

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Órgãos de Máquinas II

Elaborado e revisto por Paulo Flores, José Gomes, Nuno Dourado e Filipe Marques - 2017



Universidade do Minho
Departamento de Engenharia Mecânica
Campus de Azurém
4804-533 Guimarães - PT

Tel: +351 253 510 220
Fax: +351 253 516 007
E-mail: pflores@dem.uminho.pt
URL: www.dem.uminho.pt



Universidade do Minho
Departamento de Engenharia Mecânica
Campus de Azurém
4804-533 Guimarães - PT

Tel: +351 253 510 220
Fax: +351 253 516 007
E-mail: jgomes@dem.uminho.pt
URL: www.dem.uminho.pt



Universidade do Minho
Departamento de Engenharia Mecânica
Campus de Azurém
4804-533 Guimarães - PT

Tel: +351 253 510 220
Fax: +351 253 516 007
E-mail: nunodourado@dem.uminho.pt
URL: www.dem.uminho.pt



Universidade do Minho
Departamento de Engenharia Mecânica
Campus de Azurém
4804-533 Guimarães - PT

Tel: +351 253 510 220
Fax: +351 253 516 007
E-mail: fmarques@dem.uminho.pt
URL: www.dem.uminho.pt

T.01 – SISTEMAS DE TRANSMISSÃO DE MOVIMENTO

1. Introdução às Transmissões Mecânicas
2. Classificação das Transmissões Mecânicas
3. Transmissões por Contacto Direto
4. Transmissões por Ligação Intermédia
5. Fatores de Seleção de uma Transmissão
6. Transmissões por Correias
7. Transmissões por Correntes
8. Transmissões por Engrenagens
9. Análise Comparativa das Transmissões Mecânicas

Transmissões Mecânicas

A transformação ou **transmissão de movimento entre os órgãos motor e movido** das máquinas e mecanismos pode ser realizada por componentes ou elementos denominados, genericamente, **transmissões**.

No domínio científico-técnico das máquinas e mecanismos podem distinguir-se as **transmissões mecânicas** das **transmissões hidráulicas**, tal como se ilustra nas figuras 1 e 2, respetivamente.



Fig. 1 Transmissões mecânicas



Fig. 2 Transmissões hidráulicas

No contexto da unidade curricular Órgãos de Máquinas II, apenas se estudam as **transmissões mecânicas** cujo princípio de funcionamento (*i.e.*, a transmissão do movimento) se baseia no **atrito entre as superfícies** dos componentes ou **contacto entre elementos** das máquinas.

Transmissões Mecânicas

Os principais tipos de [transmissões mecânicas](#) que irão ser objeto de estudo nesta unidade curricular são as [correias](#), as [correntes](#) e as [engrenagens](#), como se representa nas figuras 3, 4 e 5, respetivamente.



Fig. 3 Transmissão por correia



Fig. 4 Transmissão por correntes



Fig. 5 Transmissão por engrenagens

Deve ainda referir-se que em todos os sistemas de transmissão supramencionados, se [transmite movimento de rotação](#) (circular).

Na verdade, estes sistemas de transmissão são os [mais comumente utilizados](#) em máquinas e mecanismos para [transmitir potência](#) (movimento, binário).

Transmissões Mecânicas por Contacto Directo e por Ligação Intermédia

Nas máquinas de uso frequente na indústria, a transmissão ou transformação de movimento pode ser realizada de duas formas distintas, nomeadamente por **contacto directo** ou por **ligação intermédia**.

No primeiro caso, o movimento é promovido pelo **contacto entre as superfícies dos órgãos motor e movido**. Neste grupo incluem-se, por exemplo, os sistemas de transmissão por **rodas de atrito**, as **engrenagens** e os mecanismos do tipo **came-seguidor**, tal como se ilustra nas figuras 6, 7 e 8.

