heterogeneidades
 - Tratamento térmico
3. Sobrecargas e superposição de cargas
4. Corrosão e desgaste
5. Temperaturas elevadas ou alternância entre quente e frio
6. Efeito dimensional para o caso das peças reais serem dimensionadas por corpos de prova do mesmo material.

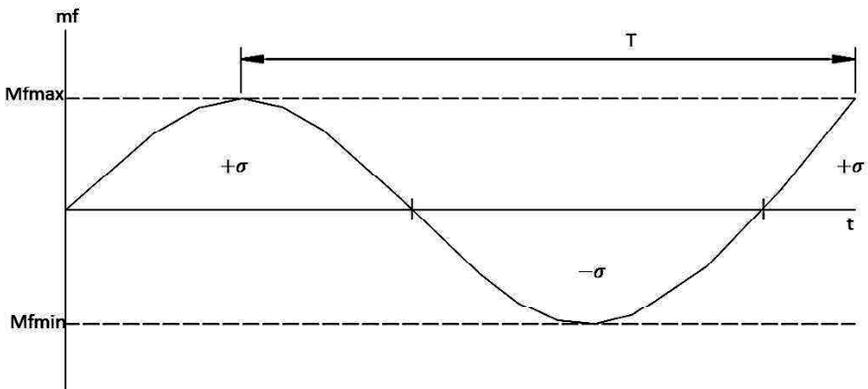
Mecanismo da falha por fadiga. Exemplo em um rasgo de chaveta submetido à flexão alternada.



Supondo-se que no ponto A exista uma trinca microscópica.

Esse ponto como todo o material será solicitado por tensões que variam:

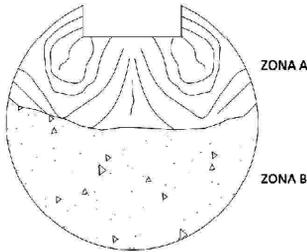
- σ : 0: + σ : 0: - σ ou graficamente:



4.2. FRATURA POR FADIGA

Transcorridos N ciclos de variação da solicitação entre M_{fmax} e M_{fmin} o material se rompe por fadiga, que se propagou em A, até vencer a resistência da peça.

Exame da Zona Fraturada



Zona A: onde se propagou a trinca.
É brilhante e polida.

Zona B: onde houve ruptura brusca, após a expansão da fadiga. É fosca e rugosa como uma fratura frágil.

A característica da fratura por fadiga é a existência destas duas áreas distintas. Uma polida e brilhante, outra fosca e rugosa.

O tamanho destas duas áreas, bem como a localização na fratura é variável de peça para peça e exige acuidade visual.

Se a fratura for por um excesso de carga, ou seja, além da tensão de ruptura dada pelo diagrama tensão x deformação, dizemos ruptura brusca e a fratura é totalmente fosca e rugosa.

Até o presente momento, fizemos uma avaliação qualitativa da fadiga dos metais com descrições sobre a ocorrência do fenômeno.

A seguir, quantificaremos a fadiga com vista ao dimensionamento dos elementos de máquinas.

Quantificar a fadiga significa determinar o limite de resistência à fadiga, ou seja, determinar a tensão máxima que pode ser aplicada ao elemento de máquina com a segurança de que esta tensão não desencadeará o fenômeno de fadiga.

Ressalva:

É importante esclarecer que mesmo determinando-se o limite de resistência à fadiga com relativa precisão, os três fatores primários citados anteriormente devem ser continuamente avaliados e controlados, e os fatores secundários, também já citados, devem ser eliminados sistematicamente.

4.3. ESTUDO DAS SOLICITAÇÕES OU ESFORÇOS QUE CAUSAM FADIGA

Estabeleceremos as seguintes convenções:

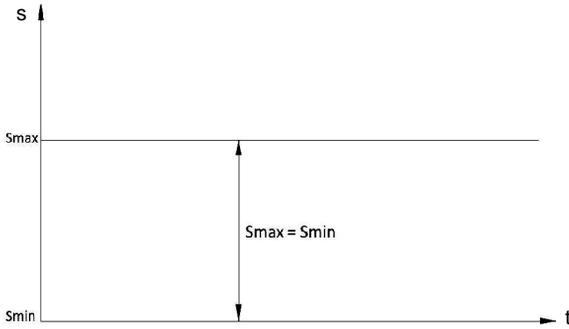
S = Solicitação genérica, podendo ser uma tensão de qualquer natureza (tração, compressão, flexão etc)

S_{max} = Solicitação máxima do ciclo

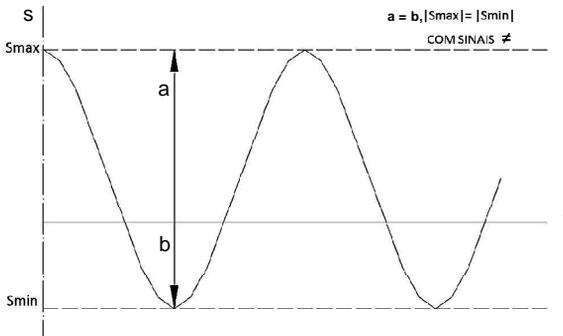
S_{min} = Solicitação mínima do ciclo

$NB = \frac{1}{S_{max}} >> \frac{1}{S_{min}}$ e os gráficos estarão em função do tempo de atuação (abscissa) das solicitações max. e min. (ordenada).

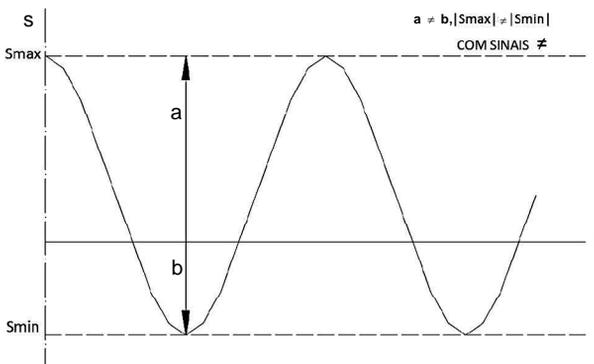
1) Solicitação Constante



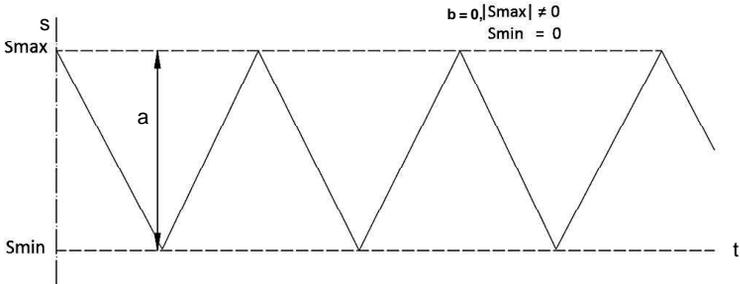
2) Solicitação Alternada Simétrica



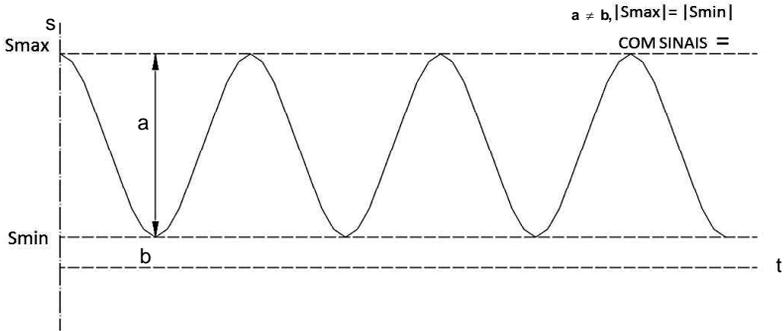
3) Solicitação Alternada



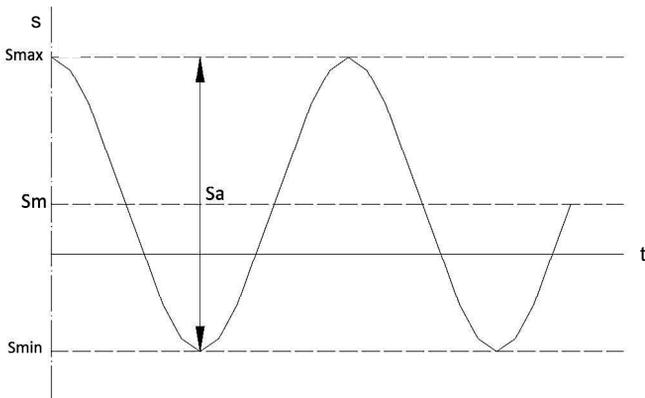
4) Solicitação Pulsatória



5) Solicitação Pulsatória Ondular



Parâmetros que definem as solicitações:



$$S_m = \frac{(S_{max})+(S_{min})}{2}$$

Solicitação média

$$S_a = (S_{max}) - (S_{min})$$

Amplitude da solicitação

$$K = \frac{S_{max}}{S_m}$$

Coefficiente de Variação da solicitação

* Solicitação	K
1.Constante	1
2.Alternada Simétrica	∞
3.Pulsatória	2
4.Alternada	$2 < K < \infty$
5.Pulsatória ondular	$1 < K < 2$

Convenção para padronização de símbolos que utilizaremos no estudo de fadiga:

	Solicitação Genérica (S)	Solicitação por Flexão (f)	Solicitação Axial (σ)	Solicitação p/Cizalhamento (ζ)
Limite de Ruptura Estática	S_r	σ_{fr}	σ_f	ζ
Limite de Escoamento	S_e	σ_{fe}	σ_e	ζ_e
Limite de Resistência à Solicitação Alternada Simétrica	S_{FA}	σ_{fFA}	σ_{FA}	ζ_{FA}
Limite de Resistência à Fadiga	S_F	σ_{fF}	σ_F	ζ_F

4.4. DIAGRAMA DE WHÖLER

Propósito: Conhecer o comportamento da fadiga em cada caso de solicitação do material, quantificando o limite de resistência à fadiga.

Exemplo: Suponhamos que se queira conhecer o comportamento da fadiga de uma peça de aço ABNT-1045, submetida a esforço alternado simétrico.

1) Adoto uma peça para ensaio.

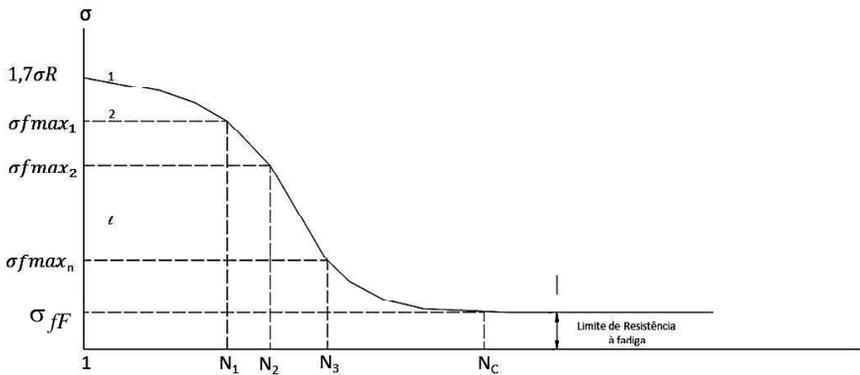
2) σ_{fr} é considerado sabido (Limite de Ruptura de um corpo submetido à flexão estática), veja Quadro Prático na Página 62.

3) Submeto o corpo de prova à solitação alternada simétrica, t.q., σ_{fmax_i}

$$\text{e } \sigma_{fmin_i} \quad (i = 0, 1, 2, \dots, n) ; \quad \sigma_{fmax_i} + 1 / < / \sigma_{fmax_i} / e \quad \frac{\sigma_{fmax_i}}{\sigma_{fmin_i}} = k = \infty$$

Para cada S_{fmax_i} e S_{fmin_i} ensaiado, contamos o número N_i de ciclos de repetição da solitação até ocorrer o rompimento, ou seja, quantos ciclos de solitação a peça suportou até aqui.

Faremos um gráfico $f(\sigma_{fmax_i}; N_i)$

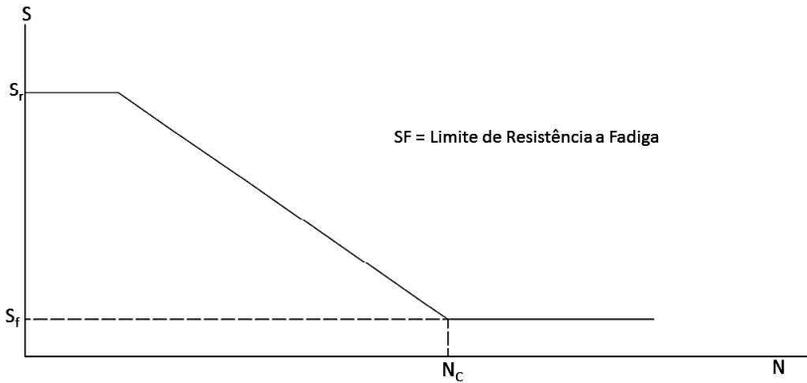


Haverá um S_{fmax_i} que romperá o corpo de prova depois de N_c ciclos, pela última vez. Esse S_{fmax_i} será o σ_{ff} .

Qualquer valor de S_{fmax_i} menor que o σ_{ff} acima citado, não romperá mais o corpo por fadiga, para qualquer número de ciclos N maior ou menor que N_c , nas condições do ensaio.

Assim, a tensão máxima que pode ser aplicada no corpo de prova sem que haja ruptura por fadiga é denominado Limite de Resistência à Fadiga a Flexão (σ_{ff}) e N_c é chamado de Vida Crítica ou Número Crítico de Solitações.

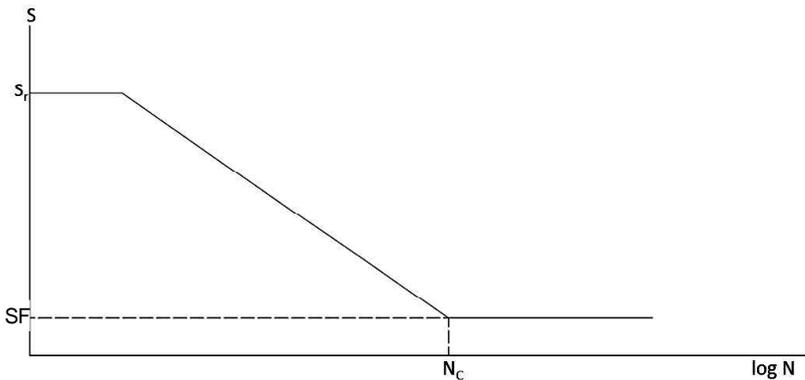
Generalização do Gráfico



Nota: Este gráfico é construível somente para ligas ferrosas e de titânio onde N_c e S_f são bem definidos.

Nos outros elementos não temos a mesma facilidade.

Diagrama Logarítmico



4.5. DIAGRAMA DE GOODMAN

Conforme podemos observar, o diagrama de Whöler é bastante difícil de ser construído, tornando-se inviável para a Engenharia Agrícola.

Para contornar este problema, o engenheiro Smith, desenvolveu um diagrama mais fácil de ser construído, mas ainda inviável para a Engenharia

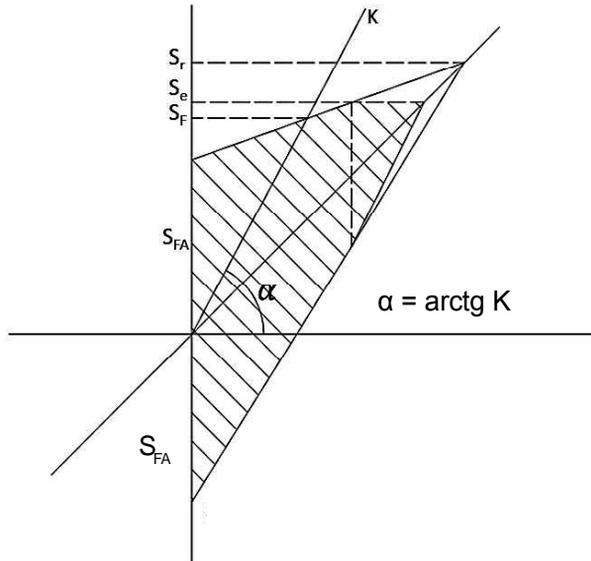
Agrícola. Outro engenheiro chamado Goodmann simplificou o trabalho de Smith. O diagrama de Goodmann é perfeitamente viável para esta área de tecnologia e será adotado.

Permite obter valores aproximados dos Limites de Resistência à Fadiga (S_F). Valores estes sempre a favor da segurança.

É possível construí-lo conhecendo-se apenas 3 (três) pontos que são 3 (três) valores característicos de um material (S_r , S_e , S_{FA}).

Para cada material podemos abranger todo o seu comportamento à fadiga de maneira rápida e relativamente confiável.

Onde a reta K corta o polígono, correspondente ao SF.



Exemplo:

Determinar as características à fadiga do aço recozido submetido à flexão, sabendo-se que:

$$1) \sigma_r = 65 \text{ kgf/mm}^2$$

$$\sigma_e = 38 \text{ kgf/mm}^2$$

$$2) M_{f_{\min}} = -8/15 M_{f_{\max}}, \text{ portanto sollicitação alternada}$$

$$3) \sigma_f = \frac{Mf}{W}$$

O objetivo é determinar qual a máxima tensão de flexão que pode-se aplicar neste aço (σ_{fr}), nas condições do problema, sem desencadear o processo de fadiga sempre com a ressalva da pág. 52 sempre.

Existem relações práticas t.q. (pág. 62), ou direto na tabela em anexos.

$$\sigma_{fr} = 1,7 \sigma_r \Rightarrow \sigma_{fr} = 1,7 (65) \cong 110,5 \text{ kgf/mm}^2$$

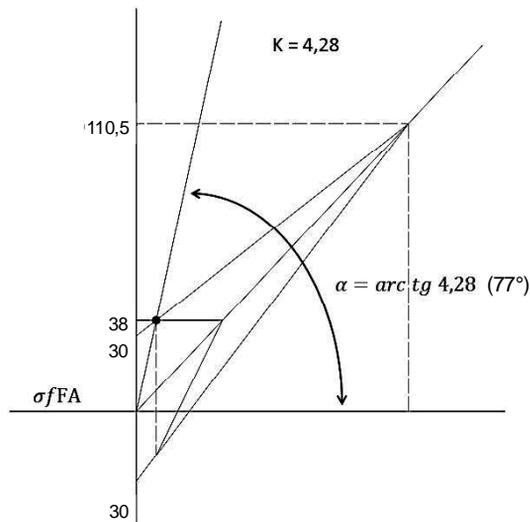
$$\sigma_{fe} = \sigma_e \Rightarrow \sigma_{fe} = 38 \text{ kgf/mm}^2$$

$$\sigma_{fFA} = 0,45 \sigma_r \Rightarrow \sigma_{fFA} = 0,45 (65) \cong 30 \text{ kgf/mm}^2$$

$$\sigma_{fm} = \frac{\sigma_{fmax} + \sigma_{fmin}}{2} K = \frac{\frac{M_{fmax}}{W}}{\frac{M_{fmax} + M_{fmin}}{2W}}$$

$$\therefore K = \frac{2M_{fmax}}{M_{fmax} + M_{fmin}} = \frac{2}{1 + \frac{M_{fmin}}{M_{fmax}}} \cong 4,28$$

$$K = 4,28 = \text{tg} \alpha ; \alpha = 77^\circ$$



Conclusão: $\sigma_{fr} = 35 \text{ kgf/mm}^2$. Observa-se que σ_e e $\sigma_{fr} \ll \sigma_r$. Significa que se dimensionarmos a peça para σ_r e σ_e mas com tensões superiores a

σ_{if} , haverá ruptura por fadiga, embora o diagrama tensão x deformação tenha sido respeitado.

Atenção: Ainda não se consideram os coeficientes de segurança necessários e normalizados abaixo.

Quadro Prático (para construção do Diagrama de Goodman)

Para corpos de prova polidos e com seção transversal circular de diâmetro 10 mm.

Material	Solicitação Axial σ_{FA}	Solicitação por Flexão		Solicitação por Cizalhamento	
		σ_{fFA}	σ_{fe}	ζ_{FA}	ζ_e
1. Aço-Carbono	0,315 σ_r	0,45 σ_r	σ_e	0,261 σ_r	0,60 σ_e
2. Aço-Fundido	0,260 σ_r	0,40 σ_r	1,15 σ_e	0,232 σ_r	0,70 σ_e
3. Fofo maleável	0,280 σ_r	0,40 σ_r	1,10 σ_e	0,254 σ	0,70 σ_e
		$\sigma_{fr} = 1,7\sigma_r$		$\sigma_r = 0,75\sigma_r$	

σ_r e σ_e são tabelados para cada material (Diagrama tensão x deformação)

4.6. COEFICIENTE DE SEGURANÇA

Um elemento de construção mecânica sujeito a uma solicitação simples S, variável entre os limites Smin e Smax resistirá a essas condições de trabalho

dinâmico se $S_{max} S_{F_{adm}} \leftrightarrow S_{max} < S_{F_{adm}}$

$$S_{F_{adm}} \frac{S_F}{\eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \eta_4 \times \eta_5} \text{ com } S_F \text{ do Diagrama de Goodman } \eta_i =$$

coeficiente de segurança

- η_1 = Coeficiente de Segurança do material. Representa o grau de conhecimento que se têm acerca do material e do tratamento térmico nele feito. $1 \leq \eta_1 \leq 1,2$
- η_2 = tendo-se em conta a simplificação de cálculos quando se leva em consideração a forma de aplicação das cargas e os vínculos (apoio). $1,1 \leq \eta_2 \leq 1,25$
- η_3 levam-se em conta também os efeitos dos entalhos difíceis de serem avaliados. $1,25 \leq \eta_2 \leq 1,50$

• η_4 = Coeficiente de Segurança Efetivo que leva em conta o maior ou menor grau de importância da peça e o maior ou menor grau de segurança que se deseja dela em relação aos aspectos econômicos e acidentais com riscos humanos. $1 \leq \eta_3 \leq 1,3$

• η_5 = Levam-se em conta as incertezas nos valores das cargas realmente atuantes. $1 \leq h_4 \leq 1,2$

η_6 = Levam-se em conta sobrecargas e choques dinâmicos.

Máquinas elétricas, turbinas, compressores - Choques e sobrecargas rotativas, retificadoras

leve
Classe I
 $\eta_6 = 1$ a $1,1$

Máquinas para usinagem com ferramentas de corte - Choques e sobrecargas

Motores a explosão, compressores alternativos

médio
Classe II
 $\eta_6 = 1,2 \cong 1,5$

Máquinas de estampagem, marteletas - Choques e sobrecargas Prensas de forjamento, trefilas, cortadoras forte

forte
Classe III
 $\eta_6 = 1,5 \cong 2,0$

Britadoras, laminadoras - Choques e sobrecargas Marteletos pesados muito forte

muito forte
Classe IV
 $\eta_6 = 2 \cong 3,0$

Usualmente utiliza-se $= \bar{S}_{F_{adm}} = \frac{S_F}{2}$

Exemplo: Um parafuso de haste de compressor alternativo foi usinado com aço, t . q, $\sigma_r = 60 \text{ kgf/mm}^2$ e $\sigma_e = 30 \text{ kgf/mm}^2$. Sabe-se que durante o funcionamento do compressor, atuam-se no parafuso $\sigma_{\max} = 8,5 \text{ kgf/mm}^2$ e $\sigma_{\min} = 0,6 \text{ kgf/mm}^2$, esforços de tração.

Verificar se o parafuso entrará em regime de fadiga nesta situação de trabalho.

Como os esforços são de tração, necessita-se de σ_r , σ_e σ_{FA} para traçado do diagrama de Goodman.

$$\sigma_r = 60 \text{ kgf/mm}^2$$

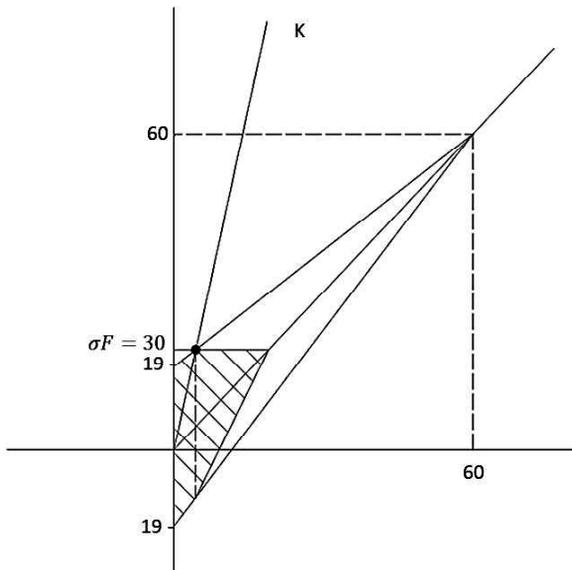
$$\sigma_e = 30 \text{ kgf/mm}^2$$

$$\sigma_{FA} = 0,315 \sigma_r \cong 19 \text{ kgf/mm}^2$$

$$K = \frac{S_{\max}}{S_m} = \frac{8,5}{\frac{8,5 + 0,6}{2}} = 1,87 \text{ (Solicitação pulsatória ondular)}$$

$$\alpha = 62^\circ \text{ (arctg } 1,87) \Rightarrow \sigma_F = 30 \text{ kgf/mm}^2$$

$$\sigma_{F_{\text{adm}}} = 15 \text{ kgf/mm}^2$$



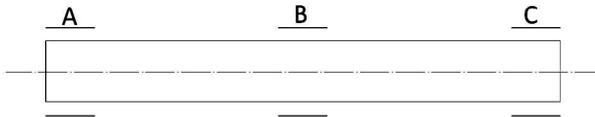
Portanto, $\sigma_F > \sigma_{\max}$ ($15 > 8,5$) \Rightarrow não se esperam problemas quanto à fadiga do parafuso.

5

INTRODUÇÃO AO ESTUDO DOS MANCAIS DE DESLIZAMENTO (BUCHAS)

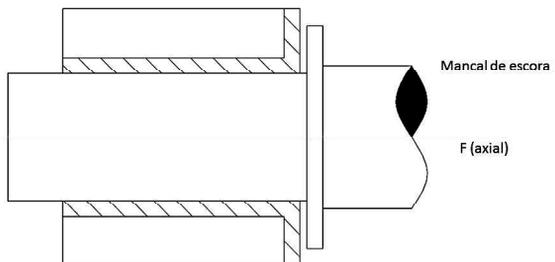
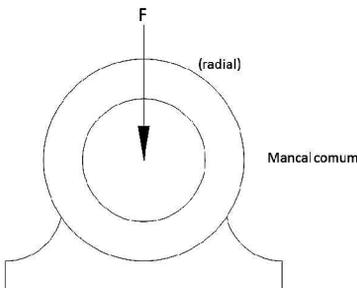
Os mancais de deslizamento ou buchas são elementos de máquinas destinados a assegurar movimentação rotativa entre duas superfícies, com baixos níveis de atrito.

Classificação quanto a posição no eixo:



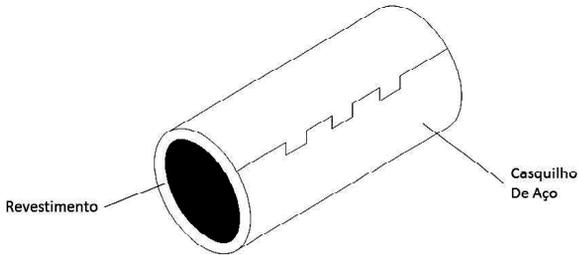
AC: mancais de extremidade
b: mancal de centro

Carga suportada pelo mancal:



Classificação das buchas:

Buchas de uma peça só ou bi-partidas
Buchas de um só material ou revestidas



Materiais de construção mecânica

1. Eixos:

- Aço de baixo teor de C, usinado com ferramenta e lixado
- Aço com alto teor de C, temperado, revenido e retificado
- Aço ligado, cementado, temperado e retificado

a) Rugosidades Usuais; (Δre) (página 281), para eixos:

- Eixos simplesmente usinados com ferramenta: $\Delta re = 10 \mu$
- Usinado com retificação média e fina: $\Delta re = 5$ a 3μ
- Usinado simplesmente com ferramenta e lixado: $\Delta re = 7 \mu$
- Usinado com lapidação ou roletamento: $\Delta re = 1 \mu$

2. Buchas

a) Buchas que podem ser o próprio corpo do mancal em contato direto com o eixo:

- Ferro fundido
- Bronze
- Aço fundido

b) Buchas como elemento intermediário entre o corpo do mancal e o eixo:

- Bronze
- Bronze fosforoso
- Bronze grafitado
- Aço temperado e retificado

c) Buchas revestidas: (Capa de aço, Interior com metal mais mole)

- Bronze estanhado
- Bronze ao alumínio
- Metal branco ao Pb

- Bronze ao Sn-Zn
- Bronze ao Pb-Sn
- Metais sinterizados
- Poliéster
- Epoxy
- Bakelite
- Nylon
- Teflon

d) Buchas de Agulhas: não confundir com rolamento de agulhas.

A bucha de agulhas tem anel externo, ou somente a gaiola

e) Rugosidades Usuais; Δr_b , para buchas e Δr_e para eixos:

- Torneadas $\Delta r_b = 20\mu$
- Brochadas $\Delta r_b = 10\mu$
- Torneadas e retificadas $\Delta r_b = 7$ a 8μ
- Aço temperado e retificado $\Delta r_b = 5$ a 2μ
- Aço temperado e retificado e brunido $\Delta r_b = 3\mu$
- Recomendação preliminar de folga entre o eixo e a buxa:

$$\frac{\Delta r_e + \Delta r_b}{2} \leq h \leq 5 (\Delta r_e + \Delta r_b)$$

5.1. CÁLCULO DE MANCAIS

Para o ante-projeto de um mancal são necessárias as seguintes etapas:

1) Verificação da velocidade tangencial do munhão: com o fito de assegurar o funcionamento dentro das condições ideais de atrito viscoso.

2) Verificação da pressão específica: para prevenir travamento por micro solda.

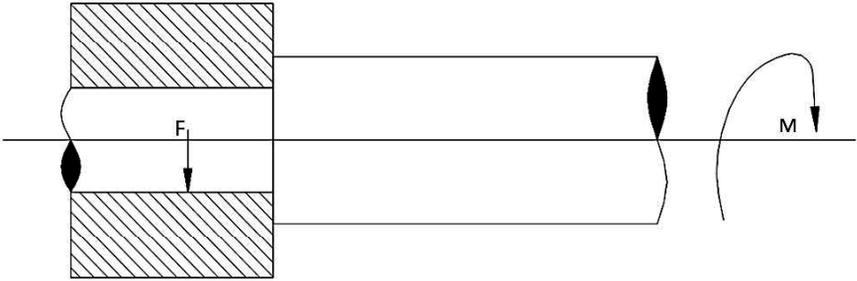
3) Verificação das condições de resfriamento. Devemos calcular se o calor gerado no mancal está sendo corretamente dissipado, para que não haja elevações perigosas de temperatura.

4) Verificação da resistência do eixo em correspondência ao mancal. Esta providência é tomada quando se faz o dimensionamento do eixo.

5.2. RESISTÊNCIA AO PIVOTAMENTO

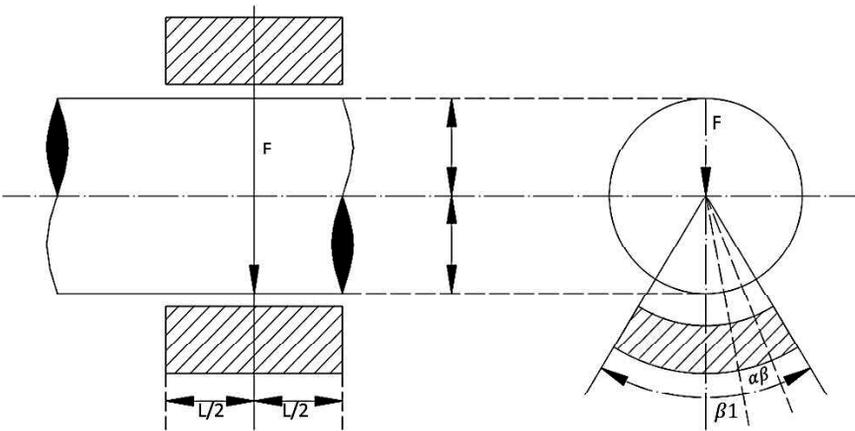
Pivotamento é o movimento de um corpo que, mantendo contato com uma superfície, gira em torno de um eixo geométrico fixo.

O momento M exigido para colocar um mancal em movimento a partir de sua posição de inércia inicial, geralmente mais elevado do que aquele exigido para movimentá-lo após sua partida.



Define-se resistência ao pivotamento como sendo a resistência ao escorregamento dos dois corpos (M_f).

Objetivo: Determinar qual a parcela do momento motor M_m empregada para vencer a resistência ao pivotamento.



$$M_f = \frac{4 \cdot f \cdot r \cdot F \cdot \sin \beta}{\beta_1 + \sin \beta_1}$$

Quando $\beta_1 = \pi \Rightarrow M_f = 1.27 F \cdot r \cdot f$

f = coeficiente de atrito

r = raio do eixo

F = carga radial no mancal

β_1 = ângulo de contato eixo/mancal (ângulo de apoio)

β_1^* = ângulo de contato eixo/mancal em radianos.

Exemplo:

Um munhão de aço $d = 20$ mm, apoia-se diretamente sobre seu mancal de bronze $t. \varphi \beta = 120^\circ$

Para $F = 500$ kgf, qual M_f , supondo-se que não existe lubrificação.

\Rightarrow aço/bronze $f = 0,152$ (tabelado)

$\Rightarrow \beta_1 = 120^\circ = 2/3 \pi$ [rd]

$$M_f = \frac{4 \cdot 0,152 \cdot 10 \cdot 500 \cdot \text{sen}(120/2)}{2/3 \pi + \text{sen}120} = 890 \text{ kg} \cdot \text{mm}$$

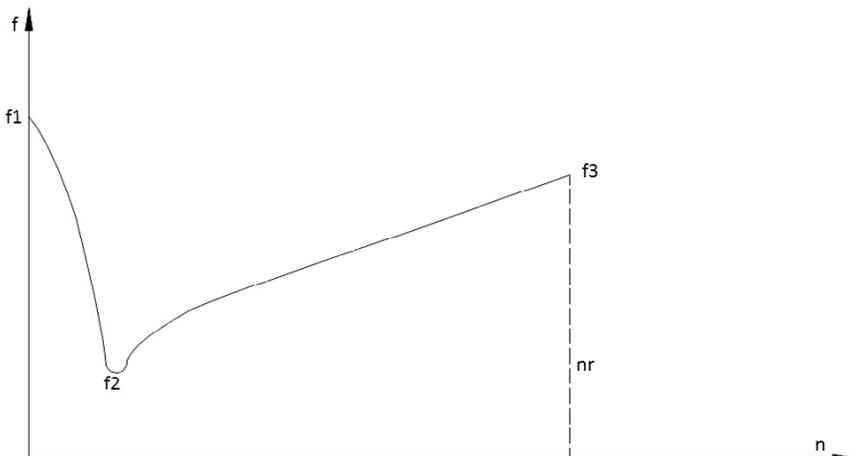
• Qual seria a potência mínima de um motor (1750 rpm) para acionar esse munhão?

$$M_f = 716200 \frac{P}{n} \Rightarrow 890 = 716200 \frac{P}{1750}$$

$$P \cong 2,2 \text{ HP}$$

Obs.: com um sistema de lubrificação, este valor naturalmente cairá acentuadamente, para $f = 0,02$, $M_f = 190$, $P \cong 0,5$ HP.

Experiência de Stribeck: que analisou os valores assumidos pelo coeficiente de atrito entre eixo e bucha, de zero rpm (máquina parada) até a rotação de regime (máquinas em serviço).



Durante o funcionamento do sistema eixo/bucha Stribeck constatou a existência de três coeficientes de atrito fundamentais:

I - Atrito Metálico (f_1):

Quando o eixo está parado (zero rpm), ele se deposita sobre a bucha, expulsando a película de lubrificante, havendo contato direto de metal com metal.

II - Atrito Viscoso ou Fluido (f_2):

Quando a máquina é ligada e começa a ganhar rotação, o lubrificante envolve o eixo por ação hidrodinâmica provocando a separação do contato metálico anterior.

III - Atrito Semi-Viscoso ou Semi-Fluido (f_3):

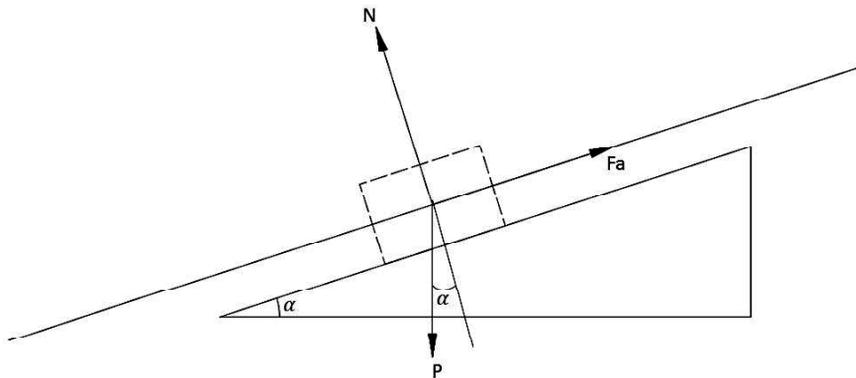
É o que realmente ocorre durante o funcionamento do sistema eixo/bucha. Ora o eixo toca a bucha, ora o lubrificante impede o toque.

É por isso que as buchas mesmo bem lubrificadas se desgastam com o tempo, sendo substituídas.

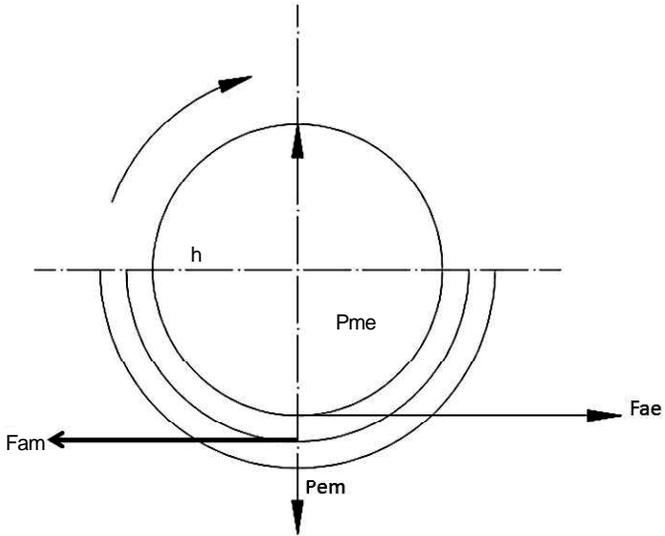
$f_1 > f_3 > f_2$ O projetista buscará $f_3 \cong f_2$ e evitará f_1
 f = coeficiente de atrito no mancal
 n = rotação do eixo

O coeficiente de atrito no mancal varia com a velocidade tangencial do eixo e com a carga aplicada ao mesmo.

Lembrete:



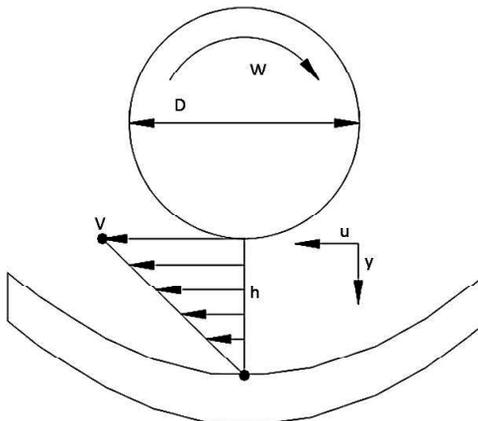
No mancal



A espessura máxima da película de lubrificante poderá ser de 5 x a soma das rugosidades superficiais do eixo e do mancal. A espessura mínima poderá ser a média aritmética destas rugosidades.

$$\frac{\Delta r_e + \Delta r_b}{2} \leq h \leq 5 (\Delta r_e + \Delta r_b)$$

Experiência de Petroff: que demonstrou a necessidade de propriedades específicas para os lubrificantes.



Formulário:

- $u = V (1 - y/h)$

- h = folga radial entre eixo e bucha

- $\bar{p} = \frac{P}{B \cdot De}$ pressão média, sendo P, carga radial aplicada no mancal

- $\Psi = \frac{S}{De}$ folga relativa

- $So = \frac{\bar{p} \Psi^2}{\eta W}$ n° de Sommerfeld, sendo W a velocidade angular do eixo

- Coeficiente de atrito f:

$$\frac{f}{\Psi} = \frac{K}{So} \begin{cases} So > 1 \Rightarrow k = 3 \text{ e} \\ So < 1 \Rightarrow k = \pi \text{ e} \end{cases} \begin{cases} \nearrow f = \frac{3 \cdot \Psi}{\sqrt{So}} \\ \searrow f = \frac{\pi \cdot \Psi}{So} \end{cases}$$

- $N = f \cdot P \cdot V$ potência dissipada no mancal

- $n_c = \frac{P}{\eta V^* 10^7}$ rotação crítica, sendo V^* o volume do munhão V^*

- $P_c = 10^7 \cdot \eta \cdot V^* \cdot n$ carga crítica

Atenção: Para mancais de alta rotação, a rotação crítica n_c é aquela que separa o regime de atrito metálico do regime de atrito viscoso (vide experiência de Stribeck). Quando ligamos a máquina, de zero até n_c rpm haverá predominância de atrito metálico entre eixo e bucha. De n_c até a rotação de regime, haverá predominância de atrito viscoso, (na verdade, semi-viscoso).

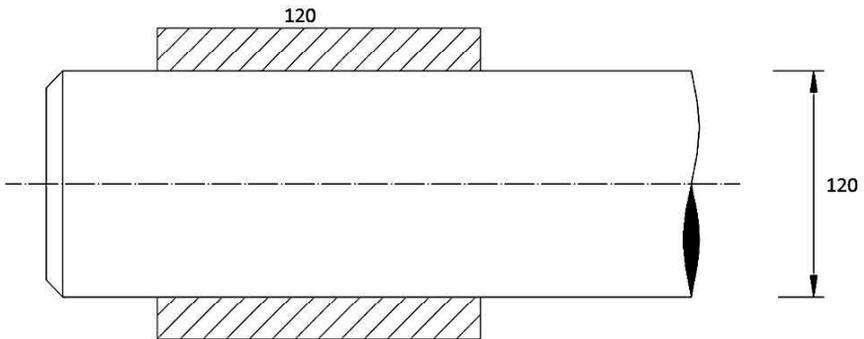
O projetista buscará diminuir ao máximo o valor de n_c .

Para mancais de baixa rotação, a carga crítica R_c é aquela que inicia a ruptura da película de lubrificante provocando o atrito metálico.

O projetista buscará aumentar ao máximo o valor de R_c .

