

***COMO PROJETAR E CONSTRUIR
UM REDUTOR DE VELOCIDADE
PARA USO EM:***

TRIKE

ULTRALEVE

GIROCÓPTERO

AVIÃO

HELICÓPTERO

BARCOS

LANCHAS

Engenheiro Adriano Antonio Luciano de Lima
CREA: 5061459022 – SP

Formação Acadêmica:

**Engenharia de Computação na UNICAMP – Universidade Estadual de
Campinas**

**Técnico em Eletrônica – Escola Técnica Estadual Comendador Emílio
Romi**

Versão do Documento: 2

Data: Janeiro de 2003

Advertência:

**Este texto pode ser copiado e distribuído livremente não deve ser
vendido.**

**As marcas de motores e automóveis citados neste texto são
propriedades de seus fabricantes. Qualquer outra marca é
propriedade de seu respectivo fabricante.**

**Eu não fabrico e nem vendo caixa de redução, engrenagens,
motores, hélices, correia, polia, corrente. A fabricação do
redutor é você quem faz eu só mostro como fazer e projetar.**

Este texto esta disponível gratuitamente na INTERNET em:

www.aall.hpg.com.br

Contato:

adriano.antonio.lima@bol.com.br

aall@ieg.com.br

Introdução:

Este texto é destinado para quem gosta de Trikes, Ultraleves, Barcos, Aviões, Motores e máquinas em geral.

Eu procurei ser o mais claro possível sem utilizar termos técnicos para que qualquer pessoa que saiba pelo menos ler e escrever e fazer contas de multiplicação, divisão, adição e subtração possam entender e fabricar um redutor. Ou seja, você só precisa ser alfabetizado para entender o que eu vou explicar neste documento.

O conhecimento para fazer um redutor é adquirido já no primeiro ano da Universidade assim qualquer Engenheiro sabe fazer um.

Como bibliografia você pode consultar qualquer livro de mecânica de nível universitário ou algum livro de mecânica que é utilizado em curso Técnico de Mecânica ou de Torneiro Mecânico.

Eu considero isto um trabalho de engenharia e como todo trabalho de engenharia deve ser bem feito, bem calculado e bem explicado para não haver erros na fabricação e funcionar como esperado. **Como eu não sei o grau de escolaridade da pessoa que vai ler este texto eu tive que explicar os conceitos teóricos por trás do cálculo de redução. Assim este texto ficou grande.** No entanto há muita informação útil e curiosa que com certeza você já parou para pensar e não encontrou respostas para suas perguntas. Assim vale a pena ler o texto inteiro.

Também foi necessário mostrar as fórmulas e demonstrar o cálculo para que você veja como as coisas se relacionam e como funcionam e de onde vem cada fórmula, ou seja, a prova matemática é a prova científica e é a certeza de que a coisa funciona realmente. Eu mostro que a coisa funciona e como funciona assim evita críticas de pessoas que se dizem “entendidas” no assunto.

Eu espero que você goste deste texto. Eu pesquisei este assunto profundamente durante sete meses em livros de mecânica de nível universitário. Eu fiz o projeto com calma e chequei todos os cálculos duas vezes, no entanto, caso eu tenha cometido algum erro sinta-se à

vontade para fazer qualquer crítica positiva ou negativa, ou para corrigir qualquer erro que eu tenha cometido em conceito teórico ou em contas.

Esta é a segunda versão deste documento. A primeira versão foi publicada na INTERNET em setembro de 2002 e não está mais disponível porque este texto tem tudo que o texto anterior tem. Você pode fazer seu projeto usando a primeira ou a segunda versão deste documento. Eu recebi inúmeras sugestões e também revisei o texto inteiro acrescentando mais informações. Neste documento há mais demonstrações matemáticas, mais detalhes de como acoplar a caixa de redução com o motor e também mais especificações de motores.

Apesar da mecânica não ser a minha área de atuação eu entendo bem de mecânica. Eu sou Engenheiro de Computação formado pela UNICAMP, minha área é informática.

Eu não espero ganhar dinheiro com este texto assim eu estou distribuindo ele gratuitamente pela INTERNET no site:

www.aall.hpg.com.br

Eu resolvi colocar este texto em formato PDF para evitar que ele **seja modificado** e também para que possa ser lido em qualquer tipo de computador. Eu utilizei letras grandes para que fique mais fácil ler o texto na tela do computador.

Eu também não espero ganhar dinheiro com caixa de redução porque eu não tenho oficina e não sei mexer em torno e nem outras máquinas de oficina porque minha área é informática. Entretanto, eu sei projetar como você perceberá.

Também no endereço www.aall.hpg.com.br eu coloquei os textos que eu copieei do fabricante do ROTAX. Há detalhes da especificação dos motores ROTAX e também diagramas de como uma caixa de redução do ROTAX é por dentro para você poder ter uma idéia de como fazer a sua.

Atendendo a pedidos eu também mostrei como “envenenar” um motor Volkswagen 1600 de maneira mais segura, ou seja, aumentando a sua cilindrada.

Agora vamos ao que interessa.

O que é um redutor?

O redutor é um acoplamento de engrenagens ou polias destinada a aumentar a “força” do motor. Você pode imaginar que o redutor é igual ao câmbio de um carro só que ele só tem uma marcha.

Neste texto há o projeto completo para deixar um motor Volkswagen 1600 igual ao ROTAX 582, também mostro como deixar o motor da RD 350 igual ao ROTAX 582, e também mostro como deixar o motor da RD 350 igual ao Volkswagen 1600.

Também mostro como colocar um motor em um barco e deixar ele igual à velocidade de uma lancha. Mostro também que só é possível deixar os motores totalmente equivalentes se eles tiverem a mesma potência na faixa de torque máximo.

Ao final deste texto você vai entender como um motor ROTAX 582 de 580 cilindradas e 2 pistões tem mais “força” que um motor do Santana 2.0 de 2000 cilindradas e 4 pistões.

Onde está a mágica? Na caixa de redução que já vem com o motor ROTAX 582.

Eu dividi este texto em partes que são:

Teoria, onde eu explico os conceitos por trás do redutor.

Exemplo, onde eu mostro como fazer um motor Volkswagen 1600 ficar igual ao ROTAX 582, também mostro como o Motor da RD350 pode ficar igual ao ROTAX 582 ou igual ao Volkswagen 1600. Também mostro um substituto para o ROTAX 912.

Aplicação para barcos, onde eu mostro como aplicar o redutor num barco ou lancha.

Redutor, onde eu mostro como fazer o redutor baseado nos exemplos acima.

Motores, onde eu mostro algumas especificações de motores para que você saiba como consultar e qual utilizar para o seu caso em particular.

Eu aconselho você a ler o texto por inteiro, **principalmente à parte da teoria onde você vai ver que as coisas são como são por um motivo e não por capricho do fabricante**. Por exemplo, você vai entender porque um câmbio de carro não serve para aviões, vai entender como funciona um câmbio de carro, vai saber como fazer o redutor que você deseja, vai entender porque um trator tem uma roda grande atrás, vai entender porque um caminhão tem quatro rodas atrás, vai entender como funciona uma bicicleta de marcha. Você vai entender qual é a mágica dos motores ROTAX, resumindo **REDUTOR É TECNOLOGIA**. Nós estamos no século 21 não dá mais para fazer “gambiarra” ou fazer as coisas a olho ou conforme vem a sua cabeça é preciso estudar o problema, projetar, calcular e só depois executar.

Se você fizer “gambiarra” há uma grande chance do redutor não funcionar ou se funcionar não ser exatamente como você queria. Isso significa que **você perdeu tempo e dinheiro**, e no caso de aviação você colocou sua vida e seu aparelho em risco. Fazer as coisas conforme vem na sua cabeça é igual a você voltar no tempo antes de Santos Dumont, ou seja, você está utilizando a mesma técnica de antes de 1906 o que é inaceitável. Você já deve ter visto na televisão as primeiras tentativas do homem em construir um avião, todas falharam porquê? Porque não foi bem projetado. O avião do Santos Dumont voou porque foi bem projetado e calculado, é aí que está à diferença.

Quantas vezes eu já ouvi e você com certeza também já ouviu que fulano de tal fez um redutor para colocar em motor Volkswagen 1600 e não funcionou. Será que esse fulano de tal sabia o que estava fazendo? Será que ele tinha o conhecimento necessário para fazer um redutor? Será que ele calculou certo? A resposta para essas perguntas é NÃO. Ou seja, a pessoa, **perdeu tempo e dinheiro** e baseados nisto outras pessoas ficam com medo de tentar fazer um redutor por que afinal de contas fulano já tentou e não deu certo.

Eu já vi barco com motor de Galaxie, será que precisa ter um motor tão possante assim? Será que esse barco atinge a mesma

velocidade que uma lancha que tem um motor de popa com a mesma potência?

Você vai entender como deixar motor de Galaxie mais semelhante ao motor de popa com potência igual.

É preciso que você saiba a diferença entre todas as grandezas que estão por trás do movimento de rotação, ou seja, por trás de um motor e de hélices. Isso possibilita você entender como as coisas funcionam e como se relacionam.

É preciso que você saiba distinguir o que é potência do motor o que é RPM, o que é Torque, o que é Força, o que é Velocidade, e como esses conceitos se relacionam.

Porque fazer um redutor? A resposta é simples:

Para aumentar a “força” do motor e poder utilizar uma hélice maior e de passo maior.

Porque aumentar a força do motor?

Para poder substituir um motor por outro. No caso nós queremos substituir os motores ROTAX e os motores de lancha por motores automobilísticos (motor de carro, ou de motocicleta ou de caminhão). Os motores automobilísticos são mais baratos, usam gasolina comum que é mais barata, suas peças são mais baratas e mais fáceis de serem encontradas, há vários mecânicos que sabem consertar motores automobilísticos, geralmente os motores automobilísticos tem uma durabilidade maior. O problema é que os motores automobilísticos são “fracos” assim é necessário o redutor para aumentar a força do motor. Há também o inconveniente que os motores automobilísticos são grandes e pesados o que em aviação é problemático, desta forma não é qualquer motor que serve.

Mesmo que você não tenha nem a oitava série é possível a você aprender como fazer um redutor e entender como ele funciona. Por isso:

LEIA A TEORIA PARA NÃO FAZER BOBAGEM.

Teoria:

Convenção:

Sinal de multiplicação x ou * ou . (ponto)

Exemplo:

$2 \times R$, ou $2 * R$ ou $2.R$ é duas vezes R

No movimento de Rotação algumas grandezas são fundamentais, são elas:

Torque, Força, Velocidade Angular, Velocidade Escalar, Raio, Frequência, Período, Potência, Massa, Momento de Inércia.

Vamos usar abreviações para cada grandeza:

Torque = T

Força = F

Velocidade Angular = W

Velocidade Escalar = V

Raio = R

Frequência = f

Período = t

Potência = P

Vamos ver o que significa cada um destes itens:

Frequência: É o número de voltas dadas em um segundo. É o famoso RPM , RPM quer dizer Rotações por Minuto. A unidade de frequência é o Hertz, abreviação Hz.

60 RPM = 1 Hertz

1 Hertz = $\frac{1}{\text{Segundo}}$

Então um motor girando a 6.000 RPM é o mesmo que dizer que ele gira a 100 Hertz, isso significa que em 1 segundo ele dá 100 voltas.

Período: É quanto tempo demora para dar uma volta. É o inverso da frequência. Símbolo t , sua unidade é o segundo, abreviação s.

$$\text{Período} = \frac{1}{\text{Frequência}}$$

Assim no exemplo acima o motor que gira a 6.000 RPM demora

$$\frac{1}{100} = 0,01 \text{ segundos, para dar uma volta.}$$

Raio: É o tamanho da polia ou engrenagem medida do centro da polia até a borda da polia. O diâmetro é duas vezes o Raio. Sua unidade é o metro, abreviação m.

Velocidade Escalar: É definido como a razão entre a distância que você percorre e o tempo que você demora para percorrer essa distância. Sua unidade é o metro por segundo, abreviação $\frac{m}{s}$

Se você consegue correr 2 metros em 1 segundo sua velocidade escalar é 2 metros por segundo.

Força: É difícil definir com precisão o que é força, mas você pode imaginar que é ela que causa o movimento ou atrapalha o movimento. Sua unidade é o Newton , abreviação N.

Se você levantar alguma coisa que tenha 10 Kg de massa (algo como dois sacos de arroz) você tem que fazer a seguinte força:

$$F = m \times g$$

Onde m é a massa do corpo em Kg, e g é a aceleração da gravidade que vale $9,8 \frac{m}{s^2}$

$$F = 10 \times 9,8 = 98 \text{ N}$$

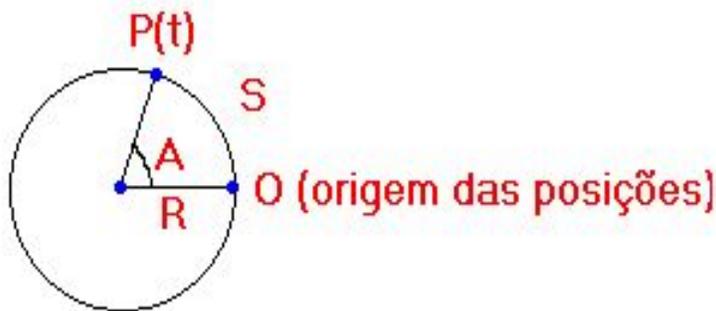
Ou seja, você teve que fazer uma força de 98 Newtons para levantar um objeto de 10 Kg.

Massa: É a quantidade de matéria de um corpo, símbolo m , unidade grama, abreviação g.

Por exemplo, uma pessoa “pesa” 80 Kg, quer dizer que a massa dela é 80 Kg, ou 80.000 gramas.

Velocidade Angular:

Velocidade Angular = ω



A figura acima representa a trajetória da ponta de uma hélice de raio R (diâmetro $2 \cdot R$), a trajetória é uma circunferência.

Veja a figura acima, agora imagine um ponto que você está observando, este ponto está em O (origem das posições) no tempo 0 segundo.

Um segundo depois este ponto está em P(t). Ou seja, ele percorreu a distância S em 1 segundo então sua velocidade escalar é:

$$\text{Velocidade escalar} = \frac{S}{\text{Tempo}}$$

Só que o ângulo variou de zero até o ângulo A, no mesmo tempo, assim a variação do ângulo A no intervalo de tempo é definido como Velocidade Angular.

$$\text{Velocidade Angular} = \frac{\text{Variação do Ângulo A}}{\text{Tempo}}$$

O ângulo é medido em Radiano. Assim a velocidade angular é medida em radianos por segundo, abreviação $\frac{rad}{s}$

A relação entre radiano e graus é a seguinte:

$$2.\pi \text{ radianos} = 360 \text{ graus}$$

O símbolo π é chamado de pi seu valor é 3,141592654 é uma constante necessária aos cálculos.

O ângulo A é definido por:

$$A = \frac{S}{R}$$

$$\text{Então } S = A.R$$

Dividindo cada termo pelo tempo temos:

$$\frac{S}{\text{Tempo}} = \frac{A}{\text{Tempo}} \times R$$

Temos

$$V = W.R$$

Esta é a relação entre velocidade escalar e a velocidade angular e é fundamental para entender como a redução funciona.

A velocidade angular também está relacionada com a frequência e com o período pelas fórmulas:

$$W = 2.\pi.f \quad (\text{f é a frequência})$$

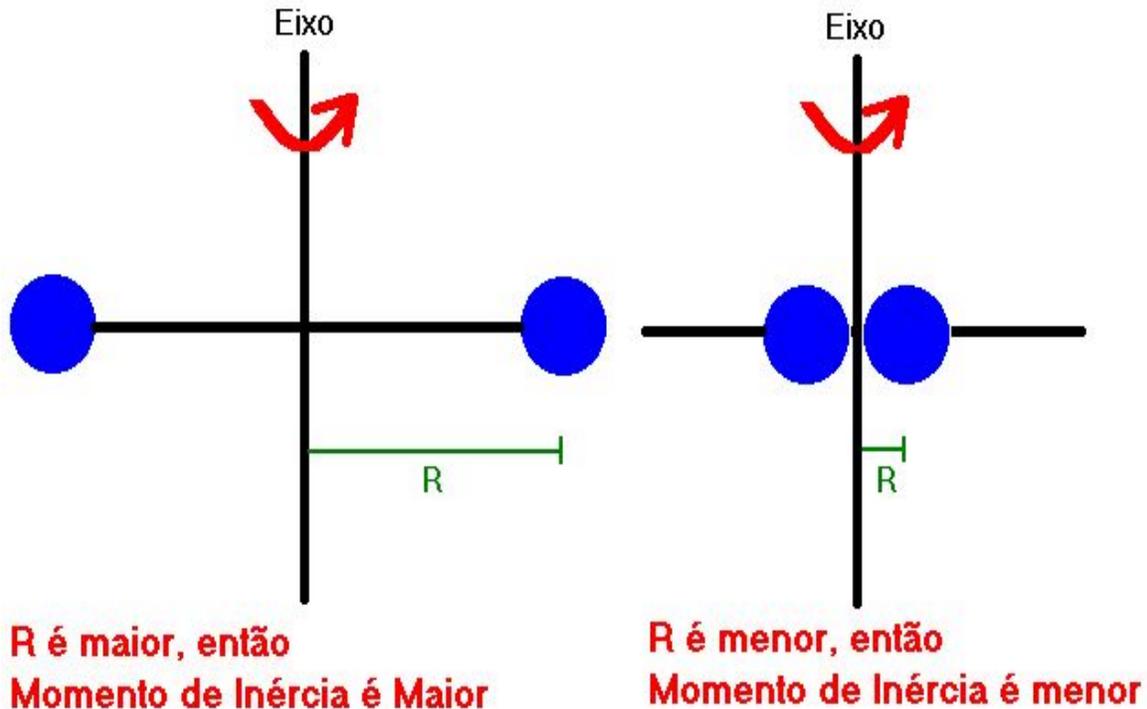
Ou

$$W = \frac{2.\pi}{t} \quad (\text{t é o período})$$

Momento de Inércia

Observe a figura a seguir:

Conceito de Momento de Inércia



A figura representa duas esferas (em azul) de mesmo peso (m) presas em um cano de ferro, este cano de ferro pode girar em torno do eixo. Na figura da esquerda as duas esferas estão a uma distância R do centro de rotação. Na figura da direita as duas esferas foram deslizadas até ficarem bem próximas do centro de rotação (distância R é menor na figura da direita conforme dá para ver no desenho).

Se você pegar o eixo e tentar girar conforme indicado você vai notar que na figura da esquerda é mais difícil você girar do que na figura da direita. O que está atrapalhando o seu movimento de rotação é o momento de inércia. Na figura da esquerda como as massas estão mais longe do centro de rotação o momento de inércia é maior do que quando as esferas estão mais perto do centro de rotação.

O momento de inércia depende da massa e da distância do centro de rotação, para um cálculo exato do momento de inércia você precisa utilizar conhecimento que você só aprende na

Universidade, este conhecimento chama-se cálculo diferencial e integral e a fórmula do momento de inércia é:

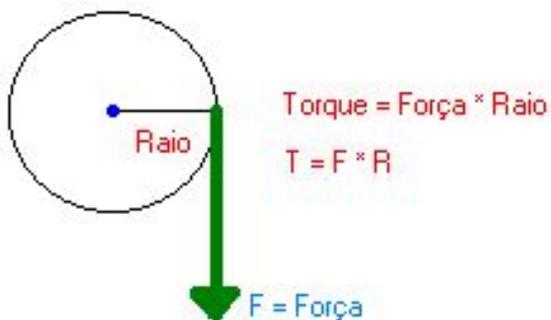
$$\text{Momento de Inércia} = \int r^2 \times dm$$

Esta fórmula mostra que o momento de inércia é a “soma” de cada pedacinho do corpo multiplicado pela distância onde ele está localizado, não se preocupe com esta fórmula que nós não vamos usa-la neste texto é só para entender o que é o momento de inércia e como ele atrapalha seu movimento. r^2 Significa dizer $r \times r$, ou seja, se aumentar r de um fator dois, $r \times r$, aumenta de um fator quatro, o mesmo vale se você diminuir. É por isso que o momento de inércia da figura da direita é menor do que a da esquerda. Quando você ouve dizer que uma hélice de metal é mais “pesada” que uma hélice de madeira quer dizer que o momento de inércia é maior na hélice de metal do que na hélice de madeira. É importante que você saiba que o momento de inércia atrapalha o seu movimento. E está relacionado principalmente com o “peso” do objeto. (No nosso caso hélice, polia, engrenagens).

Torque

Observe a figura abaixo:

Conceito de Torque



Imagine que isto é a trajetória descrita pela ponta de uma hélice. Se você aplicar uma força F na ponta da hélice então você produz torque, este torque é dado por:

Torque = Força x Raio

$$T = F \times R$$

O torque é o efeito de girar, é a “força” de girar, quando você diz que um motor é mais “forte” que o outro quer dizer que ele tem um torque maior do que o outro.

Neste caso você aplica a força F e obtém torque, um motor fornece torque no eixo dele, então você coloca uma roda ou uma hélice e obtém a Força F . Todos os motores (independente do tipo), fornecem no eixo dele Torque e RPM, essa é chave para você entender o motor e o redutor. É aqui que você deve tomar muito cuidado para **não confundir torque com força que são coisas distintas** que se relacionam pela fórmula $T = F \times R$, tenha sempre isso em mente para não se confundir.

Potência

Potência é a quantidade de energia fornecida por segundo, esta energia é fornecida pelo motor. Aqui é outro ponto que você deve prestar muita atenção quando for fazer qualquer projeto.

A potência é dada pela fórmula:

Potência = Torque x Velocidade Angular

$$P = T \times W$$

Esta é a potência de rotação. É isto que um motor fornece.

Todo motor fornece no eixo Torque e Velocidade Angular (RPM), assim é esta fórmula que você deve usar.

Ou pela fórmula,

Potência = Força x Velocidade Escalar

$$P = F \times V$$

Esta é a potência de movimento. É isto que faz um carro andar, ou um avião ou barco ir para frente.

Agora você pode entender como um avião se move para frente. O motor fornece potência no eixo do motor, no eixo do motor é ligada uma hélice então a potência fornecida pelo motor para a hélice é dada por:

Potência = Torque x Velocidade Angular

A hélice girando desloca ar para trás, isto gera uma força que empurra o avião (ou puxa o avião dependendo de onde está a hélice) e como consequência desta força o avião se move para frente com uma velocidade escalar. Logo a potência do movimento do avião é dada por:

Potência = Força x Velocidade Escalar

A potência de rotação é igual à potência de movimento. O motor fornece potência de rotação a hélice converte esta potência em potência de movimento. Pensando em termos de energia, a energia de rotação do motor é convertida em energia de movimento pela hélice. Matematicamente:

$$P = T.W = F.V$$

A hélice transforma o torque em força e o RPM em velocidade. No carro este papel é feito pela roda (roda mais pneu) do carro.

É a potência de movimento que interessa quando você está voando, porque é esta que faz o avião se movimentar. Esta potência é consequência da rotação da hélice. O Engenheiro que projeta avião usa esta fórmula para saber quanto de potência ele vai precisar para manter o avião a uma certa velocidade, a partir daí ele escolhe o tipo de hélice e o tipo de motor que ele precisa.

Vamos parar para pensar o que é um motor?

Um motor é um dispositivo que converte uma forma de energia em energia mecânica que é a energia de rotação do eixo do motor. O motor de combustão interna (gasolina, álcool, diesel) converte a energia armazenada nas moléculas do combustível em movimento do eixo virabrequim, como ele faz isso? Ele explode o combustível dentro da câmara do pistão e esta explosão movimenta o pistão que movimenta o virabrequim. Um motor elétrico converte energia elétrica em movimento do eixo, este movimento do eixo é composto por torque e velocidade angular (RPM). Todo motor fornece energia mecânica no eixo e esta energia no eixo é formada por torque e velocidade angular, ou seja, é a energia de rotação dada por $P = T.W$.

Esta conversão de energia realizada pelo motor não é perfeita, sempre há perda que os fabricantes se esforçam para diminuir o máximo possível, só para você ter uma idéia a eficiência do motor é medida pela relação entre a energia que é fornecida e a que é liberada pelo motor no eixo dele.

A máquina a vapor, por exemplo, chegava a no máximo 11% de eficiência, isto significa que 89% da energia armazenada nas moléculas da madeira eram perdidas.

O motor a gasolina quando bem regulado chega até a 30% de eficiência, ou seja, 70% da energia do combustível não é aproveitada, isto se deve a vários fatores como, por exemplo, a queima do combustível não é perfeita, há atrito dos pistões com a camisa, há atrito dentro do motor, uma grande parte da energia escapa pelo escapamento, é por isso que os fabricantes colocam

ignição eletrônica, injeção eletrônica, turbo, materiais especiais, tudo isso visa melhorar o desempenho do motor e não é frescura do fabricante para aumentar o preço do veículo, quanto mais eficiente um motor menos combustível ele gasta e acelera mais rápido. Um motor de 50 HP tem um rendimento de 30% , se ele tivesse 100% de rendimento ele teria 166,66 HP.

O motor a álcool é menos eficiente que o motor a gasolina, é por isso que ele gasta mais combustível, porém há motores a álcool que são mais potentes que motores a gasolina isso porque a taxa de compressão é maior nos motores a álcool, no entanto para motores de mesma potência o motor a álcool é sempre menos eficiente. A principal razão disso é que a molécula do álcool é menor que a molécula da gasolina assim ela libera menos energia na explosão. Para obter a mesma energia que a gasolina é necessário fornecer mais álcool por isso o carro gasta mais.

O motor a diesel é o mais eficiente de todos os motores de combustão interna (gasolina, álcool, diesel) chega até a 45% de eficiência, é por essa razão que ele é utilizado para transporte de carga e não porque ele é mais “forte” você poderia fazer um motor a gasolina que tivesse a mesma “força” de um motor a Diesel só que você gastaria muito mais combustível.

Um motor elétrico chega a ter até 90% de eficiência, é por isso que ele é utilizado em trabalho pesado na indústria como, por exemplo, bombear água, se você colocasse um motor a diesel no lugar de um motor elétrico da bomba de água você gastaria o dobro de energia (combustível) para fazer o mesmo trabalho. Assim você pode ver que as coisas são como são por um motivo e não por capricho do fabricante, os motores de combustão e os motores elétricos substituíram os motores a vapor por que eles são mais eficientes, mais convenientes, menores e mais leves. Em outras palavras são mais modernos e tem mais tecnologia.

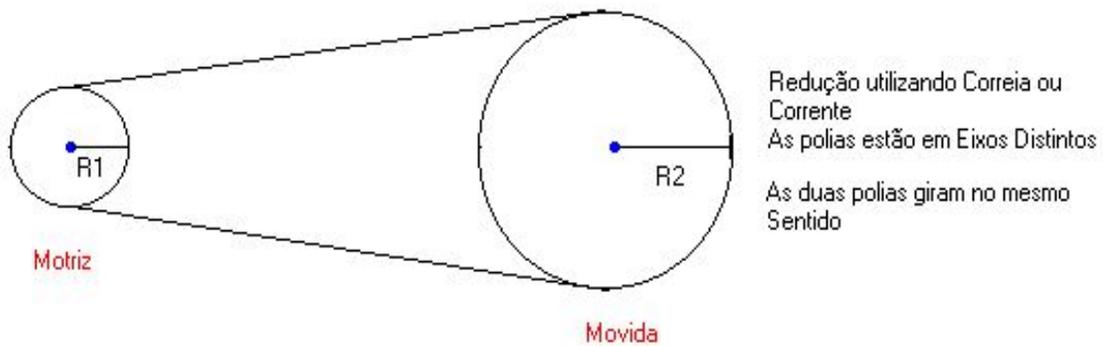
Para aumentar a potência de um motor é necessário colocar um turbo, colocar ignição eletrônica, injeção eletrônica, colocar um combustível mais forte, mudar o curso dos pistões, tudo isso chamasse envenenamento de motor, isso deve ser feito com muito

cuidado para não danificar o motor e deve ser feito por mecânicos experientes. Envenenar motor é uma arte que poucos dominam, e geralmente o ganho de potência não chega a 10% de potência, acima de 10% já corre o risco de estragar o motor, desta forma se seu motor é de 50 HP, envenenar ele faz com que ele fique com 55 HP, o que é muito pouco para o risco que você tem de estragar o motor, é por isso que o fabricante não recomenda envenenar o motor. Se o seu problema é aumentar a “força” do seu motor um envenenamento não resolve o problema de maneira satisfatória, para resolver este problema como você vai ver a chave é o redutor. Em outras palavras o redutor resolve o seu problema. O Redutor é tecnologia. É por isso que o carro tem cambio e não um motor envenenado.

Agora nós já estamos prontos para ver como funciona o redutor.

O Redutor

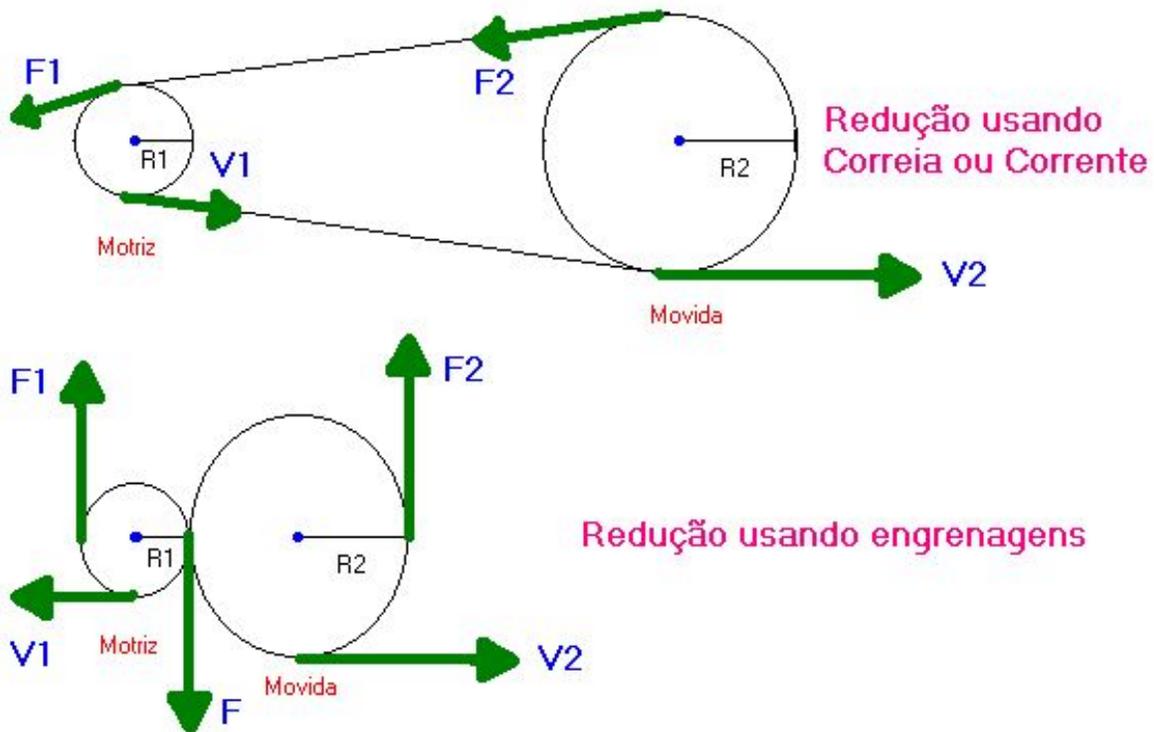
O redutor está esquematizado na figura a seguir:



Como você pode ver é um acoplamento de polias ou engrenagens onde o eixo do motor é ligado na polia ou engrenagem pequena que é chamada de motriz, e uma polia ou engrenagem grande onde é ligada a hélice (ou a roda no caso de automóveis). A polia grande ou a engrenagem grande chama-se movida. No caso do acoplamento por polias as duas giram no mesmo sentido no caso do acoplamento por engrenagens há inversão de movimento, assim se a motriz gira no sentido horário a movida gira no sentido anti-horário.

Vamos analisar como a Força e a Velocidade Escalar se comporta no redutor.

Veja a figura a seguir:



Como você pode ver a polia ou engrenagem pequena tem um raio $R1$, a polia ou engrenagem grande tem um raio $R2$.

O papel da correia ou corrente é transmitir Força e Velocidade Escalar da polia motriz para a polia movida. No caso de engrenagens este papel é feito pelos dentes da engrenagem.

Se a correia não patinar, a corrente não pular dente, e a engrenagem não pular dente, nos temos que a velocidade escalar da polia (engrenagem) motriz é igual à velocidade escalar da polia (engrenagem) movida). Como a velocidade é igual isto implica que a força também é igual. Alias pare para pensar que você vai ver que não tinha como ser diferente senão a correia, ou a corrente ou os dentes da engrenagem quebram.

Então no caso das polias nos temos que:

$$V1 = V2$$

$$F1 = F2$$

No caso das engrenagens nós temos que:

$$V1 = - V2$$

$$F1 = F2$$

$$F = F1 = F2 = \text{Força no dente}$$

No caso da engrenagem apareceu o sinal de menos isto significa que elas estão girando em sentido contrário, mas para simplificar vamos estabelecer que $V1 = V2$ para engrenagens também, ou seja, vamos pegar o seu valor absoluto, isto não muda em nada os cálculos é só para simplificar a análise, mas você deve ter em mente que elas giram para lados opostos.

Lembrando a fórmula:

$$V = W.R$$

Temos que tanto para a polia quanto para a engrenagem vale:

$$V1 = V2$$

$$W1 . R1 = W2 . R2$$

Mas

$$W = 2 . \pi . f$$

Então

$$2 . \pi . f1 . R1 = 2 . \pi . f2 . R2$$

$$f1 . R1 = f2 . R2$$

Então temos que:

$$f2 = f1 . \frac{R1}{R2}$$

Onde:

f2 = Frequência da polia grande (ou engrenagem grande)

f1 = Frequência da polia pequena (ou engrenagem pequena)

R2 = Raio da polia grande (ou engrenagem grande)

R1 = Raio da polia pequena (ou engrenagem pequena)

Como R2 é maior que R1, o termo $\frac{R1}{R2}$ é menor que 1 isto significa que f 2 é menor que f1, ou seja, há diminuição de velocidade angular e conseqüentemente da frequência. O RPM diminui. Daí vem o nome Redutor, é um redutor de velocidade.

Esta fórmula relaciona as frequências das duas polias (ou engrenagens) a frequência pode ser medida em RPM ou hertz, no nosso caso vamos usar o RPM.

O termo R1 e R2 pode ser substituído pelo diâmetro ou no caso de engrenagens pelo número de dentes. Assim:

Para polias temos:

$$\text{RPM da grande} = \text{RPM da pequena} \times \frac{\text{Raio da polia pequena}}{\text{Raio da polia grande}}$$

Ou

$$\text{RPM da grande} = \text{RPM da pequena} \times \frac{\text{Diâmetro da polia pequena}}{\text{Diâmetro da polia grande}}$$

Para engrenagens, correia dentada e corrente de motocicleta:

$N1$ = Número de dentes da engrenagem pequena

$N2$ = Número de dentes da engrenagem grande

$$\text{RPM da grande} = \text{RPM da pequena} \times \frac{N1}{N2}$$

Em engrenagens tem que usar o número de dentes porque é o dente que transmite força e velocidade. Mais adiante você verá porque tem que usar o número de dentes.

Agora vamos ver como se comporta o Torque:

Lembrando da Fórmula:

Torque = Força x Raio

$$T = F \cdot R$$

Então temos que:

$$T1 = F1 \cdot R1$$

$$T2 = F2 \cdot R2$$

Então:

$$F1 = \frac{T1}{R1} \quad \text{e} \quad F2 = \frac{T2}{R2}$$

Mas $F1 = F2$

Então:

$$\frac{T1}{R1} = \frac{T2}{R2}$$

$$T2 = T1 \cdot \frac{R2}{R1}$$

Como R2 é maior que R1 o termo $\frac{R2}{R1}$ é maior que 1 assim T2 é maior que T1, **esse é o objetivo do redutor aumentar o torque do motor**. O termo $\frac{R2}{R1}$ é chamado de vantagem mecânica e diz de quanto é a sua redução. Assim uma redução de 3:1 (leia como 3 para 1) significa que o termo $\frac{R2}{R1} = 3$, ou seja, ele aumenta o Torque de saída em 3 vezes.

Novamente temos:

R1 é o raio da polia menor

R2 é o raio da polia maior

D1 = Diâmetro da polia menor

D2 = Diâmetro da polia maior

N1 = Número de dentes da engrenagem (ou catraca, ou polia dentada) menor

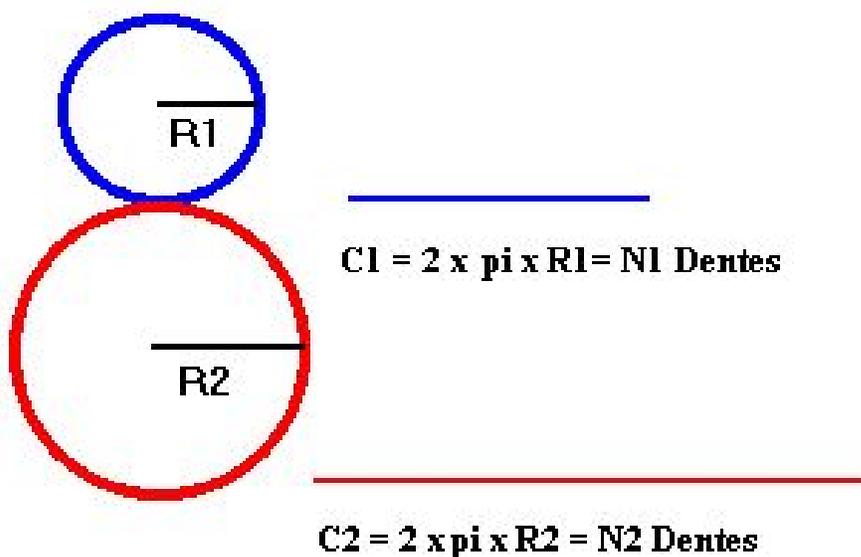
N2 = Número de dentes da engrenagem (ou catraca, ou polia dentada) maior

Então a vantagem mecânica pode ser escrita como:

$$\text{Vantagem Mecânica} = \frac{R2}{R1} = \frac{D2}{D1} = \frac{N2}{N1}$$

Ou seja, todos eles dão para ser usado para calcular a redução, em polias você deve usar o raio ou o diâmetro da polia. Usando correia dentada você deve usar o número de dentes da polia dentada usando corrente de motocicleta você deve usar o número de dentes

da coroa. Em engrenagens você deve usar o número de dentes. No caso de engrenagens tanto faz o tipo de dente da engrenagem ou se ela engata um dente de uma vez ou dois dentes de uma vez ou três dentes de uma vez, o que importa é número de dentes da engrenagem e não quantos dentes ela engata, e isto é simples de ser percebido, imagine que você tem duas engrenagens a pequena tem 10 dentes a grande tem 30 dentes, a redução dá 3:1 (leia 3 para 1), ou seja, a pequena vai ter que dar três voltas para dar uma volta na grande, quando ela der uma volta ela percorreu 10 dentes da grande, quando ela der 2 voltas ela percorreu 20 dentes da grande e quando ela der 3 voltas ela percorreu os 30 dentes da grande. Isso é válido independente do tipo de dente da engrenagem e de quantos dentes ela engata de cada vez. Mas para mostrar isso matematicamente vamos analisar a figura a seguir:



A figura representa duas engrenagens se acoplando. A primeira engrenagem representada em azul tem raio R1 a segunda engrenagem representada em vermelho tem raio R2. Se você pegar uma fita métrica (representada pelas linhas azul e vermelho) e passar ela em volta da engrenagem para medir o seu comprimento encontrará o resultado que é dado pela fórmula:

$$C = 2 \times \pi \times R$$

É neste comprimento que os dentes da engrenagem serão torneados logo para a engrenagem menor:

$$C1 = 2 \times \pi \times R1$$

Para a engrenagem maior

$$C2 = 2 \times \pi \times R2$$

Na engrenagem menor cabem N1 dentes logo:

$$C1 = 2 \times \pi \times R1 = N1 \text{ dentes}$$

Na engrenagem maior cabem N2 dentes logo:

$$C2 = 2 \times \pi \times R2 = N2 \text{ dentes}$$

Assim:

$$R1 = \frac{N1}{2 \times \pi}$$

$$R2 = \frac{N2}{2 \times \pi}$$

Lembrando da dedução da fórmula do redutor:

$$V1 = W1 \cdot R1$$

$$V2 = W2 \cdot R2$$

$$V1 = V2$$

$$W1 \cdot R1 = W2 \cdot R2$$

$$2 \times \pi \cdot f_1 \cdot R_1 = 2 \times \pi \cdot f_2 \cdot R_2$$

$$f_1 \cdot R_1 = f_2 \cdot R_2$$

Substituindo R1 e R2

$$f_1 \times \frac{N_1}{2 \times \pi} = f_2 \times \frac{N_2}{2 \times \pi}$$

Logo:

$$f_1 \cdot N_1 = f_2 \cdot N_2$$

então

$$f_2 = f_1 \times \frac{N_1}{N_2}$$

Ou:

$$RPM \text{ da grande} = RPM \text{ da pequena} \times \frac{\text{Número de dentes da pequena}}{\text{Número de dentes da grande}}$$

Para o torque:

$$T_2 = T_1 \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

Substituindo R1 e R2:

$$T_2 = T_1 \cdot \frac{\frac{N_2}{2 \times \pi}}{\frac{N_1}{2 \times \pi}}$$

Simplificando:

$$T_2 = T_1 \cdot \frac{N_2}{2 \times \pi} \times \frac{2 \times \pi}{N_1}$$

Logo:

$$T_2 = T_1 \cdot \frac{N_2}{N_1}$$

Ou:

$$\text{Torque da grande} = \text{Torque da pequena} \times \frac{\text{Número de dentes da grande}}{\text{Número de dentes da pequena}}$$

Logo para engrenagens deve-se usar o número de dentes para o cálculo de redução. A mesma demonstração serve para corrente de motocicleta e correia dentada. Mas para ficar mais simples de lembrar vamos continuar a usar o termo $\frac{R_2}{R_1}$ para representar engrenagens também. Neste documento de agora em diante sempre que engrenagens, corrente de motocicleta ou correia dentada forem citadas lembre-se do número de dentes.

Para simplificar nossos cálculos vamos chamar o termo $\frac{R_2}{R_1}$ de vantagem mecânica e ao invés de colocar $\frac{R_2}{R_1}$ nas fórmulas ou colocar vantagem mecânica nas fórmulas vamos colocar um termo chamado redução. Assim temos:

$$\text{redução} = \text{Vantagem Mecânica} = \frac{R_2}{R_1}$$

Resumindo para o nosso redutor temos as seguintes fórmulas:

Para o RPM

RPM da grande = RPM de Saída

RPM da pequena = RPM de entrada

$$\text{RPM de saída} = \frac{\text{RPM de entrada}}{\text{redução}}$$

Para o Torque:

Torque da grande = Torque de saída

Torque da pequena = Torque de entrada

Torque de saída = Torque de entrada x redução

É importante notar que o termo $\frac{R2}{R1}$ é que define a redução assim se você tiver uma redução de 3:1 (leia 3 para 1) significa que o termo $\frac{R2}{R1} = 3$, ou seja, se você tiver uma polia de 6 centímetros de diâmetro e outra de 2 centímetros de diâmetro a redução dá 3, se você mudar para outra com 30 centímetros de diâmetro e outra com 10 centímetros de diâmetro a redução ainda é 3. Se a pequena for de 1 metro de diâmetro e a grande for de 3 metros de diâmetro a redução ainda será 3. No caso de engrenagens se a pequena tem 10 dentes e a grande tem 30 dentes a redução ainda é 3, se a pequena tiver 100 dentes e a grande tiver 300 dentes a redução ainda é 3, ou seja o que vale é a relação entre elas ou seja $\frac{R2}{R1}$. Nós veremos mais adiante qual a vantagem de usar polia (ou engrenagem) grande ou pequena.

Agora vamos analisar como fica a potência de entrada e a de saída no nosso redutor.

Lembrando a fórmula:

Potência = Torque x Velocidade angular

Então temos para a polia pequena (ou engrenagem pequena)

$$P1 = T1 \cdot W1$$

E para a polia grande (ou engrenagem grande)

$$P2 = T2 \cdot W2$$

Lembrando que:

$$T2 = T1 \cdot \frac{R2}{R1}$$

E que

$$W2 = W1 \cdot \frac{R1}{R2}$$

Substituindo em P2 temos:

$$P2 = T2 \cdot W2$$

$$P2 = T1 \cdot \frac{R2}{R1} \cdot W1 \cdot \frac{R1}{R2}$$

$$P2 = T1 \cdot W1 \cdot \frac{R2}{R1} \cdot \frac{R1}{R2}$$

Repare que $\frac{R2}{R1} \frac{R1}{R2} = 1$

Isso significa que

$$P2 = T1 \cdot W1$$

$$\text{Mas } P1 = T1 \cdot W1$$

Isto quer dizer que

$$P2 = P1$$

Ou seja, a potência de entrada é igual à potência de saída. Se um motor tem 50 HP antes da redução depois da redução ele ainda fornece 50 HP para a hélice. Este é o princípio da conservação de energia e é um dos princípios mais fundamentais da natureza, da Física, do Universo, ele sempre é válido em todo tipo de sistema, é impossível violar este princípio se você fez algum cálculo que aumentou a potência você errou suas contas.

Eu coloquei isto em vermelho para que você tenha em mente que isto é sempre válido não há nenhuma exceção a esta regra em nada do que você possa imaginar. Agora você deve estar pensando se a potência é a mesma qual é a vantagem do redutor? A vantagem do redutor é que ele aumenta o torque do motor, ou seja, ele aumenta a “força” do motor e é isto que importa. Lembre-se que a potência é dada pela fórmula:

$$\text{Potência} = \text{Torque} \times \text{Velocidade Angular}$$

Então

$$P1 = T1 \cdot W1$$

$$P2 = T2 \cdot W2$$

$$P1 = P2$$

Então:

$$T1.W1 = T2.W2$$

É aqui que você vê uma coisa interessante do redutor se o torque $T2$ aumenta a velocidade angular $W2$ (o RPM) diminui de forma que o produto $T2.W2$ seja constante e igual ao produto $T1.W1$, este é o princípio da conservação de energia e como você verá servirá para explicar vários problemas quando chegarmos parte prática.

É impossível construir um redutor que aumente o torque e aumente o RPM ao mesmo tempo, se o torque aumenta o RPM diminui se o RPM aumenta o torque diminui. Espero que você acredite nisto e não perca seu tempo tentando imaginar um redutor que aumente o torque e aumente o RPM porque você não vai conseguir fazer devido às leis da Física que são sempre válidas em qualquer ocasião. Para seu conhecimento desde 1640 vários cientistas tentaram construir algum tipo de máquina que viole o princípio da conservação de energia, a chamada máquina de movimento perpétuo, todos falharam por um motivo é impossível fazer esse tipo de máquina.

Vamos imaginar uma coisa interessante, imagine que você tenha três redutores todos de 3:1, e um motor de 50 HP, agora imagine que a potência aumentasse também com o redutor, assim você liga o primeiro redutor e na saída dele você teria 150 HP, agora você liga o segundo redutor na saída do primeiro, então na saída do segundo redutor você teria 450 HP, agora você liga o terceiro redutor na saída do segundo e você teria na saída do terceiro redutor 1.350 HP, então seu RPM seria muito baixo, então você liga um redutor invertido para aumentar o seu RPM e começa tudo novamente, ou seja, vai colocando um redutor no eixo do outro. Você pode ver que poderia continuar este procedimento várias vezes e obter uma energia infinita, se isso fosse verdade você poderia fazer

um arranjo para que um motor de 50 HP movimente até um navio do tamanho de um petroleiro, isso é impossível de ser feito se fosse possível alguém já teria feito isso. **O redutor não aumenta a potência. A única maneira de você aumentar a potência de um motor é envenenar ele, ou seja, trocar o combustível, colocar turbo, colocar injeção eletrônica, colocar ignição eletrônica, mudar o percurso dos pistões.** O motor ROTAX 582, por exemplo, tem 52,49 HP e um torque de 68 N.m se você envenenar ele ao máximo possível você iria obter de 10% a 20% no máximo de potência, vamos supor que você ganhe 20% de potência o que é improvável, então o ROTAX ficaria com 62,988 HP e torque de 81,6 N.m, e teria uma grande chance de estragar o seu motor. Vamos usar o método inteligente, e que inclusive é o que o fabricante utiliza, colocar um redutor no motor, no caso um redutor de 2,58:1, por exemplo, então a potência do motor continua sendo 52,49 HP, mas o torque passa para 175,44 N.m, o Santana 2000 fornece o torque máximo de 170,1 N.m, ou seja, o motor ROTAX ficou mais forte que um motor de Santana 2000! Impressionante não é?

Vamos ver quanto você ganhou de torque:

Com envenenamento de motor:

Torque era 68 N.m passou para 81,6 N.m, um aumento de 20%.

Com redutor de 2,58:1 (leia 2,58 para 1)

Torque do motor era 68 N.m

Torque para a Hélice é 175,44 N.m

Um aumento de 158% , você não conseguiria um aumento de torque deste com envenenamento de motor nem que você colocasse dinamite nos pistões!

Conclusão use um redutor e não faça envenenamento do motor porque não vale a pena, você pode estragar o seu motor e ainda não vai obter um ganho de “força” significativo.

Novamente você pode ver que as coisas são como são por um motivo e não por frescura do fabricante. Por exemplo, um cambio de

carro nada mais é que um redutor em que você pode mudar o valor da redução, ou seja, as marchas, é por isso que o fabricante coloca cambio no carro e não envenena o motor.

Nos vimos uma coisa interessante o motor ROTAX 582 de 52,49 HP e torque 68 N.m, com um redutor ficou mais “forte” que um Santana 2000. O cambio do Santana não tem inteligência própria ele não sabe que motor esta girando ele se você tirar o motor do Santana 2000 e colocar outro motor que forneça o mesmo torque e o mesmo RPM você vai conseguir fazer o Santana andar na mesma velocidade e ter a mesma “força” que ele tinha com o motor original. Para o cambio o que importa é torque e RPM e não o motor que está fornecendo isso.

O que aconteceria se você colocasse a saída do redutor do Motor ROTAX 582 na entrada do cambio do Santana? Será que ele anda? A resposta é sim só que ele não atingiria nem 15 Km/h, vamos ver porque.

O motor ROTAX 582 tem as seguintes especificações:

Torque máximo = 68 N.m a 5.500 RPM

Potência em 5.500 RPM = 52,49 HP

O motor do Santana 2000 tem as seguintes especificações:

Potência máxima = 107,39 HP a 5.200 RPM

Torque máximo = 170,1 N.m a 3.000 RPM

O ROTAX com um redutor de 2,58 fornece então:

Torque = $68 \times 2,58 = 175,44$ N.m

RPM = $\frac{5.500}{2,58} = 2.131,78$ RPM

Isto dá uma potência de 52,49 HP

Agora você liga a saída da caixa de redução do ROTAX 582 na entrada do câmbio do Santana 2000, ou seja, você só troca o motor, tira o do Santana e põe o ROTAX 582 no lugar. Lembrando da fórmula do cálculo da potência:

Potência de movimento:

Potência = Força x Velocidade Escalar

$$P = F \cdot V$$

Potência de rotação

Potência = Torque x Velocidade Angular

$$P = T \cdot W$$

Logo:

$$T \cdot W = F \cdot V$$

O motor do Santana fornece 107,39 HP de potência de rotação para o câmbio, o câmbio do carro fornece 107,39 HP para as rodas que movimentam o carro, então o carro se movimentando tem 107,39 HP de potência de movimento.

No nosso caso hipotético o ROTAX 582 fornece 52,49 HP de potência de rotação e isto seria convertido em 52,49 HP de potência de movimento. A potência é menor, porém ele fornece a mesma força para o carro logo o carro anda e a velocidade será menor porque o ROTAX vai estar girando a 2.131,78 RPM enquanto o Santana vai estar a 3.000 RPM, então pela fórmula:

$$P = T \cdot W$$

O ROTAX fornece um torque maior do que o torque que o motor do Santana fornece (175,44 N.m contra 170,1 N.m do Santana) mas fornece um RPM menor, isto significa que a potência é menor (52,49 HP do ROTAX contra 107,39 HP do Santana 2000).

Isso se reflete na fórmula:

$$P = F.V$$

O ROTAX fornece a mesma força logo movimenta o carro, mas como a potência é menor a velocidade será menor. Isso fica claro se colocarmos as fórmulas lado a lado:

$$T.W = F.V$$

Se o torque é igual então a força será igual. Se a velocidade angular W (o RPM) é menor a velocidade escalar V será menor. Mas como saber que velocidade o carro atinge? É simples, é só deduzir a partir das fórmulas de potência.

Vamos deduzir a fórmula considerando um veículo em duas situações:

Na situação 1 o veículo está com o motor original.

Na situação 2 o veículo está com outro motor.

Também vamos considerar que os dois motores forneçam o mesmo torque, ou seja, tenha a mesma força, porém tenham RPM diferentes logo a potência dos motores será diferente. Esta dedução é muito importante porque permite saber que velocidade o veículo vai atingir com outro motor, na parte prática vamos usar muito isto.

Para a situação 1:

$$P1 = T1.W1, \text{ logo } T1 = \frac{P1}{W1}$$

$$P1 = F1.V1, \text{ logo } F1 = \frac{P1}{V1}$$

Para a situação 2:

$$P_2 = T_2 \cdot W_2, \text{ logo } T_2 = \frac{P_2}{W_2}$$

$$P_2 = F_2 \cdot V_2, \text{ logo } F_2 = \frac{P_2}{V_2}$$

Mas

$$T_1 = T_2$$

Substituindo:

$$\frac{P_1}{W_1} = \frac{P_2}{W_2}$$

Lembrando que

$$W = 2 \times \pi \times f$$

Substituindo:

$$\frac{P_1}{2 \times \pi \times f_1} = \frac{P_2}{2 \times \pi \times f_2}$$

Simplificando:

$$\frac{P_1}{f_1} = \frac{P_2}{f_2}$$

Ou:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{f_1}{f_2}$$

Usando a outra fórmula de potência:

$$F1 = F2$$

Substituindo:

$$\frac{P1}{V1} = \frac{P2}{V2}$$

Simplificando:

$$\frac{P1}{P2} = \frac{V1}{V2}$$

Mas

$$\frac{P1}{P2} = \frac{f1}{f2}$$

Logo:

$$\frac{V1}{V2} = \frac{f1}{f2}$$

Desta forma é possível saber a velocidade a partir do RPM. Isto será muito útil como veremos a seguir.

Para o nosso exemplo o ROTAX 582 vai fornecer na saída do redutor 175,44 N.m de torque e quando isto acontecer o RPM vai estar a 2.131,78. É este o valor que é fornecido para o cambio do Santana. O motor original do Santana fornece torque máximo de 170,1 N.m a 3.000 RPM. Neste caso em particular o torque fornecido pelo ROTAX é maior que o torque fornecido pelo motor do Santana, mas a diferença é pequena assim nós podemos usar a fórmula deduzida anteriormente, assim:

$$\frac{f1}{f2} = \text{razão} = \frac{3.000}{2.131,78} = 1,4072$$

$$\frac{V1}{V2} = \text{razão}$$

$$V2 = \frac{V1}{\text{razão}}$$

Desta forma se o Santana com motor original atinge 20 Km/h na primeira marcha, o ROTAX ligado no cambio do Santana vai atingir no máximo $\frac{20}{1,4072} = 14,21$ Km/h, e você não vai conseguir

sair da primeira marcha porque qualquer outra marcha diminui a força de propulsão do carro e você vai ver o porquê quando eu explicar como um cambio de carro funciona. O Santana com motor original pede para trocar de primeira para segunda marcha quando você está a 24 Km/h e com RPM em 3.000. Se você colocasse o ROTAX no Santana você não iria conseguir andar a mais que 14,21 Km/h e não iria conseguir trocar de marcha. Se você quer andar com um Santana a no máximo 14,21 Km/h e sempre na primeira marcha então fique à vontade para fazer esta substituição absurda!

Apesar do ROTAX ter a mesma força que o motor do Santana ele não vai conseguir fazer o carro andar a uma velocidade igual porque o ROTAX não tem potência suficiente. **Isto significa que os motores ROTAX 582 e o motor do Santana 2000 não são equivalentes** embora você consiga fazer o ROTAX ter mais força ele não tem RPM suficiente para fazer o carro andar na mesma velocidade. Isto prova que **para você substituir um motor por outro eles tem que ter a mesma potência senão eles não vão ser equivalentes, ou seja, não atingira a mesma velocidade que o**

original. Mais adiante eu mostrarei que o ideal é que os motores tenham a mesma potência na faixa de torque máximo.

Nem sempre uma incompatibilidade de motor é ruim. Por exemplo, imagine o nosso motor de Santana num barco, e o barco corre a no máximo 60 Km/h, ou seja, na velocidade de uma lancha e este barco carrega 8 pessoas. Se você colocar o ROTAX no lugar você ainda carrega as 8 pessoas e vai conseguir girar a mesma hélice dele porque você tem a mesma “força” do motor do Santana só que você iria andar ao máximo de 42,63 Km/h, porque você não tem RPM suficiente, resumindo você não tem potência suficiente. Isto pode ser interessante já que na água não há limite mínimo de velocidade, em aviação há limite mínimo de velocidade senão o avião “estola” (em inglês stall que significa perda de sustentação). Mais adiante eu mostro como colocar um motor Volkswagen em barco.

Vamos imaginar que você ligue o redutor ao contrário o que aconteceria? Vamos ver pelas fórmulas, agora a entrada é a polia grande (ou engrenagem grande) e a saída é a polia pequena (ou engrenagem pequena).

Então:

O RPM fica

$$W1.R1 = W2.R2$$

$$W1 = W2 \cdot \frac{R2}{R1}$$

$$f1 = f2 \cdot \frac{R2}{R1}$$

E o torque fica:

$$\frac{T1}{R1} = \frac{T2}{R2}$$

$$T1 = T2 \cdot \frac{R1}{R2}$$

Como o termo $\frac{R2}{R1}$ nos chamamos de redução então temos:

RPM saída = RPM de entrada x redução

$$\text{Torque de saída} = \frac{\text{Torque de entrada}}{\text{redução}}$$

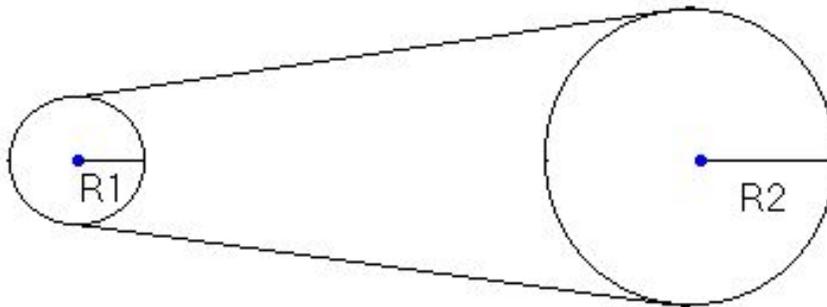
Ou seja, o RPM de saída aumenta e o torque de saída diminui. Isto poderia ser entendido como um “aumentador”, você aumenta o RPM mas diminui o torque, se o redutor tem como objetivo aumentar o torque o termo $\frac{R2}{R1}$ é maior que 1, se ele tem o objetivo

de aumentar o RPM então o termo $\frac{R2}{R1}$ é menor que um e maior que zero, por exemplo 0,8.

Resumindo, se você tem um motor “fraco” e quer aumentar a “força” dele você deve usar um redutor. Se você tem um motor “forte” e quer aumentar o RPM dele então você deve usar um “aumentador”.

Vamos ver um exemplo de redutor e de “aumentador” a bicicleta de marcha. Veja a figura a seguir:

Bicicleta em marcha de Subida



Coroa
Força Pequena
Pedala Muito
RPM Alto

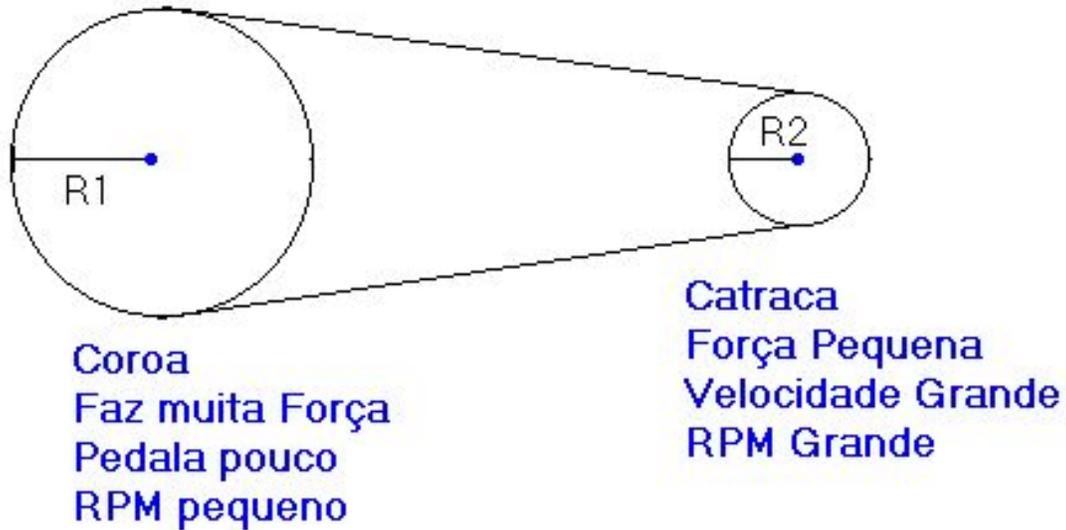
Catraca
Força Grande
Velocidade Pequena
RPM pequeno

Isto é um redutor quando você quer subir uma subida você pedala muito e faz pouca força, o redutor faz a força para você só que você anda devagar. Se você quiser subir uma subida rápido vai ter que pedalar muito rápido e fazer um pouco mais de força, ou seja, vai ter que ter uma potência alta, em outras palavras terá que gastar mais energia num tempo menor é por isso que um garoto de 14 anos que tem uma força menor que um homem de 40 anos consegue subir uma subida mais rápido porque o garoto tem maior potência, ele consegue pedalar mais rápido porque ele é mais jovem.

Se você estiver em um terreno plano e colocar a marcha de subida você vai pedalar muito e não vai andar quase nada.