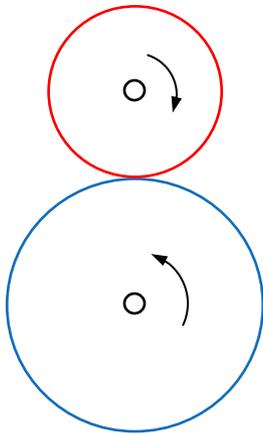


Fig. 6 Rodas de atrito

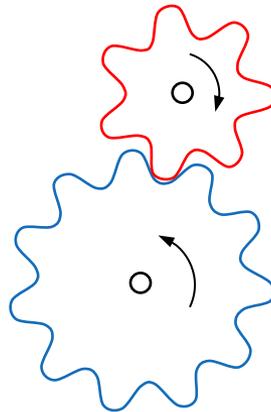


Fig. 7 Engrenagem

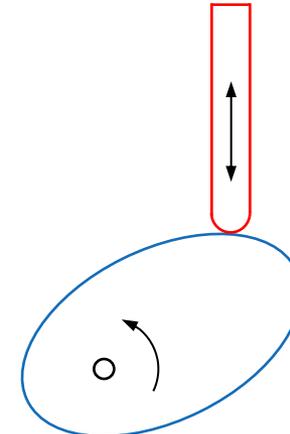


Fig. 8 Sistema came-seguidor

Transmissões Mecânicas por Contacto Direto e por Ligação Intermédia

Por seu lado, no segundo grupo encontram-se os sistemas de transmissão de movimento em que os **órgãos motor e movido estão ligados por um corpo intermédio**.

Quando a transmissão de movimento é realizada por ligação intermédia, aquela pode ser **rígida**, como no caso de um mecanismo de quatro barras, ou **flexível**, como nas correias e nas correntes. As figuras 9, 10 e 11 ilustram estes tipos de transmissão de movimento por ligação intermédia.

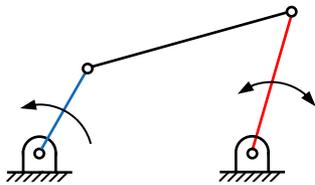


Fig. 9 Mecanismo de 4 barras

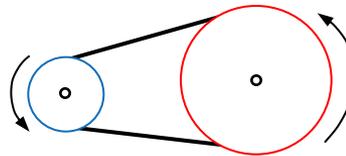


Fig. 10 Transmissão por correia

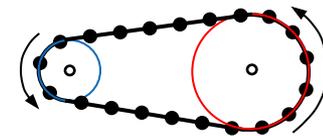


Fig. 11 Transmissão por corrente

Na figura 12 estão listados alguns dos principais **sistemas de transmissão de movimento** utilizados em máquinas e mecanismos.

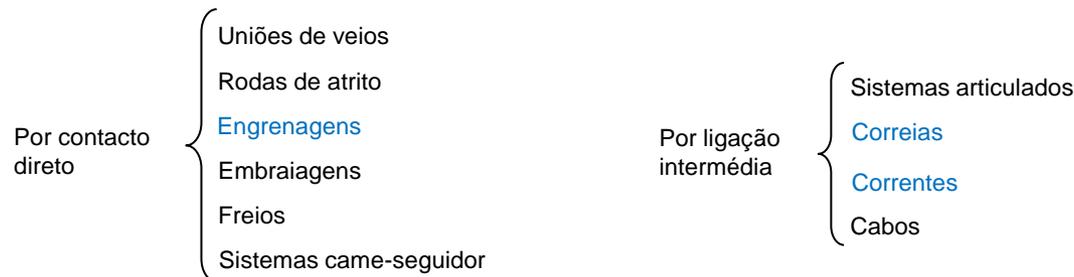


Fig. 12 Sistemas de transmissão de movimento frequentemente utilizados em sistemas mecânicos

Exemplos de Transmissões Mecânicas por Contacto Direto

As figuras 13 a 21 ilustram **exemplos** de transmissões mecânicas que funcionam por **contacto direto**.