Exemplo de aplicação:

1) Seja o mancal de alta velocidade



$n = 3000$ rpm rotação de regime do eixo

$P = 415$ kgf carga aplicada na bucha

$S = 0,24$ mm folga total (2.h)

$\eta = 13 \times 10^{-4}$ kgf.s/m² viscosidade do lubrificante

$$\bullet \bar{p} = \frac{P}{B \cdot D} = \frac{415}{(12,0) \cdot 10} = 2,88 \text{ kgf} / \text{cm}^2$$

$$\bullet W = \frac{2\pi n}{60} = 314 \text{ s}^{-1} \text{ velocidade angular do eixo}$$

$$\bullet V = W \cdot R = 18,85 \text{ m/s velocidade tangencial do eixo}$$

$$\bullet \Psi = \frac{S}{D} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ folga relativa}$$

$$\bullet S_o = \frac{\bar{p} \Psi^2}{\eta W} = 0,282 \text{ (Sommerfeld)} < 1$$

$$\bullet f = \frac{\pi \Psi}{S_o} = 0,0223$$

$$\bullet N_a = f \cdot P \cdot V = \frac{175 \text{ kpm}}{\text{s}} = 2,3 \text{ CV potência dissipada}$$

$$n_c = \frac{P}{\eta \cdot V^* \cdot 10^7} = 23,5 \text{ rpm} (\lll 3000 \text{ rpm})$$

2) Seja o mancal de baixa velocidade

- $n = 4 \text{ rpm}$

- $P = 41.500 \text{ kgf}$

- $B = 420 \text{ mm}$

- $D = 300 \text{ mm}$

- $S = 0,2 \text{ mm}$

- $\eta = 460 \times 10^{-4} \text{ kgf.s/m}^2$

- $n = 4 \text{ rpm} \rightarrow W = 0,42 \text{ s}^{-1} \rightarrow V = 0,063 \text{ m/s}$

- $\Psi = \frac{S}{D} = 0,67 \times 10^{-3}$

- $\bar{p} = \frac{P}{B \cdot D} = 32,8 \text{ kgf / cm}^2$

- $So = 7,68 (> 1)$

- $f = 0,728 \times 10^{-3}$

- $Na = f \cdot P \cdot V = 1,9 \frac{\text{kgf} \cdot \text{m}}{\text{s}} \cong 0,02 \text{ CV}$

$$P_c = 54.650 \text{ kgf} (> 41.500 \text{ kgf})$$

Complementação:

1) Mancais de alta velocidade

- Lubrificação forçada:

$$Q = \frac{P \cdot f \cdot W \cdot r}{907} \text{ vazão mínima de lubrificante em cm}^3/\text{s}$$

Para o primeiro exemplo:

$$Q = \frac{(425.) (0,0223) (314) (6)}{907}$$

$Q = 20 \text{ cm}^3/\text{s}$ de óleo lubrificante, Lubrificação hidrostática

- O reservatório (carter) deve conter no mínimo $6 \times Q$, portanto 120 cm^3 .
- A pressão do óleo é normalmente estipulada em $1,5 \sim 3 \text{ at}$.

2) Mancais de baixa velocidade:

- Necessidade de Aletas

$$T_f = \left(\frac{p \cdot f \cdot W \cdot r \cdot a}{\alpha \cdot \pi} \right) + T_a$$

$T_f \leq 80^\circ\text{C}$, temperatura de regime

$T_a \cong 20^\circ\text{C}$, temperatura ambiente

α = coeficiente de condutividade térmica do material da bucha
($\cong 1,25 \times 10^{-4} \text{ Kcal}/^\circ\text{C} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}$)

Para o segundo exemplo:

$$80 = \frac{(32,8) (0,728 \times 10^{-3}) (15) (0,42) (a)}{1,25 \times 10^{-4} \cdot p}$$

$$a \cong 0,16$$

O índice "a" deve variar entre 0,16 e 0,44. Quando tende para 0,44 significa necessidade de aletamento. Quando tende para 0,16 significa boa dissipação natural de calor gerado. Se a máquina estiver em movimento, ou existir aeração forçada no mancal, então $a' = a/1,1 \sim 5,0$.

Nos dois exemplos anteriores já dispúnhamos das buchas (material e dimensões), e o que foi feito foi apenas uma verificação da qualidade do projeto (n_c, P_c, N).

Na Engenharia Agrícola, na maioria das vezes, precisamos dimensionar a bucha (B, d, s, h, material). Então seja o exemplo:

Dimensionar uma bucha de transmissão (eixo com engrenagens) submetida a uma carga radial de 200 kgf, Diâmetro do eixo = 20 mm, $n = 1200 \text{ rpm}$.

I - Tabela. Dados Indicados para Mancais

Transmissões: $G_{22}, A_c, (3,5 \text{ m/s}), (1,2-1,5), (0,2 \text{ kgf/mm}^2), (H_{7f_7}, H_{7e_8})$

Estes dados significam que para o eixo de aço (A_c), a bucha pode ser de ferro fundido, $f^\circ f^\circ, (G_{22})$ desde que a velocidade tangencial da ponta do eixo

(munhão) não ultrapasse 3,5 m/s, e a pressão interna não exceda 0,2 kgf/mm². Recomenda-se, ainda, a relação entre comprimento (L) e diâmetro (\varnothing) na ordem de 1,2 ~ 1,5.

A tolerância de acoplamento (H_{7/f_7} , H_{7/e_8}) será estudada oportunamente em Tolerância e Ajustagem Mecânica.

$$\text{II} - 1200 \text{ rpm e } 20 \text{ mm} \Rightarrow V = \frac{\pi d n}{60} = \frac{\pi(20) \cdot 1200}{60(100)} = 1,3 \text{ m/s}$$

1,3 m/s < 3,5 m/s, aprovado

$$\text{III} - \varnothing = 20 \text{ mm e } \frac{L}{d} = 1,5 \Rightarrow L = 30 \text{ mm}$$

$$\text{IV} - p = \frac{200}{30 \times 20} = 0,33 \text{ kgf / mm}^2$$

0,33 kgf/mm² > 0,2 kgf/mm² \Rightarrow G_{22} reprovado

Adotar MB, 0,33 kgf/mm² < 0,4 kgf/mm² \Rightarrow aprovado

V - Espessura da parede da bucha (s);

d_z = diâmetro do eixo

σ_e = tensão de escoamento do material da bucha [kgf/mm²]

p = pressão interna [kgf/cm²]

$$S_{\text{mim}} = \frac{de}{\frac{200\sigma_e}{1,11.p.k}} - 2$$

k = 2 ~ 4, coef. segurança

de = 20 mm

σ_e = 15 kgf/mm²

p = 33 kgf/cm²

K = 4

$S_{\text{min}} \cong 1,5 \text{ mm}$

Pode-se fazer $s = 2 \times s_{\text{min}} = 3,0 \text{ mm}$

VI - Folga para lubrificação (h):

Supondo-se $\Delta_{re} = 10 \mu$ (eixo usinado), página 68

$$\frac{10+20}{2} \leq h \leq 5(10+20) \Rightarrow 15 \Rightarrow 15 \leq h \leq 150$$

$$\Delta_{rb} = 20 \mu \text{ (bucha usinada), página 69}$$

Adotando o meio do intervalo $\Rightarrow h = 80 \mu$

Portanto, o diâmetro interno da bucha será:

$$d_i = 20 \text{ mm} + 2 (80 \mu) = 20,16 \text{ mm}$$

VII - Verificar rotação crítica e potência dissipada como exercício.

MANCAIS AUTOLUBRIFICANTES:

Qualquer material autolubrificante destinado a reduzir atritos e que forneça uma superfície suave de deslizamento. Qualquer material que forneça uma superfície suave para o deslizamento, autolubrificante, destinado a reduzir atritos.

Vantagens:

- 1) Dispensa qualquer instalação de lubrificação
- 2) Difícil emperrar
- 3) Ideais para movimentos oscilante e/ou intermitentes

Desvantagens:

- 1) Para cargas muito elevadas precisam de um servo mecanismo de lubrificação.
- 2) Os de natureza metálica têm tendência para corrosão.

Tipos:

- 1) Seco
- 2) Impregnados de óleo - natureza metálica
- natureza plástica

Dados para projeto:

folga radial - metálico $h = 0,8 d \sim 1,5 d [\mu], d [\text{mm}]$

- plástico $h = 2 d \sim 10 d [\mu], d [\text{mm}]$

- $L/d = 0,5 \sim 2,0$
- $S = (0,05 \sim 0,07) d + (2 \sim 5) [\text{mm}], d [\text{mm}]$

Descrição:

1) Nailons: São os mais utilizados em temperaturas de regime inferiores a 80°C. O nylon estabilizado suporta até 130°C.

2) Poliamidas: Podem ser utilizados em anéis de pistões de sistemas hidráulicos ou onde a temperatura não ultrapasse 275°C.

3) Metais sinterizados com bronze: Para velocidades altas e cargas pequenas. Custo elevado e boa resistência à corrosão.

- Metal sinterizado em ferro puro: Para velocidades baixas e cargas elevadas. Custo baixo e pouca resistência à corrosão.

- Metal sinterizado em ferro e chumbo: Dificulta o emperramento. Metal sinterizado em ferro e cobre: Melhora a capacidade de carga.

- Metal sinterizado em ferro e alumínio: Aumenta resistência à corrosão, mas arranha facilmente.

4) Metal sinterizado em alumínio puro: Para compensar desalinhamentos de eixos. Formam buchas muito leves.

5) Ferro Fundido Expandido: O fº com 2 a 4% de carbono, quando aquecido se expande e fica poroso quando resfriado. Ideais para cargas elevadas e velocidades pequenas.

6) Plásticos Fenólicos: resiste à água, ácidos e alcális. Resistem a choques. Não dissipam bem o calor gerado.

7) Resina PTFE: Politetrafluoretileno. Apresenta a capacidade de diminuir o coeficiente de atrito com o aumento da pressão. Custo elevado.

8) Acetais: Ideais para ambientes úmidos.

5.3. COMPARAÇÃO COM OS ROLAMENTOS

Características	Mancais Deslizamento	Mancais Rolamento
Amortecimento de Vibrações	Melhor	Pior
Amortecimento Choques	Melhor	Pior
Sensibilidade poeira	Menor	Maior
Ruído	Mais Baixo	Mais Alto
Preço para grandes Mancais	Menor	Maior
Atrito Partida	Maior	Menor
Vida (p/ carga constante)	Pode ser imensa	Limitada
Manutenção	Mais atenção	Menos atenção
Baixas Rotações	Possibilidade atrito semi-fluído	Bom comportamento
Atrito	Equivalente	
Consumo de Lubrificante	Maior	Menor
Altas Velocidades Periféricas	Recomendado	Exige Lubrificação Especial

Dados indicados para mancais

Aplicações	Materiais	Veloc. Máxima V (m/s)	L/d	Pm adm. Kg/mm ²	Tolerância de Acoplamento
Bucha		Eixo			
Transmissões	G 22	3,5	1,2-1,5	0,2	H ₇ -f ₇ -H ₇ -e ₈
	MB	6	1,2-1,5	0,4	H ₇ -d ₉
Aparelhos de levantamento (polias, tambores, rodas-loucas	G22 Ac	3,5	0,8-1,8	0,6	H ₇ -e ₈
	B14 Ac	6,0	0,8-1,8	1,2	H ₇ -d ₉ H ₈ -d ₁₀

Características dos Materiais Indicados para Buchas

Indica-ção	Classificação	Denomin.	Composição Química percentual média				Tração Kgf	Dureza H _b	Indicações de emprego			
			Cu	Sn	Zn	Pb				P	Sb	mm ²
B 10	GBZ 10	Bronze ao estanho	68	10	1	0,05	27	60	buchas com solicitações médias			
B 14	GBZ 14	Bronze ao estanho	84	14	1	0,05	19	85	buchas muito solicitadas			
B 20	GBZ 20	Bronze ao estanho	78	20	1	0,05	16	150	Buchas muito solicitadas, sujeitas a forte atrito			
SPB 4	Pb Sn Bz 5	Bronze com chumbo	85	10	1	5	0,05	18	60	Bucha de uso geral, alta temperatura,		
BPB 12	PB Sn Bz 15	Bronze com chumbo	80	7	1	10	1	16	70	Para mancais medianamente solicitados, temp. moderada		
MBO	2184	Metal branco s/ estanho	1	-	-	78	-	19	8→10	20	Carga leve	
M B 10	2184	WM 10 chumbo	1	10	75	15	27	Carga média				
M B 80	2184	WM 80 estanho	6	80	2	12	30	Carga elevada, temp. normal				
M B 80F	2184	WM 80f estanho	9	80	11	33	Carga elevada temp. alta					
G 22	668	Ferro fundido comum						22				

AC - Indicará aço ao carbono de SAE 1040 a 1070

Acct - Indicará aço de cementação temperado, ou aço-liga temperado.

Coefficientes de Atrito Usuais

	Materiais de Contato	Considerações Suplementares	Coefficientes de Atrito	
			Cinético	Estático
Ferro				
Fundido:	com Aço	Seco	0,200	-
	com Borracha	Seco	-	0,50
	com Bronze	Seco	0,213	-
			0,237	-
	com Couro	Seco	0,221	-
			-	0,20 a 0,30
	com Couro	Correia-depende tensão repouso	-	0,3 a 0,6
	com Couro	Correia nova	-	0,15
	com Couro	Correia usada	-	0,28
	com Estanho	Seco	0,176	-
	com Ferro laminado	Seco	0,194	-
	com Ferro fundido	Seco	0,152	-
			-	0,1 a 0,15
	com Latão	Seco	0,188	-
	com Madeira	Seco	-	0,3 a 0,25
			-	0,10 a 0,25
Latão:	com Ferro fundido	Seco	0,188	-
			-	0,136
	com Latão	Seco	0,173	-
Borracha:	Com Aço	Seco	-	0,50
	Com Asfalto	Seco com pneumático	-	0,5 a 0,75
	Com Asfalto	Molhado com pneumático	-	0,25 a 0,40
	Com Concreto	Concreto rugoso e seco com pneumático	-	0,9 a 1,0
	Com Concreto	Concreto comum e seco com pneumático	-	0,70
	Com Ferro fundido	Seco	-	0,50
	Com Macadame	Sem cobertura de pó e seco com pneumático	-	0,60
	Com Madeira	Molhado com pneumático	-	0,20
Bronze:	Com Aço	Seco	0,152	-
	Com Bronze	Seco	0,199	-
	Com Ferro laminado	Seco	0,167	-
	Com Ferro fundido	Seco	0,213	-

Continua ...

Coefficientes de Atrito Usuais - Continuação

	Materiais de Contato	Considerações Suplementares	Coefficientes de Atrito		
			Cinético	Estático	
Corda de Cânhamo com:					
	Roldana de Aço	-	0,25	-	
	Roldana de madeira	-	0,40	-	
	Madeira polida	-	0,33	-	
	Madeira rugosa	-	0,50	-	
Couro:	Com Aço	Correia-depende repouso	tensão	-	0,3 a 0,6
	Com Aço	Correia usada		-	0,28
	Com Ferro Fundido	Correia-depende repouso	tensão	-	0,3 a 0,6
				-	0,15
	Com Ferro Fundido	Correia usada		-	0,28
	Com Ferro Fundido	Molhado		0,221	-
	Com Ferro Fundido	Seco		0,237	-
	Com Ferro Fundido	Embregens		-	0,20 a 0,30
	Com Metais	Úmido		-	0,38
	Com Madeira	Seco		-	0,45
Ferodo:	Seco			0,3 a 0,6	-

Com o advento da Engenharia de Materiais, muitos novos produtos têm sido desenvolvidos para mancais de deslizamento, tais como os metais patente para revestimento:

- ASTM B23 Lg 13 (SAE13)
- ASTM B23 Lg2
- ASTM Pb Sn 10 (SAE14)
- HOYTT 11 R
- Lg Pb Sn 10 (SAE14)
- Lg Sn 80
- SAE 49
- SAE 792
- WJ2 JIS H5101

ROLAMENTOS MANCAIS DE ROLAMENTO

6.1. SELEÇÃO OU ESCOLHA DO ROLAMENTO

Considerar:

1. Carga e Direção de Carga
 - Radial
 - Axial
 - Combinada
2. Rotação de Serviço ou Regime
3. Temperatura de Serviço ou Regime
4. Atrito
 - Entre elementos rodantes
 - Com elementos vedantes
5. Rigidez do Apoio
 - Problemas de vibrações
6. Nível de ruído
7. Precisão de acabamento
 - Problemas de montagem
8. Possibilidades de falhas no alinhamento
9. Necessidade de folga radial
10. Facilidade de montagem.

Carga e Direção de Carga

• Carga Radial pequena e média: emprega-se rolamento de esferas.
Cargas Radiais elevadas: empregam-se os rolamentos de rolos.

Nota: Rolamento de Agulhas: em que o espaço radial é limitado.

- **Carga Axial: Rolamentos Axiais**

Existem também os rolamentos de contato angular para cargas axiais. Os rolamentos fixos de uma carreira de esfera podem suportar cargas axiais pequenas.

- **Carga Combinada**

É a ação simultânea de carga radial e axial. Somente rolamentos axiais, radiais e de agulhas não suportam cargas combinadas.

Rotação de Regime

A quantidade de rotações é empregada no cálculo de vida útil até a fadiga.

Somente para altíssimas rotações, certos rolamentos devem ser preteridos.

Temperatura de Regime

Os rolamentos usuais suportam temperaturas no cálculo de regime até $\cong 120^{\circ}\text{C}$.

Para temperaturas maiores, entra um coeficiente de temperatura no cálculo e escolha do rolamento.

Atrito

O atrito entre elementos rolantes com os elementos vedantes ocasiona aumento de temperatura, que poderá atingir valores perigosos se não houver lubrificação adequada.

Rigidez do Apoio

Em máquinas operatrizes, a rigidez de apoio é fator fundamental no projeto de eixos árvores, porque não podem existir vibrações.

Nível de Ruído

É o fator menos importante, mas para ambientes tranquilos ele deve ser considerado.

Precisão de Acabamento

O acabamento dos rolamentos é normalizado, mas existem casos de necessidade de melhor acabamento ou precisão aumentada.

Falhas no Alinhamento

Os rolamentos auto compensadores podem contornar o problema.

Auto compensadores de esfera - até 4º
Auto compensadores de rolos - até 4º
Axial de rolos (autocomp.) - até 3º
De rolos - até 0,5º

Necessidade de Folga Radial

Tipos de folga: C₁ menores que a folga normal
C₂
Normal
C₃ maiores que a folga normal
C₄
C₅

Facilidade de Montagem: Vide catálogos dos fabricantes.

6.2. DETERMINAÇÃO DAS DIMENSÕES ADEQUADAS DE UM ROLAMENTO

Rolamentos que Suportam Cargas Dinâmicas

Capacidade de carga dinâmica (C):

Para determinada carga dinâmica C, 90% dos rolamentos idênticos de um lote devem suportar 10⁶ rotações sem apresentar sinais de fadiga.

Esse valor é tabelado para cada rolamento.

$$C = \frac{f_l}{f_n} \cdot P$$

- f_n = fator do número de rotações (tabelado)
- f_l = fator de serviço (tabelado)
- P = carga dinâmica equivalente

Carga Dinâmica Equivalente

É uma carga calculada quando aparecem cargas combinadas sobre o rolamento.

$$P = X \text{ FR} + Y \text{ FA} \quad X \text{ e } Y = \text{tabelados em catálogos}$$

- FR = carga radial
- FA = carga axial

Tempo de Funcionamento (L):

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^j \text{ (milhões de rotações)}$$

- j = 3 para esferas
- j = 10/3 para rolos

$$Lh = \frac{L \times 10^6}{n \times 60} \text{ (horas)}$$

6.3. EXERCÍCIOS FUNDAMENTAIS

Lembrete:

$$1 \text{ kp} = \text{kgf} = 9,81 \text{ N}$$

$$\text{portanto } [\text{kN}] \times \frac{1000}{9,81} = [\text{kgf}]$$

Rolamento - 6308

- n = 800 rpm
 - $F_R = 280 \text{ kg}$
 - Qual a vida útil em horas de funcionamento (Lh)?
- Do catálogo:

$$\text{Rolamento 6308} \Rightarrow C = 42,5 \text{ kN} = 4332 \text{ kgf}$$

$$\bullet P = X F_R + Y F_A \Rightarrow P = 1,0 \times 280 = 280 \text{ kg}$$
$$F_a = 0$$

$$\bullet \frac{C}{P} f_n = \frac{4332}{280} \times 0,347, f_n = 0,347 \text{ para } 800 \text{ rpm}$$

$$\bullet \frac{C}{P} f_n = 5,37 \Rightarrow Lh = 75.000h, \text{ do catálogo}$$

Rolamento = 6308

- $n = 800 \text{ rpm}$
 - $F_R = 280 \text{ kg}$
 - $F_A = 170 \text{ kg}$
 - $L_h = ?$
- Catálogo C = 42,5 kN (4332 kgf)
 - $C_o = 21,6 \text{ kN (2201 kgf)}$

$$\bullet \frac{F_A}{C_o} = \frac{170}{2201} = 0,071 \Rightarrow e = 0,27$$

$$\bullet \frac{F_A}{F_R} = \frac{170}{280} = 0,6 \Rightarrow \frac{F_a}{F_R} > e(0,27) \Rightarrow X = 0,56$$

$$\therefore P = 0,56(280) + 1,6(170) = 430\text{kg}$$

$$\bullet L = \left(\frac{C}{P}\right)^j = \left(\frac{4332}{430}\right)^3 = 1022$$

$$\therefore L_h = \frac{102 \times 10^6}{800 \times 60} = 21.251 \text{ horas}$$

ou

$$\frac{C}{P} fn = \frac{4332}{430} \times 0,347 = 3,5 \Rightarrow L_h = 20.000 \text{ horas , do catálogo}$$

- Escolher um rolamento fixo de esfera
- $F_R = 525 \text{ kg}$
- $n = 1000 \text{ rpm}$
- $L_h = 20.000 \text{ horas}$

$$- 20.000 \text{ h} \Rightarrow \frac{C}{P} fn = 3,42$$

$$- 1000 \text{ rpm} \Rightarrow fn = 0,322$$

$$\therefore \frac{C}{P} \times 0,322 = 3,42 \Rightarrow \frac{C}{P} = 10,6$$

$$- P = F_R = 525\text{Kg} \Rightarrow C 10,6 \times 525$$

$$C = 5516 \text{ kg} = 55\text{kN}$$

(Esse valor de C permite vários tipos que serão escolhidos de acordo com alguma condição necessária como d, D, B etc).

Verificar se o rolamento 22304 E. TV PB terá a vida útil requerida.

- $F_R = 5000 \text{ kg}$
- $F_A = 1000 \text{ kg}$
- $n = 400 \text{ rpm}$
- $L_h = 40.000 \text{ h}$

$$P = F_r + y F_a \text{ se } \frac{F_a}{F_r} \leq e$$

$$P = 0,67 F_r + y F_a \text{ se } \frac{F_a}{F_r} > e$$

$$\frac{F_a}{F_r} = 0,2$$

$$e = 0,3$$

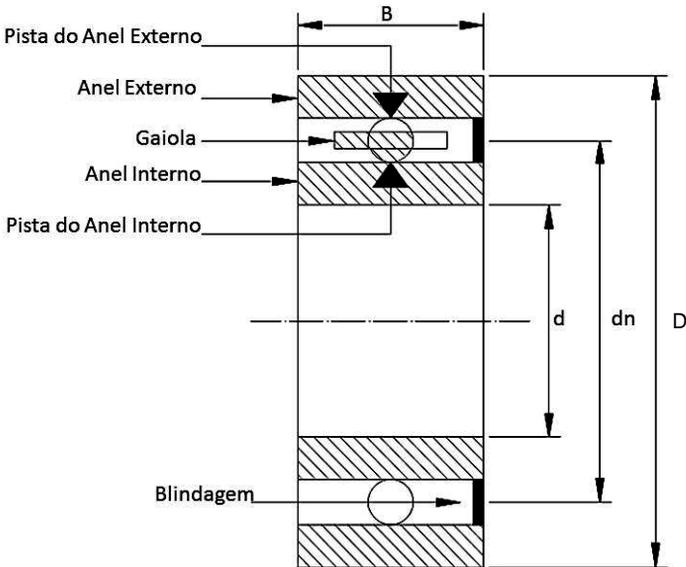
Portanto, $y = 2,3$

$$400 \text{ rpm} \Rightarrow f_n = 0,475$$

$$40.000 \text{ h} \Rightarrow \frac{C}{P} f_n = 3,72 \Rightarrow C = 560 \text{ kN}$$

Como o rolamento têm $C = 34 \text{ kN}$, então não terá a vida útil requerida.

6.4. INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES



Blindagem e Vedação:

1. Z = blindagem metálica sem contato com anel interno, ZZ, dupla blindagem.

2. RS = Vedação de borracha sintética com contato com anel interno, 2RS, dupla vedação.

Os rolamentos com dupla blindagem e dupla vedação estão lubrificados de fábrica para vida útil.

Fabricação:

1. tubos sem costura de aço liga para aneis internos e externos.
2. esferas, a partir fio de aço:
 - prensadas
 - rebarbadas
 - polidas
 - temperadas
 - classificadas

Armazenamento:

1. Na embalagem original
2. Deitados (principalmente os grandes)

- $t_a \cong 18 - 20^\circ\text{C}$
- Locais secos
- Não depositar sobre prateleira de madeira verde
- Não encostar em parede ou chão
- Não armazenar sob luz direta do sol
- Não armazenar perto de canalização de água, de aquecimento e produtos químicos.

Montagem:

1. Não remova o óleo protetor
 2. Mantenha forma original
 3. Limpeza do local, principalmente poeira, umidade e produtos químicos
 4. Rolamento blindado e vedado nunca deve ser aquecido
 5. Nunca bater diretamente no rolamento
 6. Considerar dilatação e/ou contração térmica do eixo.
- Siga as instruções do fabricante divulgadas em cartazes e catálogos.

Denominação dos Rolamentos:

Código de números e letras impressos em baixo relevo, na lateral do anel externo ou interno, cujo significado está no catálogo do fabricante.

Lubrificação:

1. evitar atritos
2. dissipação térmica
3. evitar penetração de corpos estranhos
4. evitar ferrugem

Graxa ou óleo?

Considerar:

- vedação do mancal
- velocidade permissível para o produto
- fluidez
- reposição
- filtragem

Lubrificação a graxa:

Normalmente, seguem-se instruções do fabricante (do rolamento e da graxa).

Recomenda-se:

1. se a velocidade de rotação for acima de 50% da velocidade limite
- preencher o espaço com 1/3 - 1/2 de graxa

2. se a velocidade de rotação for abaixo de 50% da velocidade limite

- preencher o espaço com 1/2 - 2/3 de graxa

3. Recomenda-se também como alternativa:

$$Q(g) = 0,005 \times D \times B$$

Lubrificação a óleo: Também seguem-se as instruções do fabricante.

Recomenda-se:

- rolamento de esfera > 13 cst de viscosidade

rolamento de rolo cilíndrico

- rolamento de rolo cônico > 20 cst de viscosidade

rolamento autocompensador de rolos

- rolamento axial autocompensador de rolos > 32 cst de viscosidade

- Período de troca: $T_a < 50^\circ \Rightarrow 1$ vez/ano

$T_a > 100^\circ\text{C} \Rightarrow 3$ vezes/ano

Desde que não existam contaminantes.

T_a = temperatura ambiente

Lubrificação a graxa ou óleo. Resumo:

Normalmente, a graxa é usada onde o óleo não pode ficar retido, uma vez que a eficiência da lubrificação a óleo é superior a graxa. Mas há outros aspectos.

Aspectos	Graxa	Óleo
Sistemas de vedação do mancal	Simples	Pode ser complexo e necessita de injeção periódica
Velocidade limite	65 - 80% do a óleo	todas velocidades
Fluidez do lubrificante	=	Ótima
Reposição de lubrificante	Pode se tornar difícil	Fácil
Filtragem de impurezas	impossível	Fácil
Vazamento de lubrificante	Raro	Frequente se não houver preventiva, havendo o perigo de contaminação externa

6.5. VEDAÇÃO (RETENTORES)

Impedir entrada de poluentes (pó, umidade, resíduos)

Impedir saída do lubrificante

1. Vedação sem contato ou de contato, depende de:

- a) óleo ou graxa
- b) velocidade periférica
- c) espaço disponível
- d) aumento de temperatura.

- Retentor de feltro $V \leq 4$ m/s, $T \leq 100^\circ\text{C}$
- Retentor de couro $V \leq 7,5$ m/s, $T \leq 80^\circ\text{C}$
- Retentor sintético $V \leq 2,0$ m/s, $T \leq 100^\circ\text{C}$

Siga as instruções do fabricante de retentores.

- V = Velocidade tangencial do munhão

Obs.: Alternativa: rolamento blindado ou vedado

Manutenção:

- Pela ficha de controle (Manutenção Preventiva)
- Por análise de vibrações (Manutenção Preditiva)

6.6. PRINCIPAIS ROLAMENTOS PARA MÁQUINAS E IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS

1. Rolamento Fixo de uma Carreira de Esfera

- o mais utilizado em maquinaria em geral
- suporta carga combinada
- preço econômico.

2. Rolamento Radial de uma Carreira de Esfera

- geralmente em pequenos aparelhos elétricos (tendência de serem substituídos pelas buchas de nylon)
- só para cargas radiais
- desmontável

3. Rolamento de Contato Angular de uma Carreira de Esfera

- radial com alta capacidade de carga axial em 1 sentido apenas. Usado aos pares.

4. Rolamento de Esfera com 4 Pistas

- Admite carga axial em ambos os sentidos além da carga radial.

5. Rolamento de Contato Angular de 2 Carreiras de Esferas

- quando se exige elevada rigidez de apoio, preferencialmente ao lado fixo

6. Rolamento Autocompensadores de Esferas

- ajusta-se ao desalinhamento do eixo em máquinas que dispensam precisão de giro

7. Rolamento de Rolo Cilíndrico

- cargas radiais elevadas

8. Rolamento de Rolo Cônico

- cargas radiais
- cargas axiais elevadas em um sentido só

9. Rolamento de Rolo Esférico

- é autocompensador
- para cargas de choque elevadas
- grandes cargas radiais e axiais moderados

10. Rolamentos Autocompensadores de Rolo

- para os serviços mais pesados
- compensam desalinhamentos a altas cargas

11. Rolamento Axiais de Esfera

- só para cargas axiais em um sentido

12. Rolamento de Agulha

- quando o espaço radial é limitado

Cargas no Rolamento

Como as máquinas agrícolas geralmente estão sob a influência de vibrações mecânicas, deve-se considerar por segurança:

$$F_R = f \cdot F_T$$

F_R = força real (Radial e Axial)

f = coeficiente que leva em conta as vibrações e choques

F_T = força teórica

Pequenas vibrações $f = 1 \sim 1,2$ (motores elétricos)

Médias vibrações $f = 1,2 \sim 1,5$ (pontes rolantes)

Grandes vibrações $f = 1,5 \sim 3,0$ (peneiras vibratórias)

6.7. FALHAS DE ROLAMENTOS

a) Causas:

- lubrificação inadequada ou insuficiente
- manuseio grosseiro
- vedadores deficientes
- ajustes incorretos

b) Estágio primário:

- desgaste

- edentações
 - arranhamento
 - deterioração da superfície
 - corrosão
 - danos por correntes elétricas
- c) Estágio secundário:
- descascamentos
 - trincas
 - deterioração completa

1. Desgaste

- devido ao ingresso de partículas estranhas
- lubrificação insatisfatória
- vibrações, quando parado

Obs.: rolamentos ligeiramente desgastados podem ser reaproveitados após cuidadosa limpeza e eliminação das causas do desgaste.

2. Edentações

- pressão de montagem aplicada no anel inadequado
- sobrecarga quando parado

Obs.: pedaços de papel, fio de estopa ou pano usados na limpeza, também causam edentações (como as partículas sólidas).

3. Arranhamento

- riscos causados por duas superfícies lubrificadas inadequadamente

Obs.: a pista externa do anel externo, ou a pista interna do anel interno podem apresentar arranhamento se o ajuste foi inadequado.

4. Deterioração da superfície

- lubrificação inadequada ou insuficiente

Obs.: inicialmente, a deterioração da superfície não é visível a olho nu. Em estágio mais avançado, aparecem crateras nas pistas.

5. Corrosão

- penetração de agente corrosivo
- presença de ferrugem

6. Correntes Elétricas

- ondulações nas pistas
- queimaduras nas pistas e elementos rolantes

Obs.: é preciso desviar a corrente, é o caso de soldagem onde o terra deve ser cuidadosamente escolhida.

Atenção:

O rolamento aquece-se excessivamente quando:

- excesso ou insuficiência de lubrificante
- penetração de impurezas
- sobrecargas
- folga interna pequena demais
- preso axialmente
- fonte externa de calor

Obs.: imediatamente após a relubrificação haverá acréscimo de temperatura por até 2 dias.

Obs.: mudança de cor do lubrificante geralmente significa impureza.

Recomenda-se:

- atender com rigor as especificações do fabricante quanto ao tipo, intervalo e forma de lubrificar
- não use estopa para limpeza do rolamento
- use aguarraz ou querosene para lavar (não use gasolina)
- recolocar o rolamento na mesma posição da qual foi retirado, para limpeza e verificação.

1. Rolamento Y

São rolamentos rígidos de uma carreira de esferas com a pista externa do anel externo abaulada.

- compensa desalinhamento inicial do eixo, durante a montagem
- estes rolamentos possuem anel interno alongado com dispositivo de trava para fixação do eixo, isto significa que o eixo não precisará de muita precisão de fabricação.

2. Bucha de Agulhas

- agulhas em gaiola + anel externo ou somente gaiola
- não confundir com rolamento de agulhas sem anel externo e interno

3. Rolamentos sem Gaiola

- grandes acelerações, e desacelerações como a árvore de manivelas

4. Folga Interna de Rolamento

- C1 - folga menor que C2
- C2 - folga menor que normal
- C3 - folga maior que normal
- C4 - folga maior que C3
- C5 - folga maior que C4
- C0 - folga normal, não impressa

Os rolamentos com folga interna radial diferente da normal são usados em casos em que as condições operacionais assim exigiam.

1. um ajuste deslizando no eixo ou temperatura mais alta no anel externo exigem folga radial menor que o normal.

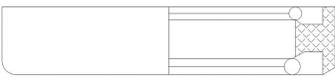
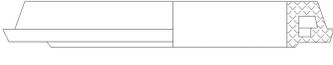
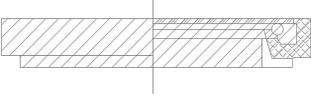
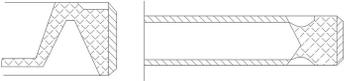
2. ajuste interferente em ambos os anéis, ou ajuste interferente no eixo e temperatura mais alta no anel interno, exigem folga maior que o normal.

Vedação com elementos intermediários nas junções móveis.
No quadro a seguir, são descritos alguns desses tipos de vedação.

JUNÇÕES MÓVEIS PARA VEDAÇÕES DINÂMICAS			
Vedações por contato para superfícies cilíndricas			
	Guarnições para câmaras de estopa	De material maleável de metal e material maleável em metal mole em massa (comprimida)	
Mediante elementos intermediários	Em contato circular	Anéis de feltro de seção trapezoidal	
		Anéis de elastômero de seção circular	
		Anéis de metal de seção circular vazada	
Com contato com o plano frontal	Anéis de vedação mecânica	Anéis de vedação frontal	
	Anéis com bordo para vedação frontal		
Sem contato	Com interstício liso com parede plana e com colarinho e labirinto	Com interstício liso com parede plana e com colarinho e labirinto	
	Segmentos lamelares	Segmentos lamelares	
Mediante elementos intermediários	Para movimentos alternados	Anéis sem atrito	
		Anéis com lábio	
		Anéis raspadores	
		Segmentos para pistões	
ESPECIAIS			
Juntas compensadoras tipo Wagner (em fole)	Juntas compensadoras em prensa estopa		

continua...

continuação.

ANÉIS DE VEDAÇÃO MECÂNICA			
Tipos	Ilustração	Materiais	Empregos
ANGUS SM- SMIM		Elastômero Armadura de aço Mola de aço	Vedação de fluidos em elementos cilíndricos rolantes
BA-SL		Elastômero Armadura de aço Mola de aço	
BA DUO		Elastômero Armadura de aço Mola de aço	Para vedação de derivados dos hidrocarbonetos, graxas, animais e vegetais ácidos e álcalis e de um número considerável de compostos alifáticos
BA-J		Elastômero Armadura de aço Mola de aço	
D com arruela de suporte		Elastômero Armadura de aço Mola de aço	Para vedação dos derivados de hidrocarbonetos, graxas animais e vegetais. Ácidos e álcalis e de um considerável número de compostos alifáticos. Porém com alta velocidade de rotação (18 m/s) e altas temperaturas (em condições especiais também a 150°C)
ANGUS SPLIT		Elastômero Armadura de aço	Vedação de fluidos em elementos cilíndricos giratórios e de notáveis dimensões
G SD		Elastômero nitrílico Armadura de aço poliamida	Para vedação com gaiolas, bocas e coxinetes e roletes, onde são exigidas dimensões axiais reduzidas

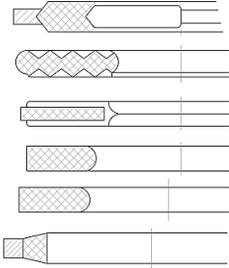
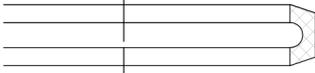
continua...

continuação.

DE FORMA PLANA			
Tipos	Ilustração	Materiais	Empregos
Chatas		Borracha, papelão prensado, borracha-tela Ligas Fe-C inox, ligas não ferrosas	Vedação de água, ou vedação embaixo de cabeças de tampas a parafuso para carga/descarga de óleo
Toroidais		Borracha sintética	Boa resistência aos óleos minerais, bom comportamento em temperaturas externas
Perfiladas		Ligas Fe-C inox	Para vedação em altas pressões, nos casos de canalização de gás, vapor saturado ou superaquecido, ar e gases secos
Toroidais ocas		Ligas Fe-C inox INCONEL revestidas	Aplicações químicas, térmicas e criotécnicas, aplicações nucleares e aeroespaciais

continua...

continuação.

DE FORMA PLANA			
Tipos	Ilustração	Materiais	Empregos
		Matéria plástica revestidas de chapas metálicas ou de teflon	Onde se requerem frequentes desmontagens e montagens em particular para vedações de soluções articuladas
		Metal e elastômero	Vedação de fluidos e gases nas aplicações aeronáuticas e navais
Revestidas		Elastômero e teflon lubriton	Construções mecânicas, máquinas de produção de óleos comestíveis, sucos de frutas, cremes, xaropes. Válvulas para indústrias químicas, máquinas pulverizadoras de inseticidas
DE FORMA DIVERSA			
		Borracha natural ou sintética	Vedação de águas brancas e negras, especialmente em emprego na agricultura para irrigação com líquidos orgânicos (guarnições para juntas VICTAULIC frequentemente e em tubulações enterradas)
		Borracha telada	

continua...

JUNÇÕES MÓVEIS PARA VEDAÇÕES DINÂMICAS

Vedações por contato para superfícies cilíndricas

Guarnições para câmaras de estopa	De material maleável de metal e material maleável em metal mole em massa (comprimida)	
Em contato circular	<p>Anéis de feltro de seção trapezoidal</p> <p>Anéis de elastômero de seção circular</p> <p>Anéis de elastômero de seção em H</p> <p>Anéis de metal de seção circular vazada</p> <p>Anéis de vedação mecânica</p>	
Com contato com o plano frontal	Anéis de vedação frontal	
Sem contato	Com interstício liso com parede plana e com colarinho e labirinto	

Foto: J. Peters & M.

ENGRENAGENS (Cinematismo)

7.1. INTRODUÇÃO AO ANTEPROJETO DE ENGRENAGENS (Cinematismo)

Procura-se desenvolver engrenagens:

- mais econômicas
- mais silenciosas
- maior capacidade de carga
- maior vida útil

Baseia-se em:

- exigências do projeto (HP, rpm)
- ferramental disponível
- quantidades solicitadas
- custo do material

Aplicações:

1. Engrenagens para brinquedo:
 - grenagens de baixo custo sem precisão
 - ligas de Zn, Al, latão, etc.
2. Engrenagens para equipamento doméstico:
 - ligas leves, sinterização, nylon.
3. Engrenagens para máquinas operatrizes:
 - precisão e capacidade de carga
 - aço-liga.
4. Engrenagens para máquinas e implementos agrícolas:
 - aço-carbono.
5. Complementação:

Materiais: As engrenagens mais resistentes são feitas de aço 9317, 4320 e 8620; são geralmente forjadas e chegam a adquirir, depois de tratamentos térmicos, durezas RC 56-63.

Outros tipos de aços, usáveis em engrenagens que não exigem igual dureza, são 4130, 4140, 4340, 8640, 8650 etc. Quando as solicitações são ainda mais baixas, usam-se aços-carbono, 1010 a 1040, ideais para máquinas e implementos agrícolas.

Em condições de lubrificação deficiente e em grandes engrenagens, usa-se ferro fundido. É fácil fundi-lo, sendo preferíveis processos que assegurem estruturas cristalinas favoráveis, como o ferro nodular.

Os bronzes são aconselháveis para aplicações marinhas e onde haja condições severas de atrito com poeiras e terra, especialmente em coroas das roscas-sem-fim.

Entre os materiais não metálicos, o mais usado é o laminado fenólico, composto de camadas de tecido especial, impregnadas com resina e prensadas. A única usinagem necessária é o corte dos dentes. Essas engrenagens são leves e resistentes ao desgaste, mesmo com lubrificação deficiente; sua elasticidade torna-as menos sensíveis às eventuais irregularidades de seus pares - geralmente de ferro fundido.

Um material de emprego mais recente é o nailon, que pode ser usinado ou prensado já na sua forma final. Apresenta boa resistência (8 kgf/mm^2) e pode trabalhar sem lubrificação, o que recomenda seu uso em aplicações onde a presença de óleo ou graxa é prejudicial como, por exemplo, em equipamentos para indústrias farmacêuticas e alimentícias e implementos agrícolas leves.

No tocante a materiais para a fabricação de engrenagens, o Brasil já é autossuficiente e a qualidade de sua produção equipara-se à estrangeira.

6. Controle Dimensional:

A inspeção de engrenagens quanto às suas dimensões, deformações e excentricidades pode ser feita por métodos analíticos ou funcionais.

No primeiro caso, elas são examinadas isoladamente, por meio de micrômetros, paquímetros, comparadores e projetores óticos; são métodos morosos e a precisão dos resultados obtidos depende, em parte, da habilidade e cuidado do examinador; seu emprego restringe-se a engrenagens avulsas ou em pequenos lotes.

Na produção seriada são preferidos os métodos funcionais, executados em aparelhos especiais, com as engrenagens em movimento e conjugadas com outras que servem de padrão. As excentricidades, diferenças no espaçamento dos dentes ou na sua espessura e outras anormalidades são geralmente registradas em gráficos, com amplificação de até 1500 vezes. Isso é feito rapidamente, o que permite o controle de todas as engrenagens produzidas, mesmo em grandes volumes.

Após a avaliação cinemática, a engrenagem deverá passar pela avaliação dinâmica, na qual se supõe o dente como uma viga engastada, conforme será visto oportunamente.