Vamos ver o “aumentador”, veja a figura a seguir:

Bicicleta em Marcha de Corrida

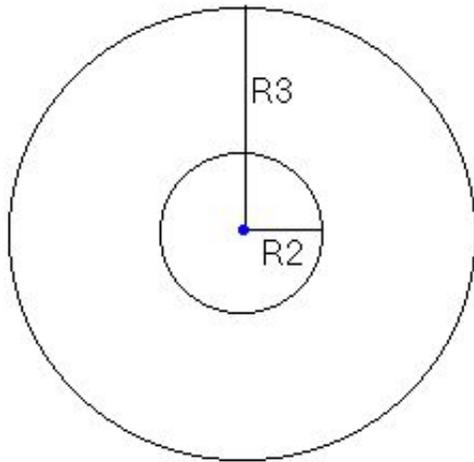


Isto é uma bicicleta em marcha de corrida. Você pedala pouco só que tem que fazer muita força, você obtém na catraca uma força pequena só que um RPM grande. Se você tentar subir uma subida com esta marcha você vai ter que fazer uma força tremenda e é quase certo que você não conseguirá fazer tanta força assim. Mais adiante eu vou explicar como funciona um cambio de carro e você entenderá porque você só consegue usar esta marcha quando a bicicleta já esta com velocidade grande. E também vai entender porque um carro parado não consegue sair do lugar em quinta marcha.

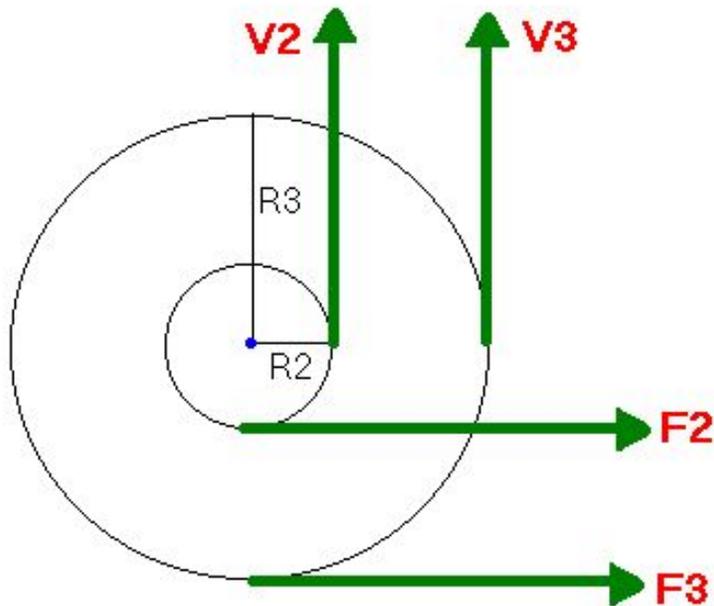
Vamos ver outro tipo de acoplamento, o acoplamento em que as polias (ou engrenagens) estão no mesmo eixo.

Veja a figura a seguir:

Acoplamento em mesmo Eixo Usando engrenagens , correia ou corrente



Aqui a polia pequena (ou engrenagem pequena) e a polia grande (ou engrenagem grande) estão no mesmo eixo e giram juntas, ou seja, elas têm a mesma velocidade angular e conseqüentemente tem o mesmo RPM. Veja a figura abaixo:



Neste caso a potência que a polia pequena (ou engrenagem pequena) tem é a mesma potência que a polia grande (ou engrenagem grande) tem, o princípio da conservação de energia também vale aqui. Ou seja:

$$P_2 = P_3$$

$$T_2 \cdot W_2 = T_3 \cdot W_3$$

Mas,

$W_2 = W_3$ porque elas giram juntas.

Então temos que:

$$T_2 = T_3$$

O torque é o mesmo na polia pequena (ou engrenagem pequena) e na polia grande (ou engrenagem grande). Agora vamos ver como se comporta a força e a velocidade escalar.

Velocidade escalar, lembrando da fórmula:

$$V = W \cdot R$$

$$V_2 = W_2 \cdot R_2$$

$$W_2 = \frac{V_2}{R_2}$$

$$V_3 = W_3 \cdot R_3$$

$$W_3 = \frac{V_3}{R_3}$$

Mas $W_2 = W_3$, então

$$\frac{V2}{R2} = \frac{V3}{R3}$$

$$V3 = V2 \cdot \frac{R3}{R2}$$

Como $R3$ é maior que $R2$, o termo $\frac{R3}{R2}$ é maior que 1, logo $V3$ é maior que $V2$, ou seja, aumenta a velocidade escalar.

Força:

Lembrando da fórmula:

$$T = F \cdot R$$

$$T2 = F2 \cdot R2$$

$$T3 = F3 \cdot R3$$

$$\text{Mas } T2 = T3$$

Então,

$$F2 \cdot R2 = F3 \cdot R3$$

$$F3 = F2 \cdot \frac{R2}{R3}$$

Como $R3$ é maior que $R2$, o termo $\frac{R2}{R3}$ é menor que 1, isso significa que $F3$ é menor que $F2$, ou seja, diminui a força.

Resumindo, em acoplamento de mesmo eixo a velocidade angular e o torque são constantes o que muda é a força e a velocidade escalar. No acoplamento com eixos diferentes (que é o

caso do redutor) a velocidade escalar e a força são constantes, o que muda é o torque e a velocidade angular. Como ficaria a potência no acoplamento de mesmo eixo? Lembrando as fórmulas da potência:

Potência de rotação:

$$P = T \cdot \omega$$

Potência de movimento:

$$P = F \cdot v$$

Então

$$P_2 = T_2 \cdot \omega_2$$

$$P_3 = T_3 \cdot \omega_3$$

Mas

$$\omega_2 = \omega_3 \text{ e } T_2 = T_3, \text{ então } P_2 = P_3.$$

Outra maneira de calcular:

$$P_2 = F_2 \cdot v_2$$

$$P_3 = F_3 \cdot v_3$$

$$F_3 = F_2 \cdot \frac{R_2}{R_3}$$

$$v_3 = v_2 \cdot \frac{R_3}{R_2}$$

Substituindo:

$$P_3 = F_2 \cdot \frac{R_2}{R_3} \cdot v_2 \cdot \frac{R_3}{R_2}$$

$$P3 = F2 \cdot V2 \cdot \frac{R2}{R3} \cdot \frac{R3}{R2}$$

O termo $\frac{R2}{R3} \cdot \frac{R3}{R2}$ é igual a 1, logo:

$$P3 = F2 \cdot V2$$

Mas

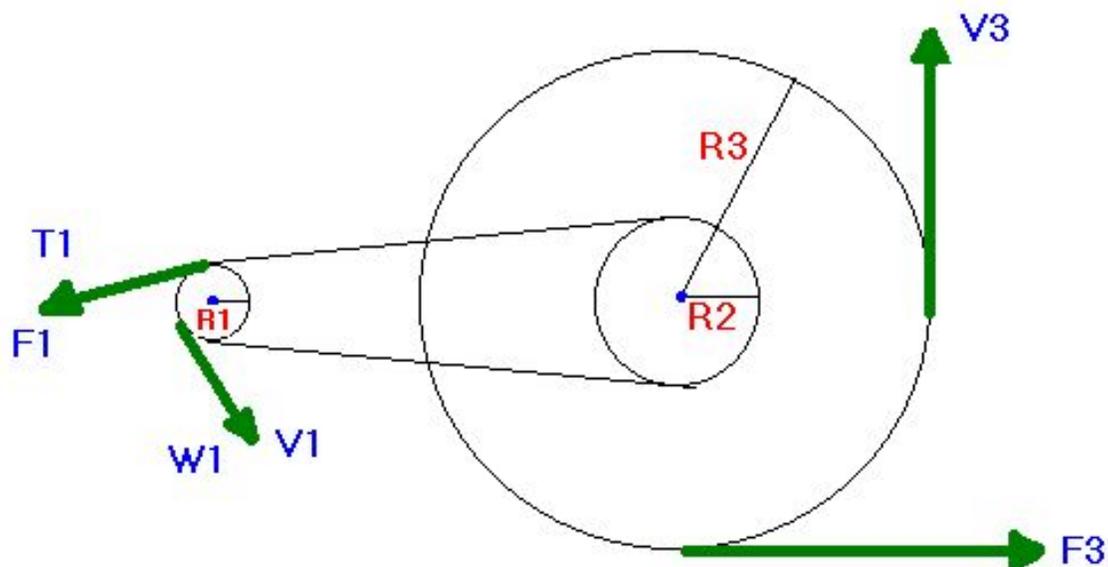
$$P2 = F2 \cdot V2$$

Então:

$P3 = P2$, ou seja, a potência é a mesma como eu já disse a lei de conservação de energia sempre é válida.

Nós podemos analisar algumas coisas interessantes, por exemplo, o esquema de uma bicicleta de marcha, veja a figura a seguir:

Funcionamento da Bicicleta



Repare que nós temos dois tipos de acoplamentos. O acoplamento entre a polia 1 e 2, e o acoplamento entre a polia 2 e 3. No caso a polia 1 é a coroa, a polia 2 é a catraca e a polia 3 é a roda. O acoplamento entre 1 e 2 é um redutor, o acoplamento entre 2 e 3 é um acoplamento de mesmo eixo. Isto quer dizer o seguinte, o redutor formado por 1 e 2, aumenta o torque e diminui o RPM do acoplamento 2 e 3, o acoplamento 2 e 3 fornecem velocidade escalar e força de tração (a propulsão da bicicleta), é esta força que faz a bicicleta andar.

Lembrando das Fórmulas vista até aqui:

$$W2 = W1 \cdot \frac{R1}{R2}$$

$$T2 = T1 \cdot \frac{R2}{R1}$$

$$V3 = V2 \cdot \frac{R3}{R2}$$

$$F3 = F2 \cdot \frac{R2}{R3}$$

Vamos relacionar elas:

Velocidade Escalar

$$V2 = W2 \cdot R2$$

Mas

$$W2 = W1 \cdot \frac{R1}{R2}$$

Então:

$$V2 = W1 \cdot \frac{R1}{R2} \cdot R2$$

$$V2 = W1 \cdot R1$$

Mas

$$V3 = V2 \cdot \frac{R3}{R2}$$

Substituindo V2

$$V3 = W1 \cdot R1 \cdot \frac{R3}{R2}$$

$$\text{Mas } W1 = 2 \cdot \pi \cdot f1$$

Onde $f1$ é a frequência dada em Hertz (lembre que 60 RPM = 1 Hertz).

Assim a **velocidade escalar** fica:

$$V3 = 2 \cdot \pi \cdot f1 \cdot \frac{R1}{R2} \cdot R3$$

$R1$ e $R2$ variam quando você troca de marcha, $R3$ não varia porque o tamanho da roda não varia, logo as relações de marchas são definidas por $R1$ e $R2$, esta fórmula é válida para bicicletas, motocicletas, carro, caminhão, e qualquer outro veículo que tenha câmbio. Quando você troca de marcha na realidade você muda o tamanho de $R1$ e $R2$. No caso de engrenagens, correia dentada, corrente de moto, $R1$ e $R2$ é substituído pelo número de dentes da pequena e da grande respectivamente, $R1$ = número de dentes da pequena, $R2$ = número de dentes da grande. Quando você vai usar

polia então você pode usar o raio da polia ou o diâmetro que obtém o mesmo resultado. Vamos ver como fica a força:

$$F3 = F2 \cdot \frac{R2}{R3}$$

$$T2 = F2 \cdot R2$$

$$T2 = T1 \cdot \frac{R2}{R1}$$

Então substituindo T2 temos:

$$F2 \cdot R2 = T1 \cdot \frac{R2}{R1}$$

$$F2 = T1 \cdot \frac{R2}{R1} \cdot \frac{1}{R2}$$

$$F2 = T1 \cdot \frac{1}{R1}$$

Substituindo F2 na fórmula:

$$F3 = F2 \cdot \frac{R2}{R3}$$

$$F3 = T1 \cdot \frac{1}{R1} \cdot \frac{R2}{R3}$$

Então a **fórmula da força** fica:

$$F3 = T1 \cdot \frac{R2}{R1} \times \frac{1}{R3}$$

R1 e R2 mudam quando você troca de marcha, R3 não muda porque o tamanho da roda não muda. Esta força F3 é a força de tração responsável pelo movimento do carro, motocicleta, caminhão ou bicicleta e qualquer outro veículo que tenha roda e a propulsão ocorre pelo contato do pneu com o solo. Agora nós podemos ver a vantagem de se utilizar o cambio (ou redutor). Veja as fórmulas:

Para a velocidade:

$$V3 = 2 \cdot \pi \cdot f1 \cdot \frac{R1}{R2} \cdot R3$$

Para a força:

$$F3 = T1 \cdot \frac{R2}{R1} \times \frac{1}{R3}$$

Como eu já disse anteriormente o motor fornece torque e RPM, você pode ver isso nas fórmulas como T1 e f1, que são o torque e o RPM respectivamente. Se não houvesse o cambio você ligaria o motor direto na roda então o termo $\frac{R2}{R1}$ não existiria e nem o termo $\frac{R1}{R2}$, então as formulas ficariam:

$$V3 = 2 \cdot \pi \cdot f1 \cdot R3$$

$$F3 = \frac{T1}{R3}$$

Dá para ver nitidamente pelas fórmulas que toda a força para movimentar o carro viria do motor e todo RPM para fazer ele andar também viria do motor. Com o cambio tanto a força quanto o RPM é responsabilidade do cambio, isso permite que o motor tenha um melhor rendimento e também permite que o motor seja menor e

mais fraco assim gasta menos combustível. Vamos analisar as fórmulas com o cambio.

O termo $\frac{R2}{R1}$ é a sua relação de marcha, R3 é o raio da roda.

Então quando você precisa fazer força o termo $\frac{R2}{R1}$ é grande, ou seja,

você aumenta a sua força por um fator $\frac{R2}{R1}$, quando você quer correr

o termo $R1$ é maior que R2 (lembre da bicicleta) assim o termo $\frac{R1}{R2}$

é grande logo sua velocidade é aumentada por um fator de $\frac{R1}{R2}$. Para

você ter uma idéia em cambio de carro a primeira marcha é 3,45 isto quer dizer que o termo $\frac{R2}{R1}$ é igual a 3,45, ou seja, você aumenta a

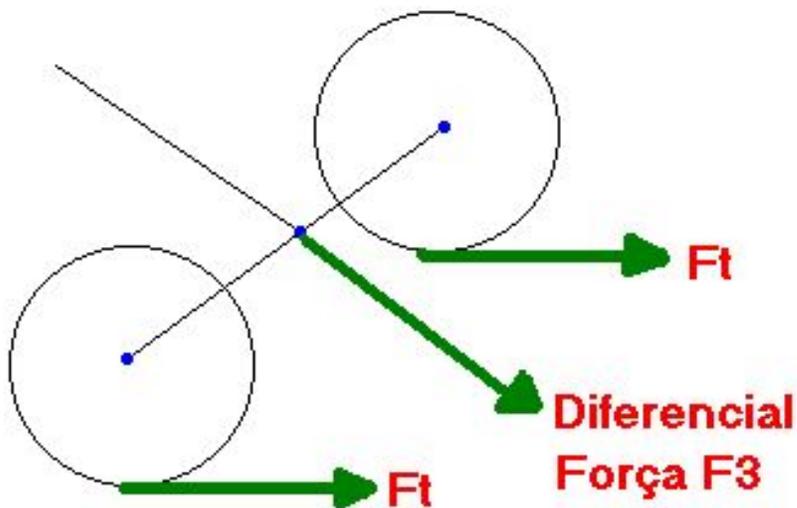
força em 3,45 vezes. A quinta marcha é 0,80 isto significa que o termo $\frac{R1}{R2}$ é igual a 1,25, ou seja, você aumenta a velocidade em

1,25 vezes se você colocasse uma sexta marcha de valor 0,1 você aumentaria a velocidade em 10 vezes. É por isso que o carro, caminhão, motocicleta e bicicletas têm cambio para aumentar a força e a velocidade e permitir que o motor trabalhe com mais folga.

Imagine uma carreta Scania sem cambio? Que tamanho teria que ser o motor dela para puxar a carreta carregada? Seria muito grande pode ter certeza talvez dez vezes o tamanho que ele tem hoje. Imagine um carro de fórmula 1 que atinge 300 Km/h se ele não tivesse cambio quanto o motor dele teria que girar para atingir esta velocidade? Com certeza teria que girar muito talvez uns 30.000 RPM ou mais, agora imagine a complexidade de fazer um motor girar tão rápido assim. Novamente você viu que as coisas são como são por um motivo e não por frescura do fabricante, os veículos têm cambio porque os fabricantes são inteligentes e usam a tecnologia, ou seja, cambio (reductor) é tecnologia, os primeiros automóveis não tinham cambio a roda era ligada direto no motor é por isso que eles eram lentos e fracos.

Vamos analisar outra coisa interessante, os automóveis não têm uma roda só de tração eles tem duas, assim o cambio além das engrenagens de marcha também tem o diferencial que na realidade é outro redutor, o diferencial transfere o movimento de rotação do cambio para as rodas de tração. A rodas de tração exercem força contra o solo e assim o carro anda. Observe a figura abaixo:

Divisão de Forças no Carro



Ela representa um diferencial de carro (ou caminhão). Lembrando que a força de tração que sai do cambio é:

$$F3 = T1 \cdot \frac{R2}{R1} \times \frac{1}{R3}, \text{ esta é a força que sai do diferencial.}$$

Esta é a força que movimentava o carro. Como tem duas rodas de tração cada roda recebe metade da força de tração. Isto evita que a roda patine enquanto a roda está patinando você não ganha velocidade assim você pode aplicar uma força maior de tração. Se você aplicasse toda a força do cambio em uma só roda com certeza ela iria patinar.

Mesmo a força sendo dividida nas rodas de tração a força que movimenta o carro é a mesma. Veja porque:

$F_t = \frac{F_3}{2}$, é a força de tração em cada roda. Então se você somar a força em cada roda você tem:

Força de tração na roda esquerda + Força de tração na roda direita

$F_t + F_t = \frac{F_3}{2} + \frac{F_3}{2} = F_3$, que é a força que movimenta o carro.

O motor do carro fornece potência de rotação dada por:

$$P = T.W$$

O carro se movimenta graças à força F_3 , assim a potência de movimento do carro é:

$$P = F_3.V$$

Pela conservação de energia

$$T.W = F_3.V$$

Agora vamos analisar as rodas do carro:

Roda esquerda:

Força de tração = F_t

Velocidade escalar igual à velocidade do carro = V

Potência de movimento = $F_t.V$

Roda direita:

Força de tração = F_t

Velocidade escalar igual à velocidade do carro = V
Potência de movimento = $F_t \cdot V$

Repare que a roda esquerda e direita tem a mesma velocidade escalar que é a velocidade do carro, isto implica que as rodas têm o mesmo RPM, assim podemos concluir que o diferencial divide a força e não o RPM. E se não fosse assim? E se cada roda tivesse uma velocidade diferente como o carro iria andar? Isto mostra que os Engenheiros que inventaram o cambio pensaram neste problema também.

Somando a potência de movimento da roda esquerda com a potência de movimento da roda direita:

$$P = F_t \cdot V + F_t \cdot V = 2 \cdot F_t \cdot V$$

Mas $2 \cdot F_t = F_3$, então a potência nas rodas é:

$$P = F_3 \cdot V$$

Que é igual à potência do motor:

$$T \cdot W = F_3 \cdot V = 2 \cdot F_t \cdot V$$

Conforme a lei de conservação de energia exige.

Vamos supor que cada roda recebesse a mesma força do diferencial, ou seja:

$$F_t = F_3$$

Então a roda esquerda possui:

$$\text{Força de tração} = F_t = F_3$$

Velocidade escalar igual à velocidade do carro = V

$$\text{Potência de movimento} = F_t \cdot V$$

Então a roda direita possui:

Força de tração = $F_t = F_3$

Velocidade escalar igual à velocidade do carro = V

Potência de movimento = $F_t \cdot V$

Somando as potências em cada roda:

$$F_t \cdot V + F_t \cdot V = 2 \cdot F_t \cdot V$$

Mas $F_t = F_3$

Então:

$$F_t \cdot V + F_t \cdot V = 2 \cdot F_t \cdot V = 2 \cdot F_3 \cdot V$$

Mas $F_3 \cdot V = T \cdot W$

Então

$$F_t \cdot V + F_t \cdot V = 2 \cdot F_t \cdot V = 2 \cdot F_3 \cdot V = 2 \cdot T \cdot W$$

Ou seja, você obteve uma potência que é o dobro do que o motor fornece, isto é impossível porque a energia se conserva sempre logo **cada roda de tração recebe metade da força do cambio.**

Se isso não fosse verdade era só você construir um carro que tivesse 10 rodas de tração que você teria a mesma força de uma Scania. Porque você iria multiplicar a força de tração por dez. Mais adiante nós vamos analisar um cambio de carro e você vai ver que isto é verdade **cada roda de tração recebe metade da força do cambio.**

Você já deve ter reparado que todo caminhão e ônibus têm duas rodas de tração de cada lado, ou seja, ele tem quatro rodas de tração no chão então ele divide a força do cambio por quatro, com

isso você pode aplicar uma força maior de tração sem que a roda patine.

Porque isso? Porque o caminhão é destinado a fazer força assim o cambio dele vai liberar para a roda um torque muito grande, se ele tivesse só duas rodas de tração igual ao carro a força seria suficiente para fazer a roda patinar o que não é interessante. Com as quatro rodas de tração a força de tração continua a mesma só que cada pneu recebe um quarto da força. A força que faz o caminhão se movimentar continua a mesma.

Antigamente os caminhões tinham apenas dois pneus de tração (igual ao carro) o pneu era largo para suportar o peso só que ele só dividia a força do cambio por 2 isto trazia problemas quando o caminhão estava na subida e você acelerava muito o pneu patinava porque toda a força estava dividida só em dois pneus, os caminhões atuais ao invés de terem só uma roda larga eles têm duas mais estreitas, isso distribui o peso e divide a força por quatro assim você pode aplicar uma força maior sem que o pneu patine, a principal razão para o caminhão ter 4 rodas de tração é dividir a força de tração nos pneus você poderia fazer um pneu que tivesse a largura de dois pneus assim você obteria uma distribuição de peso, mas só dividiria a força de tração por 2 e ainda teria o problema do pneu patinar, tendo 4 rodas de tração você divide a força de tração por 4 mas a força que faz o caminhão andar é a mesma e é isto que importa.

Alguns caminhões Truck têm um diferencial ligado no outro assim ele tem oito rodas de tração o que divide a força de tração por oito, o que possibilita que aumente mais ainda a força de tração e que tenha uma maior área de contato desta forma ele não atola na lama com muita facilidade e também pode subir subidas mais acentuadas.

Eu já vi caminhoneiros que carregam o caminhão e tiram duas rodas da tração para economizar pneu, fazendo isso ele dobra a força de tração nos pneus e ainda deixa o peso da carga só em dois pneus o que significa que vai gastar mais pneu porque o pneu está sujeito a uma maior força e a um peso maior e a força que movimenta o

caminhão é a mesma com dois pneus ou com quatro pneus. Será que a economia vale a pena? Você jamais deve tirar uma roda da tração de um caminhão a menos que ele esteja descarregado.

Você já reparou que existem carros que tem tração nas 4 rodas? Isto significa que ele divide a força de tração dele por quatro e tem força de tração aplicada em quatro pontos diferentes é por isso que um Jipe não fica atolado na lama.

Existe um tipo de trator que tem 3 rodas grande atrás uma do lado da outra então ele tem atrás 6 rodas (3 de cada lado), todas ligadas no mesmo eixo (igual roda de caminhão), isto significa que ele divide a força do cambio em 6 vezes, como o motor dele é potente e o cambio reduz muito se ele não dividisse a força de tração pelas 6 rodas ele iria patinar e não iria sair do lugar, com a força dividida pelas 6 rodas ele tem uma maior área de contato com o solo e consegue fazer muita força é por isso que ele consegue arar a terra com um arado de 15 metros de comprimento a 40 Km/h. A força que movimenta o trator é a soma de todas as forças de tração da roda, ou seja, é à força do diferencial. Agora imagine que não fosse verdade que a força é dividida na roda e cada roda recebe a mesma força do diferencial, então era só você colocar 6 rodas de tração em um trator comum que você obteria a mesma força de um trator de 6 rodas de tração. Logicamente isto não ocorre devido à conservação de energia. O segredo da força deste trator de 6 rodas está no motor e no cambio dele e não nas rodas.

Pare para pensar porque que um trator tem uma roda grande na tração? Se você reparar na fórmula vai ver o porque:

$$F3 = T1 \cdot \frac{R2}{R1} \times \frac{1}{R3}$$

O trator é uma máquina para fazer força então o cambio dele reduz muito, ou seja, o termo $\frac{R2}{R1}$ é grande isto aumenta tremendamente a força de tração, então o termo $\frac{1}{R3}$ diminui um

pouco esta força senão o trator iria ficar patinando e não ia sair do lugar. Lembre que $R3$ é o raio da roda (a roda e mais o pneu), quanto maior a roda menor a força de tração agora vamos ver a fórmula da velocidade:

$$V3 = 2 \cdot \pi \cdot f1 \cdot \frac{R1}{R2} \cdot R3$$

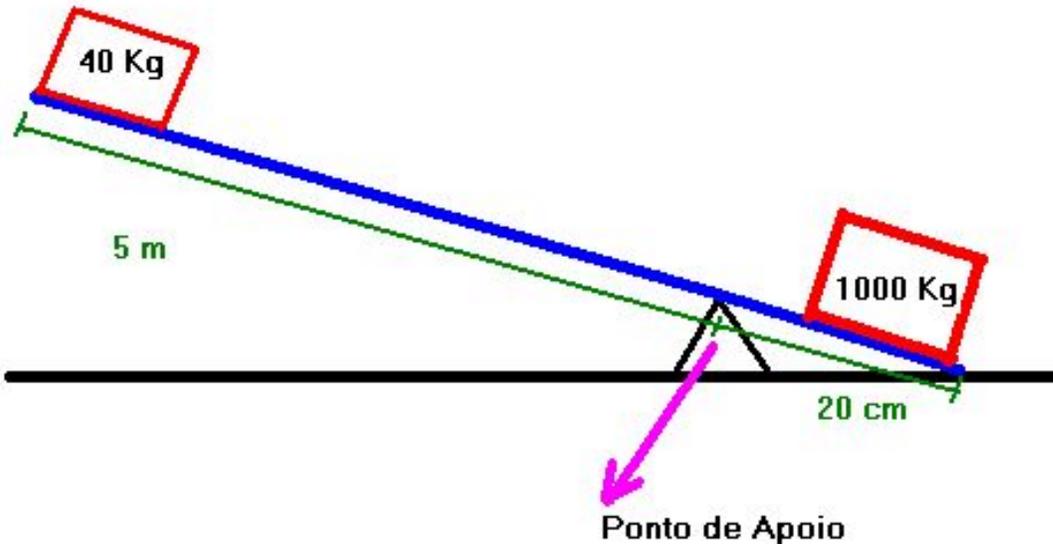
Como o cambio do trator reduz muito o termo $\frac{R1}{R2}$ é pequeno assim isto diminui muito a velocidade do trator, $R3$ é o raio da roda, colocando uma roda grande compensa esta perda de velocidade. Ou seja, quanto maior o tamanho da roda maior a velocidade. O que aconteceria se você colocasse uma roda de carro num trator? Como a roda do carro é pequena ele iria andar muito devagar e iria ter muita força a ponto de ficar patinando no chão e não conseguir sair do lugar. E se você colocasse uma roda maior ainda no trator? Ele iria andar muito rápido e não teria força para puxar nada. Assim o fabricante calculou qual é o tamanho da roda que obtém tanto uma velocidade boa e uma força boa é por isso que a roda do trator é grande, esta também é a explicação do porque a roda do caminhão é maior que a de um carro, porém menor que a de um trator. Repare num trator de esteira, a roda de tração que movimenta a esteira sai direto do cambio e é pequena, por que isso? Novamente tem um motivo o trator de esteira serve para trabalhos pesados onde ele precisa de grande força de tração mas não precisa de uma velocidade grande, assim ele usa uma roda pequena e obtém uma força grande porém uma velocidade pequena, ele utiliza a esteira para não patinar no chão, se ele usasse roda ele iria patinar. O motor do trator comum e do trator de esteira é bem semelhante o que muda é o cambio do trator de esteira que reduz mais e conseqüentemente tem mais força, usando o esquema de roda pequena e esteira ele consegue ter a força que tem. Você já deve ter visto em manual de automóvel que o fabricante do carro não recomenda que você troque as rodas do seu carro, porque? Porque o motor, cambio, diferencial, rolamentos e os freios foram projetados para a roda original que vem no carro.

Novamente recorrendo as fórmulas se você coloca uma roda grande no carro, você tem uma velocidade maior, mas uma força de tração menor, você diminuindo esta força numa curva, por exemplo, você pode derrapar e numa subida você terá que acelerar mais o carro forçando o motor, além do que uma roda maior é mais pesada e tem um momento de inércia maior assim o motor vai ter que fazer mais força para girar ela. Se você colocar uma roda menor você vai ter uma velocidade menor assim você vai ter que acelerar mais o motor para atingir a mesma velocidade que você atingia com a roda original, você vai ter uma força de tração maior o que significa que a roda vai patinar com mais frequência e vai gastar mais pneu. Se você colocar uma roda do mesmo tamanho, porém com um pneu mais largo você aumenta o peso da roda e vai exigir mais força do motor para girar ela, ou seja, vai forçar o motor. Conclusão não mude a roda e nem o pneu do seu carro use a original que o fabricante recomenda.

É importante observar que enquanto a roda está patinando você não ganha velocidade, isso pode ser visto numa corrida de fórmula 1 onde na largada os pilotos que saem patinando com o carro são ultrapassados pelos pilotos que não patinam o carro, ou seja, que são bons de largada. É por isso que os carros mais modernos têm o chamado controle de tração, para evitar que a roda patine. Novamente você pode ver que as coisas são como são por um motivo e não por frescura do fabricante não é por acaso que o fabricante não aconselha que você troque a roda de seu carro.

O redutor aumenta o torque, a roda pequena aumenta a força, há outro tipo muito conhecido de “truque” para aumentar a força, a alavanca, veja a figura a seguir:

Esquema de Uma Alavanca

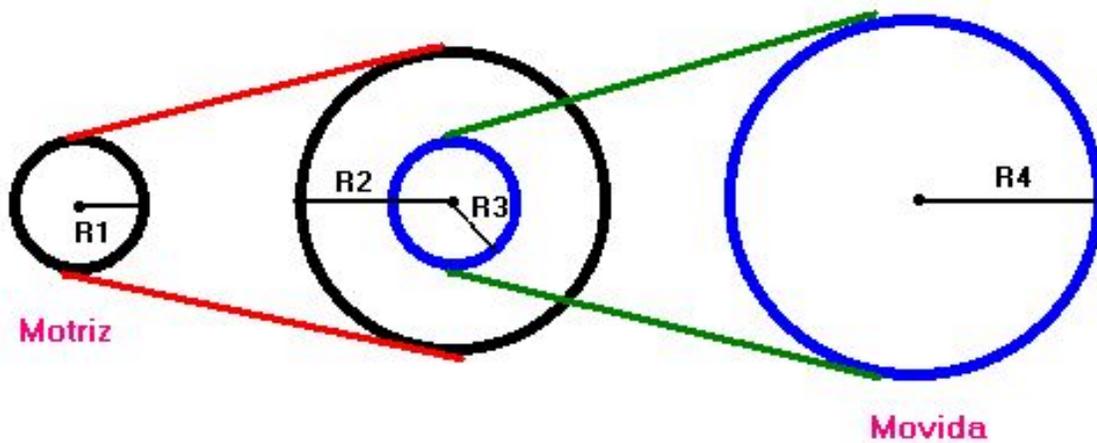


Neste caso um corpo de 40 Kg equilibra um corpo de 1.000 Kg, se você colocar, por exemplo, 41 Kg no lugar de 40Kg você consegue erguer o corpo de 1.000 Kg, neste caso a vantagem mecânica é 5 dividido por 0,2 m (20 cm) que dá 25, ou seja, aumenta a força 25 vezes. Às vezes você precisa de um redutor de 25:1 então, por exemplo, se a polia menor tiver 5 cm de diâmetro a grande deve ter 125 cm de diâmetro, isto pode ser inconveniente por que o redutor ficaria muito grande e também muito pesado, neste caso então é melhor colocar dois redutores dentro de um só como no esquema a seguir:

Usando correia comum, correia dentada, corrente de motocicleta.

A máquina de lavar roupas utiliza um esquema destes, a mobilete também.

Dois Redutores



R1 e R2 = Redutor 1

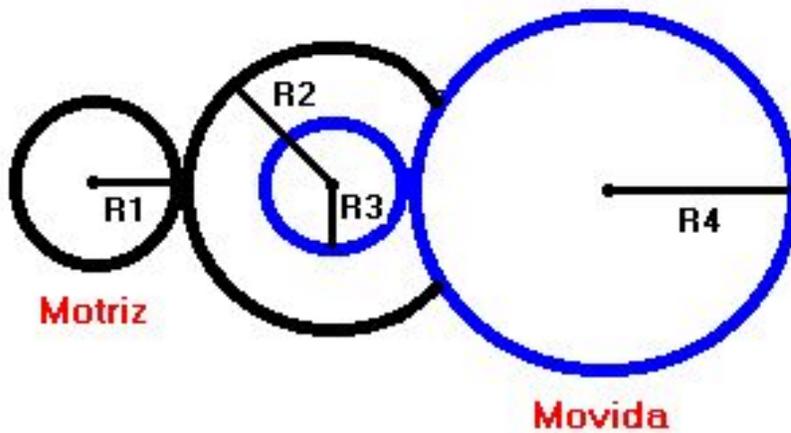
R3 e R4 = Redutor 2

Em vermelho correia do redutor 1

Em verde correia do redutor 2

Usando engrenagens:

Dois Redutores



R1 e R2 = Redutor 1

R3 e R4 = Redutor 2

Em preto = engrenagens do redutor 1

Em azul = engrenagens do redutor 2

A análise deste redutor é semelhante ao que fizemos nos casos anteriores. Vamos começar dividindo os redutores:

Redutor formado por polia pequena 1 (ou engrenagem pequena 1) e polia grande 2 (ou engrenagem grande 2).

Redutor formado por polia pequena 3 (ou engrenagem pequena 3) e polia grande 4 (ou engrenagem grande 4).

Então para o primeiro redutor:

$$V_1 = V_2$$

$$W_1.R_1 = W_2.R_2$$

$$W_2 = W_1 \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

$$T = F.R$$

$$F_1 = F_2$$

$$\frac{T_1}{R_1} = \frac{T_2}{R_2}$$

$$T_2 = T_1 \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

Para o segundo redutor:

$$V_3 = V_4$$

$$W_3.R_3 = W_4.R_4$$

$$W_4 = W_3 \cdot \frac{R_3}{R_4}$$

Mas $W_3 = W_2$, porque as polias 2 e 3 giram no mesmo eixo.

Substituindo:

$$W_4 = W_1 \cdot \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{R_3}{R_4}$$

$$2 \cdot \pi \cdot f_4 = 2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{R_3}{R_4}$$

$$f_4 = f_1 \cdot \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{R_3}{R_4}$$

ou

$$\text{RPM de saída} = \text{RPM de entrada} \cdot \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{R_3}{R_4}$$

Analisando o Torque:

Você pode analisar pela força ou pela velocidade escalar mas pela potência é mais fácil, os dois métodos chegam ao mesmo resultado.

A conservação de energia vale aqui também assim a potência não muda.

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4$$

$$T_1 \cdot W_1 = T_2 \cdot W_2 = T_3 \cdot W_3 = T_4 \cdot W_4$$

$$T_1 \cdot W_1 = T_4 \cdot W_4$$

Substituindo W_4

$$T_1 \cdot W_1 = T_4 \cdot W_1 \cdot \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{R_3}{R_4}$$

$$T4 = T1 \cdot \frac{R2}{R1} \cdot \frac{R4}{R3}$$

O termo $\frac{R2}{R1}$ é a vantagem mecânica do primeiro redutor, o termo $\frac{R4}{R3}$ é a vantagem mecânica do segundo redutor.

O termo $\frac{R2}{R1} \cdot \frac{R4}{R3}$ é a vantagem mecânica total, note que quando há mais de um redutor as vantagens mecânicas são multiplicadas, isto vai ser útil para analisar um cambio de um carro. Assim resumindo:

Torque de saída = Torque de entrada x Vantagem mecânica total

$$\text{RPM de saída} = \frac{\text{RPM de entrada}}{\text{Vantagem Mecânica Total}}$$

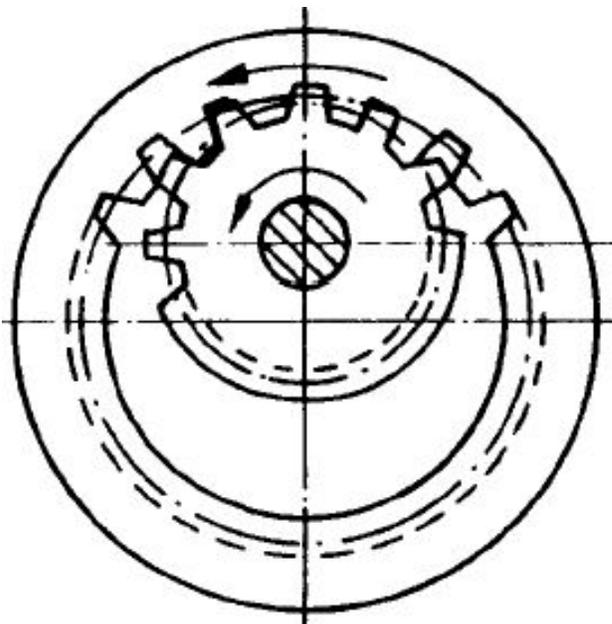
Novamente se você usar engrenagens, correia dentada, corrente de moto, R1, R2, R3 e R4 são substituídos pelo número de dentes das engrenagens. Se você usar correia comum R1, R2, R3 e R4 são os raios da polia, também podem ser substituídas pelo diâmetro que obtém o mesmo resultado. No exemplo dado nós queríamos um redutor de 25 então o termo $\frac{R2}{R1} \cdot \frac{R4}{R3}$ deve ser igual a 25, isto pode ser obtido assim:

$$\frac{R2}{R1} = 5, \text{ e } \frac{R4}{R3} = 5$$

R1 = 2 cm de diâmetro
R2 = 10 cm de diâmetro
R3 = 2 cm de diâmetro
R4 = 10 cm de diâmetro

Obviamente o redutor ficou menor em tamanho e também mais leve, mas oferece a mesma relação de redução e é isto que importa que a relação seja a mesma. Você pode ir repetindo este esquema para fazer quantos redutores você quiser é só colocar outra polia (ou engrenagem) menor no mesmo eixo de R4 e outra polia (ou engrenagem) grande em outro eixo formando a polia 5 (ou engrenagem 5) e usando a polia 5 como saída do seu redutor.

Se você quer construir um redutor usando engrenagens você tem o inconveniente que a saída do redutor terá o sentido do movimento invertido, por exemplo, se o motor gira no sentido horário a saída do redutor gira no sentido anti-horário, se o motor gira no sentido anti-horário então a saída do redutor gira no sentido horário. Há duas maneiras de fazer o redutor com engrenagens girar no mesmo sentido do motor, primeiro usar engrenagens com dente interno como neste esquema:

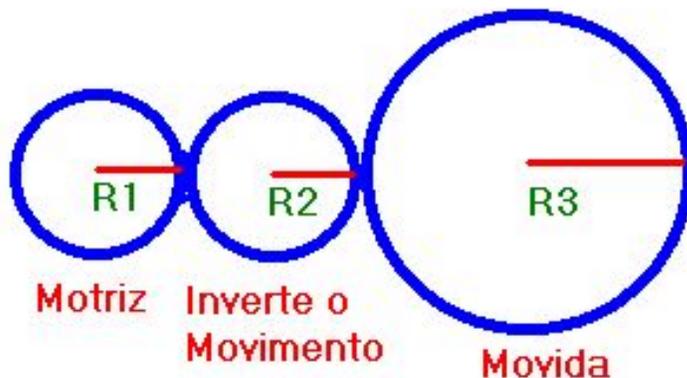


É difícil encontrar uma engrenagem deste tipo ela pode ser vista em betoneira de concreto, no caso a engrenagem pequena é a interna e a engrenagem grande é a externa, a redução é dada pelo

número de dentes da grande dividido pelo número de dentes da pequena.

Outra maneira mais simples é utilizar três engrenagens, uma é para inverter o movimento, neste caso a entrada do redutor é a engrenagem R1 e a saída do redutor é a engrenagem R3, a engrenagem R2 só serve para inverter o sentido do movimento. A engrenagem R1 e R3 giram no mesmo sentido, ou seja, giram no mesmo sentido do motor. Veja a figura a seguir:

Cálculo de Redução



Há uma coisa interessante neste tipo de redutor, a engrenagem R2 pode ser de qualquer tamanho, o valor da redução é determinada por R3 e R1, vou provar isto matematicamente.

Entre as engrenagens R1 e R2:

$$V1 = V2$$

$$W1.R1 = W2.R2$$

$$W2 = W1 \cdot \frac{R1}{R2}$$

F1 = F2, então:

$$\frac{T1}{R1} = \frac{T2}{R2}$$

$$T2 = T1 \cdot \frac{R2}{R1}$$

Entre as engrenagens R2 e R3:

$$V2 = V3$$

$$W2 \cdot R2 = W3 \cdot R3$$

$$W3 = W2 \cdot \frac{R2}{R3}$$

Substituindo W2

$$W3 = W1 \cdot \frac{R1}{R2} \cdot \frac{R2}{R3}$$

Repare que R2 se cancela (está dividindo e multiplicando pelo mesmo valor) logo:

$$W3 = W1 \cdot \frac{R1}{R3}$$

$$2 \cdot \pi \cdot f3 = 2 \cdot \pi \cdot f1 \cdot \frac{R1}{R3}$$

$$f3 = f1 \cdot \frac{R1}{R3}$$

$$\text{RPM de Saída} = \text{RPM de entrada} \cdot \frac{R1}{R3}$$

Repare que não depende de R2.

Agora vamos ver o Torque:

$$F2 = F3$$

$$\frac{T2}{R2} = \frac{T3}{R3}$$

$$T3 = T2 \cdot \frac{R2}{R3}$$

Substituindo T2:

$$T3 = T1 \cdot \frac{R2}{R1} \cdot \frac{R3}{R2}$$

Repare que R2 se cancela (esta multiplicando e dividindo), logo:

$$T3 = T1 \cdot \frac{R3}{R1}$$

Repare que não depende de R2.

Isto será muito útil porque será um redutor deste tipo que eu recomendo. Resumindo:

RPM

$$\text{RPM de Saída} = \text{RPM de entrada} \cdot \frac{R1}{R3}$$

Torque de saída

$$T3 = T1 \cdot \frac{R3}{R1}$$

R1 = Número de dentes da engrenagem pequena

R3 = Número de dentes da engrenagem grande

Se você não acredita então vamos a um exemplo prático.

Motor Volkswagen 1600

Torque máximo = 114,7378 N.m a 3.200 RPM

Redução de 1,5290

$$\text{Então } \frac{R3}{R1} = 1,5290$$

Duas engrenagens que satisfazem isso são a pequena de 17 dentes e a grande de 26 dentes.

Então:

$$R3 = 26 \text{ dentes}$$

$$R1 = 17 \text{ dentes}$$

$$\frac{R3}{R1} = \frac{26}{17} = 1,5294$$

Esta bem perto do que nós queremos, a diferença de 0,0004 é insignificante.

Então usando as fórmulas:

$$\text{RPM de Saída} = \text{RPM de entrada} \cdot \frac{R1}{R3}$$

$$\text{RPM de Saída} = \frac{3.200}{1,5294} = 2.092,32 \text{ RPM}$$

$$T3 = T1 \cdot \frac{R3}{R1}$$

$$T3 = 114,7378 \times 1,5294 = 175,4799 \text{ N.m}$$

Você se lembra do motor ROTAX 582?

Ele tinha torque máximo de 68 N.m a 5.500 RPM

Usando uma caixa de Redução de 2,58

Então ele fornece para a hélice:

Torque = $68 \times 2,58 = 175,44$ N.m

$$\text{RPM} = \frac{5.500}{2,58} = 2.131,78 \text{ RPM}$$

Repare que o Volkswagen ficou com a mesmo torque (“força”) do ROTAX 582, só que a diferença de RPM ficou em 39,46 RPM.

Essa diferença de RPM é muito pouco, vamos supor que um Trike tem um ROTAX 582 com estas especificações e tenha como velocidade máxima 70 Km/h, então o motor vai estar fazendo a máxima “força” no caso do ROTAX a Hélice vai ter um torque de 175,44 N.m e vai estar girando a 2.131,78 RPM. Se você pegar a hélice do ROTAX e colocar no Volkswagen 1600 com o redutor, o Volkswagen vai fornecer o mesmo torque (“força”), só que vai girar com 39,46 RPM a menos, isto quer dizer que se você fizer a razão entre os dois RPM poderá saber a velocidade do Trike usando o motor Volkswagen 1600:

$$\text{Razão} = \frac{\text{RPM do ROTAX}}{\text{RPM do Volkswagen 1600}} = \frac{2.131,78}{2.092,32} = 1,01885$$

Então se ROTAX consegue mover um Trike a 70 Km/h o Volkswagen 1600 com redutor e usando a mesma hélice do ROTAX vai estar em:

$$\frac{70}{1,01885} = 68,7 \text{ Km/h}$$

Praticamente a mesma velocidade, este é o princípio básico que nós vamos usar para deixar um Volkswagen 1600 igual ao ROTAX 582. E também para colocar motores em barco na parte prática eu mostro como fazer isso.

Você ainda não acredita que R2 não muda o valor de sua redução então vamos a um exemplo prático, seguindo os dados anteriores:

$$R1 = 17 \text{ dentes}$$

$$R2 = 1.000 \text{ dentes}$$

$$R3 = 26 \text{ dentes}$$

$$\text{Torque de entrada} = 114,7378 \text{ N.m}$$

$$\text{RPM de entrada} = 3.200$$

Então entre R1 e R2

$$\text{RPM2} = \text{RPM1} \cdot \frac{R1}{R2}$$

$$T2 = T1 \cdot \frac{R2}{R1}$$

$$\text{RPM2} = 3.200 \cdot \frac{17}{1.000} = 54,4 \text{ RPM}$$

$$\text{Torque2} = 114,7378 \cdot \frac{1.000}{17} = 6.749,2823 \text{ N.m}$$

Entre R2 e R3:

$$\text{RPM3} = \text{RPM2} \cdot \frac{R2}{R3}$$

$$\text{Torque3} = \text{Torque2} \cdot \frac{R3}{R2}$$

$$\text{RPM3} = 54,4 \cdot \frac{1.000}{26} = 2.092,30 \text{ RPM}$$

Que é o mesmo valor que nós tínhamos obtido antes (2.092,32) a diferença de 0,02 é erro de arredondamento de contas, mas o valor é exato.

$$\text{Torque}_3 = 6.749,2823 \cdot \frac{26}{1.000} = 175,4813 \text{ N.m}$$

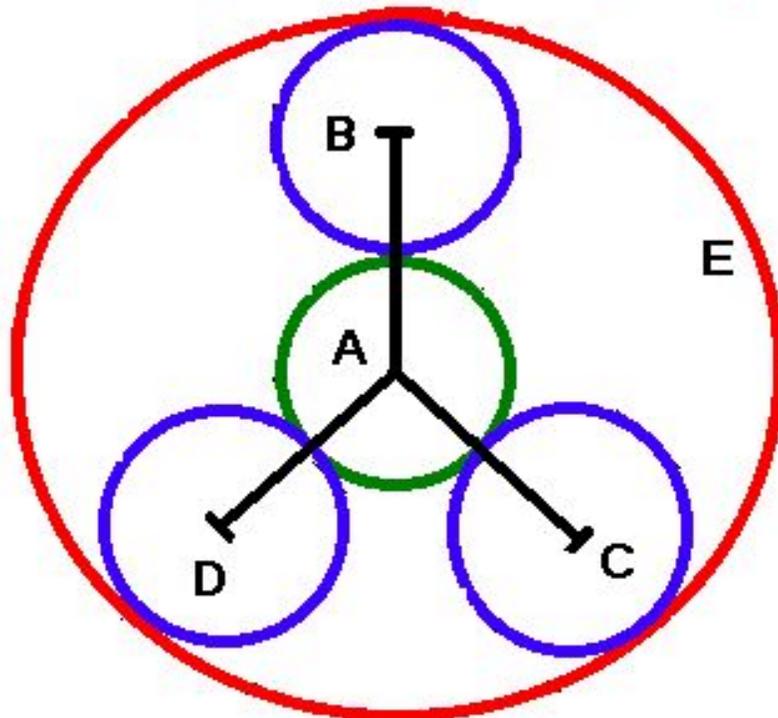
Que é o mesmo valor que nós tínhamos obtido antes (175,4799 N.m) a diferença de 0,0014 é erro de arredondamento de contas, mas o valor é exato. Isso se deve ao fato de R2 se cancelar nas fórmulas, se você ainda não se convenceu coloque qualquer valor de R2 e mantenha R1 e R3 com o mesmo valor que você sempre vai chegar ao mesmo resultado. Na prática R2 pode ser uma engrenagem pequena para o redutor ficar leve e pequeno, obviamente R1, R2 e R3 devem ser do mesmo tipo de engrenagem ter o mesmo tamanho de dente e se encaixar perfeitamente.

Se você quiser um redutor que inverte o sentido de rotação do motor então é só você retirar a engrenagem R2 o resto continua a mesma coisa.

Há um outro tipo de redutor que também inverte o sentido de rotação do motor, trata-se do sistema de planetário. Este tipo é o mais complicado de entender como funciona, ele é utilizado em cambio de Scania.

Veja a figura a seguir:

Sistema planetário de engrenagens



A = Engrenagem Motriz
B, C, D = Engrenagem Satélite
E = Engrenagem Movida de dentes internos

O eixo do motor é ligado na engrenagem A que é chamada de engrenagem motriz. A engrenagem A transmite a rotação para as engrenagens B, C e D. As engrenagens B, C e D são chamadas de engrenagem satélite. As engrenagens B, C e D transmitem a rotação para a engrenagem E que é do tipo de dentes internos. Do outro lado da engrenagem E (no fundo dela) sai o eixo que liga na hélice. As engrenagens B, C e D devem ser do mesmo tipo e do mesmo tamanho. A redução é calculada dividindo o número de dentes da engrenagem interna (E) pelo número de dentes da engrenagem motriz (A). As engrenagens B, C e D não influem na redução seu papel é só transmitir rotação para a engrenagem E.

Outra coisa importante é que a saída deste redutor sempre é no sentido inverso da rotação do motor, não há como mudar.

A vantagem deste redutor é que ele diminui a força no dente e distribui por igual à força. Por exemplo, em engrenagens comuns geralmente são engatados de uma só vez dois dentes, ou seja, a força é dividida por dois. Neste tipo de sistema a engrenagem A é ligada no motor, logo toda a força do motor está em cima dela, porém, ela engata seis dentes de uma vez o que significa que a força é dividida por seis. As engrenagens satélites (B, C e D) também engatam dois dentes de cada vez na engrenagem interna E, logo a engrenagem interna E tem seis pontos de aplicação de força, ou seja, distribui uniformemente a força. Com este arranjo as engrenagens podem ser menores já que a força é dividida por seis. É por isso que a Scania utiliza este tipo de sistema no cambio dela, assim o cambio dela pode ser menor e mais compacto. Se ela usasse o sistema comum que o carro utiliza as engrenagens teriam que ser muito grandes para suportar a força do motor, logo o cambio teria que ser maior e conseqüentemente mais pesado.

Outro fator importante de notar é que cada engrenagem satélite está presa num braço que sai do eixo da engrenagem A este braço está em preto no desenho. Este braço não se move ele fica parado, quem se move são as engrenagens que giram em torno do rolamento que está na ponta de cada braço, ou seja, as engrenagens A, B, C e D não mudam de posição elas ficam fixas no lugar delas elas apenas giram e com isso transmitem rotação para a engrenagem E. A engrenagem E gira e transmite rotação para a hélice no sentido contrário do motor. Como as engrenagens B, C e D não mudam de posição e apenas giram o braço que ligam elas na engrenagem A deve ser preso na parede da caixa de redução, alias o papel do braço é manter as engrenagens B, C e D na posição delas. Se você não quiser utilizar o braço então vai ter que colocar um eixo para cada engrenagem satélite e prender este eixo na parede da caixa as engrenagens devem apenas girar e não mudar de posição. Porque o braço não pode se mover?

Se você construir este sistema de tal forma que o braço gire e as engrenagens A, B, C e D fiquem paradas, não haverá nenhum redutor de velocidade todo movimento será transmitido para a engrenagem E que vai girar no mesmo sentido do motor. É como se você ligasse o eixo do motor direto na engrenagem interna E.

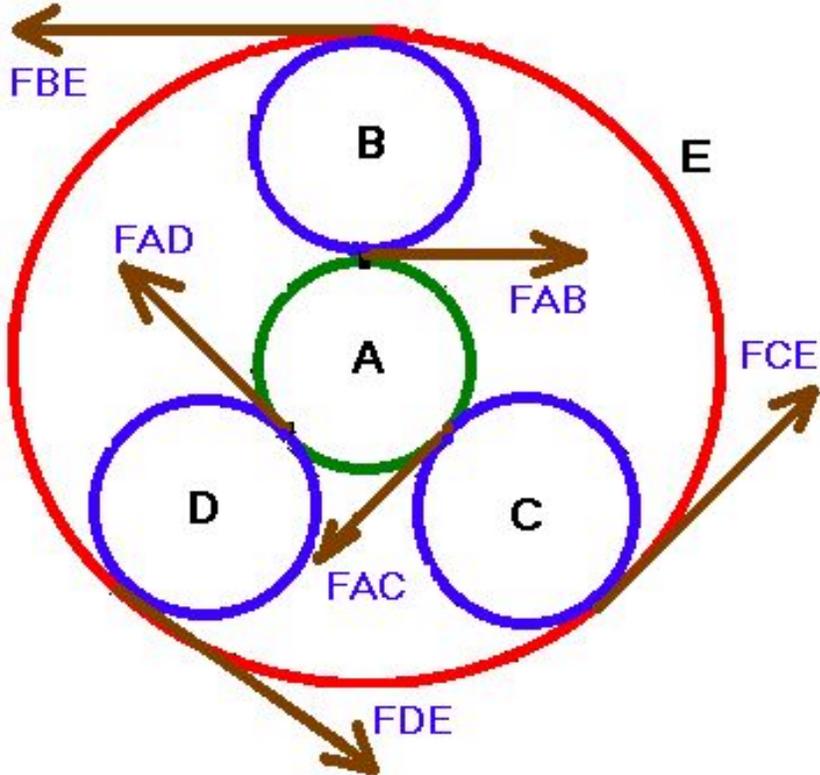
Se você construir este sistema de tal forma que o braço gire no mesmo sentido que a engrenagem A está girando, ou seja, no mesmo sentido que o motor está girando, você não consegue transmitir força para a engrenagem E porque não há ponto de apoio. Na verdade se você segurasse a engrenagem E com as mãos as engrenagens A, B, C e D ficam girando em torno da engrenagem interna E não transmitindo força para ela. Se você soltar a engrenagem E ela vai começar a girar no sentido contrário do motor, porém, você consegue parar ela com a mão novamente porque não há transmissão de força para a engrenagem E.

Para o cálculo de redução **não importa o número de engrenagens satélites**, poderia ter uma, duas, três, quatro, cinco, seis, dez que o cálculo de redução não muda. Se você colocasse mais de três engrenagens satélites você conseguiria diminuir ainda mais a força no dente da engrenagem A e iria conseguir uma distribuição de força mais uniforme, mas não iria mudar o valor do cálculo de redução.

Eu vou mostrar matematicamente como se calcula a redução neste tipo de sistema e mostrar que as engrenagens satélites não influenciam no valor da redução.

Veja a figura a seguir:

Diagrama de Forças



Ela representa o diagrama de forças na engrenagem, ou seja, a força que cada engrenagem aplica na outra. Vamos começar analisando as engrenagens A, B, C e D.

Lembrando das fórmulas:

$$V = W.R$$

Onde V é a velocidade escalar, W é a velocidade angular, R é o raio.

$$P = T.W$$

Onde P é a potência, T é o torque e W é a velocidade angular.

$$T = F.R$$

Onde T é o torque, F é a força e R é o raio.

Então, para as engrenagens internas $V_A = V_B = V_C = V_D$, porque elas não pulam dente. Logo a velocidade escalar é a mesma.

$$V_A = V_B = V_C = V_D$$

$$W_A.R_A = W_B.R_B = W_C.R_C = W_D.R_D$$

Vamos pegar entre A e B

$$W_A.R_A = W_B.R_B$$

$$W_B = W_A \cdot \frac{R_A}{R_B}$$

Analogamente temos para C e D:

$$W_C = W_A \cdot \frac{R_A}{R_C}$$

$$W_D = W_A \cdot \frac{R_A}{R_D}$$

Como nós vimos anteriormente às engrenagens B, C e D são iguais logo $R_B = R_C = R_D$, ou seja, $W_B = W_C = W_D$.

Agora vamos analisar as engrenagens B, C, D, E. Como elas não pulam dente então $V_B = V_C = V_D = V_E$

Repare que também nós podemos concluir que $V_A = V_E$

Então analisando entre a engrenagem B, E:

$$V_B = V_E$$

$$W_B \cdot R_B = W_E \cdot R_E$$

$$W_E = W_B \cdot \frac{R_B}{R_E}$$

Mas

$$W_B = W_A \cdot \frac{R_A}{R_B}$$

Substituindo:

$$W_E = W_A \cdot \frac{R_A}{R_B} \cdot \frac{R_B}{R_E}$$

Repare que R_B se cancela, logo:

$$W_E = W_A \cdot \frac{R_A}{R_E}$$

Ou seja, não depende de B. Você chega ao mesmo valor se você analisar pela engrenagem C ou pela engrenagem D.

Vamos ver agora o torque:

Lembrando da conservação de energia:

$$P_A = P_E$$

$$T_A \cdot W_A = T_E \cdot W_E$$

Substituindo W_E temos:

$$T_A \cdot W_A = T_E \cdot W_A \cdot \frac{R_A}{R_E}$$

$$T_A = T_E \cdot \frac{R_A}{R_E}$$

$$T_E = T_A \cdot \frac{R_E}{R_A}$$

Repare que não depende das engrenagens B, C ou D. O termo $\frac{R_E}{R_A}$ é a redução, ou seja, se você precisa de uma redução de 1,5290 para 1 isto significa que $\frac{R_E}{R_A} = 1,5290$. Dois valores de engrenagens que se aproximam deste valor são:

$$R_E = 26 \text{ dentes}$$

$$R_A = 17 \text{ dentes}$$

Este é o método mais simples de calcular o torque vamos agora para o mais complexo para confirmar que nossas contas estão corretas.

Repare no diagrama de força que a força que a engrenagem A transmite está localizada em três pontos diferentes que são o ponto de contato da engrenagem A com as engrenagens B, C e D. Logo a força da engrenagem A está dividida por três. Alias este é o objetivo do sistema de engrenagem planetária dividir forças. Então:

F_A = Força na engrenagem A

F_{AB} = Força na engrenagem B aplicada por A

F_{AC} = Força na engrenagem C aplicada por A

F_{AD} = Força na engrenagem D aplicada por A

Então

$$F_{AB} = \frac{F_A}{3}$$

$$F_{AC} = \frac{FA}{3}$$

$$F_{AD} = \frac{FA}{3}$$

Vamos ver o torque em cada engrenagem satélite:

$$T = F \cdot R$$

$$F_B = \frac{T_B}{R_B}$$

Mas

$$F_B = F_{AB}$$

$$T_A = F_A \cdot R_A$$

$$F_A = \frac{T_A}{R_A}$$

Então:

$$F_{AB} = \frac{FA}{3}$$

$$\frac{T_B}{R_B} = \frac{1}{3} \times \frac{T_A}{R_A}$$

$$T_B = \frac{1}{3} \times \frac{R_B}{R_A} \times T_A$$

Analogamente você chega que:

$$TC = \frac{1}{3} \times \frac{RC}{RA} \times TA$$

$$TD = \frac{1}{3} \times \frac{RD}{RA} \times TA$$

Mas nós vimos que $RB = RC = RD$, assim $TB = TC = TD$.

Vamos ver a potência de cada engrenagem B, C, D:

$$PB = TB \cdot WB$$

Mas

$$TB = \frac{1}{3} \times \frac{RB}{RA} \times TA$$

$$WB = WA \cdot \frac{RA}{RB}$$

Substituindo

$$PB = \frac{1}{3} \times \frac{RB}{RA} \times TA \times WA \cdot \frac{RA}{RB}$$

Repare que RA e RB se cancelam logo:

$$PB = \frac{1}{3} \cdot TA \cdot WA$$

Analogamente você chega em:

$$PC = \frac{1}{3}.TA.WA$$

$$PD = \frac{1}{3}.TA.WA$$

Mas

$$PA = TA.WA$$

Logo cada engrenagem satélite recebe $\frac{1}{3}$ da potência de A.

Somando a potência de cada engrenagem satélite:

$$PB + PC + PD = \frac{1}{3}.TA.WA + \frac{1}{3}.TA.WA + \frac{1}{3}.TA.WA = TA.WA$$

Ou seja, a soma das potências em cada engrenagem satélite é igual à potência da engrenagem A logo nossas contas estão corretas.

Vamos ver agora a engrenagem E. A engrenagem E tem três pontos de aplicação de força. A força de cada engrenagem satélite é transmitida para a engrenagem E. Logo a força que movimenta a engrenagem E é:

$$FE = FBE + FDE + FCE$$

Mas o papel da engrenagem satélite é transmitir força logo:

$$FBE = FAB$$

$$FDE = FAD$$

$$FCE = FAC$$

Nós vimos que $F_{AB} = F_{AD} = F_{AC} = \frac{FA}{3}$, então isto implica que

$$F_{BE} = F_{DE} = F_{CE} = \frac{FA}{3} \text{ logo:}$$

$$F_E = \frac{FA}{3} + \frac{FA}{3} + \frac{FA}{3} = FA$$

$$F_E = FA$$

Mas

$$T_E = F_E \cdot R_E$$

$$T_A = F_A \cdot R_A$$

Logo:

$$\frac{T_E}{R_E} = \frac{T_A}{R_A}$$

$$T_E = T_A \cdot \frac{R_E}{R_A}$$

Que é o mesmo valor que nós tínhamos chegado antes usando a fórmula da potência logo nossos cálculos estão corretos.

Você pode ver o objetivo do sistema de engrenagem planetária. A engrenagem A está ligada no eixo do motor logo todo torque do motor está aplicado nela, ou seja:

$$T_A = F_A \cdot R_A$$

Onde T_A é o torque do motor, F_A é a força nos dentes da engrenagem e R_A é o raio médio da engrenagem.