Fig. 13 União elástica



Fig. 14 Junta Oldham



Fig. 15 Junta Cardan

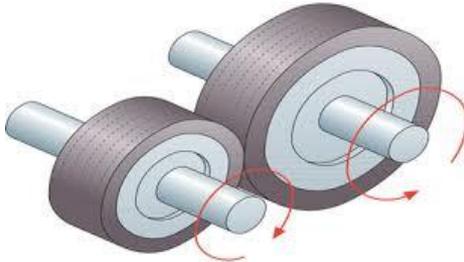


Fig. 16 Rodas de atrito



Fig. 17 Engrenagem



Fig. 18 Embraiagem



Fig. 19 Freio



Fig. 20 Came-seguidor



Fig. 21 Mecanismo de Geneva

Uniões de Veios

Em geral, nas **uniões de veios** (e também nas embraiagens), as características do movimento não são modificadas. As **uniões de veios** (ou acoplamentos):

- São utilizadas para unir veios em que os órgãos motor e movido têm os **eixos próximos**
- São utilizados, em geral, para unir veios que **rodam à mesma velocidade**
- Suportam ligeiros **desalinhamentos axiais e angulares**.

As figuras 22 a 26 mostram alguns **exemplos de aplicação** de uniões de veios.



Fig. 22 União elástica

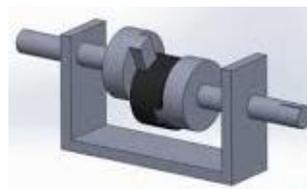


Fig. 23 Junta Oldham



Fig. 24 Junta Cardan



Fig. 25 Desalinhamentos



Fig. 26 Exemplo de aplicação de união de veios.

Rodas de Atrito

As **rodas de atrito** (ver figura 27) são utilizadas nas seguintes situações:

- Quando os **eixos geométricos** dos órgãos motor e movido se encontram **afastados** um do outro
- Quando se pretende obter uma **velocidade de saída diferente** da velocidade de entrada, quer em módulo, quer em sentido.

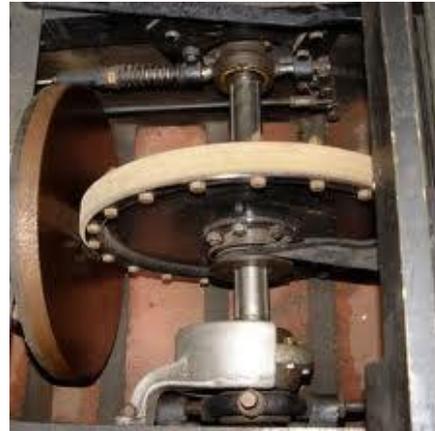


Fig. 27 Exemplos de aplicação de transmissões por rodas de atrito.

As rodas de atrito têm relativamente pouco interesse prático, uma vez que as forças normais podem causar **deformações plásticas nas zonas de contacto** e, concomitantemente, penalizar o seu **desempenho**.

Por outro lado, o **elevado atrito gerado** entre as rodas origina **desgaste significativo**, principalmente na roda de menor diâmetro.

Por estas razões, as rodas de atrito são apenas utilizadas em situações particulares que envolvam **potências reduzidas**.

Rodas de Atrito

A figura 28 representa o esquema de **um par de rodas de atrito**. Atendendo a que a posição da roda 1 pode variar em relação ao eixo da roda 2, deduza uma **expressão para a relação de transmissão**.

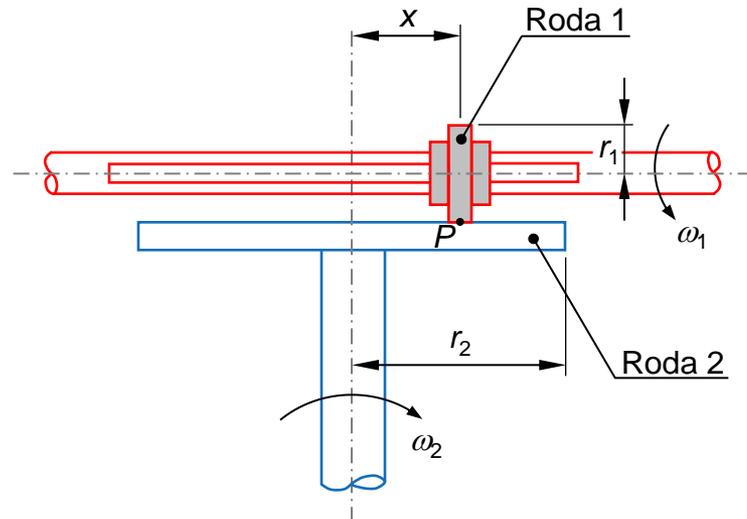


Fig. 28 Par de rodas de atrito.