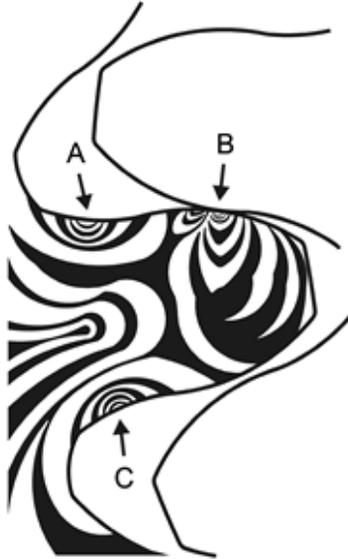
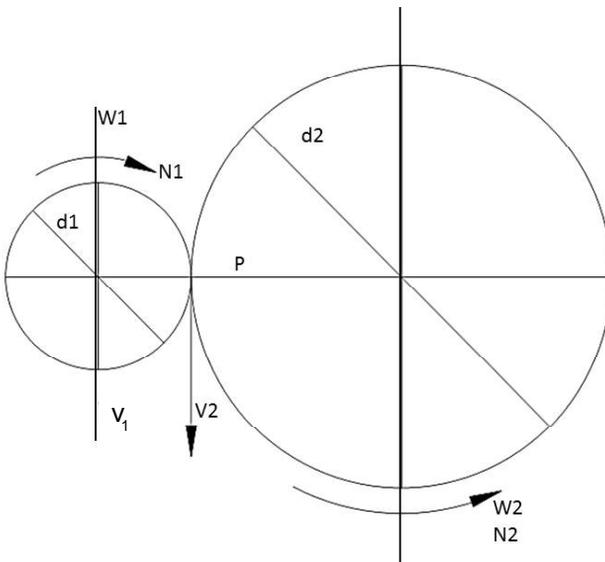


FIGURA 6.1: Modelo foto-elástico mostrando zonas de tração (A) e de compressão (B e C)

Desenvolvimento da dentição das engrenagens: considerando-se dois discos rígidos que rodam e se tangenciam, sem deslizar entre si.



No ponto de tangência P:

$$V_1 = V_2 \text{ (velocidade tangencial)}$$

$$W_1 \frac{d_1}{2} = W_2 \frac{d_2}{2} \text{ porque } v = w \cdot r$$

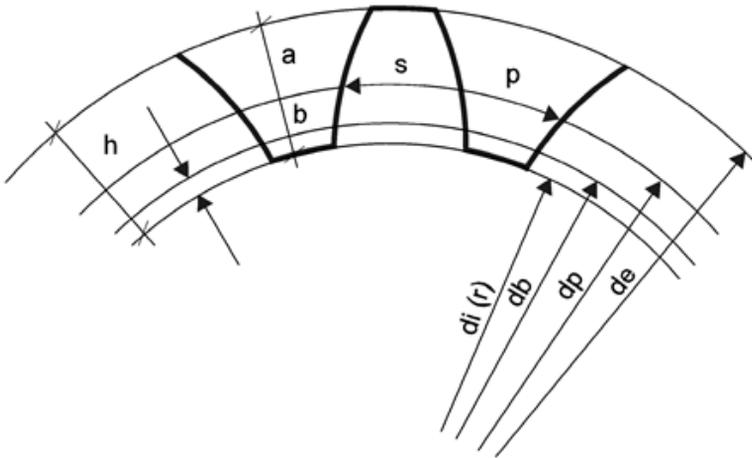
$$\frac{\pi d_1 n_1}{60} = \frac{\pi d_2 n_2}{60} \text{ (transformando } W[s^{-1}] \text{ em } n[\text{rpm}] \text{)}$$

$$d_1 n_1 = d_2 n_2$$

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{n_2}{n_1} \text{ (razão entre velocidade)}$$

Acontece que esta ausência de deslizamento entre as rodas é praticamente impossível.

Dotando-se estes discos com dentes especiais, o deslizamento fica eliminado.



$$p = \frac{\pi d}{Z}$$

p = passo

Z = quantidade de dentes do disco

d = diâmetro primitivo (em torno dele, surgiram os dentes)

Como π é número irracional, dificultando os cálculos, estabeleceu-se a Função Módulo, t. q, $m = p / \pi$ (módulo).

Os módulos foram padronizados nos seguintes valores em [mm]: 0,3 - 0,4 - ... - 0,9 - 1,0 - 1,25 - ... - 3,75 - 4,00 - 4,5 - ... - 6,5 - 7,0 - 8,0 - ... - 15 - 16 - 18 - ... - 24 - 27 - 30 - ... - 42 - 45 - 50 - ... - 75.

Atenção: Os países que adotam medidas métricas, como o Brasil, usam o sistema *módulo* para fabricação de engrenagens.

A Inglaterra e parte da indústria americana adotam o sistema Pitch. A grande quantidade de máquinas e veículos importados desses países e a forte influência americana no parque industrial brasileiro, obrigam os fabricantes nacionais a produzirem muitas engrenagens segundo os padrões de passo diametral, que significa o número de divisões de dentes obtidos por polegada de diâmetro da circunferência primitiva, PD ou DP.

Isso, naturalmente, causa transtornos no tocante à padronização de fresas e ferramentas de corte de engrenagens.

Os módulos (m) mais usados em máquinas agrícolas são 0,50; 0,75; 1,0; 1,25; 1,50; 1,75; 2,0; 2,25; 2,50; 2,75; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 7; 8; 10; 12; 16, 20. No sistema Pitch os Diametral Pitch mais usados são 1, 1-1/4, 1-1/2, 1-3/4, 2, 2-1/1, 3, 3, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 24, 32, 48, 64, 96 e 128.

As relações entre esses sistemas são expressas pelas fórmulas:

$$\text{Sistema métrico: } p = \frac{\pi dp \text{ [mm]}}{Z} \text{ (passo em milímetros)}$$

$$\text{Sistema inglês: } CP = \frac{\pi dp \text{ [inch]}}{Z}, \text{ (Circular Pitch, é o passo em polegadas)}$$

Como 1 polegada = 25,4 mm

$$\text{e } DP = \frac{\pi}{CP} \text{ (Diametral Pitch) então:}$$

$$1) CP \times 25,4 = m$$

$$2) m = \frac{25,4 \cdot \pi}{DP}$$

Condições para engrenamento - Para que duas engrenagens possam formar um par é necessário que seus dentes tenham o mesmo módulo e idêntico ângulo de pressão, (e mesmo DP no sistema inglês).

O dente - Responsável pela transferência de forças de um eixo a outro, devendo ainda transmitir uniformemente o movimento, é o elemento mais importante da engrenagem. Seu projeto requer conhecimentos teóricos e práticos,

além de comprovações experimentais. A distribuição exata de tensões internas é de difícil previsão por cálculos; métodos foto-elásticos têm se revelado mais eficientes.

As engrenagens cilíndricas podem tê-los retos - paralelos ao eixo - ou inclinados, também chamados helicoidais. Os primeiros são de mais fácil usinagem, mas os inclinados apresentam vantagens: maior área de encosto e maior média de dentes em contato durante o funcionamento; em consequência: maior capacidade de carga e trabalho mais silencioso.

Os dentes helicoidais dão origem a esforços axiais que devem ser suportados por mancais apropriados. Isto pode ser evitado pelo uso de engrenagens com dentes inclinados em duas direções opostas - disposição conhecida por *espinha de peixe*.

As engrenagens cônicas podem ter dentes retos, inclinados ou em espiral - impropriamente chamados helicoidais; os primeiros são de execução mais fácil e os últimos mais fortes e silenciosos, enquanto os inclinados têm qualidades intermediárias.

Os dentes das engrenagens podem ser traçados em dois perfis:

- **Perfil Cicloidal:** Emprego restrito pela dificuldade de traçado.
- **Perfil Envolve:** O mais utilizado pela facilidade de traçado

Teoricamente, as engrenagens desenvolvem-se a partir de cremalheiras básicas, com dentes de flancos retos, cujo formato gera um perfil envolvente nos dentes da engrenagem. Este perfil assegura uma transmissão de movimento perfeitamente uniforme.

Todas as engrenagens derivadas de uma mesma cremalheira podem engrenar entre si, independentemente de seu tamanho, pois têm o mesmo módulo.

As normas técnicas de diferentes países escolheram séries de cremalheiras-padrão, cujos dentes têm o mesmo formato, mas podem diferir pelo tamanho.

Quando a engrenagem for cilíndrica com dentes inclinados, para se determinar o número da fresa é necessário utilizar o artifício $Zid = Z/\cos^3 \beta$ sendo β o ângulo de inclinação do dente da engrenagem.

Com Zid e mn encontra-se o número da fresa.

Relação de Contato R_c :

$$R_c = \frac{\sqrt{re_1^2 - rb_1^2} + \sqrt{re_2^2 - rb_2^2} - (rp_1 + rp_2) \operatorname{sen}\theta}{\pi \cdot m \cdot \cos\theta}$$

Número de fresas									
Série de 8 fresas ($m \leq 9$)									
Número de fresa	Série Módulo	1	2	3	4	5	6	7	8
Número de fresa	Série Pitch	8	7	6	5	4	3	2	1
Dentes de engranagem		12÷13	14÷16	17÷20	21÷25	26÷34	35÷54	55÷134	135÷ α
Série de 15 fresas ($m \geq 9$)									
Número de fresa		1	1 1/2	2	2 1/2	3	3/1/2	4	4 1/2
Dentes de engranagem		12	13	14	15÷16	17÷18	19÷20	21÷22	23÷25
Número de fresa		5	5 1/2	6	6 1/2	7	7 1/2	8	
Dentes de engranagem		26÷29	30÷34	35÷41	42÷54	55÷79	80÷134	135÷ α	

Rc fornece quantos dentes estão em contato em qualquer instante do engrenamento.

$$Rc \geq 1, \text{ sendo ideal } 1,2 \leq Rc < 2,0$$

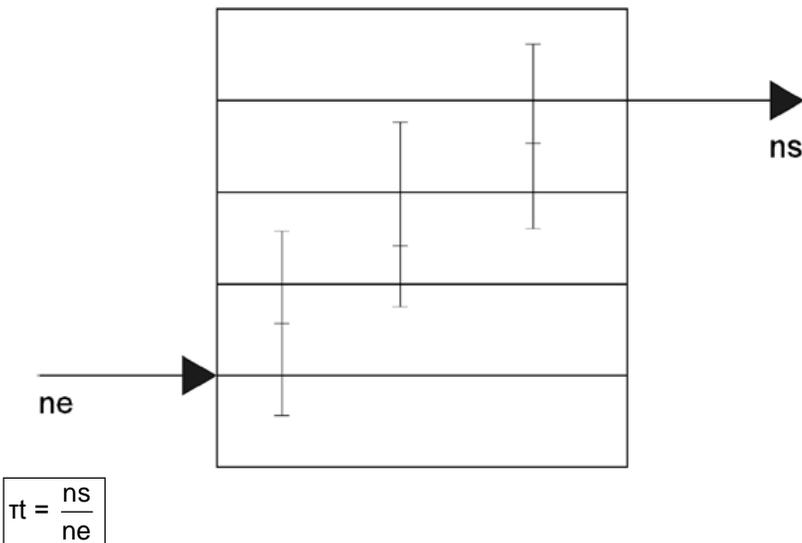
Ângulo de Pressão (θ):

A inclinação lateral do dente de flanco reto - denominada ângulo de pressão - é o fator que determina as séries de cremalheiras e as variações na forma envolvente das engrenagens. Os valores comumente usados são $14,5^\circ$, 15° e 20° . Existem também, 17° ; $22,5^\circ$; 25° e 30° .

Os ângulos menores asseguram um funcionamento mais suave e silencioso; as variações na distância entre os eixos produzem menos efeitos nas folgas entre os dentes, por isso, as engrenagens com menores ângulos de pressão são empregadas, preferentemente, em máquinas para fabricação de papel, laminadores e outras onde a distância entre os eixos é variável.

Os ângulos maiores tornam os dentes mais resistentes, permitindo a fabricação de engrenagem com menor número, sem que a espessura na sua base se torne mais fina. Em máquinas e implementos agrícolas, geralmente usa-se $\theta = 20^\circ$

Informações Gerais sobre Engrenamento:



Teoricamente pode-se fazer qualquer combinação, mas temos as seguintes limitações:

1. Interferência: usar Z_{\min} .

A interferência é o funcionamento irregular do par de engrenagens, onde a cabeça do dente do pinhão, toca o fundo do entre-dentes da coroa, causando ruído e cavitação.

pinhão deverá ter Z_{\min} ou mais dentes para evitar interferência.

Dentes Retos: $Z_{\min} = \frac{5}{6} \cdot \frac{2}{\sin^2 \theta}$, pinhão deverá ter Z_{\min} ou mais dentes para evitar interferência.

2. Devem-se adotar as maiores reduções na entrada e as menores, conseqüentemente, na saída.

Isso porque nos redutores de engrenagens, as solicitações nos dentes do último par serão maiores do que as solicitações nos dentes dos primeiros pares, devido à diminuição da rotação. Isto se consegue fazendo:

$$\tau_i + 1 = \tau_i^{2/3}$$

onde $\tau_i + 1$ é a relação de transmissão posterior e τ_i é a anterior.

$$3. m_i + 1 = m_i \cdot \frac{\tau_i + 1}{\tau_i}$$

onde: $m_i + 1$ é o módulo do par posterior e m_i o par do anterior.

4. Limites de reduções:

1par	2 pares	3 pares	
1:1	1:6 1:6,5	1:22 1:25	1:60

5. Existe uma variação permissível em τ_t .

Geralmente, mais ou menos 0,5%, excepcionalmente 3% para algumas máquinas sem precisão de giro.

Exemplo: Estudar as reduções de um redutor com $n_e = 1150$ rpm $n_s = 10,61$ rpm

$$\tau_t = \frac{10,61}{1150} = \frac{1}{108,39} \text{ sendo então } \frac{1}{107,89} \leq \frac{1}{\tau_t} \leq \frac{1}{108,89}$$

b) Por questões de projeto, uma das reduções que chamaremos de externa, foi adotada = 1/5.8.

$$\therefore \tau_t = \tau_{int.} \times \tau_{ext.}$$

$$\frac{1}{108,39} = \tau_{int.} \times \frac{1}{5,80} \Rightarrow \tau_{int.} = \frac{1}{18,69}$$

$\tau_{int.} = 1/18,69 \Rightarrow$ 2 pares serão necessários.

$\tau_{ext.} = 1/5,80 \Rightarrow$ 1 par será necessário

$$\tau_{int.} = \tau_1 \times \tau_2$$

$$\tau_i + 1 = \tau^{2/3} \Rightarrow \tau_2 = \tau_1^{2/3}$$

$$\therefore \frac{1}{18,69} = \tau_1 \times \tau_1^{2/3}$$

$$\tau_1 = 1/5,79$$

$$\tau_2 = 1/3,24$$

Número de dentes das engrenagens.

$$\text{Pinhões: } Z_{\min.} = \frac{5}{6} \frac{2}{\sin^2 \theta} \quad (\theta = 20^\circ)$$

$$\boxed{Z_{\min} = 16 \text{ dentes}}$$

Adotam-se os dois pinhões com 16 dentes.

$$\text{a) Primeiro par: } \tau_1 = \frac{1}{5,79} \Rightarrow Z_{C1} = 16 \times 5,7$$

$$Z_{C1} = 92,64 \text{ dentes (impossível)}$$

$$p/\tau_1 = \frac{1}{5,75} \Rightarrow \boxed{Z_{C1} = 92 \text{ dentes}}$$

$$\text{b) Segundo par: } \tau_2 = \frac{1}{3,24} \Rightarrow Z_{C2} = 16 \times 3,24$$

$$Z_{C2} = 51,84 \text{ dentes (impossível)}$$

$$p/\tau_2 = \frac{1}{3,25} \Rightarrow \boxed{Z_{C2} = 52 \text{ dentes}}$$

c) Com as modificações de τ_1 e $\tau_2 \rightarrow$

$$\tau_{\text{int.}} = \tau_1 \times \tau_2 = \frac{1}{5,75} \times \frac{1}{3,25} = \frac{1}{18,69}$$

$$\text{d) } \tau_{\text{ext.}} = \frac{1}{5,8} \Rightarrow Z_{C3} = 16 \times 5,8 = 92 \text{ (impossível)}$$

$$p/ \tau_{\text{ext.}} = \frac{1}{5,8125} \Rightarrow Z_{C3} = 93 \text{ dentes}$$

Portanto: verificando

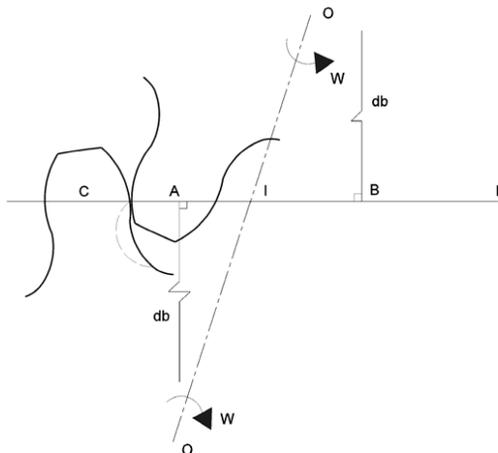
$$\tau_t = \tau_{\text{int.}} \times \tau_{\text{ext.}} = \frac{1}{18,69} \times \frac{1}{5,8125} = \frac{1}{108,60}$$

que está dentro do intervalo permissível de variação

$$107,89 \leq \frac{1}{\tau_t} \leq 108,89$$

7.2. INTERFERÊNCIA

No sentido amplo do termo, interferência é todo contato irregular entre os dentes das engrenagens do par.



"L" = linha de ação
AB = segmento de ação

O engrenamento se inicia em "B" e deve terminar em "A".

Para engrenagens relativamente pequenas, com poucos dentes, grandes módulos, as circunferências externas resultam-se grandes, de tal forma que, o engrenamento termina em C.

Portanto, haverá uma escavação por parte do pinhão na coroa, conforme mostra a figura.

Quando o dente é usinado por geração, a interferência é automaticamente eliminada pela ferramenta que também, elimina o setor de interferência.

Esse fato chama-se "undercutting".

O undercutting é um método de eliminar interferência mas se ele for muito grande, haverá um enfraquecimento da raiz do dente, e aparecerá outro problema, qual seja, o de resistência.

Existe uma quantidade mínima de dentes para evitar a interferência e dispensar o "undercutting".

1. Pinhão engrenado com coroa, dentes retos

$$Z \text{ min.} = \frac{5}{6} \cdot \frac{2}{\text{sen}^2\theta}$$

2. Pinhão engrenado com cremalheira, dentes retos

$$Z_{\text{min.}} = \frac{2}{\text{sen}^2\theta}$$

3. Engrenagens helicoidais

a) Pinhão engrenado com coroa de dentes inclinados

$$Z \text{ min.} = \frac{5}{6} \cdot \frac{2 \cdot \cos^2\beta}{\text{sen}^2\theta}$$

b) Pinhão engrenado com cremalheira de dente inclinado

$$Z \text{ min.} = \frac{2 \cdot \cos^2\beta}{\text{sen}^2\theta}$$

7.3. CORTADORES DE ENGRENAGENS

Obtêm-se engrenagens pelos seguintes processos:

- Geração
- Formação
- Moldagem

- **Geração:** Fresa caracol (Hob) par blanque x ferramenta reproduz uma engrenagem

O hob ou fresa caracol é uma ferramenta rotativa com dentes cortantes. Esses dentes cortantes usinarão o blanque, gerando a engrenagem.

Como o hob não gera o perfil do dente, mas uma família de tangentes ao perfil, às vezes torna-se necessário, uma segunda usinagem de acabamento, conhecida por “shaving” ou “rasqueteamento rotativo”.

- **Formação:** O blanque é fixo e a ferramenta (fresa) tem o formato dos vãos dos dentes da engrenagem a ser usinada.
Sistema dente por dente, vão por vão.

- **Moldagem:** Estampagem
Fundição
Metalurgia do pó

Acabamento de dentes de engrenagens

Após a usinagem, quatro métodos de acabamento de dentes são empregados usualmente, para engrenagens de precisão.

- Shaving ou rasqueteamento rotativo
- Rolamento (roll-finishing)
- Retífica
- Lapidação ou Honing

Embora, atualmente os processos de geração produzam engrenagens de excelente qualidade, às vezes, tornam-se necessários as operações de acabamento, ou seja:

- para engrenagem com grande capacidade de carga
- para engrenagem com altíssimas velocidades
- para engrenagem com vida elevada
- para engrenagem com necessário silêncio de giro
- para engrenagem com projetos importantes.

- **Shaving ou rasqueteamento rotativo:** Ferramenta de aço rápido temperado e retificado. O cortador é como uma engrenagem helicoidal que possui graus nos flancos para funcionarem como arestas cortantes.

Os dentes a serem sheivados não devem ter dureza superior a $30 R_C$.
O processo elimina 65 a 80% dos defeitos ocasionados pelo hob.

• **Rolamento (Roll-finishing):** Constitui em amassar os picos e preencher os valos por escoamento do material. Portanto, esse processo tem a ferramenta com flancos lisos (sem arestas cortantes).

A dureza do dente deve ser $< 20 R_C$ e o processo é usualmente empregado quando a engrenagem não sofrer t.t. a posterior.

• **Retífica:** a) De forma: Rebolo perfilado
b) De geração: Rebolo = hob
(afiação do shaving)

• **Lapidação:** Esse processo remove tão pouco sobre metal, que não chega nem a ser considerado.

O processo é abrasivo, sem abrasão (pasta abrasiva; óleo abrasivo).

a) Lapidação com ferramenta (Honning): Ferramenta tem forma de engrenagem e é posta a engrenar contra a peça, em meio à pasta abrasiva, ou óleo abrasivo.

b) Lapidação de acabamento: Faz-se girar o par em meio abrasivo.

Para máquinas e implementos agrícolas, as engrenagens fresadas e geradas, geralmente dispensam acabamentos (exceto tratores e automotrizes).

7.4. DIMENSÕES DA ENGREMAGEM DENTES RETOS

Consultar formulário Dentadura Normal para Engrenagens Cilíndricas de Dentes Retos.

Supondo-se ser necessário acionar com engrenagens um eixo de 610 rpm a partir de um motor com 1400 rpm e 2 HP.

$$I - \tau = \frac{n_2}{n_1} = \frac{610}{1400} = \frac{1}{2,295}$$

$$II - \text{Para } \theta = 20^\circ \Rightarrow Z_{\min} = \frac{5}{6} \frac{2}{\sin^2 20} = 15 \text{ dentes}$$

Adotaremos $Z_1 = 17$ dentes (pinhão) (n. primo)

$$III - \tau = \frac{1}{2}, 295 = \frac{Z_1}{Z_2} \Rightarrow Z_2 = 39 \text{ dentes (coroa)}$$

Portanto, a relação de transmissão real será $\tau = \frac{17}{39} = 1 / 2,294$

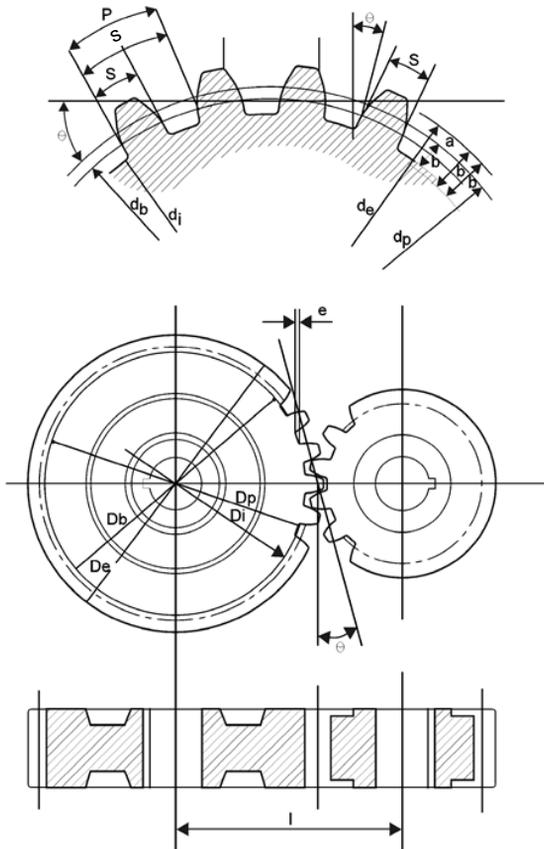
IV - Com 2HP e 1400 rpm, consultamos o gráfico.
Estimativa de Módulo e adotamos $m = 1,50$ mm.

V - Aplica-se o formulário citado.

VI - Verifica-se a resistência das engrenagens pela avaliação dinâmica.

Atenção: É muito importante que Z_2 não seja múltiplo ou submúltiplo de Z_1 , para evitar repetição sistemática do engrenamento e conseqüentemente, a fadiga.

O ideal seria Z_1 e Z_2 números primos.



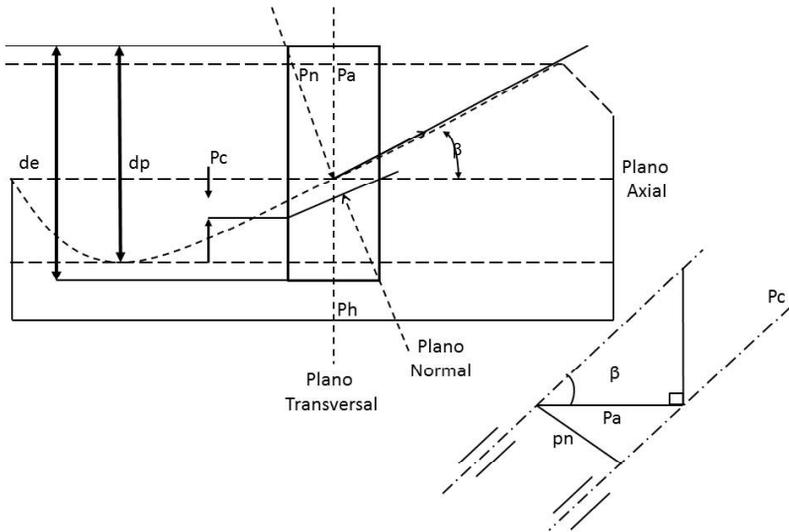
Símbolo e Significado Correspondente		Relação
Z	Número de dentes	$z = \frac{d_p}{m}$
m	módulo	$m = \frac{d_p}{Z} = \frac{p}{\pi}$
d_p	Diâmetro primitivo	$d_p = m \cdot Z$
P_c	Passo circular	$p = \frac{\pi \cdot d_p}{Z} = m \cdot \pi$
S	Espessura do dente	$s = \frac{P}{2} = \frac{m \cdot \pi}{2}$
d_e	Diâmetro externo (ou de tampo)	$d_e = d_p + 2a = d_p + 2m = m(z+2)$
d_i	Diâmetro interno (ou de raiz)	$d_i = d_p - 2b$
θ	Ângulo da pressão usual	$\theta = 14^\circ 30'; 15^\circ; 20^\circ;$ sendo 20° o mais usado
d_b	Círculo de base	$d_b = d_p \cos\theta$
a	Addendum	$a = m$
b	Deddendum	$b = h - a = \frac{7}{6}m = 1,167m$
*h	Altura do dente	$h = a + b = \frac{13}{6}m = 2,167m$ (ou $\approx 2 \times m$)
e	folga	$e = \left(\frac{1}{6}a - \frac{1}{4}\right)m = (0,167a - 0,25)m$
τ	Relação de transmissão	$\tau_t = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{d_{p1}}{d_{p2}}$
I	Distância entre eixos	$l = m \frac{Z_1 + Z_2}{2}$
	Largura do dente	$\cong 10 \cdot m$

Sistema Inglês	Português (sist.. Modular)
Z Number of teeth	Número de dentes
P Diametral Pitch "PITCH" (ou DP)	Módulo
P _c Circular Pitch (ou C _p)	Passo circ.
t Tooth thickness	Espessura do dente
a addendum	Addendum
b Dedendum	Deddendum
h Whole depth	Altura total
c Clearence	Folga no fundo do dente
h _t Working depth	Altura de trabalho
d _p Pitch diameter	Diâmetro primitivo
d _e Outside diameter	Diâmetro externo
d _r Bottom diameter	Diâmetro de raiz
θ Pressure angle	Ângulo de pressão
I Center distance	Distância entre centros

OBS: No sistema "PITCH" (Inglês), todas as dimensões em polegadas.
No sistema MODULAR, todas em mm.

7.5. ENGRENAGENS CILÍNDRICAS DE DENTES HELICOIDAIS (INCLINADOS)

- Funcionamento suave, mas difícil de usar.
- Relevante escorregamento → exigem boa lubrificação.
- Transmissão silenciosa, menos vibrações.
- O número mínimo poderá ser inferior ao das engrenagens cilíndricas de dentes retos, e a relação de transmissão poderá ser maior.



- $p_n = \text{passo normal} - p_n = m_n \pi$
- $p_c = \text{passo circunferencial ou frontal} - p_c = p_n / \cos \beta$
- $p_a = \text{passo axial} - p_a = p_n / \text{sen } \beta$
- $p_h = \text{passo da hélice} - p_h = Z \cdot p_c / \text{tg } \beta$

Cada passo corresponde a um módulo, exceto p_h .

$$m_n = \text{módulo normal (do cortador)} - m_n = \frac{d_p}{Z} \cos \beta$$

$$m_c = \text{módulo circunferencial (ou aparente)} - m_c = m_n / \cos \beta$$

$$m_a = \text{módulo axial} - m_a = m_n / \text{sen } \beta$$

Esforços:

$$F_{tg} = 2 \frac{M_t}{d_p}; F_a = F_{tg} \cdot \text{tg } \beta; F_r = \frac{F_{tg} \cdot \text{tg } \theta}{\cos \beta}$$

A força axial pode ser eliminada acoplado-se duas engrenagens com inclinação oposta ou fresando as engrenagens com dupla inclinação (espinha de peixe).

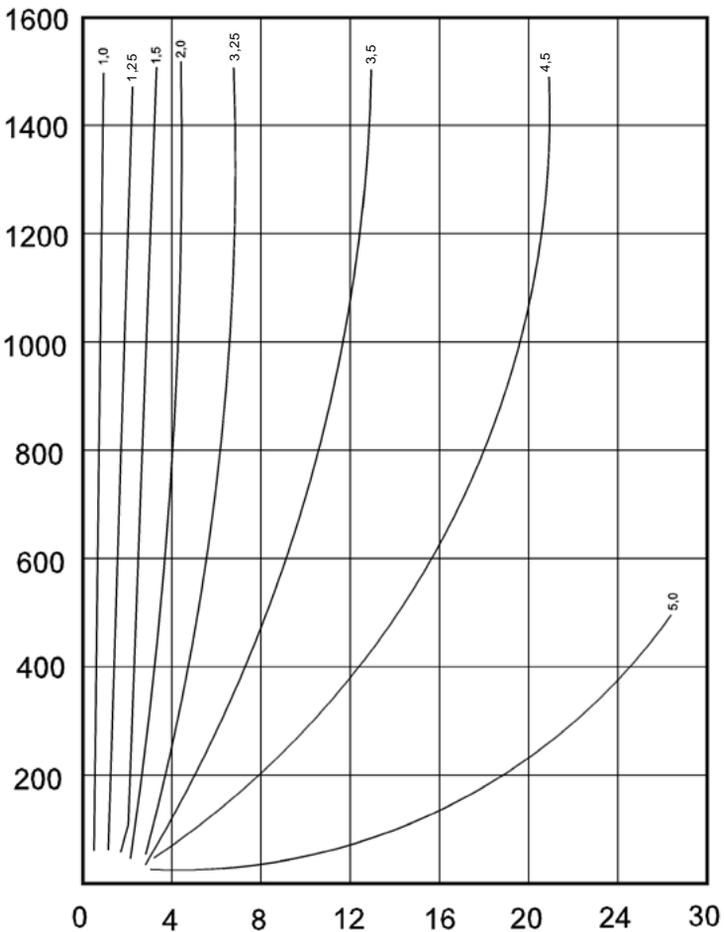
Usinagem:

Querendo cortar as engrenagens helicoidais com fresas comuns, devemos calcular o módulo normal e o número de dentes de uma roda ideal.

Roda ideal: é a engrenagem de dentes úteis, imaginária, que substituiria a engrenagem helicoidal.

$$Z_{id} = \frac{Z}{\cos^3 \beta}$$

Ou seja: para cortar uma engrenagem cilíndrica de dentes helicoidais com passo comum de 30 dentes, $\beta = 20^\circ$, $m_n = 2,5$ mm, usa-se uma fresa nº 6 para 36 dentes.



Dados Relativos a engrenagens Helicoidais Cilíndricas de Eixos Paralelos

	Símbolos e Descrições	Relações
Z	Número de dentes	$Z = \frac{d_p}{m_c}$
Z _{id}	Número de dentes ideal (para a escolha da fresa)	$Z_{id} = \frac{Z}{\cos^3 \beta}$
m _c	Módulo circunferencial (ou aparente)	$m_c = \frac{m}{\cos \beta}$
m	Módulo normal	$m = \frac{d_p}{Z} \cos \beta$
m _a	Módulo axial	$m_a = \frac{m}{\sin \beta}$
d _p	Diâmetro primitivo	$d_p = \frac{m \cdot Z}{\cos \beta}$
d _e	Diâmetro externo	$d_e = d_p + 2m = m \left(\frac{Z}{\cos \beta} + 2 \right)$
d _i	Diâmetro interno	$d_i = d_p - \frac{14}{6}m = m \left(\frac{Z}{\cos \beta} - 2,334 \right)$
d _b	Diâmetro de base	$d_b = d_p \cos \theta$
a	Addendum	$a = m$
b	Deddendum	$b = 1,167 m$
e	Folga no fundo da raiz do dente	$e = 0,167 m$
s	Espessura circular do dente	$s = \frac{\pi m_c}{2}$
P	Passo Normal do dente	$P = m \pi$
P _c	Passo circunferencial	$P_c = \frac{\pi \cdot m}{\cos \beta}$
P _h	Peso de hélice	$\rho_h = \frac{\pi d_p}{\operatorname{tg} \beta}$
L	Comprimento do dente	$l \cong (5 \sim 16) m$
P _e	Passo da hélice (serve para fresagem do dente)	$P_e = \frac{\pi d_p}{\operatorname{tg} \beta} = \frac{\pi m_c Z}{\operatorname{tg} \beta} = \frac{z P_c}{\operatorname{tg} \beta} = \frac{z m \pi}{\sin \beta} = z P_a$
P _a	Passo axial	$P_a = \frac{\pi m}{\sin \beta}$
*θ	Ângulo de pressão medido sobre a secção normal da hélice (ângulo de pressão da ferramenta geradora)	θ = normalizado
θ _c	Ângulo de pressão circunferencial medido sobre a secção normal do eixo	$\operatorname{tg} \theta_o = \frac{\operatorname{tg} \theta}{\cos \beta}$

Continua...

Dados Relativos a engrenagens Helicoidais Cilíndricas de Eixos Paralelos

Continuação

Símbolos e Descrições	Relações
* β Ângulo de inclinação da hélice	$\beta = 8^\circ \approx 30^\circ$
l Intereixo	$l = \frac{d_p 1 + d_p 2}{2}$
τ Relação de transmissão	$\tau = \frac{z_1}{z_2} = \frac{d_p 1}{d_p 2} = \frac{n_2}{n_1}$

ENGRENAGENS CÔNICAS

Para eixos concorrentes.

Em geral a 90° , mas pode ser qualquer ângulo.

Podem ter dentes retos ou helicoidais.

As engrenagens cônicas helicoidais são também chamadas em espiral.

São de difícil execução. Exemplo: diferencial de veículos.

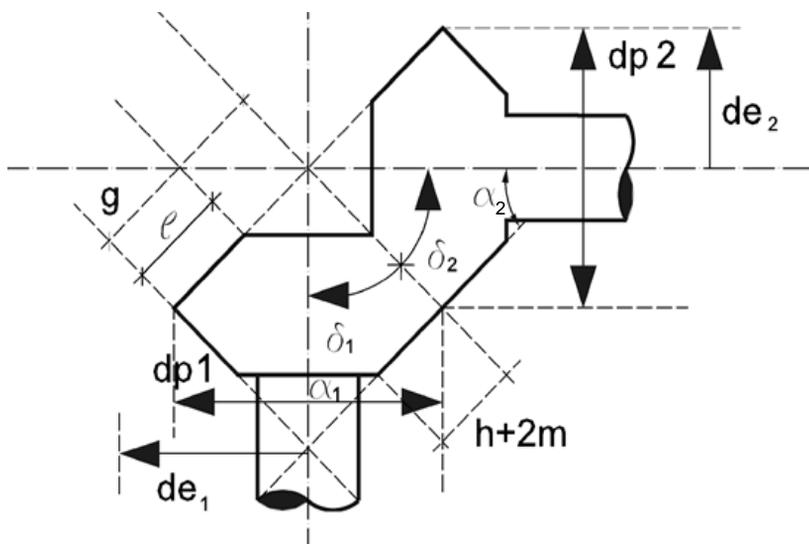
Recomenda-se para evitar ruído excessivo:

τ max 1/4 para dentes retos.

τ max 1/7 para dentes helicoidais.

Projeto: Os dados construtivos são sempre externos, ou seja, se referem à base maior dos cones primitivos (vide croqui na página seguinte).

$$\tau = \frac{n_2}{n_1} = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{dp_1}{dp_2} = \frac{\text{sen}\delta_1}{\text{sen}\delta_2} = \text{tg}\delta_1 = \text{cotg}\delta_2$$



Roda ideal: para escolher o nº da fresa $Z_{id} = \frac{Z}{\cos \delta}$

Com o módulo e Z_{id} , escolhe-se o número da fresa/ferramenta.

Dimensionamento

Módulo médio: é o que corresponde ao ponto médio da largura do dente (\bar{m}).

Módulo externo: é o que caracteriza a ferramenta que executará a engrenagem (m).

$$m \cong \frac{\bar{m}}{0,8}$$

1º Exercício:

Dimensionar cinematicamente um par de engrenagens cônicas de f^of^o frisadas, capaz de transmitir 2 HP, com $\tau = 1/3$ e $\gamma = 90^\circ$.

Dado $n_1 = 500$ rpm, $Z_1 = 21$ dentes

$$1) \tau = \operatorname{tg} \delta_1 \Rightarrow 1/3 = \operatorname{tg} \delta_1 \Rightarrow \delta_1 = \operatorname{arc} \operatorname{tg} 1/3$$

$$\delta_1 = 18^\circ 26' \Rightarrow \delta_2 = 71^\circ 34' (\delta_2 = 90^\circ)$$

$$2) Z_1 = 21 \text{ dentes} \Rightarrow Z_2 = 63 \text{ dentes} (\tau = 1/3)$$

Embora não se recomende múltiplos e submúltiplos entre dentições de engrenagens, continuaremos a desenvolver o exercício naturalmente, somente para demonstração da sequência de cálculos.

3) Ângulo da cabeça dos dentes (ψ)

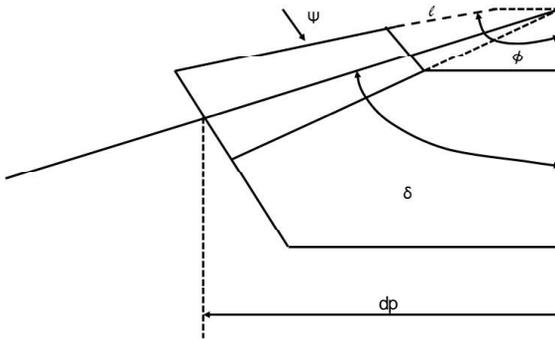
$$\operatorname{tg} \psi = \frac{2 \operatorname{sen} \delta}{Z} = 1^\circ 43' 30'' (\psi_1 \psi_2)$$

4) Semiângulos dos cones externos (\emptyset)

$$\emptyset_1 = 20^\circ 9' 30''$$

$$\emptyset = \delta + \psi$$

$$\emptyset_2 = 73^\circ 17' 30''$$



5) Dentes fictícios ou roda ideal:

$$Z_{id} = \frac{Z}{\cos \delta} \quad Z_{id1} = 22 \text{ dentes}$$

$$Z_{id2} = 199 \text{ dentes}$$

6) Módulo médio: estimado pelo diagrama HP x n,

$$\bar{m} = 2,0 \text{ mm}$$

7) Comp. Dos dentes = $l \cong y \times (\pi \times \bar{m})$

$$l \cong 2,7 \times (\pi \times 2,0) \Rightarrow l = 17 \text{ mm}$$

$$8) V = \frac{\pi \bar{d} n}{60} \quad V = \frac{\pi \cdot (\bar{m} \cdot Z_1) n_1}{60(1000)} = 1,10 \text{ m/s velocidade tangencial média}$$

ψ . Coeficiente Fresa.

Para engrenagens cônicas, o coeficiente de segurança "C" é obtido na literatura específica.

$$9) \bar{m} = \sqrt{\frac{750N}{C_y V}} = \sqrt{\frac{759 \times 2}{24 \times 2,7 \times 1,1}} = 4,58 \neq 2,0 \text{ (estimado) que foi estimado no itm 6}$$

10) Volta ao item 6 e para $\bar{m} = 3,5$ há solução.

11) Módulo externo normalizado: $m = \bar{m} / 0,8 = 3,5 / 0,8 = 4,5 \text{ mm}$ ou módulo da fresa.

12) Diâmetros primitivos: $dp = m \cdot Z$

$$dp_1 = 4,5 \times 21 = 94,5 \text{ mm} \quad de_1 = dp_1 + 2 m \cos \delta_1$$

$$dp_2 = 4,5 \times 63 = 283,5 \text{ mm} \quad de_2 = dp_2 + 2 m \cos \delta_2$$

$$13) \text{ Geratriz } g = \frac{dp}{2\text{sen}\delta} \Rightarrow g = \frac{94,5}{2 \text{ sen } 18^{\circ} 26'} = 149,43\text{mm}$$

14) Recomenda-se que $l \leq 1/3g \Rightarrow l \leq 37,5$, excepcionalmente $\leq 1/4g$
nosso $l = 30 \text{ mm}$ $d_i = dp - (1,157 \times 2m \times \cos\delta)$

15) Fresas

$$m = 4,5 \text{ mm } 22 \text{ dentes} \Rightarrow n^{\circ} 4$$

$$m = 4,5 \text{ m } 199 \text{ dentes} \Rightarrow n^{\circ} 8$$

Dados Relativos a Engrenagens Cônicas com Dentes Retos

Símbolos e Descrições		Relações
Z	Nº de dentes	$Z = \frac{dp}{m}$
m	Módulo	$m = \frac{p}{\pi}$
p	Passo circular (ou normal)	$p = \frac{dp}{z}$
d_p	Diâmetro primitivo	$d_p = 2.g. \text{sen}\delta$
d_e	Diâmetro externo	$d_e = dp + 2 \cdot m \cdot \cos\delta$
d_i	Diâmetro interno	$d_i = dp - 2,314.m.\cos\delta$
a	Addendum	$a = m$
b	Deddendum	$b = (1,157 \sim 1,167)m$
δ	Semiângulo do cone primitivo	$\text{sen}\delta = \frac{dp}{2g}$
ϕ	Semiângulo do cone externo	$\phi = \delta + \Psi$
ψ	Ângulo de addendum (ou de cabeça)	$\text{tg}\psi = \frac{2\text{sen}\delta}{z}$
γ	Ângulo entre-eixos	$\gamma = \delta_1 + \delta_2$
g	Geratriz primitiva	$g = \frac{dp}{2\text{sen}\delta}$
h	Altura do dente (extremidade externa)	$h = a + b$
l	Comprimento do dente	$l \leq \frac{g}{3}$; excepcionalmente $l \leq g/4$
α	Semiângulo do cone complementar	$\alpha = 90 - \delta$
z'	Nº de dentes ideal	$Z = \frac{Z}{\cos\delta}$
s	Espessura circular sobre d_p	$s = \frac{p}{2}$

9

ENGRENAMENTO SEM-FIM / COROA

É um caso particular de engrenamento helicoidal para eixos reversos, em que, uma das engrenagens (parafuso) apresenta número reduzido de dentes (1, 2, 3 ou 4), que se chamam entradas de rosca. A outra engrenagem (coroa) é adaptada para acoplar no parafuso.

Ideais para elevadas reduções, mas podem ser também utilizados em pequenas reduções também.