Nós vimos que a engrenagem A divide a força FA em três e a transmite para as engrenagens satélites. Logo a força entre a engrenagem A e qualquer engrenagem satélite dela é $\frac{FA}{3}$. Se a engrenagem A conseguir engatar dois dentes de cada vez então a força em cada dente é $\frac{FA}{3}$ dividida por dois que dá $\frac{FA}{6}$, logo cada dente está sujeito a uma força seis vezes menor. Esta força de $\frac{FA}{6}$ é a força em cada dente que está engatado, ou seja, a engrenagem A tem 6 dentes engatados (2 para cada satélite) logo cada dente que está engatado está sujeito a $\frac{FA}{6}$ de força mas a força total que a engrenagem A transmite continua sendo FA e é isto que importa só que a força está mais distribuída.

Cada engrenagem satélite engata dois dentes na engrenagem A logo cada dente que está engatado na engrenagem A está com a força de $\frac{FA}{6}$. Cada engrenagem satélite engata dois dentes na engrenagem E logo cada dente de contato com a engrenagem E está com a força de $\frac{FA}{6}$. A engrenagem E recebe a força somada de cada dente em contato com ela ou seja recebe seis forças de $\frac{FA}{6}$ que dá FA que é a mesma força que a engrenagem A fornece. Assim você percebe o objetivo do sistema de engrenagem planetária que é diminuir a força no dente da engrenagem e distribuir de maneira uniforme a força.

Resumindo:

Para o sistema planetário de engrenagens temos:

$$\text{Redução} = \frac{RE}{RA}$$

Onde:

RE = Número de dentes da engrenagem interna

RA = Número de dentes da engrenagem motriz (que vai ligada no motor)

Torque de saída = Torque de entrada x Redução

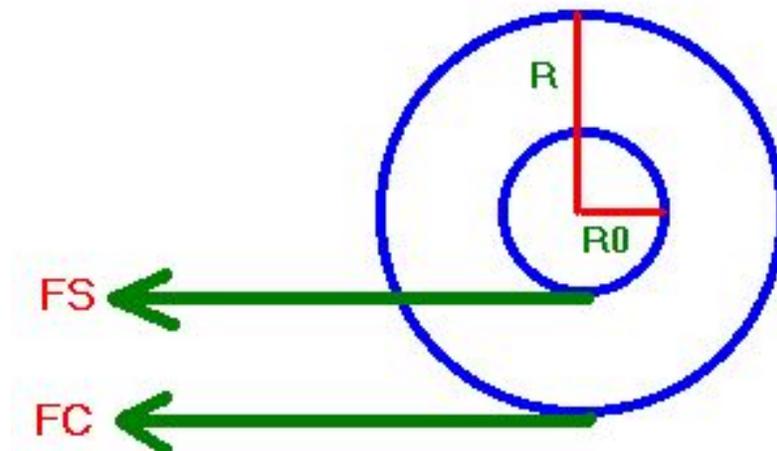
$$\text{RPM de saída} = \frac{\text{RPM de entrada}}{\text{Redução}}$$

As engrenagens satélites não influenciam no valor do redutor.

Às vezes você quer utilizar uma corrente de moto ou um rolamento de carro em seu projeto, mas não sabe dizer quanto RPM a corrente agüenta ou o rolamento agüenta. Por exemplo, qual o RPM da roda de uma moto a 160 Km/h, ou qual o RPM da roda de um Santana a 160 Km/h?

Vamos analisar primeiro como funciona a roda. Veja a figura abaixo:

Funcionamento da Roda



A força FC é a força que faz o veículo andar usando a roda, a força FS é a força que faz o veículo andar se ele não tivesse roda, é a força de atrito do rolamento. R0 é o raio do rolamento da roda, R é o raio da Roda. Eles estão relacionados por:

$$FC = FS \cdot \frac{R0}{R}$$

O termo $\frac{R0}{R}$ é chamado eficiência da roda. Como você pode ver R0 é bem menor que R assim o termo $\frac{R0}{R}$ é pequeno. Isto significa que FC é muito menor que FS.

Vamos para um exemplo, imagine que você tenha um bloco de concreto de 1.000 Kg, num terreno onde o coeficiente de atrito é 0,4 para você empurrar este bloco sem roda com ele em contato com o terreno você tem que fazer uma força tremenda, se você quiser empurrar ele 1 metro em 1 segundo, você tem que fazer a força:

$$F = 0,4 \times 1.000 \times 9,8 + 1.000 \cdot 1 = 4.920 \text{ N}$$

Isto equivale a levantar um corpo de 502,04 Kg, obviamente uma pessoa não consegue fazer tanta força assim.

Você coloca então uma roda com 58 cm de diâmetro (raio = 0,29m), e um rolamento de 3 cm de diâmetro (raio = 0,015m) isto é mais ou menos o tamanho da roda de um carro. Então a força é:

$$FC = 4.920 \cdot \frac{0,015}{0,29} = 254,48 \text{ N}$$

Isto equivale a levantar um corpo de 25,96 Kg, o que uma pessoa consegue levantar sem problema.

Lembrando da Fórmula:

$$V = W \cdot R$$

Que relaciona a velocidade escalar com a velocidade angular (RPM), é possível explicar porque você não consegue ver a ponta de uma hélice do helicóptero girando, mas consegue ver a pá da hélice perto do eixo do rotor. Um ponto na ponta da hélice do helicóptero está a uma distância maior (R maior) do eixo do rotor que um ponto perto (R menor) do eixo do rotor, assim um ponto na ponta da hélice tem uma velocidade escalar maior que um ponto perto do rotor da hélice é por isso que você não consegue ver a ponta da hélice. Embora qualquer ponto na hélice tenha a mesma velocidade angular sua velocidade escalar é diferente. Vamos para um exemplo, um helicóptero Esquilo 350, carrega 6 pessoas, a hélice dele tem um diâmetro de 10,69m (Raio = 5,345 m), o peso máximo de decolagem dele é de 2.250 Kg e com este peso atinge a velocidade de 246 Km/h. O rotor dele gira a 386 RPM, vamos ver a velocidade escalar na hélice.

$$\text{Frequência} = 386 \text{ RPM} = \frac{386}{60} = 6,43 \text{ Hertz}$$

$$W = \text{Velocidade Angular} = 2 \cdot \pi \cdot \text{frequência}$$

$$\pi = 3,141592654$$

$$W = 2 \cdot 3,141592654 \cdot 6,43 = 40,40 \text{ radiano por segundo}$$

$$V = W \cdot R$$

$$\text{Velocidade escalar na ponta da hélice (R = 5,345 m)}$$

$$V = 40,40 \times 5,345 = 215,938 \text{ metros por segundo} = 777,37 \text{ Km/h}$$

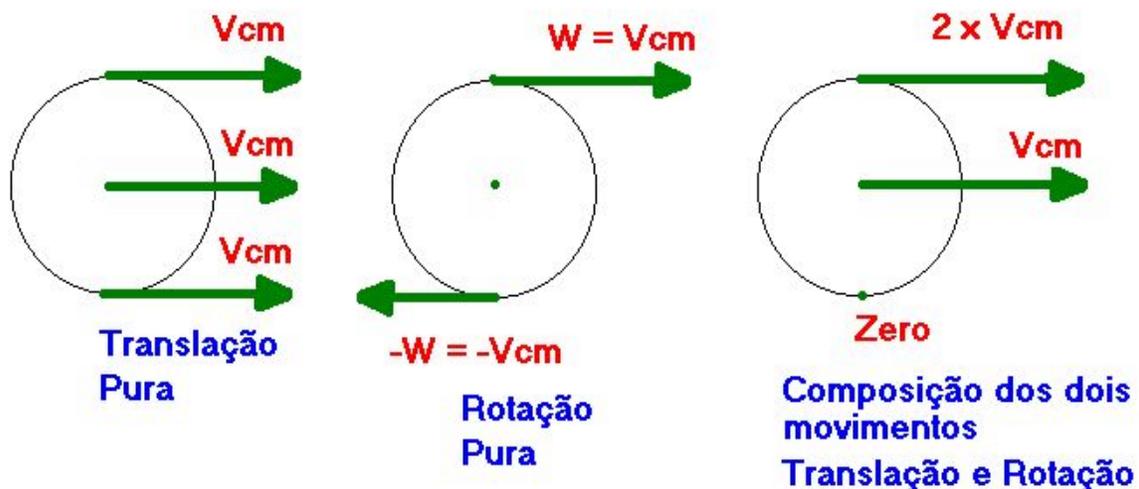
A velocidade escalar em um ponto a 1 metro do rotor:

$$V = 40,40 \times 1 = 40,40 \text{ metros por segundo} = 145,44 \text{ Km/h}$$

Como você pode ver a velocidade escalar é bem menor é por isso que você consegue ver a hélice perto do rotor mas não consegue ver a ponta da hélice. Logo, você deve tomar muito cuidado ao se aproximar de aviões e helicópteros, por que você não consegue ver a ponta da hélice e é esta ponta que vai matar você se você for atingido!

Quando um carro, motocicleta ou bicicleta anda para frente à roda do veículo esta rolando, o fato da roda rolar implica que ela tem dois movimentos simultâneos, primeiro de rotação afinal a roda gira, segundo de translação afinal a roda vai para frente. Observe a figura abaixo:

Roda Rolando



A figura mostra os dois movimentos separados e depois a composição dos dois movimentos. Na figura da esquerda a roda está indo para frente todos os seus pontos estão na mesma velocidade do eixo (neste caso este é o centro de massa). Na figura do meio a roda está em rotação todos os pontos da roda tem o mesmo RPM (mesma velocidade angular) dada por $W = V_{cm}$. Na figura da direita é a composição dos dois movimentos, repare que a velocidade no topo é o dobro da velocidade no eixo e que a velocidade de contato com o solo em cada instante é zero. Isto permite analisar alguns fatos

importantes. Primeiro lembre-se que eu disse que um carro enquanto patina não ganha velocidade isto porque a velocidade dele em contato com o solo não é zero em cada instante enquanto ele patina, então a velocidade do eixo não muda por isso o carro não vai para frente, se você ficar patinando o carro você não se move.

Outra coisa interessante é o seguinte: quando você está andando de bicicleta você olha para roda e consegue ver claramente os raios da bicicleta no ponto mais baixo da roda, porém quando você olha no ponto mais alto você não vê os raios ou vê eles embaçado, porque a velocidade escalar no topo da roda é o dobro da velocidade escalar no centro da roda, e embaixo perto do solo ela é quase zero.

Nós podemos saber o RPM de uma roda a partir da velocidade do veículo. É só utilizar a velocidade no ponto de contato da roda com o solo no movimento de translação, por exemplo, um carro a 160 Km/h, o ponto de contato da roda com o solo está em 160 Km/h, está é a velocidade escalar do movimento de rotação. Então pela fórmula:

$$V = W.R$$

Mas

$$W = 2. \pi .\text{freqüência}$$

Então:

$$V = 2. \pi .\text{Freqüência} . R$$

$$\text{Freqüência} = \frac{V}{2.\pi.R}$$

Aqui você deve tomar muito cuidado com as unidades, V é dado em metros por segundo, R é dado em metros, e a freqüência é dada em Hertz.

Assim:

$$V = 160 \text{ Km/h} = 44,44 \text{ m/s (metros por segundo)}$$

Para o Santana, o raio da roda (roda mais pneu) = 29 cm = 0,29 m.

$$\text{Frequência} = \frac{44,44}{2\pi \cdot 0,29} = 24,38 \text{ Hertz} = 24,38 \times 60 = 1.462,8 \text{ RPM}$$

$$60 \text{ RPM} = 1 \text{ Hertz}$$

Isto quer dizer que se o Santana estiver a 160 Km/h, a roda e o rolamento da roda estão a 1.462,8 RPM.

Para a motocicleta CB 400, raio da roda (roda mais pneu) = 31 cm = 0,31m. A 160 Km/h a roda dela esta em:

$$\text{Frequência} = \frac{44,44}{2\pi \cdot 0,31} = 22,81 \text{ Hertz} = 1.368,6 \text{ RPM}$$

Isto quer dizer que se a CB 400 estiver em 160 Km/h, a roda, a corrente e o rolamento da roda estão em 1.368,6 RPM.

Isto é muito importante porque, por exemplo, se você for usar uma corrente de moto para fazer o seu redutor você deve procurar saber se ela agüenta girar no RPM do motor, e se você for usar algum rolamento você deve procurar saber se o rolamento suporta este RPM, este tipo de informação pode ser obtido com quem fabrica corrente ou rolamento ou com quem vende rolamento. Se o rolamento girar além do permitido ele pode esquentar e quebrar, se a corrente girar além do permitido ela pode quebrar ou escapar. Assim você deve tomar o cuidado quando decidir se vai usar corrente de moto e rolamento de carro no seu redutor.

Lembre-se que o Volkswagen deve trabalhar em 3.200 RPM para obter o maior torque. Vamos ver, qual a velocidade do Santana se a roda (e o rolamento) estiver em 3.200 RPM, roda (roda mais pneu) do Santana = 0,29 m.

$$V = W.R$$

$$V = 2. \pi .\text{freqüência} . R$$

$$\text{Freqüência} = \frac{3.200}{60} = 53,33 \text{ Hertz}$$

$$V = 2. \pi . 53,33 . 0,29 = 97,17 \text{ m/s} = 349,81 \text{ Km/h}$$

Qual a velocidade da CB 400 se a roda (e a corrente e o rolamento) estiver em 3.200 RPM, roda (roda mais pneu) da CB 400 = 0,31 m.

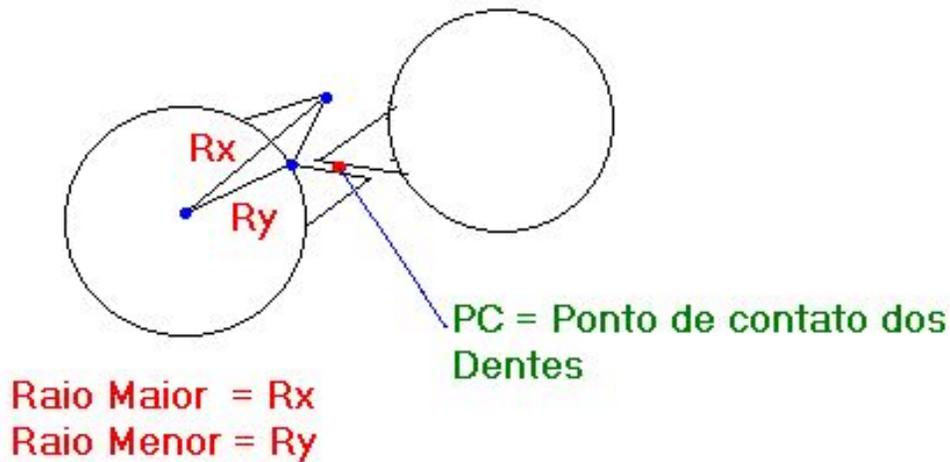
$$V = 2. \pi . 53,33 . 0,31 = 103,87 \text{ m/s} = 373,93 \text{ Km/h}$$

Repare que as velocidades são grandes e estes dois veículos não atingem esta velocidade. Mas em geral engrenagens, rolamentos, correia dentada, correia comum, agüentam até 10.000 RPM. A corrente de moto é critica em RPM elevado, assim você deve ter certeza de que a corrente agüenta o RPM que ela vai trabalhar senão ela pode escapar ou quebrar. Consulte um torneiro mecânico de sua confiança que ele pode te indicar uma corrente que agüente até 10.000 RPM.

Acima de 10.000 RPM, você já deve usar material especial, por exemplo, turbina de avião costuma girar entre 50.000 e 100.000 RPM dependendo do avião, só que o fabricante da turbina utiliza material especial em todos os componentes móveis. Para o nosso caso nós vamos trabalhar com RPM abaixo de 10.000, assim não haverá grandes complicações e o redutor fica mais simples de ser fabricado e também mais barato.

Vamos falar um pouco sobre engrenagens. Veja a figura abaixo:

Detalhe da Engrenagem se Acoplando



A figura representa duas engrenagens se acoplando, toda engrenagem tem o raio maior que é à distância entre o centro da engrenagem e o topo do dente e o raio menor que é à distância entre o centro da engrenagem até o fundo do dente. A transmissão de força e velocidade se dá através dos dentes da engrenagem, a engrenagem quando gira, um dente desliza sobre o outro, o ponto onde ele faz força sobre o outro é o ponto de contato dos dentes isso ocorre no raio médio da engrenagem (também chamado de diâmetro médio), este ponto pode ser calculado por:

$$\text{Raio médio} = \frac{R_x + R_y}{2}$$

Assim quando você for utilizar engrenagens no seu redutor, você pode usar o raio médio ou o número de dentes. Porém o número de dentes é mais prático para calcular a redução. O raio médio serve para você calcular a força que vai estar sobre o dente.

Por exemplo, o Motor Volkswagen 1600 possui torque máximo de 114,7378 N.m, quando você for fazer seu redutor você vai colocar a engrenagem pequena ligada no eixo do motor, assim todo torque do motor vai estar na engrenagem pequena. Usando a fórmula do Torque é possível você saber a força no dente.

$$T = F \cdot R$$

Então,

$$F = \frac{T}{R}$$

Quanto maior o raio (tamanho da engrenagem) menor a força.

Assim para um torque de 114,7378 N.m, nos temos a seguinte força no dente da engrenagem.

R = Raio médio da engrenagem

F = Força no dente da engrenagem

Por exemplo, para uma engrenagem de raio médio de 5 cm (diâmetro 10 cm), temos:

$$R = 5 \text{ cm} = 0,05\text{m}$$

$$F = \frac{114,7378}{0,05} = 2.294,75 \text{ N}$$

Esta força equivale a erguer um corpo de 234,15 Kg, é o mesmo que você pendurar 234,15 Kg no dente da engrenagem.

Para uma engrenagem de raio médio = 1 cm (diâmetro = 2 cm), temos:

$$R = 1 \text{ cm} = 0,01\text{m}$$

$$F = \frac{114,7378}{0,01} = 11.473,78 \text{ N}$$

Esta força equivale a erguer um corpo de 1.170,79 Kg, é o mesmo que você pendurar 1.170,79 Kg no dente da engrenagem, isto é mais de uma tonelada no dente da engrenagem.

Para você poder ter uma idéia da força com a massa de um corpo divide a força por 9,8. Assim uma força de 11.473,78 N é a força que você precisa para erguer um corpo de 1.170,79 Kg.

Conforme você aumenta o raio médio a força diminui e conforme você diminui o raio médio a força aumenta.

O raio médio da catraca de motocicleta e o raio médio da polia de correia dentada são calculados da mesma forma que você calcula o raio médio da engrenagem. Para cálculo de redução você pode usar o raio médio ou o número de dentes. Para polia comum você pode usar o raio da polia ou o diâmetro. É por isso que as fórmulas deduzidas para polia também valem para engrenagens. Na fórmula do torque, por exemplo:

$$T2 = T1 \cdot \frac{R2}{R1}$$

Se você for usar engrenagens, ou catraca de moto, ou polia de correia dentada, você deve usar o número de dentes ou o raio médio. Assim para engrenagens:

R2 = Número de dentes da engrenagem grande

R1 = Número de dentes da engrenagem pequena

Ou

R2 = Raio médio da engrenagem grande

R1 = Raio médio da engrenagem pequena

Por exemplo, se você quer uma redução de 1,5290 então você deve ter que a relação $\frac{R2}{R1}$ seja igual a 1,5290.

$$\frac{R2}{R1} = 1,5290$$

Por exemplo:

$$R2 = 26$$

$$R1 = 17$$

$$\frac{26}{17} = 1,5294$$

É um valor bem próximo (diferença de 0,0004 que é insignificante).

Aqui é que está o mais interessante e o que mais facilita o nosso projeto.

Engrenagem grande (ou polia grande)

$$R2 = 26$$

Este 26 pode ser o número de dentes da engrenagem, ou o raio médio da engrenagem, ou o diâmetro médio da engrenagem, ou o número de dentes da catraca de moto, ou o número de dentes da polia de correia dentada. Pode ser o raio da polia comum, ou o diâmetro da polia comum.

Engrenagem pequena (ou polia pequena)

$$R1 = 17$$

Este 17 pode ser o número de dentes da engrenagem, ou o raio médio da engrenagem, ou o diâmetro médio da engrenagem, ou o número de dentes da catraca de moto, ou o número de dentes da polia de correia dentada. Pode ser o raio da polia comum, ou o diâmetro da polia comum.

Independente de usar engrenagens ou polias a relação $\frac{26}{17} = 1,5294$ é sempre a mesma e é a relação de redução que nós queremos e é isto que importa.

É importante mostrar que no caso de engrenagens um dente a mais ou a menos faz muita diferença. Por exemplo:

$\frac{25}{17} = 1,4705$. É pouco já que nós queríamos 1,5290

$\frac{27}{17} = 1,5882$. É muito já que nós queríamos 1,5290

Para que você não fique quebrando a cabeça procurando engrenagens que obtém a redução que você quer, eu fiz um programa de computador que vem junto com este texto. O programa é o arquivo reducao.exe é só você clicar em cima dele que ele vai pedir para você digitar a redução. Por exemplo, para a redução 1,5290 você deve digitar 1.5290 com o ponto, senão não funciona. O programa testa em menos de 1 segundo todas as combinações compatíveis de engrenagens de 2 até 100 dentes. O resultado disso é um arquivo chamado reducao.txt é só você clicar em cima do arquivo e ver as engrenagens que combinam. Os valores que este programa calcular podem ser interpretados como:

Número de dentes de engrenagens (ou polia dentada, ou catraca de moto).

Raio médio de engrenagens (ou polia dentada, ou catraca de moto).

Diâmetro médio de engrenagens (ou polia dentada, ou catraca de moto).

Raio de polia comum.

Diâmetro de polia comum.

As engrenagens (ou polias) compatíveis com o projeto de tornar o Volkswagen 1600 igual ao ROTAX 582, estão no arquivo Volks_Rotax.txt.

As engrenagens (ou polias) compatíveis com o projeto de tornar a RD350 igual ao ROTAX 582 estão no arquivo RD350_Rotax.txt.

As engrenagens (ou polias) compatíveis com o projeto de tornar a RD350 igual ao Volkswagen 1600 estão no arquivo RD350_Volks.txt.

Como exemplo, vamos a duas engrenagens reais.

Engrenagem pequena:

Número de dentes = 32

Diâmetro maior = 48 mm (Raio 24 mm)

Diâmetro menor = 41 mm (Raio 20,5 mm)

$$\text{Diâmetro médio} = \frac{48 + 41}{2} = 44,5 \text{ mm}$$

$$\text{Raio médio} = \frac{24 + 20,5}{2} = 22,25 \text{ mm}$$

Engrenagem grande:

Número de dentes = 80

Diâmetro maior = 114 mm (Raio 57 mm)

Diâmetro menor = 109 mm (Raio 54,5 mm)

$$\text{Diâmetro médio} = \frac{114 + 109}{2} = 111,5 \text{ mm}$$

$$\text{Raio médio} = \frac{57 + 54,5}{2} = 55,75 \text{ mm}$$

Cálculo de redução feito pelos números de dentes

$$\text{Redução} = \frac{80}{32} = 2,5$$

Este é o valor exato, sempre calcule assim.

Cálculo de redução usando o raio médio:

$$\text{Redução} = \frac{55,75}{22,25} = 2,5056$$

Valor próximo mas não idêntico.

Cálculo de redução usando o diâmetro médio:

$$\text{Redução} = \frac{111,5}{44,5} = 2,5056$$

Valor próximo mas não idêntico.

Agora o que você não deve fazer nunca, calcular pelo diâmetro (raio) maior, ou pelo diâmetro (raio) menor.

$$\text{Pelo diâmetro maior} = \frac{114}{48} = 2,375$$

$$\text{Pelo diâmetro menor} = \frac{109}{41} = 2,6585$$

Os dois valores estão totalmente errados. **Conclusão, para cálculo de redução usando engrenagens use o número de dentes. Para calcular a força no dente use o raio médio.**

Você já deve ter reparado em guindaste de construção civil que a engrenagem motriz (a que é ligada no motor) é grande (raio grande) isto é para reduzir a força no dente, você também já reparou que o corpo não é maciço, é formada por braços que vão do eixo até os dentes da engrenagem, a razão disso é reduzir o momento de inércia da engrenagem (reduzindo a massa você reduz o momento de inércia). Novamente você pode perceber que as coisas são como são por um motivo e não por frescura do fabricante.

O calculo da força é muito importante. É aqui que muita gente errou ao tentar fazer o redutor para Volkswagen 1600 e o redutor não funcionou e fritou as correias, ou quebrou os dentes da engrenagem, ou a engrenagem pulava dente. É importante observar que o que determina a força é a engrenagem (polia) pequena porque é esta que está ligada no motor.

No caso de engrenagens, a força calculada é a força em um dente da engrenagem, se a engrenagem conseguir engatar mais de um dente então a força é reduzida. Por exemplo, você calculou a força no dente da engrenagem usando o torque e o raio médio. Se a engrenagem conseguir engatar dois dentes de uma vez esta força é dividida por dois se engatar três dentes de uma vez esta força é dividida por três e assim por diante. Se você colocar duas engrenagens iguais lado a lado no mesmo eixo (igual à roda traseira de caminhão) você reduz ainda mais a força porque você esta engatando mais dentes. Se uma engrenagem engatava dois dentes de uma vez com esse arranjo ela engata quatro dentes, assim a força é dividida por quatro, repare que se você usar duas engrenagens pequenas lado a lado você vai ter que usar duas engrenagens grandes que se encaixam e elas vão ter que estar lado a lado no eixo da engrenagem grande, por exemplo, no caso que nos mostramos de

exemplo do motor Volkswagen a força em um dente com a engrenagem de raio médio igual a 5 cm era de 2.294,75 N, se a engrenagem engatar dois dentes então a força em cada dente é 1.147,37 N, esta é a força necessária para erguer um corpo de 117,07 Kg, no arranjo para engatar quatro dentes a força passa para 573,68 N, esta é a força necessária para erguer um corpo de 58,53 Kg. É mais prático você aumentar o tamanho do raio médio da engrenagem que você diminui mais a força no dente. A resistência do dente da engrenagem é determinada pelo material que é feito a engrenagem, pela largura do dente, pela espessura do dente e pelo comprimento do dente.

No caso de corrente de moto, a corrente consegue engatar em vários dentes ao mesmo tempo isto possibilita que cada dente da catraca esteja sujeito a uma força menor, porém a força que a corrente suporta é a soma das forças que cada dente suporta, logo não importa quantos dentes engatar na corrente a corrente está sujeita sempre a mesma força. Para você diminuir a força na corrente você deve usar duas ou mais catracas lado a lado ligadas no mesmo eixo (semelhante à roda traseira de caminhão), assim se você colocar duas catracas a força é dividida por dois, três catracas a força é dividida por três e assim por diante. Outra maneira de diminuir a força na corrente seria aumentar o raio médio da catraca.

No exemplo do Volkswagen a força para uma catraca de raio médio de 5 cm é 2.294,75 N, esta é a força necessária para levantar um corpo de 234,15 Kg, quem já viu uma corrente de moto sabe que você pode pendurar nela um corpo de mais de 234,15 Kg que ela não quebra. O problema com corrente é o RPM, você deve verificar se ela vai agüentar trabalhar em 3.200 RPM ou mais, com certeza tem corrente que suporta isso e até mais é só procurar, em RPM muito alto ela pode quebrar ou escapar da catraca. A resistência da corrente é determinada pelo tipo de material que ela é feita, pela espessura de cada rolete e pela largura dela. A resistência da catraca é determinada pelo material do qual ela é feita, pela espessura do dente, pelo comprimento do dente e pela largura do dente.

No caso de correia dentada todas as explicações da corrente de motocicleta valem, no entanto, não há o problema do RPM tanto que os automóveis utilizam a correia dentada dentro do motor para o comando de válvulas. Uma correia dentada é como uma corrente de moto só que é feita de borracha. O principal problema da correia dentada é se ela vai patinar ou não, se ela patinar ela quebra. A força que a correia vai estar sujeita é calculada pela fórmula do torque. A correia está sujeita a mesma força igual a corrente de moto. Se você quiser diminuir a força você deve colocar duas ou mais polias dentadas uma do lado da outra e no mesmo eixo. Se você colocar duas polias lado a lado divide a força por dois se você colocar três polias divide a força por três e assim por diante. Assim que você calculou a força e decidiu quantas polias vai usar você deve procurar uma correia que serve na polia que você precisa. Use sempre a fórmula do torque para calcular a força na correia. O que determina se uma correia patina ou não é a força que ela está submetida e esta força vem da polia que está ligada no motor, ela depende somente do raio da polia não do motor, desta forma você pode colocar a correia em qualquer tipo de motor desde que a polia pequena seja grande o suficiente a ponto de produzir uma força de tração pequena o suficiente para a correia não patinar. A resistência da correia depende do material que ela é feita, da largura da correia e da espessura da correia. A correia só vai esquentar se ela patinar e se ela patinar ela quebra.

No caso de correia comum, não há o problema do RPM, porém ela pode patinar. Se ela patinar ela esquenta e quebra. Este é o problema mais crítico quando você utiliza correia. Todos os pontos da correia estão sujeitos a mesma força. Para você diminuir a força na correia você deve colocar duas ou mais polias lado a lado e no mesmo eixo. Se você colocar duas polias a força é dividida por dois se colocar três polias a força é dividida por três e assim por diante. O que determina a força na correia é o tamanho da polia e não a potência do motor você deve sempre calcular a força na polia pela fórmula do torque. É possível até você fazer um redutor usando

correia em V desde que a polia menor que vai ligada no motor seja grande o suficiente a ponto de fornecer uma força suficientemente pequena para a correia não patinar. O que determina se uma correia patina ou não é o material que ela é feita e a largura dela. Eu já soube de pessoas que tentaram fazer um redutor para Volkswagen usando correia comum (ou V) e a correia fritou. Isso aconteceu porque a polia motriz (a que vai ligada no motor) era muito pequena, se aumentasse mais o raio dela a força iria diminuir a ponto da correia não patinar.

É importante que você saiba o seguinte, a força a que a engrenagem, a corrente ou a correia esta sujeita vem do motor e não da hélice. Se você travar a hélice é para o motor parar e não para quebrar engrenagens, correntes ou correia. A hélice é dimensionada para o torque e o RPM do motor assim não adianta você colocar uma hélice “pesada” para segurar o motor que ele só vai esquentar e não vai fornecer um torque maior que o máximo dele, mesmo que você colocasse um freio na saída do seu redutor não tem como a força ser maior que a que o motor fornece quando você frear ao máximo e conseguir parar o motor significa que você forneceu uma força igual à do motor para o freio, como a engrenagem pequena (polia pequena) está ligada no eixo do motor é ela que determina a força que vai ser aplicada no dente, na corrente ou na correia. Você sempre deve calcular a força usando a fórmula do torque ($T = F.R$), onde R é o raio da polia, ou engrenagem. E sempre deve calcular usando o torque máximo do motor por que mais força que isso não vai ser possível fornecer. E sempre deve calcular usando o raio da engrenagem (polia) menor, a motriz.

Não se preocupe em diminuir ao máximo a força no dente ou na corrente ou na polia, porque no redutor o que muda é o torque e a velocidade angular (RPM), a força e a velocidade escalar não mudam e podem ter qualquer valor. Se você não acredita veja a dedução das fórmulas feitas no inicio da teoria.

Outro detalhe que você deve ter em mente é que no caso de engrenagens e corrente de moto quanto maior a engrenagem pequena (catraca pequena) menor a força no dente, porém a velocidade escalar é maior ($V = W \cdot R$), isso significa que os dentes estão deslizando mais rápido isso pode gerar calor assim você deve manter as engrenagens trabalhando dentro de óleo e a corrente sempre bem lubrificada.

Agora surge uma questão inevitável. Eu devo fazer o redutor com engrenagem, corrente de moto, correia dentada ou polia comum?

A resposta é depende da aplicação.

Você deve ter em mente o fator fundamental tempo e dinheiro além do tamanho e do peso do redutor. Ou seja, quanto tempo vai demorar para fazer o redutor e quanto isto custa. Em seguida vem o tamanho do redutor em seguida vem o peso do redutor.

Se você vai colocar o redutor em Trike, Ultraleve, ou qualquer coisa que voe você deve ter em mente o peso e o tamanho do redutor.

Se você vai colocar o redutor em barco ou lancha o peso e o tamanho já não é tão crítico assim.

Um redutor feito com correia comum fica mais barato e fácil de fazer, porém fica muito grande porque você precisa usar polia grande para a correia não patinar e com certeza também fica pesado. Para colocar isso em um Trike pode ser difícil porque a hélice pode pegar no chão ou no suporte da asa. Em barco já não teria tanto problema assim.

Um redutor feito com correia dentada ocupa menos espaço e fica mais leve que um feito com correia comum, porque a correia dentada agüenta mais força de tração para não patinar, assim as polias podem ser menores. Novamente o tamanho do redutor pode ser crítico para colocar em Trike. Em barco não tem tanto problema assim.

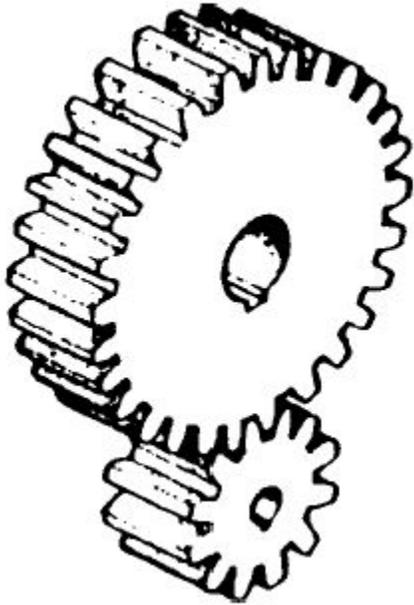
Um redutor feito com corrente de moto ficaria menor e talvez mais leve que um feito com correia dentada porque a corrente agüenta uma força maior assim as catracas podem ser menores. Porém há o problema do RPM você tem que ter certeza que a corrente agüenta a RPM do motor. Também há a necessidade de lubrificação. Novamente há o problema de espaço para colocar em Trike. Em barco não tem tanto problema assim.

Um redutor feito com engrenagens é o mais difícil e talvez o mais caro de ser feito. Porém, é o que fica menor e também talvez seja o mais leve e com certeza agüenta a maior força. Ele é como um cambio de carro só que de uma marcha só. Ele é parecido com a caixa de redução que vem com o ROTAX 582. Precisa ser construído dentro de uma caixa e as engrenagens devem ficar dentro de óleo, ou pelo menos uma engrenagem deve pegar no óleo e espalhar o óleo para as outras. Os rolamentos e o suporte dos rolamentos devem ser bem dimensionados. O redutor feito com engrenagem pode ser utilizado em qualquer tipo de motor desde que a engrenagem seja apropriada, afinal todo motor de carro ou de caminhão tem cambio, logo tem uma engrenagem que agüenta a força do motor.

Antes de você comprar qualquer coisa, seja engrenagem, corrente, correia dentada ou correia comum verifique as especificações com o fabricante ou com quem vende isto. Um torneiro mecânico pode ser uma boa pessoa para indicar isso para você. Se você for mandar fazer engrenagens utilize as engrenagens de cambio de carro como modelo e mande fazer uma com dentes mais largos e maiores. Engrenagens de cambio de carro podem ser encontradas em ferro velho. Nunca aceite especificações do tipo “eu acho que é tanto” de pessoas que se dizem “entendidas”, você pode perder seu tempo e dinheiro e o pior colocar sua vida e seu aparelho em risco.

Vamos agora analisar o tipo de engrenagens que você pode usar e as características de cada uma.

Engrenagem Cilíndrica de Dentes Retos

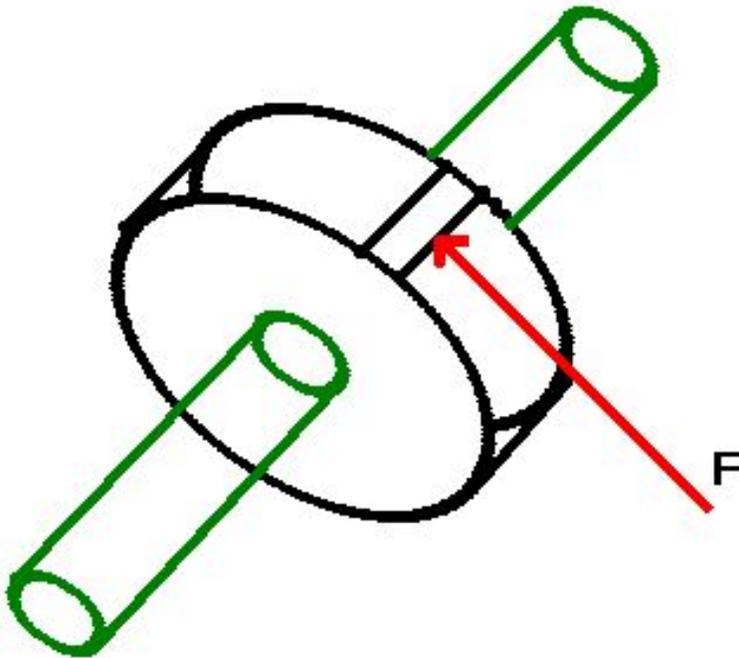


Os dentes são dispostos paralelamente entre si e em relação ao eixo. É o tipo mais comum de engrenagem e de mais baixo custo. Tem fama de produzir muito barulho embora vários torneiros mecânicos já me disseram que tem um tipo de dente que não faz barulho.

Vamos ver como fica a força no dente.

Veja a figura a seguir:

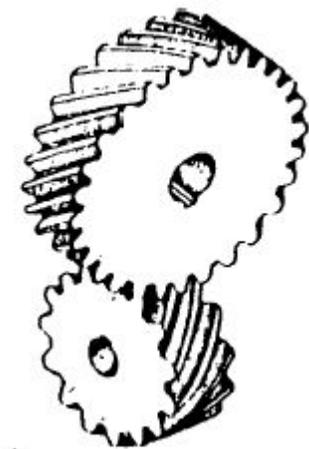
Engrenagem de Dentes Retos



**F = Força Aplicada no Dente
Produce Torque**

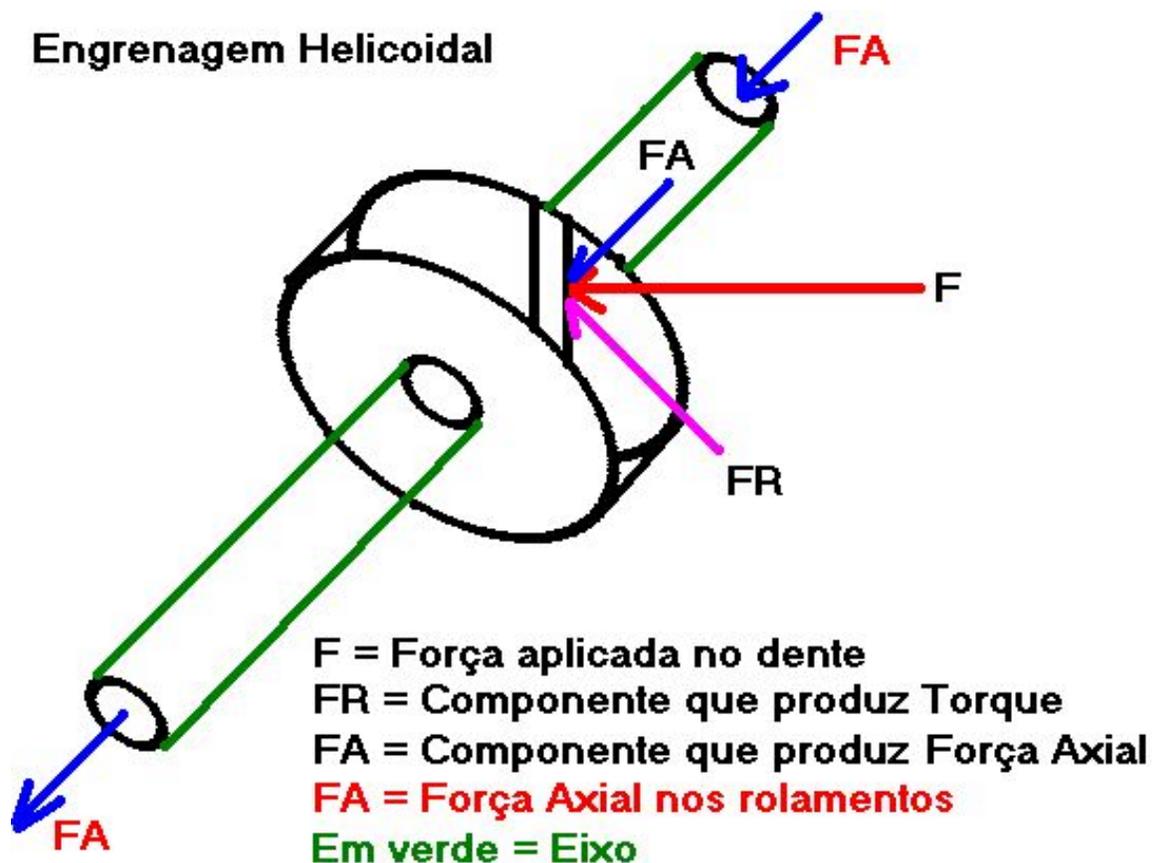
Toda a força aplicada no dente produz torque, se você usar engrenagens deste tipo os rolamentos podem ser simples.

Engrenagens Cilíndricas de Dentes Helicoidais



Os dentes são dispostos transversalmente em forma de hélice em relação eixo. É usada em transmissão de RPM alto por ser silenciosa devido a seus dentes estarem em componente axial de força que deve ser compensada no rolamento. É a engrenagem de cambio de carro. Seu grande inconveniente é que gera força nos rolamentos.

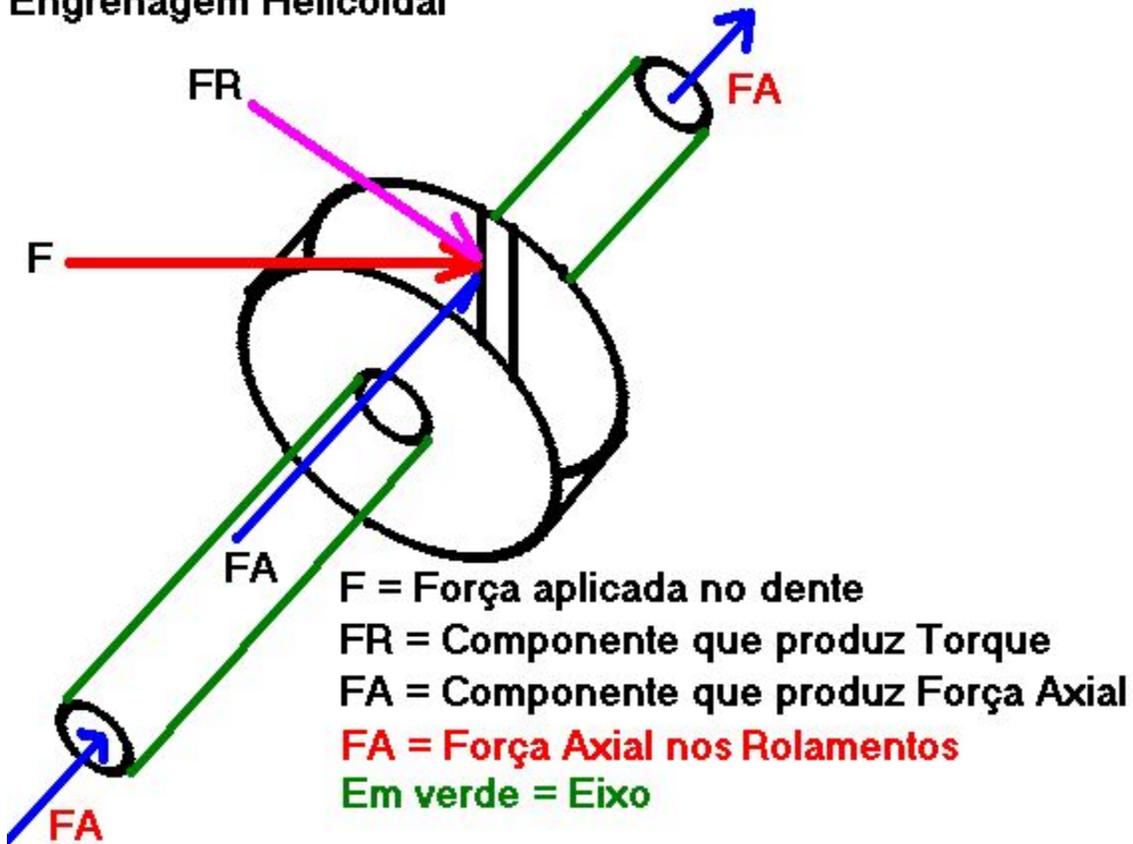
Veja a figura abaixo:



Repare que um rolamento é puxado e o outro é empurrado, esta força é a força axial e o rolamento deve suportar ela, tem que ser um tipo de rolamento que suporte força axial.

Se você inverter o sentido da rotação repare o que acontece:

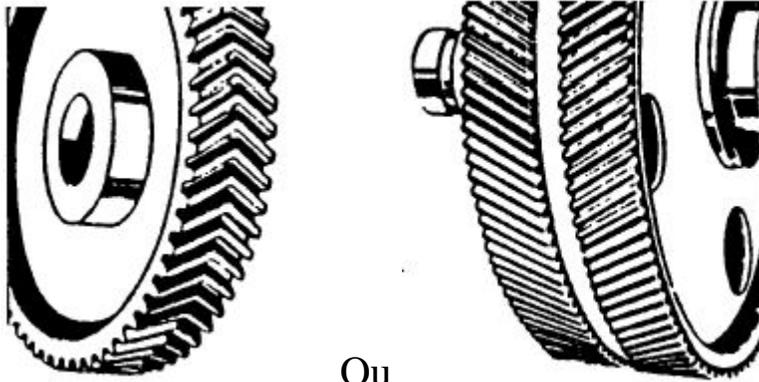
Engrenagem Helicoidal



Agora o rolamento que estava sendo puxado esta sendo empurrado e o rolamento que estava sendo empurrado agora esta sendo puxado.

Os rolamentos devem estar bem fixos na parede da caixa senão o eixo pode vibrar. Como nosso redutor vai girar só para um lado facilita a sua construção. Se você usar esse tipo de engrenagem você vai ter que usar rolamentos que suportem força axial.

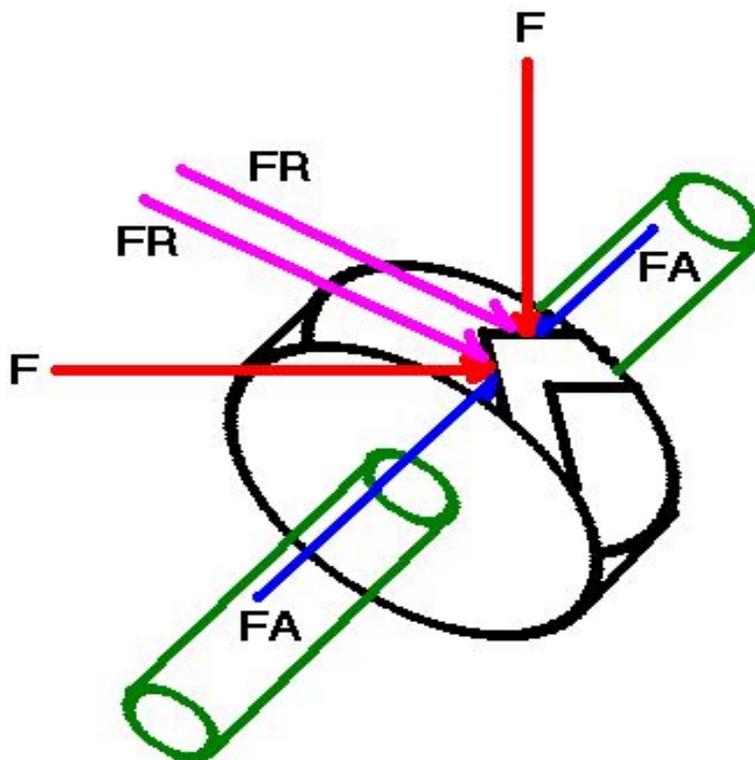
Engrenagem Cilíndrica com Dentes em V



Conhecida como engrenagem espinha de peixe. Possui dentado helicoidal duplo com uma hélice à direita e outra à esquerda. Isso permite que a força axial seja compensada na própria engrenagem eliminando a necessidade de compensar esta força nos rolamentos.

É silenciosa igual a helicoidal. Veja o diagrama de forças:

Engrenagem Espinha de Peixe

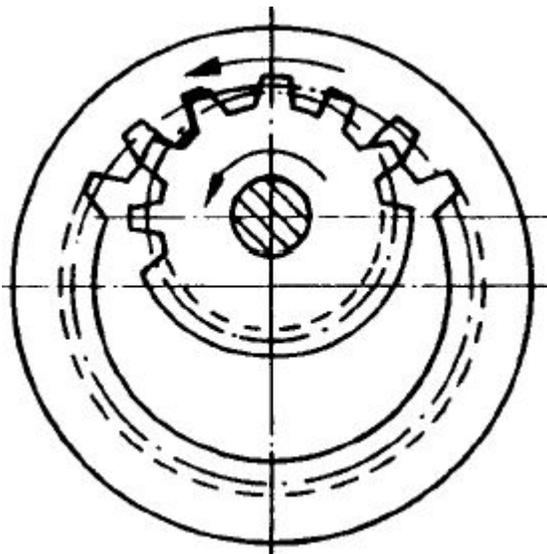


Repare que a força axial foi compensada na própria engrenagem. Assim o rolamento pode ser comum.

A força aplicada no dente é a força F , ela é decomposta na força F_R que produz torque e na força axial que produz força axial, porém do outro lado do dente a outra força F produz uma força axial contrária a primeira assim uma anula a outra, ou seja, a força axial é compensada na própria engrenagem.

Esta engrenagem tem fama de ser difícil de encontrar e difícil de fabricar.

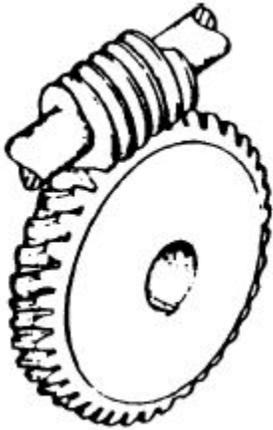
Engrenagens Cilíndricas com Dentes Internos



É usada em transmissões planetárias e comandos finais de máquinas pesadas, permitindo uma economia de espaço e distribuição uniforme da força. As duas engrenagens giram no mesmo sentido.

O valor da redução é dado pelo número de dentes da grande dividido pelo número de dentes da pequena. No caso a grande é a engrenagem com dente interno e a pequena é a engrenagem com dente externo.

Parafuso Sem Fim e Engrenagem Côncava (coroa)



O parafuso sem fim é uma engrenagem helicoidal com pequeno número de dentes ou filetes (até seis).

O parafuso sem fim e a coroa servem para transmissão entre dois eixos perpendiculares entre si. Permite um grande valor de redução porque a engrenagem pequena (o parafuso) tem poucos dentes. Nos parafusos sem fim aparecem forças axiais que devem ser compensadas nos rolamentos. O parafuso sem fim deve trabalhar dentro de óleo. O valor da redução é o número de dentes da coroa dividido pelo número de dentes do parafuso sem fim, neste caso como o parafuso sem fim não se move só os dentes que entram em contato com a coroa devem ser considerados.

Quando você for construir seu redutor terá que utilizar rolamentos, e o tipo de rolamento que você terá que usar depende da força que ele está sujeito. Para você ter idéia da força que um rolamento está sujeito vamos analisar o rolamento da roda do carro.

Quando o carro está parado ou em linha reta o peso do carro está sobre o rolamento, esta força gerada pelo peso é chamada de força radial porque ela é perpendicular ao eixo do rolamento.

Quando o carro faz a curva para a direita ou para a esquerda, a roda tende a derrapar, isto gera uma força no rolamento que é chamada de força axial porque está na mesma linha do eixo do

rolamento. Na curva, os rolamentos do lado da curva estão sendo empurrados, e os rolamentos do outro lado estão sendo puxados. Se a curva for feita para o outro lado então a situação se inverte. Isto significa que a força axial pode ter dois sentidos: empurrar ou puxar. Além disso, mesmo quando a força axial aparecer, a força radial está sempre presente e não muda porque o peso do carro não muda.

Desta forma, para um rolamento de roda de carro, o rolamento deve suportar força radial que é o peso do carro, e força axial nos dois sentidos porque o carro faz curvas para a esquerda e para a direita.

O rolamento de roda de carro é o ideal para ser usado na caixa de redução, ele é barato, resistente, pequeno e leve. Além de resistir a força radial e a força axial nos dois sentidos.

Vamos ver como um cambio de carro funciona

O cambio de um carro nada mais é que um redutor em que você pode mudar a relação de redução, ou seja, as marchas.

Especificação do Motor do Santana.

Potência máxima = 107,39 HP a 5.200 RPM, torque = 147,11 N.m

Torque máximo = 170,1 N.m a 3.000 RPM, potência = 71,63 HP

O cambio do Santana GLS 2000 tem as seguintes especificações:

Marchas:

Primeira marcha = 3,45

Segunda marcha = 1,94

Terceira marcha = 1,29

Quarta marcha = 0,97

Quinta marcha = 0,80

Marcha Ré = 3,17

Diferencial = 3,89

Como eu disse anteriormente o motor sempre fornece torque e RPM. Assim você pode ver o seguinte, a redução esta diminuindo conforme você aumenta a marcha. O eixo do motor é ligado no cambio, no eixo do cambio tem uma engrenagem fixa que é conectada com as outras pela embreagem e pela alavanca do cambio. Esta engrenagem fixa é a engrenagem pequena do nosso redutor, o papel da embreagem é colocar as duas engrenagens em mesma rotação antes da alavanca do cambio engata-las. Quando esta engrenagem fixa é acoplada com outra você tem o seu primeiro redutor, que é a relação de marcha, por exemplo, a primeira marcha é 3,45 isto significa que dividindo o número de dentes da engrenagem da primeira marcha pelo número de dentes da engrenagem fixa você obtém 3,45. Só que há um problema, você precisa transmitir o movimento para as duas rodas de tração, quem faz isso é o diferencial. O diferencial é outro redutor sua relação é fixa e não muda por que a engrenagem que se acopla nele não muda (a famosa coroa e pinhão). Isto significa que nós temos dois redutores. Lembrando a fórmula dos dois redutores:

$$\text{Torque de saída} = \text{Torque de entrada} \times \frac{R2}{R1} \cdot \frac{R4}{R3}$$

$$\text{RPM de Saída} = \text{RPM de entrada} \times \frac{R1}{R2} \cdot \frac{R3}{R4}$$

O termo $\frac{R2}{R1}$ é a relação de redução das marchas, na primeira marcha este valor é 3,45 isto significa que R2 é o número de dentes da engrenagem da primeira marcha, R1 é o número de dentes da engrenagem fixa do cambio, ou seja, $\frac{R2}{R1} = 3,45$.

O termo $\frac{R4}{R3}$ é a relação do diferencial, ou seja, R4 é o número de dentes da coroa e R3 é o número de dentes do pinhão. Como as engrenagens não mudam o valor $\frac{R4}{R3}$ é sempre o mesmo que no nosso caso vale $\frac{R4}{R3} = 3,89$.

O termo $\frac{R2}{R1} \cdot \frac{R4}{R3}$ é a vantagem mecânica total do cambio.

Assim:

Torque de Saída = Torque de Entrada x Vantagem Mecânica

$$\text{RPM de Saída} = \frac{\text{RPM de Entrada}}{\text{Vantagem Mecânica}}$$

Assim atualizando os valores:

$$\text{Primeira marcha} = 3,45 \times 3,89 = 13,4205$$

$$\text{Segunda marcha} = 1,94 \times 3,89 = 7,5466$$

$$\text{Terceira marcha} = 1,29 \times 3,89 = 5,0181$$

$$\text{Quarta marcha} = 0,97 \times 3,89 = 3,7733$$

$$\text{Quinta marcha} = 0,80 \times 3,89 = 3,112$$

$$\text{Marcha Ré} = 3,17 \times 3,89 = 12,3313$$

O cambio de todos os carros são projetados para deixar o motor perto da faixa máxima de torque que ele fornece. No caso do Santana o Torque máximo é 170,1 N.m e ocorre a 3.000 RPM. Quando o motor atinge este RPM ele começa a pedir marcha. Agora vamos ver quanto RPM e quanto Torque o cambio fornece para a roda do carro em cada marcha.

Primeira marcha:

$$\text{Torque} = 170,1 \times 13,4205 = 2.282,82705 \text{ N.m}$$

$$\text{RPM} = \frac{3.000}{13,4205} = 223,5386 \text{ RPM}$$

Você pensa que esse torque é pouco? Um motor de Scania de 420 HP, a maior que existe fornece torque de 1.952 N.m no eixo do motor a 1.050 RPM repare que o cambio da Santana o deixou mais “forte” que um motor de Scania. Obviamente a Scania tem um cambio que aumenta mais ainda o Torque do motor da Scania desta forma a Scania consegue puxar uma carreta carregada.

Mas o cambio da Scania não tem inteligência própria para o cambio o que importa é o torque e o RPM que você coloca nele. Se você trocar o motor da Scania por outro que fornece o mesmo torque e o mesmo RPM a Scania vai puxar a mesma carreta e na mesma velocidade. Vamos imaginar que você pegue o motor do Santana e o cambio do Santana, coloque a primeira marcha e ligue a saída do cambio do Santana (à parte que liga na roda) na entrada do cambio da Scania. Será que ela anda? A resposta é sim porque você está fornecendo o mesmo torque no caso 2.282,82705 N.m que é até maior que o torque de 1.952 N.m que a Scania fornece (diferença de 330,82705). Porém a Scania fornece o torque de 1.952 N.m a 1.050 RPM. O Cambio do Santana fornece o torque de 2.282,82705 N.m a 223,5386 RPM. Isto quer dizer que a Scania vai andar mais devagar, mas quanto?

Se você dividir o RPM da Scania pelo RPM do cambio do Santana você vai saber.

$$\text{Razão de RPM} = \frac{1.050}{223,5386} = 4,6971$$

Isto quer dizer o seguinte se uma Scania com motor de Scania consegue puxar uma carreta carregada em primeira marcha e atingir 20 Km/h, com o motor do Santana e com o cambio do Santana em primeira marcha e a saída do cambio do Santana ligada na entrada

do cambio da Scania você consegue puxar a mesma carreta porém sua velocidade será de $\frac{20}{4,6971} = 4,2579$ Km/h e não vai conseguir

atingir uma velocidade maior que essa e nem trocar de marcha. Esta velocidade é mais ou menos a velocidade de uma pessoa andando (1,18 m/s). Portanto não é conveniente trocar um motor de Scania por um motor e cambio do Santana.

Como vimos anteriormente esta fórmula da razão entre o RPM foi deduzida para o caso dos motores fornecerem o mesmo torque, neste caso o cambio do Santana está fornecendo um torque maior, logo este calculo é aproximado. Para um calculo exato devemos deduzir outra fórmula para o caso em que o torque é diferente e conseqüentemente a potência também, vamos deduzir esta fórmula a partir da fórmula da potência.

Potência de rotação:

$$P = T.W$$

$$V = W.R$$

Então:

$$P1 = T1.W1$$

$$V1 = W1.R1$$

$$P2 = T2.W2$$

$$V2 = W2.R2$$

Fazendo a relação entre P1 e P2:

$$\frac{P1}{P2} = \frac{T1 \times W1}{T2 \times W2}$$

$R1 = R2$, porque é o tamanho da roda e não muda.

Logo:

$$R1=R2=R$$

$$W1 = \frac{V1}{R}$$

$$W2 = \frac{V2}{R}$$

Substituindo:

$$\frac{P1}{P2} = \frac{T1 \times \frac{V1}{R}}{T2 \times \frac{V2}{R}}$$

Simplificando:

$$\frac{P1}{P2} = \frac{T1 \times V1 \times R}{T2 \times V2 \times R}$$

Eliminando R:

$$\frac{P1}{P2} = \frac{T1 \times V1}{T2 \times V2}$$

Isolando V2:

$$V2 = \frac{P2 \times T1 \times V1}{P1 \times T2}$$

Logo para a Scania de potência máxima de 420 HP:

$$\text{Torque} = T1 = 1.952 \text{ N.m}$$

RPM = 1.050 RPM

Velocidade = V1 = 20 Km/h

Potência no torque máximo:

$$P = T.W = 1.952 \times 2 \times \pi \times \frac{1.050}{60} = 214.633,61 \text{ Watts}$$

1 HP = 746 Watts

Logo, P1 = 287,71 HP

Para o Santana:

Torque = T2 = 2.282,82705 N.m

RPM = 223,5386

Potência neste torque:

$$P2 = 2.282,82705 \times 2 \times \pi \times \frac{223,5386}{60} = 53.438,48 \text{ Watts} = 71,63 \text{ HP}$$

Substituindo na fórmula:

$$V2 = \frac{71,63 \times 1.952 \times 20}{287,71 \times 2.282,82705} = 4,2577 \text{ Km/h}$$

Repare que usando a outra fórmula nós chegamos em 4,2579 Km/h, uma diferença de 0,002 Km/h, logo nós podemos usar a razão entre o RPM sempre. Neste calculo repare que nós usamos a potência em HP e a velocidade em Km/h porque as unidades se cancelam nesta conta, mas em outro tipo de calculo a potência deve estar em Watts e a velocidade em metros por segundo. Neste calculo que nós fizemos se a potência estivesse em watts e a velocidade em metros por segundo o resultado seria o mesmo.

O fato de a velocidade ser pequena se deve a diferença de potência entre os motores da Scania e do Santana (287,71 HP da

Scania contra 71,63 HP do Santana), isto se reflete na velocidade. Obviamente isto é um exemplo didático ninguém que tenha bom senso iria trocar um motor de Scania por um de Santana!

Como saber se nossas contas estão corretas?

O motor do Santana fornece torque máximo de 170,1 N.m a 3.000 RPM. Vamos calcular a potência do motor nesta rotação.

$$P = T \cdot \omega$$

Lembrando que:

$$60 \text{ RPM} = 1 \text{ Hertz}$$

$$746 \text{ Watts} = 1 \text{ HP}$$

$$P = 170,1 \times 2 \times \pi \times \frac{3.000}{60} = 53.438,49 \text{ Watts} = 71,63 \text{ HP}$$

Esta é a potência do motor, a potência de rotação do motor.