Não havendo escorregamento, no **ponto de contacto** (P) a velocidade é mesma, quer se considere o ponto pertencente à roda 1, quer se considere o ponto pertencente à roda 2, então tem-se que

$$v^P = \omega_1 r_1 = \omega_2 x$$

Com efeito, atendendo à **definição de relação de transmissão**, da equação anterior obtém-se que

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{x}{r_1}$$

Exemplos de Transmissões Mecânicas por Ligação Intermédia

As figuras 29 a 35 ilustram exemplos de aplicação de **transmissões mecânicas** que funcionam por **ligação intermédia**.



Fig. 29 Sistema articulado

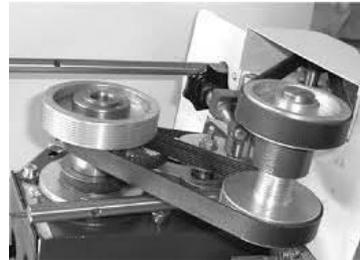


Fig. 30 Correias planas

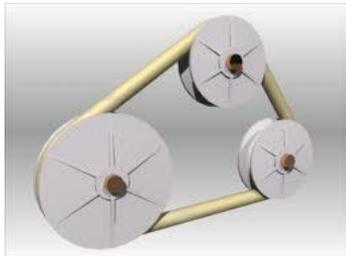


Fig. 31 Correia redonda



Fig. 32 Correia trapezoidal



Fig. 33 Correia dentada



Fig. 34 Corrente de rolos

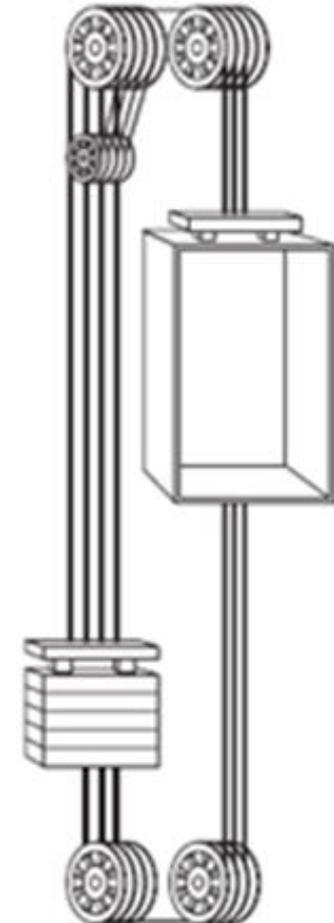


Fig. 35 Transmissão por cabos 11



Fatores na Escolha de uma Transmissão Mecânica

Vários são os **fatores que concorrem para a correta seleção de uma transmissão mecânica** e que devem ser tidos em consideração antes de se proceder ao respetivo cálculo/dimensionamento. Em primeiro lugar, uma transmissão mecânica deve ser escolhida de modo a responder cabalmente às **exigências e condições de funcionamento**.

Listam-se de seguidas os principais parâmetros que influenciam a escolha de uma transmissão mecânica:

- **Condições de funcionamento** – existem limites superiores para potência, binário e velocidade
- **Disposição relativa dos eixos** dos órgãos motor e movido – eixos paralelos ou perpendiculares
- **Condições ambientais** – capacidade de resistir a poeiras, humidade, etc.
- **Compacidade e custo** – parâmetros que variam em sentido oposto, requerendo compromisso
- **Distância entre eixos** – a distância entre eixos condiciona o tipo de transmissão
- **Duração** – em determinadas aplicações requer-se uma duração elevada
- **Precisão na transmissão do movimento** – garantir constância na relação de transmissão
- **Manutenção** – a facilidade e frequência de manutenção é também muito importante
- **Ruído** – o nível de ruído é por demais importante em determinadas aplicações
- **Fiabilidade** – muito importante em termos de segurança
- **Rendimento** – tem relevância na problemática da economia de energia
- **Montagem** – facilidade/dificuldade de acesso.