- Rendimento (R_t):

$$R_t = \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg}(\beta + \varnothing)} \cdot \left(\frac{1}{1 + \delta} \right)^2$$

β = ângulo de inclinação do filete da rosca do parafuso

\varnothing = ângulo de atrito ($\varnothing = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \mu / \cos \theta$)

δ = coeficiente de perdas nos mancais

μ = coeficiente de atrito

θ = ângulo de pressão

- Reversibilidade:

Para haver reversão (coroa acionar parafuso), $\beta \geq \varnothing$

Observações:

1) O parafuso sempre aciona a coroa, mas a coroa nem sempre pode acionar o parafuso (irreversibilidade). Esta situação é usada como dispositivo de segurança para o conjunto ser autofrenante.

2) A expressão $\operatorname{tg} \beta / \operatorname{tg}(\beta + \varnothing)$ representa o rendimento do engrenamento sem-fim/coróa.

A expressão $(1 / 1 + \delta)^2$ representa o rendimento dos mancais de apoio.

- 3) Coeficiente de Atrito (μ):

Parafuso	Coroa	μ
Aço	Aço	0,12
Aço	Bronze	0,02 ~0,05

Coefficiente de Perdas nos mancais (δ):

Mancais de Rolamento: $\delta = 0,02 \sim 0,05$

Mancais de Deslizamento: $\delta = 0,08 \sim 0,10$

Exemplo 1:

Qual o motor para acionar o conjunto sem-fim/correa, dados:

$N_2 = 20$ HP, $n_1 = 960$ rpm, $n_2 = 70$ rpm, $Z_1 =$ rosca de 3 entradas

$\beta = 18^\circ$ e $\theta = 20^\circ$

$$1) \tau = \frac{n_2}{n_1} = \frac{70}{960} = \frac{1}{13,7} \text{ relação de transmissão}$$

Número de dentes

$$Z_1 = 3 \Rightarrow Z_2 = 41 \text{ dentes (3 x 13,7)}$$

Rendimento do redutor

• Aço/bronze bem lubrificado $\mu = 0,02$

• Mancal de Rolamentos $\Rightarrow \delta = 0,05$

$$\bullet \mu' = \mu / \cos \theta = \frac{0,02}{\cos 20^\circ} = 0,021$$

$$\bullet \varnothing = \text{arc tg } \mu' \Rightarrow \varnothing 1,2^\circ$$

$$\bullet Rt \frac{\text{tg} \beta}{\text{tg}(\beta + \varnothing)} \left(\frac{1}{1 - \delta} \right)^2 = \frac{\text{tg} 18}{\text{tg}(18 + 1,2)} \left(\frac{1}{1 + 0,05} \right)^2 = 0,85$$

Potência do motor

$N_2 = N_1 \times Rt \Rightarrow 20 = N_1 \times 0,85 \Rightarrow N_1 = 24$ HP Como $\beta = 18^\circ > \varnothing = 1,2^\circ$,
então o conjunto é reversível

Formulário Mínimo para conjunto sem/fim/coroa:

		Parafuso	Coroa
Z ₂	Dentes da coroa		Dp ₂ /mc ₂
Z ₁	Dentes do parafuso	1,2,3,4 entradas	-
m _c	Módulo circunferencial	mc ₁ =mn/sem β	Mc ₂ =mn/cosβ
Pn	Passo normal	pn ₁ = π.mn	pn ₂ =π.mn
dp	Diâmetro primitivo	dp ₁ = mc ₁ Z ₁	dp ₂ =mc ₂ Z ₂
de	>> externo	de ₁ =dp ₁ +2mn	de ₂ =dp ₂ +2mn
di	>> interno	di ₁ = dp ₁ - 2b ≥ 3√ $\frac{16Mt}{\pi\tau}$	di ₂ =dp ₂ -2b
b	Altura do pé	1,16mn	
S	Espessura do dente	S ₁ = $\frac{\pi mn}{2} - \frac{Pn_1}{2}$	S ₂ = $\frac{\pi mn}{2} - \frac{Pn_2}{2}$
D	Diâmetro externo máximo da coroa	-	D ≅ dp ₂ + 3mn
l ₂	Largura da coroa	-	(6 ~ 8)m _n l ₂ < 0,75 de ₁
l ₁	Comprimento do parafuso	≅ mc ₂ (0,15Z ₂ +7)	
θ	Ângulo da pressão	14°,5 ←→ 25°	
β	Ângulo da hélice	tgβ = $\frac{Ne.pr}{\pi dp_1}$	
a	Altura da cabeça	a = mn	
Pf	Passo fundo	pfmnπ / cosβ	

O módulo da ferramenta será o módulo normal (mn) que será estimado pela expressão:

$$mn = 5,85 \cos\beta \sqrt[3]{\frac{Mt_2}{C.y.Z_2}} \text{ e } Mt_2 = \frac{Mr}{\eta_c \cdot \eta_m}$$

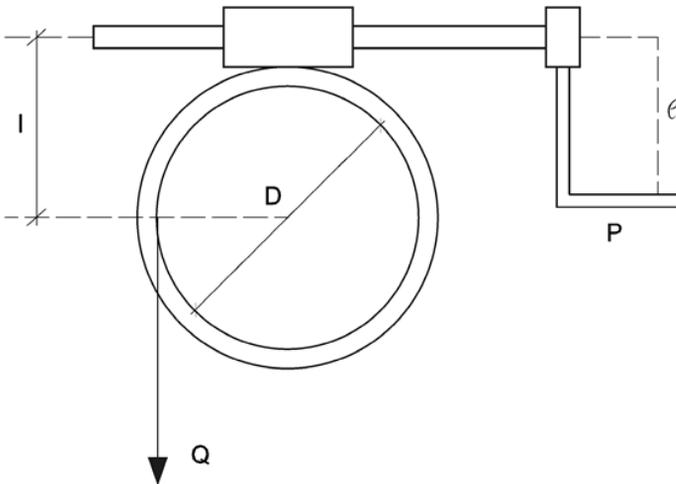
β = ângulo de hélice ou inclinação do filete da rosca do parafuso
 Mt₂ = torque no eixo da coroa

C = coeficiente de segurança

y = coeficiente de fresa

Z_2 = dentes da coroa

Exercício 2



Dados:

$$P = 15 \text{ Kgf}$$

$$\alpha = 700 \text{ Kgf}$$

$$l = 40 \text{ cm}$$

$$D = 30 \text{ cm}$$

$$C = 20$$

$$\mu = 0,18$$

$$\theta = 14,5^\circ$$

$$\delta = 0,03$$

$$y = 2$$

1) Momento motor: $M_m = P \cdot l = 600 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$

2) Momento resistente: $M_r = Q \cdot D/2 = 10.500 \text{ kgf}$

3) Para não haver reversão $\Rightarrow \beta \leq \varnothing$ (autorretenção)

4) $\theta = 14,5^\circ \Rightarrow \varnothing = \text{arc tg} (\mu/\cos \theta) = 10^\circ 32'$

Seja $\beta = 9^\circ < 10^\circ 32'$

5) Rendimentos

- mancal: $(1/1+\delta)^2 = 0,95$

- rosca: $\text{tg} \beta / \text{tg} (\beta + \varnothing) = 0,44$

- cabo de aço, rendimento estimado: = 0,88

- rendimento total = $0,95 \times 0,44 \times 0,88 = 0,37$

6) Relação de transmissão

$$M_m \cdot R_t = M_r \cdot \tau \Rightarrow 600 \cdot 0,37 = 10.500 \cdot \tau \Rightarrow \tau = 1/47$$

Se $Z_1 = 1$ (rosca de uma entrada) então $Z_2 = 47$ dentes

7) Estimativa do módulo da fresa:

$$m_n = 5,85 \cos\beta \sqrt[3]{\frac{Mt_2}{C y Z_2}} = 11\text{mm}$$

8) Aplica-se o formulário mínimo e tem-se o anteprojeto cinemático do conjunto.

Os valores do coeficiente de segurança "C" foram estimados da seguinte forma:

Serviço Intermitente:

C = 20 ~30 kgf/cm² para aço/aço

C = 30 ~40 kgf/cm² para aço/bronze fosforoso

C = 40 ~50 kgf/cm² para aço/bronze ao Al

Serviço Contínuo:

$$C = \frac{80}{2+Vg} \text{ para aço / f}^{\text{f}^0} \text{ com } Vg < 3 \text{ m/s}$$

$$C = \frac{120}{2+Vg} \text{ para aço/bronze com } Vg < 10 \text{ m/s}$$

Vg = velocidade de escorregamento do filete do parafuso sobre o dente da coroa, durante o engrenamento.

Vg = $V_1 \cos\beta$, sendo V_1 a velocidade tangencial do parafuso avaliada no seu diâmetro primitivo (dp_1).

$$dp_1 = \frac{mn}{\sin\beta} \cdot Z_1 \text{ e } V_1 = \frac{\pi dp_1 \cdot n_1}{60}$$

Os valores do coeficiente de fresa y são tabelados da seguinte forma:

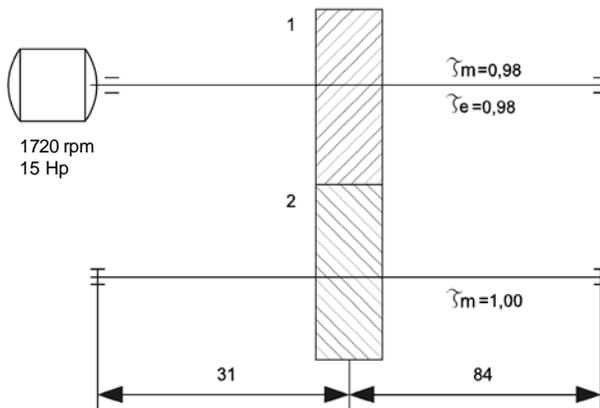
- engrenagem fresada: $y = 2,5 \sim 3,0$
- engrenagem gerada: $y = 3,0 \sim 3,5$
- engrenagem retificada: $y = 3,5 \sim 4,0$
- engrenagem bruta: $y = 2,0$

Atenção: No caso de serviço contínuo, para se chegar ao valor de mn, deve-se adotar um valor para Vg em torno de 4 m/s. Calcula-se V_1 ; em seguida C, mn, dp_1 e novamente Vg.

Verifica-se se Vg adotado está próximo de Vg calculado. Se estiver, então mn está bom. Caso contrário, adotar outro Vg até conseguir a aproximação.

Normalmente, os eixos são submetidos à flexão, enquanto chama-se árvore, o eixo submetido à torção. Usaremos a denominação eixo indiscriminadamente.

10.1. EXEMPLO DE CÁLCULO DO DIÂMETRO DE UM EIXO (submetido à flexo-torção, pela ação de um par de engrenagens)



São dados:

β = ângulo de inclinação dos dentes = 15°

θ = ângulo de pressão = 20°

- Z_1 = 16 dentes

- Z_2 = 64 dentes

- m_n = 2,5 mm

Cálculo dos Diâmetros Primitivos (vide Engrenagens)

$$d_p = \left(\frac{m_n}{\cos \beta} \right) Z$$

Portanto: Engrenagem 1: $dp_1 = \frac{2,5}{0,965} \cdot 16$ $dp_1 = 41,45\text{mm}$

Engrenagem 2: $dp_2 = 165,80\text{mm}$

Distância entre os Eixos (entre centros)

$$d = \frac{dp_1 + dp_2}{2}$$

Portanto: $d = \frac{41,45 + 165,80}{2} = 103,63 \text{ mm}$

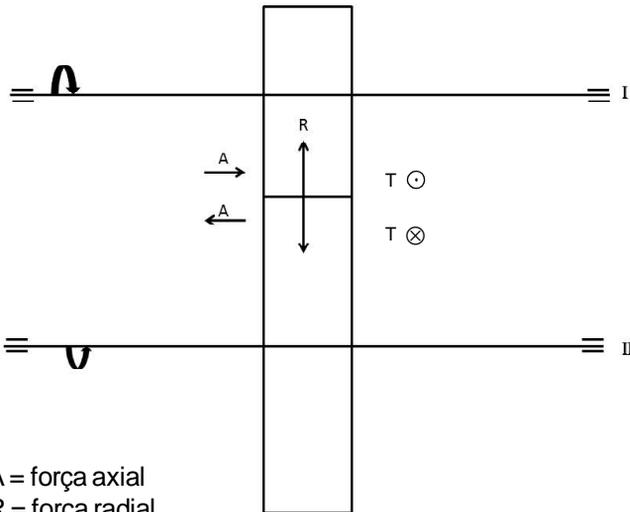
Cálculo das Forças

A prática sugere que todas as vezes que existirem engrenagens dentes inclinados no eixo de motor elétrico, a força axial resultante deverá tracionar o rotor do motor para maior vida útil.

Isto se consegue com:

- a) Motor giro horário \Rightarrow hélice esquerda
- b) Motor giro anti-horário \Rightarrow hélice direita

Referência: olhar o motor de frente



A = força axial
R = força radial
T = força tangencial
Mt = momento torçor

$$T = \frac{2Mt}{dp} \quad R = T \frac{\operatorname{tg}\theta}{\cos\beta} \quad A = T \cdot \operatorname{tg}\beta$$

$$Mt = 716.200 \frac{HP}{n} \times \eta \text{ Kgf} \cdot \text{mm}$$

$$\text{Se: } Mt = 716.200 \cdot \frac{15}{1720} \times 0,98$$

$Mt = 6.121 \text{ kgf} \cdot \text{mm}$, então:

$$T = 294 \text{ kgf}$$

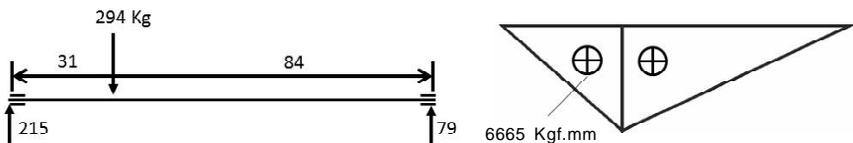
$$R = 109 \text{ kgf}$$

$$A = 79 \text{ kgf}$$

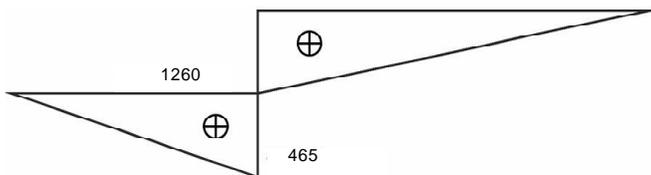
Observe que “A e R” estão contidas num plano vertical correspondente à página deste livro, enquanto que “T” está contida num plano horizontal imaginário, perpendicular ao plano vertical, entrando e saindo da página.

Cálculo do Diâmetro do Eixo considerando Flexo-Torção

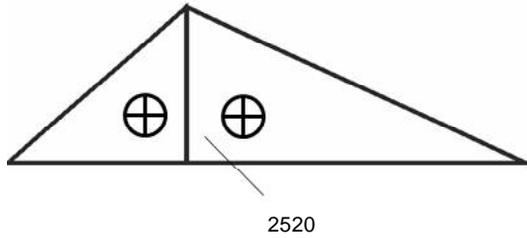
- Diagrama do momento fletor no plano horizontal (PH)



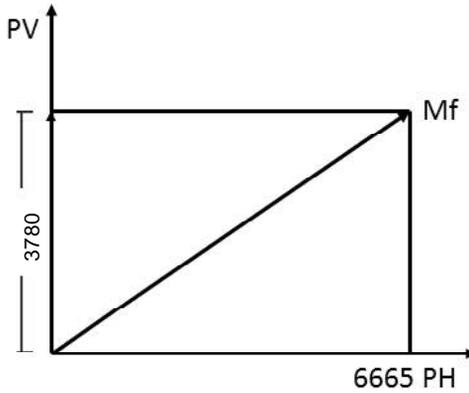
- Diagrama do momento fletor no plano vertical (PV)
 - Para a força axial A



- Para a força radial R



- Composição do momento fletor



- Composição do momento combinado

$$M_c = \sqrt{M_f^2 + \left(\frac{\alpha}{2} M_t\right)^2} \quad \alpha = 1$$

$$M_c = 8.200 \text{ kg} \cdot \text{mm}$$

Cálculo do Diâmetro do Eixo

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{10 \cdot M_c}{\sigma_{adm}}}$$

- Para o aço 1035 - 1040

$$\sigma_R = 50 \text{ kg/mm}$$

$$- \sigma_{adm} = \frac{\sigma_R}{s} \quad (s = \text{coef. de seg.})$$

$$s_{adm} = \frac{50}{5} = 10 \text{ kg / mm}^2$$

$$-d > \sqrt[3]{\frac{10 \times 8200}{10}} = 20,16 \text{ mm}$$

$d = 25 \text{ mm}$, com coeficiente de segurança de (1,1 ~ 1,3)

Calcular o eixo II

As forças são as mesmas, com sentidos inversos:

$$F_t = 294 \text{ kg}$$

$$Mt_{II} = Mt_I \times \frac{1}{\zeta} \times \eta = 6121 \times \frac{1}{\frac{16}{64}} \times 0,98 \times 1,00 = 24.000 \text{ kgf .mm}$$

- $F_t = 294 \text{ kg}$
- $F_r = 109 \text{ kg}$
- $F_a = 79 \text{ kg}$

11.1. SOLDA DE MANUTENÇÃO

Um bom soldador é aquele que com uma máquina de solda elétrica ou um maçarico recupera qualquer tipo de equipamento. **O eletrodo precisa ser bem escolhido para não apresentar maior ou menor dureza que o metal-base.** E o processo de trabalho deve ser desenvolvido com todo o cuidado.

Na verdade, não existem normas precisas nem especificações técnicas para o emprego de solda na manutenção. Mas a experiência de alguns soldadores determina qual a composição do metal-base, o material de adição, o processo a ser seguido e o tratamento térmico da superfície. Algumas vezes, o diagnóstico dá certo. Em muitas outras, a solda se quebra em pouco tempo. É por isso que solda de manutenção é tecnologia + habilidade + sexto sentido. Se o profissional não tiver vocação para solda, ele jamais será um bom soldador, mesmo treinando anos seguidos.

Mesmo assim, muitas indústrias nacionais vivem atrás de um soldador para sua oficina de manutenção. Muitas peças de substituição caras ou difíceis de se encontrar no mercado, têm que ser recuperadas com solda. A solda resolve o problema de manutenção de muitas máquinas que não podem parar muito tempo para serem desmontadas. E em casos de desgaste por abrasão ou corrosão a solda evita que a peça seja jogada fora, através de uma simples cobertura.

Pelo processo de recuperação com solda de manutenção, estoques de peças de reposição do almoxarifado podem diminuir bastante. Para isso ser possível basta se utilizarem processos modernos de recuperação com solda. Um simples contato com firmas especializadas significa a escolha correta do eletrodo e um técnico especializado para assistir à primeira operação e instruir o soldador.

A manutenção por solda também pode ser preventiva. Com uma camada de cobertura com eletrodo de liga especial, a vida útil de uma peça que sofre desgaste violento poderá ser aumentada. É o caso, por exemplo, das companhias de cimento que revestem os equipamentos mais desprotegidos com uma camada de solda.

No meio rural, a solda é fundamental na manutenção e reparação das máquinas e implementos agrícolas. Objeto do presente capítulo.

Definição de solda: Processo manual ou mecânico que com o uso de pressão e calor permite unir materiais.

Processos: Acredita-se existirem cerca de 70 processos de soldagem.

Os mais usados em Engenharia Agrícola são:

1. Gases (oxi-acetilênica)
2. Elétrica
3. Misto (TIG; MIG; MAG)

Classificação dos Processos de Soldagem:

1. Solda Heterógena:

O metal-adição é diferente do metal-base. Apenas o metal-adição se funde. Classifica-se pelo metal-adição:

- Solda Fraca: liga Pb - Sn (solda do funileiro ou solda branca)
- Solda Forte: solda latão (base de cobre)
solda bronze (base de cobre)
solda prata (base de prata, mais Cu, Zn, Cd, Mn, Ni)
solda de outras ligas.

Mais informações na página 185.

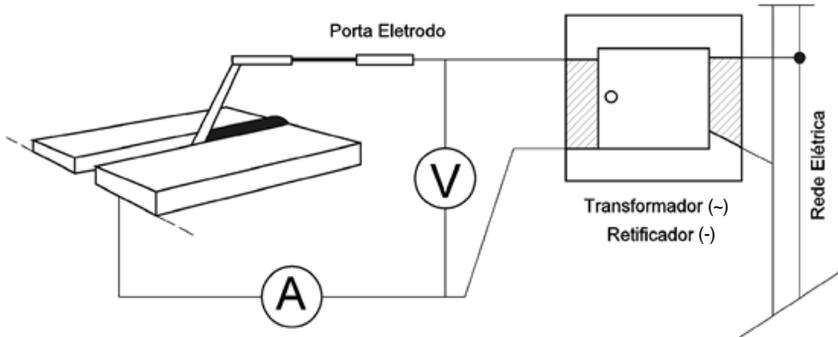
2. Solda Autógena:

O metal base sofre aquecimento elevado e o metal adição deveria ser igual ao metal base. Classificam-se pelo processo de obtenção:

- Solda por amolecimento: - caldeamento na forja
- elétrica por resistência (ponto a ponto)
- elétrica por centelha
- Solda por fusão: - elétrica de arco

11.2 PROCESSOS MAIS UTILIZADOS EM ENGENHARIA AGRÍCOLA:

- Solda Elétrica:



1. Introdução: O calor é fornecido por um arco voltaico que se forma entre eletrodo e peça-obra.

2. Eletrodo: procura-se o menor diâmetro e a menor amperagem (Amperagem $\cong 1000 \varnothing_e$ eletrodo em polegadas).

- O eletrodo pode ser:
- fortemente revestido
 - levemente revestido
 - nu

- Solda TIG (Tungstênio Inert Gás):

O eletrodo é de tungstênio praticamente inconsumível protegido por gás à base de argônio. (Pode-se utilizar vareta de metal adição).

Solda quase todos os metais. Principalmente, ligas de alumínio, cobre, manganésio e inoxidáveis.

- Solda MIG (Metal Inert Gás);

Arame contínuo sem revestimento protegido por:

- Argônio: para todos metais, menos aço C
- Hélio: para todos metais não ferríficos e aços alta liga.

- Solda MAG (Metal Active Gás):

Arame contínuo sem revestimento protegido por:

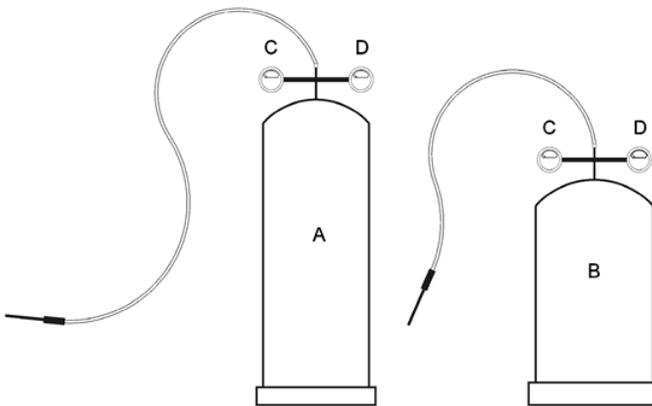
- CO_2 : para aços carbono baixa liga ou não ligado

- Misturas: para aços alto carbono.

Arames (MIG/MAG): Aço baixa-liga, cobreado

Esp. metal base	-	Ø arame
0,8 - 2,5 mm	-	0,8 mm
2 - 5	-	1
4 - 10	-	1,2
8 - 40	-	1,6
20 - 50	-	2
30 - 60	-	2,4

• Solda Oxiacetilênica:



1. A mistura do acetileno (combustível) e do oxigênio (comburente) produz chama (maçarico) de alto poder calorífico

2. Fluxos: são pós que aderem à vareta de metal-adição para melhorar a qualidade da solda.

Obs.: Aço com mais de 0,6 - 1,1% C torna-se difícil a solda com oxiacetileno, somente com arco voltaico e eletrodos especiais obtêm-se bons resultados.

Precauções

Cada cilindro são 2 granadas prontas para explodir se não se observar cuidados mínimos:

1. Cilindro de Acetileno:

- Nunca abrir a garrafa mais do que 1/4 de volta.
- Nunca esgotar completamente a garrafa, pois a pressão interna pode ficar menor que a externa e a chama tenderá a ir para dentro.
- Nunca utilizar conexões de cobre para emendar mangueiras. O cobre + acetileno forma acetato de cobre que explode sob impactos.
- Nunca trabalhar em locais com temperatura $> 70^{\circ}\text{C}$.
- Nunca usar o cilindro deitado, nem para transporte.
- A chama deverá ficar a d ³ 3 m do cilindro.

2. Cilindro de Oxigênio:

- Nunca usar a garrafa deitada.
- Nunca usar óleo ou graxa nas válvulas.
- Nunca soprar roupas e equipamentos com oxigênio, para isso existe ar comprimido.

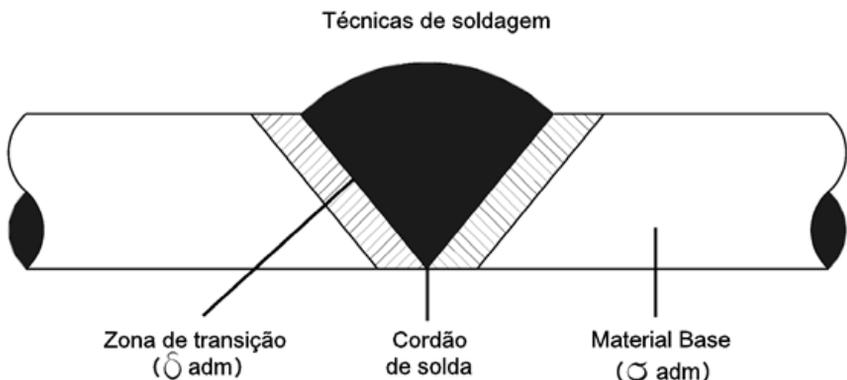
3. Maçarico:

- Nunca esfregar o bico para limpeza.
Esfregando-se o bico, altera-se a vazão e o gás de maior pressão tende ir para o conduto de menor pressão.

Nota: Verificar demais recomendações de precauções de cada fornecedor, uma vez que, as relacionadas acima são gerais.

- Solda Elétrica a Arco Voltaico:

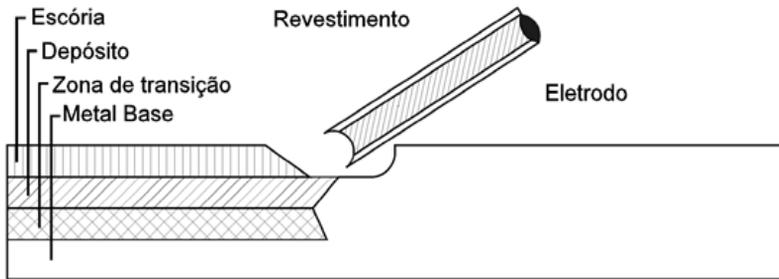
Exame Não Destrutivo:



Acidentes com solda elétrica:

- 1) Perigo da irradiação do arco voltaico: usar máscara com lente e roupas apropriadas.
- 2) Limpar as peças das tintas, óleos, graxas e poeiras (esses gases é que causam danos à saúde).
- 3) Perigo de ordem colorífica: respingos incandescentes que saltam longe.
- 4) Perigo de ordem elétrica: não tocar com mão desprotegida nas partes elétricas.
- 5) Perigo de ordem mecânica: ao martelar o cordão de solda, as partículas metálicas podem atingir os olhos.

11.3. TÉCNICAS DE SOLDAGEM A ARCO VOLTAICO:



1. Aços Baixo Carbono: Não há problemas. O que se faz é pré-aquecer o local para eliminar-se H_2O .
2. Aços Médio e Alto Carbono: É necessário pré-aquecer a região num raio de 80 mm do local da solda.

% C ou % CE		
Teor de Carbono do metal base	Teor de carbono do metal equivalente, do metal base, quando existem liga do mesmo	Temperatura indicada para Pré-aquecimento (vide págs. 152 e 153)
0,35	0,40	100-200°C
0,45	0,50	250-350°C
0,55	0,60	350-450°C
0,65	1,7	450-550°C

3. Passos: - Limpar
- Chanfrar
- Pré-aquecer

Chanfragem: ≥ 4 mm esp. = "V"
 ≥ 30 mm "U"

Carbono Equivalente

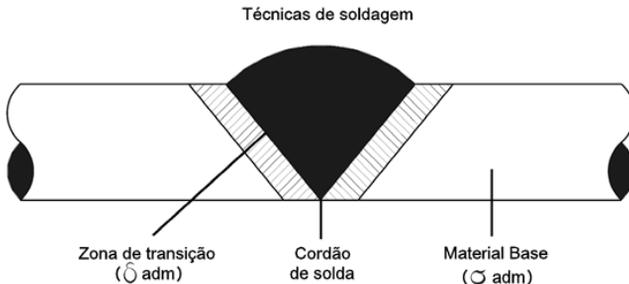
$$\%CE = \%C + \frac{\%Ni}{15} + \frac{\%Cr}{5} + \frac{\%Mo}{4} + \frac{\%Si}{4} + \frac{\%V}{5} + \frac{\%Mn}{6}$$

11.4. AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA NA JUNTA SOLDADA A ARCO VOLTAICO

Considerando que a solda é de certa forma um processo agressivo ao metal-base que se quer soldar, deve-se considerar que, na região da solda, haverá um enfraquecimento da resistência do metal-base pelo impacto térmico do processo, mesmo com o pré-aquecimento recomendado.

Então, a história de que uma peça bem soldada fica "igualzinha" à original, é pura crendice. A peça soldada será sempre mais fraca que a original.

A nova tensão admissível (δ_{adm}) será avaliada como se segue:



A tensão admissível na junta soldada:

a) Solicitação Estática: $\delta_{adm} \cong (0,65 \llcorner 0,85) \gamma_2 \sigma_{adm}$

b) Solicitação Dinâmica: $\delta_{adm} \cong (0,15 \llcorner 1,00) \gamma_2 \sigma_{FA}$

(Presença de Vibrações Mecânicas)

c) $\gamma_2 = (0,5 \llcorner 1,00)$. Depende das condições tecnológicas do preparo do soldador conhecimento do metal base e qualidade do equipamento.

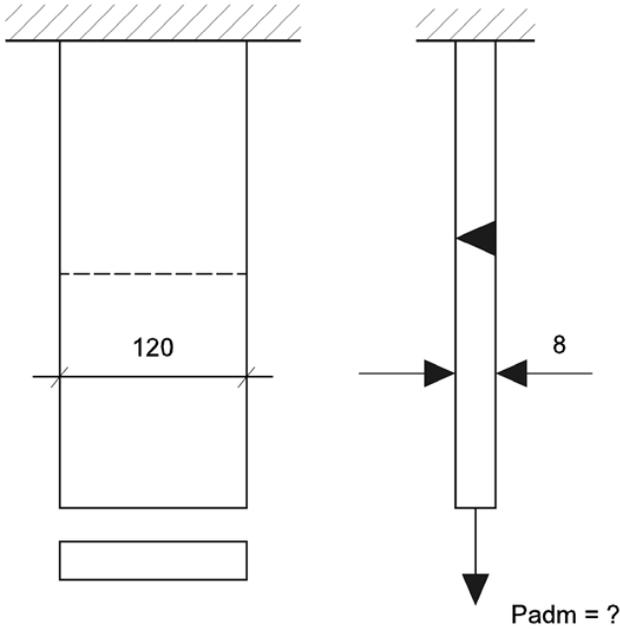
Pode-se considerar: σ_{FA} , σ_r e σ_e tabelado para cada metal-base, obtidos no diagrama tensão x deformação, e estudo de fadiger

$$\sigma_{adm} \cong \frac{\sigma_e}{2}$$

$$\sigma_{FA} \cong 0,315 \sigma_r$$

Problemas mais comuns:

1. Soldadura de Topo(Solicitação Estática):



$$\text{Aço} \Rightarrow \sigma_{\text{adm}} = 1200 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\delta_{\text{adm}} = \gamma \cdot \gamma_2 \cdot \sigma_{\text{adm}}$$

$$\gamma = 0,65$$

$$\gamma_2 = 1,0 \text{ processo confiável}$$

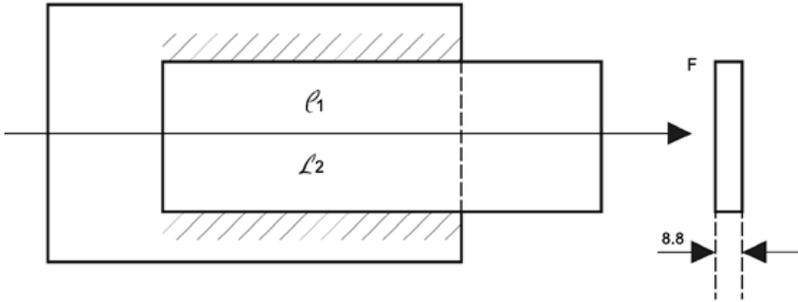
$$\therefore \delta_{\text{adm}} = 0,65 \times 1 \times 1200 \cong 780 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\text{Seção do cordão de solda: } S_{\text{solda}} = 8 \cdot (120) = 9,60 \text{ cm}^2$$

$$P_{\text{adm}} = \delta_{\text{adm}} \times S_{\text{solda}} \Rightarrow P = 780 \times 9,60$$

$$P_{\text{adm}} = 7.500 \text{ kg}$$

2. Soldadura de flanco (Estática)



1. Aço $\sigma_{adm} = 1400 \text{ kgf/cm}^2$ e $F = 17.800 \text{ kgf}$

2. $\delta_{adm} = \gamma \cdot \gamma_2 \sigma_{adm}$

$\gamma_2 = 1,0$ para solda testada

$\gamma = 0,65$

$\therefore \rho_{adm} = 0,65 \times 1,0 \times 1400 = 910 \text{ kgf/cm}^2$

3. Área do cordão de solda: $\sigma_{adm} = \frac{P}{A_s} \Rightarrow 910 = \frac{17.800}{A_s}$

$A_s \Rightarrow 20,0 \text{ cm}^2$

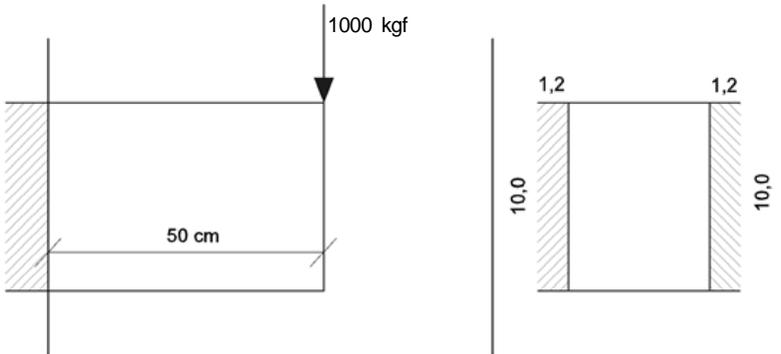
Comprimento do cordão: $l = l_1 + l_2 = \frac{A_s}{a}$

sendo $a = 85\%$ da espessura da chapa. (8,8 mm)

$l = \frac{20,0}{0,75} \cong 30,0 \text{ cm}$

$l_1 = l_2 \cong 15 \text{ cm}$

3. Viga em Balanço (Estático)



$$\delta_{adm} = \gamma \gamma_2 S_{adm(aço)} = 1 \times 0,65 \times 1400$$

$$\delta_{adm} = 910 \text{ kgf/cm}^2$$

Esforços nos cordões de solda: Considerar:

1. Momento Fletor: $\delta_1 = \frac{Mf}{W}$

2. Cizalhamento: $\delta_2 = \frac{P}{S}$

$$Mf = 1000 \times 50 = 50.000 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$P = 1000 \text{ kgf}$$

W = módulo de resistência à flexão

$$W = J/y \quad J = \text{momento de inércia} = \frac{bh^3}{12}$$

y = ponto mais afastado da lenha neutra.

$$J = 2 \times \frac{(1,2 \times 10,0^3)}{12} = 200 \text{ cm}^4 \text{ (2 cordões da solda)}$$

$$y = 5 \text{ cm}$$

$$\text{Portanto: } \delta_1 \cong 1250 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\delta_2 \cong 40 \text{ kgf/cm}^2$$

Tensão real no cordão $d = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2} \cong 1251 \text{ kgf / cm}^2$

1251 > 910, a junta soldada não suporta o esforço.

11.5. COMPLEMENTAÇÃO

Eletrodos Revestidos para Soldagem Manual a Arco Voltaico

- Eletrodo nu:
 - Dificuldade na abertura e manutenção do arco
 - Somente C.C, polaridade invertida
 - Presença de ar atmosférico
 - Somente na posição plana

- Funções do Revestimento:
 - Função elétrica: a) abertura e manutenção do arco devido à presença de sais metálicos
 - b) P/ C.C.; C. A e todas as posições
 - Função protetiva: a) formação de fumos
 - c) formação de escória
 - Função física: a escória melhora a estética do trabalho
 - Função química: a escória transfere elementos para a solda
 - Função depurante: a escória separa impurezas presentes

Classificação dos Revestimentos sob o ponto de vista químico

(Oxidante, Ácido, Rutílico, Básico, Celulósico)

- Revestimento Oxidante (base de hematita):
 - para solda plana
 - C.A ; C.C.
 - onde a estética é preponderante

- Revestimento Ácido (base de sílica):
 - Qualquer posição
 - C.A ; C.C.
 - indicado para aços doces

- Revestimento Rutílico (base óxido de rutilo):
 - Qualquer posição
 - C.A. / C.C
 - para aços doces (chapas finas)

- Revestimento Básico (base Ca CO_3):
 - largamente utilizado por ser versátil
 - para aços impuros, f^of^o maleável
 - para aços alto carbono
 - para aços baixa liga
 - higroscópicos: devem ser conservados em locais absolutamente secos sendo recomendado muitas vezes secar em estufa
 - " posição, preferível CC (+)
- Revestimento Celulórico (base celulose):
 - Qualquer posição
 - somente para aços doces
 - C.C (+) ; C.A.

Eletrodos Revestidos: Armazenagem / Ressecagem

- Rev. ácido, rutilico celulósico: não necessita de armazenamento especial
- Rev. básico - higroscópicos, necessita de armazenamento especial

Problemas com eletrodos com revestimentos úmidos:

- porosidade
- trincas
- mau acabamento
- muitos respingos
- dificuldade em manter o arco.

Armazenamento:

- Eles vêm em latas ou cartuchos plásticos estanques
- Após abertos, os vasilhames devem ficar na posição vertical com as pontas de pega voltadas para baixo, para preservar as pontas de arco
- - umidade relativa max 50%
- temperatura mínima 18°C
- temperatura de armazenagem = cte

Eletrodos Úmidos:

Além da péssima qualidade do cordão, pode-se identificar o eletrodo úmido pelo som violento, crepitante e explosivo durante a soldagem, além de vapor branco de condensação (não confundir com fumos de solda).

Ressecagem:

Estufas a 100-120°C durante 1 hora (se passar, queima) para os ácidos, rutilícos e celulósicos.

Para os básicos: 230-260°C até 2 horas (o ideal é solicitar conselho do fabricante).

O segredo é o local de armazenagem.

Soldagem de Ferro Fundido

- Extremamente difícil e às vezes até impossível
 - cinzento: C na forma de grafite → possível, mas difícil
 - branco : resfriamento muito rápido → quase impossível
 - maleável: f^o branco tratado → mais fácil de soldar
 - nodular: grafite na forma de nódulos → mais fácil de soldar
 - ligado: elemento ligas → mais fácil de soldar

Recomenda-se:

- Cuidadosa limpeza: remover areia, trincas, óleo, graxa (solvente)
- Pré-aquecer para queimar o que escapar do item 1 (250°C)
- Fazer um teste: se o metal-adição aderir, está aprovado
- se o metal-adição não aderir, não adianta insistir.
- cordões curtos e alternados
- Martelar imediatamente
- Pós-aquecer ± 350°C)
- Resfriar lentamente

Soldagem dos Inoxidáveis

- Recomenda-se:
 - Limpeza com produtos isentos de cloro (ideal álcool ou acetona)
 - Escovar com escovas de fios inox, pois os fios de aço provocam início de corrosão onde esses fios tenham deixado partícula de Fe.

Mais informações sobre solda a arco voltaico na página 157.

	Pré (A) Aquecimento	Elétrica a arco c/eletrodo revestido (básico rutilico)	TIG	MIG	Aço Submerso	Pós Aquecimento	Resfriamento
AISI-300	Não	X	X	X	X	Não	Lento
AISI-400(F)	120-315	X	X	X	X	50°C acima de (A)	Lento
AISI-400(M)	200-300°C	X	X	X	X	650-750°C	Lento
AISI-500	250-300	X	X	X	X	750-900°C	Lento

Soldagem para Fricção (Barras e Tubos)

- aços (carbono, ligas, inox)
- alumínio
- combinações (Al / aço inox ; Cu / Al)

$V = 76 \text{ m/min}$ (aços)

$\rho = 620 \text{ kgf/cm}^2$ durante o aquecimento

$\rho = 1500 \text{ kgf/cm}^2$ durante o caldeamento

Aplicação dos robôs de soldagem:

“A solda a arco, frequentemente tem sido chamada de arte, e com razão, como tal, tem sido reservada para pessoal especializado”.

- Porque o robô?
 - Livra o ser humano das condições de trabalho perigosas
 - Compensa a falta de mão de obra especializada.

Solda de Metal a Laser:

- Dispensa eletrodos, fluxos, varetas, polaridades etc.
- Solda quase todos os metais
- Pode-se usar gás protetor
- Atualmente usado em chapas finas.

Aspectos práticos de Processos de Solda Heterôgena

• Solda fraca: ponto de fusão $< 450^\circ\text{C}$, obtida em ferro de soldas ou maçarico com gás comum

Ligas:

- Sn-Pb: para todos os metais e podem suportar temperaturas operacionais de 120°C
- Sn-Pb-Sb: igual a anterior, não indicada para soldar Al; Zn; aço galvanizado
- Sn-Sb: dúctil
- Sn-Ag: mais dúctil
- Sn-Zn: para Al
- Pb-Ag: resistência à fadiga mas não à corrosão pela umidade
- Cd-Zn: para temperaturas operacionais até 205°C
- Zn-Al: resistência à corrosão
- In: para operações criogênicas
- In-Sn: para vidro / metal
- Bismuto (Bi): pouco utilizado

• Solda Forte: temperatura > 450°C, obtida em maçarico, fornos, resistência, indução: para aço baixo carbono, baixa liga, inox

Ligas:

- Al-Si
- Base de prata
- Cu-P

Soldas Especiais:

- Laser: já comentada
- Plasma: usa-se gás ionizado e aquecido para produzir a área operacional
- Feixe Eletrônico: dispara elétrons produzidos pela alta tensão, no vácuo
- Ultra-som: há fricção ultra-sônica da peça / peça (pouca temperatura)
- Injeção de Zn ou Pb
- Adesivos: para substituir parafusos e rebites (e póxis, acrílicos).
- Arco Pulsante: Processo que faz a corrente de solda variar dentro de uma adequação de máximo rendimento. Usada para alumínio e suas ligas, aços alta liga. Produz resultados melhores que MIG/MAG.
- Brasagem: Solda realizada com atmosfera protegida sem fusão do MB e $t > 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $T < 400\text{ }^{\circ}\text{C}$, dizemos solda branca.

Polaridade invertida

A polaridade invertida é usada com eletrodos fortemente revestidos, eletrodos para soldagem de f° e nas soldas de quase todos os tipos em que forem usadas eletrodos não férreos, tais como: cobre, bronze, latão, Al, níquel etc. Na polaridade invertida, o eletrodo fica no polo positivo, enquanto que na polaridade direta, o eletrodo fica no polo negativo e é indicada para eletrodo Mu ou com leve revestimento.