Agora o cambio em primeira marcha produz:

$$\text{Torque} = 170,1 \times 13,4205 = 2.282,82705 \text{ N.m}$$

$$\text{RPM} = \frac{3.000}{13,4205} = 223,5386 \text{ RPM}$$

Vamos ver quanto é a potência de rotação do cambio, está é mesma potência de rotação que é fornecida para as rodas do carro.

$$P = 2.282,82705 \times 2 \times \pi \times \frac{223,5386}{60} = 53.438,48 \text{ Watts} = 71,63 \text{ HP}$$

Repare que a potência não mudou a razão disso é a lei de conservação de energia.

Só que eu estou interessado em andar com o carro, para o carro andar é preciso que as rodas de tração façam força contra o solo e gire a uma certa velocidade escalar.

A roda (roda mais pneu) do Santana tem 58 cm de diâmetro, então o raio é $R = 29 \text{ cm} = 0,29 \text{ m}$.

Lembrando que:

$$V = W.R$$

$$T = F.R$$

Velocidade escalar da roda:

$$V = 2 \times \pi \times \frac{223,5386}{60} \times 0,29 = 6,7885 \text{ m/s} = 24,43 \text{ Km/h}$$

Força de movimentar o carro:

$$F = \frac{2.282,82705}{0,29} = 7.871,8174 \text{ N}$$

Esta força é a força necessária para levantar um corpo de 803,24 Kg do chão.

A força em cada roda é a metade deste valor porque o Santana tem duas rodas de tração, logo a força em cada roda é 3.935,9087 N. Esta é a força necessária para levantar um corpo de 401,62 Kg do chão. É aqui que você nota outra coisa interessante, se você aplicasse a força de 7.871,8174 N em um pneu só com certeza ele iria ficar patinando e o carro não saia do lugar, como o carro tem duas rodas de tração esta força é dividida por dois. Em caminhões a força de tração é muito maior que essa porque o caminhão é feito para carregar peso como há quatro rodas de tração esta força é dividida por 4 assim a roda não patina.

Agora vamos ver como ficou a potência de movimento do carro.

Lembrando da fórmula:

$$P = F.V$$

$$P = 7.871,8174 \times 6,7885 = 53.437,83 \text{ Watts} = 71,63 \text{ HP}$$

Repare que o motor forneceu 71,63 HP de potência de rotação no eixo do motor, o cambio forneceu 71,63 HP de potência de rotação para a roda. E o carro se movimenta com potência de 71,63 HP. Conforme você pode ver a energia se conserva sempre. Na prática a potência de movimento do carro será inferior a 71,63 HP porque há atrito e resistência do ar, a potência nunca será maior que a fornecida pelo motor devido à conservação de energia. Suponha que você mediu na prática e a potência de movimento do seu carro é 69 HP, para onde foi o resto da energia? Ela foi dissipada com o atrito e a resistência do ar, porém, se você medir quanto de potência foi dissipada com o atrito e com a resistência do ar vai notar que a soma das potências dissipadas com a potência de movimento do carro sempre vai ser 71,63 HP, nunca será maior.

Uma coisa interessante deve ser analisada, uma pessoa consegue empurrar um Santana, mas não consegue fazer ele atingir 24,43 Km/h porque? Porque uma pessoa não tem potência suficiente, apesar de você ter a força para empurrar um carro não tem energia suficiente para fazer ele atingir 24,43 Km/h. Lembrando da fórmula da potência $P = F.V$, como a potência é baixa, apesar de uma pessoa conseguir empurrar um Santana a velocidade será baixa. Se você não acredita tente empurrar um carro e ver se ele atinge 20 Km/h, e mesmo que você seja muito forte não tem potência suficiente assim não irá passar de 8 Km/h.

Vamos supor o seguinte:

O cambio fornece 7.871,8174 N de força. Suponha que cada roda receba esta força (ela não seria dividida), as duas rodas estão com velocidade de 6,7885 m/s porque elas giram com o mesmo RPM. Vamos ver então como fica a potência do movimento:

$$P = F.V$$

Para a roda da esquerda:

$$P_e = 7.871,8174 \times 6,7885 = 53.437,83 \text{ Watts} = 71,63 \text{ HP}$$

Para a roda da direita:

$$P_d = 7.871,8174 \times 6,7885 = 53.437,83 \text{ Watts} = 71,63 \text{ HP}$$

Como as rodas estão ligadas no carro a potência de movimento é:

$$P = P_e + P_d = 143,26 \text{ HP}$$

Mas o motor só fornece 71,63 HP, portanto está violando o princípio da conservação de energia. Logo cada roda recebe metade da força do diferencial. Vamos ver se isso é verdade.

Roda da esquerda:

$$\text{Força de tração} = 3.935,9087 \text{ N (metade de } 7.871,8174 \text{ N)}$$

$$\text{Velocidade} = 6,7885 \text{ m/s}$$

$$\text{Potência de movimento} = 3.935,9087 \times 6,7885 = 26.718,91 \text{ Watts} = 35,81 \text{ HP}$$

Roda da direita:

$$\text{Força de tração} = 3.935,9087 \text{ N (metade de } 7.871,8174 \text{ N)}$$

$$\text{Velocidade} = 6,7885 \text{ m/s}$$

$$\text{Potência de movimento} = 3.935,9087 \times 6,7885 = 26.718,91 \text{ Watts} = 35,81 \text{ HP}$$

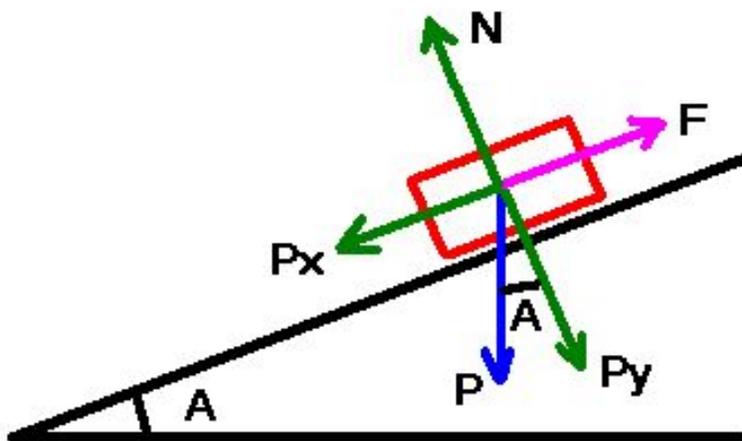
Somando as duas

$$P = 35,81 + 35,81 = 71,62 \text{ HP}$$

Que é a potência que o motor fornece. Portanto as contas estão corretas. A diferença de 0,01 é erro de conta, mas o valor é exato e não tinha como ser diferente para pensar que você vai ver que é verdade. Repare que a velocidade escalar da roda da esquerda e da direita são iguais, isto significa que o RPM é igual, logo podemos concluir que o diferencial divide o torque, mas não divide o RPM, alias pare para pensar como o carro iria andar se a velocidade de cada roda fosse diferente?

Agora temos que analisar uma questão interessante. A máxima força que um motor de Santana consegue transferir para o carro é 7.871,8174 N. Veja a figura abaixo:

Carro na Subida



Ela representa um carro parado numa subida, o carro está representado em vermelho. O peso do carro é P, esse peso é decomposto em duas forças Py e Px, a força máxima que o carro consegue fazer é F.

Qual é o ângulo máximo de subida (o ângulo A)?

O Santana vazio tem 1.160 Kg.

Então no limite a Força F vai ter que ser maior que a força Px senão o carro não anda. A força Px é dada por:

$$P_x = P \cdot \text{Sen} (A) = m \cdot g \cdot \text{Sen} (A)$$

No limite, $F = P$

$$7.871,8174 = 1.160 \times 9,8 \times \text{Seno}(A)$$

$$\text{Seno}(A) = 0,6924$$

$$\hat{\text{Ângulo}} A = 43,82 \text{ graus}$$

Acima de 43,82 graus o carro não consegue subir se ele partir do repouso. Obviamente se ele já vier embalado e a subida for curta ele consegue subir, mas o que importa é quando ele parte do repouso porque esta é a pior situação que pode ocorrer.

É assim que os engenheiros constroem estradas, quando há uma subida que tem uma inclinação muito grande, o trator corta o morro para ele ficar num ângulo que um carro ou caminhão possa subir. Repare que a estrada que corta a serra do mar faz o contorno na montanha justamente para diminuir a inclinação da estrada. Na prática as inclinações das estradas são no máximo 32 graus talvez até menos.

Chegou a hora de explicar porque as relações de marcha do carro diminuem. O carro anda graças à força que o pneu exerce na estrada e o RPM do pneu, nós calculamos isso:

$$\text{Torque} = 170,1 \times 13,4205 = 2.282,82705 \text{ N.m}$$

$$\text{RPM} = \frac{3.000}{13,4205} = 223,5386 \text{ RPM}$$

Velocidade escalar da roda:

$$V = 2 \times \pi \times \frac{223,5386}{60} \times 0,29 = 6,7885 \text{ m/s} = 24,43 \text{ Km/h}$$

Força de movimentar o carro:

$$F = \frac{2.282,82705}{0,29} = 7.871,8174 \text{ N}$$

Quando o carro está se movendo ele tem energia de movimento esta energia é chamada de energia cinética e é dada pela fórmula:

$$EC = \frac{m \times v^2}{2} = \frac{m \times v \times v}{2}$$

Onde m é a massa do carro, e v é a velocidade escalar do carro.

Para o Santana m = 1.160 Kg

A velocidade dele é 6,7885 m/s, na primeira marcha. Então a Energia Cinética é:

$$EC = \frac{1.160 \times 6,7885 \times 6,7885}{2} = 26.728,56 \text{ Joule}$$

Esta é a energia necessária para você levar um carro que estava parado a velocidade de 24,43 Km/h. Ou seja, a velocidade variou 24,43 Km/h. O trabalho que o motor teve que realizar foi para levar o carro do repouso até 24,43 Km/h, e isto fez a energia cinética variar de zero até 26.728,56 Joule. Você vai ver logo para que serve este valor.

Qual é a velocidade máxima de uma marcha? É definido pelo RPM máximo do motor, por exemplo, o Santana chega a 5.200 RPM (talvez chegue até mais, mas este RPM produz a potência máxima). Agora em primeira marcha.

$$\text{RPM de Saída} = \frac{5.200}{13,4205} = 387,46 \text{ RPM}$$

$$V = W.R = 2 \times \pi \times \frac{387,46}{60} \times 0,29 = 11,76 \text{ m/s} = 42,33 \text{ Km/h}$$

Lembre que $60 \text{ RPM} = 1 \text{ Hz}$, e que $0,29\text{m}$ é o raio da roda.

Resumindo a primeira marcha (redução 13,4205):

Torque de entrada = $170,1 \text{ N.m}$

RPM de entrada = 3.000 RPM

Torque de saída = $2.282,82705 \text{ N.m}$

RPM de saída = $223,5386 \text{ RPM}$

Velocidade escalar do carro = $6,7885 \text{ m/s} = 24,43 \text{ Km/h}$

Força de movimentar o carro = $7.871,8174 \text{ N}$

Energia Cinética da Primeira Marcha = $26.728,56 \text{ Joule}$

Quando o carro chegar em $24,43 \text{ Km/h}$ o motor estará em 3.000 RPM e vai pedir para trocar de marcha, então você troca de marcha e coloca a segunda marcha, vamos analisar então a segunda marcha:

Segunda marcha:

Redução = $7,5466$

Torque de entrada = $170,1 \text{ N.m}$

RPM de entrada = 3.000

Torque de saída = $170,1 \times 7,5466 = 1.283,67 \text{ N.m}$

RPM de Saída = $\frac{3.000}{7,5466} = 397,53 \text{ RPM}$

$$\text{Velocidade do Carro} = 2 \times \pi \times \frac{397,53}{60} \times 0,29 = 12,07 \text{ m/s} = 43,4 \text{ Km/h}$$

$$\text{Força para movimentar o carro} = \frac{1.283,67}{0,29} = 4.426,44 \text{ N}$$

$$\text{Energia Cinética} = \frac{1.160 \times 12,07 \times 12,07}{2} = 84.497,24 \text{ Joule}$$

Então o carro estava parado e você engatou a primeira marcha e saiu quando você atingiu 24,43 Km/h o carro começou a pedir marcha e você colocou a segunda marcha e atingiu 43,4 Km/h quando o carro começou a pedir marcha novamente e você colocou a terceira marcha. Para você atingir 43,4 Km/h você precisa de 84.497,24 Joule, porém, você já tinha 26.728,56 Joule que você obteve na primeira marcha, desta forma a segunda marcha forneceu a você:

$$\text{Energia Cinética da Segunda Marcha} = 84.497,24 - 26.728,56 = 57.768,68 \text{ Joule}$$

Repare que a energia que a segunda marcha forneceu é a energia para sua velocidade ir de 24,43 Km/h para 43,4 Km/h, ou seja, para variar a sua velocidade de 18,97 Km/h quase o mesmo que a sua velocidade variou na primeira marcha. Isso ocorre porque você já tinha um “embalo” que a primeira marcha forneceu. Este “embalo” é chamado de inércia de movimento, ou seja, uma energia de movimento que a primeira marcha forneceu. O trabalho que o motor teve que realizar foi para levar o carro de 24,43 Km/h para 43,4 Km/h, para isto o motor teve que fornecer 57.768,68 Joule de energia, ou seja, o motor já não precisa mais fazer tanta força para movimentar o carro por causa do “embalo”, é por isso que a relação de marcha diminuiu, em outras palavras a redução diminuiu porque agora você quer aumentar o RPM para aumentar a sua velocidade.

O motor está pedindo marcha porque está em 3.000 RPM e você coloca a terceira marcha. Vamos analisar a terceira marcha:

Terceira marcha:

$$\text{Redução} = 5,0181$$

$$\text{Torque de entrada} = 170,1 \text{ N.m}$$

$$\text{RPM} = 3.000$$

$$\text{Torque de saída} = 170,1 \times 5,0181 = 853,57881 \text{ N.m}$$

$$\text{RPM de saída} = \frac{3.000}{5,0181} = 597,83 \text{ RPM}$$

$$\text{Velocidade do carro} = 2 \times \pi \times \frac{597,83}{60} \times 0,29 = 18,15 \text{ m/s} = 65,34 \text{ Km/h}$$

$$\text{Força de movimentar o carro} = \frac{853,57881}{0,29} = 2.943,37 \text{ N}$$

$$\text{Energia cinética} = \frac{1.160 \times 18,15 \times 18,15}{2} = 191.065,05 \text{ Joule}$$

Mas quando você colocou a terceira marcha você já tinha 84.497,24 Joule que era a energia cinética a 43,4 Km/h. Assim:

$$\text{Energia cinética da terceira marcha} = 191.065,05 - 84.497,24 = 106.567,81 \text{ Joule.}$$

Repare que a cada marcha que você muda, ela fornece a energia correspondente à diferença de velocidade, no caso da terceira marcha à energia da diferença entre 65,34 Km/h e 43,4 Km/h que é 21,94 Km/h, ou seja, sua velocidade variou 21,94 Km/h, quase o mesmo valor que variou da primeira para a segunda marcha

e da segunda para a terceira marcha. Repare que você não precisa mais de tanta força para variar a sua velocidade porque você já tem o “embalo” da marcha anterior, é por isso que a redução está diminuindo. Então quando o carro atinge 65,34 km/h o motor começa a pedir marcha porque o motor está em 3.000 RPM e você coloca a quarta marcha. Vamos analisar a quarta marcha:

Quarta marcha:

$$\text{Redução} = 3,7733$$

$$\text{Torque de entrada} = 170,1 \text{ N.m}$$

$$\text{RPM de entrada} = 3.000 \text{ RPM}$$

$$\text{Torque de saída} = 170,1 \times 3,7733 = 641,83833 \text{ N.m}$$

$$\text{RPM de saída} = \frac{3.000}{3,7733} = 795,06 \text{ RPM}$$

$$\text{Velocidade do carro} = 2 \times \pi \times \frac{795,06}{60} \times 0,29 = 24,14 \text{ m/s} = 86,9 \text{ Km/h}$$

$$\text{Força de movimentar o carro} = \frac{641,83833}{0,29} = 2.213,23 \text{ N}$$

$$\text{Energia cinética} = \frac{1.160 \times 24,14 \times 24,14}{2} = 337.988,968 \text{ Joule}$$

Mas quando você colocou a quarta marcha você estava a 65,34 Km/h e tinha energia cinética de 191.065,05 Joule. Então:

$$\text{Energia cinética da quarta marcha} = 337.988,968 - 191.065,05 = 146.923,918 \text{ Joule.}$$

Sua velocidade passou de 65,34 Km/h para 86,9 Km/h, ou seja, variou de 21,56 Km/h, praticamente a mesma variação de velocidade das outras marchas, novamente agora o motor já não precisa mais de tanta força para movimentar o carro porque o carro já tem um “embalo” por isso a força está diminuindo. Quando o carro atinge 86,9 Km/h o motor está em 3.000 RPM e está pedindo marcha então você coloca a quinta marcha. Vamos analisar agora a quinta marcha:

Quinta marcha:

$$\text{Redução} = 3,112$$

$$\text{Torque de entrada} = 170,1 \text{ N.m}$$

$$\text{RPM de entrada} = 3.000 \text{ RPM}$$

$$\text{Torque de saída} = 170,1 \times 3,112 = 529,3512 \text{ N.m}$$

$$\text{RPM de saída} = \frac{3.000}{3,112} = 964,01 \text{ RPM}$$

$$\text{Velocidade do carro} = 2 \times \pi \times \frac{964,01}{60} \times 0,29 = 29,27 \text{ m/s} = 105,37 \text{ Km/h}$$

$$\text{Força de movimentar o carro} = \frac{529,3512}{0,29} = 1.825,34 \text{ N}$$

$$\text{Energia cinética} = \frac{1.160 \times 29,27 \times 29,27}{2} = 496.905,082 \text{ Joule}$$

Mas quando você colocou a quinta marcha você estava em 86,9 Km/h e tinha energia cinética de 337.988,968 Joule. Então:

$$\text{Energia cinética da quinta marcha} = 496.905,082 - 337.988,968 = 158.916,114 \text{ Joule.}$$

Sua velocidade passou de 86,9 Km/h para 105,37 Km/h, ou seja, variou 18,47 Km/h praticamente a mesma variação que ocorreu da terceira para a quarta marcha. Repare como a força para movimentar o carro diminuiu, agora você já não precisa mais de tanta força para movimentar o carro porque o carro já tem o “embalo”, você precisa de um RPM mais alto para aumentar a velocidade.

Não existe uma sexta marcha é agora que a potência do motor entra em cena. O cambio levou seu carro do repouso até 105,37 Km/h usando o máximo torque do motor e deixando o motor ficar perto de 3.000 RPM, ou seja, o cambio já fez toda a força necessária para seu carro atingir 105,37 Km/h e você utilizou apenas 71,63 HP de potência do motor para atingir esta velocidade. Agora você quer correr então segundo as especificações do Santana a potência máxima dele é 107,39 HP a 5.200 RPM. Na quinta marcha vamos ver que velocidade ele atinge.

$$\text{RPM de saída} = \frac{5.200}{3,112} = 1.670,95 \text{ RPM}$$

$$\text{Velocidade do carro} = 2 \times \pi \times \frac{1.670,95}{60} \times 0,29 = 50,74 \text{ m/s} = 182,6 \text{ Km/h}$$

Porém quando o Santana está a 5.200 RPM o torque dele é 147,1196 N.m. Então

$$\text{Torque de saída} = 147,1196 \times 3,112 = 457,8361 \text{ N.m}$$

$$\text{Força de movimento} = \frac{457,8361}{0,29} = 1.578,74 \text{ N}$$

Esta força equivale a erguer um corpo de 161,09 Kg. Ou seja, é pequena. É por isso que os carros têm um perfil aerodinâmico para diminuir a resistência do ar. Neste caso a resistência do ar deverá ser

bem inferior a 1.578,74 N senão o carro não atinge 182,6 Km/h. Todas as contas foram feitas considerando que o carro está num terreno plano sem subidas e nem descidas.

Você pode ver porque quando você está viajando de carro a velocidade cai quando você tem pela frente uma subida muito inclinada porque o motor não tem força suficiente para subir, neste caso você deve embalar bem o carro antes de começar a subida para você conseguir subir com a mesma velocidade.

Como você pode ver a força de movimentar o carro diminui com a velocidade, mas o peso do carro não diminui quando ele está correndo, na verdade até aumenta porque o ar empurra o carro para baixo para ele não decolar. A única maneira do peso do carro diminuir é se a aceleração da gravidade mudasse, como a aceleração da gravidade não muda o peso do carro não muda.

O fato de o motor ter que fazer menos força para correr é devido ao fato de que cada marcha aumenta a energia cinética aos poucos, ou seja, aumenta a energia só da variação da velocidade de uma marcha para a outra. Em outras palavras, o trabalho realizado pelo motor é o trabalho para variar a velocidade, repare:

Primeira marcha = de zero até 24,43 Km/h (variou 24,43)

Segunda marcha = de 24,43 Km/h até 43,4 Km/h (variou 18,97)

Terceira marcha = de 43,4 Km/h até 65,34 Km/h (variou 21,94)

Quarta marcha = de 65,34 Km/h até 86,9 Km/h (variou 21,56)

Quinta marcha = de 86,9 Km/h até 105,37 Km/h (variou 18,47)

Velocidade máxima = 105,37 Km/h até 182,6 Km/h (variou 77,23)

Repare como as variações de velocidade de uma marcha para outra são praticamente iguais. O motor só tem que fornecer energia para o carro variar a velocidade porque o carro já está “embalado”, “embalado” quer dizer que você já tem uma velocidade inicial quando troca de marcha.

Vamos analisar a força que cada marcha fornece para o carro andar:

Primeira marcha = 7.871,8174 N
Segunda marcha = 4.426,44 N
Terceira marcha = 2.943,37 N
Quarta marcha = 2.213,23 N
Quinta marcha = 1.825,34 N
Velocidade máxima = 1.578,74 N

Reparou como diminui. A primeira marcha tem uma força grande porque ela deve tirar o carro do repouso e iniciar o movimento, para isso é necessária uma força grande porque o carro por inércia tende a ficar parado, depois que você coloca o carro em movimento e acelera, ele já tem um “embalo” (inércia de movimento) agora o motor já não precisa mais fazer tanta força o motor levou o carro de 0 até 24,43 Km/h agora o carro começou a pedir marcha porque o RPM do motor já atingiu 3.000 RPM, então você coloca a segunda marcha e leva o carro até 43,4 Km/h a força que você tem que fazer é só a força necessária para alterar a velocidade repare que alterou 18,97 Km/h, passou de 24,43 e foi para 43,4 Km/h. A força necessária para fazer isso é bem menor que a necessária para colocar o carro em movimento, por isso a força está diminuindo. Quando você atinge a velocidade de 43,4 Km/h o motor está a 3.000 RPM e está pedindo marcha, então você coloca a terceira marcha. A terceira marcha vai de 43,4 até 65,34 Km/h, novamente a força diminui porque a força é a força necessária para variar a velocidade porque você já tinha um embalo (inércia de movimento) que neste caso variou 21,94 Km/h quase a mesma variação da primeira e da segunda marcha, quando você está em 65,34 km/h o motor está em 3.000 RPM e está pedindo marcha, então você coloca a quarta marcha. A quarta marcha vai de 65,34 até 86,9 Km/h, uma variação de 21,56 Km/h praticamente a mesma variação da primeira marcha, da segunda marcha e da terceira marcha. Novamente a força necessária é a força para variar a velocidade e a força não precisa ser grande porque você já tem um embalo (inércia de movimento), quando você está em 86,9 Km/h o motor está em 3.000 RPM e está pedindo marcha, então você coloca

a quinta marcha. A quinta marcha vai de 86,9 até 105,37 Km/h, uma variação de 18,47 km/h, praticamente a mesma variação da primeira, da segunda, da terceira e da quarta marcha, novamente a força necessária é a força para variar a velocidade e é pequena. Quando você está em 105,37 Km/h o motor está em 3.000 RPM. Repare que o cambio levou o carro de zero até 105,37 Km/h e deixou o motor funcionando em 3.000 RPM que é a faixa de melhor torque (“força”) do motor, assim você só usou 71,63 HP da potência do seu motor não forçou o motor e economizou combustível. Todo cambio de carro, caminhão ou motocicleta é projetado para trabalhar na faixa que o motor fornece o torque máximo, assim geralmente um cambio de um carro não serve no outro porque os motores são diferentes e atingem o máximo torque em RPM diferente. Agora o carro está em 105,37 Km/h e você quer correr mais, você não tem uma sexta marcha e agora? É aqui que entra a potência do motor enquanto você só utilizou 71,63 HP para atingir 105,37 Km/h seu motor está em 3.000 RPM o motor do Santana fornece 107,39 HP a 5.200 RPM, então é só você acelerar mais que você ganha velocidade agora o motor não precisa mais de tanta força o motor só precisa de força para variar a velocidade que no máximo será 182,6 Km/h você não vai conseguir manter a velocidade máxima se você pegar uma subida porque você já está usando a máxima força que a marcha oferece. É por isso que carro de fórmula 1 tem uma potência grande (geralmente acima de 400 HP) para poder atingir uma velocidade maior e manter a velocidade mesmo em subida. Obviamente o cambio da fórmula 1 é diferente do cambio do Santana. Mas repare que a quinta marcha leva você com economia até a 105,37 Km/h que é uma velocidade boa para viajar com economia e segurança.

É isto que é a tecnologia do automóvel. Se ele não tivesse cambio o motor teria que ser muito mais potente e mais forte e seria maior e mais pesado e gastaria mais combustível e com certeza forçaria mais o motor. Novamente você viu a mágica do cambio (da redução). Lembrando que o cambio de carro funciona porque a propulsão do carro é feita pelo contato da roda com o chão e ele só precisa fornecer a força para variar a energia cinética de uma

velocidade para outra. Enquanto o carro está em movimento num terreno plano (sem subida) a principal força que está atrapalhando o movimento é a resistência do ar que o motor vence fácil é por isso que pode diminuir a força de movimento conforme aumenta a velocidade, nós veremos que para aviação, diminuir a força na hélice não é possível.

Faltou analisar a marcha ré:

Marcha ré:

Redução = 12,3313 (quase igual à primeira marcha que é 13,4205)

Torque de entrada = 170,1 N.m

RPM de entrada = 3.000 RPM

Torque de saída = $170,1 \times 12,3313 = 2.097,5541$ N.m

RPM de saída = $\frac{3.000}{12,3313} = 243,28$ RPM

Velocidade do carro = $2 \times \pi \times \frac{243,28}{60} \times 0,29 = 7,38$ m/s = 26,5 Km/h

Força de movimentar o carro = $\frac{2.097,5541}{0,29} = 7.232,94$ N

Velocidade máxima da marcha ré:

RPM de entrada = 5.200

RPM de saída = $\frac{5.200}{12,3313} = 421,69$ RPM

Velocidade máxima = $2 \times \pi \times \frac{421,69}{60} \times 0,29 = 12,8$ m/s = 46 Km/h

A marcha ré fornece uma força semelhante à primeira marcha porque quando você engata a ré o carro está parado e você precisa colocar ele em movimento, para isto é necessária uma força grande porque por inércia ele tende a ficar parado.

Nós podemos agora analisar por que um carro não sai em quinta marcha.

A primeira marcha fornece a força máxima de 7.871,8174 N quando o motor está a 3.000 RPM. Porém você não sai com o carro em 3.000 RPM a não ser que você quer patinar o carro. Então vamos pegar metade deste valor, ou seja, a força de 3.935,9087 N que ocorre quando o motor está a 1.500 RPM que é o valor que geralmente você sai com o carro. A quinta marcha fornece a força máxima de 1.825,34 N que é 2,15 vezes menor que o valor necessário. Nem a quarta marcha consegue colocar a carro em movimento porque fornece a força máxima de 2.213,23 N que é 1,77 vez menor que a necessária. A terceira marcha também não coloca o carro em movimento porque fornece a força máxima de 2.943,37 N que é 1,33 vez menor que o valor necessário. A segunda marcha coloca o carro em movimento por que fornece a força máxima de 4.426,44 N que é 1,12 vez superior à força necessária, porém, você vai ter que acelerar bem mais para colocar o carro em movimento porque você só consegue esta força quando o motor está em 3.000 RPM, enquanto em primeira marcha você sai com o carro com o motor em 1.500 RPM. Conclusão sempre coloque o carro em movimento usando a primeira marcha.

E se o Santana não tivesse cambio será que o motor conseguiria mover o carro?

Neste caso você teria que ligar o eixo do motor direto na roda do carro. O motor fornece o torque máximo de 170,1 N.m, ligando este eixo na roda do Santana que tem 0,29 m de raio nós temos que:

$$\text{Força para movimentar o carro} = \frac{170,1}{0,29} = 586,55 \text{ N}$$

Esta é a força necessária para levantar um corpo de 59,8 Kg, ou seja, é pequena. Conforme nós vimos a primeira marcha do carro fornece uma força média de 3.935,9087 N.

Ou seja, a força que o motor fornece é 6,71 vezes menor que a necessária, portanto, o carro não anda. Mas uma pessoa consegue empurrar um carro logo ela deve fornecer uma força superior a 586,55 N, podemos supor que uma pessoa consegue fazer uma força igual ao seu peso, assim uma pessoa de 80 Kg consegue fazer uma força de 784 N (80 x 9,8), então o carro entra em movimento, porém, não ganha velocidade porque a força não é suficiente, tente empurrar um carro até ele atingir 20 Km/h para ver se você conseguirá!

Isto prova que o carro, o caminhão e outros veículos têm cambio porque ele é essencial.

Vamos imaginar qual seria o tamanho do motor do Santana para que ele não precise de cambio.

Para o Santana andar sem cambio e atingir uma velocidade de pelo menos 20 Km/h você precisa ter um motor que forneça no mínimo o torque de:

$$\text{Torque necessário} = 3.935,9087 \times 0,29 = 1.141,41 \text{ N.m}$$

Que é metade do torque fornecido pela primeira marcha.

O motor do trator Massey Ferguson fornece 500 N.m, então não serve.

O motor da Scania de 360 HP fornece 1.665 N.m a 1.300 RPM, então esse motor serve. Ligando o eixo do motor direto na roda do Santana você iria atingir a velocidade máxima de:

$$V = 2 \times \pi \times \frac{1.300}{60} \times 0,29 = 39,47 \text{ m/s} = 142 \text{ Km/h}$$

Que é inferior a 182,6 Km/h que é a velocidade máxima que o Santana atinge usando cambio. Impressionante não? Ter que usar um motor de Scania para movimentar um Santana!

Agora espero que você acredite que:

CAMBIO E REDUTOR É TECNOLOGIA.

Uma coisa interessante que vale a pena mencionar é o seguinte. Imagine um avião que tem um motor do Santana e um redutor que é igual à primeira marcha do Santana, ou seja, um redutor de 13,4205 para 1. O Santana fornece no máximo o torque de 170,1 N.m. Então você liga a hélice na saída do redutor (igual você coloca a Hélice depois do redutor do ROTAX 582). A hélice recebe então um torque de:

$$\text{Torque da hélice} = 2.282,82705 \text{ N.m}$$

Agora imagine que você tem um motor, mas não tem o redutor, então você precisa usar um motor que forneça um torque semelhante a este.

Por exemplo, o motor da Scania de 420 HP fornece torque de 1.952 N.m, que é 1,16 vez menor que este valor. Isto significa que você não consegue girar a mesma hélice que o motor do Santana em primeira marcha gira. Você vai ter que usar uma hélice menor e que tenha um passo menor. Agora compare o peso e o tamanho de um motor de Scania com o motor do Santana.

Você acha que esta comparação é absurda? É isso que ocorre entre o motor ROTAX 582 e o motor Volkswagen 1600. Nesta comparação o motor ROTAX seria o motor do Santana e o

Volkswagen seria o motor da Scania. Mais adiante nós veremos como compensar isso com o redutor para Volkswagen.

Surge então uma pergunta inevitável, se o cambio é tão bom porque que o fabricante de avião não coloca cambio de carro em avião de hélice?

Na verdade antigamente tentaram fazer isso, só que não funcionou. **Um cambio de carro não funciona em avião de hélice.** Porque o avião de **hélice tem propulsão por empuxo**, ou seja, a hélice puxa o ar que está na frente dela e joga para trás com uma maior velocidade isto gera uma força que movimenta o avião.

Só que a hélice quando está puxando uma massa de ar ela esta puxando uma quantidade de ar que tem um peso X, se você aumentar o RPM da hélice ela vai puxar uma quantidade de ar maior e que tem um peso maior que X para isso é preciso fornecer mais força para a hélice. Como nós vimos um cambio de carro aumenta o RPM mas diminui a força. Então se você colocasse um cambio de carro em avião você coloca a primeira marcha e puxa uma quantidade de ar X, quando você trocar para a segunda marcha à força diminui então a hélice não vai mais conseguir puxar a mesma quantidade de ar X, na verdade a hélice vai puxar menos ar porque não há força suficiente e por isso você não vai conseguir aumentar o RPM porque você já está fornecendo a máxima força do motor, a consequência disto é que a velocidade diminui, assim conforme você troca de marcha à quantidade de ar que você puxa vai sempre diminuindo e o RPM também e o pior pode ocorrer de o motor não ter mais força para girar a hélice. A consequência é a diminuição de velocidade do avião.

Isto não é interessante porque você ao invés de aumentar a velocidade do avião você está diminuindo a velocidade dele. Todo avião tem uma velocidade mínima em que ele pode continuar voando no ar conhecido como velocidade de “estola” (em Inglês stall, significa perda de sustentação) se o avião atingir esta velocidade ele cai. Para uma hélice funcionar com o cambio de carro a cada marcha você teria que diminuir o comprimento dela, o que é

impossível já que a hélice é feita de material resistente e é uma peça só. Vamos imaginar que você faça um cambio que sempre aumente a força e como consequência diminua o RPM, ou seja, um cambio em que as relações de marchas sempre aumentam isto quer dizer que a redução sempre aumenta, na verdade um cambio deste tipo seria você começar as marchas a partir da quinta marcha e depois trocar para a quarta depois para a terceira até chegar na primeira marcha, ou seja, é um cambio invertido. Se a redução sempre aumenta o RPM sempre diminui. Então em primeira marcha (ou quinta marcha de um cambio comum) você iria puxar uma quantidade de ar X, quando você colocar a segunda marcha (ou quarta marcha de um cambio comum) você vai ter mais força, porém, seu RPM vai ser menor então a quantidade de ar que a hélice está puxando vai ser menor que X o que significa que a sua velocidade está diminuindo. Logo você tem o mesmo problema que você tem no caso do cambio comum. Para este cambio que sempre aumenta a força funcionar você deveria aumentar o tamanho da hélice a cada troca de marcha o que é impossível já que a hélice é uma peça só e feita com material resistente. E se você colocasse um cambio que aumenta a força e aumenta o RPM. Neste caso iria funcionar, só que **esse cambio não existe porque ele viola a lei de conservação de energia, é impossível fazer um cambio assim, se fosse possível construir ele alguém já teria construído.**

Na verdade alguns tipos de aviões de hélice têm um tipo de **hélice que o passo pode ser mudado com a hélice girando. É a famosa hélice de passo variável.** Essa hélice de passo variável pode ser interpretada como o cambio do avião. Assim um avião que tem uma hélice de passo variável é um avião que tem “cambio”. Mais adiante vamos ver porque isso é verdade.

Um avião de turbina também não funciona com cambio de carro. E nem com um cambio que sempre aumenta a redução pelo mesmo motivo que a hélice não funciona. Em algumas turbinas o diâmetro da saída da turbina pode ser mudado com ela funcionando.

Em caças, por exemplo, existe um bocal na saída da turbina que diminui ou aumenta o diâmetro da saída isso dá mais ou menos velocidade ao avião, isto poderia ser interpretado como um “cambio” da turbina.

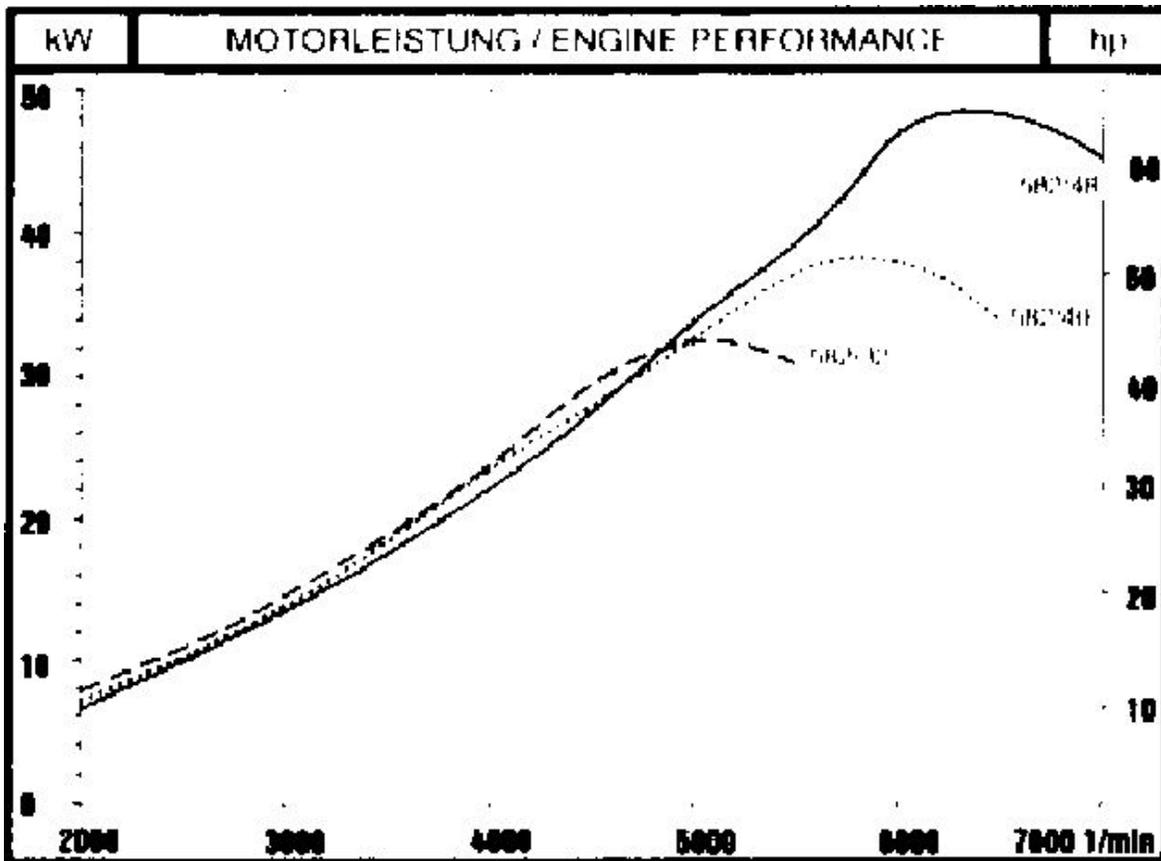
O barco utiliza uma hélice e a propulsão dele é por empuxo também assim o cambio do carro não funciona em barco pelo mesmo motivo que não funciona no avião. E a explicação é a mesma do porque o avião de hélice não funciona com cambio de carro. Alias o cambio só funciona em carro porque a propulsão do carro é feita pelo contato entre o pneu do carro e o solo.

Vamos falar um pouco sobre motores

Todo motor de combustão (gasolina, diesel, álcool) tem uma curva característica de potência e de torque. Ela mostra como a potência e o torque variam com o RPM. As duas curvas atingem um valor máximo em um dado RPM acima deste valor a potência e o torque começam a diminuir. Desta forma, uma boa especificação de motor deve fornecer a potência máxima e o RPM onde ocorre a potência máxima, e o torque máximo e o RPM onde ocorre o torque máximo.

Os valores de RPM onde a potência é máxima e o torque é máximo geralmente não são os mesmos. Para projetar um redutor você deve saber estes valores. A figura a seguir mostra a curva do motor ROTAX 582:

Curva de potência:



Ela representa três motores:

A de cima representa o ROTAX 582 de 64,4 HP

A do meio representa o ROTAX 582 de 53,6 HP

A de baixo representa o ROTAX 582 de 43,6 HP

Repare que as três curvas tem um valor máximo e esse valor máximo ocorre em um dado RPM.

O de 64,4 HP ocorre em 6.500 RPM

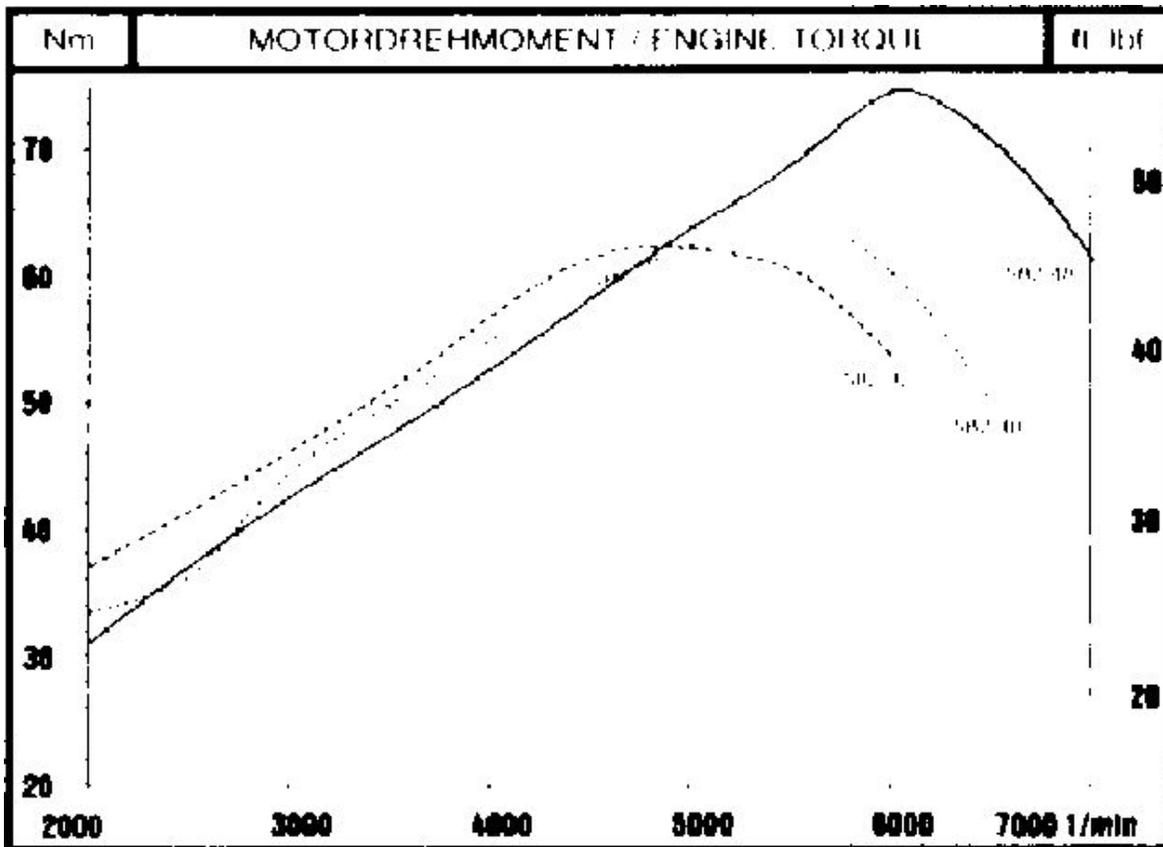
O de 53,6 HP ocorre em 6.000 RPM

O de 43,6 HP ocorre em 5.100 RPM

Se você acelerar acima deste RPM a potência começa a diminuir.
Veja no gráfico.

Vamos ver como fica a curva do torque:

Curva do Torque:



Ela representa três motores:

A de cima representa o ROTAX 582 de 64,4 HP

A do meio representa o ROTAX 582 de 53,6 HP

A de baixo representa o ROTAX 582 de 43,6 HP

Repare que as três curvas tem um valor máximo e que esse valor máximo ocorre em um dado RPM.

Para o de 64,4 HP é 75 N.m a 6.000 RPM

Para o de 53,6 HP é 68 N.m a 5.500 RPM

Para o de 43,6 HP é 63 N.m a 4.700 RPM

Se você acelerar acima deste RPM o torque começa a diminuir.

Veja no gráfico.

Porque estes valores são importantes? Para saber qual motor usar e para calcular de quanto precisa ser o redutor. E também para esclarecer alguns erros comuns que as pessoas cometem. Vamos

pegar como exemplo o ROTAX 582 de 53,6 HP que é o mais utilizado em Trikes.

O fabricante fornece as seguintes especificações:

Potência máxima = 53,6 HP a 6.000 RPM

Torque máximo = 68 N.m a 5.500 RPM

RPM máximo = 6.400 RPM

Vamos ver qual é o torque e qual a potência nestes valores de RPM.

Lembrando da fórmula:

Potência = Torque x Velocidade Angular

$$P = T \cdot W$$

$$\text{Mas } W = 2 \times \pi \times f$$

$$P = T \times 2 \times \pi \times f$$

f é a frequência dada em Hertz

Lembrando que 60 RPM = 1 Hertz

$$\pi = 3,141592654$$

A potência é dada em Watts

$$1 \text{ HP} = 746 \text{ Watts}$$

$$1 \text{ CV} = 735 \text{ Watts}$$

HP é a abreviação Horse Power

CV é a abreviação para Cavalo Vapor

Então nós podemos fazer as contas:

Potência máxima = 53,6 HP a 6.000 RPM

$$P = T \times 2 \times \pi \times f$$

$$53,6 \times 746 = T \times 2 \times \pi \times \frac{6.000}{60}$$

$$T = 63,63 \text{ N.m}$$

Torque máximo = 68 N.m a 5.500 RPM

$$P = 68 \times 2 \times \pi \times \frac{5.500}{60} = 39.165,18 \text{ Watts} = 52,5 \text{ HP}$$

Agora nós podemos complementar a especificação do fabricante:

ROTAX 582

Potência máxima = 53,6 HP a 6.000 RPM, torque = 63,63 N.m

Torque máximo = 68 N.m a 5.500 RPM, potência = 52,50 HP

RPM máximo = 6.400 RPM

Repare que se você fizer o seu motor trabalhar na potência máxima o torque cai para 63,63 N.m, ou seja, diminui 4,37 N.m da força máxima que o motor pode fazer. Se você fizer o seu motor trabalhar no torque máximo você obtém 52,50 HP que é 1,1 HP menor que a potência máxima, ou seja, é a menor diminuição assim é melhor você fazer o motor trabalhar no torque máximo.

Em Trike, por exemplo, para você decolar e pegar altura é melhor o motor trabalhar no torque máximo porque você está fornecendo a máxima força do motor para a hélice, depois que você pegou altura e já atingiu uma velocidade boa o motor pode trabalhar na potência máxima.

Vamos ver as especificações do motor Volkswagen 1600.

Potência máxima = 64,04 HP a 4.600 RPM

Torque máximo = 114,7378 N.m a 3.200 RPM

Vamos ver qual é o torque e qual a potência nestes valores:

Potência máxima = 64,04 HP a 4.600 RPM

$$P = T \times 2 \times \pi \times f$$

$$64,04 \times 746 = T \times 2 \times \pi \times \frac{4.600}{60}$$

$$T = 99,17 \text{ N.m}$$

Torque máximo = 114,7378 N.m a 3.200 RPM

$$P = 114,7378 \times 2 \times \pi \times \frac{3.200}{60} = 38.449 \text{ Watts} = 51,54 \text{ HP}$$

Agora nós podemos complementar as especificações do fabricante:

Volkswagen 1600

Potência máxima = 64,04 HP a 4.600 RPM, torque = 99,17 N.m

Torque máximo = 114,7378 N.m a 3.200 RPM, potência = 51,54 HP

Repare que na potência máxima o torque é 99,17 N.m, ou seja, diminuiu 15,5678 N.m. E no torque máximo a potência é 51,54 HP, ou seja, diminuiu 12,5 HP. Ou seja, no torque máximo a diminuição é menor, assim você deve fazer o motor trabalhar no torque máximo.

Qualquer pessoa que conhece o motor Volkswagen 1600 sabe que não é recomendável que ele fique em 4.600 RPM.

Uma coisa interessante que deve ser mencionado. Existe Trike que utiliza o motor Volkswagen 1600, se você tirar a hélice do motor ele consegue girar acima de 4.000 RPM, se você colocar a hélice no motor ele não passa de 3.200 RPM, porque? Porque quando ele está girando a hélice o motor está fazendo “força” e a máxima “força” do motor ocorre em 3.200 RPM é por isso que o motor não consegue passar disso. É se você colocar uma hélice menor? Neste caso ele passa de 3.200 RPM, porém, não produz o mesmo empuxo e conseqüentemente não atinge a mesma velocidade. **Todo avião tem uma hélice que obtém o melhor rendimento quando o motor está no máximo torque, todas as hélices são projetadas para que isso ocorra.**

Mas ai surge à pergunta: o ROTAX 582, por exemplo, consegue voar com o motor em 6.000 RPM, mas o torque máximo dele ocorre em 5.500 RPM, como se explica isso? É fácil, a Hélice do ROTAX assim como toda Hélice é projetada para trabalhar na faixa de máximo torque, porém quando o Trike está voando ele já tem uma energia cinética que foi obtida com o motor trabalhando em 5.500 RPM, depois que você “embalou” o Trike já é possível você acelerar mais e ganhar mais velocidade, porém se você quiser subir ou voar contra o vento você deve deixar o motor em 5.500 que é onde ele tem mais força.

O que aconteceria se você colocasse uma hélice maior no Volkswagen? Ela vai frear o motor e ele não vai conseguir atingir o RPM de máximo torque. A hélice freando o motor vai fazer ele esquentar. Tente colocar a hélice do ROTAX 582 no Volkswagen 1600 que você vai ver se ele consegue gira-la. O nosso objetivo é fazer o Volkswagen ter “força” para girar a hélice do ROTAX 582.

É importante que você saiba que toda especificação de motor é a especificação do eixo do motor sem o redutor. Vamos colocar o ROTAX 582 e o Volkswagen 1600 lado a lado:

ROTAX 582

Potência máxima = 53,6 HP a 6.000 RPM, torque 63,63 N.m

Torque máximo = 68 N.m a 5.500 RPM, potência 52,50 HP

RPM máximo = 6.400 RPM

Volkswagen 1600

Potência máxima = 64,04 HP a 4.600 RPM, torque 99,17 N.m

Torque máximo = 114,7378 N.m a 3.200 RPM, potência 51,54 HP

Repare que o torque do Volkswagen é 114,7378 N.m e o do ROTAX é 68 N.m, ou seja, o Volkswagen é 1,68 vez mais “forte” que o ROTAX ou 68% mais “forte”. Veja que a potência no Torque máximo é praticamente igual, 52,50 HP para o ROTAX e 51,54 HP para o Volkswagen 1600, uma diferença de 0,96 HP quase nada, isso é bom porque **mostra que os motores são equivalentes**.

Se o Volkswagen 1600 é mais “forte” que o ROTAX 582, porque o Volkswagen 1600 não consegue girar a hélice do ROTAX?

Porque a hélice do ROTAX não é ligada no eixo do motor do ROTAX, ela é ligada na saída do redutor. O redutor já vem embutido no motor do ROTAX. Por exemplo, um redutor de 2,58 para 1.

Vamos ver então qual é o torque e o RPM que o ROTAX fornece para a hélice:

$$\text{Torque} = 68 \times 2,58 = 175,44 \text{ N.m}$$

$$\text{RPM} = \frac{5.500}{2,58} = 2.131,78 \text{ RPM}$$

Você se lembra do motor do Santana que fornecia torque de 170,1 N.m? Ou seja, o motor ROTAX ficou mais “forte” que o motor do Santana.

O Volkswagen fornece 114,7378 N.m

O ROTAX fornece depois do redutor = 175,44 N.m

Ou seja, o ROTAX ficou 1,52 vez mais forte que o Volkswagen 1600, ou ficou 52% mais forte que o Volkswagen 1600. É por isso que o Volkswagen não consegue girar a hélice do ROTAX porque o redutor deixa o ROTAX mais “forte”.

Agora você percebe a “mágica” do motor ROTAX 582. Um motor ROTAX 582 é pequeno e tem dois pistões, sua cilindrada é 580,7. Um motor Volkswagen 1600 tem 1.600 cilindradas e 4 pistões e é bem maior que o motor ROTAX 582.

Um motor do Santana 2000 tem 2.000 cilindradas e 4 pistões e é maior que o motor Volkswagen 1600.

O redutor de 2,58 do ROTAX deixa o motor mais “forte” que o Santana e mais “forte” que o Volkswagen. Se você tirasse o redutor do ROTAX e ligasse a hélice direto no eixo do motor você não iria conseguir girar a hélice do ROTAX, na verdade você não iria girar nem a hélice do Volkswagen 1600. Sem o redutor o ROTAX não consegue nem mover o carrinho do Trike!

O ROTAX 582 tem dois pistões e 580,7 cilindradas. O Volkswagen 1600 tem 4 pistões e 1600 cilindradas. O ROTAX tem potência de 52,49 HP e o Volkswagen tem potência de 51,54 HP. Como isso é possível se o ROTAX é menor que o Volkswagen 1600? A resposta para isso está na fórmula da potência:

$$P = T \cdot \omega = T \times 2 \times \pi \times f$$

O ROTAX tem um torque pequeno 68 N.m, porém, gira a 5.500 RPM.

O Volkswagen tem um torque grande 114,7378 N.m, porém, gira a 3.200 RPM.

Fazendo as contas você percebe que os dois têm praticamente a mesma potência. O torque pequeno do ROTAX é compensado pelo seu alto RPM. O torque alto do Volkswagen é compensado pelo seu baixo RPM.

Eu acredito que o Engenheiro que projetou o ROTAX 582 pensou assim:

Eu quero fazer um motor leve.

Para ser leve o motor tem que ser pequeno.

Para ser pequeno o motor tem que ter poucos pistões, e os pistões têm que ser pequenos.

Se o motor tiver poucos pistões e eles forem pequenos a cilindrada do motor será pequena.

Se o motor tiver cilindrada pequena o motor tem pouca força.

Então para resolver todos estes problemas eu faço um motor pequeno e leve com dois pistões. Mas ele não vai ter força.

Então eu faço ele girar muito rápido e utilizo um redutor para obter a força que eu quero e o RPM que eu quero fornecer para a hélice.

E foi exatamente isso que o fabricante fez!

O nosso objetivo é fazer o Volkswagen ter força para girar a mesma hélice do ROTAX 582 com redutor de 2,58. Como fazer isso?

Lembre das fórmulas do redutor:

Torque de saída = Torque de entrada x (valor do redutor)

Aqui o torque de saída é o torque máximo que o redutor do ROTAX 582 com redução de 2,58 fornece para a hélice. O torque de entrada é o torque máximo que o Volkswagen fornece no eixo do motor dele.

Então:

$$\text{Valor do redutor} = \frac{175,44}{114,7378} = 1,5290$$

Ou seja, se eu construir um redutor de 1,5290 para 1, e ligar a entrada dele no eixo do motor Volkswagen 1600 e a saída dele na hélice eu obtenho o mesmo torque que o redutor do ROTAX 582 fornece para a hélice. Você acha que o valor 1,5290 é pequeno? Isto significa um aumento de 52,90 % de força!

Eu tenho um redutor de 1,5290 ligado no eixo do Volkswagen 1600 qual será o RPM de saída para a Hélice?

Lembrando que o Volkswagen fornece 114,7378 N.m a 3.200 RPM.

Então lembrando da fórmula do redutor:

$$\text{RPM de Saída} = \frac{\text{RPM de entrada}}{\text{Valor de redutor}}$$

Para o nosso caso:

$$\text{RPM de Saída} = \frac{3.200}{1,5290} = 2.092,87 \text{ RPM}$$

Então o ROTAX 582 de 52,49 HP e usando um redutor de 2,58 fornece no máximo para a hélice:

$$\begin{aligned} \text{Torque} &= 175,44 \text{ N.m} \\ \text{RPM} &= 2.131,78 \text{ RPM} \end{aligned}$$

O Volkswagen 1600 com um redutor de 1,5290 fornece no máximo na saída do redutor onde é ligada a hélice:

$$\begin{aligned} \text{Torque} &= 175,44 \text{ N.m} \\ \text{RPM} &= 2.092,87 \text{ RPM} \end{aligned}$$

Repare que tem uma diferença do RPM que o ROTAX 582 fornece para a hélice em relação ao RPM que o Volkswagen fornece para a hélice.

RPM para a Hélice fornecido pelo ROTAX 582 após o redutor:

2.131,78 RPM

RPM fornecido para Hélice na saída do redutor do Volkswagen 1600.

2.092, 87 RPM

Diferença de = 38,91 RPM

Será que isso faz muita diferença?

Se você calcular as relações entre os RPM você poder dizer isso.

$$\text{Relação dos RPM} = \frac{2.131,78}{2.092,87} = 1,01859$$

Isto quer dizer o seguinte, se um Trike com motor ROTAX 582 de 52,49 HP usando um redutor de 2,58 voar a no máximo 90 Km/h.

O mesmo Trike com motor Volkswagen usando um redutor de 1,5290 e girando a mesma hélice que o ROTAX, atinge:

$$\frac{90}{1,01859} = 88,35 \text{ Km/h}$$

Praticamente a mesma velocidade que o ROTAX atinge.

Resumindo:

Um motor Volkswagen 1600 com redutor de 1,5290 gira a mesma hélice que um ROTAX 582 gira e vai atingir praticamente a mesma velocidade não vai ser necessário trocar de hélice e nem “ajustar” a hélice. O motor Volkswagen vai estar trabalhando em 3.200 RPM, que é a melhor faixa de RPM para ele trabalhar.

Este é o princípio básico para trocar um motor por outro e deixar com rendimento igual. É este o princípio que nós vamos usar nos nossos projetos.

VOCÊ SEMPRE DEVE FAZER O CÁLCULO DE REDUÇÃO PELO TORQUE MÁXIMO DO MOTOR. OS MOTORES SÓ SERÃO EQUIVALENTES SE ELES TIVEREM A MESMA POTÊNCIA NA FAIXA DE TORQUE MÁXIMO.

Porque que o redutor funciona?

Porque a hélice é um pedaço de madeira (ou metal) ela não tem inteligência própria ela não sabe que motor esta girando ela. Para a hélice o que importa é torque e RPM, se você fornecer o mesmo torque e o mesmo RPM para ela você pode colocar o motor que você quiser que ela produz o mesmo empuxo. Assim a hélice do ROTAX não sabe que é o ROTAX que está girando ela, se você colocar um Volkswagen 1600 com redutor e fornecer o mesmo torque e o mesmo RPM ela vai produzir o mesmo empuxo do ROTAX e vai atingir a mesma velocidade. Ou seja, o Volkswagen 1600 fica com o mesmo desempenho do ROTAX 582.

Há outro detalhe importante a ser mencionado, em um Volkswagen 1600 sem redutor você liga a hélice direto no eixo do motor, assim a hélice fica empurrando o virabrequim do motor e atrapalhando o movimento do virabrequim. Isso causa perda de potência. Com o redutor a hélice fica empurrando o rolamento do redutor e o virabrequim gira livre obtendo toda a potência do motor.

Alias, nunca é demais lembrar:

O redutor não aumenta a potência do motor, se o motor tinha 50 HP antes. Depois do redutor ele continua com 50 HP, só que o motor tem mais “força” e menos RPM.

Resumindo para você fazer as suas contas:

Obtenha a especificação do motor original que você quer substituir.

Verifique o torque máximo que ele fornece.

Verifique se tem redutor, se tiver calcule quanto de torque e RPM ele fornece para a hélice.

Agora obtenha a especificação do motor que você quer usar.

Verifique o torque máximo do motor.

A redução necessária é dada por:

$$\text{Redução} = \frac{\text{Torque máximo na hélice do motor original}}{\text{Torque máximo do motor que você quer usar}}$$

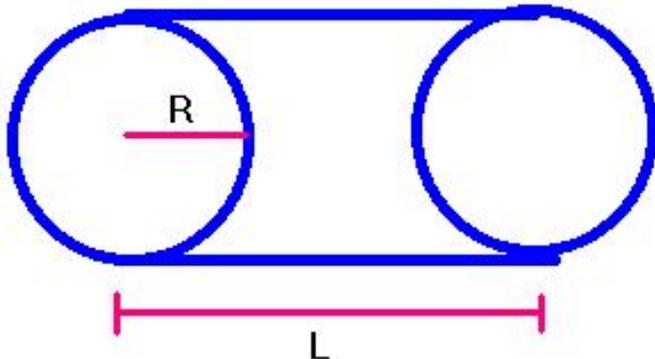
A partir disso siga o exemplo dado aqui, e verifique as compatibilidades. É importante notar que os motores só serão 100% compatíveis se eles tiverem a mesma potência. E que a potência dos dois motores sejam a mesma quando ocorrer o torque máximo.

O motor aeronáutico tem algumas características interessantes: é pequeno, leve, potente e tem um redutor que faz com que ele tenha mais força que o motor automobilístico. Também é caro, a manutenção e as peças são caras, e utiliza uma gasolina cara.

O motor automobilístico tem algumas características em relação ao motor aeronáutico: é grande, pesado, potente, porém como ele não tem redutor ele é mais fraco. Desta forma é necessário fazer um redutor para ele afim de que ele tenha a mesma força que o motor aeronáutico. O motor automobilístico é barato, a manutenção e as peças são baratas, e utiliza uma gasolina comum que é mais barata.

Como calcular a cilindrada de um motor?

Veja a figura abaixo:



Ela representa um cilindro de raio R e comprimento L .
A fórmula para calcular o volume do cilindro é:

$$\text{Volume} = \pi \times R^2 \times L = \pi \times R \times R \times L$$

A cilindrada é dada em centímetros cúbicos, abreviação cm^3 .

O manual do motor costuma fornecer o diâmetro da cabeça do pistão e o percurso do pistão. Em inglês estes termos são chamados de Bore e Stroke respectivamente. Assim você calcula o volume de um só pistão, depois você multiplica este valor pelo número de pistões do motor e você tem a cilindrada do motor.

Vamos ver um exemplo, no manual do motor ROTAX 582 ele fornece os seguintes valores:

Bore	x	Stroke
76 mm		64 mm

Então:

Diâmetro da cabeça do pistão = 76 mm = 7,6 cm, raio = 3,8 cm

Percurso do pistão = 64 mm = 6,4 cm

$$\text{Volume de um só pistão} = \pi \times 3,8 \times 3,8 \times 6,4 = 290,3333 \text{ cm}^3$$

Mas o motor tem dois pistões então:

$$\text{Cilindrada} = 2 \times 290,3333 = 580,6666$$

Abreviando fica 580 cilindradas, eu acredito que o nome 582 signifique 580 cilindradas e 2 pistões.