Correias Planas, Trapezoidais e Dentadas

De entre os diversos tipos de correias, as mais comuns são as **planas**, as **trapezoidais** (ou em “V”) e as **dentadas** (ou síncronas). Existem ainda as correias redondas. As figuras 36 a 39 ilustram estes tipos de correias para transmissão de potência. As correias trapezoidais são, sem dúvida, as mais utilizadas.



Fig. 36 Correia plana



Fig. 37 Correias trapezoidais ou em “V”



Fig. 38 Correia dentada ou síncrona



Fig. 39 Correias redondas

As correias são utilizadas para **transmitir movimento entre veios paralelos** e, embora não tão frequente, podem também ser usadas para casos de veios não complanares situados a **grandes distâncias**.

Correntes de Rolos

As **correntes de rolos** são as mais comuns para transmitir potência entre veios. As correntes de rolos são constituídas por **placas internas** e **externas ligadas por pinos**. Os pinos são envolvidos por **buchas** nas quais funcionam (rolam) os rolos. Na figura 40 podem ser identificados os elementos constituintes de uma corrente de rolos de uso frequente.

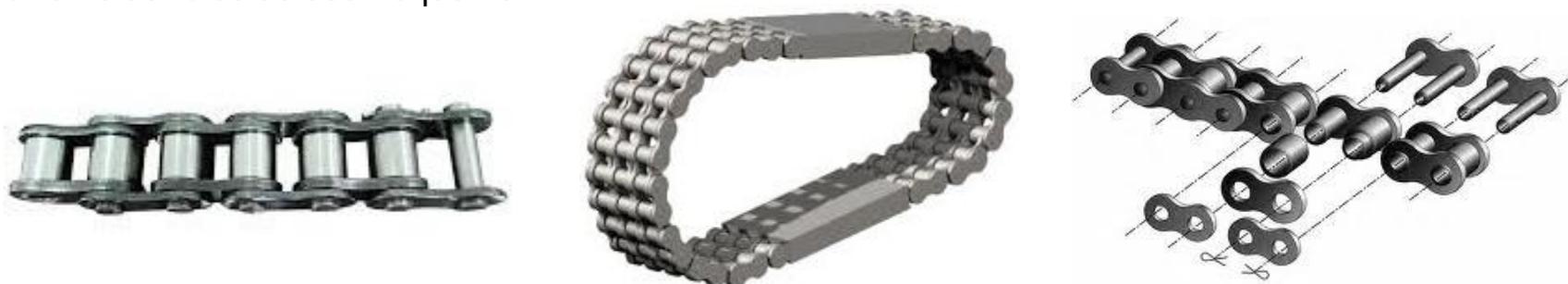


Fig. 40 Tipos de transmissões de correntes de rolos (simples e tripla) e seus elementos constituintes

As **correntes de buchas** diferem das de rolos pelo facto de não possuírem rolos. Existem ainda correntes de **passo alongado** e **correntes de dentes**. As figuras 41, 42 e 43 ilustram estes tipos de correntes.



Fig. 41 Corrente de buchas



Fig. 42 Correntes de passo alongado



Fig. 43 Corrente de dentes

Engrenagens Cilíndricas, Cónicas e Torsas

De entre os sistemas de transmissão mecânica, as **transmissões por engrenagens** são, indubitavelmente, as mais utilizadas. As engrenagens são **bastante versáteis** pois permitem transmitir, praticamente, qualquer tipo de movimento e potência. As figuras 44 a 47 ilustram alguns tipos de engrenagens de uso frequente.