Defeitos mais frequentes nas operações de soldagem a arco voltaico

Dos defeitos que se podem verificar nas juntas soldadas, a grande maioria não pode ser detectada a olho nu, necessitando de métodos menos comuns para sua detecção. Entretanto, uma vez identificados, é, ainda, imprescindível averiguar suas causas e tentar atingir a solução. Os quadros a seguir são seleções dos defeitos mais comuns, com sua provável causa e possível solução.

Defeitos mais Frequentes na Solda e Arco Voltáico

Defeito	Causa	Solução
Formação difícil e interrupção do arco	Revestimento úmido. Baixa tensão em vazio, ou máquina de solda inapta, queda de tensão na linha alimentadora. Chapas sujas ou oxidadas	Secar os elementos. Verificar as tensões da máquina de solda tanto em vazio como em trabalho. Antes de iniciar o serviço. Limpar cuidadosamente as partes a serem soldadas.
Aquecimento excessivo	Intensidade demasiadamente elevada da corrente de soldagem	Reduzir a intensidade da corrente
Fusão crepitante	Revestimento úmido, intensidade demasiadamente elevada da corrente de soldagem. Arco por demais comprido.	Secar os eletrodos. Reduzir a intensidade da corrente. Encurtar p arco.
Formação da unha	Sopro magnético. Intensidade demasiadamente baixa da corrente de soldagem. Arco por demais curto. Revestimento úmido	Ver "sopro magnético". Aumentar a intensidade da corrente. Encompridar o arco. Secar os eletrodos
Inchaço do revestimento	Umidade absorvida pelo revestimento durante a armazenagem	Vide Ressecagem (página 191).
Escória dificultando a soldagem	Intensidade demasiadamente baixa da corrente de soldagem.. Arco por demais curto. Movimentação incorreta do eletrodo.	Aumentar a intensidade da corrente. Encompridar o arco. Executar movimentos que estejam de acordo com o tipo de solda.
Sopro magnético	Uso de corrente contínua	Controlar a ligação terra das peças a serem soldadas. Colocar a ligação terra na mesma direção do sopro magnético. Dividir em duas ou mais partes a ligação terra. Controlar a polaridade. Soldar com arco curto. Usar corrente alternada.
Colagem	Intensidade demasiadamente baixa da corrente de soldagem. Excessiva velocidade de avanço do eletrodo. Oscilação por demais rápida da ponta do eletrodo. Chanfro defeituosamente preparado. Arco pouco ionizado.	Aumentar a intensidade da corrente. Reduzir a velocidade de avanço. Ampliar as oscilações, parando-se um instante nas extremidades de cada oscilação. Modificar a forma do chanfro, evitando-se as bordas em 90°. Usar tipos de eletrodos de arco mais ionizado. (tipo Carend).
Trincas no depósito	Tipo de eletrodo não adequado. Intensidade demasiada alta da corrente de soldagem. O metal base contém percentagens elevadas de impureza, com Enxofre (S). Carbono (C) e fósforo (P). Rigidez excessiva das peças a serem soldadas. Más condições das peças a serem soldadas.	Trocar de tipo de eletrodo. Reduzir a intensidade da corrente. Usar aço de qualidade diferente. Modificar a sequência de soldagem ou o desenho da junta. Antes de iniciar o serviço, limpar cuidadosamente as juntas a serem soldadas.
Trincas no depósito	Baixa temperatura das peças a soldar. Peças a soldar incorretamente preparadas. Cordões de solda por demais estreitos, comparados com as peças soldadas.	Preaquecer as peças a soldar. Modificar o preparo das juntas. Executar um cordão mais amplo interrompendo o arco; voltar um pouco sobre o cordão, parando uns centímetros antes da cratera. Nota: Pode acontecer, que a interrupção do arco provoque trincas na cratera. Neste caso, antes de apagar o arco, deve-se voltar um pouco sobre o cordão.
Falta de penetração	Diâmetro grande dos eletrodos, intensidade demasiadamente baixa da corrente de soldagem. Mau sistema de soldagem. Deficiente preparo das peças ou solda defeituosa em raiz. Excessiva velocidade de avanço	Diminuir o diâmetro dos eletrodos. Aumentar a intensidade de corrente. Modificar o sistema de soldagem, Modificar o chanfro na forma e abertura. Melhorar a limpeza da raiz antes de aplicar a solda utilizando bedames com ponta. Reduzir a velocidade de avanço.

Continua...

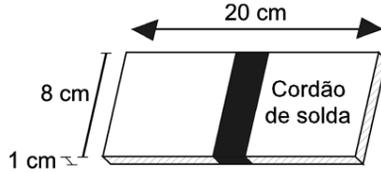
*Elementos Orgânicos Fundamentais de
Máquinas e Implementos Agrícolas*

Continuação.

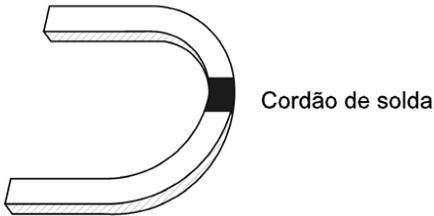
Defeito	Causa	Solução
Inclusão da escória	Diâmetro grosso dos eletrodos. Tipo de eletrodo inadequado, Intensidade demasiadamente baixa da corrente de soldagem. Má execução da soldagem e chanfro defeituosamente preparado. Limpeza imperfeita das camadas de solda.	Diminuir o diâmetro dos eletrodos. Trocar o tipo de eletrodo. Aumentar a intensidade de corrente. Melhorar a execução da soldagem e modificar a forma do chanfro. Limpar bem os cordões antes de executar cada passe.
Forma irregular do cordão: a) convexo b) Largo c) Irregular	Intensidade demasiadamente baixa da corrente de soldagem. Oscilação insuficiente da ponta do eletrodo. Intensidade demasiadamente alta da corrente de soldagem. Demasiado aquecimento da peça a soldar. Intensidade errada da corrente de soldagem. Manuseio incorreto da escória. Arco de comprimento errado. Revestimento úmido.	Aumentar a intensidade da corrente. Aumentar a oscilação da ponta do eletrodo. Reduzir a intensidade da corrente. Esperar que a peça esfrie entre a execução de cada cordão. Modificar a intensidade da corrente. Controlar a escória e o comprimento do arco durante a soldagem. Secar os eletrodos.
d) Ondulado	Tipo de eletrodo inadequado. Intensidade demasiadamente alta da corrente de soldagem	Trocar de tipo de eletrodo. Reduzir a intensidade da corrente.
Trincas marginais	Intensidade demasiadamente alta da corrente de soldagem. Inclinação errada do eletrodo, oscilação por demais rápida da ponta do eletrodo. Demasiado aquecimento da peça a soldar. Má qualidade do metal base.	Reduzir a intensidade da corrente. Modificar a inclinação. Parar um instante nas extremidades de cada oscilação. Esperar que a peça esfrie entre a execução de cada cordão. Usar um material melhor.
Penetração excessiva	Intensidade demasiadamente alta de corrente de soldagem. Demasiado aquecimento da peça a soldar. Arco por demais comprido.	Reduzir a intensidade da corrente. Esperar que a peça esfrie antes da execução de cada cordão. Encurtar o arco.
Bolhas e porosidade	Eletrodo incompatível com as características do metal de base	Trocar de tipo de eletrodo. Se o defeito persistir, utilizar eletrodo do tipo básico.
Bolhas e porosidade	Intensidade errada da corrente de soldagem, em geral baixa demais. O metal de base contém percentuais elevados de impureza, como enxofre (S), Carbono(C) e fósforo (P).	Modificar a intensidade da corrente. Utilizar metal de base de melhor qualidade.
Bolhas só no fim da camada	Intensidade demasiadamente alta da corrente de soldagem. Manuseio incorreto da escória. Baixa temperatura das peças a soldar.	Reduzir a intensidade da corrente. Controlar a escória. Preaquecer as peças a soldar. Geralmente, as bolhas externas desaparecem se a solda for executada em diversas camadas.
Aspecto variável do depósito	Utilização do eletrodo não indicado para a posição exigida na soldagem. Deficiente estudo e preparo de juntas	Utilizar eletrodos indicados para a posição. Exemplo: Nem todos os tipos de eletrodos são indicados para a solda em vertical. Modificar as juntas.
Aspecto variável do depósito	Características do eletrodo. Intensidade demasiadamente alta da corrente de soldagem. Arco por demais comprido. Sopro magnético.	Trocar de tipo de eletrodo. Reduzir a intensidade da corrente. Encurtar o arco. Ver "sopro magnético".
Alongamento demasiado baixo	Presença de defeitos de soldagem (porosidade, inclusão de escória, trincas etc.). Preparação da proveta. Soldagem sobre peça por demais fria. Soldagem sobre peça por demais quente.	Ver "defeitos de soldagem". Fazer com que a ruptura se localize na solda e não na chapa. Preaquecer um pouco a peça. Usar regime de solda mais frio
Ruptura com grão grosso	Regime térmico de soldagem quente demais. Execução da solda em uma só camada. Camadas espessas demais	Reduzir a intensidade da corrente. Soldar mais devagar. Soldar em várias camadas mais rapidamente.

Exame Destrutivo da Junta Soldada

- Ensaios
 - corrosão
 - impacto
 - fadiga
 - flexão etc.



- Dobragem



- Forjabilidade
 - Aquecer o anterior até vermelho claro e forjar.

Inspecção não Destrutiva em Juntas Soldadas por qualquer Processo

Processo	Equipamento	Aplicação	Vantagens	Limitações
Inspeção Visual	Lentes, Intensificador de cor, escalas, micrômetros, Comparador óptico, fontes de luz	Defeitos superficiais, aspecto e dimensões do cordão	Econômico, expediente, requer pouco treino e relativamente pouco equipamento	Somente aplicável em condições extremas. O inspetor necessita de boa visão
Radiografia raios gama	Feixe de raios gama e câmera projetora, suporte de filmes, teia de chumbo, equipamento para processamento do filme, nega-toscópio, equipamento para monitoramento da radiação.	Maioria das descontinuidades de soldas, bem como corrosão e defeitos de alinhamento, espessura da parede e avaliação dimensional	Fornecer um registro permanente. Pode ser posicionado internamente em condições acessíveis. Não requer eletricidade	Requer proteções especiais devido à radiação. Requer monitoramento dos níveis de exposição periódica da fonte. Não pode ser ajustada. A fonte e os controles são caros. Requer pessoal qualificado para interpretar resultados.
Raios X	Fonte de raios X, fonte de energia elétrica, e os outros equipamentos usados na gamagrafia.	As mesmas que os raios gama	Ajuste de nível de energia, produz radiografias de melhor qualidade. Registro permanente.	Alto custo inicial de equipamento não facilmente portátil. Perigo de radiação. Pessoal qualificado para interpretação. Fonte de energia elétrica.

Continua...

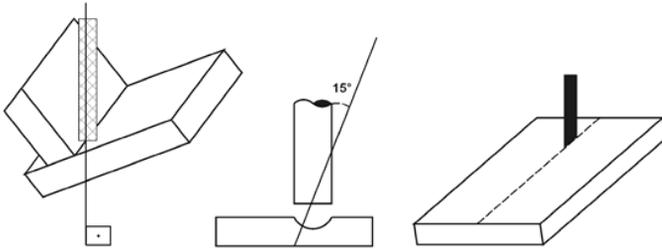
Elementos Orgânicos Fundamentais de Máquinas e Implementos Agrícolas

Continuação.

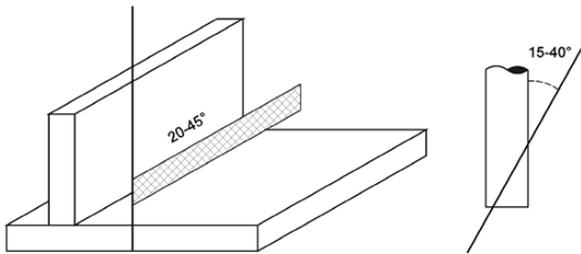
Processo	Equipamento	Aplicação	Vantagens	Limitações
Ultrassom	Instrumento de pulso eco capaz de excitar um material piezo-elétrico para mandar uma energia ultrassônica através de um corpo de prova. Saída para tubo de raios catódicos para mostrar as ondas de som recebidas. Padrões de calibração.	A maioria das descontinuidades de soldas e espessuras de parede	Mais sensível a defeitos planares. Resultados imediatos, portátil, alta capacidade de penetração	A superfície deve ser lisa. Soldas pequenas e finas podem ser difíceis de serem inspecionadas. Requer operadores altamente qualificados. Registro difícil.
Partícula magnética	Barras de contato. Forquilha, bobinas indutoras. Fonte de eletricidade, pó magnético	Descontinuidades abertas até superfície, alguns grandes vazios sub superfícies. Mais indicados para trincas	Relativamente econômico e de fácil interpretação. Portátil. Pode detectar defeitos sub-superfícies.	Limitado a materiais ferromagnéticos. A peça deve ser limpa antes e depois da inspeção. Revestimentos espessos podem induzir a erros. Algumas vezes a peça precisa ser desmagnetizada.
Líquido penetrante	penetrante colorido ou fluorescente, revelador, removedor, luz ultra-violeta	Descontinuidades abertas a superfície	Materiais não porosos. Portátil, barato, fácil inspeção. Não requer energia. Inspeção visual	Necessita de limpeza da peça. Imperfeições superficiais (crostas etc.) Pode mascarar o resultado.
Corrente parasita (de foucault)	Instrumento capaz de induzir um campo magnético e detector de corrente parasita. Padrões de calibração.	Descontinuidades abertas a superfície. Algumas inclusões sub-superfícies. Teor de ligas, variações de tratamentos térmicos, espessura de parede.	Fácil inspeção, baixo custo. Possível automatização. Não necessita acoplante.	Limitado a materiais condutores de eletricidade, variações fortes de geometria podem mascarar resultados. Padrões de referência.
Emissão acústica	Sensores de emissão, amplificadores, processadores eletrônicos, de sinais, sistemas de solda para avaliação do sinal acústico.	Trincas internas	Inspeção a tempo real contínua e de rareamento. Pode inspecionar remotamente. Portátil	Requer o uso de transdutores acoplados à peça. A peça deve estar sob tensão, materiais dúteis. Ruídos devem ser filtrados. Equipamento caro requer especialista.

Posições de soldagem

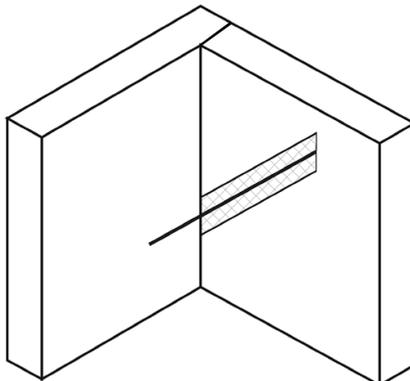
- Solda plana ou de topo



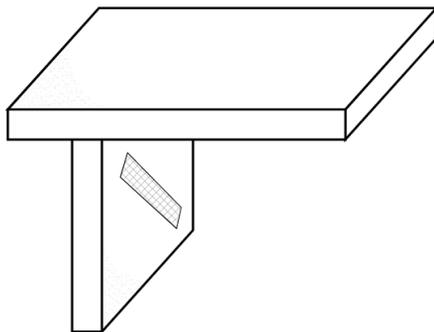
- Solda horizontal



- Solda vertical



- Solda sobre cabeça



11.6. PRINCÍPIOS BÁSICOS DE METALURGIA PARA SOLDADORES

Superfície Limada

Temperatura:

200°C.

230°C.

245°C.

270°C.

280°C.

310°C.

340°C.

Cor:

Palha esmaecida

Palha

Palha profundo

Bronze

Azul pavão

Azul escuro

Azul claro

Escala Brinell (HB):

100 - A lima morde facilmente.

200 - A lima remove o metal sem pressão excessiva.

300 - O metal oferece sua primeira resistência ao desgaste.

400 - Agora a lima remove o metal com dificuldade.

500 - O metal é apenas um pouco mais macio que a lima.

600 - A lima escorrega sem remover partículas de metal.

Outras informações:

- 300°C o fósforo risca preto.

- 330°C o giz azul muda para cinza esbranquiçado.

- 340°C o lápis vermelho muda para cinza escuro.

- 335°C o lápis vermelho torna-se rosa.

Nota: papel comum-250-350°C=marrom
papel comum-450°C = preto
papel comum - >450° = queima
fósforo = 450°C = queima

Teste de Trincas com Líquido Penetrante

1. Desengordurar a peça com limpador nº 1 ou tinner. (Usar estopa embebida).
2. Aplicar o contraste nº 2. (Aguardar 15 minutos após a aplicação).
3. Retirar o contraste da superfície da peça com o limpador nº 1 ou água. (Secar em seguida).
4. Pulverizar a superfície da peça com revelador nº 3 ou talco fino. Após secagem de 1 a 2 minutos, aparecerá forte contraste de cor vermelha na zona de trincas, indicando a largura e profundidade das mesmas.

Com esse processo, é possível detectar trincas de 0,00025 mm.
Esse processo deverá ser utilizado em ambiente bem ventilado.

Lápis Pirométrico

Lápis pirométrico é um indicador seguro de temperatura de superfície.
Faça, com o lápis de temperatura desejada uma marca na superfície da peça que irá ser aquecida.

Quando a temperatura desejada for atingida, a marca se derreterá.
São 86 temperaturas diferentes como mostra-se a seguir:

°C							
38	43	45	48	52	55	59	66
73	79	83	87	90	93	101	107
114	121	128	132	135	139	142	146
149	152	156	159	163	166	170	173
177	184	191	198	204	212	218	225
232	239	246	253	260	274	288	302
316	329	343	371	399	427	454	482
500	510	538	550	565	593	621	649
677	704	732	760	774	788	804	816
843	871	899	927	954	982	1.010	1.038
1.065	1.093	1.149	1.177	1.204			

As marcas nos lápis se apresentam em graus celsius e graus Farenyth.
Existe lápis térmico, cujo traçado (risco) muda de cor à medida que a temperatura varia.

Corte a Gás

Espessura da chapa (pol.)	Bico	Corte Oxi-acetilênico		
		Pressão de acetileno em Kg./cm ²	Pressão de oxigênio em kg./cm ²	Velocidade de corte em cm./min.
1/16	2	0.42	2.2	58
1/8	2	0.42	2.4	53.5
¼	3	0.42	2.4	53
3/8	3	0.42	2.4	50.5
½	4	0.42	2.5	48
5/8	4	0.42	2.6	45.5
¾	6	0.42	2.7	43
1	6	0.42	3.2	37.5
2	8	0.50	3.8	30.5
3	8	0.50	4.6	23.5
4	8	0.50	4.7	18

Processo TIG de Soldagem

Tabela para uso dos eletrodos de tungstênio em corrente contínua:

Ø	Puro (A)	Com 2% de tório (a)
1	50-70	10-80
1,5	50-100	50-120
2	90-160	90-190
3	140-260	170-300
4	220-380	260-450
5	350-550	400-550
6	500-700	600-800

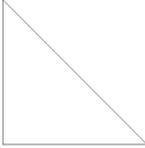
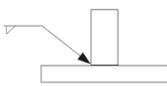
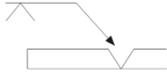
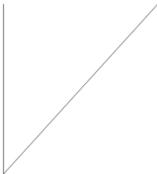
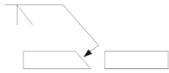
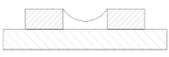
Ou 30 A/mm espessura do metal base

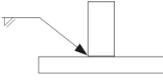
Ø	Diâmetro do Bico	Gás em Lts. P/min.
1.6	6 a 8	10
2	8 a 11	12
3	11	15
4	15	20

Sistema Codificado de Soldagem (A.B.N.T.)

- Símbolos Básicos:

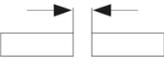
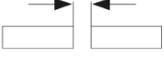
São estes os símbolos básicos:

Símbolos Básicos			
Tipo de junta	Símbolo	Exemplos	Solda acabada
De ângulo			
Topo a topo sem chanfro			
Topo a topo com chanfro em V			
Solda tipo a tipo com chanfro 1/2 V			
Solda de tampão			
Solda com lado reverso			

PERFIL DO CORDÃO DE SOLDA			
Símbolo	Tipo de cordão	Exemplos	Solda acabada
	Cordão plano		
	Cordão côncavo		
	Cordão convexo		

• Solda Topo a Topo sem Chanfro

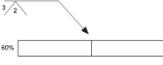
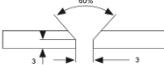
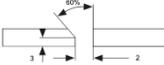
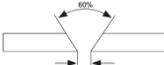
São indicados (em mm.) a distância entre as duas chapas a soldar no meio do símbolo.

Símbolo	Preparação	Solda acabada
		
		
		

• Solda Topo a Topo com Chanfro

São indicados:

- O afastamento (no meio do símbolo)
- A abertura do chanfro (no meio do símbolo)
- O nariz e a penetração (à esquerda do símbolo)

Símbolo	Preparação	Solda acabada
		
		
		

ROSCAS E PARAFUSOS: JUNÇÕES POR MEIO DE PARAFUSOS

Utilização:

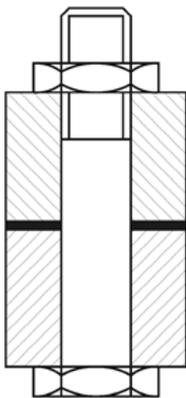
- Para fixação de junções desmontáveis
- Para protensão de tensores
- Para tampas artificiais (obturadores)
- Para ajustagem (compensa desgaste)
- Para-se obter deslocados mínimos (micrômetro)
- Para transmitir força (morsa).

Fabricação:

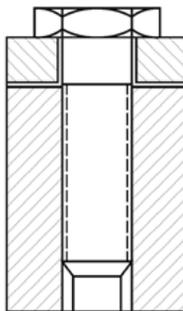
- Conformação plástica
- Usinagem.

Nota: Todas as junções cujos parafusos estejam sujeitos a carga dinâmica ou vibrações requerem dispositivos de segurança contra o afrouxamento das respectivas porcas.

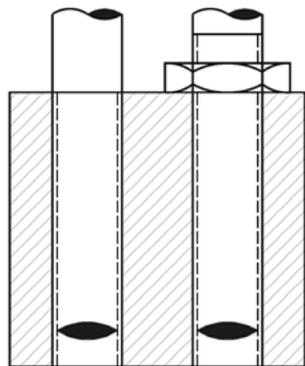
Junções por meio de parafusos:



Passante



Simples



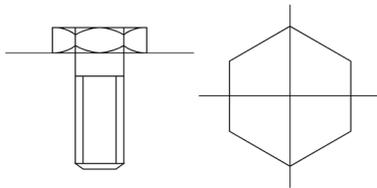
Prisioneiro

12.1. CLASSIFICAÇÃO DOS PARAFUSOS

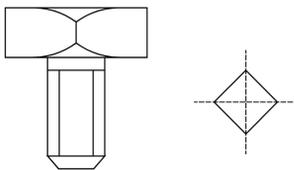
- Pela cabeça
- Pela rosca.

Classificação dos parafusos segundo sua cabeça:

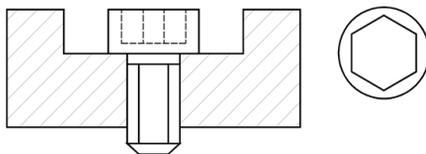
- Sextavada (para grandes momentos de torção)



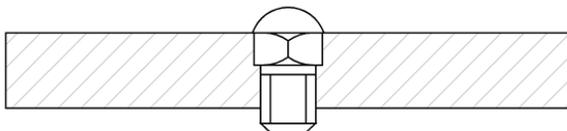
- Quadrada (para apertar com força e com frequência, resiste ao abuso de chaves não apropriadas)



- 3) Allen (para embutir a cabeça)

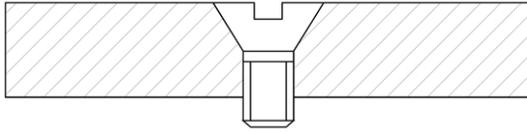


- 4) Francês (para peças de madeira ou metais dúcteis)

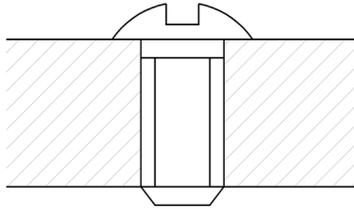


5) Com fenda (devem ser evitadas para frequentes apertos e desapertos)

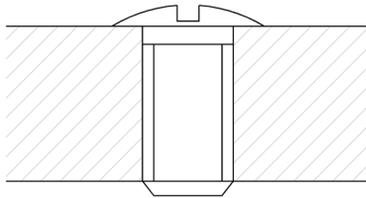
a) Cabeça Chata



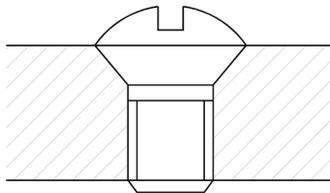
b) Cabeça redonda



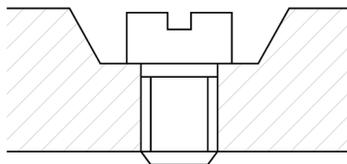
c) Cabeça oval



d) Cabeça lentilha (aparelhos elétricos)



e) Cabeça cilíndrica



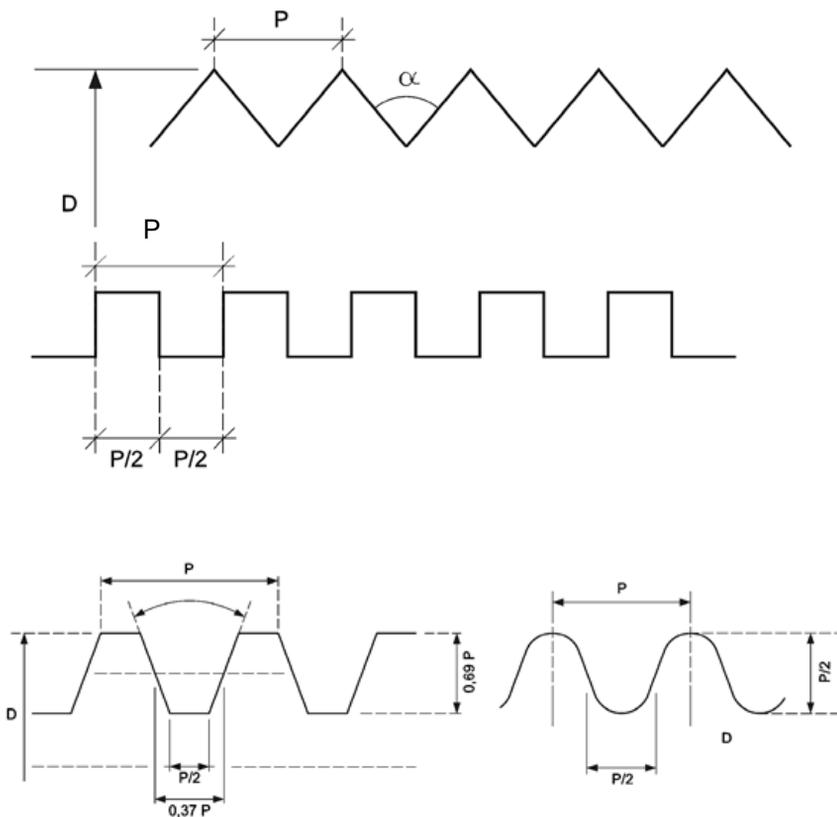
Outros:

- Philips: para momentos mais elevados que o de fenda
- Borboleta: dispensa chaves

Roscas:

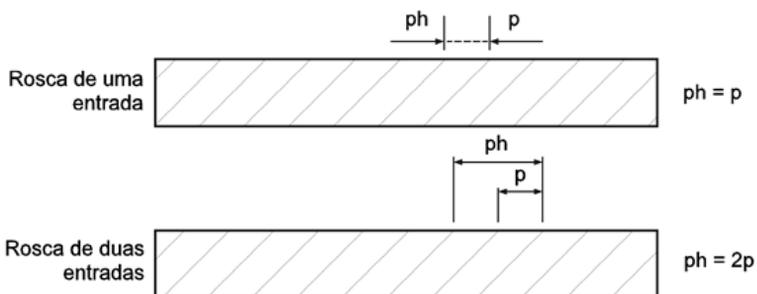
Classificação dos parafusos e rosca:

- a - triangular
- b - quadrada
- c - trapezoidal
- d - semicircular



Nota: Rosca com mais de uma entrada: quando dois ou mais filetes são abertos no espaço correspondente a um passo pela distensão da helicóide.

Avanço: espaço percorrido pela porca em uma volta completa sobre o parafuso (ou vice versa).



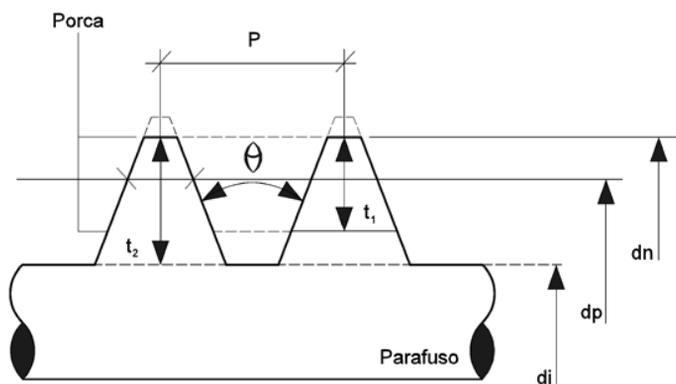
12.2. SISTEMAS DE ROSCA PADRONIZADAS: (as mais utilizadas em máquinas agrícolas)

1. Unificada e Americana
2. Métrica
3. Whitworth

• Unificada e Americana

O sistema "Unificado" leva em conta um acordo entre os Estados Unidos, Canadá e Inglaterra, diferindo do "Americano" geralmente nas tolerâncias, sendo intercambiável. A crista da rosca externa pode ser chanfrada ou arredondada. Os valores característicos são expressos em polegadas e o passo em f.p.p.

Roscas Terminologia



dn = diâmetro nominal

dp = diâmetro primitivo

di = diâmetro do núcleo (diâmetro interno)

t1 = profundidade útil

t2 = altura do filete

θ = ângulo do filete

Classificação da rosca:

- Quanto ao tipo:
 - rosca de fixação
 - rosca de movimento
 - rosca de tubulação
 - roscas especiais

- Quanto à série:

São subdivisões dos tipos de roscas.

- Quanto à classe:
 - grosseira
 - comercial
 - precisa.

Rosca de Fixação:

1. Unificada ($\theta = 60^\circ$)
2. Métrica ($\theta = 60^\circ$)
3. Whitworth ($\theta = 55^\circ$)

• Rosca Unificada:

Séries de Rosca Unificada:

- Normal (grosseira) UNC - mais usada
- Fina → UNF - automobilística
- Extra fina → UNEF - aeronáutica

Classes de Rosca Unificada:

- Qualidade 1 = grosseira
- Qualidade 2 = comercial
- Qualidade 3 = precisa

Exemplos:

1/4" - 20 UNC - 2A: significa, 1/4" de diâmetro nominal, 20 fios por polegada, unificada normal, comercial e externa

1/4" - 28 UNF - 2A

1/4" - 32 UNEF - 2A

Obs.: A = rosca externa

B = rosca interna

RE = rosca esquerda. Sem este sufixo, sabe-se que a rosca é direita

• **Rosca Métrica:**

Série de Rosca Métrica:

- Básica (normal) (M)

- Fina (M + passo)

Classes de Rosca Métrica:

- Qualidade g = grosseira

- Qualidade m = comercial

- Qualidade f = precisa

Exemplo:

M 80 - Rosca Métrica Normal (grossa) em diâmetro nominal de 80mm

M 80 x 1,5 - significa Rosca Métrica Fina em diâmetro nominal de 80 mm com passo de 1,5 mm

• **Rosca Whitworth:**

Série de Rosca Whitworth:

- Básica (normal) - (W) ou (BSW)

- Fina - (W + passo) ou (BSF)

Classes de Rosca Whitworth:

- Grosseira 1

- Média 2

- Fina 3

Exemplos:

W2 - Rosca Whitworth Normal (grossa) em diâmetro nominal 2 polegadas

W99 x 1/4" - Rosca Whitworth Fina com passo de 1/4" e diâmetro nominal 99 mm

16 G 3/8" - Rosca Whitworth em diâmetro nominal 3/8" com 16 f.p.p.

30 G - Rosca Whitworth com 30 f.p.p.

Rosca de Movimento

Métrica Trapezoidal

Métrica Dente de Serra

Americana Acme
Americana Dente de Serra
Rosca Quadrada

Rosca de Tubulação:

Americana (cônica)
Whitworth Gás (cônica)

Especiais:

Exemplos:

Série 8 : rosca com 8 f.p.p. p/ parafusos de flanges de tubulações de alta pressão.

Série 12 : usada em calderaria.

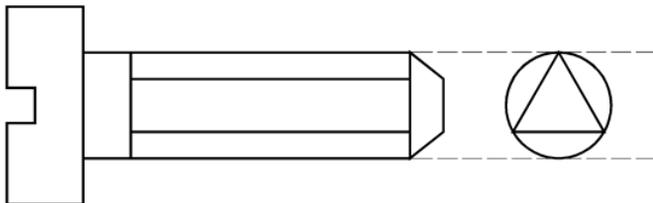
Série 16 : para porcas de fixação de rolamentos.

Parafuso Trilobular

* Métrico : ABNT - NB - 97; DIN - 13; ISO - 965

* Polegada : ANSI - B1 - 1

O parafuso é aplicado em furo liso sem rosca, laminando a rosca na contra-peça. É autotravante.



* No furo do trilobular podem ser colocados parafusos comuns (M2 - M12), pois são intercambiáveis.

Materiais:

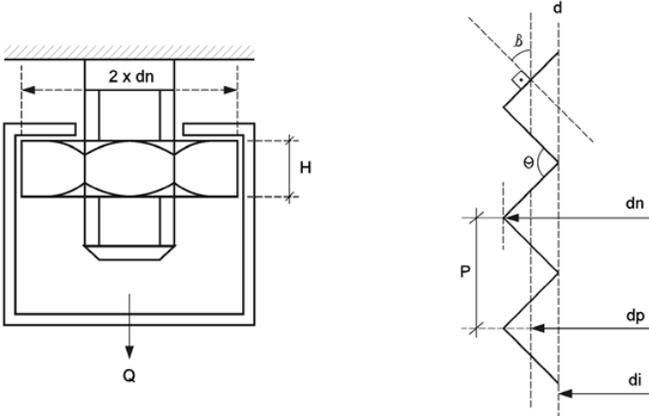
Regulamentados pela Norma DIN 267.

Os fatores que influem na escolha do material para parafuso são:

1. Propriedades mecânicas (σ_t , σ_e)
2. Processo de fabricação
3. Tratamento térmico
4. Disponibilidade / custo

- Materiais mais utilizados:
 - Aços carbonos - 1006 → 1045 (1020 + utilizado)
 - Aço manganês - mais resistentes que anterior
 - Aço cromo-níquel - para grandes solicitações
 - Aço molibdênio - mais resistentes que anterior
 - Aço cromo vanádio - alta resistência à fadiga
 - Aço inox - resiste corrosão e temperaturas elevadas
 - Ligas de cobre - resistem corrosão
 - Ligas de níquel - resistem corrosão - maior que a anterior
 - Ligas de alumínio - leves, resistem corrosão

12.3. DIMENSIONAMENTO



$$\sigma_{\text{medio}} = \frac{Q \times 4}{\pi \times d_i^2} \leq \bar{\sigma}_{ad}$$

$$\bar{\sigma}_{adm} = 0,06 \sigma_{ep} / \text{carreg. estático}$$

$$\bar{\sigma}_{adm} = 1,4 \sigma_A / \text{carreg. dinâmico}$$

$$\frac{Q \times 4}{\pi \cdot N \cdot (d_n^2 - d_1^2)} \leq 350 \text{Kg/cm}^2 \quad N = n^\circ \text{ de filetes (p/aço ABTN-1020)}$$

mínimo no contato porca/parafuso

$$H \geq N \times p \text{ e } L \geq 2 \cdot dn$$

Exemplo:

Um parafuso de aço ST 34 é solicitado por esforço repetido de 6000 kg.f
Determinar a altura da porca e a rosca.

$$\frac{Q \times 4}{\pi \times d_i^2} = 1,4 \sigma_A \Rightarrow \frac{6000 \times 4}{\pi \times d_i^2} = 1,4 (17,5) \Rightarrow d_i \cong 20 \text{mm.}$$

$d_i = 20 \text{ mm} \Rightarrow$ procurar na tabela qual rosca se aproxima

\Rightarrow escolho

M24 x 1,5

$d_n = 24 \text{ mm}$

$pr = 1,5 \text{ mm}$

$d_i = 22,052 \text{ mm}$

$$\frac{Q \times 4}{\pi \cdot N \cdot (d_n^2 - d_i^2)} = 350 \Rightarrow \frac{6000 \times 4}{\pi \cdot N \cdot (24^2 - 22^2)} = \frac{350}{100} \Rightarrow N \cong 25 \text{ filetes}$$

$$\Rightarrow H \cong 40 \text{ mm} \quad (H = N \times pr) \quad \text{e} \quad L = 48 \text{ mm} \quad (L = 2 \times d_n)$$

Rosca Métrica

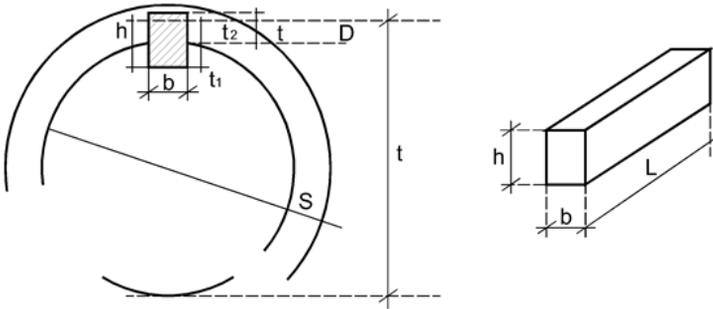
(NORMAL)			(FINA)			Extra fina		
Designação	Passo	Diâmetro do núcleo	Designação	Diâmetro do Núcleo	Designação	Diâmetro do Núcleo	Designação	Diâmetro do núcleo
M 0,3	0,075	0,202						
M 0,4	0,1	0,270						
M 0,5	0,125	0,338						
M 0,6	0,15	0,406						
M 0,8	0,2	0,540						
M 1	0,25	0,676						
M 1,2	0,3	0,876						
M 1,4	0,35	1,010						
M 1,7	0,4	1,246						
M 2	0,4	1,480						
M 2,3	0,45	1,700					M 2 X 0,25	1,676
M 2,6	0,5	2,016					M 2,3 X 0,25	1,976
M 3	0,6	2,350					M 2,6 X 0,35	2,146
M 3,5	0,7	2,720					M 3 X 0,35	2,546
M 4	0,8	3,090						
M 5	1	3,960					M 4 X 0,5	3,350
M 6	1,25	4,700					M 5 X 0,5	4,350
M 8	1,5	6,376					M 6 X 0,5	5,350
M 10	1,75	8,052					M 8 X 1	6,700
M 12	2	9,726					M 10 X 1	8,700
M 14	2	11,402					M 12 X 1,5	10,052
M 16	2,5	13,402					M 14 X 1,5	12,052
M 18	2,5	14,752	M 18 X 2	15,402			M 16 X 1,5	14,052
M 20	2,5	16,752	M 20 X 2	17,402			M 18 X 1,5	16,052
M 22	3	18,752	M 22 X 2	19,402			M 20 X 1,5	18,052
M 24	3	20,102	M 24 X 2	21,402			M 22 X 1,5	20,052
M 27	3,5	23,102	M 27 X 2	24,402			M 24 X 1,5	22,052
M 30	3,5	25,454	M 30 X 2	27,402			M 26 X 1,5	24,052
M 33	3,5	28,454	M 33 X 2	30,402			M 27 X 1,5	25,052
							M 28 X 1,5	26,052
							M 30 X 1,5	28,052
							M 32 X 1,5	30,052
							M 33 X 1,5	31,052
							M 35 X 1,5	33,052

continua...

continuação.

M 36	4	30.804	M 36 X 3	32.102	M 36 X 2	33.402	M 36 X 1.5	34.052
							M 38 X 1.5	36.052
M 39	4	33.804	M 39 X 3	35.102	M 39 X 2	36.402	M 39 X 1.5	37.052
							M 40 X 1.5	38.052
M 42	4.5	36.154	M 42 X 3	38.102	M 42 X 2	39.402	M 42 X 1.5	40.052
M 45	4.5	39.154	M 46 X 3	41.102	M 45 X 2	42.402	M 45 X 1.5	43.052
M 48	5	41.504	M 46 X 2	44.102	M 48 X 2	45.402	M 48 X 1.5	46.052
			M 52 X 3	48.102	M 52 X 2	49.402	M 50 X 1.5	48.052
							M 52 X 1.5	50.052
							M 55 X 1.5	53.052
			M 56 X 4	50.804	M 56 X 2	53.402		
					M 58 X 2	55.402	M 58 X 1.5	56.056
			M 60 X 4	54.804	M 60 X 2	57.402	M 60 X 1.5	58.052
							M 62 X 1.5	60.052
			M 64 X 4	58.804	M 64 X 2	61.402		
							M 65 X 1.5	63.052
			M 68 X 4	62.804	M 68 X 2	65.402	M 68 X 1.5	66.052
							M 70 X 1.5	68.052
			M 72 X 4	66.804	M 72 X 2	69.402	M 72 X 1.5	70.052
							M 75 X 1.5	73.052
			M 76 X 4	70.804	M 76 X 2	73.402		
			M 80 X 4	74.804	M 80 X 2	77.402		
			M 85 X 4	79.804	M 85 X 2	82.402		
			M 90 X 4	84.804	M 90 X 2	87.402		
			M 95 X 4	89.804	M 95 X 2	92.402		
			M 100 X 4	94.804	M 100 X 2	97.402		
			M 105 X 4	99.804	M 105 X 2	102.402		
			M 110 X 4	104.804	M 110 X 2	107.402		
			M 115 X 4	109.804	M 115 X 2	112.402		
			M 120 X 4	114.804	M 120 X 2	117.402		
			M 125 X 4	119.804	M 125 X 2	122.402		
			M 130 X 5	122.206	M 130 X 3	126.102		
			M 140 X 6	132.206	M 140 X 3	136.102		
			Atê		Atê			
			M 300 x 6	292.206	M 300 X 3	296.102		

CHAVETAS



D = Diâmetro do eixo

b = Largura da chaveta

h = Altura da chaveta

t_1 = Profundidade do rasgo da chaveta no eixo

t_2 = Altura da chaveta dentro do cubo

t = Profundidade do rasgo da chaveta no cubo

L = Comprimento da chaveta

S = Espessura do cubo

Materiais para chavetas

SAE = 1020

SAE = 1022

SAE = 1030

Coeficiente de Segurança: 5 - 7

Dimensionamento:

$$F = \frac{2Mt}{D}$$

Mt = torque no eixo da chaveta

D = diâmetro do eixo

I. Cisalhamento da chaveta:

$$L_{\text{ciz}} = \frac{2 Mt}{\tau_{\text{adm}} \times D \times b}$$

L para que não exista cisalhamento da chaveta
 $\tau_{\text{adm}} = 0,8 \sigma_{\text{adm}}$
 (material da chaveta)

II. Esmagamento do cubo:

$$L_{\text{cubo}} = \frac{2Mt}{(\sigma_{\text{esm}})_{\text{cubo}} \times t_2 \times D}$$

L para que não exista esmagamento do cubo
 $\sigma_{\text{esm}} = 1,5 \sigma_{\text{adm}}$
 (material do cubo)

III. Esmagamento do eixo:

$$L_{\text{eixo}} = \frac{2Mt}{(\sigma_{\text{esm}})_{\text{eixo}} \times t_1 \times D}$$

L para que não exista esmagamento do eixo
 $\sigma_{\text{esm}} = 1,5 \sigma_{\text{adm}}$
 (material do eixo)

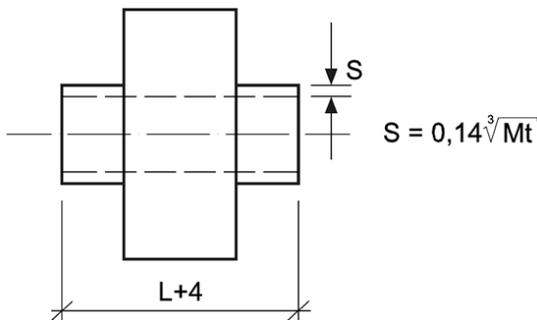
IV. Esmagamento das chavetas

$$L_{\text{ch}} = \frac{2Mt}{\sigma_{\text{admch}} \times D \times t_1}$$

L para que não exista esmagamento da chaveta
 $\sigma_{\text{admch}} = 1,5 \sigma_{\text{ch}}$
 (material da chaveta)

Escolhe-se o maior L entre (L_{ciz} ; L_{cubo} ; L_{eixo} ; L_{ch})

Se $L \geq$ comprimento da engrenagem \Rightarrow necessário cubo (1+4).