Vamos ver do Volkswagen 1600.

$$\text{Diâmetro do pistão} = 85,5 \text{ mm}, \text{ raio} = 42,75 \text{ mm} = 4,275 \text{ cm}$$

$$\text{Curso do pistão} = 69 \text{ mm} = 6,9 \text{ cm}$$

$$\text{Volume de um só pistão} = \pi \times 4,275^2 \times 6,9 = 396,1605 \text{ cm}^3$$

Mas o motor tem 4 pistões então:

$$\text{Cilindrada} = 4 \times 396,1605 = 1.584,642$$

Abreviando fica 1.584 cilindradas é por isso que chama se Volkswagen 1600.

Vamos ver a RD 350

Bore x Stroke

64 mm 54 mm

$$\text{Diâmetro da cabeça do pistão} = 64 \text{ mm}, \text{ raio} = 32 \text{ mm} = 3,2 \text{ cm}$$

$$\text{Percurso do pistão} = 54 \text{ mm} = 5,4 \text{ cm}$$

$$\text{Volume de um só pistão} = \pi \times 3,2^2 \times 5,4 = 173,7175 \text{ cm}^3$$

Mas o motor tem dois pistões então:

$$\text{Cilindrada} = 2 \times 173,7175 = 347,435$$

Abreviando fica 347 cilindradas daí vem o nome 350.

Vamos ver o Santana 2000:

Diâmetro da cabeça do pistão = 82,5 mm, raio = 41,25 mm = 4,125 cm

Percurso do pistão = 92,8 mm = 9,28 cm

Volume de um só pistão = $\pi \times 4,125^2 \times 9,28 = 496,0731 \text{ cm}^3$

Mas o motor tem 4 pistões então:

Cilindrada = $4 \times 496,0731 = 1.984,29$

Abreviando fica 1.984 cilindradas daí vem o nome Santana 2000.

Alguns motores fornecem a cilindrada em litros, neste caso é só você converter litros para centímetros cúbicos.

1 litro = 1.000 cm^3

Então quando o manual diz motor 1.8 quer dizer 1.8 litros isso dá 1.800 cilindradas. Motor 2.0 quer dizer 2.000 cilindradas, o motor de Scania tem 12 litros então tem 12.000 cilindradas. Eu não sei porque os fabricantes fornecem a cilindrada em litros ou em centímetros cúbicos talvez tenha alguma razão, mas eu realmente não sei.

[Vamos estudar como envenenar um motor](#)

Vamos analisar uma maneira simples de aumentar a potência do motor sem que o motor corra risco de estragar. A maneira mais simples de fazer isto é aumentar a cilindrada do motor.

Como vimos anteriormente a fórmula para calcular a cilindrada do motor é:

$$\text{Cilindrada} = \text{Número de pistões} \times \pi \times R^2 \times L$$

Onde R é o raio da cabeça dos pistões (Bore) e L é o percurso dos pistões (Stroke).

Analisando a fórmula para o cálculo de cilindrada, podemos concluir que para aumentar a cilindrada do motor temos três maneiras:

Primeira: aumentar o número de pistões. Isto pode ser praticamente impossível já que o motor é um bloco fechado.

Segunda: aumentar o curso dos pistões (representado por L). Isto também não é simples de ser feito porque o braço do pistão é uma peça única e pode não ser simples mudar o comprimento deste braço.

Terceira: aumentar o raio dos pistões (representado por R). Este é o procedimento mais simples porque você pode levar o motor na retífica e pedir que o mecânico aumente o diâmetro das camisas dos pistões de forma que você possa colocar um pistão com um diâmetro maior.

Matematicamente analisando é possível ver que aumentar o raio aumenta mais a cilindrada. Repare na fórmula que o termo que representa o raio está elevado ao quadrado, ou seja:

$$R^2 = R \times R$$

Isto significa que um pequeno aumento no raio já produz um grande aumento na cilindrada. Por exemplo, se for possível dobrar o raio, a cilindrada aumenta quatro vezes!

Para saber o tamanho do raio que nós precisamos para aumentar a cilindrada vamos ter que isolar o R na fórmula da cilindrada, logo:

$$R = \sqrt{\frac{\text{Cilindrada}}{\text{Número de pistões} \times \pi \times L}}$$

Este sinal $\sqrt{\quad}$ significa raiz quadrada, ele está presente em qualquer calculadora. Por exemplo, a raiz quadrada de 4 é 2 porque $2 \times 2 = 4$.

Vamos para um exemplo prático **como aumentar a cilindrada do motor Volkswagen 1600**. Nós já tínhamos as especificações originais do Volkswagen:

Volkswagen 1600:

Diâmetro do pistão = 85,5 mm, raio = 42,75 mm = 4,275 cm

Curso do pistão = 69 mm = 6,9 cm

Volume de um só pistão = $\pi \times 4,275^2 \times 6,9 = 396,1605 \text{ cm}^3$

Mas o motor tem 4 pistões então:

Cilindrada = $4 \times 396,1605 = 1.584,642$

Abreviando fica 1.584 cilindradas.

E com 1.584 cilindradas ele tem estas especificações:

Volkswagen 1600

Potência máxima = 64,04 HP a 4.600 RPM, torque 99,17 N.m

Torque máximo = 114,7378 N.m a 3.200 RPM, potência 51,54 HP

Vamos calcular o raio do pistão para que o motor Volkswagen fique com as novas cilindradas:

1.700 cilindradas (ou motor 1.7)

1.800 cilindradas (ou motor 1.8)

1.900 cilindradas (ou motor 1.9)

2.000 cilindradas (ou motor 2.0)

Volkswagen 1600 passa a ter 1.700 cilindradas (motor 1.7)

Número de pistões = 4

Percurso dos pistões = 6,9 cm

Cilindrada desejada = 1.700

Substituindo na fórmula:

$$R = \sqrt{\frac{1.700}{4 \times \pi \times 6,9}} = 4,4278 \text{ cm} = 44,278 \text{ mm}$$

$$\text{Diâmetro} = 2 \times 44,278 = 88,556 \text{ mm}$$

Cuidado com as unidades, a cilindrada deve estar em centímetro cúbico, o percurso dos pistões deve estar em centímetro.

Vamos comparar com o original do Volkswagen:

Diâmetro do pistão = 85,5 mm, raio = 42,75 mm = 4,275 cm

Repare que o diâmetro aumentou = $88,556 - 85,5 = 3,056 \text{ mm}$

E o raio aumentou = $44,278 - 42,75 = 1,528 \text{ mm}$

Ou seja, não aumentou quase nada! E a cilindrada aumentou 116 unidades, passou de 1.584 e foi para 1.700, um aumento de 7,32%.

Vamos ver como ficou a potência:

Para analisar isto nós devemos fazer uma regra de três para saber a nova potência do motor:

Potência máxima	Cilindrada
64,04 HP	1.584
X	1.700

Logo:

$$X = \frac{1.700 \times 64,04}{1.584} = 68,72 \text{ HP}$$

Um aumento de 7,3% , ou seja, o mesmo aumento que a cilindrada obteve.

Vamos ver como ficou o torque:

Torque máximo	Cilindrada
114,7378 N.m	1.584
X	1.700

Logo:

$$X = \frac{1.700 \times 114,7378}{1.584} = 123,1403 \text{ N.m}$$

Um aumento de 7,32% , ou seja, o mesmo aumento que a cilindrada obteve.

Logo nós podemos concluir que a potência e o torque obtêm o mesmo aumento que a cilindrada obteve. O RPM não muda porque isto é uma característica interna do motor e que não foi mudada. Logo as novas especificações para o motor Volkswagen ficam:

Volkswagen 1700

Potência máxima = 68,72 HP a 4.600 RPM, torque 106,42 N.m

Torque máximo = 123,1403 N.m a 3.200 RPM, potência 55,31 HP

Volkswagen 1600 passa a ter 1.800 cilindradas (motor 1.8)

Número de pistões = 4

Percurso dos pistões = 6,9 cm

Cilindrada desejada = 1.800

Substituindo na fórmula:

$$R = \sqrt{\frac{1.800}{4 \times \pi \times 6,9}} = 4,5562 \text{ cm} = 45,562 \text{ mm}$$

Diâmetro = 2 x 45,562 = 91,124 mm

Vamos comparar com o original do Volkswagen:

Diâmetro do pistão = 85,5 mm, raio = 42,75 mm = 4,275 cm

Repare que o diâmetro aumentou = 91,124 – 85,5 = 5,624 mm

E o raio aumentou = 45,562 – 42,75 = 2,812 mm

Ou seja, não aumentou quase nada! E a cilindrada aumentou 216 unidades, passou de 1.584 e foi para 1.800, um aumento de 13,63%.

Vamos ver como ficou a potência:

Potência máxima = 64,04 HP + 13,63 % = 72,76 HP

Vamos ver como ficou o torque:

Torque máximo = 114,7378 N.m + 13,63% = 130,3765 N.m

Logo as novas especificações do Volkswagen ficam:

Volkswagen 1800

Potência máxima = 72,76 HP a 4.600 RPM, torque 112,6795 N.m
Torque máximo = 130,3765 N.m a 3.200 RPM, potência 58,56 HP

Volkswagen 1600 passa a ter 1.900 cilindradas (motor 1.9)

Número de pistões = 4
Percurso dos pistões = 6,9 cm
Cilindrada desejada = 1.900

Substituindo na fórmula:

$$R = \sqrt{\frac{1.900}{4 \times \pi \times 6,9}} = 4,6810 \text{ cm} = 46,81 \text{ mm}$$

$$\text{Diâmetro} = 2 \times 46,81 = 93,62 \text{ mm}$$

Vamos comparar com o original do Volkswagen:

Diâmetro do pistão = 85,5 mm, raio = 42,75 mm = 4,275 cm

Repare que o diâmetro aumentou = $93,62 - 85,5 = 8,12 \text{ mm}$
E o raio aumentou = $46,81 - 42,75 = 4,06 \text{ mm}$

Ou seja, não aumentou quase nada! E a cilindrada aumentou 316 unidades, passou de 1.584 e foi para 1.900, um aumento de 19,94%.

Vamos ver como ficou a potência:

Potência máxima = 64,04 HP + 19,94% = 76,80 HP

Vamos ver como ficou o torque:

Torque máximo = 114,7378 N.m + 19,94% = 137,6165 N.m

Logo as novas especificações do Volkswagen ficam:

Volkswagen 1900

Potência máxima = 76,80 HP a 4.600 RPM, torque 118,936 N.m

Torque máximo = 137,6165 N.m a 3.200 RPM, potência 61,81HP

Volkswagen 1600 passa a ter 2.000 cilindradas (motor 2.0)

Número de pistões = 4

Percurso dos pistões = 6,9 cm

Cilindrada desejada = 2.000

Substituindo na fórmula:

$$R = \sqrt{\frac{2.000}{4 \times \pi \times 6,9}} = 4,8027 \text{ cm} = 48,027 \text{ mm}$$

Diâmetro = 2 x 48,027 = 96,054 mm

Vamos comparar com o original do Volkswagen:

Diâmetro do pistão = 85,5 mm, raio = 42,75 mm = 4,275 cm

Repare que o diâmetro aumentou = 96,054 – 85,5 = 10,554 mm

E o raio aumentou = 48,027 – 42,75 = 5,277 mm

Ou seja, não aumentou muito! E a cilindrada aumentou 416 unidades, passou de 1.584 e foi para 2.000, um aumento de 26,26%.

Vamos ver como ficou a potência:

Potência máxima = 64,04 HP + 26,26% = 80,85 HP

Vamos ver como ficou o torque:

Torque máximo = 114,7378 N.m + 26,26% = 144,8679 N.m

Logo as novas especificações do Volkswagen ficam:

Volkswagen 2000

Potência máxima = 80,85 HP a 4.600 RPM, torque 125,208 N.m

Torque máximo = 144,8679 N.m a 3.200 RPM, potência 65,07 HP

Uma coisa que é interessante mencionar é o seguinte: mesmo envenenando o Volkswagen 1600 de forma que ele fique com 2.000 cilindradas o motor ainda não obtém o torque que o ROTAX 582 com redução 2,58:1 fornece para a hélice. O ROTAX 582 com redutor de 2,58:1 fornece para a hélice torque de 175,44 N.m e o Volkswagen 2000 fornece para a hélice torque de 144,8679 N.m, uma diferença de 30,5721 N.m, ou seja, o Volkswagen 2000 não consegue girar a mesma hélice que o ROTAX gira!

Envenenando o Volkswagen 1600 de forma que ele fique com 2.000 cilindradas, aumentou o torque e a potência em 26,26%. Como nos vimos um redutor de 1,5290:1 faz com que o Volkswagen tenha o mesmo torque que o ROTAX 582 com redutor de 2,58:1, ou seja, o Volkswagen ganhou 52,9% de torque com o redutor! Novamente ficou evidente que se o seu problema é aumentar a força do motor, envenenar ele não resolve o problema o que resolve o problema é o redutor.

Obviamente, você pode fazer uma combinação de envenenamento de motor e redutor para obter um torque maior ainda e poder utilizar uma hélice maior que a hélice que o ROTAX 582 com redução de 2,58:1 utiliza!

Este tipo de envenenamento de motor que eu mostrei é o mais simples de ser feito e também o que tem menos chance de estragar o motor. Se você mudar o percurso dos pistões você também muda o RPM de torque máximo e da potência máxima, logo você terá que medir experimentalmente em uma oficina o RPM, o torque máximo e a potência máxima antes de fazer qualquer cálculo.

Você também pode fazer várias modificações no motor para aumentar ainda mais a potência do motor e o torque. Entre elas as que obtêm melhores resultados são pela ordem:

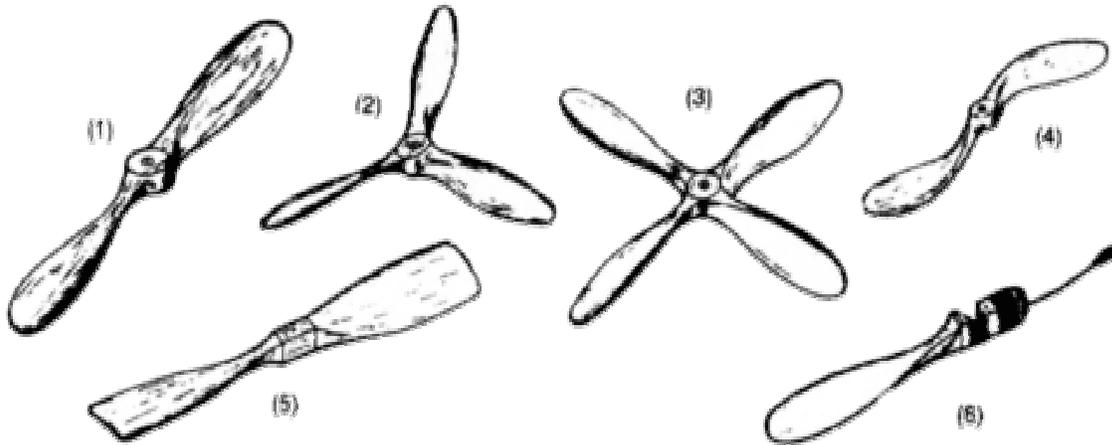
Aumentar o diâmetro do pistão, aumentar o percurso dos pistões, colocar mais um carburador, mudar o combustível, colocar turbo, colocar ignição eletrônica, colocar injeção eletrônica. Depois que você fizer tudo isso talvez seu motor fique com uns 90 HP, então você pode projetar um redutor e substituir o ROTAX 912! Eu já ouvi falar de motor Volkswagen envenenado até de 90 HP logo é possível fazer isto. Nunca é demais lembrar que envenenamento tem que ser feito com cuidado e por pessoa experiente senão estraga o motor. Para uma corrida de automóvel, por exemplo, se o motor estiver envenenado ao máximo e agüentar chegar no final da corrida já obteve o objetivo desejado, alias os motores utilizados para corridas de automóvel são trocados a cada corrida!

Em aviação isto já não é possível porque o motor não deve falhar em pleno vôo! Logo o envenenamento não pode ser tão severo assim! Em barcos vale o mesmo cuidado de aviação senão você pode ficar perdido no meio do mar ou do rio!

Utilize o bom senso para fazer um envenenamento!

Vamos estudar a hélice

Tipos de hélice:



- 1) Este é o modelo de duas pás é o mais utilizado.
- 2) Hélice tripá tem três pás, seria o equivalente a 1 hélice e meia de duas pás.
- 3) Hélice quadripá tem quatro pás, seria o equivalente a 2 hélices de duas pás.
- 4) Hélice denominada cimitarra é considerada muito eficiente. Mais eficiente até que a do tipo 1.
- 5) Hélice tipo remo ou aparada.
- 6) Hélice assimétrica têm só uma pá e é contrabalançada por um peso. Muito rara de ser encontrada.

A hélice pode ser feita de metal, de madeira, de plástico ou algum material especial. Ela está sujeita a grandes forças, por isso precisa ser bem resistente. O empuxo que a hélice gera está relacionado com o tamanho da hélice, com o número de pás, com a largura de cada pá com passo da hélice e com o perfil dela (comum ou cimitarra).

O material que é usado na fabricação da hélice só determina se ela é mais resistente. Quanto maior o peso de uma hélice maior o momento de inércia dela, assim, vai ser mais difícil girar a hélice. É importante notar que toda a força que empurra (ou puxa) um avião vem da hélice, por exemplo, quando um Tucano da esquadrilha da fumaça sobe verticalmente em linha reta, todo peso do avião e mais a força de empuxo está em cima da hélice desta forma ela tem que

ser muito resistente. A ponta da hélice também está sujeita a forças enormes como veremos adiante.

Não é fácil projetar uma hélice. As equações que determinam o empuxo e a velocidade são bem complexas e só podem ser resolvidas com precisão com o uso de computador.

Segundo a minha pesquisa no assunto, as hélices foram inventadas por Leonardo Da Vinci no século 15 (ano 1.400 até 1.500). Porém só depois de 1.870 é que começaram a ser utilizadas em barcos e só no século 20 (ano 1.900 em diante) começaram a serem usadas em avião. Para chegar no perfil de hélice que foi mostrado anteriormente os engenheiros fizeram assim:

Calcularam usando computadores as equações que determinam a velocidade e a pressão do ar nos pontos:

- 1) Antes da hélice
- 2) Na borda de ataque da hélice
- 3) Na borda de fuga da hélice
- 4) Depois da hélice

Em seguida, calcularam como a força se distribui pela superfície da hélice, repare que a hélice não tem a mesma largura em todos os pontos. Eles fizeram todas as contas e acharam o melhor perfil. Depois eles testaram a hélice no túnel de vento para ver se estava boa e a ajustaram para deixar ela com a máxima eficiência possível.

Assim, as hélices atuais são as mais eficientes, as mais resistentes e as mais leves que já foram inventadas.

Isso significa que vários Engenheiros quebraram muito a cabeça por um longo tempo para achar a melhor hélice e a que produz o melhor empuxo. A hélice gira, e como tudo que gira o que importa é o torque e o RPM e é isto que todos os motores fornecem. Você pode ter certeza de uma coisa o fabricante do ROTAX já calculou e testou todo tipo de hélice com os motores dele. Assim

você deve usar a hélice que eles recomendam. Para cada hélice há um valor ótimo de torque e RPM assim cada motor tem um tipo de hélice. No caso do ROTAX que tem uma caixa de redução o tipo de hélice que ele usa é determinado pelo valor da redução. Por exemplo, a caixa B fornece os valores de redução 2 ou 2,24 ou 2,58. Para cada valor desse o torque e o RPM da hélice varia. Isto quer dizer que para cada valor deste há um tipo de hélice que produz o melhor rendimento.

Se você colocar a hélice indicada para a redução de 2,58 num motor que está usando redução 2 é certeza que você não tem o mesmo rendimento porque você não vai ter força suficiente. Se você colocar uma hélice indicada para a redução 2 num motor que está usando redução 2,58 você também não tem o mesmo rendimento porque apesar de você ter força não tem RPM suficiente. Isto é importante porque nosso projeto visa fazer o Volkswagen 1600 usar a hélice do ROTAX 582, então você deve ter certeza que o ROTAX que você quer substituir está usando a hélice adequada para a redução que ele está utilizando.

Como eu já disse anteriormente a hélice é um pedaço de metal (ou madeira). Ela não tem inteligência própria, ela não sabe que motor está girando ela. O que é fornecido no eixo da hélice é torque e RPM. Baseado nisso a hélice gira e produz empuxo, ou seja, força para empurrar o Trike ou Ultraleve. Se você fornecer o mesmo torque e o mesmo RPM que o motor ROTAX fornece você gira a mesma hélice que ele e atinge a mesma velocidade, eu mostrei como fazer isso usando um Volkswagen 1600. Se você fornecer o mesmo torque, mas um RPM menor você gira a mesma hélice só que atinge uma velocidade menor, mais adiante veremos um exemplo disso. Se você fornecer um torque maior você vai girar a hélice mas não vai aproveitar esse torque extra porque a hélice foi projetada para obter um maior rendimento num dado torque se você fornecer maior não há vantagem nenhuma. Se você fornecer um torque menor você não consegue girar a hélice. Acho que você agora percebeu porque a redução tem que ser calculada com precisão nem a mais nem a menos. Senão você vai ter que quebrar a cabeça ajustando hélice.

O nosso objetivo em aviação é fazer um motor automobilístico (de carro ou de moto) girar a mesma hélice de um motor aeronáutico, no caso o ROTAX.

O nosso objetivo em barco e lanchas é fazer um motor automobilístico (de carro ou de moto) girar a mesma hélice que um motor náutico, no caso os motores de popa de lancha.

As vantagens disso são econômicas já que os motores aeronáuticos e os motores de popa geralmente são mais caros que o motor automobilístico. Os motores aeronáuticos e náuticos têm a manutenção mais cara, as peças mais caras, e geralmente utilizam gasolina especial que também é mais cara.

Uma coisa importante que eu já mostrei é que um motor só substitui o outro se eles forem compatíveis, ou seja, tiverem a mesma potência, e o ideal é que eles tenham a mesma potência na faixa de torque máximo.

Não dá para fazer milagres com redutor. Você usando um Volkswagen 1600 consegue girar a mesma hélice que um ROTAX 912, porém, não atinge a mesma velocidade logo os motores não são compatíveis. E também não adianta tentar quebrar a cabeça tentando ajustar a hélice cortando pedaços dela, vou mostrar o porque. Lembrando as fórmulas da potência:

Potência de rotação = Torque x Velocidade Angular
 $P = T.W$

Potência de movimento = Força x Velocidade Escalar
 $P = F.V$

O ROTAX 912 fornece potência de rotação para a hélice, dado por:
 $P = T.W$

A hélice gira e produz força e velocidade para movimentar o avião. Então a potência de movimento do avião é:
 $P = F.V$

Pela conservação de energia:

$$T.W = F.V$$

Então o torque produz força para movimentar o avião, e o RPM (W), produz velocidade para movimentar o avião.

Agora vamos ver as especificações:

ROTAX 912

Potência máxima = 95 HP a 5.500 RPM, torque 123,04 N.m

Torque máximo = 128 N.m a 5.100 RPM, potência 91,63 HP

Redutor integrado dentro do motor = 2,43

Cilindrada = 1.352

Então o ROTAX 912 fornece no máximo para a hélice do avião:

$$\text{Torque} = 128 \times 2,43 = 311,04 \text{ N.m}$$

$$\text{RPM} = \frac{5.100}{2,43} = 2.098,76 \text{ RPM}$$

Você acha que esse torque é pequeno? O Motor do Galaxie 272 de 4.464 cilindradas e 8 cilindros e 164 HP fornece torque máximo de 323,6194 N.m, ou seja, o ROTAX 912 tem quase a mesma força de um motor V8 graças ao redutor que vem dentro do motor!

Lembrando da fórmula:

$$T.W = F.V$$

A hélice com torque de 311,04 N.m e RPM de 2.098,76 RPM tem potência de rotação de 91,63 HP

$$\text{Então, } P = T.W = 91,63 \text{ HP} = F.V$$

Agora vamos supor que o avião com esse RPM e com esse torque atinge 200 km/h = 55,55 m/s.

Então:

$$91,63 \times 746 = F \cdot 55,55$$

$$F = 1.230,53 \text{ N}$$

É a força que está impulsionando o avião.

Agora vamos ver o motor Volkswagen 1600

Volkswagen 1600

Potência máxima = 64,04 HP a 4.600 RPM, torque 99,17 N.m

Torque máximo = 114,7378 N.m a 3.200 RPM, potência 51,54 HP

Cilindrada = 1.600

Repare que o Volkswagen 1600 tem quase a mesma “força” que o ROTAX 912, 128 N.m do ROTAX 912 contra 114,7378 N.m do Volkswagen 1600, diferença de 13,2622 N.m.

Mas o ROTAX 912 tem um redutor dentro do motor de 2,43 logo ele fornece para a hélice:

$$\text{Torque} = 128 \times 2,43 = 311,04 \text{ N.m}$$

Para o Volkswagen girar a mesma hélice é preciso que ele forneça a mesma “força” (torque). Então ele deve ter um redutor. Mas de quanto?

Lembrando da fórmula do redutor:

$$\text{Torque de saída} = \text{Torque de entrada} \times \text{Redutor}$$

$$\text{Redutor} = \frac{\text{Torque de saída}}{\text{Torque de entrada}}$$

Aqui o torque de saída é quanto o ROTAX 912 fornece para a hélice. E o torque de entrada é quanto o Volkswagen fornece no eixo do motor. Assim:

$$\text{Redutor} = \frac{311,04}{114,7378} = 2,7108$$

Logo o Volkswagen usando um redutor de 2,7108 fornece o mesmo torque para a hélice que um ROTAX 912, vamos ver como fica o RPM.

Lembrando da fórmula do redutor:

$$\text{RPM de saída} = \frac{\text{RPM de entrada}}{\text{redutor}}$$

O Volkswagen fornece o torque de 114,7378 N.m a 3.200 RPM, então depois que passar pelo redutor vamos ver quanto é fornecido para a hélice:

$$\text{RPM de saída} = \frac{3.200}{2,7108} = 1.180,46 \text{ RPM}$$

Lembre que o ROTAX 912 fornecia 2.098,76 RPM para a hélice, logo o avião não vai ter a mesma velocidade. Mas vamos ver qual é a velocidade do avião.

Lembrando que o ROTAX 912 fornece para a hélice:

$$\text{Torque} = 128 \times 2,43 = 311,04 \text{ N.m}$$

$$\text{RPM} = 2.098,76 \text{ RPM}$$

$$\text{Potência} = 91,63 \text{ HP}$$

E com o avião a 200 Km/h a força é 1.230,53 N, mesmo contra o vento, ou na subida, porque é o máximo que o motor fornece.

Então o Volkswagen com redutor de 2,7108 fornece para a hélice:

Torque = 311,04 N.m

RPM = 1.180,46 RPM

Potência = 51,54 HP

Repare que o torque é o mesmo logo tem a mesma força, o que muda é o RPM e a potência.

Então lembrando da fórmula:

$$T.W = F.V$$

Se tiver o mesmo torque tem a mesma força. Agora vamos ver a velocidade.

$$51,54 \times 746 = 1.230,53 \times V$$

$$V = 31,24 \text{ m/s} = 112 \text{ Km/h}$$

Lembre-se que nós supomos que o ROTAX 912 fazia o avião chegar a 200 km/h mesmo na subida ou contra o vento, se ele atingir menos é só pegar a velocidade dele e fazer as contas.

Então o Volkswagen 1600 girando a 3.200 RPM e com redutor de 2,7108 atinge 112 Km/h nas mesmas condições, ou seja, na subida ou contra o vento. Isto porque os dois motores fornecem a mesma força para a hélice. Agora porque o RPM não ficou igual? A resposta está na potência o ROTAX 912 fornece 91,63 HP para a hélice, o Volkswagen 1600 fornece 51,54 HP para a hélice, não tem como atingir a mesma velocidade nem adianta tentar ajustar a hélice ou trocar de hélice que você vai perder seu tempo.

Tem uma outra maneira mais fácil de saber a velocidade que o avião vai atingir. É só verificar a razão entre o RPM fornecido por cada motor. Vamos ver:

O ROTAX 912 fornece 2.098,76 RPM para a hélice.

O Volkswagen 1600 com redutor de 2,7108 fornece 1.180,46 RPM para a hélice.

$$\text{A razão é } \frac{2.098,76}{1.180,46} = 1,7779$$

Isto quer dizer que a velocidade do Volkswagen vai ser 1,7779 vez menor que o ROTAX 912. Como nos supomos que o ROTAX leva o avião a 200 Km/h mesmo contra o vento e na subida então o Volkswagen 1600 leva o mesmo avião e nas mesma condições na velocidade de $\frac{200}{1,7779} = 112$ km/h, que é a mesma velocidade que nós tínhamos chegado calculando pela fórmula da potência.

Se você acha que a substituição vale a pena então faça. Esta vai ser a velocidade máxima do avião se ela estiver muito próximo da velocidade de “estola” (stall) é perigoso fazer a substituição, por outro lado se a velocidade de stall for 70 km/h, você pode voar sossegado.

Não adianta você tentar ajustar a hélice ou trocar de hélice que você não vai atingir a mesma velocidade que o ROTAX atinge porque os motores não são compatíveis, ou seja, não tem a mesma potência. Isto também pode ser visto na fórmula de potência do avião, $P = F.V$, apesar da redução fornecer a você a mesma força ela não fornece a mesma velocidade, resumindo você precisa de um motor mais potente para fazer esta substituição. Mais adiante nós veremos um motor que se encaixa perfeitamente.

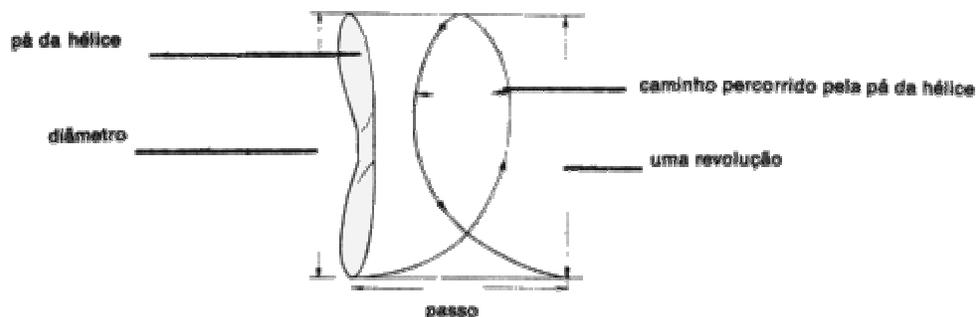
Nem sempre uma diferença de velocidade é tão ruim assim. Imagine que o nosso ROTAX 912 estivesse em um barco e esse barco mesmo contra a correnteza carrega 2 toneladas a 70 Km/h.

Então o Volkswagen 1600 com a redução de 2,7108 no mesmo barco e contra a mesma correnteza carrega 2 toneladas e gira e mesma hélice, porém a 39,37 km/h. Como na água não há velocidade de Stall você pode fazer a substituição sem problema porque o seu objetivo é força é carregar peso, a velocidade não é tão importante.

Se o seu objetivo é movimentar o barco com a mesma velocidade então você precisa de outro motor que seja compatível com o ROTAX 912.

Vamos ver o passo da hélice:

Repare a figura abaixo:



Ela representa uma hélice se deslocando para frente, repare que quando ela der uma volta completa ela avançou uma distância chamada passo. O passo da hélice pode ser entendido como a distância que ela avança a cada rotação, o passo é determinado pelo ângulo de torção da hélice, repare que uma hélice parece um pedaço de metal que foi torcido, o ângulo desta torção é o passo da hélice. Quanto maior a torção da hélice maior o passo e quanto menor a torção menor o passo.

Ao contrário do que muita gente pensa o passo da hélice também determina a quantidade de empuxo que a hélice produz, ou seja, o passo da hélice não determina apenas o quanto o avião avança, determina também a quantidade de empuxo que ela gera e conseqüentemente a força que impulsiona o avião.

O passo de hélice tem um limite ele tem que estar dentro de uma faixa, ou seja, um valor mínimo e um valor máximo. Se estiver abaixo do mínimo não produz força suficiente e se estiver acima do máximo além de não produzir força suficiente ainda atrapalha o movimento. Se a hélice está dentro do limite de passo permitido e você quer aumentar mais a força que a hélice produz você deve fazer o seguinte:

Primeiro e mais eficiente, colocar uma hélice maior. Ou, em segundo lugar colocar mais uma pá na hélice. Ou em terceiro lugar colocar uma hélice de pá mais larga. Ou em quarto lugar aumentar o RPM do motor.

Todos têm sua vantagem e desvantagem, uma hélice maior também é mais pesada e por isso tem um momento de inércia maior logo é mais difícil girar ela. O mesmo vale para o caso de você colocar mais uma pá e para o caso de colocar uma hélice com pá mais larga.

No caso de aumentar o RPM do motor isso pode não ser possível, porque o motor já está no máximo, então você teria que trocar de motor.

Você pode também fazer uma combinação das quatro alternativas: colocar uma hélice maior, colocar mais uma pá na hélice, colocar uma hélice de pá mais larga e aumentar o RPM do motor, obviamente você teria que calcular o valor ótimo para todos os casos.

O que fazer então? Você deve usar a hélice que o fabricante recomenda. Cada tipo de avião tem um tipo de hélice vá num aeroporto que você vê isso claramente. O fabricante já sabe qual hélice gera o máximo de rendimento, ou seja, já sabe quantas pás deve ter, a largura de cada pá, o comprimento de cada pá e o passo da hélice. Cada hélice é projetada para um motor, e cada motor é projetado para um tipo de avião, **e todo motor fornece apenas torque e RPM, a hélice converte este torque em força para impulsionar o avião e converte o RPM em velocidade para mover o avião.**

O que importa para a hélice é o torque e o RPM e é apenas isso que todos os motores fornecem. Se você fornecer o mesmo torque e

o mesmo RPM você pode trocar o motor sem problema. É por isso que você deve ter em mente que quando você fizer um redutor para substituir um motor **você deve usar uma hélice que já existe**, no caso a hélice que o fabricante recomenda para o motor que você quer substituir. Por que isso?

Porque o fabricante do avião ou do motor já projetou, testou e ajustou a hélice para você, ou seja, a hélice que ele recomenda é a que produz maior rendimento para o motor dele, portanto, **não reinvente a roda e não quebre a cabeça tentando ajustar hélice cortando pedaços** dela que além de você correr o risco de deixar ela desbalanceada ainda pode não ficar do jeito que você queria e você perdeu seu tempo e dinheiro e no caso a hélice também, **se os motores não são compatíveis não há nada que você possa fazer procure outro motor que seja compatível**. Veja o exemplo que eu dei anteriormente de substituir o ROTAX 912 pelo Volkswagen 1600. Apesar do Volkswagen 1600 **conseguir girar a mesma hélice ele não atinge a mesma velocidade independente da hélice que você colocar nele**, porque os motores são incompatíveis eles não têm a mesma potência.

As equações que definem a hélice são muito complexas e dificilmente você vai conseguir acertar a hélice cortando pedaços dela. Não compensa você pegar uma hélice indicada para um motor mais potente e ajustar ela para um motor menos potente, compensa você procurar um motor que seja compatível, se eles tiverem a mesma potência a chance de eles serem compatíveis é grande.

Vamos supor que você tem duas hélices feitas do mesmo material (metal ou madeira), com o mesmo comprimento, com a mesma largura de pá, com o mesmo número de pá, e com o mesmo perfil (comum ou cimitarra), só que elas tem o passo diferente uma tem passo pequeno e a outra tem o passo grande. Qual delas escolher? A resposta é depende de qual situação você achar melhor a decolagem curta ou a velocidade de cruzeiro mais rápida.

A hélice de passo pequeno é melhor para decolagem porque ela faz o avião avançar menos antes de decolar, ou seja, percorrer uma distância curta, isso é importante em pistas curtas, obviamente

se o avião avança menos é preciso acelerar mais o motor para compensar o passo pequeno da hélice que está gerando pouco empuxo. Para o cruzeiro a velocidade será menor porque o avião está avançando menos, o motor estará numa rotação mais alta para compensar o empuxo menor gerado pela hélice de passo pequeno.

A hélice de passo grande é melhor para velocidade de cruzeiro, porque o avião avança mais a cada giro da hélice, ou seja, corre mais. Para a decolagem ela é ruim porque o avião percorre uma distância maior para decolar em compensação o motor está numa rotação mais baixa porque a hélice está gerando mais empuxo. Para cruzeiro é bom porque o avião avança mais, logo atinge uma velocidade maior, e o motor estará numa rotação mais baixa porque a hélice estará gerando um empuxo maior.

Existe avião que tem a **hélice de passo variável**, ou seja, o piloto ajusta o passo da hélice com ela em movimento através de uma alavanca dentro do avião. Isso pode ser entendido como o cambio do avião onde para cada situação o piloto ajusta o melhor passo para a hélice, em outras palavras “troca de marcha”.

Na decolagem para o avião percorrer uma distância curta o piloto coloca um passo baixo e acelera mais o avião para compensar o empuxo pequeno gerado pela hélice. Depois que o avião decolou o piloto coloca um passo intermediário, e que é maior que o passo de decolagem, para o avião subir melhor e com mais velocidade e também o piloto reduz o RPM do motor porque a hélice está gerando mais empuxo. Depois que o avião atingiu altura de cruzeiro o piloto coloca um passo grande para o avião correr mais e também pode reduzir mais o RPM porque a hélice está produzindo um empuxo maior. Na velocidade de cruzeiro é bom que o RPM do motor seja menor porque economiza combustível, e não força o motor.

Repare que a mudança do passo da hélice é muito parecida com o que você faz quando troca de marchas no carro.

Há também hélices que além de poder variar o passo também conseguem reverter à hélice para frear o avião depois que ele pousou. Ou seja, a hélice passa a empurrar o avião para a trás. Em

alguns aviões a alavanca para mudar o passo da hélice é junto com a alavanca de potência (acelerador) e o passo muda conforme acelera o avião, o Tucano, por exemplo, é assim o Electra também.

Há também a **hélice de passo ajustável** que você muda o passo dela quando ela está parada, é diferente da hélice de passo variável que você muda o passo dela com ela em movimento. Este tipo de hélice é ótimo para você testar qual é a melhor configuração para o seu aparelho depois que você envenenou o motor e colocou um redutor.

As hélices são dadas em medidas do tipo:

66 x 41

Isto quer dizer que o comprimento dela é 66 polegadas e o passo é 41.

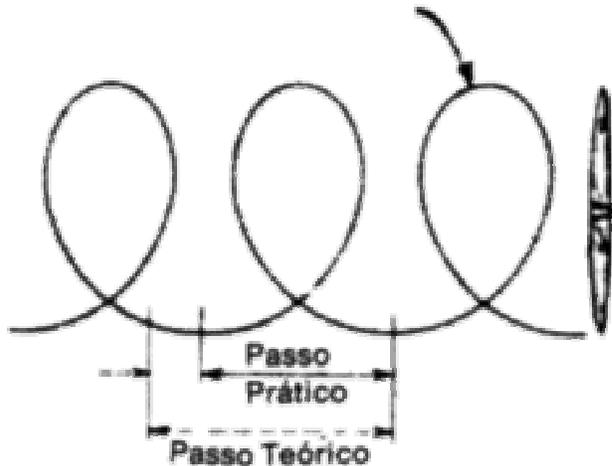
1 polegada = 0,0254 metros

Então:

66 polegadas é 1,6764 metros, ou 167,64 centímetros.

A hélice tem 1,6764 m de comprimento e passo 41.

Quando o avião está voando existe a resistência do ar, então ele não avança o mesmo valor que o passo, ele avança um valor chamado de passo prático veja a figura a seguir:



Ele deveria avançar a distância chamada de passo teórico, mas como existe a resistência do ar ele avança uma distância menor, chamada passo prático.

Nós vimos que o ROTAX 582 com redução de 2,58 fornece para a hélice 2.131,78 RPM, será que esse valor é pouco? Vamos comparar com aeronaves famosas:

O Electra gira a hélice dele em 1.300 RPM, mas repare no tamanho e na largura da hélice dele, além de ser quadripá.

O Sêneca na subida está em 2.500 RPM, em cruzeiro está em 2.300 RPM. O que mostra que o piloto diminuiu o RPM porque aumentou o passo da hélice.

O Cessna Skylane sobe em 2.450 RPM e em cruzeiro ele está em 2.350 RPM.

O helicóptero Esquilo 350 gira a hélice do rotor em 386 RPM. Este helicóptero é aquele que a polícia militar utiliza, carrega 6 pessoas e atinge mais de 200 Km/h!

Isso prova que cada hélice tem um melhor rendimento em um dado RPM!

Qual seria a força na ponta de uma hélice?

Quando uma hélice está girando a ponta da hélice descreve a trajetória de uma circunferência para que a ponta da hélice continue a fazer a trajetória de uma circunferência é necessária uma força que mantenha ela na trajetória. Esta força é chamada de força centrípeta.

Há também a tendência da ponta da hélice quebrar e seguir tangente a trajetória é como se tivesse uma força puxando a ponta da hélice para fora. Essa força é chamada de força centrífuga.

Enquanto a hélice não quebrar a força centrípeta é igual à força centrífuga. Na verdade a força centrípeta e a força centrífuga são a mesma força, depende do referencial que você observa. Para um observador de fora da hélice a força que ele vê é a força centrípeta porque ele vê que a ponta da hélice está mudando a sua posição em cada instante e que esta força puxa a ponta da hélice para dentro. Para um observador dentro da hélice ele vê que a tendência é a ponta da hélice sair pela tangente, ou seja, tem uma força puxando a ponta da hélice para fora.

Este fenômeno é percebido também quando você faz uma curva fechada com um carro (ou avião) em alta velocidade, você percebe que você tende a ser jogado para fora do carro, ou seja, a força está puxando você para fora do carro, você percebe a força centrífuga. Já para uma pessoa que observa de fora do carro vê que você conseguiu fazer a curva logo uma força puxou você para dentro da curva, esta pessoa viu a força centrípeta. É só uma questão de referencial.

A força na ponta de uma hélice é dada pela fórmula:

$$F = m \times W^2 \times R$$

Ou,

$$F = m \times \frac{V^2}{R}$$

Onde m é a massa de uma pá da hélice em Kg.

W é a velocidade angular (RPM)

V é a velocidade escalar

R é o raio da hélice.

Para nós interessa a fórmula que aparece o RPM:

$$F = m \times W^2 \times R$$

$$\text{Mas } W = 2 \times \pi \times f$$

Então substituindo em F :

$$F = m \times (2 \times \pi \times f)^2 \times R$$

$$F = m \times 4 \times \pi^2 \times f^2 \times R$$

Lembrando que $f^2 = f \times f$

f é a frequência em Hertz (60 RPM = 1 Hertz).

R é o raio da hélice em metros.

m é a massa de apenas uma pá da hélice em Kg.

Esta fórmula pode ser usada para achar a força em qualquer ponto da hélice é só você fazer R igual à distância que você quer medir.

Vamos ver um exemplo, um ROTAX 582 com caixa de redução de 2,58 gira uma hélice de 66 x 41.

Lembrando que 1 polegada = 0,0254 metro

Comprimento dela = 1,6764 m , raio 0,8382 m

Ela gira a 2.131,78 RPM = 35,52 Hertz

A hélice inteira pesa mais ou menos 3 Kg, uma só pá pesa então 1,5 Kg.

Para facilitar nossos cálculos nós estamos admitindo que toda a massa de uma pá da hélice se concentra na ponta da hélice. Se nós não fizermos essa suposição teríamos que usar conceitos que só são aprendidos na Universidade (cálculo diferencial) o que está fora do escopo deste texto. Na prática se usarmos o cálculo diferencial o resultado não seria muito diferente porque teríamos que somar (integrar) a força desde o centro da hélice até a ponta da hélice, ou seja, somar a força que cada pedacinho da hélice está sujeito desde o centro da hélice até a ponta da hélice, logo a aproximação que nós estamos usando é boa. Assim:

$$F = 1,5 \times 4 \times \pi^2 \times (35,52)^2 \times 0,8382 = 62.624,54 \text{ N}$$

Esta é a força necessária para erguer um corpo de 6.390,25 Kg, isso mesmo 6 toneladas. É como se você pendurasse 6 toneladas na ponta da hélice.

Porque então o avião não é deslocado para o lado se a força na ponta da hélice é tão grande? É que a outra pá esta sujeita a mesma força em sentido contrário, ou seja, uma anula a outra, desta forma o avião não é puxado para o lado. Porém as duas forças são transmitidas para o centro da hélice cada uma puxa para um lado então para o centro da hélice é como se a força fosse o dobro, repare que o centro da hélice é bem grande e grosso por esse motivo.

Para o caso do ROTAX a força no centro da hélice é equivalente a 12 toneladas, 6 toneladas puxando para cada lado. Se a hélice fosse tripá ou quadripá a força no centro da hélice seria equivalente a 18 toneladas e 24 toneladas respectivamente. Se a hélice fosse de metal a força seria maior ainda porque a massa dela é maior, ou seja, ela pesa mais.

É possível analisar agora porque a hélice deve ser balanceada, ou seja, ter a mesma massa em cada pá, cada pá deve ter o mesmo peso para que uma força anule a outra! E também as pás devem estar

em posições opostas uma da outra para que as componentes de força se anulem!

Vamos imaginar que uma pessoa ajustou a hélice para ficar “melhor”, uma pá ficou com 1,5 Kg e a outra 100 gramas mais leve o que seria praticamente imperceptível. Então para o caso da pá que tem 1,5 Kg nós calculamos a força e vimos que deu 62.624,54 N, agora vamos calcular a força para a pá que tem 100 gramas menos, ou seja, tem $1.500\text{g} - 100\text{g} = 1.400\text{g} = 1,4\text{ Kg}$. Então seguindo o procedimento anterior nós temos que a força é:

$$F = 1,4 \times 4 \times \pi^2 \times (35,52)^2 \times 0,8382 = 58.449,57\text{ N}$$

Repare que a força é menor em 4.174,97 N o que equivale a erguer um corpo de 426,01 Kg, ou seja, é uma força grande. Como as forças são diferentes a pá mais pesada vai ficar puxando a mais leve e como elas estão girando a cada segundo cada pá está numa posição diferente isso gera uma vibração que danifica toda a estrutura onde a hélice está presa e conseqüentemente a própria hélice.

Você pode imaginar que 100 gramas de diferença de peso é possível perceber, então vamos calcular para o mínimo de peso que o ser humano consegue perceber na mão que é 10 gramas e ver quanto é a força na ponta de uma hélice que tem uma pá que é 10 gramas mais leve, ou seja, tem $1.500\text{g} - 10\text{g} = 1.490\text{g} = 1,49\text{ Kg}$. Calculando a força temos:

$$F = 1,49 \times 4 \times \pi^2 \times (35,52)^2 \times 0,8382 = 62.207,04\text{ N}$$

A pá de 1,5 Kg tinha força de 62.624,54 N a diferença é de 417,5 N que equivale a erguer um corpo de 42,6 Kg, ou seja, é uma força pequena mas é suficiente para causar vibração e com o tempo danificar o suporte da hélice e toda a estrutura onde ela está presa.

Outro detalhe interessante imagine que você balanceou a hélice e ela ficou com 1 grama de diferença o que é muito difícil de

acontecer. Ou então você pintou a ponta da hélice e numa ponta você colocou mais tinta que na outra ponta, ou seja, um lado tem 1 grama a mais de tinta do que a outra. Então uma pá tem 1,5 Kg e a outra vai ter $1.500 - 1 = 1,499$ Kg, vamos calcular a força:

$$F = 1,499 \times 4 \times \pi^2 \times (35,52)^2 \times 0,8382 = 62.582,79 \text{ N}$$

A pá de 1,5 Kg tinha força de 62.624,54 N a diferença é de 41,75 N que equivale a erguer um corpo de 4,26 Kg, ou seja, a força é pequena mas suficiente para causar vibração que vai estragar o suporte da hélice e toda a estrutura com o tempo. Assim, você pode perceber o seguinte:

Não faça ajuste de hélice cortando ou lixando pedaços dela que você não vai conseguir balancear ela com 100% de acerto. Use a hélice indicada pelo fabricante. No caso de querer pintar a ponta da hélice faça o possível para que os dois lados recebam a mesma quantidade de tinta.

Nós vimos que a força na ponta da hélice do ROTAX é 62.624,54 N. Será que essa força é muito grande, vamos ver qual é a força na ponta da hélice do rotor do helicóptero Esquilo 350 que transporta 6 pessoas e é utilizado pela policia militar.

Raio da hélice = 5,345 m

RPM = 386 RPM = 6,43 Hertz

Peso de uma só pá = mais ou menos 10 Kg (talvez seja mais).

Então:

$$F = 10 \times 4 \times \pi^2 \times (6,43)^2 \times 5,345 = 87.242,75 \text{ N}$$

Esta é a força necessária para erguer um corpo de 8.902,32 Kg, isso mesmo 8,9 toneladas. É como se você pendurasse 8,9 toneladas

na ponta da hélice dele. Repare que a força é 1,39 vez superior a que a hélice do ROTAX está submetida.

É aqui que você vê porque a hélice do helicóptero gira devagar, repare que na formula o termo da frequência é $f^2 = f \times f$, ou seja, se você dobrar o RPM a força é multiplicada por quatro, se você triplicar o RPM a força é multiplicada por nove. No caso se o rotor do helicóptero girasse a 772 RPM, a força na ponta da hélice seria o equivalente a 35,6 toneladas, se o rotor girasse em 1.158 RPM a força na ponta da hélice seria o equivalente a 80,1 toneladas!

Qual seria a força na ponta da hélice do helicóptero se ele girasse o rotor no mesmo RPM do ROTAX 582, ou seja, a 2.131,78 RPM?

$$2.131,78 \text{ RPM} = 35,52 \text{ Hertz}$$

$$F = 10 \times 4 \times \pi^2 \times (35,52)^2 \times 5,345 = 2.662.277,737 \text{ N}$$

Esta força equivale a erguer um corpo de 271.660,99 Kg ou 271 toneladas, ou seja, mais ou menos 6 Scania carregadas, é obvio que a pá não iria agüentar. **Desta forma, você nota que não pode aumentar indefinidamente o RPM da hélice de um avião há um limite senão ela quebra.**

Vamos ver a força na ponta da hélice do Volkswagen 1600. Eu já vi três tamanhos de hélice para Volkswagen 1600:

$$56,69 \text{ polegadas} = 1,44 \text{ m, raio} = 0,72 \text{ m.}$$

$$60 \text{ polegadas} = 1,524 \text{ m, raio} = 0,762 \text{ m.}$$

$$62 \text{ polegadas} = 1,5748 \text{ m, raio} = 0,7874 \text{ m.}$$

Todas deveriam girar em 3.200 RPM que é onde o Volkswagen fornece a máxima força, mas elas estão ligadas no eixo virabrequim do motor assim a hélice está atrapalhando o giro do

motor, então vamos admitir que elas girem no máximo a 3.000 RPM esta situação ocorre na maioria dos casos. E que todas as hélices tenham 3 Kg, assim cada pá tem 1,5 Kg.

$$3.000 \text{ RPM} = 50 \text{ Hertz}$$

Para a de 0,72 m de raio:

$$F = 1,5 \times 4 \times \pi^2 \times 50^2 \times 0,72 = 106.591,72 \text{ N}$$

Força necessária para erguer um corpo de 10.876,7 Kg isto mesmo 10,8 toneladas, é como se você pendurasse 10,8 toneladas na ponta da hélice.

Para a de 0,762 m de raio:

$$F = 1,5 \times 4 \times \pi^2 \times 50^2 \times 0,762 = 112.809,57 \text{ N}$$

Força necessária para erguer um corpo de 11.511,18 Kg isto mesmo 11,5 toneladas, é como se você pendurasse 11,5 toneladas na ponta da hélice.

Para a de 0,7874 m de raio:

$$F = 1,5 \times 4 \times \pi^2 \times 50^2 \times 0,7874 = 116.569,89 \text{ N}$$

Força necessária para erguer um corpo de 11.894,88 Kg isto mesmo 11,8 toneladas, é como se você pendurasse 11,8 toneladas na ponta da hélice.

Repare que a hélice do ROTAX tem que suportar 62.624,54 N ou 6 toneladas na ponta da hélice que é bem menos que a hélice do Volkswagen que tem que suportar no mínimo 10,8 toneladas na ponta da hélice, isso significa que a hélice do Volkswagen tem bem mais chance de quebrar que a do ROTAX.

Obviamente as hélices do ROTAX e do Volkswagen 1600 são construídas de madeira resistente e são prensadas, logo elas devem suportar forças bem maiores que essa, talvez até cinco vezes mais ou até mais que isso para saber o valor exato da força que a hélice suporta consulte o fabricante. **Fique tranqüilo que seu motor não vai ter RPM suficiente para quebrar a hélice, como eu disse o fabricante também já pensou nisto**, ou seja, ele já quebrou a cabeça por você.

É importante mencionar que a força centrífuga não é a única força que está presente quando a hélice está girando. O objetivo da hélice é gerar empuxo, para fazer isso ela converte o torque em força de empuxo e esta força é a força que impulsiona o avião ou o barco desta forma esta força é grande, porém é menor que a força centrífuga. Isto prova que a tarefa de projetar e fabricar hélice não é uma tarefa simples por isso eu recomendo que você utilize uma hélice que já existe e que o fabricante recomenda.

Há um outro problema que você deve considerar. A ponta da hélice não deve quebrar a barreira do som senão ela cavita e pode até quebrar, mas mesmo que ela não quebre uma vez que a hélice cavitou ela não produz mais empuxo você pode aumentar muito o RPM que a hélice não produz mais empuxo.

A velocidade do som no ar é dada pela fórmula:

$$V = 330 + 0,6 \times \text{Temp}$$

Onde Temp é a temperatura em graus Celsius que é a escala de temperatura usada no Brasil.

Assim em 25 graus a velocidade do som vale:

$$V = 330 + 0,6 \times 25 = 345 \text{ m/s} = 1.242 \text{ Km/h}$$

Lembrando da fórmula:

$$V = W.R$$

$$\text{E que } W = 2 \times \pi \times f$$

Onde f é a frequência em Hertz, e R é o raio da hélice em metros.

$$V = 2 \times \pi \times f \times R$$

$$f = \frac{V}{2 \times \pi \times R}$$

Mas 60 RPM = 1 Hertz, então para dar a frequência em RPM:

$$f = \frac{V}{2 \times \pi \times R} \times 60 = \frac{60 \times V}{2 \times \pi \times R}$$

V para o nosso caso vale 345 m/s

Então:

$$f = \frac{60 \times 345}{2 \times \pi \times R} = \frac{3.294,5073}{R}$$

Resumindo:

$$\text{RPM máximo para a hélice não cavitare} = \frac{3.294,5073}{\text{Raio da hélice}}$$

O ROTAX 582 usando redução de 2,58 tem uma hélice de 66 x 41, logo seu comprimento é 1,6764 m, raio = 0,8382 m.

Logo o RPM máximo para essa hélice não cavitare é:

$$\text{RPM máximo para não cavitare} = \frac{3.294,5073}{0,8382} = 3.930,45 \text{ RPM}$$

Mas o ROTAX 582 com a redução 2,58 fornece 2.131,78 RPM, muito abaixo deste valor, na verdade 1,84 vez menor. Segundo o fabricante o RPM máximo do ROTAX 582 é 6.400 RPM, assim no máximo ele libera para a hélice 2.480,62 RPM, que também é inferior a este valor. Mesmo que você usasse a menor redução do ROTAX 582 que é 2, o RPM máximo para a hélice seria 3.200 RPM que também é inferior a este valor. Todas as outras reduções do ROTAX 582 são maiores que 2 logo a **hélice não cavita nunca**. Como eu disse o fabricante também já pensou nisto. Por isso é que você deve usar uma hélice que já existe.

Mas surge a questão, a temperatura diminui com a altura logo a velocidade do som também diminui com a altura, mas será que diminui tanto assim?

Voltando para a fórmula da velocidade do som:

$$V = 330 + 0,6 \times \text{Temp}$$

A 25 graus Celsius a velocidade do som é 345 m/s = 1.242 Km/h.

A zero grau Celsius a velocidade é:

$$V = 330 \text{ m/s} = 1.188 \text{ Km/h.}$$

Veja que não mudou muito, qual seria o RPM para a hélice 66 x 41 do ROTAX 582 não cavitare quando está a zero grau Celsius?

Seguindo o raciocínio anterior você chega em:

$$f = \frac{60 \times 330}{2 \times \pi \times R} = \frac{3.151,2678}{R}$$

O raio da hélice da hélice 66 x 41 é 0,8382 m, então:

$$f = \frac{3.151,2678}{0,8382} = 3.759,56 \text{ RPM}$$

Que é muito superior a qualquer valor que o motor pode fornecer, portanto, a hélice não cavita nunca. Novamente eu volto a repetir o fabricante já pensou nisto também por isso use a hélice que ele recomenda.

Agora vamos ver qual é o RPM máximo para a hélice do Volkswagen 1600 não cavitatar.

Para a hélice de 56,69 polegadas, raio 0,72 m

A 25 graus Celsius:

$$\text{RPM} = \frac{3.294,5073}{\text{Raio da hélice}} = \frac{3.294,5073}{0,72} = 4.575,70 \text{ RPM}$$

A zero grau Celsius:

$$f = \frac{3.151,2678}{R} = \frac{3.151,2678}{0,72} = 4.376,76 \text{ RPM}$$

A hélice do Volkswagen não passa de 3.000 RPM logo ela nunca cavita.

Para a hélice de 60 polegadas, raio 0,762 m.

A 25 graus Celsius:

$$\text{RPM} = \frac{3.294,5073}{0,762} = 4.323,50 \text{ RPM}$$

A zero grau Celsius:

$$\text{RPM} = \frac{3.151,2678}{0,762} = 4.135,52 \text{ RPM}$$

Novamente essa hélice não passa de 3.000 RPM, assim não cavita nunca.

Para a hélice de 62 polegadas, raio 0,7874 m.

A 25 graus Celsius:

$$\text{RPM} = \frac{3.294,5073}{0,7874} = 4.184,03 \text{ RPM}$$

A zero grau Celsius:

$$\text{RPM} = \frac{3.151,2678}{0,7874} = 4.002,11 \text{ RPM}$$

Novamente essa hélice não passa de 3.000 RPM, assim não cavita nunca.

Para a hélice de barco as mesmas explicações e conceitos da hélice do avião são válidos. As fórmulas são as mesmas e todos os problemas considerados para a hélice de avião também devem ser considerados para a hélice de barco. Porém, a hélice do barco cavita mais fácil.

A hélice do barco cavita quando a pressão que a pá da hélice exerce sobre a água atinge um valor suficiente para a água evaporar, ou seja, atinge o ponto de evaporação da água. Quando isso ocorre formam bolhas de vapor que ficam em contato com a pá da hélice essas bolhas tendem a se concentrar mais ou menos no meio da pá da hélice, e quando elas se concentram as bolhas explodem e corroem o metal neste ponto. Com o tempo isso deixa uma marca na pá da hélice, essa marca é semelhante a passar um esmerilho naquele

local. Isso reduz a resistência da hélice até que um belo dia ela quebra. Esse problema da hélice cavitante é crítico principalmente em navios, já ocorreu de um navio quebrar uma pá da hélice no meio do oceano.

É por isso que navio tem inspeção periódica nas hélices. E as hélices dele são projetadas para não cavitante. Quando a hélice do barco cavita não produz mais empuxo, você pode aumentar o RPM o quanto você quiser que não produz mais empuxo.

Uma das principais razões para a hélice do barco ser menor que a hélice do avião é para evitar a cavitação, e também porque a água é bem mais densa que o ar, desta forma a hélice pode ser menor.

Cada motor de barco tem uma hélice apropriada para ele que tem a máxima eficiência, se você colocar outro tipo há o risco da hélice cavitante, além disso, mesmo que a hélice não cavite provavelmente não produz o mesmo empuxo que a hélice original. Novamente eu volto a repetir que o fabricante do motor de popa já pensou nisto e por isso a hélice que vem com o motor é a de melhor rendimento para aquele motor.

Quando você quer substituir um motor de popa por um motor automobilístico você deve procurar um motor que seja compatível com o motor de popa que você quer substituir e fazer o redutor e utilizar a hélice que o motor de popa utiliza.

Você pode verificar na parte das especificações de motores que todos os motores de popa tem praticamente a mesma faixa de RPM o que muda de um para o outro é a potência e conseqüentemente o torque, assim os motores mais potentes tem um torque maior logo podem girar uma hélice maior, porém todos os motores giram na mesma faixa de RPM e não é por acaso é para evitar a cavitação.

Para todo motor há uma hélice apropriada para evitar a cavitação, se a sua hélice está cavitando ela não é apropriada para o seu motor você deve procurar outra.

Geralmente quando a hélice cavita você escuta o barulho e sente a vibração no barco.

Em barco existe uma coisa interessante que deve ser mencionada há uma relação muito estreita entre o tamanho da hélice e o RPM que ela gira, um motor de popa, por exemplo, gira a hélice dele em mais ou menos 2.900 RPM, porém, a hélice dele geralmente não tem nem 50 cm de diâmetro. O famoso transatlântico TITANIC (aquele do filme) tinha duas hélices tripá de 7,6 metros de diâmetro e girava ela em 75 RPM (isso mesmo 75) e tinha uma hélice quadripá de 5,3 metros de diâmetro e girava ela em 165 RPM. Isto prova novamente que há uma hélice apropriada para cada motor.

[A seguir alguns dados que podem ser úteis para você no seu projeto](#)

Conversão de unidades:

Km = Kilometro

Hm = Hectômetro

Dam = Decâmetro

m = metro

dm = decímetro

cm = centímetro

mm = milímetro

Para distância:

Km	Hm	Dam	M	dm	cm	mm
0,001	0,01	0,1	1	10	100	1000
1	10	100	1000	10000	100000	1000000
0,000001	0,00001	0,0001	0,001	0,01	0,1	1

Isto é mais conveniente escrever assim:

Km	Hm	Dam	M	dm	cm	mm
10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10^1	10^2	10^3
1	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6
10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1

Para área:

Km^2	Hm^2	Dam^2	m^2	dm^2	cm^2	mm^2
10^{-6}	10^{-4}	10^{-2}	1	10^2	10^4	10^6
1	10^2	10^4	10^6	10^8	10^{10}	10^{12}
10^{-12}	10^{-10}	10^{-8}	10^{-6}	10^{-4}	10^{-2}	1

Para volume:

Km^3	Hm^3	Dam^3	m^3	dm^3	cm^3	mm^3
10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	1	10^3	10^6	10^9
1	10^3	10^6	10^9	10^{12}	10^{15}	10^{18}
10^{-18}	10^{-15}	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	1

$$1 \text{ Litro} = 1 \text{ dm}^3 \text{ (1 decímetro cúbico)} = 1.000 \text{ cm}^3$$

Às vezes o fabricante fornece o torque em Kgf.m ou m.Kgf que é a mesma coisa, para converter para N.m

$$1 \text{ Kgf.m} = 9,80665 \text{ N.m}$$

$$60 \text{ RPM} = 1 \text{ Hertz}$$

Potência sempre calcular em Watts.

$$1 \text{ HP} = 746 \text{ Watts}$$

$$1 \text{ CV} = 735 \text{ Watts}$$

Para converter Km/h em m/s divida por 3,6.