Fig. 44 Engrenagem cilíndrica de dentes retos



Fig. 45 Engrenagem cilíndrica de dentes inclinados



Fig. 46 Engrenagem cónica de dentes curvos



Fig. 47 Engrenagem torsa de parafuso sem-fim

Condições de Funcionamento

Correias

- Devido à **força centrífuga**, as correias têm um **limite superior para a velocidade periférica** (até 25 m/s para correias trapezoidais)
- Em termos de transmissão de potência, as correias são o tipo de **transmissão mecânica mais limitado** (1000 kW para as correias trapezoidais)

Correntes

- As correntes operam a **velocidade de funcionamento inferiores** às das correias e das engrenagens (17 m/s)
- No que diz respeito à transmissão de potência, as correntes situam-se **entre as correias e as engrenagens** (4000 kW)

Engrenagens

- As engrenagens permitem uma **grande variedade de velocidade periféricas** de funcionamento (até 200 m/s para as engrenagens cilíndricas)
- O mesmo acontece na **capacidade de transmissão de potência** (18000 kW para as engrenagens cilíndricas)



Posição Relativa dos Eixos

Correias

- As correias **trapezoidais e dentadas funcionam entre veios paralelos** e, em geral, na horizontal
- As **correias planas admitem veios não complanares** com ou sem inversão do sentido de rotação

Correntes

- As correntes só devem operar entre **veios rigorosamente paralelos**
- As correntes requerem ainda um **perfeito alinhamento** entre o pinhão e a roda

Engrenagens

- As engrenagens possibilitam a transmissão de movimento entre **veios paralelos, concorrentes e não complanares**
- As engrenagens requerem elevada **precisão de fabrico e montagem**

Condições Ambientais

Correias

- As correias apresentam uma **resistência superior às condições ambientais** (humidade e poeira) quando comparadas com as correntes e engrenagens
- As correias não necessitam, em geral, de sistemas de proteção contra as condições ambientais
- As correias têm **baixa resistência** quando funcionam a **temperaturas elevadas**

Correntes

- As correntes **requerem, em geral, lubrificação**, cujo modo depende das condições de funcionamento (potência e velocidade)
- As correntes apresentam **baixa resistência às condições ambientais** e requerem frequentemente **sistemas de proteção**

Engrenagens

- As engrenagens resistem relativamente **mal às condições ambientais** (humidade e poeira) requerendo, em geral sistemas de proteção
- As engrenagens necessitam, na maioria das vezes, de sistemas de **lubrificação**

Compacidade e Custo

Correias

- As correias são, em geral, **mais baratas** que as correntes e as engrenagens, necessitam de grandes distâncias entre eixos, sendo, por isso, menos compactas
- As correias requerem o **ajustamento do entre-eixo e da pré-tensão**
- As correias dentadas são mais compactas, não requerem pré-tensão, mas implicam **maior custo**

Correntes

- As correntes apresentam **compacidade e custo entre as correias e as engrenagens**
- As correntes não necessitam de pré-tensão mas requerem ajustamento do entre-eixo

Engrenagens

- As engrenagens são **mais compactas** e **mais caras** do que as correias e correntes
- Nas engrenagens os **esforços nos veios são inferiores** devido à não existência de pré-tensão e à possibilidade de operarem com velocidade periféricas maiores

Distância Entre Eixos

Correias

- As correias podem ser utilizadas em aplicações que requeiram **grandes distâncias entre eixos**, sobretudo as correias planas
- As correias apresentam limitações quanto ao **entre-eixo mínimo**
- Nas correias trapezoidais as **relações de transmissão** podem atingir o valor de **8**

Correntes

- As correntes possibilitam a utilização de **distâncias entre os eixos menores** do que no caso da correias
- Nas correntes as **relações de transmissão** podem atingir o valor de **7**

Engrenagens

- As engrenagens **não são utilizadas para grandes distâncias entre os eixos**, uma vez que implicaria a consideração de **rodas intermédias** e um incremento no custo
- Nas engrenagens as **relações de transmissão** podem atingir o valor de **8** (no caso do parafuso sem-fim as relações de transmissão podem atingir o valor de **60**)

Duração

Correias

- As correias **trapezoidais** podem ter uma vida até 10000 horas
- As correias **planas** podem durar até 40000 horas, pois apresentam menores tensões de flexão
- As correntes **dentadas** apresentam menor vida devido à fadiga na raiz dos dentes