Nota: Para pinhões pequenos, só se pode chavetar se:

$$\frac{D_r}{2} \geq \frac{D_{\text{eixo}}}{2} + t + 2m \frac{D_r}{2} = (\text{raio de raiz do dente da engrenagem})$$

Não dando a relação:

1. $m \leq 10$ ——— usar a engrenagem no próprio eixo

2. $m > 10$ ——— montar com interferência

No caso de necessitar afinar a extremidade do eixo é necessário verificar o d min, suportável pela resistência do material.

Designação: Chaveta “A ou B” b x h x l (DIN 6885)

d (Diâmetro do eixo)	chaveta		Rasgo	
	b x h	t ₁	t ₂	t
> 6 a 8	2 x 2	1.1	1.0	1.2
> 8 a 10	3 x 3	1.7	1.4	1.3
> 10 a 12	4 x 4	2.4	1.7	1.7
> 12 a 17	5 x 5	2.9	2.2	2.2
> 17 a 22	6 x 6	3.5	2.6	2.7
> 22 a 30	8 x 7	4.1	3.0	3.2
> 30 a 38	10 x 8	4.7	3.4	3.7
> 38 a 44	12 x 8	4.9	3.2	3.7
> 44 a 50	14 x 9	5.5	3.6	4.2
> 50 a 58	16 x 10	6.2	3.9	5.2
> 58 a 65	18 x 11	6.8	4.3	5.3
> 65 a 75	20 x 12	7.4	4.7	6.3
> 75 85	22 x 14	8.5	5.6	7.3
> 85 a 95	25 x 14	8.7	5.4	8.3
> 95 a 110	28 x 16	9.9	6.2	9.3
> 119 a 130	32 x 18	11.1	7.1	10.3
> 130 a 150	36 x 20	12.3	7.9	11.3
> 150 a 170	40 x 22	13.5	8.7	12.3
> 170 a 200	45 x 25	15.3	9.9	13.3
> 200 230	50 x 28	17	11.2	14.3
230 a 260	56 x 32	19.3	12.9	15.3
> 260 a 290	63 x 32	19.6	12.6	16.4
> 290 a 330	70 x 36	22	14.2	18.4
> 330 a 380	80 x 40	24.6	15.5	20.4
> 380 a 440	90 x 43	27.5	17.7	22.4
> 440 a 500	100 x 50	30.4	19.8	25.4

MOLAS: TEORIA

Qualquer material elástico pode se constituir numa mola desde que consiga “armazenar” energia potencial quando deformado.

Nos diferentes tipos de molas existentes procura-se exatamente aperfeiçoar essa possibilidade.

Tipos de Molas

- Mola de barra de flexão
- Mola em feixe de lâminas de flexão (feixe-de-molas)
- Mola helicoidal de flexão
- Mola espiral plana
- Mola de prato
- Mola de barra de torção
- Molas helicoidais cilíndricas (mola comum)
- Molas de borracha
- Mola pneumática

Em maquinaria agrícola, a mola comum a tração e/ou compressão e o feixe-de-molas são mais utilizados e assim serão objetos de estudo mais detalhados posteriormente.

Funções:

- Armazenar energia potencial
- Amortecer choques
- Distribuir cargas
- Limitar esforços (válvulas) e peneiras vibratórias.

Características dos Materiais de Molas

Os materiais devem ter elevada resistência (elevado escoamento) para evitar fadiga e “arriamento”. Dessa forma empregam-se aços especiais temperados e revenidos.

→ Rendimento: relação $\frac{\text{Energia devolvida (ED)}}{\text{Energia absorvida (EA)}}$

→ Amortecimento: relação $\frac{E.A - E.D}{E.A + E.D}$

14.1. MOLAS HELICOIDAIS CILÍNDRICAS E FEIXE-DE-MOLAS

Materiais:

- Condições: isentos de imperfeições internas e/ou externas: riscos, rugosidades, falhas, decarbonetação, corrosão.
- Materiais: - aço-carbono 0,5 a 1,2% de C
 - aços ligas
- Trabalho: - aço-carbono: $tamb \leq 150^\circ$
 - grande carregamento: cromo-vanádio
 - corrosão: inox
 - altas temperaturas: iconel (Ni, Cr, Fe)

Fabricação:

- a partir de material recozido e após, temperar e revenir
- a partir de material já endurecido e após, revenir
- ao natural: para pequenas cargas, desde que tenha elevado escoamento para evitar arriamento

Obs: Arriamento de mola é o nome popular do fenômeno de histerese.

1. Constante da mola (ou rigidez) (k)

$$F = K x$$

2. Flexibilidade (δ)

$$\delta = 1/k$$

3. Associação:

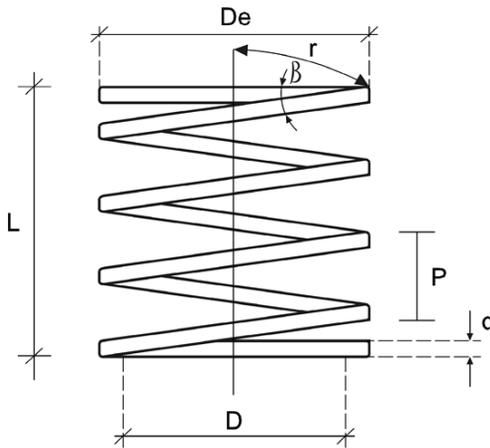
• Série $X = \frac{F}{k_1} + \frac{F}{k_2}$

$$\frac{1}{k_e} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$$

• Paralelo: $X = X_1 = X_2$

$$k_e = K_1 + K_2$$

Molas Cilíndricas Helicoidais a Tração e/ou Compressão:



Equacionamento para Molas Helicoidais Cilíndricas

$$L = Z \cdot p + d \text{ Comprimento da mola}$$

$$p = d + f_1 + \Delta \text{ Passo da mola}$$

$f_1 = f/z$ Flecha unitária, sendo f a flecha ou deformação total máxima

$$C = \frac{\pi \cdot D \cdot z}{\text{sen} \gamma} \text{ Comprimento do arame}$$

$D_e = D + d$ (Diâmetro Externo Nominal), sendo D o diâmetro primitivo da mola

$$\zeta_{\max} = \frac{8 \cdot k' \cdot F \cdot i}{\pi d^2} \text{ Tensão de cisalhamento, sendo } i \text{ o índice de mola}$$

$$K' = \frac{4i - 1}{4i - 4} + \frac{0,615}{i} \text{ Fator de Mola ou Fator de Wahl}$$

$$D = d \cdot i \text{ (diâmetro do arame para mola)}$$

Verificar sempre:

$$L \leq 5 \cdot D \text{ (p/ não existir flambagem:)}$$

Exemplo:

Dimensionar uma mola helicoidal cilíndrica para compressão.

São conhecidos:

Carga máxima = 9,5 kgf

Deformação máxima = 25 mm

ζ (aço) = 37 kgf/mm²

G(aço) = 8.100 kgf/mm²

Solução: Adotar “i”, índice de mola, para iniciar o dimensionamento.

Usualmente ($7 \leq i \leq 10$).

Quando a mola estiver dimensionada, a verificação da flambagem ($L \leq 5 \cdot D$) mostrará se “i” foi bem adotado ou não.

Seja $i = 7$, então:

• $k' = 1,2$ (fator de mola ou fator de Wahl)

$$\bullet d = \sqrt{\frac{8 \cdot k' \cdot F \cdot i}{\pi \cdot \delta}} \cong 2,5 \text{ mm} \quad (\text{diâmetro do arame da mola})$$

• $D = 17,5$ mm (diâmetro primitivo da mola)

• $D_e = 20$ mm (diâmetro externo da mola)

• $Z = 19,5$ espiras (nº de espiras que comporão a mola)

• $p = d + f_1 + \Delta$, passo da mola.

Este coeficiente “ Δ ”, é um valor em milímetros que é adotado para evitar que a mola se transforme numa coluna rígida quando for submetido à carga máxima.

Se a mola for a tração então $\Delta = \text{Zero}$.

Seja $\Delta = 0,718$ mm, então $p = 4,5$ mm.

• $L = 90,25$ mm (comprimento da mola)

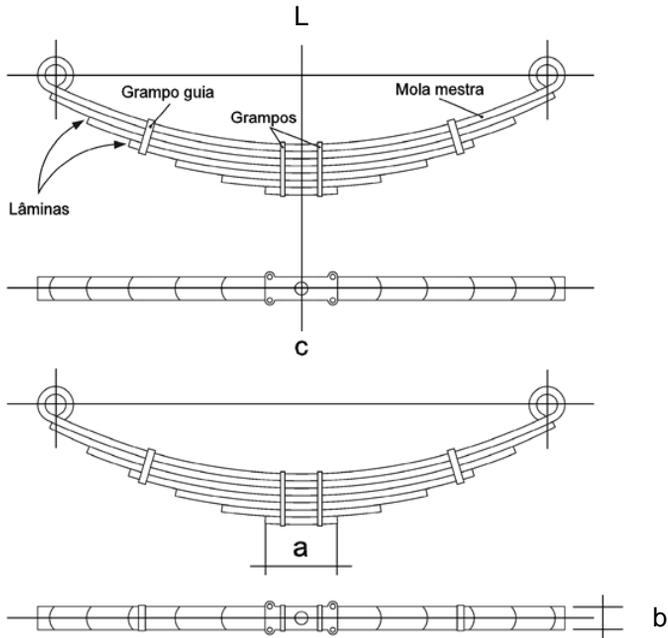
• $C = 1073$ mm (comprimento do arame da mola $p / \sin \gamma = 1$)

• Verificação da flambagem $L \leq 5 \cdot D$

• $L = 90,25$ mm

$5 D = 87,50$ mm

Portanto, haverá flambagem. Apoiar a mola ou aumentar o “i” inicial.

Feixe-de-Molas:**Feixe de Molas:**

Projetar um feixe de molas biarticulado com

- carga 500 kgf (F)
- vão 1,40 m (L)
- estribo 100 mm (a)
- $\bar{\sigma}$ = (tensão admissível) = 28 kgf/mm²
- flecha = 30 mm (f)
- E = 21 x 10³ kgf/mm²

Solução:

$$\text{Resistência dos materiais } f = \frac{\sigma L^2}{3 E h}$$

$$h = \frac{\bar{\sigma} L^2}{3 E f} = \frac{(28) (1300)^2}{(3) (21 \times 10^3) (30)} = 25 \text{ mm somatório das espessuras das lâminas}$$

$$\text{Resistência dos materiais: } \sigma = \frac{3FL}{2bh^2}$$

$$b = \frac{3FL}{2\sigma h^2} = \frac{3 \times 500 \times 1300}{2 \times 28 \times 25^2} = 56 \text{mm (largura das lâminas)}$$

O comprimento de cada lâmina pode ser dado pela equação:

$$C_i = \frac{(L-a)i}{n}, 2 \leq i \leq n, \text{ sendo "n" o número de lâminas}$$

A primeira lâmina (lâmina mestra terá comprimento $C_n = L + a$, acrescido dos olhais.

O número de lâminas será:

$$n = \frac{h}{e \text{ lâminas}}$$

e lâminas = espessura da lâmina (ver Tabelas das aciarias, em aço para molas)

CABOS DE AÇO E CORRENTES

São fios de aço que formam as pernas e as pernas formam os cabos propriamente ditos.

Os fios de aço têm resistência à tração que varia de 60 a 230 kgf/mm² e grande capacidade de resistência à fadiga e abrasão.

O interior do cabo de aço pode ser de fibra (A.F.), pode ser de aço (A.A) ou pode ser também um outro cabo diferente (AACI).

O cabo A.F. é mais flexível e a fibra pode ser sisal, rami ou polipropileno. O cabo A.A. é mais resistente à tração, porém mais rígido.

Constituição:

Exemplo: cabo 6x7 A.F. = cabo de aço de seis pernas com sete fios cada perna e alma de fibra.

Classificação:

- Único ou lang
- Cruzado ou oposto

Fatores que influem na vida do cabo de aço:

- Número de flexionamentos
- Carga de tração
- Qualidade do fio
- Diâmetro da polia e tambor
- Forma e material da garganta da polia
- Lubrificação

Pré-Dimensionamento: (Estimativa de diâmetro do cabo)

$$d = K \sqrt{F} \text{ [mm]}$$

K = conforme tabela abaixo

F = carga [kgf]

Nº de ciclos	K
< 6	0,28
6 - 18	0,30
18 - 30	0,32
30 - 60	0,35
> 60	0,38

Determinar um cabo de aço de uma ponte rolante p/ $F = 3.600 \text{ kgf}$ e 40 c/h

$$d = 0,35 \sqrt{3.600} = 21 \text{ mm}$$

$$d = 7/8$$

$$\text{catálogo } 27.700 ; \quad \frac{27.700 - 3.600}{3.600} = 6,7 = \gamma = \text{fator de segurança}$$

6 x 31

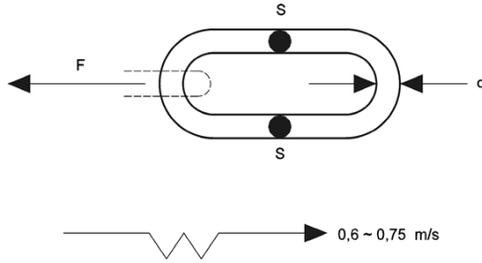
Fator de Segurança

- Cabos estáticos $\gamma = 3 - 6$
- Cabo tração horizontal $\gamma = 4 - 5$
- Guincho $\gamma = 5$
- Guindastes, escavadeiras $\gamma = 5 - 9$
- Pontes rolantes $\gamma = 6 - 8$
- Falhas elétricas $\gamma = 7$
- Elevadores de carga $\gamma = 8 - 18$
Elevadores passageiros $\gamma = 12 - 24$
- Pontes pênses $\gamma = 3 - 5$
- Teleféricos $\gamma = 5 - 7$
- Planos inclinados $\gamma = 6 - 9$
- Extração em minas $\gamma = 8 - 12$

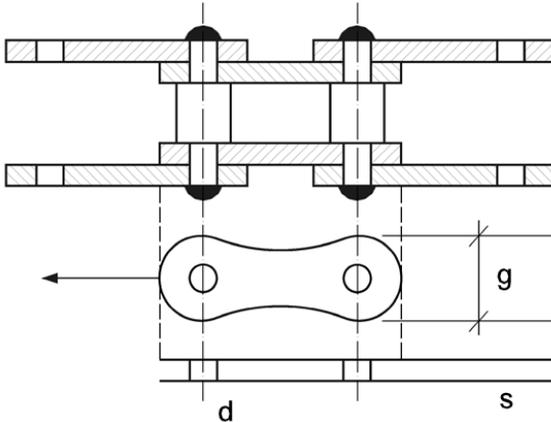
Correntes

- Corrente de Elos:

$$\frac{F}{2.5} \leq 6 \text{ kgf/mm}^2$$



• Corrente Galle:



$$\frac{F}{Z(g-d)s} \leq 8 \text{ kgf/mm}^2$$

$$\frac{F}{Zd.s} \leq 10 \text{ kgf/mm}^2, \quad \zeta \leq 1/10$$

Tipos de Correntes de Aço Redondo

1. Corrente comercial: não há exigência de qualidade
2. Corrente de qualidade: há exigência de qualidade

- As correntes de qualidade são usadas:
 - suspensão de cargas
 - silvicultura

- transporte
- navios

• As correntes de qualidade foram definidas por categoria, pela norma DIN, da seguinte maneira:

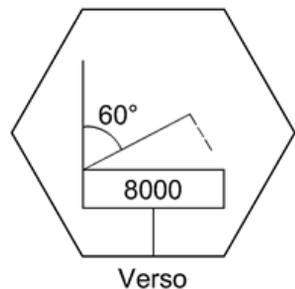
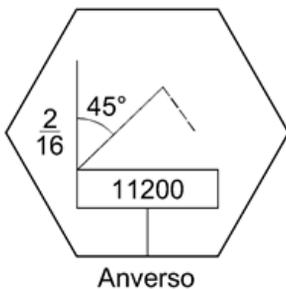
Categoria 2 → qualidade normal (recozida)

Categoria 3 → qualidade beneficiada (temperada)

Categoria 5, 6, 8 → alta resistência (temperada e revenida)

Uma corrente é qualificada como categoria 8 quando apresentar $\sigma_{r_{\min}} = 800 \text{ N/mm}^2$.

• As correntes de suspensão de cargas vêm acompanhadas de uma placa.



2 = quantidade de ramais, também H2 ou R2

16 = bitola (d [mm])

11200 kgl = carga para 45°

8000 kgl = carga para 60°

TOLERÂNCIA E AJUSTAGEM MECÂNICA

16.1. INTRODUÇÃO

Se solicitarmos a um torneiro mecânico que usine um eixo com 30 mm de diâmetro, por melhor que seja o operário e/ou a máquina, dificilmente ele conseguirá obter esses 30 mm exatamente. Se avaliarmos o diâmetro dessa peça com um aparelho de precisão, encontraremos 30,10 ou 29,85 ou 30,07 etc.

Se após 10 tentativas por exemplo, ele conseguir os 30 mm exatos, então se eu necessitar de 1.000 eixos iguais, o torneiro provavelmente usinará 10.000 eixos para aproveitar 1.000. Será um grande prejuízo!!!

Mas se eu permitir uma faixa de variação da medida t.q. qualquer peça com a medida dentro dessa faixa tenha seu ajuste garantido, então o problema de usinagem fica bem mais fácil, a taxa de refugo será mínima e o funcionamento garantido em qualquer parte do mundo.

Este é o primeiro passo para o “Controle de Qualidade Total de Fabricação e Funcionamento” em máquinas e implementos agrícolas.

Dimensão Nominal (N)

Por exemplo, os 30 mm acima citado.

Dimensão Real (I)

É a medida realmente encontrada, como por exemplo 30,10 mm acima citados.

Medida Limite (G, K)

São as dimensões máximas e as mínimas da faixa acima citada isto é, o valor máximo e mínimo de I.

Exemplo: Medida máxima 30,10 mm (G)

Medida mínima 29,85 mm (K)

Diferenças ou Afastamentos (Ao, Au)

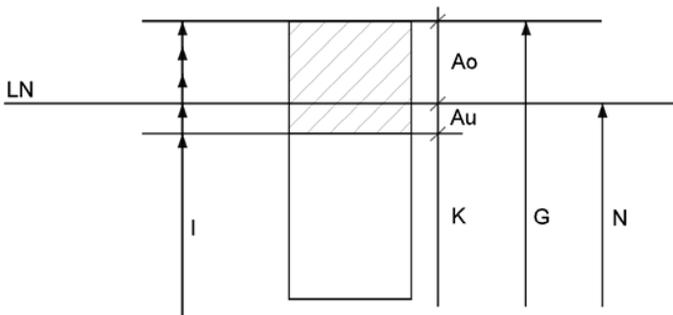
Definição: Diferença Superior $A_o = G - N$

Diferença Inferior $A_u = K - N$

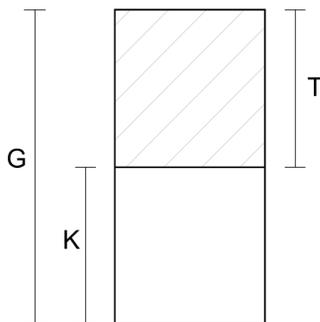
(*) Nota A_o e A_u e" < 0 dependendo dos valores de G, N e K.

Linha Zero

Representa uma linha teórica que define N
Também chamado por isso, Linha Nominal (L.N.)



Tolerância de Medida (T)



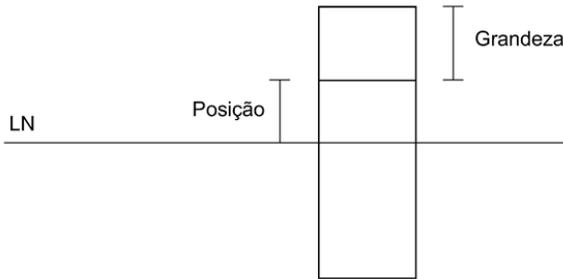
Exemplo: Medida máxima $G = 30,10$ mm
Medida mínima $K = 29,85$ mm

$$T = 30,10 - 29,85$$

$$T = 0,25$$
 mm

Zona de Tolerância

É a zona compreendida entre as dimensões máxima e mínima.
Essa zona define graficamente a Tolerância em grandeza e posição.



A posição da zona tolerada em relação a L.N. é designada por letras maiúsculas se for dimensão de furo ou minúsculas se dimensões de eixos.

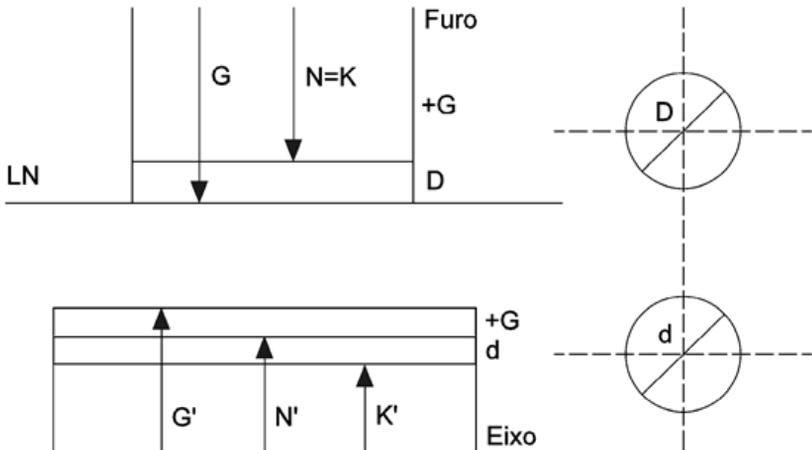
Essa “posição” é que dará o grau de folga, interferência ou indeterminância do ajuste, conforme veremos nos próximos itens.

A “grandeza” da tolerância depende das dimensões N e é representada por números de 01 a 16.

Posição e Grandeza estão normalizadas pela ISO.

Tolerância com “Furo Base”

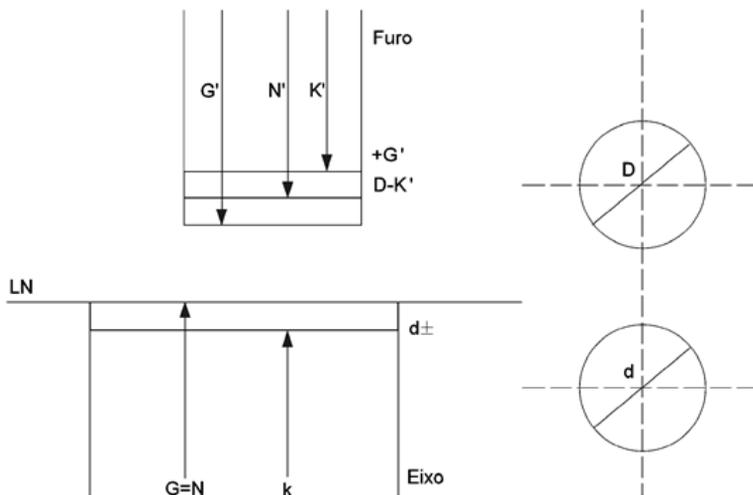
Quando a dimensão real do furo tem G um valor qualquer e $K = N \cdot t \cdot q \cdot A_u = 0$ o sistema de ajuste é chamado Furo Base.



No sistema furo base a primeira letra do ajuste é sempre “H”.

Tolerância com “Eixo Base”

Quando a dimensão do eixo tem um K qualquer e $G = N$ t.q. $A_0 = 0$ o sistema de ajuste é chamado Eixo Base.



No sistema eixo base a segunda letra do ajuste é sempre “h”.

Notas I. No caso de um ajuste $H_x h_y$ é necessário especificar, à parte, o que é base.

II. O sistema furo base é o sistema normalmente adotado para todos os acoplamentos entre eixos, polias, engrenagens pelo fato de ser mais fácil usinar-se o eixo do que o furo.

III. O sistema eixo base é útil principalmente no ajuste entre capa externa de rolamento e seu assento.

Esse sistema é também muito utilizado quando do ajuste entre buchas compradas prontas e furos de polia, engrenagem etc.

16.2. ESTUDO DE JOGOS E INTERFERÊNCIA

Num ajuste como por exemplo eixo-furo, a diferença entre a medida interior da peça exterior e a medida exterior da peça interior é chamada “Jogo”.

É necessário que a medida real da peça exterior seja maior que a medida real da peça interior.

Jogo Máximo S_g

Exemplo: Furo $\phi = 30 \begin{smallmatrix} +0,15 \\ -0,00 \end{smallmatrix}$

Eixo $\phi = 29 \begin{smallmatrix} +0,25 \\ +0,05 \end{smallmatrix}$

Medida máxima da peça exterior = 30,15

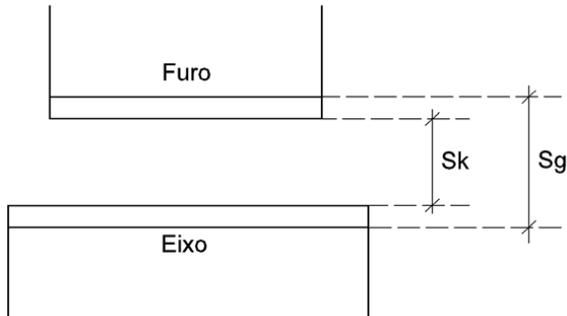
Medida mínima da peça interior = $\frac{-29,05}{0,110} = S_g = 01,10$

Jogo Mínimo S_k

Medida mínima da peça exterior = 30,00

Medida máxima da peça interior = $\frac{29,25}{0,075} = S_k = 00,75$

Graficamente:



Quando a medida real da peça exterior é menor que a medida real da peça interior, temos a chamada Interferência.

Interferência Máxima U_g

Exemplo: Furo $F = 29 \begin{smallmatrix} +0,15 \\ -0 \end{smallmatrix}$

Eixo $E = 29,5 \begin{smallmatrix} +0,05 \\ +0,01 \end{smallmatrix}$

Medida máxima da peça interior = 29,55 = U_g

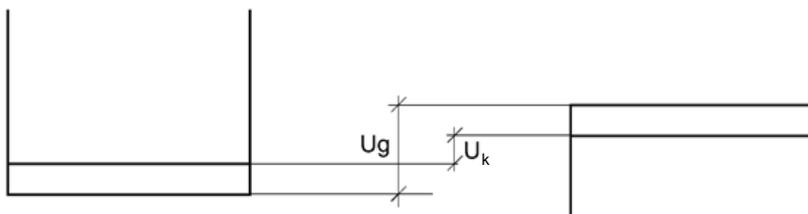
Medida mínima da peça exterior = 29,00 = $U_G = 00,55$

Interferência Mínima U_k

Medida mínima da peça interior = 29,51

Medida máxima da peça exterior = 29,15 = $U_k = 00,36$

Graficamente:



16.3. CLASSES DE AJUSTES

Ajuste Móvel

Quando após o acoplamento existe jogo entre as peças.

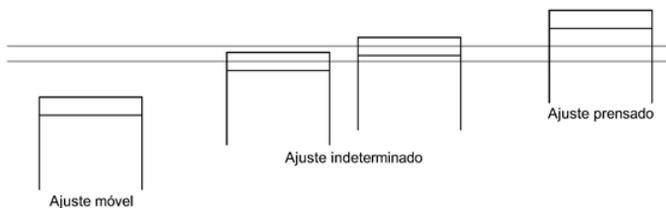
Inclui-se $S_k = 0$

Ajuste Prensado

Quando após o acoplamento existe pressão devido a interferência de uma peça na outra.

Inclui-se $U_k = 0$

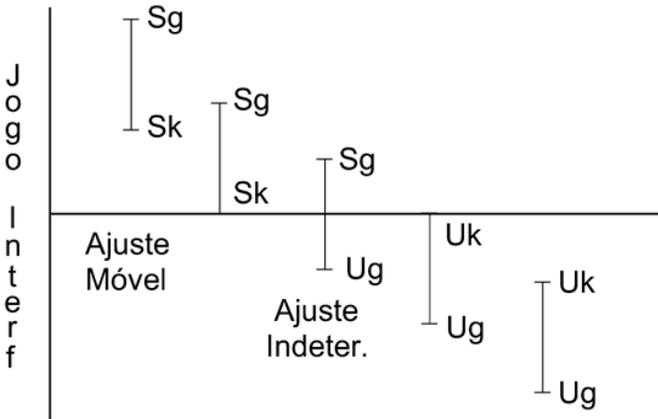
Graficamente:



Ajuste Indeterminado

Quando após o acoplamento existir jogo ou interferência.

Resumo:



Na prática não existe folga nem interferência exatamente zero, pois não se consegue medida exata.

Folga ou interferência zero seria o caso de acoplar um eixo de $f\ 30\text{ mm}$ num furo $F\ 30\text{ mm}$ e isso é quase impossível pelas razões já explicadas.

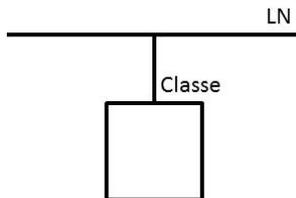
16.3.1. Ajuste ISO - ABNT (Instrument Society of América) (Associação Brasileira de Normas Técnicas)

Qualidade de Trabalho

Define a amplitude de uma zona tolerada. Representado por números de 01 a 16, (01, 0, 1, 2, 3,... 14, 15, 16).

Classe de Ajuste

Define a posição da zona tolerada em relação a L.N. É representada por letras maiúsculas (furos) e minúsculas (eixos).



Qualidade Fundamental

$i = 0,45 \sqrt[3]{D} + 0,001 D$ [μ] também representado por IT 01

D = Média Geométrica entre D_G e D_K [mm]

i = Significa a menor amplitude da zona tolerada que se pode ter dentro de um intervalo de medida. Serve de referencial para qualidade de fabricação.

D_G e D_K = extremos superior e inferior dos intervalos de medida normalizados. Os intervalos de medidas ou grupos de medidas normalizados (M) para fixação de Tolerância são:

$$D_K < M \leq D_G$$

1. $1 < M \leq 3$
2. $3 < M \leq 6$
3. $6 < M \leq 10$
4. $10 < M \leq 18$
5. $18 < M \leq 30$
6. $30 < M \leq 50$
7. $50 < M \leq 80$
8. $80 < M \leq 120$
9. $120 < M \leq 180$
10. $180 < M \leq 250$
11. $250 < M \leq 315$
12. $315 < M \leq 400$
13. $400 < M \leq 500$

Existem 18 qualidades de fabricação identificadas e obtidas por:

IT 01 $\cong i$

IT 0 a IT 4 = interpolação entre IT 01 e IT 5

IT 00 = $1,5 i$

IT 1 = $2,5 i$

- IT 2 = 4,0 i
- IT 3 = 5,0 i
- IT 4 = 6,0 i
- IT 5 = 7,0i
- IT 6 = 10 i
- IT 7 = 16 i
- IT 8 = 25 i
- IT 9 = 40 i
- IT 10 = 64 i
- IT 11 = 100 i
- IT 12 = 160 i
- IT 13 = 250 i
- IT 14 = 400 i
- IT 15 = 640 i
- IT 16 = 1000 i

Exemplo I - Qual é a tolerância no intervalo $6 < M \leq 10$ para IT 6

Para $6 < M \leq 10$ e IT 6,

$i = 0,9$; IT 6 = $10i = 9\mu$

Obs: IT 01 = $0,9 \mu$

IT 16 = 900μ

Para $6 < M \leq 10$

$$\begin{aligned} \therefore \text{Ajuste classe } N_6 \rightarrow M_G = M - 7 & \rightarrow -7 - (-16) = 9 \\ M_K = M - 16 & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ajuste classe } h_6 \rightarrow M_G = M - 9 & \rightarrow -9 - 0 = -9 \\ M_K = M + 0 & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ajuste classe } H_6 \rightarrow M_G = M + 9 & \rightarrow -0 = 9 \\ M_K = M - 0 & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ajuste classe } K_6 \rightarrow M_G = M + 2 & \rightarrow 2 - (-7) = 9 \\ M_K = M - 7 & \end{aligned}$$

E assim sucessivamente para todos os Ajustes e Qualidades ($6 < M \leq 10$)

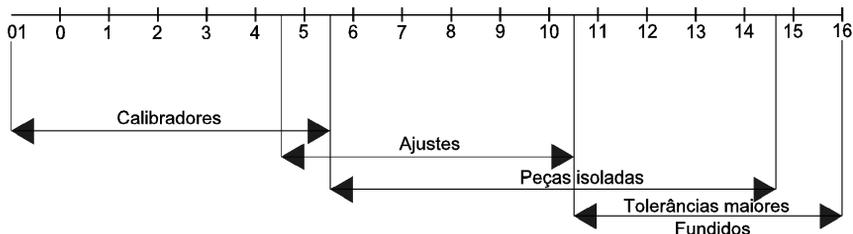
II. Quanto maior IT \rightarrow menor a qualidade da peça.

Exemplo: J_{6-4}^{+5} \rightarrow amplitude da zona tolerada 9μ

J_{7-4}^{+8} \rightarrow amplitude da zona tolerada 15μ

J_{8-10}^{+12} \rightarrow amplitude da zona tolerada 22μ

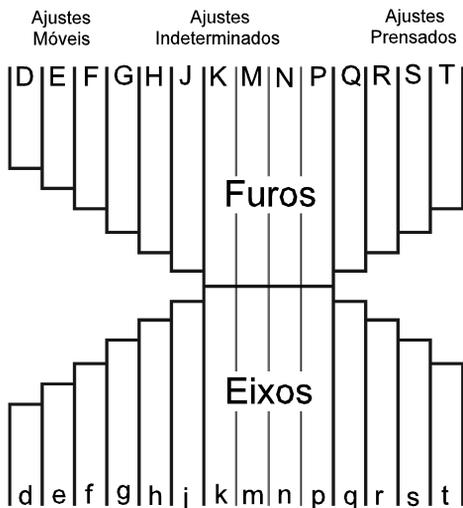
Aplicação Usual



Zonas Toleradas, Representação

Posição da Zona Tolerada: Representação por letras

- 1) Para furos: A B C D E F G H J K M N P R S T U V X Y Z
- 2) Para eixos: a b c d e f g h j k m n p r s t u v x y z
- 3) Casos especiais (NB - 86): Existem representações especiais CD, EF, FG, JS, ZA, ZB, ZD, existindo os mesmos para eixos.



Notas:

- 1) Evitar sempre que possível, ajustes mistos. Ex.: $G_6 m_7$. Deve-se sempre usar eixo ou furo base. Ex.: $H_6 m_7$, $G_6 h_7$. De preferência o furo base.
- 2) Nos ajustes com folga, tanto faz o furo ou o eixo ser base. Assim $H_7 g_6$ dá o mesmo resultado que $G_7 h_6$.

16.4. APLICAÇÃO DOS SISTEMAS DE AJUSTE

Ajustes Móveis

Os ajustes móveis são de acordo com as exigências de lubrificação. Normalmente usa-se a seguinte correspondência:

Ajuste	Qualidade
1. Nobre	- 6 para furo; 5 para eixo
2. Fino	- 7 para furo; 6 para eixo
3. Liso	- 8 e 9 para furo; 8 e 9 para eixo
4. Grosso	- 11 para furo; 11 para eixo
5. Com Jogo Grande	- 13 para furo; 13 para eixo

Dentro da gama de ajustes móveis existem 3 (três) subdivisões dadas pelas exigências:

- Ajuste Móvel sem Movimento Relativo entre as Peças (Deslizante)

- Montagem de engrenagens sobre eixos t.q. o Mt. será transmitido por chaveta ou estrias.

- Polias nas condições anteriores.

Para isso usa-se furo H eixo g ou furo G eixo h

- Ajuste Móvel com Movimento Relativo entre as Peças (Rotativo)

- Engrenagens e polias deslizantes ao longo dos eixos.

- Acoplamento com discos deslizáveis sempre em baixa rotação.

Por isso: $\begin{matrix} f & & F \\ H & e & ou h & E \\ d & & D \end{matrix}$

- Ajuste Móvel com Grande Jogo (Livre)

Quando existe aumento considerável de temperatura, t.q. modificam-se as dimensões o suficiente para alterar-se o funcionamento.

É o caso de redutores que trabalham continuamente ou a altas temperaturas.

Assim o Ajuste que parece muito folgado a temperatura ambiente, fica ideal na temperatura de trabalho.

Para isso: $\begin{matrix} a & & A \\ H & b & ou h & B \\ c & & C \end{matrix}$

Ajustes Indeterminados (Aderente Forçado Leve. Deslizante Justo)

Principalmente para montagem de rolamentos que constantemente são trocados.

Eles entram e saem sem danificar o eixo ou assento do aro externo.

k			k	
H		ou	h	→ tendência ao jogo
j			J	

Para grande precisão de giro como assento de rolamentos em máquina de alta velocidade, montagens com chaveta.

m			M	
H		ou	h	→ tendência ao aperto
n			N	

- Cubos de roda, uniões facilmente desmontáveis com lingueta de arraste. São montagens de precisão.

Ajustes Prensados (Força da Pressão com Esforço)

Quando não pode existir qualquer folga por menor que seja.
Deve-se fazer uma análise dos apertos máximos e mínimos.

Mínimo: Considerar a necessidade de transmitir esforço longitudinal e momento torçor.

Máximo: Considerar a resistência dos materiais.

Esse ajuste é usualmente empregado em:

- Prensagem de casquilhas de bronze em cubos.
- Montagem de aros externos de rolamentos sujeito a cargas alternativas pesadas.

	p			P	
	q			Q	
H	r		ou	h	R
	s			S	
	t			T	
	u			U	

Sendo "H" com "p" ou "P" com "h" as menores interferências que podemos conseguir.

16.5. MONTAGENS RECOMENDADAS

Perfis Estriados e Chavetas

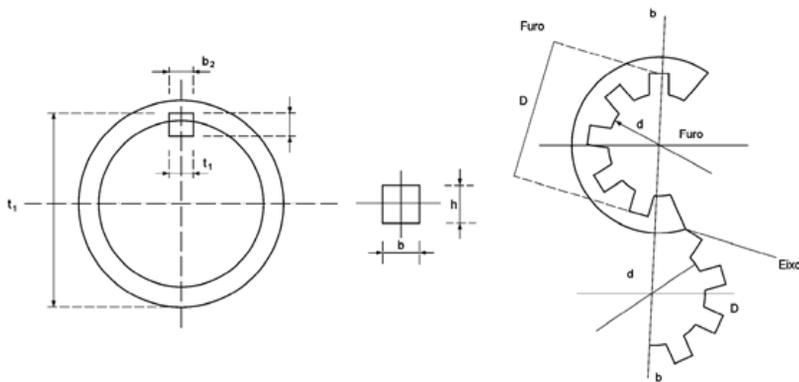
Trata-se de um dos poucos casos excepcionais em que não se usa necessariamente sistema de furo base ou eixo base para o ajuste. Usa-se um Sistema Misto.

Estriados:

Cubo	Tratamento Térmico		Não Temp. (mole)	Temperado (duro)	Temperado ou não	
	Dimensões		b	b	d	D
	Tolerância recomendada		D ₉	F ₁₀	H ₇ (H ₁₃)	H ₁₁
Eixo	Dimensões		b ₁	b ₁	d ₁	D ₁
	Centragem Interior	Eixo Móvel No Cubo	f ₉	d ₉	e ₈	a ₁₁
			h ₈	e ₈	f ₇	a ₁₁
			j ₇	f ₇	g ₆	a ₁₁
			k ₇	f ₇	g ₆	a ₁₁
	Eixo fixo No cubo		P ₆	h ₆	j ₆	a ₁₁
			S ₆	j ₆	k ₆	a ₁₁
			U ₆	k ₆	m ₆	a ₁₁
			U ₆	m ₆	m ₆	a ₁₁
	Centragem pelos Flancos	Eixo Móvel No cubo	H ₈	e ₈	n ₆	a ₁₁
J ₇			f ₇	b ₁₃	a ₁₁	
K ₇			g ₆	b ₁₃	a ₁₁	
N ₆			-	b ₁₃	a ₁₁	
Eixo Fixo No Cubo			μ ₆	k ₆	b ₁₃	a ₁₁
			m ₆	b ₁₃	a ₁₁	
			n ₆	b ₁₃	a ₁₁	

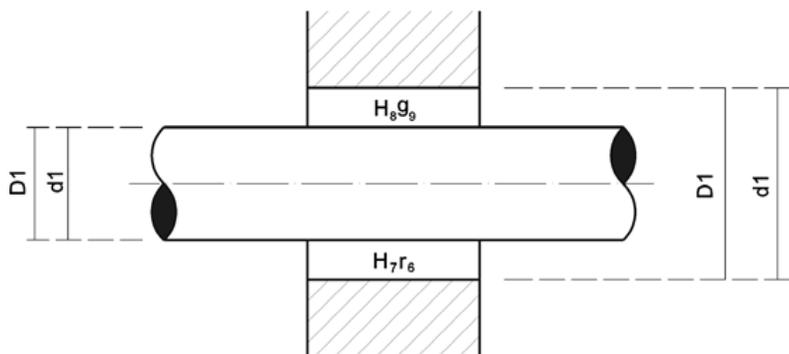
Quando o ajuste é feito pelo fundo das estrias, então os estriados transformam-se em Chavetas.

Chavetas



Nota: Grandezas exteriores são assimiláveis a eixo
Grandezas interiores são assimiláveis a furo

Buchas entre Eixo e Cubo (furo)



- D_1 = Diâmetro Interno da Bucha - H_8
- d_1 = Diâmetro Externo do Eixo - g_9
- D_2 = Diâmetro Interno do Assento - H_7
- d_2 = Diâmetro Externo da Bucha - r_6

O ajuste H_8h_9 é genérico para ser possível variar de acordo com as exigências do projeto.

Ajuste de Rolamentos

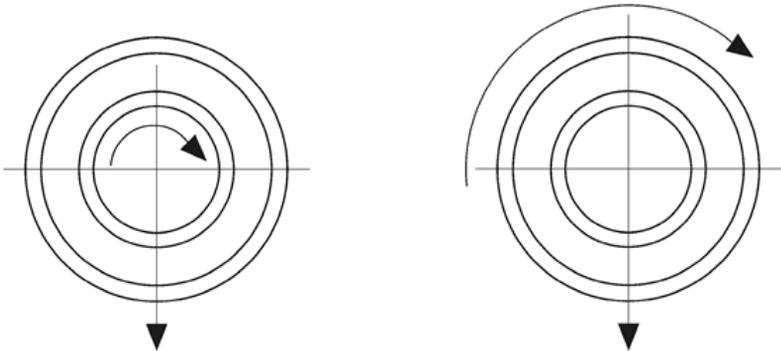
Considerar - Rotação (Natureza)
Carga (Grandeza e Natureza)
Temperatura de Regime
Usinagem do eixo e/ou assento

• Influência da Rotação na escolha do Ajuste

Quando um aro de rolamento gira com relação à direção da carga radial, o ajuste tem que ser relativamente forte para evitar-se o giro relativo entre aro interno e eixo e/ou aro externo e assento.