Para converter m/s em Km/h multiplique por 3,6.

Para saber quanto uma força equivale em peso de um corpo divida a força por 9,8.

Algumas unidades comuns de distância:

1 pé (ft) = 0,3048 metros

1 polegada (in) = 0,0254 metros

1 milha (mi) = 1.609,344 metros

1 milha náutica = 1.852 metros

1 jarda (yd) = 0,9144 metros

Algumas unidades comuns de velocidade:

1 milha por hora = 1,609344 Km/h

1 mach = 1.193,256 Km/h

1 nó = 1,852 Km/h

1 pé por hora = 0,0003048 Km/h

Algumas unidades comuns de massa:

1 onça (oz) = 0,02834952 Kg

1 onça troy (ozt) = 0,03110347 Kg

1 libra (lb) = 0,4535924 Kg

1 libra troy = 0,3732417 Kg

Algumas unidades comuns de força:

1 Kgf = 9,80665 N

1 dina = 0,00001 N

1 onça força (ozf) = 0,2780139 N

1 libra força (lbf) = 4,448222 N

Caixas de redução do ROTAX, relações de redução:

Tipo A

2 ou 2,24 ou 2,58

Tipo B



2 ou 2,24 ou 2,58

Tipo C



2,62 ou 3 ou 3,47 ou 4

Tipo E



2,62 ou 3 ou 3,47 ou 4

Agora nós finalmente podemos ir para a parte prática.

Parte Prática

Exemplo:

A partir de agora eu suponho que você leu a parte teórica, se não leu leia, assim eu só vou mostrar as contas e como fazer se você não entender o que está sendo calculado leia a teoria que você vai entender o que está sendo calculado, lá está explicado com detalhes.

Lembrando das fórmulas do redutor:

Torque de saída = Torque de entrada x Redutor

$$\text{RPM de saída} = \frac{\text{RPM de entrada}}{\text{redutor}}$$

$$\text{Redutor} = \frac{R2}{R1}$$

R2 é a engrenagem grande, ou catraca grande, ou polia grande, pode ser:

Número de dentes da engrenagem grande.

Diâmetro médio da engrenagem grande.

Raio médio da engrenagem grande.

Número de dentes da catraca de motocicleta.

Diâmetro médio da catraca de motocicleta.

Raio médio da catraca de motocicleta.

Número de dentes da polia dentada (usada em correia dentada).

Diâmetro médio da polia dentada (usada em correia dentada)

Raio médio da polia dentada (usada em correia dentada).

Diâmetro da polia comum.

Raio da polia comum.

R1 é a engrenagem pequena, ou catraca pequena, ou polia pequena, pode ser:

Número de dentes da engrenagem pequena.

Diâmetro médio da engrenagem pequena.

Raio médio da engrenagem pequena.

Número de dentes da catraca de motocicleta.

Diâmetro médio da catraca de motocicleta.

Raio médio da catraca de motocicleta.

Número de dentes da polia dentada (usada em correia dentada).

Diâmetro médio da polia dentada (usada em correia dentada)

Raio médio da polia dentada (usada em correia dentada).

Diâmetro da polia comum.

Raio da polia comum.

Fórmula do Torque:

Torque = Força x Raio

$$T = F.R$$

Fórmula da potência:

$$P = T.W$$

$$P = F.V$$

Onde T é o torque, W é a velocidade angular, F é a força, V é a velocidade escalar.

A velocidade angular esta relacionada com a frequência (RPM) por:

$$W = 2 \times \pi \times f$$

f é a frequência e é dada em Hertz.

60 RPM = 1 Hertz

$\pi = 3,141592654$ é chamado de pi é uma constante necessária aos cálculos.

Quando você calcular a redução para encontrar as engrenagens, catracas ou polias compatíveis eu fiz um programa de computador que vem junto com este texto. O programa chama-se **reducao.exe** é só clicar em cima dele e digitar a redução que você quer, por exemplo, se a redução que você quer é 1,5290 digite 1.5290 com o ponto senão não funciona. O programa calcula em menos de um segundo todas as engrenagens, ou catracas, ou polias que dão a redução que você digitou (no caso 1,5290), depois é só você clicar no arquivo chamado **reducao.txt** e escolher a que você quer usar.

ROTAX 582 substituído pelo Volkswagen 1600

ROTAX 582 UL – 2V

Potência máxima = 53,6 HP a 6.000 RPM, Torque = 63,63 N.m

Torque máximo = 68 N.m a 5.500 RPM, Potência = 52,50 HP

RPM máximo = 6.400

Volkswagen 1600

Potência máxima = 64,04 HP a 4.600 RPM, Torque = 99,17 N.m

Torque máximo = 114,7378 N.m a 3.200 RPM, potência 51,54 HP

ROTAX 582 com caixa de redução tipo B, redução 2 para 1

O motor ROTAX gira a 5.500 RPM.

Fornece para a hélice:

$$\text{Torque} = 2 \times 68 = 136 \text{ N.m}$$

$$\text{RPM} = \frac{5.500}{2} = 2.750 \text{ RPM}$$

Redução necessária para o Volkswagen 1600:

$$\text{Redutor} = \frac{136}{114,7378} = 1,1853$$

Valores de engrenagens ou catracas ou polias que mais se aproximam dessa redução:

27 – 32

43 – 51

54 – 64

65 – 77

70 – 83

81 – 96

97 – 115

Para ver todos os valores compatíveis executem o programa reducao.exe com o valor 1.1853

$$\text{RPM de saída} = \frac{3.200}{1,1853} = 2.699,73 \text{ RPM}$$

$$\text{Diferença de RPM} = 2.750 - 2.699,73 = 50,27 \text{ RPM}$$

$$\text{Razão entre o RPM} = \frac{2.750}{2.699,73} = 1,01862$$

Isso significa que se um Trike com o ROTAX 582 voar em 90 Km/h em qualquer condição, seja subida, ou contra o vento o Volkswagen 1600 atinge:

$$\frac{90}{1,01862} = 88,3 \text{ Km/h nas mesmas condições.}$$

Resumo:

ROTAX 582 com Redução 2:

O motor gira a 5.500 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 136 N.m

RPM = 2.750 RPM

Voa a 90 Km/h

Volkswagen 1600 com redutor 1,1853

O motor gira a 3.200 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 136 N.m

RPM = 2.699,73 RPM

Usando a mesma hélice indicada para o ROTAX 582 com redução 2 voa a 88,3 Km/h

Força no dente da engrenagem, ou na corrente, ou na correia:

Raio em centímetros	Força em N	Equivalente em Kg
1	11.473,78	1.170,7939
2	5.736,89	585,3969
3	3.824,5933	390,2646
4	2.868,445	292,6985
5	2.294,756	234,1588
6	1.912,2967	195,1323
7	1.639,1114	167,2563
8	1.434,2225	146,3492
9	1.274,8644	130,0882
10	1.147,378	117,0794

ROTAX 582 com caixa de redução tipo B, redução 2,24 para 1

O motor ROTAX gira a 5.500 RPM.

Fornece para a hélice:

$$\text{Torque} = 2,24 \times 68 = 152,32 \text{ N.m}$$

$$\text{RPM} = \frac{5.500}{2,24} = 2.455,35 \text{ RPM}$$

Redução necessária para o Volkswagen 1600:

$$\text{Redutor} = \frac{152,32}{114,7378} = 1,3275$$

Valores de engrenagens ou catracas ou polias que mais se aproximam dessa redução:

49 – 65

52 – 69

55 – 73

Para ver todos os valores compatíveis executem o programa reducao.exe com o valor 1.3275

$$\text{RPM de saída} = \frac{3.200}{1,3275} = 2.410,54 \text{ RPM}$$

$$\text{Diferença de RPM} = 2.455,35 - 2.410,54 = 44,81 \text{ RPM}$$

$$\text{Razão entre o RPM} = \frac{2.455,35}{2.410,54} = 1,01858$$

Isso significa que se um Trike com o ROTAX 582 voar em 90 Km/h em qualquer condição, seja subida, ou contra o vento o Volkswagen 1600 atinge:

$$\frac{90}{1,01858} = 88,3 \text{ Km/h nas mesmas condições.}$$

Resumo:

ROTAX 582 com Redução 2,24:

O motor gira a 5.500 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 152,32 N.m

RPM = 2.455,35 RPM

Voa a 90 Km/h

Volkswagen 1600 com redutor 1,3275

O motor gira a 3.200 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 152,32 N.m

RPM = 2.410,54 RPM

Usando a mesma hélice indicada para o ROTAX 582 com redução 2,24 voa a 88,3 Km/h

Força no dente da engrenagem, ou na corrente, ou na correia:

Raio em centímetros	Força em N	Equivalente em Kg
1	11.473,78	1.170,7939
2	5.736,89	585,3969
3	3.824,5933	390,2646
4	2.868,445	292,6985
5	2.294,756	234,1588
6	1.912,2967	195,1323
7	1.639,1114	167,2563
8	1.434,2225	146,3492
9	1.274,8644	130,0882

10	1.147,378	117,0794
----	-----------	----------

ROTAX 582 com caixa de redução tipo B, redução 2,58 para 1

Esta configuração é a mais comum de ser encontrada.

O motor ROTAX gira a 5.500 RPM.

Fornece para a hélice:

Torque = 2,58 x 68 = 175,44 N.m

$$\text{RPM} = \frac{5.500}{2,58} = 2.131,78 \text{ RPM}$$

Redução necessária para o Volkswagen 1600:

$$\text{Redutor} = \frac{175,44}{114,7378} = 1,5290$$

Valores de engrenagens ou catracas ou polias que mais se aproximam dessa redução:

17 – 26

34 – 52

51 – 78

53 – 81

68 – 104

70 – 107

85 – 130

87 – 133

89 – 136

Para ver todos os valores compatíveis executem o programa reducao.exe com o valor 1.5290

$$\text{RPM de saída} = \frac{3.200}{1,5290} = 2.092,87 \text{ RPM}$$

$$\text{Diferença de RPM} = 2.131,78 - 2.092,87 = 38,91 \text{ RPM}$$

$$\text{Razão entre o RPM} = \frac{2.131,78}{2.092,87} = 1,01859$$

Isso significa que se um Trike com o ROTAX 582 voar em 90 Km/h em qualquer condição, seja subida, ou contra o vento o Volkswagen 1600 atinge:

$$\frac{90}{1,01859} = 88,3 \text{ Km/h nas mesmas condições.}$$

Resumo:

ROTAX 582 com Redução 2,58:

O motor gira a 5.500 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 175,44 N.m

RPM = 2.131,78 RPM

Voa a 90 Km/h

Volkswagen 1600 com redutor 1,5290

O motor gira a 3.200 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 175,44 N.m

RPM = 2.092,87 RPM

Usando a mesma hélice indicada para o ROTAX 582 com redução 2,58 voa a 88,3 Km/h.

No caso eu já vi um ROTAX 582 com estas configurações que usa uma hélice 66 x 41, você pode usar esta mesma hélice.

Repare que em todas as situações o Volkswagen 1600 atinge o torque e o RPM necessário. Isso significa que eles são equivalentes, ou seja, tem a mesma potência e um pode ser substituído pelo outro sem problema algum. A diferença de velocidade é insignificante. Agora veja as vantagens, o Volkswagen 1600 vai trabalhar em 3.200 RPM com o virabrequim livre já que a hélice agora empurra o rolamento do redutor. O motor em 3.200 RPM está numa faixa boa para ele trabalhar, alias em carro ele trabalha nesta faixa mesmo porque todo cambio de carro é projetado para deixar o motor na faixa de máximo torque.

O motor não esquenta porque ele não faz força quem faz força é a redução. Você pode usar uma hélice maior e de passo maior isso ventila mais o motor e ainda deixa seu Trike igual a um Trike com ROTAX 582, porque você está com o mesmo empuxo, logo tem a mesma força para movimentar o Trike.

Depois que você pegar altura e velocidade você pode até acelerar mais o motor com certeza ele vai além de 3.200 RPM porque ele não está fazendo “força”.

Como você pode ver você só tem a ganhar com o redutor, você não perde em nada. Mesmo que o redutor pese 5 Kg você compensa isso com o empuxo a mais que você ganha por estar usando uma hélice maior e de passo maior.

Agora é você é que decide se vale à pena fazer o redutor ou comprar um motor ROTAX 582.

Força no dente da engrenagem, ou na corrente, ou na correia:

Raio em centímetros	Força em N	Equivalente em Kg
1	11.473,78	1.170,7939
2	5.736,89	585,3969
3	3.824,5933	390,2646
4	2.868,445	292,6985
5	2.294,756	234,1588
6	1.912,2967	195,1323

7	1.639,1114	167,2563
8	1.434,2225	146,3492
9	1.274,8644	130,0882
10	1.147,378	117,0794

Repare que em todas as configurações a força é a mesma porque quem determina a força é o motor, no caso o Volkswagen 1600.

ROTAX 582 substituído pela Yamaha RD 350

ROTAX 582 UL – 2V

Potência máxima = 53,6 HP a 6.000 RPM, Torque = 63,63 N.m

Torque máximo = 68 N.m a 5.500 RPM, Potência = 52,50 HP

RPM máximo = 6.400

RD 350

Potência máxima = 50 HP a 9.500 RPM, Torque = 37,49 N.m

Torque máximo = 40,3 N.m a 8.500 RPM, Potência = 48,08 HP

ROTAX 582 com caixa de redução tipo B, redução 2 para 1

O motor ROTAX gira a 5.500 RPM.

Fornece para a hélice:

Torque = 2 x 68 = 136 N.m

$$\text{RPM} = \frac{5.500}{2} = 2.750 \text{ RPM}$$

Redução necessária para a RD 350:

$$\text{Redutor} = \frac{136}{40,3} = 3,3746$$

Valores de engrenagens ou catracas ou polias que mais se aproximam dessa redução:

8 – 27
16 – 54
24 – 81
32 – 108
40 – 135

Para ver todos os valores compatíveis executem o programa reducao.exe com o valor 3.3746

$$\text{RPM de saída} = \frac{8.500}{3,3746} = 2.518,81 \text{ RPM}$$

$$\text{Diferença de RPM} = 2.750 - 2.518,81 = 231,19 \text{ RPM}$$

$$\text{Razão entre o RPM} = \frac{2.750}{2.518,81} = 1,09178$$

Isso significa que se um Trike com o ROTAX 582 voar em 90 Km/h em qualquer condição, seja subida, ou contra o vento a RD 350 atinge:

$$\frac{90}{1,09178} = 82,43 \text{ Km/h nas mesmas condições.}$$

Repare que a diferença de RPM é maior do que quando você usa o Volkswagen 1600 porque a RD 350 não tem a mesma potência que o ROTAX 582 o ROTAX 582 fornece 52,50 HP a 5.500 RPM e a RD 350 fornece 48,08 HP a 8.500 RPM, essa diferença de 4,42 HP se reflete na velocidade. É possível fazer a substituição porque a diferença de velocidade não é significativa. Obviamente depois que pegar altura e velocidade é possível acelerar mais e atingir uma velocidade maior.

Pode fazer a substituição sem medo.

Resumo:

ROTAX 582 com Redução 2:

O motor gira a 5.500 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 136 N.m

RPM = 2.750 RPM

Voa a 90 Km/h

RD 350 com redutor de 3,3746

O motor gira a 8.500 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 136 N.m

RPM = 2.518,81 RPM

Usando a mesma hélice indicada para o ROTAX 582 com redução 2 voa a 82,43 Km/h

Força no dente da engrenagem, ou na corrente, ou na correia:

Raio em centímetros	Força em N	Equivalente em Kg
1	4.030	411,2245
2	2.015	205,6122
3	1.343,3333	137,0748
4	1.007,5	102,8061
5	806	82,2449
6	671,6667	68,5374
7	575,7143	58,7464
8	503,75	51,4031
9	447,7778	45,6916
10	403	41,1224

Repare que a força é bem menor se comparado com Volkswagen 1600, logo o redutor fica menor e mais fácil de construir. A força é

menor porque o motor da RD 350 é mais fraco que o do Volkswagen 1600.

ROTAX 582 com caixa de redução tipo B, redução 2,24 para 1

O motor ROTAX gira a 5.500 RPM.

Fornece para a hélice:

$$\text{Torque} = 2,24 \times 68 = 152,32 \text{ N.m}$$

$$\text{RPM} = \frac{5.500}{2,24} = 2.455,35 \text{ RPM}$$

Redução necessária para a RD 350:

$$\text{Redutor} = \frac{152,32}{40,3} = 3,7796$$

Valores de engrenagens ou catracas ou polias que mais se aproximam dessa redução:

41 – 155

50 – 189

59 – 223

Para ver todos os valores compatíveis executem o programa reducao.exe com o valor 3.7796

$$\text{RPM de saída} = \frac{8.500}{3,7796} = 2.248,91 \text{ RPM}$$

$$\text{Diferença de RPM} = 2.455,35 - 2.248,91 = 206,44 \text{ RPM}$$

$$\text{Razão entre o RPM} = \frac{2.455,35}{2.248,91} = 1,09179$$

Isso significa que se um Trike com o ROTAX 582 voar em 90 Km/h em qualquer condição, seja subida, ou contra o vento a RD 350 atinge:

$$\frac{90}{1,09179} = 82,43 \text{ Km/h nas mesmas condições.}$$

Repare que a diferença de RPM é maior do que quando você usa o Volkswagen 1600 porque a RD 350 não tem a mesma potência que o ROTAX 582 o ROTAX 582 fornece 52,50 HP a 5.500 RPM e a RD 350 fornece 48,08 HP a 8.500 RPM, essa diferença de 4,42 HP se reflete na velocidade. É possível fazer a substituição porque a diferença de velocidade não é significativa. Obviamente depois que pegar altura e velocidade é possível acelerar mais e atingir uma velocidade maior. Repare que a velocidade que você atinge não muda.

Pode fazer a substituição sem medo.

Resumo:

ROTAX 582 com Redução 2,24:

O motor gira a 5.500 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 152,32 N.m

RPM = 2.455,35 RPM

Voa a 90 Km/h

RD 350 com redutor de 3,7796

O motor gira a 8.500 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 152,32 N.m

RPM = 2.248,91 RPM

Usando a mesma hélice indicada para o ROTAX 582 com redução 2,24 voa a 82,43 Km/h

Força no dente da engrenagem, ou na corrente, ou na correia:

Raio em centímetros	Força em N	Equivalente em Kg
1	4.030	411,2245
2	2.015	205,6122
3	1.343,3333	137,0748
4	1.007,5	102,8061
5	806	82,2449
6	671,6667	68,5374
7	575,7143	58,7464
8	503,75	51,4031
9	447,7778	45,6916
10	403	41,1224

Repare que a força é bem menor se comparado com Volkswagen 1600, logo o redutor fica menor e mais fácil de construir. A força é menor porque o motor da RD 350 é mais fraco que o do Volkswagen 1600.

ROTAX 582 com caixa de redução tipo B, redução 2,58 para 1

Esta configuração é a mais utilizada.

O motor ROTAX gira a 5.500 RPM.

Fornece para a hélice:

$$\text{Torque} = 2,58 \times 68 = 175,44 \text{ N.m}$$

$$\text{RPM} = \frac{5.500}{2,58} = 2.131,78 \text{ RPM}$$

Redução necessária para a RD 350:

$$\text{Redutor} = \frac{175,44}{40,3} = 4,3533$$

Valores de engrenagens ou catracas ou polias que mais se aproximam dessa redução:

17 – 74

34 – 148

48 – 209

51 – 222

Para ver todos os valores compatíveis executem o programa reducao.exe com o valor 4.3533

$$\text{RPM de saída} = \frac{8.500}{4,3533} = 1.952,54 \text{ RPM}$$

$$\text{Diferença de RPM} = 2.131,78 - 1.952,54 = 179,24 \text{ RPM}$$

$$\text{Razão entre o RPM} = \frac{2.131,78}{1.952,54} = 1,09179$$

Isso significa que se um Trike com o ROTAX 582 voar em 90 Km/h em qualquer condição, seja subida, ou contra o vento a RD 350 atinge:

$$\frac{90}{1,09179} = 82,43 \text{ Km/h nas mesmas condições.}$$

Repare que a diferença de RPM é maior do que quando você usa o Volkswagen 1600 porque a RD 350 não tem a mesma potência que o ROTAX 582 o ROTAX 582 fornece 52,50 HP a 5.500 RPM e a RD 350 fornece 48,08 HP a 8.500 RPM, essa diferença de 4,42 HP se reflete na velocidade. É possível fazer a substituição porque a diferença de velocidade não é significativa. Obviamente depois que pegar altura e velocidade é possível acelerar mais e atingir uma velocidade maior. Repare que a velocidade que você atinge não muda.

Pode fazer a substituição sem medo.

Resumo:

ROTAX 582 com Redução 2,58 para 1:

O motor gira a 5.500 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 175,44 N.m

RPM = 2.131,78 RPM

Voa a 90 Km/h

RD 350 com redutor de 4,3533

O motor gira a 8.500 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 175,44 N.m

RPM = 1.952,54 RPM

Usando a mesma hélice indicada para o ROTAX 582 com redução 2,58 voa a 82,43 Km/h.

No caso eu já vi um ROTAX 582 com estas configurações que usa uma hélice 66 x 41, você pode usar esta mesma hélice.

Força no dente da engrenagem, ou na corrente, ou na correia:

Raio em centímetros	Força em N	Equivalente em Kg
1	4.030	411,2245
2	2.015	205,6122
3	1.343,3333	137,0748
4	1.007,5	102,8061
5	806	82,2449
6	671,6667	68,5374
7	575,7143	58,7464
8	503,75	51,4031
9	447,7778	45,6916
10	403	41,1224

Repare que a força é bem menor se comparado com Volkswagen 1600, logo o redutor fica menor e mais fácil de construir. A força é menor porque o motor da RD 350 é mais fraco que o do Volkswagen 1600.

Volkswagen 1600 substituído pela Yamaha RD 350

RD 350

Potência máxima = 50 HP a 9.500 RPM, Torque = 37,49 N.m

Torque máximo = 40,3 N.m a 8.500 RPM, Potência = 48,08 HP

Volkswagen 1600

Potência máxima = 64,04 HP a 4.600 RPM, Torque = 99,17 N.m

Torque máximo = 114,7378 N.m a 3.200 RPM, potência 51,54 HP

Redução necessária para a RD 350:

$$\text{Redutor} = \frac{114,7378}{40,3} = 2,8470$$

Valores de engrenagens ou catracas ou polias que mais se aproximam dessa redução:

13 – 37

26 – 74

39 – 111

46 – 131

52 – 148

Para ver todos os valores compatíveis executem o programa reducao.exe com o valor 2.8470.

$$\text{RPM de saída} = \frac{8.500}{2,8470} = 2.985,59 \text{ RPM}$$

$$\text{Diferença de RPM} = 3.200 - 2.985,59 = 214,41 \text{ RPM}$$

$$\text{Razão entre o RPM} = \frac{3.200}{2.985,59} = 1,07181$$

Isso significa que se um Trike com o Volkswagen 1600 voar em 90 Km/h em qualquer condição, seja subida, ou contra o vento a RD 350 atinge:

$$\frac{90}{1,07181} = 83,97 \text{ Km/h nas mesmas condições.}$$

Esta diferença de velocidade é devido à diferença de potência. Enquanto o Volkswagen 1600 fornece 51,54 HP a 3.200 RPM a RD 350 fornece 48,08 HP em 8.500 RPM, a diferença de 3,46 HP se reflete na velocidade. É possível fazer a substituição porque a diferença de velocidade não é significativa. Obviamente depois que pegar altura e velocidade é possível acelerar mais e atingir uma velocidade maior. Pode fazer a substituição sem medo.

Resumo:

Volkswagen 1600 sem redução:

Motor gira em 3.200 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 114,7378 N.m

RPM = 3.200 RPM

RD 350 com redutor de 2,8470

O motor gira a 8.500 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 114,7378 N.m

RPM = 2.985,59 RPM

Usando a mesma hélice indicada para o Volkswagen 1600 voa a 83,97 Km/h.

Força no dente da engrenagem, ou na corrente, ou na correia:

Raio em centímetros	Força em N	Equivalente em Kg
1	4.030	411,2245
2	2.015	205,6122
3	1.343,3333	137,0748
4	1.007,5	102,8061
5	806	82,2449
6	671,6667	68,5374
7	575,7143	58,7464
8	503,75	51,4031
9	447,7778	45,6916
10	403	41,1224

Repare que a força vem do motor da RD 350, logo é o torque da RD 350 que deve ser usado para calcular a força.

ROTAX 912 substituído pela Honda CBR 600 F

ROTAX 912 ULS

Potência máxima = 95 HP a 5.500 RPM, torque = 123,04 N.m

Torque máximo = 128 N.m a 5.100 RPM, potência = 91,63 HP

RPM máximo = 5.800 RPM

Redução integrada (dentro) no motor = 2,43

Cilindrada = 1.352

Honda CBR 600 F

Potência máxima = 108,37 HP a 12.500 RPM, torque = 61,76 N.m

Torque máximo = 62,72 N.m a 10.500 RPM, potência = 92,44 HP

Cilindrada = 599

Essas são especificações do fabricante.

O ROTAX 912 fornece para a hélice (ele tem um redutor de 2,43):

$$\text{Torque} = 2,43 \times 128 = 311,04 \text{ N.m}$$

$$\text{RPM} = \frac{5.100}{2,43} = 2.098,76 \text{ RPM}$$

Redução necessária para a CBR 600 F:

$$\text{Redutor} = \frac{311,04}{62,72} = 4,9591$$

Valores de engrenagens ou catracas ou polias que mais se aproximam dessa redução:

$$24 - 119$$

$$25 - 124$$

$$48 - 238$$

Para ver todos os valores compatíveis executem o programa reducao.exe com o valor 4.9591

$$\text{RPM} = \frac{10.500}{4,9591} = 2.117,31 \text{ RPM}$$

$$\text{Diferença de RPM} = 2.117,31 - 2.098,76 = 18,55 \text{ RPM}$$

$$\text{Razão entre o RPM} = \frac{2.117,31}{2.098,76} = 1,008838$$

Isso significa que se um avião equipado com o ROTAX 912 atingir 200 Km/h em qualquer condição, mesmo contra o vento e em subida. A CBR 600 F atinge:

$200 \times 1,008838 = 201,7676 \text{ Km/h}$ usando a mesma hélice do ROTAX 912. Repare que aqui o valor de velocidade é multiplicado pela razão entre o RPM porque a CBR 600 F fornece mais RPM.

Repare que a velocidade é maior porque a CBR 600 F além de conseguir girar a mesma hélice ainda fornece mais RPM. Ou seja, ela tem uma potência maior que o ROTAX 912, o ROTAX fornece no torque máximo 91,63 HP e a CBR 600 F fornece no torque máximo 92,44 HP. Essa diferença de 0,81 HP se reflete na velocidade. Como a diferença de potência é pequena a diferença de velocidade também será pequena.

É importante observar que os cálculos são feitos no valor máximo do motor você, entretanto, não precisa voar no máximo do motor!

Resumo:

ROTAX 912 Ele tem um redutor dentro do motor de 2,43 para 1.

Gira o motor a 5.100 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 311,04 N.m

RPM = 2.098,76 RPM

Voa a 200 Km/h

Honda CBR 600 F com redutor de 4,9591 para 1.

Gira o motor em 10.500 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 311,04 N.m

RPM = 2.117,31 RPM

Usando a mesma hélice indicada para o ROTAX 912 voa a 201,7676 Km/h.

Força no dente da engrenagem, ou na corrente, ou na correia:

Raio em centímetros	Força em N	Equivalente em Kg
1	6.272	640
2	3.136	320
3	2.090,6667	213,3333
4	1.568	160
5	1.254,4	128

6	1.045,3333	106,6667
7	896	91,4286
8	784	80
9	696,8889	71,1111
10	627,2	64

No caso de você querer usar Volkswagen 1600 é possível, porém, o avião não atinge a mesma velocidade, veja na teoria que eu mostrei porque isso acontece e não adianta mudar a hélice!

ROTAX 912 substituído pelo Monza 2.0

Neste caso a substituição não é 100 % compatível o avião vai voar mais devagar, entretanto, é possível substituir se a velocidade máxima atingida estiver longe da velocidade de “estola” (em Inglês stall, significa perda de sustentação). **Aqui você faz a substituição apenas se a velocidade máxima estiver bem longe da velocidade de Stall não se arrisque.** O motor do Passat 1.8 antigo (o nacional) e o motor do Santana 2000 GLS também atingem velocidades próximas.

ROTAX 912 ULS

Potência máxima = 95 HP a 5.500 RPM, torque = 123,04 N.m

Torque máximo = 128 N.m a 5.100 RPM, potência = 91,63 HP

RPM máximo = 5.800 RPM

Redução integrada (dentro) no motor = 2,43

Cilindrada = 1.352

Monza 2.0

Potência máxima = 97,54 HP a 5.600 RPM, torque = 124,08 N.m

Torque máximo = 158,8677 N.m a 3.500 RPM, potência = 78,05 HP

O ROTAX 912 fornece para a hélice (ele tem um redutor de 2,43):

Torque = 2,43 x 128 = 311,04 N.m

$$\text{RPM} = \frac{5.100}{2,43} = 2.098,76 \text{ RPM}$$

Redução necessária para o Monza 2.0:

$$\text{Redutor} = \frac{311,04}{158,8677} = 1,9578$$

Valores de engrenagens ou catracas ou polias que mais se aproximam dessa redução:

24 – 47

47 – 92

48 – 94

Para ver todos os valores compatíveis executem o programa reducao.exe com o valor 1.9578

$$\text{RPM} = \frac{3.500}{1,9578} = 1.787,72 \text{ RPM}$$

$$\text{Diferença de RPM} = 2.098,76 - 1.787,72 = 311,04 \text{ RPM}$$

$$\text{Razão entre o RPM} = \frac{2.098,76}{1.787,72} = 1,173986$$

Isto significa que se um avião usando o ROTAX 912 atingir 200 Km/h em qualquer condição mesmo contra o vento e na subida, o monza 2.0 usando a mesma hélice atinge:

$$\frac{200}{1,173986} = 170,35 \text{ Km/h e gira a mesma hélice.}$$

Se você usasse o motor do Santana 2000 GLS esta velocidade seria de 156,89 Km/h. E se você usasse o motor do Passat 1.8 antigo (o nacional) esta velocidade seria 161,19 Km/h.

Não há nada que você possa fazer, não adianta mexer na hélice. Esta diferença de velocidade é devido ao fato do Monza 2.0 atingir o torque máximo em 3.500 RPM e quando isso ocorre à potência do motor é 78,05 HP, enquanto o ROTAX fornece 91,63 HP, esta diferença de 13,58 HP é que causa a diferença de velocidade. Não há nada que você possa fazer. Veja na teoria o exemplo que eu dei entre o Volkswagen 1600 e o ROTAX 912 que você vai entender o porque. Entretanto depois de atingir altura e velocidade é possível acelerar mais o motor então é possível atingir velocidades maiores. Se o avião tiver velocidade de Stall em 90 ou 100 Km/h pode substituir tranquilo, se ele tiver velocidade de Stall perto de 140 Km/h nem pense em substituir não se arrisque tenha certeza do que você faz! Obviamente o fator peso também deve ser considerado, entretanto existe avião que utiliza motor de monza!

Resumo:

ROTAX 912 Ele tem um redutor dentro do motor de 2,43 para 1.

Gira o motor a 5.100 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 311,04 N.m

RPM = 2.098,76 RPM

Voa a 200 Km/h

Monza 2.0 com redutor de 1,9578 para 1:

O motor gira em 3.500 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 311,04 N.m

RPM = 1.787,72 RPM

Usando a mesma hélice indicada para o ROTAX 912 voa a 170,35 Km/h.

Força no dente da engrenagem, ou na corrente, ou na correia:

Raio em centímetros	Força em N	Equivalente em Kg
1	15.886,77	1.621,099

2	7.943,385	810,5495
3	5.295,59	540,3663
4	3.971,6925	405,2747
5	3.177,354	324,2198
6	2.647,795	270,1832
7	2.269,5386	231,5856
8	1.985,8462	202,6374
9	1.765,1967	180,1221
10	1.588,677	162,1099

Repare que a força é maior se comparado com o Volkswagen 1600 porque o motor do Monza 2.0 tem um torque maior, ou seja, é mais forte.

ROTAX 912 substituído pelo Volkswagen 2000

Vamos ver um exemplo utilizando um motor Volkswagen 1600 envenenado. Nós vimos na parte teórica como envenenar o motor. Vamos as especificações:

Volkswagen 2000

Potência máxima = 80,85 HP a 4.600 RPM, torque 125,208 N.m

Torque máximo = 144,8679 N.m a 3.200 RPM, potência 65,07 HP

ROTAX 912 UL

Potência máxima = 80 HP a 5.500 RPM, torque 103,61 N.m

Torque máximo = 103 N.m a 4.800 RPM, potência 69,4 HP

RPM máximo = 5.800

Redutor dentro do motor de 2,273 para 1

Repare que na faixa de torque máximo a potência é semelhante, 69,4 HP do ROTAX contra 65,07 HP do Volkswagen. Essa diferença de

4,33 HP vai se refletir na velocidade. Como a potência vai diminuir em 6,23%, a velocidade também vai diminuir em 6,23%, logo se o avião com o ROTAX atingir 200 Km/h, com o Volkswagen o avião atingirá 187,54 Km/h. Vamos seguir o procedimento anterior para ver se nós chegamos neste mesmo valor.

O ROTAX 912 fornece para a hélice (ele tem um redutor de 2,273):

$$\text{Torque} = 2,273 \times 103 = 234,119 \text{ N.m}$$

$$\text{RPM} = \frac{4.800}{2,273} = 2.111,74 \text{ RPM}$$

Redução necessária para o Volkswagen 2000:

$$\text{Redutor} = \frac{234,119}{144,8679} = 1,6160$$

Valores de engrenagens ou catracas ou polias que mais se aproximam dessa redução:

13 – 21

39 – 63

65 – 105

Para ver todos os valores compatíveis executem o programa reducao.exe com o valor 1.6160

$$\text{RPM} = \frac{3.200}{1,6160} = 1.980,19 \text{ RPM}$$

$$\text{Diferença de RPM} = 2.111,74 - 1.980,19 = 131,55 \text{ RPM}$$

$$\text{Razão entre o RPM} = \frac{2.111,74}{1.980,19} = 1,06643$$

Isto significa que se um avião usando o ROTAX 912 atingir 200 Km/h em qualquer condição mesmo contra o vento e na subida, o Volkswagen 2000 usando a mesma hélice atinge:

$$\frac{200}{1,06643} = 187,54 \text{ Km/h e gira a mesma hélice.}$$

Observe que é o mesmo valor que nós tínhamos obtido calculando a partir da diminuição de potência. Obviamente depois que o avião atingir uma certa altura e pegar velocidade é possível atingir uma velocidade maior que esta.

Resumo:

ROTAX 912 Ele tem um redutor dentro do motor de 2,273 para 1.

Gira o motor a 4.800 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 234,119 N.m

RPM = 2.111,74 RPM

Voa a 200 Km/h

Volkswagen 2000 com redutor de 1,6160 para 1:

O motor gira em 3.200 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 234,119 N.m

RPM = 1.980,19 RPM

Usando a mesma hélice indicada para o ROTAX 912 voa a 187,54 Km/h.

Força no dente da engrenagem, ou na corrente, ou na correia:

Raio em centímetros	Força em N	Equivalente em Kg
1	14.486,79	1.478,2439
2	7.243,395	739,1219
3	4.828,93	492,748
4	3.621,6975	369,561
5	2.897,358	295,6488

6	2.414,465	246,374
7	2.069,5414	211,1777
8	1.810,8487	184,7805
9	1.609,6433	164,2493
10	1.448,679	147,8244

Repare que os valores da força são maiores que o Volkswagen 1600 porque o envenenamento do motor aumentou o torque do motor. Este é um exemplo de que é possível substituir o ROTAX 912 pelo Volkswagen 1600 desde que você envenene o motor. Eu em particular já vi ultraleves avançados que usam motor Volkswagen 1600 envenenado no lugar de um ROTAX 912, logo é possível fazer isto.

Substituição do ROTAX 582 de 64,4 HP pelo Passat 1.6

Há três tipos de ROTAX 582, este é o mais potente. Eu já voei em um Ultraleve grande que utiliza este motor com caixa de redução tipo C com redutor de 3 para 1 vamos ver como substituir esse motor.

ROTAX 582 UL – 2V DCDI

Potência máxima = 64,4 HP a 6.500 RPM, torque = 70,58 N.m

Torque máximo = 75 N.m a 6.000 RPM, potência = 63,16 HP

RPM máximo = 6.800

No caso o Ultraleve em questão utiliza caixa de Redução tipo C de 3 para 1.

Então o motor fornece para a hélice:

Torque = 225 N.m

RPM = 2.000 RPM

Ele gira uma hélice 65,5 x 45

Motor do Passat 1.6 fabricados até 1.983

Potência máxima = 94,58 HP a 6.100 RPM, torque = 110,45 N.m
Torque máximo = 129,5 N.m a 3.600 RPM, potência = 65,44 HP

Redução necessária para o Passat 1.6:

$$\text{Redutor} = \frac{225}{129,5} = 1,7374$$

Valores de engrenagens ou catracas ou polias que mais se aproximam dessa redução:

19 – 33

38 – 66

42 – 73

Para ver todos os valores compatíveis executem o programa reducao.exe com o valor 1.7374

$$\text{RPM} = \frac{3.600}{1,7374} = 2.072,06 \text{ RPM}$$

$$\text{Diferença de RPM} = 2.072,06 - 2.000 = 72,06 \text{ RPM}$$

$$\text{Razão entre o RPM} = \frac{2.072,06}{2.000} = 1,03603$$

Isto significa que se o Ultraleve atingir 90 Km/h em qualquer condição seja contra o vento ou na subida o Passat 1.6 gira a mesma hélice e atinge:

$90 \times 1,03603 = 93,24 \text{ Km/h}$, repare que a velocidade é maior porque o motor do Passat está fornecendo um RPM maior (72,06 RPM a mais) é por isso que neste caso a velocidade é multiplicada pela razão entre o RPM. O Passat está fornecendo uma potência maior

(65,44 HP) em relação ao ROTAX (63,16 HP), essa diferença de 2,28 HP se reflete na velocidade.

Resumo:

ROTAX 582 de 64,4 HP e com redutor 3 para 1.

O motor gira a 6.000 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 225 N.m

RPM = 2.000

Ele gira uma hélice 65,5 x 45

Voa a 90 Km/h

O Passat 1.6 (antigo até 1.983) com redutor de 1,7374 para 1:

Gira o motor em 3.600 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 225 N.m

RPM = 2.072,06 RPM

E usando a mesma hélice do ROTAX no caso 65,5 x 45 voa a 93,24 Km/h.

Força no dente da engrenagem, ou na corrente, ou na correia:

Raio em centímetros	Força em N	Equivalente em Kg
1	12.950	1.321,4286
2	6.475	660,7143
3	4.316,6667	440,4762
4	3.237,5	330,3571
5	2.590	264,2857
6	2.158,3333	220,2381
7	1.850	188,7755
8	1.618,75	165,1786
9	1.438,8889	146,8254
10	1.295	132,1429

Aplicação para Barcos

Aqui é mais fácil você encontrar um motor que serve para o que você quer fazer porque em barcos e lanchas não há uma velocidade mínima, ou seja, não há velocidade de Stall igual existe para aviões, o barco pode até ficar parado na água.

Por exemplo, você pode estar interessado em ter um barco que tenha força, mas que não precise correr muito então, por exemplo, se um barco com motor de 150 HP mesmo contra a correnteza atinge 60 Km/h e carrega duas toneladas, o mesmo barco contra a mesma correnteza usando um motor menos potente pode atingir até 20 Km/h e carregar também duas toneladas porque eles terão a mesma força, entretanto, sua velocidade será menor porque não existe potência suficiente e não há nada que você possa fazer não adianta mexer na hélice. Veja o exemplo que eu dei na parte teórica entre o Volkswagen 1600 e o ROTAX 912 que você vai entender o porque.

Se você quiser 100% de compatibilidade, ou seja, ter a mesma força e atingir a mesma velocidade, então você vai ter que encontrar um motor que tenha a mesma potência e forneça o mesmo torque e o mesmo RPM depois de passar pelo redutor porque assim você pode girar a mesma hélice do motor de popa que você quer substituir. Motor de popa é aquele tipo de motor que fica atrás do barco muito comum em lanchas.

Geralmente não precisa de um motor muito potente. Eu, por exemplo, já andei em lancha e na lancha que eu andei o motor era de 75 HP havia sete pessoas adultas na lancha e ela atingia 65 Km/h tranquilamente. Esta velocidade na água já é uma velocidade grande. Não é qualquer tipo de barco que pode andar a 100 Km/h ou mais tem que ser um barco apropriado para corrida senão o barco vira.

Em barco o redutor fica mais fácil de fazer porque o peso e o tamanho do redutor e do motor não são tão preocupantes como em aviação. Em barco, por exemplo, você consegue colocar um motor de trator já em avião isso é praticamente impossível devido ao peso e ao tamanho do motor.

Obviamente você deve usar o bom senso não adianta você querer colocar um motor de 150 Kg num barco que suporta apenas 250 Kg, que o barco só vai carregar uma pessoa e vai estar no limite de peso, isto é arriscado.

Em barco assim como em aviões você deve ter em mente a segurança, não adianta você ter um barco bonito e com um motor que atinge a mesma velocidade de uma lancha e quando você for andar com o barco, ele virar ou afundar.

Em barco assim como em avião você deve usar a mesma hélice que o motor que você quer substituir utiliza. Se você usar uma hélice maior você não vai ter o mesmo rendimento porque o motor não terá força para girar esta hélice e como consequência não produzirá empuxo suficiente. Se você colocar uma hélice menor além de não ter o mesmo rendimento porque a hélice não produz empuxo suficiente, ainda corre o risco da hélice cavitando, veja a teoria que você verá o que acontece com uma hélice de barco quando ela cavita.

Em barco é mais conveniente você usar um motor refrigerado a água, o motor refrigerado a ar também serve só que você deve manter o sistema de refrigeração do motor original de fábrica, no Volkswagen 1600, por exemplo, você deve usar o mesmo sistema de refrigeração que o Fusca utiliza.

Substituição do motor de popa Honda 50 HP pelo Volkswagen 1600

Esta é a especificação do fabricante.

Type: 4-stroke OHC 3 cylinders

Displacement: 808 cc (49,3 cubic inches)

Bore & Stroke: 70 x 70 mm (2,8 x 2,8 inches)

Full Throttle RPM Range: 5.500-6.000 RPM

Rated Power: 50 HP a 5.750 RPM

Cooling System: Water Cooled

Induction: 3 Carburetors

Ignition System: Capacitor Discharge (CDI)

Starting System: Electric

Exhaust: Through Prop

Gear Ratio: 2,09:1

Gear Shift: F-N-R

Basicamente quer dizer que o motor é de quatro tempos e 3 cilindros. Tem 808 cilindradas.

Mas o que importa para nós é a potência máxima e o torque máximo repare que o fabricante não forneceu o torque máximo do motor assim nós teremos que calcular o torque a partir da potência máxima. O ideal era que o torque máximo fosse fornecido porque geralmente o torque máximo não ocorre no RPM da potência máxima mas nós teremos que trabalhar com a informação que temos assim nosso calculo pode ser diferente do valor real. A diferença não será um valor tão significativo de forma que podemos fazer a substituição sem medo.

O fabricante fornece a potência máxima:

50 HP a 5.750 RPM

Lembrando da fórmula $P = T.W$

$$50 \times 746 = T \times 2 \times \pi \times \left(\frac{5.750}{60} \right)$$

Torque = T = 61,9458 N.m

O fabricante fornece uma faixa de RPM

De 5.500 até 6.000 RPM

Vamos supor que o torque máximo ocorra em 5.500 RPM e vamos ver qual seria o torque:

$$50 \times 746 = T \times 2 \times \pi \times \left(\frac{5.500}{60} \right)$$

$$\text{Torque} = T = 64,7615 \text{ N.m}$$

Comparando com o outro valor vemos que há uma diferença de torque de 2,8157 N.m o que é pequena assim nossos cálculos serão bem precisos logo vamos usar os seguintes valores:

Potência máxima = 50 HP a 5.750 RPM

Torque máximo = 61,9458 N.m a 5.750 RPM

O motor de popa também tem redutor, é chamado de Gear Ratio e no nosso caso vale 2,09:1. Ou seja, é 2,09 para 1.

Logo o motor fornece para a hélice:

$$\text{Torque} = 2,09 \times 61,9458 = 129,4667 \text{ N.m}$$

$$\text{RPM} = \frac{5.750}{2,09} = 2.751,19 \text{ RPM}$$

Volkswagen 1600

Potência máxima = 64,04 HP a 4.600 RPM, Torque = 99,17 N.m

Torque máximo = 114,7378 N.m a 3.200 RPM, potência 51,54 HP

Redução necessária para o Volkswagen 1600:

$$\text{Redutor} = \frac{129,4667}{114,7378} = 1,1283$$

Valores de engrenagens ou catracas ou polias que mais se aproximam dessa redução:

31 – 35

39 – 44

Para ver todos os valores compatíveis executem o programa reducao.exe com o valor 1.1283

$$\text{RPM} = \frac{3.200}{1,1283} = 2.836,12 \text{ RPM}$$

$$\text{Diferença de RPM} = 2.836,12 - 2.751,19 = 84,93 \text{ RPM}$$

$$\text{Razão entre o RPM} = \frac{2.836,12}{2.751,19} = 1,03087$$

Isso quer dizer que se um barco com motor de popa Honda de 50 HP conseguir atingir 60 Km/h contra a correnteza o Volkswagen girando a mesma hélice atinge:

$60 \times 1,03087 = 61,85 \text{ Km/h}$, com o motor no mesmo barco, carregando o mesmo peso e contra a mesma correnteza.

Repare que o Volkswagen 1600 fornece mais RPM que o motor de popa, logo sua velocidade é maior. E também que o Volkswagen fornece uma potência maior, esta potência se reflete na velocidade.

Resumo:

Motor de popa Honda de 50 HP

O motor gira a 5.750 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 129,4667 N.m

RPM = 2.751,19 RPM

Motor Volkswagen 1600 com redutor de 1,1283

O motor gira em 3.200 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 129,4667 N.m

RPM = 2.836,12 RPM

E gira a mesma hélice do motor Honda de 50 HP e atinge a velocidade de 61,85 Km/h.

Força no dente da engrenagem, ou na corrente, ou na correia:

Raio em centímetros	Força em N	Equivalente em Kg
1	11.473,78	1.170,7939
2	5.736,89	585,3969
3	3.824,5933	390,2646
4	2.868,445	292,6985
5	2.294,756	234,1588
6	1.912,2967	195,1323
7	1.639,1114	167,2563
8	1.434,2225	146,3492
9	1.274,8644	130,0882
10	1.147,378	117,0794

Substituição do motor de popa Yamaha de 150 HP pelo Volkswagen 1600

Este é o exemplo do barco para fazer força e não para correr.

O fabricante do motor também não forneceu o torque máximo assim nós temos que calcular o torque a partir da potência.

Vamos as especificações:

2.596 cilindradas

faixa de RPM 4.500 a 5.500

Potência = 150 HP

Peso = 194 Kg

Redutor = 1,86 para 1

Como o fabricante forneceu dois valores de RPM vamos pegar a média dos valores, ou seja, 5.000 RPM.

Então nós admitimos que a potência máxima de 150 HP ocorra em 5.000 RPM, vamos calcular o Torque.

$$P = T.W$$

$$150 \times 746 = T \times 2 \times \pi \times \left(\frac{5.000}{60} \right)$$

$$\text{Torque} = T = 213,7132 \text{ N.m}$$

Então nós vamos usar as especificações:

Potência máxima = 150 HP a 5.000 RPM

Torque máximo = 213,7132 N.m a 5.000 RPM

Redutor = 1,86 para 1

Então ele fornece para a hélice:

$$\text{Torque} = 1,86 \times 213,7132 = 397,5065 \text{ N.m}$$

$$\text{RPM} = \frac{5.000}{1,86} = 2.688,17 \text{ RPM}$$

Volkswagen 1600

Potência máxima = 64,04 HP a 4.600 RPM, Torque = 99,17 N.m

Torque máximo = 114,7378 N.m a 3.200 RPM, potência 51,54 HP

Redutor necessário para o Volkswagen 1600:

$$\text{Redutor} = \frac{397,5065}{114,7378} = 3,4644$$

Valores de engrenagens ou catracas ou polias que mais se aproximam dessa redução:

28 – 97

41 – 142

43 – 149

Para ver todos os valores compatíveis executem o programa reducao.exe com o valor 3.4644

$$\text{RPM} = \frac{3.200}{3,4644} = 923,68 \text{ RPM}$$

$$\text{Diferença de RPM} = 2.688,17 - 923,68 = 1.764,49 \text{ RPM}$$

$$\text{Razão entre o RPM} = \frac{2.688,17}{923,68} = 2,910282$$

Isto significa que se um barco com motor Yamaha de 150 HP carrega 2 toneladas contra a correnteza a 60 Km/h, o mesmo barco com um motor Volkswagen 1600 gira a mesma hélice e carrega 2 toneladas contra a mesma correnteza, só que a velocidade de:

$$\frac{60}{2,910282} = 20,61 \text{ Km/h}$$

E não há nada que você possa fazer porque falta potência ao motor, veja na parte teórica o exemplo que eu dei sobre substituir o ROTAX 912 pelo Volkswagen 1600. Neste caso o barco com o motor Volkswagen 1600 tem a mesma força que um barco com motor de popa Yamaha de 150 HP só que não tem a mesma velocidade. Como eu disse o objetivo neste caso é fazer força, no caso se você quer carregar peso isso pode ser interessante.

Obviamente você pode escolher um motor que fique mais parecido com o motor de Popa de 150 HP, isto é só um exemplo do

que você pode fazer. Nunca é demais repetir que você deve usar a mesma hélice indicada para o motor e nunca tentar ajustar a hélice.

Resumo:

Motor de Popa Yamaha 150 HP

O motor gira em 5.000 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 397,5065 N.m

RPM = 2.688,17 RPM

Volkswagen 1600 com redutor de 3,4644

O motor gira em 3.200 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 397,5065 N.m

RPM = 923,68 RPM

Ele tem a mesma força que o motor de popa de 150 HP, gira a mesma hélice e atinge 20,61 Km/h.

Força no dente da engrenagem, ou na corrente, ou na correia:

Raio em centímetros	Força em N	Equivalente em Kg
1	11.473,78	1.170,7939
2	5.736,89	585,3969
3	3.824,5933	390,2646
4	2.868,445	292,6985
5	2.294,756	234,1588
6	1.912,2967	195,1323
7	1.639,1114	167,2563
8	1.434,2225	146,3492
9	1.274,8644	130,0882
10	1.147,378	117,0794

Este motor Yamaha é difícil substituir porque a redução dele o deixa mais forte que um motor V8 do Galaxie. Entretanto, se o seu desejo é substituir esse motor procure um motor que ofereça 150 HP na

faixa de máximo torque, por exemplo, alguns motores de caminhões pequenos ou caminhonetes.

Substituição do motor de popa Honda 75 HP pelo Monza 2.0

Este era o motor da lancha que eu descrevi anteriormente, que carregou sete pessoas adultas a 65 Km/h.

Especificação do motor Honda

Type: 4-stroke OHC 4 cylinders/12 valves

Displacement: 1.590 cc (97 cubic inches)

Bore & Stroke: 75 x 90 mm (3,0 x 3,5)

Full Throttle RPM Range: 5.000-6.000 RPM

Rated Power: 75 HP a 5.500 RPM

Cooling System: Water Cooled

Induction: 4 Carburetors

Ignition System: Capacitor Discharge (CDI)

Starting System: Electric

Exhaust: Through Prop

Gear Ratio: 2,33

Gear Shift: F-N-R

Basicamente quer dizer o seguinte:

Quatro cilindros, quatro tempos.

1.590 cilindradas.

Potência máxima 75 HP a 5.500 RPM

Redutor de 2,33 para 1

Novamente o fabricante não forneceu o torque assim nós temos que calcular pela potência.

$$P = T.W$$

$$75 \times 746 = T \times 2 \times \pi \times \left(\frac{5.500}{60} \right)$$

$$\text{Torque} = T = 97,1423 \text{ N.m}$$

Então nós vamos usar as especificações:

Potência máxima = 75 HP a 5.500 RPM

Torque máximo = 97,1423 N.m a 5.500 RPM

Ele tem um redutor de 2,33 para 1 então ele fornece para a hélice:

$$\text{Torque} = 2,33 \times 97,1423 = 226,3415 \text{ N.m}$$

$$\text{RPM} = \frac{5.500}{2,33} = 2.360,51 \text{ RPM}$$

Especificação do Motor do Monza 2.0

Potência máxima = 97,54 HP a 5.600 RPM, torque = 124,08 N.m

Torque máximo = 158,8677 N.m a 3.500 RPM, potência = 78,05 HP

Redução necessária para o Monza 2.0:

$$\text{Redutor} = \frac{226,3415}{158,8677} = 1,4247$$

Valores de engrenagens ou catracas ou polias que mais se aproximam dessa redução:

33 – 47

40 – 57

47 – 67

Para ver todos os valores compatíveis executem o programa reducao.exe com o valor 1.4247

$$\text{RPM} = \frac{3.500}{1,4247} = 2.456,65 \text{ RPM}$$

$$\text{Diferença de RPM} = 2.456,65 - 2.360,51 = 96,14 \text{ RPM}$$

$$\text{Razão entre o RPM} = \frac{2.456,65}{2.360,51} = 1,040728$$

Isso significa que se um barco com motor de popa Honda de 75 HP carregar sete pessoas a 65 Km/h contra a correnteza, o mesmo barco usando o motor de Monza 2.0 e girando a mesma hélice carregando também sete pessoas contra a mesma correnteza atinge:

$$65 \times 1,040728 = 67,64 \text{ Km/h.}$$

A velocidade é maior porque o Monza oferece 96,14 RPM a mais. Se você usar o Motor do Santana 2000 GLS essa velocidade seria de 62,08 Km/h porque apesar do motor do Santana ter um torque maior que o do Monza ele atinge esse torque em 3.000 RPM assim quando fizer o calculo de RPM o valor fica abaixo do fornecido pelo motor de popa. Entretanto, o valor é pequeno de forma que o motor do Santana também substitui o motor de popa de 75 HP.

Resumo:

Motor de popa Honda de 75 HP, ele tem um redutor de 2,33 para 1

O motor gira em 5.500 RPM e fornece para a hélice

Torque = 226,3415 N.m

RPM = 2.360,51 RPM

Motor do Monza 2.0 com redutor de 1,4247

O motor gira em 3.500 RPM e fornece para a hélice

Torque = 226,3415 N.m

RPM = 2.456,65 RPM

E gira a mesma hélice do motor de popa Honda 75 HP e atinge a velocidade de 67,64 Km/h.

Força no dente da engrenagem, ou na corrente, ou na correia:

Raio em centímetros	Força em N	Equivalente em Kg
1	15.886,77	1.621,099
2	7.943,385	810,5495
3	5.295,59	540,3663
4	3.971,6925	405,2747
5	3.177,354	324,2198
6	2.647,795	270,1832
7	2.269,5386	231,5856
8	1.985,8462	202,6374
9	1.765,1967	180,1221
10	1.588,677	162,1099

Aplicação para o motor do Galaxie V8

Muitas lanchas utilizam o motor do Galaxie V8 e ligam a hélice do barco direto no eixo do motor, isso atrapalha o movimento do virabrequim e reduz a potência do motor. Com o redutor a força que a hélice exerce que alias é a força que empurra o barco fica no rolamento do redutor, igual ao motor de popa, assim o virabrequim gira livre. Há três tipos de motores de Galaxie todos de oito cilindros, vamos ver as especificações de cada um deles:

Galaxie 272 V8

4.464,8922 cilindradas

Potência máxima = 164 HP a 4.400 RPM

Torque = 265,5225 N.m a 4.400 RPM

Torque máximo = 323,6194 N.m a 2.400 RPM

Potência = 109,02 HP a 2.400 RPM

Galaxie 292 V8

4.785 cilindradas

Potência máxima = 185,22 HP a 4.800 RPM

Torque = 274,8886 N.m a 4.800 RPM

Torque máximo = 364,8074 N.m a 2.600 RPM

Potência = 133,14 HP a 2.600 RPM

Galaxie 302 V8

4.942,22 cilindradas

Potência máxima = 196,06 HP a 4.600 RPM

Torque = 303,6276 N.m a 4.600 RPM

Torque máximo = 390,3047 N.m a 2.400 RPM

Potência = 131,49 HP

É aqui que a maioria das pessoas erra ao colocar o motor do Galaxie no barco, eles colocam a hélice baseada na potência do motor e não baseado no torque como deveriam.

Lembre que o motor de popa Yamaha de 150HP fornece para a hélice:

Torque = 397,5065 N.m

RPM = 2.688,17 RPM

O torque é superior a todos os torques do Galaxie, mesmo o mais potente. O primeiro motor do Galaxie fornece 164 HP de

potência máxima então a pessoa pensa que o motor tem a mesma força que um motor de popa de 150 HP e então coloca a mesma hélice do motor de popa de 150 HP. Só que o Galaxie de 164 HP fornece torque máximo = 323,6194 N.m a 2.400 RPM, tanto o torque quanto o RPM é inferior ao necessário, então o que ocorre é que a hélice é muito grande para o motor e você acelera no máximo e a hélice freia o motor porque não é apropriada logo o barco não atinge a mesma velocidade que um barco que utiliza motor de popa de 150 HP atinge.

Repare que quando ocorre o torque máximo do motor de 164 HP a potência do motor é 109,02 HP logo você deve usar a hélice que um motor de popa de 100 HP usa, porém todo motor de popa tem redução logo o torque do motor de popa aumenta mais que o do Galaxie, por isso se você ligar a mesma hélice do motor de popa de 100 HP no eixo do motor do Galaxie de 164 HP ela vai ficar pesada para ele, desta forma é necessária uma redução para o motor do Galaxie fornecer o mesmo torque que um motor de popa de 100 HP fornece.

O motor de popa de 90 HP fornece para a hélice torque de 271,6101 N.m a 2.306,51 RPM, isto é inferior ao que o Galaxie de 164 HP fornece assim a hélice do motor de popa de 90 HP fica muito leve para o Galaxie de 164 HP e não produz empuxo suficiente. Então, a pessoa pensando que está resolvendo o problema coloca uma hélice que esteja entre o motor de 100 HP e o de 90 HP, ou seja, ela ajusta a hélice o que não é recomendável, leia a teoria que você vai saber porque. A solução para o problema é fazer um redutor para o Galaxie de 164 HP como veremos adiante.

Para o caso do motor do Galaxie de 185,22 HP e do de 196,06 HP a situação é pior ainda porque a pessoa vai querer colocar uma hélice do motor de popa de 175 HP ou a hélice do motor de 200 HP.

O motor de popa de Yamaha de 175 HP fornece para a hélice:

Torque = 463,75 N.m

RPM = 2.688,17 RPM

O motor do Galaxie de 185,22 HP fornece:

Torque máximo = 364,8074 N.m a 2.600 RPM

O que é muito inferior ao necessário. Logo o barco não vai atingir a mesma velocidade nunca. Aliás, veja a mágica da redução o motor do trator Massey Ferguson tem 135,96 HP e fornece torque de 500 N.m a 1.400 RPM. Logo o motor de popa Yamaha de 175 HP tem quase a mesma força que um motor de trator!

Para o motor do Galaxie de 196,06 HP a situação é pior ainda porque a pessoa vai querer usar a hélice de um motor de popa de 200 HP. O motor de popa Yamaha de 200 HP fornece para a hélice:

Torque = 530 N.m

RPM = 2.688,17 RPM

Repare que esse motor fornece mais força que um motor de trator!

O Galaxie de 196,06 HP fornece:

Torque máximo = 390,3047 N.m a 2.400 RPM

Que é muito inferior ao necessário. Logo o barco não atinge a mesma velocidade nunca.

Há um outro problema, todos os motores do Galaxie atingem o torque máximo em RPM muito baixo. O Galaxie de 164 HP e o de 196,06 HP atingem o torque máximo em 2.400 RPM, O Galaxie de 185,22 HP atinge o torque máximo em 2.600 RPM. Isso atrapalha na hora de calcular a redução porque todo redutor reduz o RPM.

Repare que tanto o Galaxie de 196,06 HP quanto o de 185,22 HP quando atingem o torque máximo a potência do motor está perto de 130 HP, no caso 131,49 HP para o motor de 196,06 HP e 133,14 HP para o motor de 185,22 HP, logo o motor que melhor se encaixa é o motor de 130 HP.

No caso eu não encontrei no site do fabricante um motor de popa de 100 HP, de 90 HP passa para 115 HP, logo vamos usar o motor de popa de 115 HP para o Galaxie de 164 HP e o motor de

popa de 130 HP para o Galaxie de 185,22 HP e para do Galaxie de 196,06 HP.

É importante que você saiba que em barco o motor faz força. Assim depois que atingir o RPM que o motor tem a máxima força o RPM não aumenta mais, porque para aumentar o RPM você precisa aumentar a força porque você vai deslocar mais água veja na parte teórica que tudo isso está explicado.

Não dá mais para aumentar o RPM porque o motor não tem mais força. Assim apesar do Galaxie ter até 196,06 HP você não vai atingir esta potência nunca, porque nesta potência o torque é menor que o torque máximo (veja a parte teórica) a máxima potência que você atinge é a potência do motor no torque máximo que no caso do motor de 196,06 HP é 133,14 HP.

Isso ocorre porque o motor do Galaxie não foi projetado para ser usado em barco e sim em automóvel onde existe o cambio (veja na parte teórica à parte do cambio do automóvel). No caso de automóvel você consegue atingir a potência máxima do motor do Galaxie justamente por causa do cambio.

É possível para um Engenheiro Naval projetar uma hélice que obtenha o melhor rendimento em 500 RPM, então você pode fazer um redutor para o Galaxie atingir este RPM e o motor vai ter uma força tremenda, porém, isso já entra no campo da fabricação de hélice que não é uma tarefa simples (veja a parte teórica).