Correntes

- As correntes apresentam uma **duração longa** (até 15000 horas) sem necessidade de substituição de corrente e rodas
- As correntes não apresentam a capacidade de absorção de choques como no caso das correias dada a natureza metálica dos materiais envolvidos

Engrenagens

- As engrenagens apresentam uma **duração superior** à das correias e das correntes
- As engrenagens **não absorvem choques** dada a sua rigidez
- As engrenagens **resistem bem a sobrecargas exteriores** devido à tenacidade dos materiais em que são construídas

Precisão na Transmissão de Movimento

Correias

- As correias planas e trapezoidais **não asseguram uma relação de transmissão constante** devido ao **escorregamento** que ocorre entre as superfícies da polia e da correia
- As correias **dentadas** apresentam grande precisão devido à ausência de escorregamento

Correntes

- As correntes **não apresentam constância** do valor instantâneo da **relação de transmissão** de velocidade devido ao **efeito poligonal**
- Nas correntes a razão de transmissão média é perfeitamente definida e independente da carga transmitida

Engrenagens

- Nas engrenagens a **relação de transmissão é rigorosamente constante** e independente da carga transmitida



Manutenção

Correias

- As correias **não necessitam de lubrificação**
- As correias requerem uma **inspeção periódica da pré-tensão**

Correntes

- Nas correntes a **manutenção** é, em geral, **fácil de realizar**
- As correntes requerem **lubrificação e verificação da pré-tensão**

Engrenagens

- As engrenagens requerem uma **manutenção bastante cuidada**



Ruído

Correias

- As correias têm um funcionamento **silencioso**, ao contrário do que acontece com as correntes e as engrenagens

Correntes

- As correntes apresentam um funcionamento **mais ruidoso do que as correias**

Engrenagens

- As engrenagens apresentam um funcionamento **menos ruidoso do que as correntes**



Fiabilidade

Correias

- As correias são **menos fiáveis**

Correntes

- As correntes apresentam uma **fiabilidade intermédia**

Engrenagens

- As engrenagens são **bastante fiáveis**



Rendimento

Correias

- As correias **planas** apresentam um rendimento de **96-98%**
- As correias **trapezoidais** apresentam um rendimento de **94-97%**
- As correias **dentadas** apresentam um rendimento de **98%**

Correntes

- As correntes apresentam um rendimento de **97-98%**

Engrenagens

- As engrenagens **cilíndricas** apresentam um rendimento de **96-99%**
- As engrenagens **cónicas** apresentam um rendimento de **98-99%**
- As engrenagens de **parafuso sem-fim** roda helicoidal apresentam um rendimento de **45-70%**

Montagem

Correias

- As correias planas são mais **fáceis de montar** do que as trapezoidais, sobretudo quando se trata de polias situadas em veios bi-apoiados
- As correias dentadas requerem um sistema de **regulação da distância entre os eixos**

Correntes

- As correntes são de **montagem bastante fácil**
- As correntes requerem um sistema de **regulação da distância entre os eixos**

Engrenagens

- Nas engrenagens a **montagem é bastante fácil**, requerendo uma rigorosa **afinação da folga** entre as rodas, principalmente nas engrenagens cónicas e hipoides
- Nas engrenagens as **tolerâncias de fabrico são bastante apertadas**



Principais Aplicações

Correias

- As correias são utilizadas na [indústria têxtil](#), [industria automóvel](#), [máquinas-ferramenta](#), bombas, compressores, ventiladores, equipamento doméstico, etc.

Correntes

- As correntes encontram aplicação em [máquinas-ferramenta](#), [máquinas agrícolas](#), compressores, bombas, máquinas para a construção civil, máquinas têxteis, etc.

Engrenagens

- As engrenagens são utilizadas na [indústria automóvel](#) (e.g. caixas de velocidades e diferencial), [máquinas-ferramenta](#), máquinas têxteis, máquinas agrícolas, caixas redutoras e multiplicadoras de uso variado, etc.