Esse fenômeno do giro relativo é conhecido como “Laminado” e tem que ser evitado.

Se a carga estiver sempre dirigida para um mesmo ponto do aro considerado, então não existirá perigo de ocorrer o “Laminado” o que permite adotar um ajuste mais leve.



Caso I: O aro interno gira
O aro externo está imóvel
A direção da carga não varia

Neste caso a carga é rotativa sobre o aro interno e fixa sobre o aro externo, portanto, no aro interno, um ajuste firme é necessário, enquanto que no aro externo, um ajuste solto é admissível.

Exemplo: Eixo carregado com um peso.

Caso II: O aro externo gira
O aro interno está imóvel

Neste caso a carga é rotativa sobre o aro externo e fixa sobre o aro interno, portanto, no aro externo, um ajuste firme é necessário, enquanto que no aro interno um ajuste solto é admissível.

Nota: Carga Rotativa: Não significa que a carga “rola” em torno do aro, mas sim que em cada rotação, todos os pontos da periferia do aro são submetidos uma vez à carga.

Carga Fixa: Quando ela atua sempre sobre um mesmo ponto do aro.

• **Influência da Carga**

Sob ação da carga o aro interior dilata-se, afrouxando o ajuste.

Se a carga é grande, essa variação é considerável, portanto, um ajuste mais forte é necessário do que seria para condições de funcionamento moderadas.

Essa linha de raciocínio vale para o aro externo.

• **Temperatura de Regime**

A temperatura de regime produz os mesmos efeitos citados no item Influência da Carga. Portanto, a solução é a mesma trocando-se a palavra carga por temperatura.

• **Usinagem do eixo e/ou assento**

Defeitos de conicidade, falta de paralelismo, avaliação e outras falhas de usinagem contribuem para um mau desempenho do rolamento.

Tolerâncias de Forma:

Fatores que influem na qualidade final fazendo a peça obra ser diferente da peça projeto:

1. Rigidez da máquina operatriz
2. Rigidez do dispositivo de usinagem
3. Perda do gume cortante da ferramenta
4. etc.

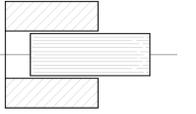
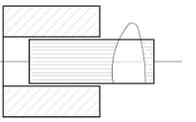
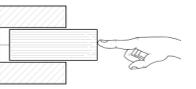
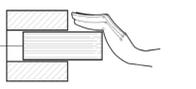
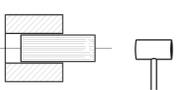
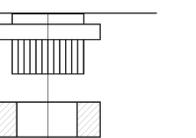
As tolerâncias geométricas a serem consideradas são:

1. Retilidade (diferença de reta)
2. Planicidade (diferença do plano)
3. Circularidade (diferença de círculo)
4. Cilindricidade (diferença da forma cilíndrica).

Tolerância de Posição:

1. Paralelismo
2. Perpendicularismo
3. Excentricidade
4. Coaxialidade
5. Simetria
6. Posição

Tolerância e Ajustagem para Engenharia Agrícola:
PEÇAS MÓVEIS (uma com rotação à outra)

Tipo de ajuste	Exemplo de ajuste	Extra preciso	Mecânica precisa	Mecânica média	Mecânica ordinária	Exemplo de aplicação
Livre: móvel c/ GDE Jogo		H_6e_7	H_7f_7 H_7e_7	H_8e_9	$H_{11}h_{11}$	Peças cujos funcionamento os necessitam de folga por força de dilatação, mau alinhamento, etc.
Rotativo: c/ movimento entre peças		H_6f_6	H_7f_7	H_8f_8	$H_{10}h_{10}$ $H_{11}h_{11}$	Peças que giram ou deslizam com boa lubrificação Ex.: eixos, mancais, etc.
Deslizante: sem movimento entre peças		H_6f_6	H_7f_7	H_8f_8	$H_{10}h_{10}$ $H_{11}h_{11}$	Peças que deslizam ou giram com grande precisão Ex.: anéis de rolamentos, corredeiras, etc.
Deslizante justo: tendências p/ folga		H_6h_7	H_7h_7			Encaixes fixos de precisão, órgãos lubrificados deslocáveis, punções, guias, etc.
Aderente forçado leve: tendência prensado		H_6j_5	H_7j_6			Órgãos que necessitam de frequentes desmontagens. Ex.: polias, engrenagens, rolamentos, etc.
Forçado duro: prensado		H_6m_5	H_7m_7			Órgãos possíveis de montagens e desmontagens sem deterioração das peças
À pressão com esforço		H_6p_5	H_7p_6			Peças impossíveis de serem desmontadas sem deterioração. Ex.: buchas à pressão, etc.

16.6. QUANTIFICAÇÃO DOS AJUSTES

I) As medidas dos furos serão representadas por letras maiúsculas
 II) As medidas dos eixos serão representadas por letras minúsculas
 III) As letras serão afetadas de índices que mostrarão a qualidade de fabricação:

Sendo:

- Qualidade nobre: 1 - 5 → peças retificadas com retífica fina, lapidadas
- Qualidade fina: 6 - 8 → peças retificadas com retífica média
- Qualidade lisa: 9 - 10 → peças torneadas e lixadas
- Qualidade grossa: 11 - 12 → peças torneadas e assemelhadas
- Qualidade livre: 13 - 16 → peças fundidas

IV) Letra H → tabela furo base ou furo padrão
 Letra h → tabela eixo base, eixo padrão

Exemplos: 1) $35 G_6 h_5$
 $h \Rightarrow$ tabela eixo padrão
 furo $\Rightarrow 35 G_6$
 eixo $\Rightarrow 35 h_5$

	$+25$	35.025 mm
$35 G_6 \Rightarrow 35$	$+9$	35.009 mm
	-11	35.000 mm
$35 h_5 \Rightarrow 35$	0	34.989 mm

Furo	Eixo	
	35,000	
35,025	→ maior folga: 35,025 - 34,989 = 36 μ	
	34,989	Ajuste folgado
	35,000	
35,009	→ menor folga: 35,009 - 35,000 = 9 μ	
	34,980	

2) $35 H_6 n_6$
 $h \Rightarrow$ tabela furo padrão
 furo $\Rightarrow 35 H_6$
 eixo $\Rightarrow 35 n_6$

$35 H_6 \Rightarrow 35^{+0}$	35,000 mm
35^{+16}	35,016 mm
$35 n_5 \Rightarrow 35^{+33}$	35,033 mm
35^{+17}	35,017 mm

Furo	Eixo
35,000	35,033 → interferência maior: $35,033 - 35,000 = 33\mu$ 35,017
	Ajuste interferente
35,016	35,033 → interferência menor : $35,017 - 35,016 = 1\mu$ 35,017

3) $35 H_8 j_7$

H ⇒ tabela furo-padrão

furo ⇒ $35 H_8$

eixo ⇒ $35 j_7$

$35 H_8 \Rightarrow 35^{+39}$	35,000 mm
	35,039 mm
$35 j_7 \Rightarrow 35^{+15}$	35,015 mm
35^{-10}	34,990 mm

Furo	Eixo
35,000	35,015 = interferência 34,990 = folga
35,039	35,015 = folga 34,990 = folga

Ajuste Indeterminado tendendo para folga

16.7. RUGOSIDADE

A natureza do acabamento de uma superfície varia de maneira acentuada de acordo com o tipo de trabalho a que ela foi submetida. Cada superfície terá pois, um padrão de rugosidade segundo sua forma de obtenção: por fundição, extrusão, oxicorte ou por processos mecânicos (conformação, jateamento de

areia, torneamento ou retífica). Mas esse padrão não é rígido: varia, dentro de um intervalo, em função das características específicas de cada fábrica (recursos operacionais, natureza da matéria-prima etc).

A American Standards Association (ASA) define rugosidade como irregularidade com pequenos intervalos de espaçamento das superfícies obtidas por operações de usinagem e abrasão. Essas irregularidades provêm da ação de corte das ferramentas e dos grãos de abrasivo. Se as irregularidades apresentam espaçamentos maiores, decorrentes de deflexões e vibrações da peça ou da máquina, já não são consideradas irregularidades, mas ondulações da superfície.

A inspeção microscópica da superfície geralmente fornece uma visão plana do contorno e não permite a medida das irregularidades. Para estudos mais rigorosos foi desenvolvido o microscópio de interferência que permite a observação de superfícies cuja rugosidade varia de 1 a 20 micropolegadas de altura total. (Suficiente para Eng. Agrícola).

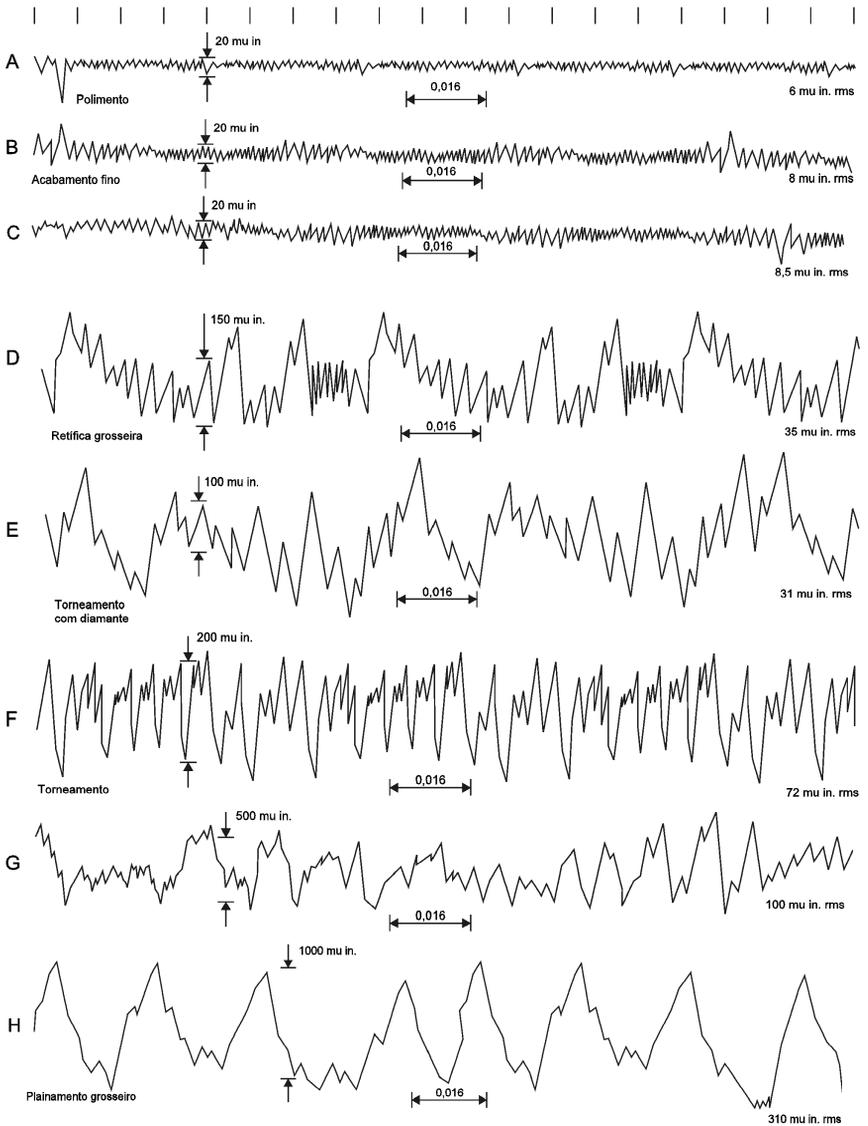
Na determinação gráfica do perfil de uma superfície, utiliza-se uma ponta piramidal de diamante, às vezes com o raio da extremidade de aproximadamente 5 micropolegadas. Com o uso de diferentes escalas para a representação horizontal e vertical dos perfis, podem-se colocar em um pequeno espaço os dados relativos a uma ampla extensão da superfície.

Os perfis do Gráfico 1 mostram a diversificação quanto ao acabamento das superfícies obtidas pelos diferentes processos. O perfil A representa as características de uma superfície esmerilhada, obtida com abrasivo solto; sua aparência, a olho nu, é fosca e cinzenta.

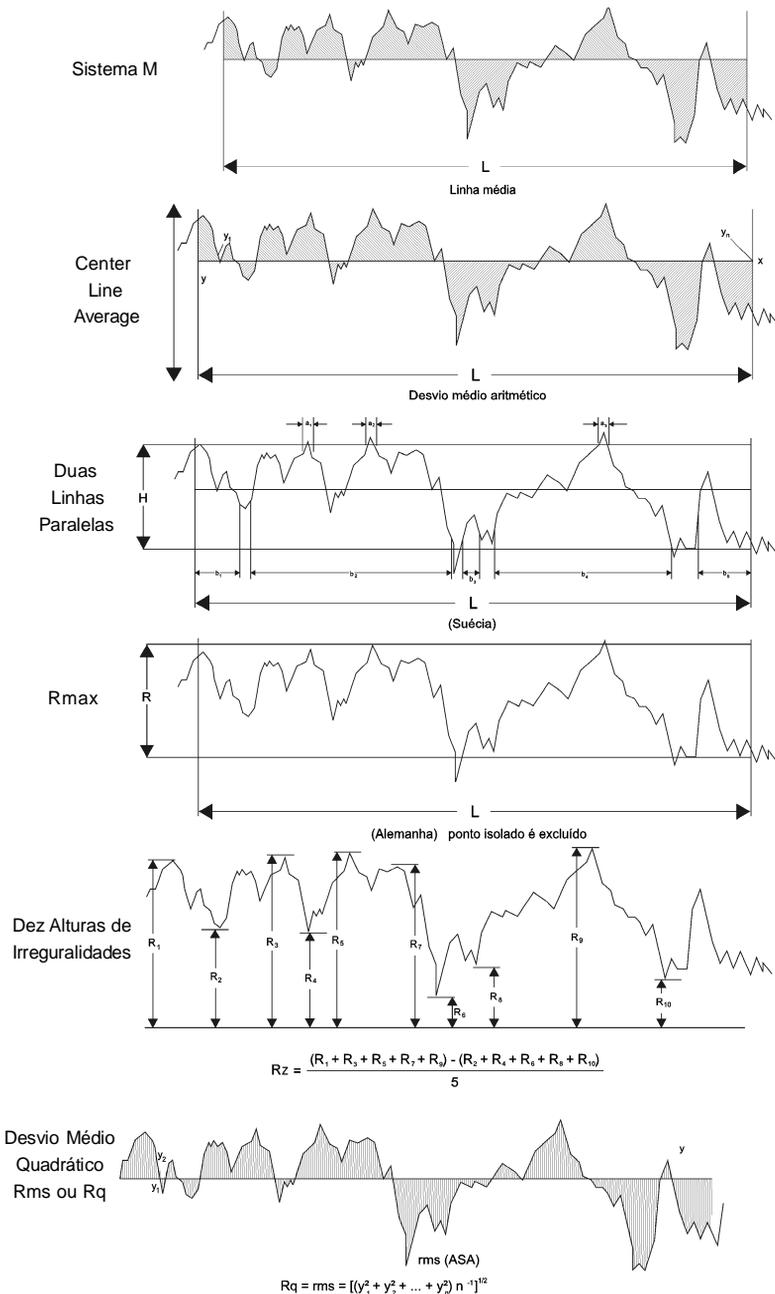
A diferença entre a superfície superacabada e a retificada pode ser vista nos perfis B e C. A superfície superacabada tem uma aparência cinzenta e a retificada, um aspecto relativamente brilhante. Os perfis A, B e C não representam superfícies conseguidas mediante cuidados especiais mas produzidas por processos normais.

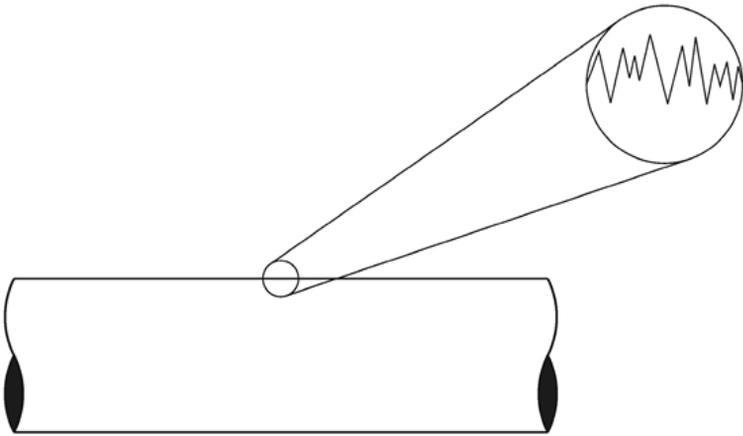
A largura das irregularidades, juntamente com as dimensões verticais típicas, apresenta muita variação mesmo para métodos iguais de produção. As larguras obtidas por torneamento e conformação geralmente são controladas pelo avanço da máquina, embora as marcas desse avanço não sejam acentuadas nas superfícies com torneamento fino e conformação mais precisa (perfil G). Nos acabamentos por esmerilhamento, polimento (pedras) e retífica, as larguras geralmente não estão relacionadas com o avanço ou outros movimentos das máquinas de acabamento (perfis A, B, C e D).

A largura das irregularidades nas operações práticas de acabamento é sempre muito maior que a altura vertical (pico ao vale). Um exemplo: a proporção entre a largura e a altura em superfícies torneadas com diamante (perfil E) é da ordem de oitenta.



Comparações de perfis com diferentes acabamentos, nos mesmos espaços (0,016 mm), com o mesmo método (rms) e intervalo horizontal com repetição das rugosidades (μm .in)





Dificuldade na avaliação

Devido ao aspecto extremamente irregular da maioria dos perfis, é difícil fazer uma avaliação da superfície inspecionada por meio do gráfico. Um inspetor bem treinado pode estimar, de maneira relativamente precisa, a altura pico-vale do gráfico, mas o resultado é influenciado pela experiência pessoal do inspetor e, assim, a interpretação do mesmo gráfico por pessoas diferentes pode apresentar alguma variação.

Sentindo o problema, técnicos de diversos países empenharam-se em medir a rugosidade por meio de um número obtido matematicamente. Surgiram, então, o desvio médio aritmético (CLA), o desvio quadrático rms, o valor H adotado na Suécia, o valor R da Alemanha e o valor R_z incluído na norma ISO. O método para determinação desses valores é dado pelo Gráfico 2.

Os valores CLA e rms em micropolegadas são calculados mediante recursos eletrônicos, porque não é fácil computar manualmente e de maneira precisa os desvios pelos gráficos dos perfis, pois as ordenadas (y) são medidas desde a linha de centro (eixo horizontal) até a curva e são tomadas em espaços iguais, ao longo do eixo. Nos instrumentos eletrônicos, as ordenadas são tomadas em espaços infinitamente próximos, o que resulta em melhor tomada do perfil.

Atenção: $1\mu \cong 39,37 \text{ mu.in.}$

	$1\text{mu.in} = 2,54 \times 10^{-5} \text{ mm}$ (micropolegadas)
Torneamento grosseiro (desbaste)	63 a 2.000 um.in
Laminação grosseira	63 a 1.000
Conformação	32 a 250
Retificação grosseira	32 a 250
Laminação de acabamento	16 a 250
Torneamento liso	8 a 250
Mandrilhamento (brochamento)	8 a 125
Retificação comercial	8 a 63
Retificação de acabamento	4 a 32
Afiação interna	1 a 16
Polimento	0,5 a 32
Superacabamento	0,5 a 16
Esmerilhamento	0,2 a 16
Fundição em areia	250 a 1.000
Forjamento	63 a 250
Superfícies laminadas	16 a 250
Fundição a pressão	32 a 125

Rugosidades usuais dos acabamentos industriais avaliados em rms.

Tolerâncias ISA (ABNT) - Ajustes usuais para furos - Medidas normais em milímetros

CC	D8	D9	D10	D11	E7	E8	E9	F7	F8	F9	G6	G7	H6	H7	H8	H9
> 1-3	+0,034 +0,020	+0,045 +0,020	+0,060 +0,020	+0,080 +0,020	+0,023 +0,014	+0,028 +0,014	+0,039 +0,014	+0,016 +0,007	+0,021 +0,007	+0,032 +0,007	+0,010 +0,003	+0,012 +0,003	+0,007 0	+0,009 0	+0,014 0	+0,025 0
> 3-6	+0,048 +0,030	+0,060 +0,030	+0,078 +0,030	+0,105 +0,030	+0,032 +0,020	+0,038 +0,020	+0,050 +0,020	+0,022 +0,010	+0,028 +0,010	+0,040 +0,004	+0,012 +0,004	+0,016 +0,004	+0,008 0	+0,012 0	+0,018 0	+0,030 0
> 6-10	+0,062 +0,040	+0,076 +0,040	+0,098 +0,040	+0,130 +0,040	+0,040 +0,025	+0,047 +0,025	+0,061 +0,025	+0,028 +0,013	+0,035 +0,013	+0,049 +0,013	+0,014 +0,005	+0,020 +0,005	+0,009 0	+0,015 0	+0,022 0	+0,036 0
> 10-18	+0,077 +0,050	+0,093 +0,050	+0,120 +0,050	+0,160 +0,050	+0,050 +0,032	+0,059 +0,032	+0,075 +0,032	+0,034 +0,016	+0,043 +0,016	+0,059 +0,016	+0,017 +0,006	+0,024 +0,006	+0,011 0	+0,018 0	+0,027 0	+0,043 0
> 18-30	+0,098 +0,065	+0,117 +0,065	+0,149 +0,065	+0,195 +0,065	+0,061 +0,040	+0,073 +0,040	+0,092 +0,040	+0,041 +0,020	+0,053 +0,020	+0,072 +0,020	+0,020 +0,007	+0,028 +0,007	+0,013 0	+0,021 0	+0,033 0	+0,052 0
> 30-50	+0,119 +0,080	+0,142 +0,080	+0,240 +0,080	+0,240 +0,080	+0,075 +0,050	+0,089 +0,050	+0,112 +0,050	+0,050 +0,025	+0,084 +0,025		+0,0025 +0,009	+0,034 +0,009	+0,016 0	+0,025 0	+0,039 0	+0,062 0
> 50-80	+0,146 +0,100	+0,174 +0,100	+0,290 +0,100	+0,290 +0,100	+0,090 +0,060	+0,106 +0,060	+0,134 +0,060	+0,060 +0,030	+0,076 +0,030		+0,029 +0,010	+0,040 +0,010	+0,0019 0	+0,030 0	+0,048 0	+0,074 0
> 80-120	+0,174 +0,120	+0,260 +0,120	+0,340 +0,120	+0,340 +0,120	+0,107 +0,072	+0,126 +0,072	+0,159 +0,072	+0,071 +0,036	+0,090 +0,038		+0,034 +0,012	+0,047 +0,012	+0,022 0	+0,035 0	+0,054 0	+0,087 0
> 120-180	+0,208 +0,145	+0,305 +0,145	+0,395 +0,145	+0,395 +0,145	+0,125 +0,085	+0,148 +0,085	+0,185 +0,085	+0,083 +0,043	+0,106 +0,043		+0,039 +0,014	+0,054 +0,014	+0,025 0	+0,040 0	+0,063 0	+0,100 0
> 180-250	+0,242 +0,170	+0,355 +0,170	+0,460 +0,170	+0,460 +0,170	+0,146 +0,100	+0,172 +0,100	+0,215 +0,100	+0,096 +0,050	+0,122 +0,050		+0,044 +0,015	+0,061 +0,015	+0,029 0	+0,048 0	+0,072 0	+0,115 0
Ø mm	H10	J6	J7	J8	J9	K6	K7	M6	M7	N6	N7	N8	P7	P9	R7	S7
> 1-3	+0,040 0	+0,003 -0,004	+0,003 -0,006	+0,007 -0,007	+0,012 -0,013			-0,000 -0,007	0 -0,009	-0,004 -0,011	-0,004 -0,013	-0,001 -0,015	-0,007 -0,016	-0,009 -0,034	-0,010 -0,019	-0,013 -0,022
> 3-6	+0,048 0	+0,004 -0,004	+0,005 -0,007	+0,009 -0,009	+0,015 -0,015			-0,001 -0,009	0 -0,012	-0,005 -0,013	-0,004 -0,016	-0,002 -0,020	-0,008 -0,020	-0,012 -0,042	-0,011 -0,023	-0,015 -0,027

Continua...

Continuação.

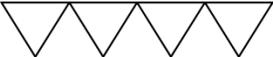
θ mm	H10	J6	J7	J8	J9	K6	K7	M6	M7	N6	N7	N8	P7	P9	R7	S7
> 6-10	+0,058	+0,005	+0,008	+0,012	+0,018	+0,002	+0,005	-0,003	0	-0,007	-0,004	-0,003	-0,009	-0,015	-0,013	-0,017
> 10-18	0	-0,004	-0,007	-0,010	-0,018	-0,007	-0,010	-0,012	-0,015	-0,016	-0,019	-0,025	-0,024	-0,051	-0,028	-0,032
> 18-30	+0,070	+0,006	+0,010	+0,015	+0,021	+0,002	+0,006	-0,004	0	-0,009	-0,005	-0,003	-0,011	-0,018	-0,016	-0,021
> 30-50	0	-0,005	-0,008	-0,012	-0,022	-0,009	-0,012	-0,015	-0,018	-0,020	-0,023	-0,030	-0,029	-0,031	-0,034	-0,039
> 50-80	+0,084	+0,008	+0,012	+0,020	+0,028	+0,002	+0,006	-0,004	0	-0,011	-0,007	-0,003	-0,014	-0,022	-0,020	-0,027
> 80-120	0	-0,005	-0,009	-0,013	-0,026	-0,011	-0,015	-0,017	-0,021	-0,024	-0,028	-0,036	-0,035	-0,074	-0,041	-0,048
> 120-180	+0,100	+0,010	+0,014	+0,024	+0,031	+0,003	+0,007	-0,004	0	-0,012	-0,008	-0,003	-0,017	-0,026	-0,025	-0,034
> 180-250	0	-0,006	-0,011	-0,015	-0,031	-0,013	-0,018	-0,020	-0,025	-0,028	-0,033	-0,042	-0,042	-0,088	-0,050	-0,059
EIXOS	+0,120	+0,013	+0,018	+0,028	+0,037	+0,004	+0,009	-0,005	0	-0,014	-0,009	-0,004	-0,021	-0,032		
> 80-120	0	-0,006	-0,012	-0,018	-0,037	-0,015	-0,021	-0,024	-0,030	-0,033	-0,039	-0,050	-0,051	-0,106		
> 120-180	+0,140	+0,016	+0,022	+0,034	+0,043	+0,004	+0,010	-0,006	0	-0,016	-0,010	-0,004	-0,024	-0,037		
> 180-250	0	-0,006	-0,013	-0,020	-0,044	-0,018	-0,025	-0,028	-0,035	-0,038	-0,045	-0,058	-0,059	-0,124		
EIXOS	+0,160	+0,018	+0,026	+0,041	+0,050	+0,004	+0,012	-0,008	0	-0,020-	-0,012	-0,004	-0,028	-0,043		
> 80-120	0	-0,007	-0,014	-0,022	-0,050	-0,021	-0,028	-0,033	-0,040	0,045	-0,052	-0,067	-0,068	-0,143		
> 120-180	+0,185	+0,022	+0,030	+0,047	+0,057	+0,005	+0,013	-0,008	0	-0,022	-0,014	-0,005	-0,033	-0,050		
> 180-250	0	-0,007	-0,016	-0,025	-0,058	-0,024	-0,033	-0,037	-0,046	-0,051	-0,060	-0,077	-0,079	-0,165		
EIXOS	d8	d9	d10	e6	e7	e8	e9	f6	f7	f8	g6	h5	h6	h7	h8	h9
> 1-3	-0,020	-0,020	-0,020	-0,014	-0,014	-0,014	-0,014	-0,007	-0,007	-0,007	-0,003	0	0	0	0	0
> 3-6	-0,034	-0,045	-0,060	-0,021	-0,023	-0,028	-0,039	-0,014	-0,016	-0,021	-0,010	-0,005	-0,007	-0,009	-0,014	-0,025
> 6-10	-0,030	-0,030	-0,030	-0,020	-0,020	-0,020	-0,020	-0,010	-0,010	-0,010	-0,004	0	0	0	0	0
> 10-18	-0,048	+0,060	-0,078	-0,028	-0,032	-0,038	-0,050	-0,018	-0,022	-0,028	-0,012	-0,005	-0,008	-0,012	-0,018	-0,030
> 18-30	-0,040	-0,040	-0,040	-0,025	-0,025	-0,025	-0,025	-0,013	-0,013	-0,013	-0,005	0	0	0	0	0
> 30-50	-0,062	-0,076	-0,098	-0,034	-0,040	-0,047	-0,061	-0,022	-0,028	-0,035	-0,014	-0,006	-0,009	-0,015	-0,022	-0,036

Continua...

Continuação.

Ø mm	h10	j6	j7	j8	j9	k6	k7	m6	m7	n6	n7	n8	p7	p9	r7	s7
> 10-18	0	+0,005	+0,008	+0,012	+0,014	+0,009	+0,012	+0,018	+0,025	+0,023	+0,030	+0,029	+0,038	+0,034	+0,039	+0,046
	-0,070	-0,003	-0,003	-0,006	-0,014	+0,001	+0,001	+0,007	+0,007	+0,012	+0,012	+0,018	+0,018	+0,023	+0,028	+0,028
> 18-30	0	+0,005	+0,009	+0,013	+0,017	+0,011	+0,015	+0,021	+0,029	+0,028	+0,036	+0,035	+0,043	+0,041	+0,048	+0,058
	-0,084	-0,004	-0,004	-0,008	-0,016	+0,002	+0,002	+0,008	+0,008	+0,015	+0,015	+0,022	+0,022	+0,028	+0,035	+0,035
> 30-50	0	+0,006	+0,011	+0,015	+0,020	+0,013	+0,018	+0,025	+0,034	+0,033	+0,042	+0,042	+0,051	+0,050	+0,059	+0,068
	-0,100	-0,005	-0,005	-0,010	-0,019	+0,002	+0,002	+0,009	+0,009	+0,017	+0,017	+0,026	+0,026	+0,034	+0,043	+0,043
> 50-80	0	+0,006	+0,012	+0,018	+0,023	+0,015	+0,021	+0,030	+0,041	+0,039	+0,050	+0,051	+0,062			
	-0,120	-0,007	-0,007	-0,012	-0,023	+0,002	+0,002	+0,011	+0,011	+0,020	+0,020	+0,032	+0,032			
> 80-120	0	+0,006	+0,013	+0,020	+0,027	+0,018	+0,025	+0,035	+0,048	+0,045	+0,058	+0,059	+0,072			
	-0,140	-0,009	-0,009	-0,015	-0,027	+0,003	+0,003	+0,013	+0,013	+0,023	+0,023	+0,037	+0,037			
>120>180	0	+0,007	+0,014	+0,022	+0,032	+0,021	+0,028	+0,040	+0,055	+0,052	+0,067	+0,068	+0,083			
	-0,160	-0,011	+0,011	-0,018	-0,031	+0,003	+0,003	+0,015	+0,015	+0,027	+0,027	+0,043	+0,043			
>180-250	0	+0,007	+0,016	+0,025	+0,038	+0,024	+0,033	+0,046	+0,063	+0,060	+0,077	+0,079	+0,096			
	-0,185	-0,013	-0,013	-0,021	-0,038	+0,004	+0,004	+0,017	+0,017	+0,031	+0,031	+0,050	+0,050			

Métodos de Execução	Rugosidade conseguida (μ)																								
	0,04	0,06	0,1	0,16	0,25	0,4	0,63	1,0	1,6	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40	63	100	160	250	400	630	1000		
Fundição																									
Forjar																									
Laminar (liso)																									
Trefilar																									
Estampar																									
Cunhar																									
Laminar (formas)																									
Cortar																									
Tornear (axial)																									
Tornear (facear)																									
Tornear (canais)																									
Plainar																									
Furar																									
Furar (alargar)																									
Alargar (alargador)																									
Fresar (circunf.)																									
Fresar (plano)																									
Brochar																									
Limar																									
Retificar (redondo) axial																									
Retificar (plano)																									
Retificar (canaletas)																									
Retificar (fino polido)																									
Alisar com rolos																									
Lapidar																									
Polimento																									
Tamborear																									
Cortar (maçarico)																									

Desenho	Exigência de qualidade superficial	
	Máxima	Superfície de calibres
	Média	Ajustes desmontáveis
	Pouca	Ajustes fixos
	Nenhuma	Superfícies desbastadas
	Bruta	Fundidas

TRANSMISSÃO POR CORREIAS

Vantagens da transmissão das correias

1. Funcionamento silencioso
2. Mais economia
3. Manutenção fácil
4. Servem como dispositivo de emergência

“É sempre preferível que a correia puxe pelo lado de baixo, isto é, que o lado de baixo seja o lado tenso da correia”.

Desvantagens

1. Escorregamento na transmissão (1 ~ 2%)
2. Variação do alongamento
3. $\tau = 1/1 \sim 1/8$

Correia Ideal

- Tenha alta tensão admissível de tração
- Boa recuperação após um alongamento
- Alto coef. de atrito.

Polias

- Polias pequenas: - aço fundido
 - fºº cinzento
 - metal leve
- Polias maiores: - fundidas com raias
 - chapas soldadas.

Dimensionamento: Utiliza-se o Catálogo do Fabricante

Estimativa dos diâmetros de polias:

$$d1 \approx a \cdot (N/n_1)^{0,33}; a = 1217 \text{ (plana)}; a = 870 \text{ (V)}$$

$$d2 \approx b \cdot d_1 \cdot 1/\tau; b = 0,985 \text{ (plana)}; b = 0,995 \text{ (V)}$$

NOÇÕES DE MÁQUINAS OPERATRIZES

Torno, fresadora, furadeira, serra, plaina, retífica, brochadeiras, mandriladoras, alargadoras etc.

Ferramentas de Corte:

- **Aço Ferramenta:** Aço-carbono temperado e revenido para velocidades de corte até 20m/s.

- **Aço Rápido:** Aço-liga para velocidade de corte até 40m/s. É a ferramenta mais utilizada.

- **Estelita:** Base de cobalto mais cromo e tungstênio para velocidades de 20 a 60m/s. Pouco utilizada.

- **Wídia:** Metal duro sintetizado, para velocidades 60-150m/s.

Tipos de Wídia: P - p/aço e fºfº maleável

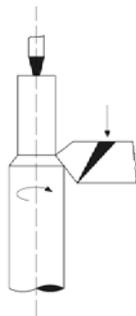
velocidades médias e altas

M - p/aço, fºfº ligado, aplicações múltiplas

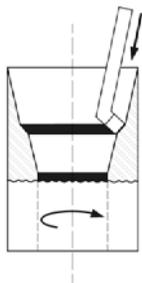
K - p/ fºfº branco, cinzento, aço temperado.

Baixa velocidade de corte.

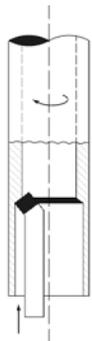
Conceitos Básicos de Usinagem



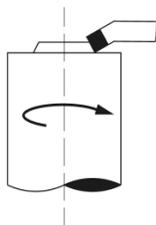
Torneamento Cilíndrico Externo



Torneamento Cônico Interno



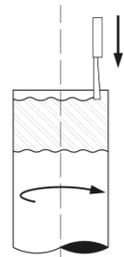
Torneamento Cilíndrico Interno



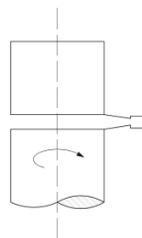
Torneamento de Faceamento



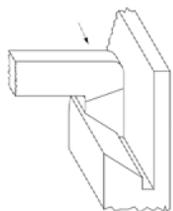
Perfilamento Axial



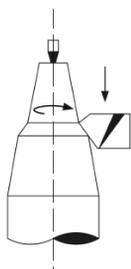
Sangramento Axial



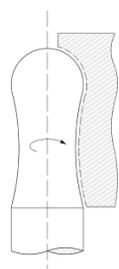
Sangramento Radial



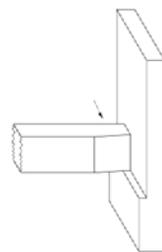
Aplainamento de Guias



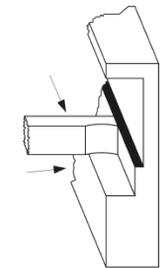
Torneamento Cônico Externo



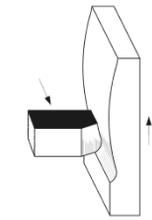
Perfilamento Radial



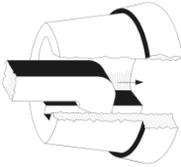
Aplainamento de Superfícies



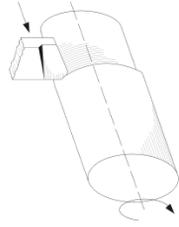
Aplainamento de Rasgo



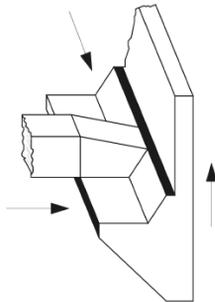
Aplainamento de Superfícies Cilíndricas



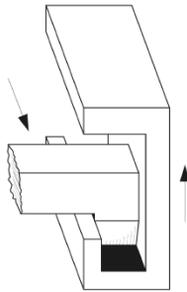
Aplainamento de Rasgo de Chaveta



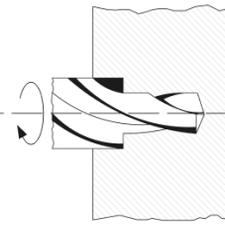
Aplainamento de Superfícies Cilíndricas de Revolução



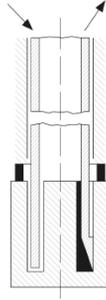
Aplainamento de Perfis



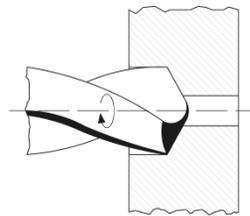
Aplainamento de Ranhuras T



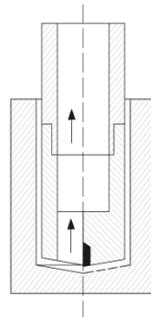
Furação Escalonada



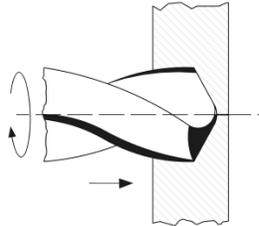
Trepanação



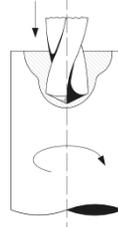
Furação em Pré-Furação



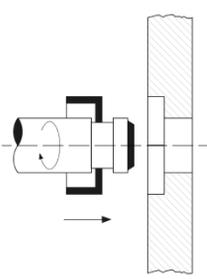
Furação Profunda em Cheio



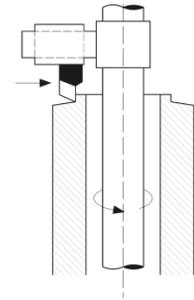
Furação em Cheio



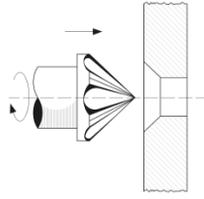
Furação de centros



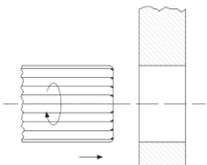
Rebaixamento Guiado



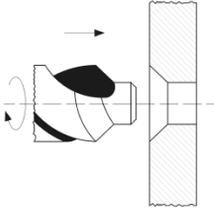
Madrilamento Radial



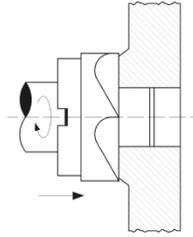
Rebaixamento Escareado



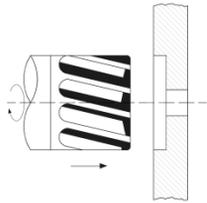
Alargamento Cilíndrico de Acabamento



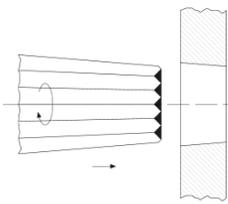
Rebaixamento Guiado



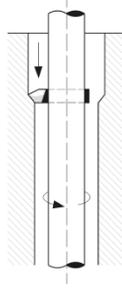
Rebaixamento Guiado



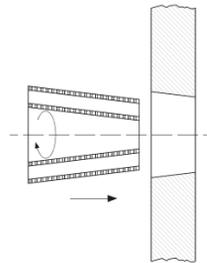
Rebaixamento



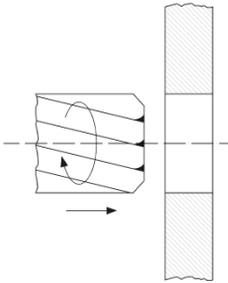
Alargamento Cônico de Acabamento



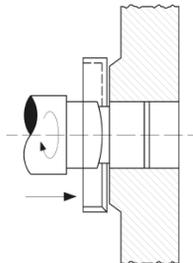
Madrilamento Cilíndrico



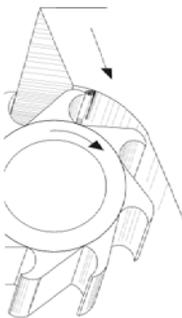
Alargamento Cônico de Desbaste



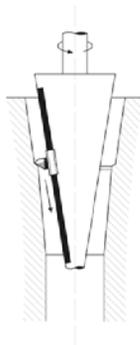
Alargamento Cilíndrico de Desbaste



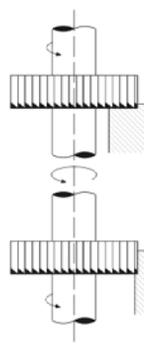
Rebaixamento Guiado



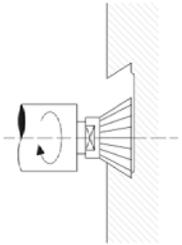
Fresamento Cilíndrico Tangencial Concordante



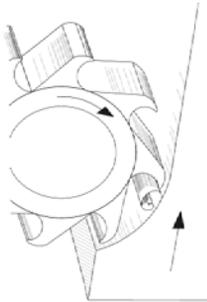
Mandrilamento Cônico



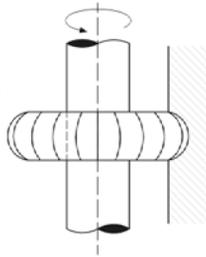
Fresamento Predominantemente Tangencial de Duas Superfícies Ortogonais



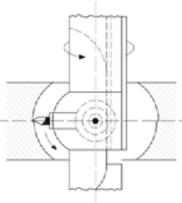
Fresamento Tangencial de Encaixes "Rabo de Andorinha"



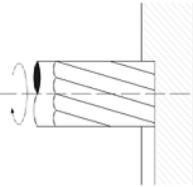
Discordante Fresamento Cilíndrico Tangencial



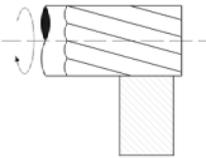
Fresamento Tangencial de Perfil



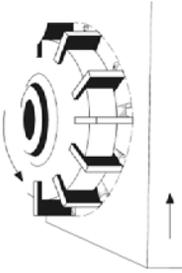
Mandrilamento Estérico



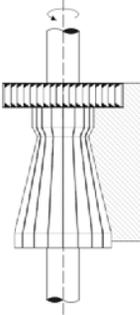
Fresamento Frontal de Canaletas com Fresa de Topo



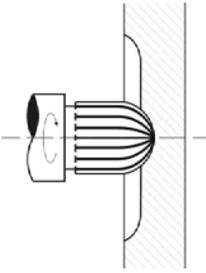
Fresamento Cilíndrico Tangencial



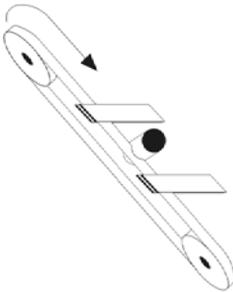
Fresamento Frontal



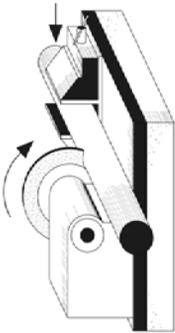
Fresamento Composto



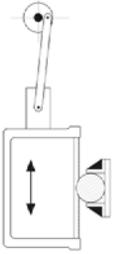
Fresamento Frontal (caso especial)



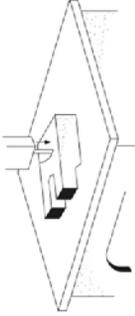
Serramento Contínuo (seccionamento)



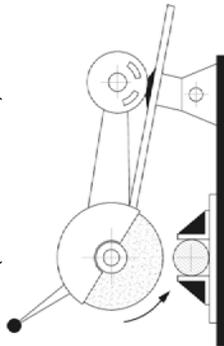
Serramento Circular



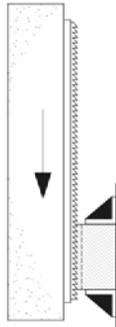
Serramento Alternativo



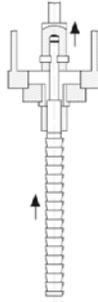
Serramento Contínuo (recorte)



Serramento Circular



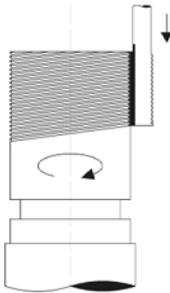
Brochamento Externo



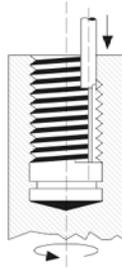
Brochamento Interno



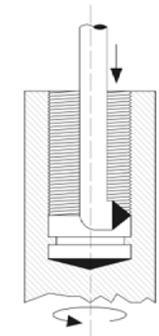
Rosçamento Interno com Macho



Rosçamento Externo com Ferraamenta de Perfil Múltiplo



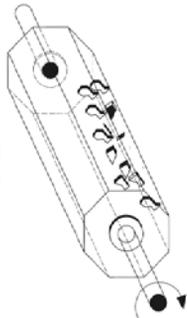
Rosçamento Externo com Ferraamenta do Perfil Único



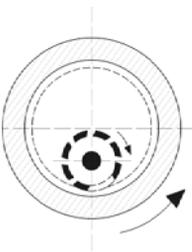
Roscamento Interno com Ferramenta de Perfil Único



Roscamento Externo Jogos de Pentes



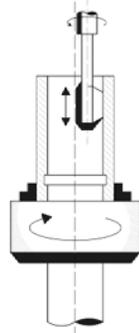
Tamboramento



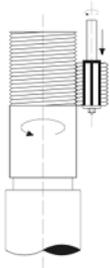
Roscamento Interno com Fresa



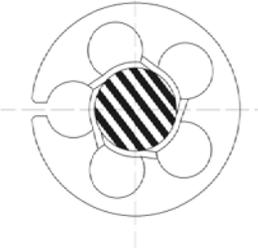
Limagem Contínua em Disco



Retificação Cilíndrica Interna com Avanço Longitudinal



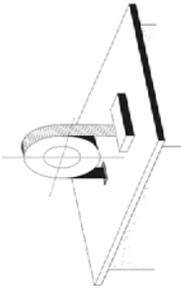
Roscamento Externo com Fresa de Perfil Múltiplo



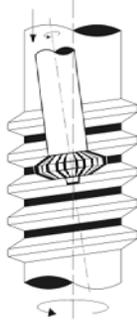
Roscamento Externo Cossinete



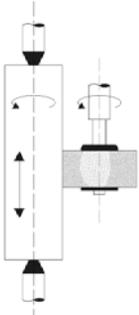
Rasquetamento



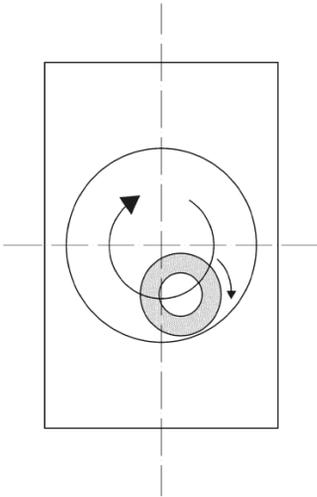
Limagem Contínua em Fita



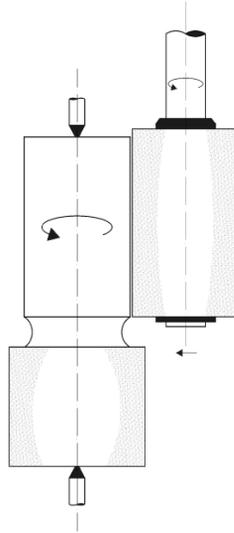
Roscamento Externo com Fresa de Perfil Único



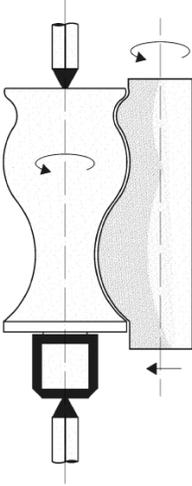
Retificação Cilíndrica Externa com Avanço Longitudinal



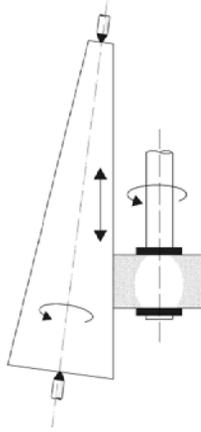
Retificação Cilíndrica Interna com Avanço Circular



Retificação Cilíndrica Externa com Avanço Longitudinal



Retificação de Perfil com Avanço Radial



Retificação Cônica Externa com Avanço Longitudinal

LUBRIFICAÇÃO E LUBRIFICANTES

Programa de lubrificação

1. Quando um equipamento se incorpora ao acervo já existente, faz-se, desde logo, um levantamento da lubrificação recomendado pelo seu fabricante (pontos e lubrificantes).