Para o nosso caso nós queremos usar uma hélice que já existe e que um motor de popa utiliza logo não vamos nos preocupar com isso. Alias, mesmo com uma hélice projetada o motor também não vai passar da faixa de torque máximo porque o motor não tem mais força este é o limite dele. Se mesmo assim você não ficar satisfeito então você deve procurar outro tipo de motor, talvez o de caminhonete ou caminhão.

Há um outro problema, como os motores do Galaxie atingem o torque máximo em RPM baixo, você vai ter que optar se vai querer a mesma velocidade ou a mesma força que um motor de popa. Isto porque o motor Honda de 115 HP fornece torque para a hélice de 297,9033 N.m a 2.750 RPM, o Galaxie 272 fornece torque máximo

de 323,6194 N.m a 2.400 RPM, repare que o torque é maior, porém, o RPM é menor, neste caso você tem mais força que um motor de popa de 115 HP mas você não tem velocidade, então, você deve fazer um “aumentador” (veja a parte teórica) que nada mais é que um redutor invertido só que a engrenagem grande (ou catraca grande, ou polia grande) é ligada no motor e a engrenagem pequena (ou polia pequena, ou catraca pequena) é ligada na hélice. O “aumentador” reduz o torque, porém, aumenta o RPM.

Se você quer que seu barco tenha força então se você usar o Galaxie 272 você pode usar a hélice do motor de popa de 130 HP, porém, o motor Honda de 130 HP fornece para a hélice torque de 336,7602 N.m a 2.750 RPM, repare que tanto o torque quanto o RPM é maior que o Galaxie 272 logo você vai precisar de um redutor, só que o Galaxie 272 atinge o torque máximo em 2.400 RPM e o redutor vai fornecer um valor menor que 2.400 RPM para a hélice assim não vai atingir a mesma velocidade, mas vai ter a mesma força. Você é que escolhe qual interessa para você.

O mesmo problema ocorre com os outros dois motores do Galaxie, o Galaxie 292 e o Galaxie 302, no caso o mais indicado para eles é o motor de popa de 130 HP assim eles terão a mesma força e o mesmo RPM, porém, se você colocar uma hélice do motor de popa de 150 HP os motores do Galaxie terão a mesma força, mas não a mesma velocidade porque falta potência ao motor. A escolha é sua. Nós vamos ver os dois casos para que você saiba o que fazer.

Todo este problema ocorre porque o RPM de torque máximo é muito baixo, mas fazer o que? O motor do Galaxie não foi projetado para barcos assim você vai ter que se contentar.

Substituição do motor de popa Honda de 115 HP pelo Galaxie 272

Especificação do motor de popa Honda de 115 HP

Type: 4-stroke, SOHC Inline 4 Cylinder

Displacement: 2.254cc (137 cubic inches)
Bore & Stroke: 86mm x 97mm (3,38 in. x 3,81 in.)
Compression Ratio: 8,9:1
Horsepower: 115 HP a 5.500 RPM
Full Throttle Range: 5.000 – 6.000 RPM
Idle RPM: 750±50 (in gear, 650±50 RPM)
Fuel System: Multi-Port Programmed Fuel Injection
Ignition: Capacitor Discharge (CDI)
Cooling System: Thermostat Control
Alternator: 12V/40 amp
Gear Ratio: 2,00:1 (28/14)

Repare que o fabricante não forneceu o torque assim nós temos que calcular pela potência.

Potência máxima = 115 HP a 5.500 RPM

$P = T \cdot W$

$$115 \times 746 = T \times 2 \times \pi \times \left(\frac{5.500}{60} \right)$$

Torque = T = 148,9516 N.m

Assim nós vamos usar as especificações:

Potência máxima = 115 HP a 5.500 RPM

Torque máximo = 148,9516 N.m a 5.500 RPM

Ele tem um redutor de 2 para 1, logo ele fornece para a hélice:

Torque = 2 x 148,9516 = 297,9032 N.m

$$\text{RPM} = \frac{5.500}{2} = 2.750 \text{ RPM}$$

Galaxie 272 V8

4.464,8922 cilindradas

Potência máxima = 164 HP a 4.400 RPM

Torque = 265,5225 N.m a 4.400 RPM

Torque máximo = 323,6194 N.m a 2.400 RPM

Potência = 109,02 HP a 2.400 RPM

Repare que o Galaxie fornece um torque maior que o necessário, porém, o RPM não é suficiente. Neste caso como nós temos um motor que tem força mas não tem RPM suficiente nós usamos um “aumentador” que nada mais é que um redutor ao contrário, ou seja, você constrói o redutor normalmente porém liga a saída do redutor no motor do Galaxie e a entrada do redutor na hélice. Assim, o torque diminui e o RPM aumenta exatamente o contrário do redutor. Veja anteriormente a discussão que nós fizemos sobre assunto.

Lembrando as fórmulas do “aumentador”:

$$\text{Torque de saída} = \frac{\text{Torque de entrada}}{\text{aumentador}}$$

$$\text{RPM de saída} = \text{RPM de entrada} \times \text{aumentador}$$

$$\text{aumentador} = \frac{R2}{R1}$$

Onde R2 é a engrenagem grande (ou polia grande, ou catraca grande) e R1 é a engrenagem pequena (ou polia pequena, ou catraca pequena). Veja a parte teórica.

Como o torque do Galaxie é maior que o motor que nós queremos colocar então ele vai precisar do “aumentador”:

“Aumentador” necessário:

$$\text{aumentador} = \frac{323,6194}{297,9032} = 1,0863$$

Valores de engrenagens ou catracas ou polias que mais se aproximam desse aumentador:

23 – 25

35 – 38

46 – 50

Para ver todos os valores compatíveis executem o programa reducao.exe com o valor 1.0863

$$\text{RPM} = 2.400 \times 1,0863 = 2.607,12 \text{ RPM}$$

$$\text{Diferença de RPM} = 2.750 - 2.607,12 = 142,88 \text{ RPM}$$

$$\text{Razão entre o RPM} = \frac{2.750}{2.607,12} = 1,054803$$

Isto significa que se um barco com motor de popa de 115 HP atingir 60 Km/h contra a correnteza, o mesmo barco com motor do Galaxie girando a mesma hélice e contra a mesma correnteza atinge:

$$\frac{60}{1,054803} = 56,88 \text{ Km/h}$$

Praticamente a mesma velocidade, e não adianta mexer na hélice que o motor do Galaxie não fornece RPM suficiente. Ou seja, não tem potência suficiente.

Resumo:

Motor de popa Honda 115 HP com redutor de 2 para 1

O motor gira em 5.500 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 297,9032 N.m

RPM = 2.750 RPM

Motor do Galaxie 272 com aumentador de 1,0863

O motor gira em 2.400 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 297,9032 N.m

RPM = 2.607,12 RPM

E gira a mesma hélice que o motor de popa de 115 HP gira e atinge a velocidade de 56,88 Km/h.

Força no dente da engrenagem, ou na corrente, ou na correia:

Raio em centímetros	Força em N	Equivalente em Kg
1	32.361,94	3.302,2388
2	16.180,97	1.651,1194
3	10.787,3133	1.100,7463
4	8.090,485	825,5597
5	6.472,388	660,4478
6	5.393,6567	550,3731
7	4.623,1343	471,7484
8	4.045,2425	412,7798
9	3.595,7711	366,9154
10	3.236,194	330,2239

Repare que os valores de força são elevados porque o motor tem um torque elevado, você deve tomar muito cuidado na hora de fazer o redutor para ter certeza que os dentes da engrenagem agüentam a força aplicada neles. O mesmo vale para corrente de moto e para correia, veja a teoria para uma discussão mais detalhada.

Neste caso em particular o valor do “aumentador” é pequeno assim pode não ser conveniente fazer um “aumentador” para ganhar pouca velocidade, você é que decide se vale a pena ou não.

Substituição do motor de popa Honda de 130 HP pelo Galaxie 272

Especificação do motor Honda

Type: 4-stroke, SOHC Inline 4 Cylinder

Displacement: 2.254cc (137 cubic inches)

Bore & Stroke: 86mm x 97mm (3,38 in. x 3,81 in.)

Compression Ratio: 8.9:1

Horsepower: 130 HP a 5.500 RPM

Full Throttle Range: 5.000 – 6.000 RPM

Idle RPM: 750±50 (in gear, 650±50 RPM)

Fuel System: Multi-Port Programmed Fuel Injection

Ignition: Capacitor Discharge (CDI)

Cooling System: Thermostat Control

Alternator: 12V/40 amp

Gear Ratio: 2:1 (28/14)

Novamente o torque não foi fornecido assim nós temos que calcular o torque a partir da potência.

$$P = T.W$$

$$130 \times 746 = T \times 2 \times \pi \times \left(\frac{5.500}{60} \right)$$

$$T = 168,3801 \text{ N.m}$$

Logo nos vamos usar as especificações:

Potência máxima = 130 HP a 5.500 RPM

Torque máximo = 168,3801 N.m a 5.500 RPM

Ele tem um redutor de 2 para 1 logo fornece para a hélice:

$$\text{Torque} = 2 \times 168,3801 = 336,7602 \text{ N.m}$$

$$\text{RPM} = \frac{5.500}{2} = 2.750 \text{ RPM}$$

Especificação do Galaxie 272

Galaxie 272 V8

4.464,8922 cilindradas

Potência máxima = 164 HP a 4.400 RPM

Torque = 265,5225 N.m a 4.400 RPM

Torque máximo = 323,6194 N.m a 2.400 RPM

Potência = 109,02 HP a 2.400 RPM

Repare que o torque máximo é quase igual ao necessário, porém é menor, logo será necessário um redutor:

$$\text{Redutor} = \frac{336,7602}{323,6194} = 1,0406$$

Valores de engrenagens ou catracas ou polias que mais se aproximam dessa redução:

25 – 26

49 – 51

50 – 52

Para ver todos os valores compatíveis executem o programa reducao.exe com o valor 1.0406

$$\text{RPM} = \frac{2.400}{1,0406} = 2.306,36 \text{ RPM}$$

$$\text{Diferença de RPM} = 2.750 - 2.306,36 = 443,64 \text{ RPM}$$

$$\text{Razão entre o RPM} = \frac{2.750}{2.306,36} = 1,192355$$

Isso significa que se um barco com motor de popa de 130 HP atingir 60 Km/h contra a correnteza, o mesmo barco com o motor do Galaxie 272 girando a mesma hélice e contra a mesma correnteza atinge:

$$\frac{60}{1,192355} = 50,32 \text{ Km/h}$$

E não há nada que você possa fazer. Não adianta mexer na hélice.

Resumo:

Motor de popa Honda de 130 HP

O motor gira a 5.500 RPM e tem um redutor de 2 para 1 fornece para a hélice:

Torque = 336,7602 N.m

RPM = 2.750 RPM

Motor do Galaxie 272 com redutor de 1,0406

O motor gira em 2.400 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 336,7602 N.m

RPM = 2.306,36 RPM

E gira a mesma hélice que o motor de popa de 130 HP gira e atinge a velocidade de 50,32 Km/h

Força no dente da engrenagem, ou na corrente, ou na correia:

Raio em centímetros	Força em N	Equivalente em Kg
1	32.361,94	3.302,2388
2	16.180,97	1.651,1194
3	10.787,3133	1.100,7463

4	8.090,485	825,5597
5	6.472,388	660,4478
6	5.393,6567	550,3731
7	4.623,1343	471,7484
8	4.045,2425	412,7798
9	3.595,7711	366,9154
10	3.236,194	330,2239

Repare que os valores de força são elevados porque o motor tem um torque elevado, você deve tomar muito cuidado na hora de fazer o redutor para ter certeza que os dentes da engrenagem agüentam a força aplicada neles. O mesmo vale para corrente de moto e para correia, veja a teoria para uma discussão mais detalhada.

Repare que na substituição do motor de 115 HP a velocidade era de 56,88 Km/h e na substituição do motor de 130 HP a velocidade é de 50,32 Km/h. A diferença é de 6,56 Km/h, ou seja, é pequena. No caso do motor de 115 HP se você colocar a mesma hélice do motor de popa de 115 HP direto no eixo do motor do Galaxie 272 você atinge a velocidade de 52,36 Km/h que é 4,52 Km/h menor que a velocidade que você atinge com o “aumentador” assim pode não ser interessante construir um “aumentador” para ganhar só isso de velocidade.

No caso do motor de popa de 130 HP não dá para você colocar a mesma hélice que ele gira direto no motor do Galaxie 272 porque o torque que o motor fornece não é suficiente. Todos esses problemas são causados porque o motor do Galaxie atinge o torque máximo dele em um RPM baixo. No caso se você quiser usar a hélice do motor Yamaha de 150 HP, o Galaxie 272 atinge 43,61 Km/h, se você quiser usar a hélice do motor Honda de 200 HP o Galaxie atinge 35,17 Km/h e se você quiser usar a hélice do motor de popa Honda de 225 HP você atinge a velocidade de 31,26 Km/h. Se você usar a hélice do motor Honda de 75 HP o Galaxie atinge 72,68 Km/h (neste caso você vai ter que fazer o “aumentador”). Só

que você não vai ter muita força, assim se o barco for grande você não atinge essa velocidade nunca. Outro problema é que essa velocidade na água já é crítica o barco pode virar. Além do que a hélice do motor de popa de 75 HP pode cavitatar (leia a teoria que você vai ver o problema). Agora se você tiver certeza que o barco não vira, a hélice não cavita e o barco é leve suficiente para atingir essa velocidade então faça a substituição.

É importante considerar que o calculo é feito considerando que você vai colocar o motor do Galaxie no mesmo barco que está o motor de popa e usar a mesma hélice do motor de popa.

Você está numa situação difícil porque seu motor atinge o torque máximo num RPM baixo.

Seria o ideal que você ao invés de usar o motor do Galaxie 272 usasse outro motor que tenha a mesma força só que num RPM mais alto. Por exemplo, se você achar um motor que tenha a mesma força do Galaxie 272 só que atinja o torque máximo em 3.600 RPM, você poderia fazer a substituição do motor Yamaha de 150 HP e atingir a velocidade de 65,41 Km/h, ou seja, mais rápido que o motor de popa Yamaha de 150 HP.

Você realmente está numa escolha difícil. É você que decide qual a situação melhor para você.

Este mesmo problema ocorre com os outros dois motores do Galaxie. O Galaxie 292 e o Galaxie 302.

No caso do Galaxie 292, se você usar a hélice do Yamaha de 150 HP você atinge 53,25 Km/h e se você usar a hélice do motor Honda de 130 HP você atinge a velocidade de 61,45 Km/h, logo é mais interessante usar a hélice do motor de 130 HP. Se você usar a hélice do motor de 200 HP você atinge 42,97 Km/h. Aqui entra a mesma discussão anterior quando eu mostrei como trocar um Yamaha de 150 HP por um Volkswagen de 1600, você vai ter um barco que tem força mas não tem velocidade. Você é que escolhe o que é melhor para você.

No caso do Galaxie 302 se você usar a hélice do motor de 130 HP você atinge 60,68 Km/h e se você usar a hélice do motor de 150

HP atinge 52,59 Km/h, logo é mais interessante usar a hélice do motor de 130 HP.

É importante considerar que essas velocidades são calculadas levando em conta a redução ou o aumento de RPM que você precisa se você colocar a hélice ligada diretamente no eixo do motor ele não atinge esta velocidade porque o motor não tem força suficiente.

No caso nem o Galaxie 292, nem o Galaxie 302 tem torque suficiente para girar a hélice de um motor de popa Yamaha de 150 HP, logo você não pode usar esta hélice sem redução. Os dois motores têm torque suficiente para girar a hélice do motor de popa de 130 HP mas não tem RPM suficiente logo não atingem a mesma velocidade. No caso o Galaxie 292 usando a hélice do motor de popa Honda de 130 HP ligada direto no eixo atinge 56,72 Km/h e no caso do Galaxie 302 essa velocidade seria 52,36 Km/h a velocidade do motor 302 é menor porque ele atinge o torque máximo dele em 2.400 RPM enquanto o 292 atinge o torque máximo dele em 2.600 RPM, assim apesar do 302 ter um torque maior que o 292 atinge uma velocidade menor.

Essa velocidade com a hélice ligada direta no eixo é uma estimativa calculada a partir da razão entre o RPM que o motor de popa de 130 HP fornece para a hélice e o RPM que o motor do Galaxie fornece no eixo no torque máximo. Esse valor é uma estimativa mas na prática não é muito diferente. Logo é você é que decide o melhor caso, usar um redutor (ou “aumentador”) ou ligar direto no eixo do motor.

Novamente eu volto a repetir que esses problemas são causados pelo fato dos motores do Galaxie atingirem o torque máximo em RPM baixo, isso não pode ser mudado porque o fabricante projetou assim. O motor do Galaxie é um motor para automóvel e não para barcos assim a adaptação para barcos não é fácil.

É importante considerar que talvez exista no mercado hélice própria para os motores de Galaxie. Ou seja, algum Engenheiro Naval projetou uma hélice que obtém o melhor desempenho no torque e RPM de cada motor do Galaxie. Porém, ainda existe o

problema que a hélice vai estar fazendo força no virabrequim do motor e vai atrapalhar o movimento dele, isso reduz o desempenho do motor. Esse problema pode ser contornado se a pessoa construir um varão que descarregue toda a força no rolamento do varão e não no eixo do motor, o rolamento do varão estaria preso na estrutura do barco, mas isto já é questão de como construir o barco e que está fora do escopo deste texto.

No caso de esta hélice própria para o Galaxie existir seria melhor usar ela, nunca acredite em fulano disse que essa hélice é melhor, procure saber se esta hélice própria para o Galaxie existe em empresas que fabricam barcos ou vendem motores de barco.

Este documento visa ensinar a substituir um motor por outro e usar a mesma hélice do motor original assim nós não vamos nos preocupar com a hélice nós vamos usar uma que já existe e que um motor de popa utiliza, leia a teoria que você vai entender o porque desta decisão. Assim eu optei por mostrar como deixar o motor de Galaxie igual ou o mais semelhante possível a um motor de popa que já existe e usar a mesma hélice que o motor de popa usa.

Faltou analisar os dois últimos motores do Galaxie que são o 292 e o 302. Vamos a eles.

Substituição do motor de popa Honda de 130 HP pelo Galaxie 292

Especificação do motor Honda

Type: 4-stroke, SOHC Inline 4 Cylinder

Displacement: 2.254cc (137 cubic inches)

Bore & Stroke: 86mm x 97mm (3,38 in. x 3,81 in.)

Compression Ratio: 8.9:1

Horsepower: 130 HP a 5.500 RPM

Full Throttle Range: 5.000 – 6.000 RPM

Idle RPM: 750±50 (in gear, 650±50 RPM)

Fuel System: Multi-Port Programmed Fuel Injection

Ignition: Capacitor Discharge (CDI)
Cooling System: Thermostat Control
Alternator: 12V/40 amp
Gear Ratio: 2:1 (28/14)

Novamente o torque não foi fornecido assim nós temos que calcular o torque a partir da potência.

$$P = T.W$$

$$130 \times 746 = T \times 2 \times \pi \times \left(\frac{5.500}{60} \right)$$

$$T = 168,3801 \text{ N.m}$$

Logo nos vamos usar as especificações:

Potência máxima = 130 HP a 5.500 RPM

Torque máximo = 168,3801 N.m a 5.500 RPM

Ele tem um redutor de 2 para 1 logo fornece para a hélice:

$$\text{Torque} = 2 \times 168,3801 = 336,7602 \text{ N.m}$$

$$\text{RPM} = \frac{5.500}{2} = 2.750 \text{ RPM}$$

Especificação do motor Galaxie 292 V8

Galaxie 292 V8

4.785 cilindradas

Potência máxima = 185,22 HP a 4.800 RPM

Torque = 274,8886 N.m a 4.800 RPM

Torque máximo = 364,8074 N.m a 2.600 RPM

Potência = 133,14 HP a 2.600 RPM

Repare que o torque máximo é maior que o fornecido para a hélice pelo motor Honda de 130 HP, porém, o RPM é menor. Logo será necessário um “aumentador” para aumentar esse RPM e conseqüentemente reduzir o torque.

“Aumentador” necessário:

$$\text{aumentador} = \frac{364,8074}{336,7602} = 1,0832$$

Valores de engrenagens ou catracas ou polias que mais se aproximam desse aumentador:

12 – 13

24 – 26

36 – 39

Para ver todos os valores compatíveis executem o programa reducao.exe com o valor 1.0832

Então o Galaxie vai fornecer para a hélice o mesmo torque que o motor de popa fornece, que é 336,7602 N.m.

$$\text{RPM} = 2.600 \times 1,0832 = 2.816,32 \text{ RPM}$$

$$\text{Diferença de RPM} = 2.816,32 - 2.750 = 66,32 \text{ RPM}$$

$$\text{Razão entre o RPM} = \frac{2.816,32}{2.750} = 1,02411$$

Isso significa que se um barco com motor de popa de 130 HP atingir 60 Km/h contra a correnteza, o mesmo barco com o motor do Galaxie 292 girando a mesma hélice e contra a mesma correnteza atinge:

$60 \times 1,02411 = 61,44 \text{ Km/h}$, a velocidade é maior porque o Galaxie fornece um RPM maior. Se ligar a hélice diretamente no eixo do

motor sem o aumentador atinge 56,72 Km/h. Como a diferença é pequena você é que decide se vale à pena fazer o aumentador.

Resumo:

Motor de popa Honda de 130 HP com redutor de 2 para 1

O motor gira a 5.500 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 336,7602 N.m

RPM = 2.750 RPM

Motor do Galaxie 292 com “aumentador” de 1,0832

O motor gira em 2.600 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 336,7602 N.m

RPM = 2.816,32 RPM

E gira a mesma hélice que o motor de popa Honda de 130 HP gira e atinge a velocidade de 61,44 Km/h.

Força no dente da engrenagem, ou na corrente, ou na correia:

Raio em centímetros	Força em N	Equivalente em Kg
1	36.480,74	3.722,5245
2	18.240,37	1.861,2622
3	12.160,2467	1.240,8415
4	9.120,185	930,6311
5	7.296,148	744,5049
6	6.080,1233	620,4207
7	5.211,5343	531,7892
8	4.560,0925	465,3156
9	4.053,4156	413,6138
10	3.648,074	372,2524

Repare que os valores de força são elevados porque o motor tem um torque elevado, você deve tomar muito cuidado na hora de fazer o redutor para ter certeza que os dentes da engrenagem agüentam a força aplicada neles. O mesmo vale para corrente de

moto e para correia, veja a teoria para uma discussão mais detalhada.

Substituição do motor de popa Honda de 130 HP pelo Galaxie 302

Especificação do motor Honda

Type: 4-stroke, SOHC Inline 4 Cylinder

Displacement: 2.254cc (137 cubic inches)

Bore & Stroke: 86mm x 97mm (3,38 in. x 3,81 in.)

Compression Ratio: 8.9:1

Horsepower: 130 HP a 5.500 RPM

Full Throttle Range: 5.000 – 6.000 RPM

Idle RPM: 750±50 (in gear, 650±50 RPM)

Fuel System: Multi-Port Programmed Fuel Injection

Ignition: Capacitor Discharge (CDI)

Cooling System: Thermostat Control

Alternator: 12V/40 amp

Gear Ratio: 2:1 (28/14)

Novamente o torque não foi fornecido assim nós temos que calcular o torque a partir da potência.

$$P = T.W$$

$$130 \times 746 = T \times 2 \times \pi \times \left(\frac{5.500}{60} \right)$$

$$T = 168,3801 \text{ N.m}$$

Logo nos vamos usar as especificações:

Potência máxima = 130 HP a 5.500 RPM

Torque máximo = 168,3801 N.m a 5.500 RPM

Ele tem um redutor de 2 para 1 logo fornece para a hélice:

Torque = 2 x 168,3801 = 336,7602 N.m

$$\text{RPM} = \frac{5.500}{2} = 2.750 \text{ RPM}$$

Especificação do Galaxie 302

Galaxie 302 V8

4.942,22 cilindradas

Potência máxima = 196,06 HP a 4.600 RPM

Torque = 303,6276 N.m a 4.600 RPM

Torque máximo = 390,3047 N.m a 2.400 RPM

Potência = 131,49 HP

Repare que o torque máximo é maior que o torque fornecido para a hélice pelo motor de popa Honda de 130 HP, porém, o RPM é menor logo vai ser preciso colocar um “aumentador” para aumentar esse RPM e conseqüentemente reduzir o torque.

Aumentador necessário:

$$\text{Aumentador} = \frac{390,3047}{336,7602} = 1,1589$$

Valores de engrenagens ou catracas ou polias que mais se aproximam desse aumentador:

44 – 51

63 – 73

Para ver todos os valores compatíveis executem o programa reducao.exe com o valor 1.1589

Logo o Galaxie vai fornecer para a hélice torque de 336,7602 N.m agora vamos ver como fica o RPM.

$$\text{RPM} = 2.400 \times 1,1589 = 2.781,36 \text{ RPM}$$

$$\text{Diferença de RPM} = 2.781,36 - 2.750 = 31,36 \text{ RPM}$$

$$\text{Razão entre o RPM} = \frac{2.781,36}{2.750} = 1,011403$$

Isso significa que se um barco usando motor de popa Honda de 130 HP atingir 60 Km/h contra a correnteza o mesmo barco usando o motor do Galaxie 302 girando a mesma hélice e contra a mesma correnteza atinge:

$$60 \times 1,011403 = 60,68 \text{ Km/h}$$

A velocidade é maior porque o motor do Galaxie fornece um RPM maior, porém a diferença é pequena assim pode ser considerado que atinge a mesma velocidade. Se colocar a hélice direta no eixo do motor sem o aumentador atinge 52,36 Km/h. A diferença não é muito grande assim você é que decide se vale a pena ou não construir o “aumentador”.

Resumo:

Motor de popa Honda de 130 HP com redutor de 2 para 1

O motor gira a 5.500 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 336,7602 N.m

RPM = 2.750 RPM

Motor do Galaxie 302 com “aumentador” de 1,1589

O motor gira a 2.400 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 336,7602 N.m

RPM = 2.781,36 RPM

E gira a mesma hélice que o motor de popa de 130 HP gira e atinge a velocidade de 60,68 Km/h.

Força no dente da engrenagem, ou na corrente, ou na correia:

Raio em centímetros	Força em N	Equivalente em Kg
1	39.030,47	3.982,701
2	19.515,235	1.991,3505
3	13.010,1567	1.327,567
4	9.757,6175	995,6753
5	7.806,094	796,5402
6	6.505,0783	663,7835
7	5.575,7814	568,9573
8	4.878,8088	497,8376
9	4.336,7189	442,5223
10	3.903,047	398,2701

Repare que os valores de força são elevados porque o motor tem um torque elevado, você deve tomar muito cuidado na hora de fazer o redutor para ter certeza que os dentes da engrenagem agüentam a força aplicada neles. O mesmo vale para corrente de moto e para correia, veja a teoria para uma discussão mais detalhada.

Aplicação para motor de Scania

Vamos supor que você sabe onde tem uma Scania acidentada e que não vai dar mais para recuperar nada só aproveitar o motor, ou seja, você tem a disposição um motor de Scania.

É possível colocar ele num barco e girar duas hélices do motor Yamaha de 150 HP. É como se você tivesse um barco que tivesse dois motores de popa Yamaha de 150 HP. Ou seja, o barco tem uma força tremenda e ainda atinge a velocidade que uma lancha com o

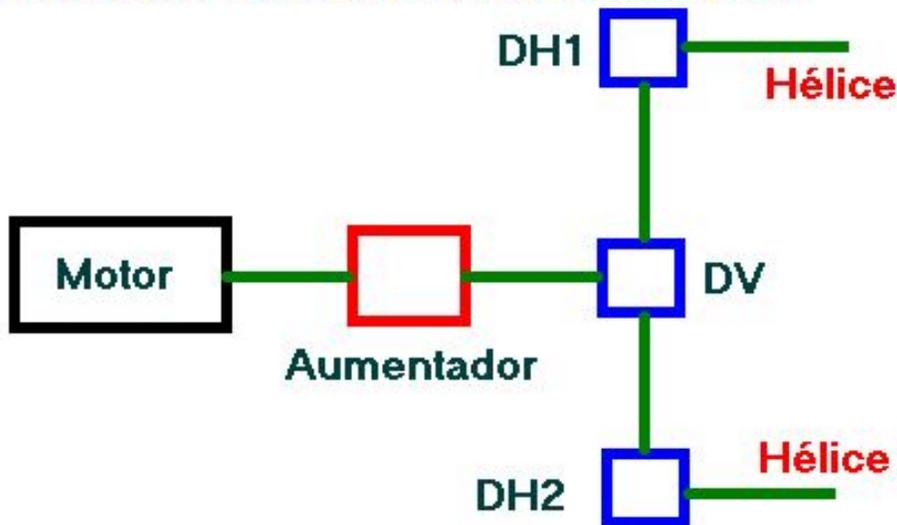
motor de popa Yamaha atinge, alias talvez atinja até uma velocidade maior. Obviamente só vai dar para você colocar um motor de Scania num barco se ele for grande. Porque o motor de Scania além de ser grande também é pesado.

Para girar duas hélices em um só motor você precisa fazer um esquema parecido com cambio de carro, ou seja, um diferencial. Só que o diferencial é outro redutor assim você vai ter que usar o esquema de dois redutores veja na teoria como fazer isso. Como o motor de Scania tem muita força com certeza só dá para você usar engrenagens no seu “aumentador”, catraca de moto e correia não agüentam a não ser que você utilize polia ou catraca grande o suficiente, veja na teoria que você vai ver o porque.

Você deve calcular o “aumentador” para que a saída dele forneça o dobro do torque necessário para girar a hélice do Yamaha de 150 HP e forneça o mesmo RPM que o motor Yamaha de 150 HP fornece. Depois no diferencial, esse torque é dividido em dois e o RPM não muda, assim cada hélice recebe o mesmo RPM e metade do torque que sai do “aumentador”. Para o diferencial fazer isso a coroa e o pinhão devem ter o mesmo número de dentes, ou seja, ser 1 para 1.

O esquema para fazer o motor girar duas hélices é parecido com a figura a seguir:

Um motor de Scania gira duas hélices



DV = Diferencial Divisor

DH1, DH2 = Diferencial para hélice

O “aumentador” aumenta o RPM do motor e reduz o torque dele, a saída do aumentador é ligada do diferencial divisor DV.

Esse diferencial DV é de 1 para 1, ou seja, a coroa e o pinhão têm o mesmo número de dentes. O papel do diferencial divisor DV é dividir o torque em 2 e manter o mesmo RPM, após passar neste diferencial divisor cada eixo que sai dele tem o mesmo torque e o mesmo RPM que a hélice necessita.

Então para alinhar os eixos na posição da hélice é necessário passar por outro diferencial de 1 para 1 para mudar a posição dos eixos, esse é o papel do diferencial DH1 e do diferencial DH2. A saída do diferencial DH1 é ligada na hélice 1, a saída do diferencial DH2 é ligada na hélice 2.

Você deve tomar o cuidado para que as duas hélices girem no mesmo sentido. Ou seja, você deve começar a projetar a partir da hélice. A saída do diferencial DH1 e do diferencial DH2 deve girar no mesmo sentido da hélice e as duas hélices devem girar no mesmo sentido. O diferencial DV deve girar no sentido que permita que a saída do diferencial DH1 e a saída do diferencial DH2 girem no mesmo sentido da hélice. Por fim a saída do “aumentador” deve

girar no sentido que permita os diferenciais DV, DH1 e DH2 girarem no sentido correto. Isto quer dizer que você deve construir o “aumentador” com duas engrenagens caso o motor gire no sentido contrario ao que você deseja, ou com três engrenagens caso o motor gire no sentido que você quer. Mas isso já é um detalhe de construção que é bom lembrar para não correr o risco do seu barco andar para trás ao invés de andar para frente! Ou que cada hélice gire para um lado.

Alias, repare que no cambio do carro acontece algo semelhante uma vareta do diferencial sai do cambio e movimentam as duas rodas de tração do carro, cada roda de tração é ligada numa vareta do diferencial. Cada roda recebe o mesmo RPM logo as duas têm a mesma velocidade escalar que é a velocidade do carro. Cada roda recebe metade da força logo também tem metade do torque, entretanto, a força que impulsiona o carro é a soma das forças na roda do carro logo é a mesma força que sai do diferencial, e também o torque total é a soma dos torques nas duas rodas de tração que é o mesmo torque que sai do cambio.

É importante que você saiba que o motor Yamaha de 150 HP fornece 150 HP para hélice dele, se você quiser usar duas hélices deste motor você tem que ter um motor de no mínimo 300 HP, 150 HP para cada hélice. No caso este motor de Scania no RPM de torque máximo a potência é de 303,84 HP assim ele serve.

No caso o motor da Scania tem um torque elevado mas um RPM baixo assim nós temos que fazer um “aumentador” para atingir o mesmo RPM que é fornecido para a hélice pelo motor de popa Yamaha de 150 HP. Vamos ver como fazer isso.

Especificação do motor de popa Yamaha de 150 HP

Potência máxima = 150 HP a 5.000 RPM

Torque máximo = 213,7132 N.m a 5.000 RPM

Redutor = 1,86 para 1

Então ele fornece para a hélice:

$$\text{Torque} = 1,86 \times 213,7132 = 397,5065 \text{ N.m}$$

$$\text{RPM} = \frac{5.000}{1,86} = 2.688,17 \text{ RPM}$$

Especificação do motor da Scania

$$\text{Potência} = 360 \text{ HP a } 1.600 \text{ RPM, torque} = 1.602,8494 \text{ N.m}$$

$$\text{Torque} = 1.665 \text{ N.m a } 1.300 \text{ RPM, potência} = 303,84 \text{ HP}$$

É importante salientar que este é um tipo de motor de Scania há vários tipos mais potentes que esse e também menos potentes que este.

Nesse caso repare que o torque é muito superior ao necessário, porém o RPM não é suficiente, assim é preciso um “aumentador” para aumentar esse RPM. Neste caso apenas é melhor calcular o “aumentador” pelo RPM e ver se há torque suficiente para movimentar as duas hélices do Yamaha de 150 HP.

“Aumentador” necessário:

$$\text{aumentador} = \frac{2.688,17}{1.300} = 2,0678$$

Agora nos temos que ver se há torque suficiente.

Vamos ver como fica o torque depois desse “aumentador”:

$$\text{Torque} = \frac{1.665}{2,0678} = 805,2035 \text{ N.m}$$

Cada hélice do motor de popa Yamaha de 150 HP precisa de torque de 397,5065 N.m, assim duas hélices precisam de 795,013 N.m. O torque fornecido é maior que esse valor logo é possível girar as duas hélices.

Valores de engrenagens ou catracas ou polias que mais se aproximam desse “aumentador”:

44 – 91

59 – 122

Para ver todos os valores compatíveis executem o programa reducao.exe com o valor 2.0678

Resumo:

Motor de popa Yamaha de 150 HP com redutor de 1,86 para 1

O motor gira em 5.000 RPM e fornece para a hélice:

Torque = 397,5065 N.m

RPM = 2.688,17 RPM

Motor de Scania com “aumentador” de 2,0678 para 1

O motor gira em 1.300 RPM e fornece depois do “aumentador”

Torque = 805,2035 N.m

RPM = 2.688,17 RPM

Depois a saída do aumentador passa por um diferencial 1 para 1 só para poder girar duas hélices, assim cada hélice recebe:

Torque = 402,60175 N.m

RPM = 2.688,17 RPM

O barco gira duas hélices do motor de popa Yamaha de 150 HP.

Quanto à velocidade é difícil dizer que velocidade o barco atinge mas com certeza é a mesma velocidade que um barco com dois motores Yamaha de 150 HP atinge.

Se um barco com dois motores Yamaha de 150 HP atingir 80 Km/h contra a correnteza, o mesmo barco com o motor de Scania gira as duas hélices e contra a mesma correnteza atinge 80 Km/h.

Resumindo, vai ser um barco rápido e que tem uma força tremenda. Eu acredito que um barco que tenha dois motores Yamaha de 150 HP deve ser um iate grande e rápido ou um rebocador, neste

caso o motor de Scania substitui os dois motores Yamaha de 150 HP. Com certeza isso tem aplicação não só para iate mas para barcos de pesca e barcos de corrida. Eu tenho certeza que se você quiser você encontra aplicação para isso!

Será que as nossas contas estão corretas? Vamos verificar pela fórmula de potência.

Vamos calcular primeiro qual é a potência que o motor de Scania fornece no RPM de torque máximo que é onde o motor trabalha.

Torque máximo = 1.665 N.m a 1.300 RPM

Lembrando da fórmula:

Potência = torque x velocidade angular

$$P = T \times W$$

$$P = 1.665 \times 2 \times \pi \times \left(\frac{1.300}{60} \right) = 303,84 \text{ HP}$$

Para cada hélice é fornecido:

Torque = 402,60175 N.m

RPM = 2.688,17 RPM

Então a potência de cada hélice é:

$$P = 402,60175 \times 2 \times \pi \times \left(\frac{2.688,17}{60} \right) = 151,92 \text{ HP}$$

Logo as duas hélices têm 303,84 HP que é a potência do motor. Portanto, nossos cálculos estão corretos.

Força no dente da engrenagem, ou na corrente, ou na correia, esta é a força aplicada nas engrenagens do “aumentador”:

Raio em centímetros	Força em N	Equivalente em Kg
1	166.500	16.989,7959
2	83.250	8.494,898
3	55.500	5.663,2653
4	41.625	4.247,449
5	33.300	3.397,9592
6	27.750	2.831,6327
7	23.785,7143	2.427,1137
8	20.812,5	2.123,7245
9	18.500	1.887,7551
10	16.650	1.698,9796

Repare que os valores de força são elevados porque o motor tem um torque elevado, você deve tomar muito cuidado na hora de fazer o “aumentador” para ter certeza que os dentes da engrenagem agüentam a força aplicada neles. A mesma observação vale para corrente de moto e para correia, veja a teoria para uma discussão mais detalhada.

No caso do motor de Scania pode ser mais fácil e mais recomendável fazer o “aumentador” com engrenagens porque você vai ter que usar engrenagens no diferencial assim você fica com alguma coisa mais compacta. Não é difícil fazer um motor girar duas hélices. É só colocar diferencial que no nosso caso deve ser 1 para 1. A saída do aumentador é ligada no diferencial DV logo é preciso saber que força vai estar aplicada nos dentes da engrenagem do diferencial DV.

Força nos dentes das engrenagens do diferencial DV:

Raio em centímetros	Força em N	Equivalente em Kg
1	80.520,35	8.216,3622
2	40.260,175	4.108,1811
3	26.840,1167	2.738,7874
4	20.130,0875	2.054,0906
5	16.104,07	1.643,2724
6	13.420,0583	1.369,3937
7	11.502,9071	1.173,766
8	10.065,0437	1.027,0453
9	8.946,7056	912,9291
10	8.052,035	821,6362

Repare que a força é menor se comparada com a força que os dentes do “aumentador” estão sujeitos porque o aumentador está ligado no motor da Scania e o diferencial DV está ligado na saída do “aumentador” e o “aumentador” reduz o torque por isso a força é menor.

A saída do diferencial DV é ligada no diferencial DH1 e no diferencial DH2, logo é preciso saber qual é a força aplicada nos dentes da engrenagem do diferencial DH1 e nos dentes do diferencial DH2. A força é a mesma porque os dois estão sujeitos ao mesmo torque.

Força nos dentes do diferencial DH1 e DH2:

Raio em centímetros	Força em N	Equivalente em Kg
1	40.260,175	4.108,1811
2	20.130,0875	2.054,0906
3	13.420,0583	1.369,3937
4	10.065,0437	1.027,0453
5	8.052,035	821,6362
6	6.710,0292	684,6969
7	5.751,4536	586,883
8	5.032,5219	513,5226

9	4.473,3528	456,4646
10	4.026,0175	410,8181

Repare que a força é menor porque o torque é menor, o torque foi dividido em dois pelo diferencial DV.

Este esquema de colocar um motor de Scania em um barco e girar duas hélices é mais difícil de ser feito e também mais caro. Porém, não é impossível de ser feito! Alias, existem barcos que giram duas hélices e tem um só motor, ou seja, utilizam um esquema deste tipo.

Quanto às engrenagens é quase certo que você vai ter que mandar fazer. Neste caso utilize as engrenagens do cambio da Scania como modelo e mande fazer engrenagens com o número de dentes que você precisa. Faça a engrenagem do mesmo tamanho e da mesma largura que a engrenagem do cambio da Scania que com certeza ela agüenta a força do motor.

No caso do diferencial talvez exista um disponível no mercado, mas ele é formado por duas engrenagens em planos diferentes, vá num ferro velho e veja um cambio de carro aberto que você vai ter idéia de como é um diferencial. É o famoso esquema da coroa e pinhão.

Estes são detalhes da construção, um torneiro mecânico de sua confiança pode fazer a engrenagem e ajudar na construção do “aumentador” e do diferencial. Agora se você não quer ter trabalho nenhum então compre um barco que já vem com dois motores de 150 HP e pague o preço que for pedido!

Redutor

Agora chegou a hora de mostrar como seria um redutor e alguns detalhes da sua fabricação. É importante que você saiba que um “aumentador” é construído da mesma forma. Para você obter o “aumentador” é só você construir o redutor e depois ligar a saída do redutor no motor e a entrada na hélice. Fazendo isso você aumenta o RPM e reduz o torque. No “aumentador” a parte motriz (a que é ligada no motor) é a engrenagem grande, ou catraca grande, ou polia grande. A saída é a engrenagem pequena, ou catraca pequena, ou polia pequena. Resumindo, se você precisar de um “aumentador” construa um redutor normal e depois ligue ele invertido. Caso esteja em dúvida leia a teoria que lá está demonstrado todas as fórmulas.

Um detalhe importante, que é válido para qualquer tipo de redutor que você construir, é o **acoplamento do redutor com o motor**.

O eixo do motor idealmente só deveria girar, porém o eixo pode se movimentar alguns milímetros para o lado e para cima, ou seja, numa direção radial ao eixo, este movimento radial é mínimo e geralmente é compensado pelo próprio mancal do motor. Desta forma nós não precisamos nos preocupar com esse movimento.

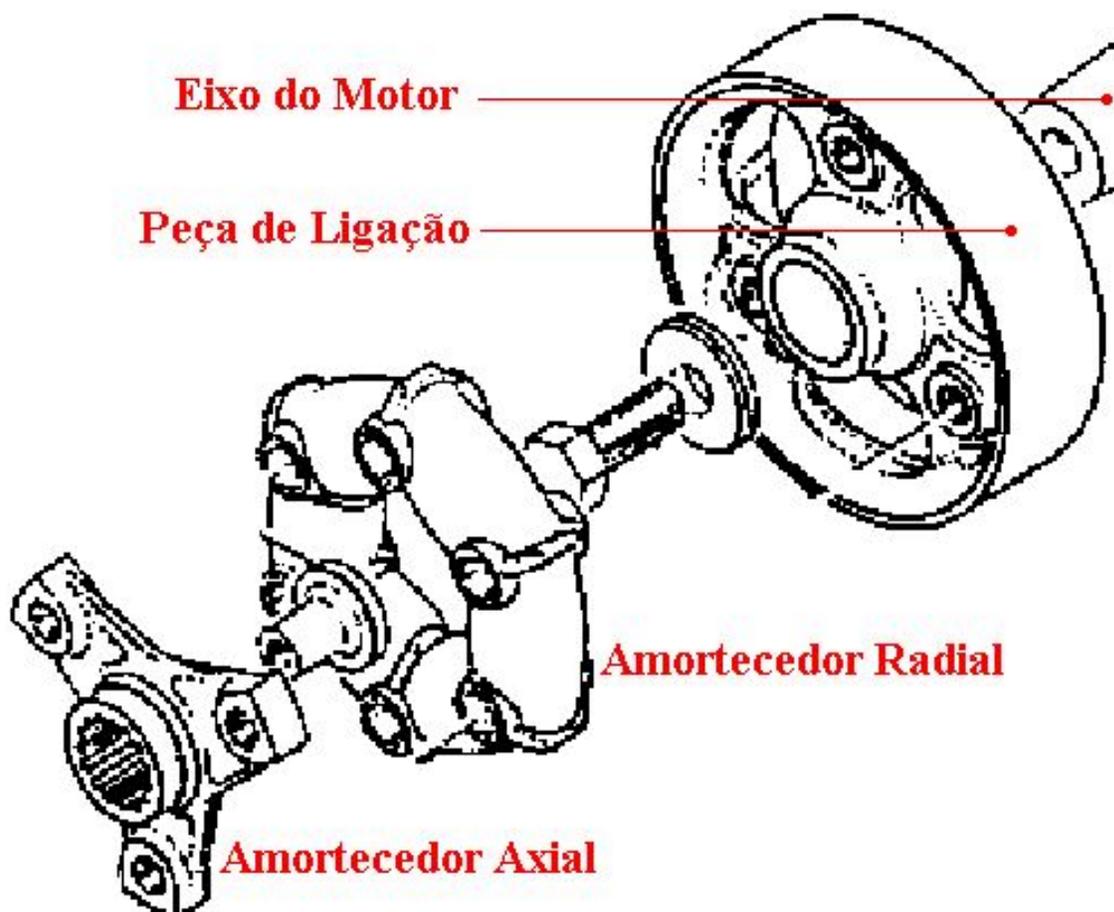
O problema mesmo é o movimento que o eixo do motor pode fazer para frente ou para trás, ou seja, **o movimento axial**. Para evitar esse movimento axial o redutor deve ser ligado com o motor de tal forma que o eixo do motor possa fazer esse movimento de ir para frente e para trás sem transmitir força axial para o redutor. Não é bom que força axial seja transmitida para o redutor porque senão um dente da engrenagem ficará roçando no outro, o mesmo vale para corrente de moto e correia.

No mesmo local da INTERNET que este texto está disponível há documentos do fabricante do ROTAX mostrando como a caixa de redução do ROTAX é por dentro. Isto é muito útil porque você

pode ter uma idéia de como uma caixa de redução é por dentro e também como é o acoplamento da caixa de redução com o motor.

Outra maneira de você ter uma idéia de como este acoplamento do redutor com o motor é feito é ver um cambio desmontado num ferro velho ou numa oficina. Ou seja, tenha em mente que um redutor é um cambio de uma marcha só assim se você ver um cambio desmontado você pode ver como as coisas são construídas. Obviamente você não precisa fazer alguma coisa tão sofisticada, mas também não deve fazer uma “gambiarra”.

Para você poder ter uma idéia melhor vou explicar como é o acoplamento da caixa de redução tipo C com eixo do motor ROTAX, veja a figura a seguir:



O amortecedor radial é uma peça de borracha, um parafuso é preso na peça de ligação e o outro no amortecedor axial. Entre um

parafuso e outro há borracha para amortecer vibrações provenientes do eixo do motor, ou seja, variações muito bruscas de RPM que causam vibração radial no eixo do motor. Essa vibração é proveniente da explosão dos pistões e não há nada que você possa fazer para evita-la. Geralmente esta vibração não é muito grande e também não é muito problemática para hélices. Este tipo de amortecedor radial também é utilizado em alguns automóveis de luxo, como por exemplo, o Alfa Romeo antigo. Com certeza existem outros automóveis que utilizam este amortecedor, isso significa que não é difícil de encontrar para comprar. Este amortecedor não é tão crítico para o nosso caso porque a hélice é muito resistente você usa o amortecedor se você quiser.

O amortecedor axial é essencial e deve ser utilizado. Ele é uma peça de metal e no local onde o eixo do motor engata nele há folgas nos dentes para que o eixo do motor deslize ali dentro sem transmitir o movimento axial para frente. Ou seja, o eixo do motor fica livre para se mover para frente e para trás e com isso não transmite qualquer vibração para a engrenagem do redutor. O amortecedor axial é ligado no amortecedor radial através de parafusos, o amortecedor radial é ligado na peça de ligação e a peça de ligação é ligada no eixo do motor. A engrenagem pequena do redutor é ligada no amortecedor axial, desta forma as engrenagens ficam livres de qualquer vibração proveniente do motor!

Não é por acaso que o fabricante do ROTAX se preocupou em eliminar qualquer vibração. A vibração é o inimigo número um do seu redutor!

A vibração além de estragar as engrenagens ainda estraga os rolamentos, estraga o local onde a caixa é presa no motor e também dependendo da hélice estraga a hélice. **Resumindo, a vibração estraga o seu redutor e deve ser eliminada ao máximo possível.**

No cambio do carro o amortecedor axial é o próprio eixo do cambio que entra dentro do motor e pode deslizar para frente e para trás sem problema algum. Alguns automóveis também têm o amortecedor radial, mas ele não é tão necessário.

Obviamente, você não precisa fazer algo tão sofisticado quanto este acoplamento que o ROTAX utiliza. Você só precisa fazer um amortecedor axial e ligar a entrada do seu redutor nele. Ou seja, ligar a engrenagem pequena no amortecedor axial. Se você quiser pode usar o amortecedor radial também, mas ele não é tão necessário assim!

Outro detalhe que deve ser considerado e que vale para qualquer tipo de redutor que você construir é que toda a força para movimentar o avião ou o barco vem da hélice. Isto significa que esta força é grande. Esta força tem que ser descarregada no rolamento onde está ligado o eixo da hélice, esta força é de natureza axial, ou seja, o rolamento vai ter que suportar força axial, o rolamento de tipo cônico é o indicado. O rolamento ideal é o rolamento de roda de carro, este tipo de rolamento agüenta força radial e força axial grandes, leia a teoria para detalhes.

A hélice deve descarregar a força no rolamento, o rolamento deve transmitir esta força para a estrutura do avião ou do barco, ou para o motor, o rolamento nunca deve transmitir a força para eixo virabrequim do motor! Leia a teoria que você saberá porque.

No caso de ser construída uma caixa de redução, o rolamento deve transmitir esta força para a parede da caixa e a parede da caixa transmite a força para a estrutura do avião ou barco ou para o motor.

Repare como o ROTAX 582 transmite a força, a hélice transmite a força para o rolamento da caixa de redução, o rolamento transmite a força para a parede da caixa de redução, a parede da caixa está parafusada no motor logo transmite a força para o motor. O motor está parafusado na estrutura do Trike logo transmite a força para a estrutura do Trike, com esta força o Trike é impulsionado para frente com velocidade e consegue voar. Você deve fazer algo semelhante a este esquema.

Vamos agora analisar os tipos de redutores que você pode construir:

Redutor construído com polia e correia comum, ou polia dentada e correia dentada, ou catraca e corrente de motocicleta

Este é o tipo mais simples e fácil de construir e também é o mais barato.

É formado por duas polias comuns, ou duas polias dentadas, ou duas catracas de motocicleta.

A saída do redutor gira no mesmo sentido do motor.

Para ver as vantagens e desvantagens deste redutor leia a teoria que lá está tudo explicado.

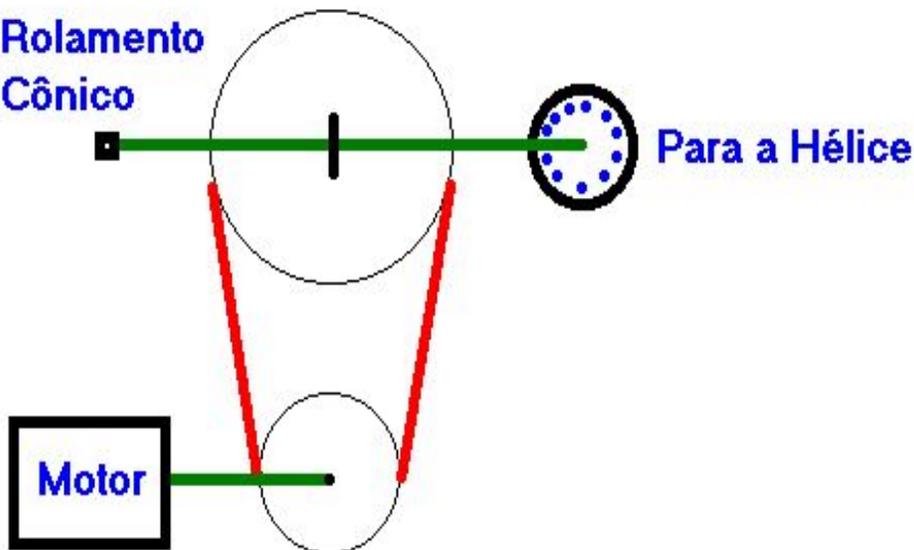
O esquema do redutor é mostrado na figura a seguir:

Esquema do Redutor usando Corrente ou Polia

Em Verde = Eixo

Em Vermelho = Correia ou Corrente

Rolamento
Cônico



O motor é ligado na polia (ou catraca) pequena e a hélice é ligada na polia (ou catraca) grande. Se você quiser um “aumentador” o esquema é o mesmo é só ligar o motor na polia (ou catraca) grande e a hélice na polia (ou catraca) pequena.

O rolamento deve suportar força axial, a força radial no rolamento é pequena. Este rolamento deve ser do tipo cônico, o rolamento de roda de carro é o ideal.

O redutor tem que ficar parado e não girar junto com o motor, assim ele deve ficar parafusado no motor ou na estrutura do avião ou do barco. É importante que ele seja bem preso para não vibrar, ou se vibrar que a vibração seja pequena. Verifique como um cambio de carro fica preso no motor que você vai ter idéia de como prender o seu redutor.

Os rolamentos têm que estar bem presos e não pode haver folga senão a polia vibra. Qualquer vibração do motor deve ser atenuada o máximo possível para não ser transmitida para o redutor.

Qualquer outro detalhe só vai aparecer na hora de construir o redutor e deve ser considerado, cuidado com vibração que isso pode danificar o redutor. É difícil descrever mais detalhes porque depende de como o redutor vai ser construído e em qual motor ele vai ser ligado. O ideal é que ele fique parecido com o redutor que vem nos motores ROTAX ou com o redutor que vem no motor de popa.

Redutor construído com engrenagens

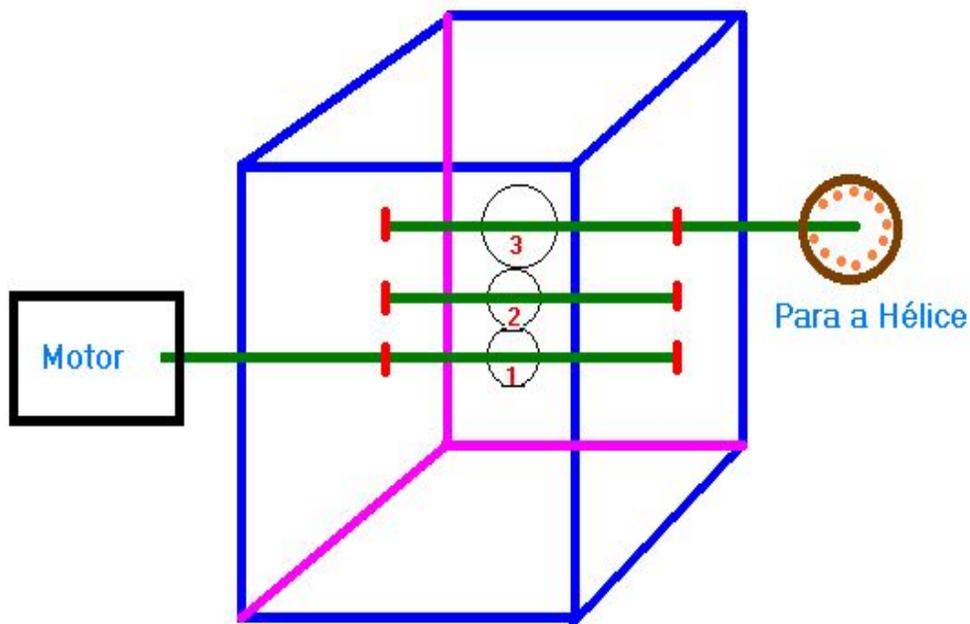
É o tipo mais difícil de ser construído e também com certeza é o mais caro, mas não é impossível de ser feito! Porém é o que fica menor e talvez mais leve e pode ser usado em qualquer tipo de motor porque todo motor tem um cambio próprio para ele, logo tem engrenagens que suportam a força do motor. Assim você pode usar as engrenagens de cambio de carro como modelo ou se alguma servir usar ela própria.

O tipo de rolamento que você vai precisar depende do tipo de engrenagem que você usar, leia a teoria que lá está explicado em detalhes. Se você usar engrenagens com dentes retos ou engrenagens

espinha peixe o rolamento pode ser comum, se você usar engrenagens helicoidais (igual à de cambio de carro) você terá que usar rolamento que suporte força axial. Na pratica utilize rolamento de roda de carro que suporta muito bem a força axial e a força radial e ainda é barato e fácil de encontrar.

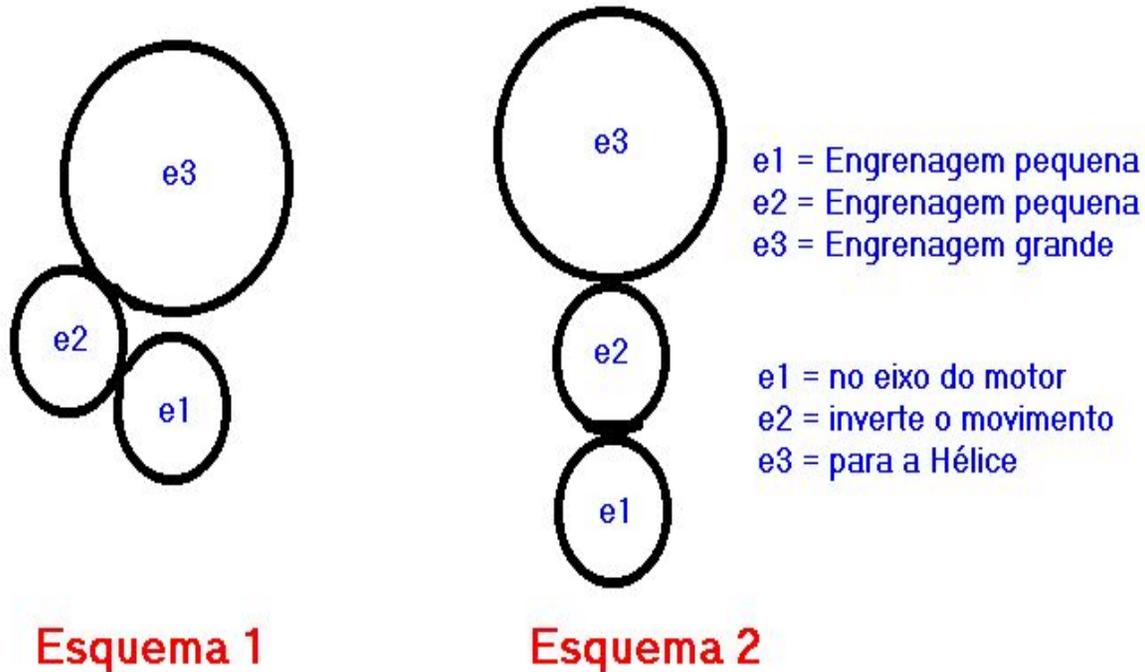
As engrenagens terão que ficar dentro de uma caixa fechada e dentro desta caixa deverá ter óleo para lubrificar as engrenagens. O esquema deste redutor seria da seguinte forma:

Caixa de Redução usando engrenagens Vista de Fora



Visto pela frente:

Caixa de Redução usando engrenagens Vista de Frente

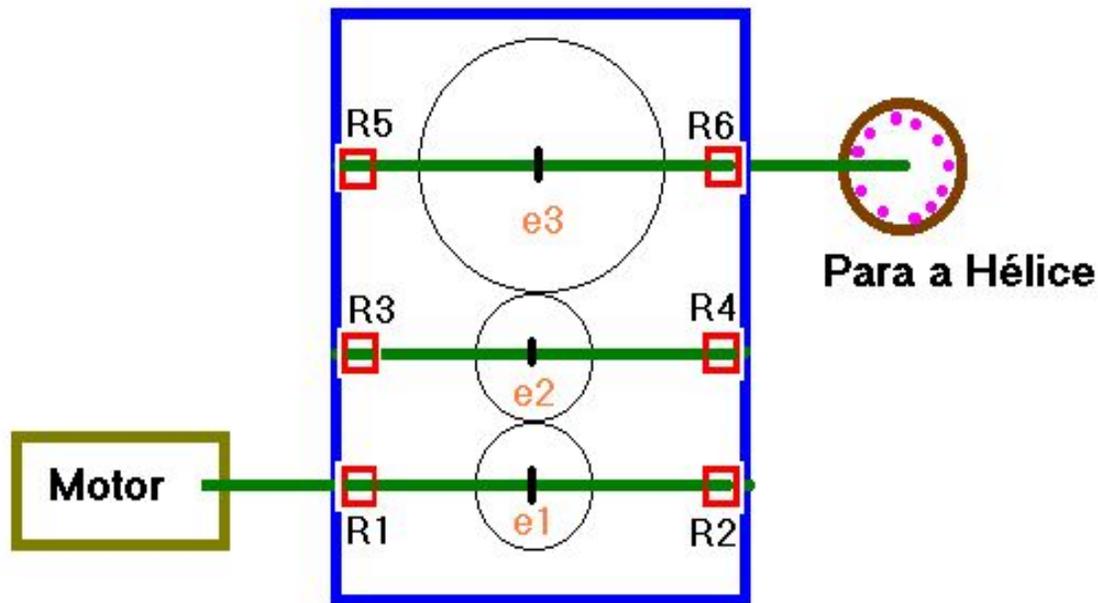


O esquema 1 permite que o redutor fique menor que no esquema 2. Este redutor gira no **mesmo sentido** do motor se você quer um redutor que gire no **sentido contrário** do motor então você deve retirar a engrenagem e2 o resto continua a mesma coisa.

Eu mostrei na parte teórica que a engrenagem e2 não influencia na redução assim ela pode ser de qualquer tamanho desde que os dentes se encaixem na engrenagem e1 e na engrenagem e3.

Para deixar o redutor menor e mais leve a engrenagem e2 pode ser um eixo com uma engrenagem bem pequena o papel da engrenagem e2 é inverter o sentido do movimento e deixar o redutor girando no mesmo sentido do motor. Vamos ver os como ficam os rolamentos:

Esquema do Redutor usando Engrenagens



Em azul = Parede da Caixa de Redução

Em Verde = Eixo

Em Vermelho = Rolamentos

e1 , e2 , e3 = Engrenagens

Conforme eu disse anteriormente o tipo de rolamento que você deve utilizar depende do tipo de engrenagem.

O rolamento R6 tem que ser do tipo cônico porque toda a força que impulsiona o avião ou barco vem da hélice e vai ficar em cima do rolamento R6. Os rolamentos R1 e R6 devem ser também do tipo retentor para não vazar óleo de dentro da caixa. Na loja que vende rolamentos você encontra todo tipo de rolamento inclusive este que é muito utilizado. Se você utilizar engrenagens de dentes retos ou espinha de peixe os rolamentos R1, R2, R3, R4 e R5 podem ser do tipo comum a força radial não é significativa. A força axial não existe.