Caso não se encontrem os lubrificantes recomendados, procuram-se outros equivalentes.

2. Localizam-se os pontos de lubrificação, assinalando-os com cores ou números. As cores poderão ser codificadas para cada tipo de lubrificante.

3. Organizar uma ficha com indicações sobre as partes a serem lubrificadas, o tipo de lubrificante, o período de lubrificação e a forma de lubrificar (completar o nível, trocar).

4. Estabelecer responsabilidade pelos serviços executados, não para punir, mas para evitar repetição do problema.

Uma equipe ideal de lubrificação:

Supervisor: Desenvolve e põe em prática os princípios básicos da lubrificação.

- **Execução:** Conduz os trabalhos de execução da lubrificação.

Verifica se os programas de lubrificantes estão sendo seguidos à risca.

- **Inspeção:** Controlar a qualidade dos lubrificantes.

Sugere alternativas mais econômicas.

- **Planejamento:** Elabora planos e programas de lubrificação.

Mantém os registros de consumo e estoques.

Petróleo:

Origem orgânica: elementos básicos C + H

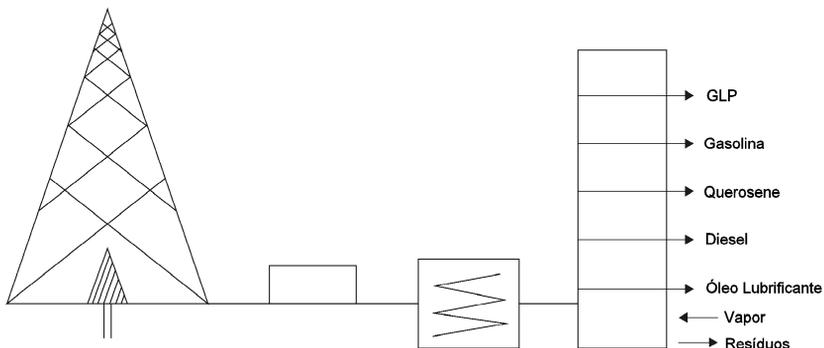
• Classificação segundo a base:

1. Petróleo Base Parafínica

2. Petróleo Base Naftênica ou base asfáltica

3. Petróleo Base Mista

4. Petróleo Base Aromática



• **Viscosidade:**
"É a medida da resistência oferecida por qualquer fluido ao movimento de escoamento".

• **Medidas das viscosidades:**
→ Viscosidade absoluta (VA):

$$- \frac{1 \text{ kgf} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} = 0,98 \times 10^4 \text{ cP}$$

- Lei de Poiseuille (P)
- Viscosidade Saybolt (SSU)
- Viscosidade Furol (F)
- Viscosidade Red Wood (RW)
- Viscosidade Engler (E)

→ Viscosidade Cinemática (VC):

$$\text{V.C.} = \frac{\text{V.A.}}{\text{densidade}}$$

Índice de Viscosidade I.V:

Quanto mais alto o I.V de um óleo P que menor é a variação da sua viscosidade com o aumento de temperatura.

O método é definido pela ASTM e ABNT.

Ponto de Fulgor: Temperatura na qual o óleo libera os primeiros gases voláteis combustíveis.

Ponto de Inflamação: Temperatura na qual o óleo queima-se totalmente.

Nº de Neutralização: Determina-se as quantidades de ácidos no óleo para avaliar seu poder de corrosão.

Nº de Saponificação: Determinam-se a quantidade de gordura ou óleo graxo presente no óleo lubrificante para avaliar sua qualidade.

Obs.: Graxo: derivado de vegetais e animais.

Ponto de Fluidez (ou de congelamento): Temperatura na qual o óleo ainda flui.

Ponto de Anilina: Determinar a parafinidade nafta do óleo.

Resíduo de Carvão Conradson: Determina o índice de resíduo que o óleo deixa nos motores.

Graxas

1. Ponto de gota: temperatura na qual a graxa se liquefaz.

2. Consistência: medida da resistência da graxa à penetração de corpo de prova padrão.

A consistência está para a graxa, assim como a viscosidade está para o óleo.

Penetração	Nº NLGI	Ob	
355 - 385	0	quase fluída	National Lubricating Grease Institute
85 ~ 115 dmm	6	quase dura	

°API somente para produtos do petróleo.

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{\text{densidade a } 15,5^{\circ}\text{C}} - 131,5$$

A água tem °API = 10

∴ peso específico 1

< 10° API + pesado que a água

> 10° API + leve que a água

Lubrificantes: Óleos: - Graxos (animal e vegetal)
- Minerais: - puros

- aditivados
- Sintéticos: - ésteres
- silicones
- fluoradas
- poliglicol
- SHC (hidrocarbono sem lítio)
- Graxas: - óleos minerais + sabões (cálcio, sódio, lítio, etc)
- sintéticas (polímeros)
- Sólidos: - grafita
- MoS₂

Graxas para baixa temperatura (LT): NLGI 0 ~2

Graxas para temperatura média (MT): - chamadas multi-purposes

- $0 \leq t \leq 110^{\circ}\text{C}$
- + utilizada
- NLGI 2 ~3

Graxas para alta temperatura (HT): - NLGI 3

- t até 150°C

Graxas EP: - contém S; P; Cl; Pb

- a película fica mais resistente à carga
- $t < 30 < 110^{\circ}\text{C}$
- NLGI 2

Graxa EM: contém MoS₂ ou grafite.

Graxa (quanto aos sabões)

Base de:

1. Alumínio: - filamentora
 - resiste à água (anti ferrugem)
 - $t \leq 71^{\circ}\text{C}$
 - graxeiras, mancais de baixa velocidade, chassis.
2. Cálcio: - vaselinada
 - grande resistência à água
 - $t \leq 77^{\circ}\text{C}$
 - graxeiras, chassis, bbas da água
 - recomenda para rolamentos para causa das fibras.

- 3. Sódio: - fibrosa
 - não resiste a água
 - $t \leq 150^{\circ}\text{C}$
 - mancais, juntas, (para altas temperaturas)
- 4. Lítio: - vaselinada
 - substitui as anteriores
 - resiste à água
 - $t \leq 150^{\circ}\text{C}$
 - múltiplas finalidades automotivas e aviação
- 5. Bário: - semelhante ao lítio
- 6. Mista: - mesclada de várias bases anteriores
 - graxeiras, chassis.

Limites de temperaturas para operação constante com vários lubrificantes líquidos.

Lubrificantes	Limite de temperatura [$^{\circ}\text{C}$]
1) Óleos minerais Standart	120 ^o
2) Óleos minerais super-refinados e sintéticos	230
3) Ésteres	204
4) Silicones	274
5) Poliglicóis	177

- **Graxas:** As temperaturas operacionais limites para graxa tendem a ser inferiores às de óleos, uma vez que a graxa não recircula, portanto, não refrigera.

Bissulfeto de Molibdênio (MoS_2)	400 $^{\circ}\text{C}$
Grafita pura	400
Fluoreto de grafita (CF)	538
Grafita + aditivo	675

- Os melhores óleos de petróleo permitem várias centenas de horas de funcionamento constante a cerca de 220°C . Uma regra geral sugere que óleos de petróleo perdem metade da vida útil lubrificativa para cada 20°C de aumento da temperatura acima de 80°C .

Gasolina:

- A gasolina é composta por vários hidrocarbonetos
- heptana-normal: baixo poder anti detonante
- Iso octana: alto poder anti detonante

Octanagem (Índice de Iso octana):

É o número inteiro mais próximo da percentagem em volume de iso octana, numa mistura binária líquida de iso octana e heptana normal que produza os mesmos efeitos característicos do Knock quando ensaiada (a mistura), exatamente nas mesmas condições que a gordura em questão.

Aditivos nos óleos lubrificantes: Para conferir algumas características ou melhorar outras.

1. Antioxidantes: previne a ação de oxidação sobre o lubrificante.
2. Anticorrosivo: proteger partes metálicas da corrosão.
3. Detergente/Dispersante: remove e isola as impurezas.
4. Antiespumante: não impedem a formação de bolhas, mas desfaz rapidamente.
5. Reforçador do I.V.
6. Abaixador do ponto de fluidez: para o óleo fluir a temperaturas baixas.
7. Emulsificantes: facilitam a emulsão da água no óleo
 - óleos solúveis
 - óleos difíceis de fazer sangria.
8. Demulsificante: contrário do anterior, ambiente úmido, fácil de fazer sangria.
9. Extrema pressão: para suprir a ruptura do filme de lubrificante evitando a micro solda.
10. Aditivos de Oleosidade: para facilitar a adesão do óleo na superfície metálica.
11. Aditivo com efeito polar: os lubrificantes graxos quando adicionados em pequenas quantidades orientam as moléculas perpendiculares a superfície do metal, melhorando a capacidade do óleo.
12. Aditivos sólidos: MoS₂, grafita. São coloides com $\varnothing < 0,2\mu$.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINHO, O.L.; RODRIGUES, A.C.S.; LIRANI, J. **Princípios básicos de fabricação**: aplicações de tolerâncias e rugosidade superficial. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 1975. 219p.

ALBUQUERQUE, O.A.Z.P. **Elementos de máquinas**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1980. 445p.

BEHAR, M. (ed.). **Máquinas e ferramentas**: tecnologia mecânica. São Paulo: Hemus: Livraria Editoria, 1975. 244p.

BUZZONI, H.A. **Manual de solda elétrica**. 8.ed. rev. aum. e atual. São Paulo: Discubra, 267p.

CENTRO DE COMUNICAÇÃO GRÁFICA DA ESCOLA "PRO-TEC". **Materiais para construções mecânicas**. São Paulo.

COLPAERT, H. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. São Paulo: Edgard Bliicher, 1974. V.1, 412p.

COMPANHIA INDUSTRIAL E MERCANTIL DE ARTEFATOS DE FERRO. **Cabos de aço**. São Paulo. 110p. (Catálogo, (-8).

DOBROVOLSKI, V.; ZABLONSKI, K.; RADCHIK, A.; ERLIJIL. **Elementos de máquinas**. 3.ed. rev.e aum. Moseu : MIR, 1980. 577p.

DRAPINSKI, J. **Manutenção mecânica básica**: manual prático de oficina. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 239p.

ESAB. **Manual da soldagem de manutenção**. Contagem, 80p.

FREIRE, J.M. **Materiais de construção mecânica**: fundamentos de tecnologia mecânica. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1983. 240p.

FREIRE, J.M. **Tecnologia mecânica**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. V.5, 223p.

GENTIL, V. **Corrosão**. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1982. 453p.

GRIFFIN, I.; RODEM, E.M. **Soldagem oxiacetilênica**. Rio de Janeiro: Record, 1960. 180p.

LENSI, M. **Solda oxiacetilênica**: para técnicos, especialistas e aprendizes do ramo. São Paulo: Hemus, 1975. 196p.

MABIE, H.H.; OCVIRK, F.W. **Mecanismos e dinâmica das máquinas**. Rio de Janeiro: Livro Técnico/USP, 1967. 562p.

MANUAL DO SOLDADOR. São Paulo: EUTECTIC, 85p.

MESQUITA, J. de. **Elementos de máquinas**: dimensionamento. São Paulo: Escola Pro-Tec, 1965. 288p.

MUNDO MECÂNICO. São Paulo: Editora Técnica GRUENWALD, 1978/1990.

NIELSEN, A. **Plásticos termofixos** (duroplásticos). São Paulo: Edgard Bliicher, 1975. 83p. (Série Técnico-Industrial).

NIEMANN, G. **Elementos de máquinas**. São Paulo: Edgard Bliicher, 1971. V.1, 219p.

OLIVEIRA, N.C.G. de. **Mancais de deslizamento**. São Paulo: USP, 1972. 118p.

OLIVEIRA, N.C.G. de. **Roscas e parafusos**. 2.ed. São Paulo: Grêmio Politécnico, 1980. 159p.

PETRÓLEO IPIRANGA. **Lubrificação básica**. 5.ed. [S.l.], 1985. 65p.

PROVENZA, F. **Mecânica aplicada**. São Paulo: Escola Pro-Tec.

PROVENZA, F. **Molas**. São Paulo: Pro-Tec - Centro Escolar e Editorial, 1977.

PROVENZA, F. (coord.). **Projetista de máquinas**. São Paulo: Escola Pro-Tec, 1976.

ROLAMENTOS FAG. **Programa standard FAG**. São Paulo, 1987. 795p. (Catálogo 4151012 PB).

RUDENKO, N. **Máquinas de elevação e transporte**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1976. 425p.

SHAMES, I.H. **Mecânica dos fluídos**: princípios básicos. São Paulo: Edgard Blucher, 1973. V.1, 192p.

SILVA, R.B. **Tubulações**. 2.ed. São Paulo: USP, 1967. 199p.

SKF. **Guia de manutenção e reposição de rolamentos**. [S.l], 1989. 125p.

STIPKOVIC FILHO, M. **Engrenagens**: geometria, dimensionamento, controle, geração. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 138p.

VAN WYLEN, G.J.; SONNTAG, R.E. **Fundamentos da termodinâmica clássica**. São Paulo: Edgard Bliicher, 1970. 616p.

YANAGISAWA, K. **Prática de solda elétrica**: metalurgia, caldeiraria, alumínio, tubulações, fundições e indústria automobilística. São Paulo: Hemus, 1982. 78p.

ANEXOS

PROPRIEDADE DOS AÇOS II

Efeitos específicos dos elementos de liga nos aços

Elemento	$\frac{\text{solubilidade s\acute{o}lida}}{\text{N}^{\circ} \text{ ferro } \gamma}$	$\frac{\text{N}^{\circ} \text{ ferro } \alpha}{\text{N}^{\circ} \text{ ferro } \gamma}$	Influ\^encia sobre a ferrita	Influ\^encia sobre a austenita (endurecibilidade)	Influ\^encia exercida atrav\^es dos carbonetos	Principais Fun\^c\~oes
Al	1,1% (aumentada pelo C)	36%	Endurece consideravelmente por solu\~c\~o s\~o lida	Aumenta a endurecibilidade moderadamente se dissolvido na austenita	Negativa (grafitiza)	Desoxidante eficiente Restringe o crescimento de gr\~ao (pela forma\~c\~o da \u00f3xidos ou nitratos dispersos) Elemento de liga nos a\~c\~os para nitrata\~c\~o.
Cr	12,8 % (20% com 0,5% C)	Sem limites	Endurece ligeiramente; aumenta a resist\^encia \u00e0 corros\~ao	Aumenta a endurecibilidade moderadamente	Maior que o Mn Menor que o W	Aumenta a resist\^encia \u00e0 corros\~ao e a oxida\~c\~o. Aumenta a endurecibilidade de. Melhora a resist\^encia a altas temperaturas Resiste ao desgaste (com alto C)

continua...

Continuação - PROPRIEDADE DOS AÇOS II
Efeitos específicos dos elementos de liga nos aços

Co	Endurece consideravelmente por solução sólida	75%	Diminui a endurecibilidade de no estado dissolvido	Semelhante ao Fe	Sustenta dureza pela solução sólida	Contribui à dureza a quente pelo endurecimento da ferrita
Mn	Endurece acentuadamente – reduz um tanto a plasticidade	3%	Aumenta a endurecibilidade de moderadamente	Maior que o Fe Menor que o Cr	Muito pequena nos teores normais	Contrabalança a fragilidade devida ao S Aumenta a endurecibilidade economicamente.
						Eleva a temperatura de crescimento de grão da austenita. Produce maior profundidade da endurecimento.
Mo	Produz o sistema endurecível por precipitação nas ligas Fe-Mo	3%± (8% com 0,3% C) 37,5%	Aumenta a endurecibilidade de fortemente (Mo > Cr)	Forte; maior que o Cr	Opõe-se à diminuição de dureza criando a dureza secundária	Contrabalança a tendência à fragilidade do revenido. Eleva a dureza a quente; a resistência a quente a a fluência. Melhora a resistência à corrosão dos aços inoxidáveis, Forma partículas resistentes à abrasão.

PROPRIEDADE DOS AÇOS II

Efeitos específicos dos elementos de liga nos aços (conclusão)

Ni	Sem limites	10% (sem relação com o teor do carbono)	Aumenta a resistência e a tenacidade por solução sólida	Aumenta a endurecibilidade ligeiramente; mas tende a reter a austenita com C mais elevado.	Negativa (grafitiza)	Muito pequena em teores baixos	Aumenta a resistência de aços recozidos. Aumenta a tenacidade de aços ferríticos-perlíticos (sobretudo a baixas temperaturas). Torna austeníticas ligas FeCr altas em Cr.
P	0,5%	2,8%(sem relação com o teor do carbono)	Endurece fortemente por solução sólida.	Aumenta a endurecibilidade	Nenhuma	—	Aumenta a resistência de aços de baixo C. Aumenta a resistência à corrosão. Aumenta a usinabilidade em aços usinagem fácil.
Si	2%±(9% com 0,35 C)	18,5%(não o muito alterada pelo C)	Endurece com perda de plasticidade (Mn<Si<P)	Aumenta a endurecibilidade moderadamente	Negativa (grafitiza)	Sustenta a dureza por solução sólida	Desoxidante. Elemento de liga para chapas elétricas e magnéticas. Aumenta a resistência à oxidação. Aumenta a endurecibilidade de aços contendo elementos não grafitizantes. Aumenta a resistência de aços de baixo teor em liga.
Ti	0,75%(1% com 0,20 C)	6%±	Produz sistema endurecível por precipitação em ligas Ti.Fe com alto Ti.	Provavelmente aumenta muito a endurecibilidade no estado dissolvido. Os efeitos de carbonetos reduzem-na.	A maior conhecida (2% Ti torna aços com 0,5% C não endurecíveis)	Carbonetos persistentes provavelmente não afetados. Algum endurecimento secundário	Reduz a dureza martensítica e a endurecibilidade em aços ao Cr de médio Cr. Impede a formação de austenita em Aços de Alto Cr.

continua...

Continuação - PROPRIEDADE DOS AÇOS II
Efeitos específicos dos elementos de liga nos aços (conclusão)

W	6%(11% com 0,25 C)	33%	Idem em ligas W-Fe com alto W.	Aumenta a endurecibilidade fortemente em pequenos teores	Forte	Opõe-se à diminuição de dureza por endurecimento secundário	Forma partículas duras e resistentes ao desgaste em aços –ferramenta. Promove dureza e resistência a altas temperaturas.
V	1%(4%com 0,20% C)	Sem limites	Endurece moderadamente por solução sólida.	Aumenta muito fortemente a endurecibilidade no estado dissolvido.	Muito forte (V<T< ou Cb)	Máxima para endurecimento secundário	Eleva a temperatura de crescimento de grão da austenita (promove refino do grão). Aumenta a endurecibilidade (quando dissolvido). Resiste ao revenido e causa acentuado endurecimento secundário.

PROPRIEDADES DOS AÇOS

Reações devidas a várias atmosferas que podem ser utilizadas nos tratamentos térmicos dos aços

Gases	Porcentagem usualmente presente nas atmosferas	Porcentagem desejada para evitar descarbonetação	Reações	Tipo de reação	Observações
Óxido de carbono (CO)	Até 34%	10 a 34%	$2\text{CO} + \text{Fe} \rightarrow \text{Fe}_3\text{C} + \text{CO}_2$ $\text{CO} + \text{FeO} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}_2$	<p>Levemente carbonetante</p> <p>Levemente redutora</p>	O CO é desejável nas atmosferas dos fornos porque compensa a contaminação por parte de traços de CO ₂ , vapor de água ou oxigênio
Anidrido carbônico (CO ₂)	Até 15%	0%	$\text{CO}_2 + \text{Fe}_3\text{C} \rightarrow 3\text{Fe} + 2\text{CO}$ $\text{CO}_2 + \text{Fe} \rightarrow \text{FeO} + \text{CO}$	<p>Fortemente descarbonetante</p> <p>Oxidante</p>	Deve-se eliminar totalmente a CO ₂ das atmosferas dos fornos. Traços de CO ₂ podem ser compensados pela presença do CO e metano
Vapor de água (H ₂ O)	Até 22%	Abaixo de 0,09%	$\text{H}_2\text{O} + \text{Fe}_3\text{C} \rightarrow 3\text{Fe} + \text{CO} + \text{H}_2$ $\text{H}_2\text{O} + \text{Fe} \rightarrow \text{FeO} + \text{H}_2$	<p>Fortemente descarbonetante</p> <p>Oxidante</p>	Deve-se eliminar completamente o vapor de água das atmosferas dos fornos. Traços de vapor de água podem ser compensados pela presença de CO e metano

continua...

Continuação - PROPRIEDADES DOS AÇOS
Reações devidas a várias atmosferas que podem ser utilizadas nos tratamentos térmicos dos aços

<p>Hidrogênio (H₂)</p>	<p>0 a 40%</p>	<p>3 a 20%</p>	$\frac{\text{H}_2 + \text{FeO} \rightarrow \text{Fe} + \text{H}_2\text{O}}{2\text{H}_2 + \text{Fe}_3\text{C} \rightarrow 3\text{Fe} + \text{CH}_4}$	<p>Fortemente redutora</p> <hr/> <p>Descarbonetante</p>	<p>Ainda que o hidrogênio seja desejável em certas aplicações, geralmente deve ser mantido baixo por formar vapor de água ou descarbonetar</p>
<p>Metano (CH₄)</p>	<p>0 a 4%</p>	<p>Traços a 1%</p>	$\frac{\text{CH}_4 + 3\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}_3\text{C} + 2\text{H}_2}{\text{CH}_4 + 4\text{FeO} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}}$	<p>Fortemente carbonetante</p> <hr/> <p>Redutora</p>	<p>Deseja-se geralmente metano porcentagem muito baixa porque a maioria das atmosferas são contaminadas pelo ar, vapor de água ou CO₂</p>
<p>Nitrogênio (N₂)</p>	<p>0 a 100%</p>	<p>Restante</p>	<p>Neutra</p>		<p>Seria a atmosfera ideal se pudesse ser mantida completamente isenta de contaminação pelo ar, vapor d'água ou CO₂. Para compensar essa contaminação, deveria adicionar CO e talvez traços de CH₄</p>
<p>Oxigênio (O₂)</p>	<p>0</p>	<p>0</p>	$\frac{\text{O}_2 + 2\text{Fe} \rightarrow 2\text{eO}}{\text{O}_2 + \text{Fe}_3\text{C} \rightarrow 3\text{Fe} + \text{CO}_2}$	<p>Fortemente oxidante</p> <hr/> <p>Fortemente descarbonetante</p>	<p>Para evitar oxidação e descarbonetação, O oxigênio deve ser inteiramente eliminado da atmosfera dos fornos.</p>

TEMPERATURAS MÁXIMA COMPARATIVAS PARA OPERAÇÃO DE AÇOS RESISTENTES AO CALOR SEM EXCESSIVA OXIDAÇÃO

Aços Cr	Temperatura máxima (°C)	Aços Cr-Ni	Temperatura máxima (°C)
501 AISI (0,5 Mo)	620	302-304 AISI	900
7 Cr	650	302B AISI	980
9 Cr	650	309 AISI	1095
403-410 AISI	705	310 AISI	1150
430 AISI	845	316 AISI	900
442 AISI	955	321 AISI	900
446 AISI	1095	347 AISI	900

VANTAGENS, DESVANTAGENS E APLICAÇÕES TÍPICAS DE AÇO CARBONO PARA FERRAMENTAS

Vantagens	Desvantagens	Aplicações Típicas
Boa usinabilidade	Dureza a quente muito baixa	Machos e tarraxas Cossinetes Brocas Helicoidais
Gume Cortante	Suscetibilidade à fissuração no tratamento térmico, quando se exige na peça mudanças drásticas de dimensão	Limas Alargadores manuais Escareadores de tubos Escareadores ajustáveis Serras de fita
Dureza superficial elevada com núcleo de tenacidade satisfatória.	Baixa capacidade de manter estabilidade dimensional durante o tratamento térmico	Fresas para acabamento especial Talhadeiras, cinzéis e formões manuais

PROPRIEDADES DESEJADAS EM CHAPAS DE AÇO LAMINADO A FRIO PARA ESTAMPAGEM PROFUNDA

Tipo de Aço	Dureza Rockwell B	Limite de escoamento¹ (kgf/mm²)	Limite de resistência à tração (kgf/mm²)	Alongamento total, Em 50 mm(%)	Relação elástica	“Copo” Olsen² (mm)
Comercial, efervescente e recozido	50	24,5	29,5	37	0,85	9,65
Comercial efervescente e aplainado ³	55	24,5	30,8	35	0,80	9,40
Para estampagem profunda, efervescente e recozido	45	22,5	28,7	41	0,75	10,16
Para estampagem profunda e aplainado	48	21,0	29,5	39	0,70	9,91
Para estampagem profunda, acalado e aplainado	45	17,5	28,7	41	0,60	10,16

¹Valor dado na direção da laminação; na direção perpendicular, o valor é aproximadamente 1,5 kgf/mm² mais elevado.

²Os valores dados correspondem a espessura de 0,91 mm.

³A expressão “aplainado” aqui usada é relativa à operação de laminação a frio final para eliminar as linhas de Luder.

AÇOS-CROMO-NÍQUEL RESISTENTES AO CALOR

Tipo	C (%)	Mn (Max.) (%)	Si (max.) (%)	Cr (%)	Ni (%)	Outros Elementos (%)
302	AISI 0,08-0,20	2,00	1,00	17,00-19,00	8,00-100,00	-
302B	- 0,08-0,20	2,00	2,00-3,00	17,00-19,00	8,0-10,00	-
304	- 0,08 (max)	2,00	1,00	18,00-20,00	8,00-11,00	-
309	- 0,20 (max)	2,00	1,00	22,00-24,00	12,00-15,00	-
310	- 0,25 (max)	2,00	1,50	24,00-26,00	19,00-22,00	-
316	- 0,10 (max)	2,00	1,00	16,00-18,00	10,00-14,00	2,00-3,00 Mo
321	- 0,08 (max)	2,00	1,00	17,00-19,00	8,00-11,00	5xC min Ti
347	- 0,08 (max)	2,00	1,00	17,00-19,00	9,00-12,00	10 x C min. Cb

PROPRIEDADES MECÂNICAS DE AÇO - CARBONO PARA FUNDIÇÃO

Propriedades	Baixo C (0,09-0,20)	Médio C (0,20-0,50)	Alto C (0,50-0,90)
Limite de escoamento, Kgf/mm ²	15-25	20-40	35-45
Limite de resistência à tração Kgf/mm ²	35-50	45-70	55-85
Alongamento em 50mm, %	35-25	30-15	20-10
Estricção	65-50	50-25	25-5
Dureza Brinell	90-135	120-200	180-250

PROPRIEDADE FÍSICAS E MAGNÉTICAS TÍPICAS DE CHAPAS FE-SI

Teor aproximado de silício (%)	Resistividade (microhms/cm)	Limite de resistência à tração Kgf/mm²	Alongamento em 50mm (%)
0,25-0,30	28	-	-
0,50-0,60	28	31,0	25
1,25-1,50	44	35,0	22
2,50-2,75	44	47,5	14
2,75-3,25	50	-	-
3,25-3,50	50	49,0	12
3,60-4,00	52	56,0	8
4,00-4,25	58	50,5	6
4,25-4,50	60	53,0	5
4,50-4,75	65	49,0	2

PROPRIEDADES DOS AÇOS**Tratamentos típicos de alívio de tensões em diversos tipos de casos**

Tipos de aço	Temperatura °C	Tempo, horas por 25,4 mm de secção
Aço com 0,35%C, com menos de 19 mm de secção.	Alívio de tensões geralmente desnecessário	
Aço com 0,35%C, com, 19 mm ou mais de secção	595° a 675° °C	1
Aço com menos que 0,35%C, com menos de 12,7mm de secção.	Alívio de tensões geralmente desnecessário	
Aço com mais que 0,35%C, com 12,7 mm ou mais de secção.	595° a 675° °C	1

continua...

continuação.

Aço C-Mo com menos que 0,20%C(qualquer espessura)	595° a 675° °C	2
Aço C-Mo, com 0,20 a 35%C(qualquer espessura)	675° a 760 °C	3 a 2
Aço Cr-Mo, com 2%Cr e 0,5 % Mo(qualquer espessura)	720° a 745° °C	2
Aço Cr-Mo com 2 ,25%Cr,1%Mo e 5%Mo (qualquer espessura)	730° a 760°C	3
Aço Cr-Mo com 9% Cr e 1% Mo(qualquer espessura)	745° a 775°C	3
Aços inoxidáveis 410 e 430 (qualquer espessura)	775° a 800°C	2
Aços inoxidáveis 309 e 310(com secção superior a 19 mm)	870°C	2

EFEITO DO ENCRUAMENTO OBTIDO POR LAMINAÇÃO A FRIO SOBRE PROPRIEDADES DE TRAÇÃO DE UM AÇO DE BAIXO CARBONO

Propriedade	Estado recozido	Encruamento com 30% de redução	Encruamento com 60% de redução
Limite de proporcionalidade kgf/mm ²	19,0	11,0	7,0
Limite de escoamento, kgf/mm ²	24,0	52,5	67,5
Limite de resistência à tração, kgf/mm ²	41,0	56,5	68,5
Alongamento em 100 mm	41,7	22,0	10,5
Estricção, %	65,8	58,0	43,0

PROPRIEDADES DOS AÇOS

Efeito do tipo de estrutura sobre as propriedades de tração do aço

Propriedade	Ferro comercialmente puro	Aço com 1% de carbono		
		Perlítico	Coalescido	Temperado revenido
Limite de escoamento kgf/mm ²	18,2	59,5	28,0	
Limite de resistência à tração, kgf/mm ²	29,4	105,0	54,6	182,0
Alongamento ⁰ ₀	40.44	10	31	13
Estricção, %	70.75	12.15	57	45
Dureza Brinell	80.85	300	156	540

Propriedades mecânicas de aço 1095 submetido a três tipos de tratamento térmico

Tratamento térmico	Dureza Rockwell	Resistência ao choque kmg	Alongamento em 25 mm (%)
Resfriado em água e revenido	53,0	1,66	0
Resfriado em água e revenido	52,5	1,94	0
Martemperado e revenido	53,0	3,88	0
Martemperado e revenido	52,8	3,32	0
Austemperado	52,0	6,23	11
Austemperado	52,5	5,54	8

Propriedades mecânicas dos microconstituintes dos aços

Constituinte	Limite de resistência à tração kgf/mm²	Alongamento em 50 mm %	Dureza Brinell	Poder endurecedor (com têmpera)
Ferrita	35	Cerca de 40	90	Nenhum
Perlita	85	Cerca de 10	250/300	Máximo
Cementita	3	0	650	Nenhum

VALORES DE RESISTÊNCIA PARA AÇOS E FERROS FUNDIDOS

Material	Resistência Mínima						
	Módulo de elasticidade $E = \frac{1}{\alpha}$ Kp/mm ²	Resistência ao deslizamento $G = \frac{1}{\beta}$ Kp/mm ²	Limite de proporcionalidade σ_p %	Alongamento σ_s %	Tração σ_{zB} % Kp/mm ²	Compressão σ_{zB} % Kp/mm ²	
Ferro Fundido	GG 12 GG 14 GG 22 GG 26	7500 a 12500	2900 a 4000	8 a 15	Diretamente proporcional a σ_B	12 14 22 26	60 a 85
Ferro Fundido Maleável	GTW 35 GTW 40 GTW 36 GTW 45	17000	5800	- 24 22 30	- 24 22 30	35 40 36 45	- 40 36 45
Ferro Fundido com grafita esferoidal	Ferro Fundido	1500 a 18000	5400 a 6500	20	35	35 a 50	-
Aço Fundido	GS 33 GS 60	21500 21500	8300 8300	16 28	18 38	38 60	- -
Aço Estrutural recozido	St 00 St 37 St 42			13 18 20	15 22 25	30 37 42	

Continua...

Continuação - VALORES DE RESISTÊNCIA PARA AÇOS E FERROS FUNDIDOS

		Aprox. 0,38 E 8100				Quando mole, σ_s é determinante; quando duro $\sigma_{0,2B}$
Aço cementado	16 MnCr 5				60	80
(endurecido na aplicação)	20 MnCr 5				70	100
Valores do núcleo	15 MnCr 6				65	90
	18 MnCr 8				80	120
	C 10	21000	-		25	42
	C 15				30	50
Aço para revenizamento recozido	C 22		20		25	45
	C 35		23		30	55
	C 45		25		35	60
	C 60		30		40	70
Aço para revenimento Temperado e revenido	C 35		32		42	72
	C 60	-	43		57	80
	40 Mn 4		39		55	95
	34 CrMo 4		46		65	105
	30 CrNiMo 8		82		105	145
Chapas	St I 23		14		18	30
	St VII 23		14		18	30
Aço para molas	Não- temperado	22000	8300		-	100
	Temperado	22000	8300		-	100

VALORES DE RESISTÊNCIA PARA AÇOS E FERROS FUNDIDOS

Material	Classificaçã o	Limite de Alongamento σ_s Kp/mm ²	Resistência à tração σ_b Kp/mm ²	Alongamento de ruptura δ_s , %	Valores de Resistência						
					Alongamento alternada simétrica conforme Whöler		Solicitação contínua		Solicitação alternada simétrica conforme Whöler		Solicitação contínua
					σ_1 Kp/mm ²	σ_{b1} Kp/mm ²	τ_{t1} Kp/mm ²	σ_{bc} Kp/mm ²	τ_{tc} Kp/mm ²		
St 34	Todos os	21	34...42	27	± 16	± 17	± 10	22	29	13	
St 37	aços	23	37...45	25	± 17	± 19	± 11	24	33	14	
St 42	estruturais	25	42...50	22	± 19	± 22	± 13	27	38	15	
St 50	conforme	29	50...60	20	± 22	± 25	± 15	32	43	18	
St 60	DIN 17100	33	60...72	15	± 26	± 32	18 ±	38	54	22	
St 70		35	70...85	10	± 32	± 37	± 20	45	62	26	
Ck 35	Aços para	42	65...80	16	± 25	± 30	± 16	33	45	19	
Ck 45	revestimento	48	75...90	14	± 29	± 35	± 17	39	53	21	
Ck 60	não ligados	57	85...105	12	± 34	± 40	± 20	45	60	26	
	conforme										
	norma DIN										
	17200										
40 Mn 4	Aços para	65	90...105	12	± 32	± 35	± 20	45	60	26	
30 Mn 5	revestimento	55	80...95	14	± 32	± 35	± 20	45	60	26	
37 MnSI 5	não ligados	80	100...120	11	± 36	± 40	± 23	55	68	32	
42 MnV 7	conforme	90	110...130	10	± 40	± 45	± 26	70	78	40	
	norma DIN										
	17200										
25 CrMo 4	Aços para	65	90...105	12	± 32	± 35	± 20	45	60	26	
34 CrMo 4	revestimento	80	100...120	11	± 36	± 40	± 23	55	68	32	
42 CrMo 4	não ligados	90	110...130	10	± 40	± 45	± 26	70	77	40	
50 CrMo 4	conforme	90	110...130	10	± 45	± 50	± 29	79	85	47	
36 CrNiMo 4	norma DIN	90	110...130	10	± 40	± 45	± 26	69	78	40	
36 CrNiMo 6	norma DIN	90	110...130	10	± 45	± 50	± 29	78	88	46	
35 CrNiMo 8	17200	105	125...145	9	± 50	± 55	± 32	85	96	50	

Continua...

Continuação - VALORES DE RESISTÊNCIA PARA AÇOS E FERROS FUNDIDOS

Ck 10	25	42...52	19	±19	±22	±13	25	35	15
Ck 15	30	50...65	16	±23	±25	±15	30	42	18
Aços cementados não-ligados conforme norma DIN 17210									
Equivalentes aos aços 1020									
16 MnCr 5	60	80...100	10	±36	±40	±23	60	67	35
20 MnCr 5	70	100...130	8	±45	±50	±30	70	85	41
15 MnCr 6	65	90...120	9	±40	±45	±26	65	80	38
18 MnCr 8	60	120...145	7	±54	±60	±35	80	104	46
17210									
Engrenagens, manuais e roletes									
CG 15	-	15	-	±4	±8	±7	6	11	8
CG 20	-	20	-	±5	±10	±8	7	16	11
CG 25	-	25	-	±6	±12	±10	9	20	15
CG 30	-	30	-	±8	±15	±13	12	24	18
CG 35	-	35	-	±9	±18	±15	14	28	21
CG 40	-	40	-	±10	±20	±18	16	32	24
GGG 38	25	38	17	±11	±19	±10	20	30	16
GGG 42	28	42	12	±13	±22	±12	23	36	20
GGG 50	35	50	7	±15	±25	±15	26	42	25
GGG 60	42	60	2	±18	±30	±17	30	50	29
GGG 70	50	70	2	±21	±35	±20	38	60	34
GS 38.3	18	38	25	±13	±16	±9,5	18	26	11
GS 45.3	22	45	22	±15	±19	±11	22	30	13
GS 52.3	25	52	18	±18	±22	±13	25	35	15
GS 60.3	36	60	15	±21	±26	±14	36	50	21
COR 13.65	45	65...75	-	±22	±22	±17	45	60	26

*Os valores de resistência, deverão ser protegidos com coeficiente de segurança, usualmente 2.