Se você usar engrenagem helicoidal (igual a do cambio de carro) então todos os rolamentos deverão ser do tipo cônico para suportar a força axial. A força radial é insignificante. Na prática

você pode utilizar rolamento de roda de carro que se serve para qualquer tipo de dente que você utilize.

Não há necessidade de encher a caixa com óleo, só coloque o suficiente para que a engrenagem e l passe os dentes pelo óleo, assim ela espalha o óleo pelas outras. O tipo de óleo pode ser o usado em cambio ou diferencial.

As engrenagens devem engatar com perfeição senão ela quebra, um torneiro mecânico pode ajudar muito você na hora de fazer esta caixa.

A caixa não deve girar ela tem que ficar parada. Assim ela deve ser parafusada no motor ou na estrutura do avião ou do barco. Ela deve ficar bem presa para não vibrar ou se vibrar que seja o mínimo possível. Toda vibração deve ser diminuída ao máximo possível para não danificar o redutor.

Os rolamentos têm que estar bem presos e não pode haver folga senão a engrenagem vibra. Qualquer vibração do motor deve ser atenuada o máximo possível para não ser transmitida para o redutor.

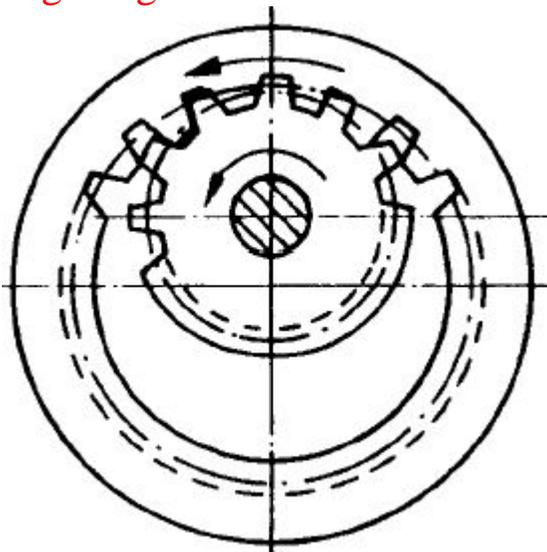
A parede da caixa tem que ser resistente porque a força da hélice vai descarregar no rolamento R6 e este rolamento transmitirá esta força para a parede da caixa. Esta força é a força que impulsiona o avião ou barco assim ela geralmente é grande. O ideal é você construir a caixa de tal forma que a força descarregada na parede dela seja transmitida para o motor ou para a estrutura do avião ou do barco. Veja uma caixa de redução do ROTAX 582 que você vai perceber que a força proveniente da hélice é descarregada no rolamento e o rolamento transmite esta força para a parede da caixa, a parede da caixa transmite a força para o motor e impulsiona o Trike.

A caixa não deve esquentar, se isso ocorrer ou não há lubrificação suficiente ou as engrenagens estão muito justas.

Qualquer outro detalhe só vai aparecer na hora de construir o redutor e deve ser considerado, cuidado com vibração que isso pode danificar o redutor. É difícil descrever mais detalhes porque depende de como o redutor vai ser construído e em qual motor ele vai ser

ligado. O ideal é que ele fique parecido com o redutor que vem nos motores ROTAX ou com o redutor que vem no motor de popa.

Há outras duas maneiras de construir o redutor com engrenagens: A engrenagem interna e o Sistema Planetário de engrenagens. Vamos ver cada uma delas. Veja a figura:

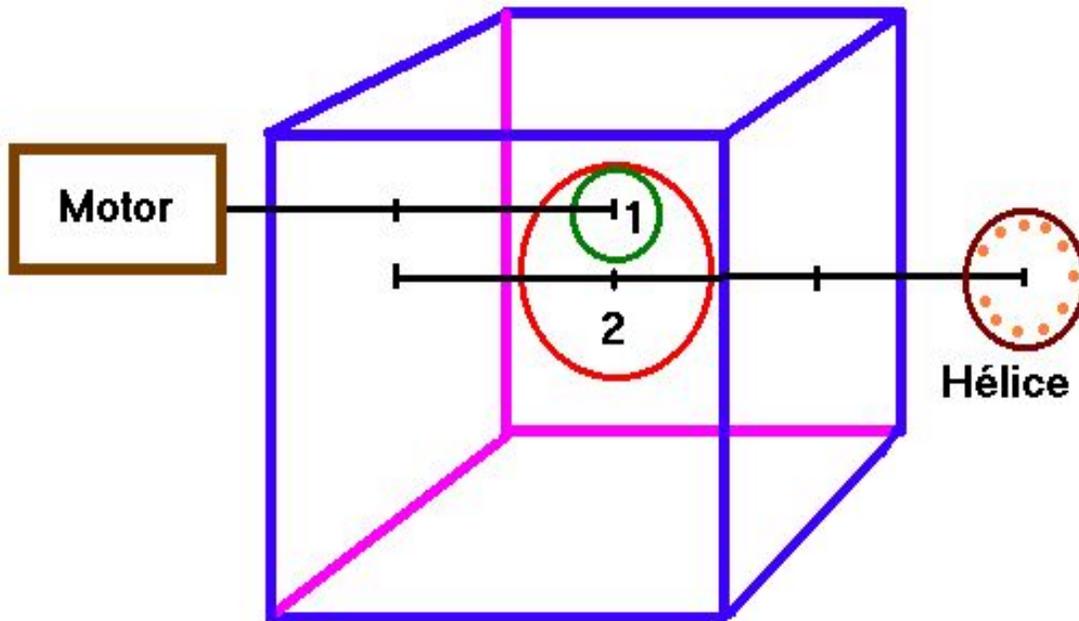


A figura representa um sistema de engrenagem interna. **A saída do redutor gira no mesmo sentido do motor.** O motor é ligado na engrenagem pequena e a hélice é ligada na engrenagem grande. A engrenagem interna parece uma lata de doce, o interior dela é oco e na borda estão os dentes. O exterior dela é maciço e o eixo é ligado no fundo da engrenagem (como se ligasse no fundo da lata de doce). Este tipo de engrenagem é encontrado em betoneira de concreto.

O tipo de dente pode ser de qualquer tipo. O valor da redução é dado pelo número de dentes da engrenagem interna dividido pelo número de dentes da engrenagem menor.

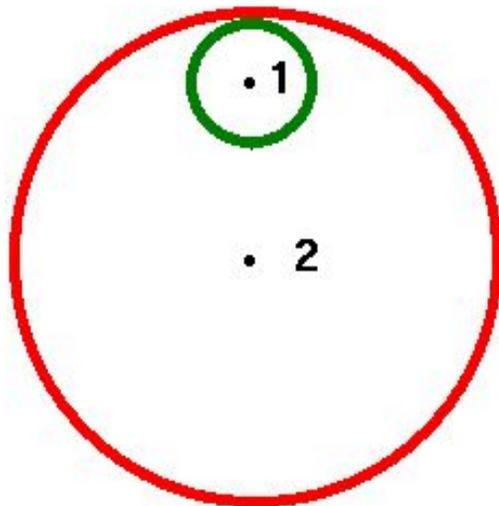
Vamos ver como ficaria uma caixa de redução utilizando este tipo de engrenagens:

Redutor com engrenagem Interna Vista de Fora



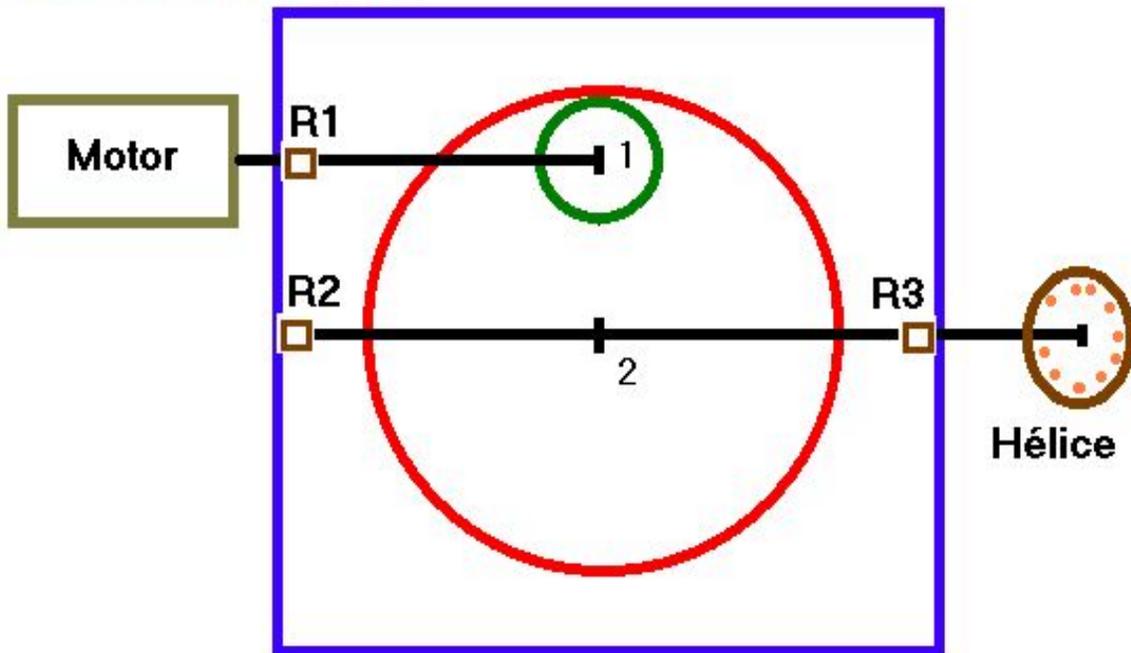
Vista de frente:

Redutor usando engrenagem interna vista de frente



Vista dos rolamentos:

Redutor usando engrenagem interna Vista dos Rolamentos



A engrenagem 1 é a engrenagem pequena e é ligada no motor, a engrenagem 2 é a engrenagem grande e é do tipo de dente interno o fundo dela é ligado na hélice. O rolamento R3 tem que ser do tipo cônico porque a hélice vai fazer força nele, ou seja, força axial. O rolamento R3 deve ser do tipo retentor para não vazar óleo de dentro da caixa. A força radial é insignificante.

O tipo de rolamento de R1 e R2 dependem do tipo de dente utilizado, se for dente reto ou dente espinha de peixe então os rolamentos podem ser do tipo simples porque não há força axial, a força radial é desprezível. O rolamento R1 tem que ser também do tipo retentor para não vazar óleo da caixa. Se for usado dente tipo helicoidal então todos os rolamentos têm que ser do tipo cônico, ou seja, que suportem força axial a força radial é desprezível. Na prática você pode utilizar rolamento de roda de carro que serve para qualquer tipo de engrenagem.

Dependendo do valor do redutor pode não ser possível colocar o rolamento R2 porque a engrenagem 1 fica no lugar do eixo. Neste

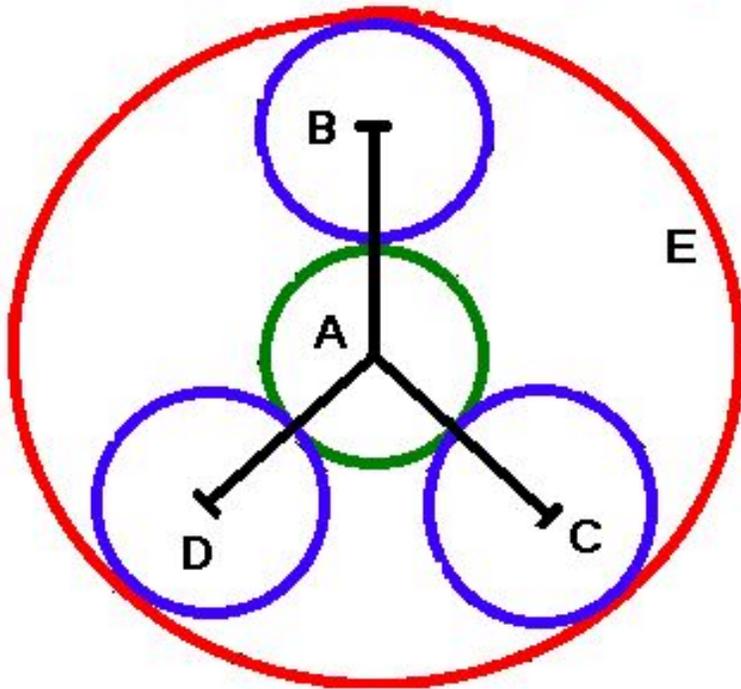
caso então a engrenagem grande (a interna) deve ser presa apenas com o rolamento R3 e o eixo que sai dela e vai para R2 não deve existir. A engrenagem 1 faz o papel do rolamento R2 neste caso. Se a engrenagem grande (a interna) for bem presa no rolamento R3 não há nenhum problema. Este tipo de redutor fica mais fácil de fazer porque no máximo só utiliza três rolamentos mas na maioria dos casos só utiliza dois rolamentos. Este tipo de redutor sempre gira no sentido do motor se você quer um que gire no sentido contrário do motor este redutor não serve.

Todas as outras considerações feitas para o primeiro tipo de redutor que utiliza engrenagens são válidas para esse tipo de redutor também. É importante que você saiba que as engrenagens devem ficar dentro de uma caixa e dentro desta caixa tem que ter óleo. Novamente eu aviso, elimine o máximo possível qualquer tipo de vibração porque a vibração pode danificar o redutor. Os eixos devem estar bem presos no rolamento para a engrenagem não vibrar.

O último tipo é o mais complicado de fazer e de entender tratasse do **sistema de engrenagens planetário**. É difícil de fazer, mas não é impossível.

Veja a figura a seguir:

Sistema planetário de engrenagens



A = Engrenagem Motriz
B, C, D = Engrenagem Satellite
E = Engrenagem Movida de dentes internos

Este tipo de sistema é utilizado no cambio da Scania. O eixo do motor é ligado na engrenagem A que é chamada de engrenagem motriz. A engrenagem A transmite a rotação para as engrenagens B, C, e D. As engrenagens B, C, e D são chamadas de engrenagem satélite. As engrenagens B, C e D transmitem a rotação para a engrenagem E que é do tipo de dentes internos. Do outro lado da engrenagem E (no fundo dela) sai o eixo que liga na hélice. As engrenagens B, C e D devem ser do mesmo tipo e do mesmo tamanho. A redução é calculada dividindo o número de dentes da engrenagem interna (E) pelo número de dentes da engrenagem motriz (A). As engrenagens B, C e D não influem na redução seu papel é só transmitir rotação para a engrenagem E. **Outra coisa**

importante é que a saída deste redutor sempre é no sentido inverso da rotação do motor, não há como mudar.

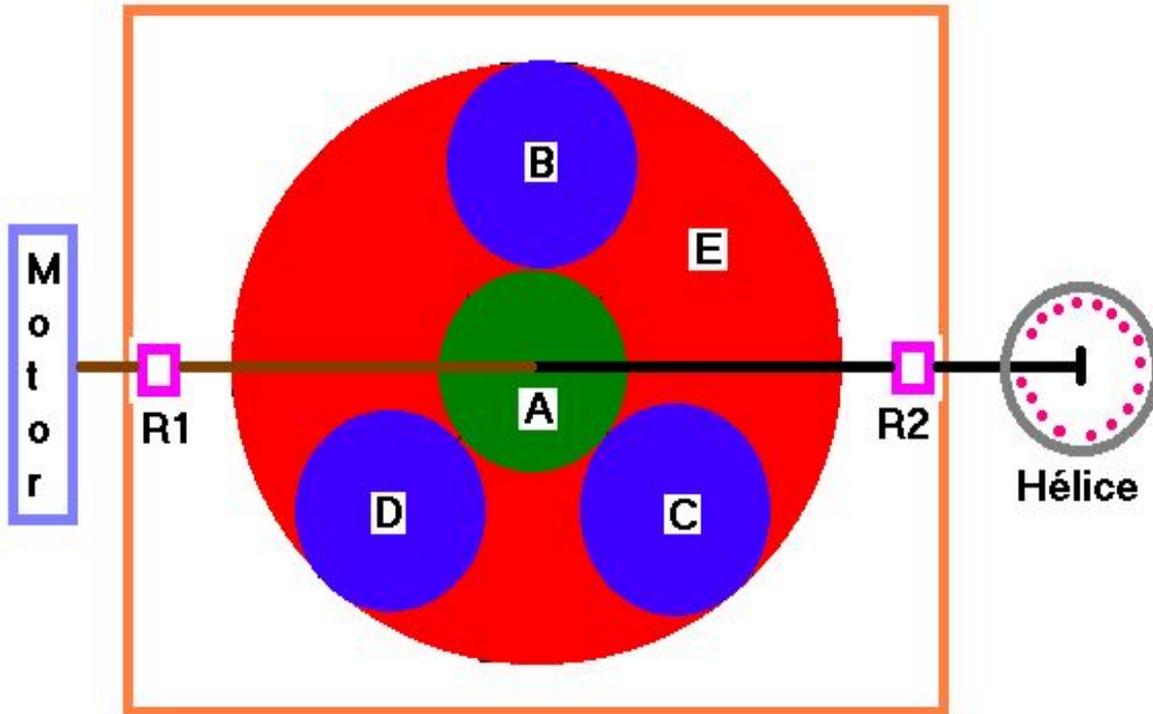
Veja a teoria para ver as vantagens deste tipo de sistema e a dedução das fórmulas.

Outro fator importante de notar é que cada engrenagem satélite está presa num braço que sai do eixo da engrenagem A este braço está em preto no desenho. Este braço não se move ele fica parado, quem se move são as engrenagens que giram em torno do rolamento que está na ponta de cada braço, ou seja, as engrenagens A, B, C e D não mudam de posição elas ficam fixas no lugar delas elas apenas giram e com isso transmitem rotação para a engrenagem E. A engrenagem E gira e transmite rotação para a hélice no sentido contrário do motor. Como as engrenagens B, C e D não mudam de posição e apenas giram o braço que ligam elas na engrenagem A deve ser preso na parede da caixa de redução, alias o papel do braço é manter as engrenagens B, C e D na posição delas. Se você não quiser utilizar o braço então vai ter que colocar um eixo para cada engrenagem satélite e prender este eixo na parede da caixa as engrenagens devem apenas girar e não mudar de posição. Eu acredito que usar o braço é mais fácil porque você pode soldar ele na parede da caixa de redução você é que decide se quer usar o braço ou eixo nas engrenagens satélites.

Vamos ver como ficaria agora este sistema planetário de engrenagens dentro da caixa de redução.

Veja a figura a seguir:

Sistema Planetário de Engrenagens



Eixo Marrom Vem do motor e Liga em A

Eixo Preto Sai da Engrenagem interna E e Liga na Hélice

A engrenagem motriz A está em verde e está ligada no eixo do motor (o eixo está em marrom). As engrenagens satélites B, C e D não mudam de posição apenas giram elas estão representadas em azul. A engrenagem interna E está representada em vermelho e gira no sentido contrário do motor. No fundo da engrenagem E está ligado um eixo (em preto) que vai ligado na hélice.

Os tipos de dentes das engrenagens podem ser de qualquer tipo desde que todos sejam do mesmo tipo e se encaixem perfeitamente. O rolamento R2 tem que ser do tipo cônico porque a força da hélice está sobre ele, ou seja, vai ter que suportar força axial a força radial é desprezível. E também tem que ser do tipo retentor para não vazarem óleo para fora da caixa. A parede da caixa está em laranja neste desenho. O tipo de rolamento de R1 vai depender do tipo de dente das engrenagens. Se for dente reto ou dente espinha de peixe o rolamento pode ser comum porque não há força axial a força radial é

desprezível. Se for dente helicoidal o rolamento R1 tem que ser do tipo cônico, ou seja, que suporte força axial a força radial é desprezível. O rolamento R1 também tem que ser do tipo retentor para não vazar óleo da caixa. Na prática você pode usar rolamento de roda de carro que serve para qualquer tipo de dente de engrenagem.

Tanto para este tipo de redutor quanto para o outro tipo de engrenagens internas mostrado anteriormente se você quiser um aumentador é só construir o redutor normalmente e ligar a saída do redutor no motor e a entrada do redutor na hélice no caso a saída do redutor é a engrenagem interna E a entrada do redutor é a engrenagem A.

A parede da caixa tem que ser resistente porque a força da hélice vai descarregar no rolamento R2 e este rolamento transmitirá esta força para a parede da caixa. Esta força é a força que impulsiona o avião ou barco assim ela geralmente é grande. O ideal é você construir a caixa de tal forma que a força descarregada na parede dela seja transmitida para o motor ou para a estrutura do avião ou do barco. Veja uma caixa de redução do ROTAX 582 que você vai perceber que a força proveniente da hélice é descarregada no rolamento e o rolamento transmite esta força para a parede da caixa, a parede da caixa transmite a força para o motor e impulsiona o Trike.

A caixa não deve esquentar, se isso ocorrer ou não há lubrificação suficiente ou as engrenagens estão muito justas.

Todas as outras considerações feitas para o primeiro tipo de redutor que utiliza engrenagens são válidas para esse tipo de redutor também. É importante que você saiba que ele deve ficar dentro de uma caixa e dentro desta caixa tem que ter óleo. Novamente eu aviso, elimine o máximo possível qualquer tipo de vibração porque a vibração pode danificar o redutor e os eixos devem estar bem presos no rolamento para a engrenagem não vibrar.

Qualquer outro detalhe só vai aparecer na hora de construir o redutor e deve ser considerado, cuidado com vibração que isso pode danificar o redutor. É difícil descrever mais detalhes porque depende

de como o redutor vai ser construído e em qual motor ele vai ser ligado. O ideal é que ele fique parecido com o redutor que vem nos motores ROTAX ou com o redutor que vem no motor de popa.

Eu acho que se o seu problema é diminuir força no dente use uma engrenagem que tenha um raio médio maior e com dentes grandes e largos, se mesmo assim não for suficiente então coloque duas engrenagens lado a lado (igual roda traseira de caminhão). Você é que decide se vale à pena fazer o sistema planetário de engrenagens ou usar o esquema de engrenagens lado a lado. Qualquer dúvida a respeito de força no dente de engrenagem leia a teoria que lá está explicado em detalhes.

O sistema planetário é utilizado no cambio da Scania e com certeza você não vai precisar usar este sistema.

O sistema planetário é difícil de ser construído, mas não é impossível assim você decide se vale à pena construir ou não.

Conclusão

Eu espero que este documento tenha sido útil para você e que tenha esclarecido todas as suas dúvidas. Eu procurei ser o mais claro possível e não utilizar termos técnicos para que qualquer pessoa alfabetizada pudesse entender.

Eu espero que você tenha aprendido a fazer as contas e a projetar e construir um redutor e também como fazer a substituição de um motor por outro, ou seja, espero que você tenha aprendido a fazer um motor ficar equivalente a outro.

Também imaginei todos os problemas que podem ocorrer durante a construção, porém é conveniente você consultar um torneiro mecânico de sua confiança que ele com certeza poderá auxiliar você na fabricação muito mais do que eu.

Caso você faça um redutor usando este texto eu ficaria feliz em receber uma foto do redutor, assim eu posso colocar em versões futuras deste documento. Obviamente eu também gostaria de dar uma volta no avião, barco, ultraleve ou trike que usar este redutor para ter certeza que o redutor ficou bom mesmo.

Se você leu o texto inteiro você sabe que o redutor funciona e resolve o problema que você quer.

Se os redutores dos motores ROTAX funcionam porque o seu não vai funcionar? Se os redutores dos motores de popa funcionam porque o seu não vai funcionar? Esses redutores funcionam porque o fabricante destes motores fez o projeto do redutor para cada tipo de motor **usando o mesmo método** que eu mostrei neste documento.

Então porque um redutor para Volkswagen 1600 não funcionaria? Se você colocar o redutor que vem com os motores ROTAX não funciona mesmo porque o redutor do ROTAX foi projetado para ele e não para o Volkswagen 1600, entretanto você pode usar ele como modelo e fazer um para você usando engrenagens apropriadas que agüentem a força do motor como, por

exemplo, as engrenagens do cambio do Volkswagen 1600 ou de outro cambio de um automóvel que tem um motor mais potente.

Você acha que no mundo inteiro não tem alguém que fez um redutor para colocar em avião ou barco? Se ele pode você também pode. Alias, na internet você encontra pessoas que fez não só o redutor, mas o avião inteiro que é bem mais difícil.

Se você não quer fazer o redutor e nem ter nenhum tipo de trabalho então compre o motor original e pague o preço que for pedido!

Se o seu sonho era ter um barco ou avião, mas não tinha dinheiro para comprar o motor original então coloque um motor mais barato e deixe-o igual ao original. O importante é realizar seu sonho!

Nunca é demais citar as vantagens do redutor:

O redutor permite que você utilize um motor automobilístico que é mais barato que o motor aeronáutico (ou náutico).

O motor automobilístico utiliza gasolina comum que é mais barata.

A manutenção do motor automobilístico é mais barata e as peças são encontradas mais facilmente e também são mais baratas. Além de precisar de menos manutenção que os motores aeronáuticos e náuticos. Há vários mecânicos que sabem consertar motores automobilísticos.

O motor não vai fazer força quem faz força é o redutor.

O motor não esquenta porque não faz força.

O redutor deixa o avião ou barco com o mesmo desempenho que o motor original apresenta.

Como você pode ver só há vantagens em utilizar o redutor, alias como nós vimos à maioria dos motores aeronáuticos e motores náuticos utilizam o redutor.

Nunca se intimide por pessoas que dizem que fizeram um redutor e não deu certo com certeza a pessoa não projetou direito e como eu disse gambiarra não funciona mesmo. Lembre-se que todo motor tem um cambio apropriado para ele, e um cambio nada mais é que um redutor que você pode variar a relação de redução.

Os grandes cientistas da história da humanidade fizeram suas descobertas porque não se intimidaram pelas opiniões dos outros, ou seja, tiveram coragem de ousar. Desta forma tenha coragem de ousar e mãos a obra e faça o seu redutor.

Engenheiro Adriano Antonio Luciano de Lima
CREA 5061459022 – SP

Janeiro de 2003

Motores

O melhor local para você encontrar especificação de motores é na INTERNET, no site do fabricante do motor ou do automóvel, no site de revistas especializadas como a Quatro Rodas, no site de apaixonados por carro ou por aviação.

Você deve acreditar na informação que o fabricante fornece porque ele não tem intenção de mentir, ele quer vender motor e não mentir. Por isso as informações que o fabricante fornece são verdadeiras e foram testadas rigorosamente.

Todas essas informações foram obtidas na INTERNET direto do site do fabricante. As informações mais importantes são:

A potência máxima e o RPM onde ela ocorre.

O torque máximo e o RPM onde ele ocorre.

A partir destas informações você calcula todas as outras.

Motores ROTAX

ROTAX 277

Potência máxima = 25 HP a 5.700 RPM, torque = 31,24 N.m

Torque máximo = 31 N.m a 6.100 RPM, potência = 26,54 HP

Caixa de redução A

Esta especificação em particular foi fornecida pela assistência técnica eu não vi o documento oficial do fabricante. Este motor não é mais fabricado.

ROTAX 377

Potência máxima = 35 HP a 6.500 RPM, torque = 38,35 N.m

Torque máximo = 37 N.m a 6.200 RPM, potência = 32,20 HP

Caixa de redução A

Esta especificação em particular foi fornecida pela assistência técnica eu não vi o documento oficial do fabricante. Este motor não é mais fabricado.

ROTAX 447 UL – 1 V

Potência máxima = 39,6 HP a 6.500 RPM

Torque máximo = 44 N.m a 6.000 RPM

RPM máximo = 6.800

Caixa de redução B, C ou E

ROTAX 447 UL – 2V

Potência máxima = 41,6 HP a 6.500 RPM

Torque máximo = 47 N.m a 6.000 RPM

RPM máximo = 6.800

Caixa de redução B, C ou E

ROTAX 503 UL – 1V

Potência máxima = 45,6 HP a 6.500 RPM

Torque máximo = 51 N.m a 5.900 RPM

RPM máximo = 6.800

Caixa de redução B, C ou E

ROTAX 503 UL – 2V

Potência máxima = 49,6 HP a 6.500 RPM

Torque máximo = 55 N.m a 6.000 RPM

RPM máximo = 6.800

Caixa de redução B, C ou E

ROTAX 532

Potência máxima = 64 HP a 6.200 RPM, torque = 73,53 N.m

Torque máximo = 71 N.m a 6.200 RPM, potência = 61,79 HP

Caixa de redução A,C

Esta especificação em particular foi fornecida pela assistência técnica eu não vi o documento oficial do fabricante. Este motor não é mais fabricado.

ROTAX 582 UL – 2V - DCDI

Potência máxima = 64,4 HP a 6.500 RPM

Torque máximo = 75 N.m a 6.000 RPM

RPM máximo = 6.800

Caixa de redução B, C ou E

ROTAX 582 UL – 2V - DCDI

Potência máxima = 53,6 HP a 6.000 RPM

Torque máximo = 68 N.m a 5.500 RPM

RPM máximo = 6.400

Caixa de redução B, C ou E

ROTAX 582 UL – 1V - DCDI

Potência máxima = 43,6 HP a 5.100 RPM

Torque máximo = 63 N.m a 4.700 RPM

RPM máximo = 5.500

Caixa de redução B, C ou E

ROTAX 618 UL – 2V

Potência máxima = 73,8 HP a 6.750 RPM

Torque máximo = 80 N.m a 6.500 RPM

RPM máximo = 7.000

Caixa de redução C, E

ROTAX 912 ULS

Potência máxima = 95 HP a 5.500 RPM
Torque máximo = 128 N.m a 5.100 RPM
RPM máximo = 5.800

Redutor dentro do motor de 2,43 para 1

ROTAX 912 UL

Potência máxima = 80 HP a 5.500 RPM
Torque máximo = 103 N.m a 4.800 RPM
RPM máximo = 5.800

Redutor dentro do motor de 2,273 para 1

ROTAX 914 UL

Potência máxima = 100 HP a 5.500 RPM
Torque máximo = 123 N.m a 4.800 RPM
RPM máximo = 5.800

Redutor dentro do motor de 2,273 para 1

Motores de automóvel

Volkswagen 1200

Cilindrada = 1.182
Potência máxima = 36 CV a 3.700 RPM
Torque máximo = 75,51121 N.m a 2.000 RPM

Volkswagen 1600 gasolina

Potência máxima = 64,04 HP a 4.600 RPM, torque = 99,17 N.m
Torque máximo = 114,7378 N.m a 3.200 RPM, potência = 51,54 HP

Volkswagen 1700

Potência máxima = 68,72 HP a 4.600 RPM, torque 106,42 N.m
Torque máximo = 123,1403 N.m a 3.200 RPM, potência 55,31 HP
Este motor é envenenado veja a teoria para detalhes.

Volkswagen 1800

Potência máxima = 72,76 HP a 4.600 RPM, torque 112,6795 N.m
Torque máximo = 130,3765 N.m a 3.200 RPM, potência 58,56 HP
Este motor é envenenado veja a teoria para detalhes.

Volkswagen 1900

Potência máxima = 76,80 HP a 4.600 RPM, torque 118,936 N.m
Torque máximo = 137,6165 N.m a 3.200 RPM, potência 61,81HP
Este motor é envenenado veja a teoria para detalhes.

Volkswagen 2000

Potência máxima = 80,85 HP a 4.600 RPM, torque 125,208 N.m
Torque máximo = 144,8679 N.m a 3.200 RPM, potência 65,07 HP
Este motor é envenenado veja a teoria para detalhes.

SP2 – Volkswagen 1700

Cilindrada = 1.678
Potência máxima = 75 CV a 5.000 RPM
Torque máximo = 127,4864 N.m a 3.400 RPM

New Beetle

Cilindrada = 1.984
Potência máxima = 115 CV a 5.200 RPM
Torque máximo = 164,7517 N.m a 2.600 RPM

Passat 1.5 nacional

Potência máxima = 78 CV a 6.100 RPM
Torque máximo = 112,8 N.m a 3.600 RPM

Passat 1.6 nacional fabricado até 1983

Potência máxima = 96 CV a 6.100 RPM
Torque máximo = 129,5 N.m a 3.600 RPM

Passat 1.6 nacional fabricado depois de 1983

Potência máxima = 88 CV a 5.800 RPM

Torque máximo = 130,4 N.m a 3.000 RPM

Passat 1.8 nacional

Potência máxima = 99 CV a 5.600 RPM

Torque máximo = 146,1 N.m a 3.600 RPM

Passat GTS Álcool – Ano 1986 – Motor 1.8

Cilindrada = 1.781

Taxa de compressão = 12,0:1

Potência máxima = 99 CV a 5.600 RPM

Torque máximo = 146,1191 N.m a 3.600 RPM

Voyage 81-82 LS – Gasolina – motor 1.5

Cilindrada = 1.471

Potência máxima = 78 CV a 6.100 RPM

Torque máximo = 112,7765 N.m a 3.600 RPM

Voyage 81-82 LS – Álcool – motor 1.5

Cilindrada = 1.471

Potência máxima = 78 CV a 6.100 RPM

Torque máximo = 120,6218 N.m a 3.600 RPM

Voyage 83 – LS/GLS – Gasolina – motor 1.6

Cilindrada = 1.588

Potência máxima = 78 CV a 6.100 RPM

Torque máximo = 130,4284 N.m a 3.000 RPM

Voyage 83 – LS/GLS – Álcool – motor 1.6

Cilindrada = 1.588

Potência máxima = 81 CV a 5.200 RPM

Torque máximo = 125,5251 N.m a 2.600 RPM

Voyage 85 - Super – Álcool – motor 1.6

Cilindrada = 1.588

Potência máxima = 81 CV a 5.200 RPM

Torque máximo = 125,5251 N.m a 2.600 RPM

Voyage 86 – Super – Álcool – motor 1.8

Cilindrada = 1.781

Potência máxima = 94 CV a 5.000 RPM

Torque máximo = 149,0611 N.m a 3.400 RPM

Voyage 87 – GL – Álcool – motor 1.6

Cilindrada = 1.596

Potência máxima = 90 CV a 5.600 RPM

Torque máximo = 127,9768 N.m a 2.600 RPM

Voyage 87 – GLS – Álcool – motor 1.8

Cilindrada = 1.781

Potência máxima = 96 CV a 5.000 RPM

Torque máximo = 152,9837 N.m a 3.400 RPM

Voyage 89 – GL – Gasolina – motor 1.6

Cilindrada = 1.596

Potência máxima = 80 CV a 5.600 RPM

Torque máximo = 125,0348 N.m a 2.600 RPM

Voyage 89 – Super – Gasolina – motor 1.8

Cilindrada = 1.781

Potência máxima = 90 CV a 5.200 RPM

Torque máximo = 143,9616 N.m a 3.400 RPM

Voyage 90 – GL 4 portas – Gasolina – motor 1.8

Cilindrada = 1.781

Potência máxima = 95 CV a 5.400 RPM

Torque máximo = 152,9837 N.m a 3.200 RPM

Chevette 1973 – motor 1.4

Cilindrada = 1.398

Potência máxima = 60 CV a 5.400 RPM

Torque máximo = 90,22118 N.m a 3.600 RPM

Corcel II – 1977 – Gasolina – motor 1.4

4 cilindros, 1.372 cilindradas

Potência máxima = 55 CV a 5.400 RPM

Torque máximo = 98,0665 N.m a 3.000 RPM

Corcel II – 1977 – Gasolina – motor 1.6

4 cilindros, 1.555 cilindradas

Potência máxima = 69,7 CV a 5.600 RPM

Torque máximo = 107,8732 N.m a 3.000 RPM

Corcel II – 1977 – Álcool – motor 1.6

4 cilindros, 1.555 cilindradas

Potência máxima = 65,8 CV a 5.400 RPM

Torque máximo = 118,6605 N.m a 3.000 RPM

Del Rey – Álcool - Ano 1984

Cilindrada = 1.555

Potência = 73 CV a 5.200 RPM

Torque máximo = 116,6991 N.m a 3.600 RPM

Gol GT 1.8 Álcool – Ano 1986

Potência máxima = 99 CV a 5.600 RPM

Torque máximo = 146,1191 N.m a 3.600 RPM

Maverick GT-4 – Gasolina

Cilindrada = 2.300

Cilindros = 4

Potência máxima = 99 CV a 5.400 RPM

Torque máximo = 165,7324 N.m a 3.200 RPM

Santana 2000 GLS – Ano 1991

Potência máxima = 109 CV a 5.200 RPM

Torque = 170,1 N.m a 3.000 RPM

Neste caso em particular eu já vi duas informações uma fornece torque máximo de 170,6357 N.m a 3.000 RPM, a outra fornece torque máximo de 170,1 N.m a 3.000 RPM, por via das dúvidas eu preferi usar o menor valor para os nossos cálculos. Como a diferença é pequena se houver erro é muito pequeno. Logo, nossos cálculos são confiáveis.

Santana GLS Álcool – Ano 1987

Potência máxima = 94 CV a 5.000 RPM

Torque máximo = 149,0611 N.m a 3.400 RPM

Santana GLI 2000 - Gasolina

Cilindrada = 1.994

Potência máxima = 112 CV a 5.600 RPM

Torque máximo = 172,597 N.m a 3.000 RPM

Santana 2000i Executivo – Ano 1990

Cilindrada = 1.984

Potência máxima = 125 CV a 5.800 RPM

Torque máximo = 189,2683 N.m a 3.000 RPM

Versailles GL 2.0i - Gasolina

Cilindrada = 1.994

Potência máxima = 112 CV a 5.600 RPM

Torque máximo = 172,597 N.m a 3.000 RPM

Tempra 2.0 i.e. - Gasolina

Cilindrada = 1.995

Potência máxima = 105 CV a 5.250 RPM

Torque máximo = 161,8097 N.m a 3.000 RPM

Tempra – Ano 1992

Cilindrada = 1.995

Potência máxima = 99 CV a 5.250 RPM

Torque máximo = 160,8291 N.m a 3.000 RPM

Tempra 8 Válvulas – Ano 1999

Cilindrada = 1.995

Potência máxima = 105 CV a 5.250 RPM

Torque máximo = 161,8097 N.m a 3.000 RPM

Tempra 16 Válvulas – Ano 1999

Cilindrada = 1.995

Potência máxima = 122 CV a 5.250 RPM

Torque máximo = 174,5584 N.m a 4.000 RPM

Tempra HLX 16V – Ano 1996

Cilindrada = 1.995,04

Potência máxima = 127 CV a 5.750 RPM

Torque máximo = 180,4424 N.m a 4.750 RPM

Tempra i.e. – Álcool – Ano 1996 – Motor 2.0

Potência máxima = 110 CV a 5.000 RPM

Torque máximo = 172,597 N.m a 2.750 RPM

Tempra i.e. – Gasolina – Ano 1996 – Motor 2.0

Potência máxima = 105 CV a 5.200 RPM

Torque máximo = 161,8097 N.m a 3.000 RPM

Tempra Ouro – Ano 1992

Cilindrada = 1.995

Potência máxima = 99 CV a 5.250 RPM

Torque máximo = 160,8291 N.m a 3.000 RPM

Tempra Turbo Stile – Ano 1995/1996

Cilindrada = 1995,04

Potência máxima = 165 CV a 5.250 RPM

Torque máximo = 259,8762 N.m a 3.000 RPM

Tempra SX - Ano 1996/1997

Cilindrada = 1995,04

Potência máxima = 105 CV a 5.200 RPM

Torque máximo = 161,8097 N.m a 3.000 RPM

Omega GLS 2.0

Cilindrada = 1.998

Diâmetro x curso = 86 x 86 mm

Taxa de compressão = 9,2:1

Potência máxima = 116 CV a 5.200 RPM

Torque máximo = 169,655 N.m a 2.800 RPM

Omega 3.0 CD

Cilindrada = 2.969

Cilindros = 6

Potência máxima = 165 CV a 5.800 RPM

Torque máximo = 229,4756 N.m a 4.200 RPM

Opala SS-4 1979 – Gasolina

Cilindrada = 2.474

Cilindros = 4

Potência máxima = 98 CV a 4.800 RPM

Torque máximo = 194,1717 N.m a 2.600 RPM

Opala Diplomata SE 1992 - Gasolina

Cilindradas = 4.100

Cilindros = 6

Diâmetro x curso = 98,4 x 89,7 mm

Taxa de compressão = 8,0:1

Potência Máxima = 121 CV a 3.800 RPM

Torque Máximo = 281,4509 N.m a 2.000 RPM

Opala Diplomata SE 1992 - Álcool

Cilindrada = 4.100

Cilindros = 6

Diâmetro x curso = 98,4 x 89,7 mm

Taxa de compressão = 11,6:1

Potência Máxima = 138 CV a 3.800 RPM

Torque Máximo = 303,0255 N.m a 2.000 RPM

Caravan – Ano 1981

Cilindros = 4

Cilindrada = 2.474

Potência máxima = 98 CV a 4.800 RPM

Torque máximo = 194,1717 N.m a 2.600 RPM

Comodoro – Ano 1987

Cilindros = 4

Cilindrada = 2.470

Potência máxima = 88 CV a 4.000 RPM

Torque máximo = 190,249 N.m a 2.000 RPM

Opala – Ano 1968

Cilindros = 6

Cilindrada = 3.770

Potência máxima = 125 CV a 4.000 RPM

Torque máximo = 256,9342 N.m a 2.400 RPM

Opala – Ano 1970 – Gasolina

Cilindros = 4

Cilindradas = 2.500

Diâmetro x curso = 98,4 x 82,5 mm

Potência máxima = 80 HP a 3.800 RPM

Torque máximo = 176,5197 N.m a 2.600 RPM

Opala – Ano 1970 – Gasolina

Cilindros = 6

Cilindradas = 3.760

Potência máxima = 125 HP a 4.000 RPM

Torque máximo = 256,9342 N.m a 2.400 RPM

Manual do Opala de 1992

Opala Motor 2.5 gasolina carburador duplo

Cilindros = 4

Diâmetro x curso = 101,6 x 76,2 mm

Cilindrada = 2.474

Potência máxima = 87,6 CV a 4.200 RPM

Torque máximo = 171,6164 N.m a 2.500 RPM

Opala Motor 2.5 álcool carburador duplo

Cilindros = 4

Diâmetro x curso = 101,6 x 76,2 mm

Cilindrada = 2.474

Potência máxima = 97 CV a 4.400 RPM

Torque máximo = 177,5004 N.m a 2.500 RPM

Opala Motor 4.1 álcool

Cilindros = 6

Diâmetro x curso = 98,4 x 89,7 mm

Cilindrada = 4.093

Potência máxima = 141 CV a 3.800 RPM

Torque máximo = 304,0061 N.m a 2.000 RPM

Opala Motor 4.1 gasolina

Cilindros = 6

Cilindrada = 4.093

Potência máxima = 121 CV a 3.800 RPM

Torque máximo = 284,3929 N.m a 2.000 RPM

Monza 1.6 – Ano 1982

Potência máxima = 75 CV a 5.600 RPM

Torque máximo = 121,6025 N.m a 3.000 RPM

Monza 1.8 – Ano 1982

Potência máxima = 86 CV a 5.400 RPM

Torque máximo = 142,1964 N.m a 3.100 RPM

Monza 1.6 Álcool – Ano 1984

Potência máxima = 72 CV a 5.200 RPM

Torque máximo = 123,5638 N.m a 2.600 RPM

Monza 1.8 Turbo - Ano 1985

Diâmetro x Curso = 84,8 x 79,5 mm

Cilindrada = 1.796

Taxa de compressão = 12,0:1

Potência máxima (estimada) = 143 CV a 5.600 RPM, com 0,6 bar de pressão.

Torque máximo (estimado) = 205,9397 N.m a 4.000 RPM, com 0,6 bar de pressão.

Monza SR Álcool – Ano 1986 – Motor 1.8

Cilindrada = 1.796

Potência máxima = 106 CV a 5.600 RPM

Torque máximo = 152,9837 N.m a 4.000 RPM

Monza 2.0 Álcool - Ano 1986

Cilindrada = 1.988

Potência máxima = 110 CV a 5.600 RPM

Torque máximo = 169,655 N.m a 3.000 RPM

Monza Classic Álcool – Ano 1987

Potência máxima = 110 CV a 5.600 RPM

Torque máximo = 169,655 N.m a 3.000 RPM

Monza S/R 2.0 Álcool - Ano 1987 – Motor 2.0

Diâmetro x curso = 86,0 x 86,0 mm

Cilindrada = 1.988

Taxa de compressão: 12,0:1

Potência máxima = 110 CV a 5.600 RPM

Torque máximo = 169,655 N.m a 3.000 RPM

Monza Classic 500 E.F – Gasolina - Ano 1990

Cilindrada = 1.998

Taxa de compressão = 8,8:1

Potência máxima = 116 CV a 5.400 RPM

Torque máximo = 174,5584 N.m a 3.000 RPM

Monza 2.0 – Ano 1991

Cilindrada = 1.998

Taxa de compressão = 8,8:1

Potência máxima = 99 CV a 5.600 RPM

Torque máximo = 158,8677 N.m a 3.500 RPM

Monza Classic MPFI - Gasolina – Ano 1991

Cilindrada = 1.998

Potência máxima = 116 CV a 5.700 RPM

Torque máximo = 174,5584 N.m a 3.200 RPM

Monza 2.0 EFI – Gasolina – Ano 1991

Cilindrada = 1.998

Taxa de compressão = 9,2:1

Potência máxima = 110 CV a 5.600 RPM

Torque máximo = 162,7904 N.m a 3.200 RPM

Monza SL/E 2.0 EFI – Gasolina – Ano 1992 e 1993

Cilindrada = 1.998

Taxa de compressão = 9,2:1

Potência máxima = 110 CV a 5.600 RPM

Torque máximo = 162,7904 N.m a 3.200 RPM

Monza GLS 2.0 EFI – Gasolina

Cilindrada = 1.998

Potência máxima = 110 CV a 5.600 RPM

Torque máximo = 162,7904 N.m a 3.200 RPM

Monza SL/E 2.0 – Ano 1993

Cilindrada = 1.998

Diâmetro x curso = 86 x 86 mm

Taxa de compressão = 9,2:1

Potência máxima = 110 CV a 5.600 RPM

Torque máximo = 160,8291 N.m a 3.000 RPM

Galaxie 272 V8

4.464,8922 cilindradas

Potência máxima = 164 HP a 4.400 RPM

Torque = 265,5225 N.m a 4.400 RPM

Torque máximo = 323,6194 N.m a 2.400 RPM

Potência = 109,02 HP a 2.400 RPM

Galaxie 292 V8

4.785 cilindradas

Potência máxima = 185,22 HP a 4.800 RPM

Torque = 274,8886 N.m a 4.800 RPM

Torque máximo = 364,8074 N.m a 2.600 RPM

Potência = 133,14 HP a 2.600 RPM

Galaxie 302 V8

4.942,22 cilindradas

Potência máxima = 196,06 HP a 4.600 RPM

Torque = 303,6276 N.m a 4.600 RPM

Torque máximo = 390,3047 N.m a 2.400 RPM

Potência = 131,49 HP

Dodge 1800 (“Dorjinho” ou Dodge Polara)

Potência máxima = 82 CV a 4.600 RPM

Torque máximo = 137,2931 N.m a 3.000 RPM

Dodge 1974 (“Dorjão”) - Charge RT

Motor V8

Cilindrada = 5.212

Potência máxima = 215 HP a 4.400 RPM

Torque máximo = 420,7053 N.m a 2.400 RPM

Dodge Dart (“Dorjão”)

Motor V8

Cilindrada = 5.212

Potência máxima = 198 HP a 4.400 RPM

Torque máximo = 406,976 N.m a 2.400 RPM

Jeep Willys

Willys Overland BF-161

Jeeps entre 1958 e 1975

Cilindros = 6

Cilindrada = 2.638

Gasolina

Potência máxima = 90 HP a 4.000 RPM

Torque máximo = 182,4037 N.m a 2.000 RPM

Sentido de rotação = Anti-horário

Willys/Ford 3000

Opcional ao BF-161

Cilindros = 6

Cilindrada = 3.106

Gasolina

Potência máxima = 112 HP a 4.400 RPM

Torque máximo = 221,6303 N.m a 2.000 RPM

Ford Georgia OHC

Jeeps a partir de 1976

Cilindros = 4

Cilindrada = 2.298

Gasolina

Potência máxima = 91 HP a 5.000 RPM

Torque máximo = 166,713 N.m a 3.000 RPM

Cavalier Z24

Motor gasolina, seis cilindros

Cilindrada = 3.100

Potência máxima = 140 CV a 4.200 RPM

Torque máximo = 229,4756 N.m a 3.200 RPM

Audi S3 – Motor 1.8

Cilindrada = 1.781

Potência máxima = 225 CV a 5.900 RPM

Torque máximo = 280,4702 N.m a 2.200 RPM

Toyota Corolla SE-G – Motor 1.8

Cilindrada = 1.794

Potência máxima = 136 CV a 6.000 RPM

Torque máximo = 171,6164 N.m a 4.200 RPM

Chevrolet Celta Super – Motor 1.0

Cilindrada = 999

Potência máxima = 70 CV a 6.400 RPM

Torque máximo = 86,29852 N.m a 3.000 RPM

Fiesta 1.6 L Class – Motor 1.6

Cilindrada = 1.598

Potência máxima = 98 CV a 5.250 RPM

Torque máximo = 140,9216 N.m a 4.250 RPM

Ford Focus GL 1.8

Cilindrada = 1.796

Potência máxima = 115 CV a 5.500 RPM

Torque máximo = 159,8484 N.m a 4.400 RPM

Jeep Cherokee Sport

Cilindrada = 3.701

Potência máxima = 211 CV a 5.200 RPM

Torque máximo = 311,8515 N.m a 3.800 RPM

Suzuki Ignis

Cilindrada = 1.328

Potência máxima = 82 CV a 5.500 RPM

Torque máximo = 109,8345 N.m a 3.500 RPM

Motores de motocicleta

RD 350

Potência máxima = 50 HP a 9.500 RPM
Torque máximo = 40,3 N.m a 8.500 RPM

CB 400

Potência máxima = 40 CV a 9.500 RPM
Torque máximo = 31,36 N.m a 8.000 RPM

CB 750

Potência máxima = 72,3 HP a 8.500 RPM
Torque máximo = 62 N.m a 7.500 RPM

Honda C 100

Potência máxima = 7,6 CV a 8.000 RPM
Torque máximo = 7,84 N.m a 6.000 RPM

Honda CG 125 Titan

Potência máxima = 12,5 CV a 8.250 RPM
Torque máximo = 9,8 N.m a 7.500 RPM

Honda CBX 200

Potência máxima = 18,1 CV a 8.500 RPM
Torque máximo = 15,876 N.m a 7.000 RPM

Honda XR 200R

Potência máxima = 17,2 CV a 8.000 RPM
Torque máximo = 16,856 N.m a 6.500 RPM

Honda XR 250 Tornado

Potência máxima = 23,3 CV a 7.500 RPM
Torque máximo = 23,716 N.m a 6.000 RPM

Honda CB 500

Potência máxima = 54 CV a 9.500 RPM

Torque máximo = 44,10 N.m a 8.000 RPM

Honda VT 600cc Shadow (parece a Harley Davidson)

Potência máxima = 39 CV a 6.500 RPM

Torque máximo = 48,02 N.m a 3.500 RPM

Honda CBR 600 F

Potência máxima = 110 CV a 12.500 RPM

Torque máximo = 62,72 N.m a 10.500 RPM

Honda CBR 900 RR Fireblade

Potência máxima = 148,2 CV a 11.000 RPM

Torque = 100,94 N.m a 9.000 RPM

Honda CBR 1100 XX Super Blackbird

Potência máxima = 164 CV a 9.500 RPM

Torque máximo = 117,6 N.m a 7.250 RPM

Motores de popa (motor de barco)

Honda 2 HP

Type: 4-stroke OHV 1 Cylinder/2 Valves

Displacement: 57 cc (3,4 cubic inches)

Bore & Stroke: 45 x 36 mm (1,8 x 1,4 inches)

Full Throttle RPM Range: 5.000-6.000 RPM

Rated Power: 2 HP a 5.500 RPM

Cooling System: Forced air

Induction: 1 Carburetor

Ignition System: Transistorized Pointless

Starting System: Recoil

Exhaust: Under water, above propeller

Gear Ratio: 2,40:1

Gear Shift: 360° pivot

Honda 5 HP

Type: 4-stroke OHV 1 cylinder

Displacement: 127 cc (7,8 cubic inches)

Bore & Stroke: 60 x 45 mm (2,4 x 1,8 inches)

Full Throttle RPM Range: 4.500-5.000 RPM

Rated Power: 5 HP

Cooling System: Water Cooled

Ignition System: Transistorized pointless

Starting System: Recoil

Exhaust: Under water, above propeller

Gear Ratio: 2,1:1

Gear Shift: F-N-R

Honda 8 HP

Type: 4-stroke SOHC 2 cylinders

Displacement: 222 cc (13,5 cubic inches)

Bore & Stroke: 58 x 42 mm (2,3 x 1,6 inches)

Full Throttle RPM Range: 4.500-5.500 RPM

Rated Power: 8 HP a 5.000 RPM

Cooling System: Water Cooled

Ignition System: PGM-1G

Starting System: Electric/Recoil

Exhaust: Through Prop

Gear Ratio: 2,33:1

Gear Shift: F-N-R

Honda 9.9 HP

Type: 4-stroke SOHC 2 cylinders

Displacement: 222 cc (13,5 cubic inches)

Bore & Stroke: 58 x 42 mm (2,3 in. x 1,6 inches)

Full Throttle RPM Range: 5.000-6.000 RPM

Rated Power: 9,9 HP a 5.500 RPM

Cooling System: Water Cooled

Ignition System: PGM-1G

Starting System: Electric/Recoil

Exhaust: Through Prop

Gear Ratio: 2,33:1

Gear Shift: F-N-R

Honda 15 HP

Type: 4-stroke OHC 2 cylinders

Displacement: 280 cc (17,1 cubic inches)

Bore & Stroke: 58 x 53 mm (2,3 in. x 2,1 in.)

Full Throttle RPM Range: 5.000-6.000 RPM

Rated Power: 15 HP

Cooling System: Water Cooled

Ignition System: Capacitor Discharge (CDI)

Starting System: Recoil (Electric/Recoil)*

Exhaust: Through Prop

Gear Ratio: 2,1:1

Gear Shift: F-N-R

Honda 25 HP

Type: 4-stroke OHC 3 cylinders

Displacement: 499 cc (30,5 cubic inches)

Bore & Stroke: 58 x 63 mm (2,3 in. x 2,5 in.)

Full Throttle RPM Range: 5.000-6.000 RPM

Rated Power: 25 HP a 5.500 RPM

Cooling System: Water Cooled

Induction: 3 Carburetors

Ignition System: Capacitor Discharge (CDI)

Starting System: Electric/Recoil

Exhaust: Through Prop

Gear Ratio: 2,08

Gear Shift: F-N-R

Honda 30 HP

Type: 4-stroke OHC 3 cylinders

Displacement: 499 cc (30,5 cubic inches)

Bore & Stroke: 58 x 63 mm (2,3 x 2,5 inches)

Full Throttle RPM Range: 5.500-6.000 RPM

Rated Power: 30 HP a 5.750 RPM

Cooling System: Water Cooled

Induction: 3 Carburetors

Ignition System: Capacitor Discharge (CDI)

Starting System: Electric/Recoil

Exhaust: Through Prop

Gear Ratio: 2,08

Gear Shift: F-N-R

Honda 40 HP

Type: 4-stroke OHC 3 cylinders

Displacement: 808 cc (49,3 cubic inches)

Bore & Stroke: 70 x 70 mm (2,8 in. x 2,8 in.)

Full Throttle RPM Range: 5.000-6.000 RPM

Rated Power: 40 HP a 5.500 RPM

Cooling System: Water Cooled

Induction: 3 Carburetors

Ignition System: Capacitor Discharge (CDI)

Starting System: Electric

Exhaust: Through Prop

Gear Ratio: 2,09:1

Gear Shift: F-N-R

Honda 50 HP

Type: 4-stroke OHC 3 cylinders

Displacement: 808 cc (49,3 cubic inches)

Bore & Stroke: 70 x 70 mm (2,8 x 2,8 inches)

Full Throttle RPM Range: 5.500-6.000 RPM

Rated Power: 50 HP a 5.750 RPM

Cooling System: Water Cooled

Induction: 3 Carburetors

Ignition System: Capacitor Discharge (CDI)

Starting System: Electric

Exhaust: Through Prop

Gear Ratio: 2,09:1

Gear Shift: F-N-R

Honda 75 HP

Type: 4-stroke OHC 4 cylinders/12 valves

Displacement: 1.590 cc (97 cubic inches)

Bore & Stroke: 75 x 90 mm (3,0 x 3,5)

Full Throttle RPM Range: 5.000-6.000 RPM

Rated Power: 75 HP a 5.500 RPM

Cooling System: Water Cooled

Induction: 4 Carburetors

Ignition System: Capacitor Discharge (CDI)

Starting System: Electric

Exhaust: Through Prop

Gear Ratio: 2,33

Gear Shift: F-N-R

Honda 90 HP

Type: 4-stroke OHC 4 cylinders/12 valves

Displacement: 1.590 cc (97 cubic inches)

Bore & Stroke: 75 x 90 mm (3,0 x 3,5)

Full Throttle RPM Range: 5.000-6.000 RPM

Rated Power: 90 HP a 5.500 RPM

Cooling System: Water Cooled

Induction: 4 Carburetors

Ignition System: Capacitor Discharge (CDI)

Starting System: Electric

Exhaust: Through Prop

Gear Ratio: 2,33

Gear Shift: F-N-R

Honda 115 HP

Type: 4-stroke, SOHC Inline 4 Cylinder

Displacement: 2.254cc (137 cubic inches)

Bore & Stroke: 86mm x 97mm (3,38 in. x 3,81 in.)

Compression Ratio: 8,9:1

Horsepower: 115 HP a 5.500 RPM

Full Throttle Range: 5.000 – 6.000 RPM

Idle RPM: 750 ±50 (in gear, 650 ±50 RPM)

Fuel System: Multi-Port Programmed Fuel Injection

Ignition: Capacitor Discharge (CDI)

Cooling System: Thermostat Control

Alternator: 12V/40 amp

Gear Ratio: 2:1

Honda 130 HP

Type: 4-stroke, SOHC Inline 4 Cylinder

Displacement: 2.254cc (137 cubic inches)

Bore & Stroke: 86mm x 97mm (3,38 in. x 3,81 in.)

Compression Ratio: 8,9:1

Horsepower: 130 HP a 5.500 RPM

Full Throttle Range: 5.000 – 6.000 RPM

Idle RPM: 750 ±50 (in gear, 650 ±50 RPM)

Fuel System: Multi-Port Programmed Fuel Injection

Ignition: Capacitor Discharge (CDI)

Cooling System: Thermostat Control

Alternator: 12V/40 amp

Gear Ratio: 2:1

Honda 200 HP

Type: 4-stroke SOHC 60degreeV6

Displacement: 3.471 cc (212 cubic inches)

Bore & Stroke: 89 x 93 mm (3,50 in. x 3,66 in.)

Full Throttle RPM Range: 5.000-6.000 RPM

Rated Power: 200HP a 5.500 RPM

Cooling System: Water Cooled

Induction: Programmed Fuel Injection

Ignition System: MicroComputer programmed

Starting System: Electric

Exhaust: Through Prop

Gear Ratio: 1,86:1

Gear Shift: F-N-R

Honda 225 HP

Type: 4-stroke SOHC 60 degree V6

Displacement: 3.471 cc (212 cubic inches)

Bore & Stroke: 89 x 93 mm (3,50 in. x 3,66 in.)

Full Throttle RPM Range: 5.000-6.000 RPM

Rated Power: 225 HP a 5.500 RPM

Cooling System: Water Cooled

Induction: Programmed Fuel Injection

Ignition System: MicroComputer programmed

Starting System: Electric

Exhaust: Through Prop

Gear Ratio: 1,86:1

Gear Shift: F-N-R

Motor de Popa Yamaha

Série portátil de 2 cilindros:

Potência 2 HP

Cilindros = 1

Cilindrada = 43

Faixa de RPM = 4.000-5.000

Redutor = 2,08

Peso = 10 kg

Potência 3 HP

Cilindros = 1

Cilindrada = 70

Faixa de RPM = 4.500-5.500

Redutor = 2,08

Peso = 16,5 kg

Potência 5 HP

Cilindros = 1

Cilindrada = 103

Faixa de RPM = 4.500-5.500

Redutor = 2,08

Peso = 21 kg

Potência 8 HP

Cilindros = 2

Cilindrada = 165

Faixa de RPM = 4.500-5.500

Redutor = 2,08

Peso = 27 kg

Potência 9,9 HP

Cilindros = 2

Cilindrada = 246

Faixa de RPM = 4.500-5.500

Redutor = 2,08

Peso = 36 kg

Potência 15 HP

Cilindros = 2

Cilindrada = 246

Faixa de RPM = 4.500-5.500

Redutor = 2,08

Peso = 36 kg

Potência 25 HP

Cilindros = 2

Cilindrada = 395

Faixa de RPM = 5.000-6.000

Redutor = 2,08

Peso = 48 kg

Potência 25 HP

Cilindros = 3

Cilindrada = 496

Faixa de RPM = 4.500-5.500

Redutor = 1,85

Peso = 59 kg

Série dois tempos potência alta

Potência 115 HP

Cilindrada = 2.596

Faixa de RPM = 4.500-5.500

Redutor = 2

Peso = 163 kg

Potência 130 HP

Cilindrada = 2.596

Faixa de RPM = 5.000-6.000

Redutor = 2

Peso = 163 kg

Potência 150 HP

Cilindrada = 2.596

Faixa de RPM = 4.500-5.500

Redutor = 1,86

Peso = 194 kg

Série quatro tempos potência alta

F115hp Four Stroke

Potência = 115 HP

Cilindrada = 1.596

Faixa de RPM = 5.000-6.000

Redutor = 2,15

Peso = 182 kg

F200hp V6 Four Stroke

Potência = 200 HP

Cilindrada = 3.352

Faixa de RPM = 5.000-6.000

Redutor = 2

Peso = 265 kg

F225hp V6 Four Stroke

Potência = 225 HP

Cilindrada = 3.352

Faixa de RPM = 5.000-6.000

Redutor = 2

Peso = 265 kg

Série quatro tempos alto empuxo

T8hp

Potência = 8 HP

Cilindros = 2

Cilindrada = 197

Faixa de RPM = 5.000-6.000

Redutor = 2,92

Peso = 47 kg

T9.9hp

Potência = 9,9 HP

Cilindros = 2

Cilindrada = 232

Faixa de RPM = 4.000-5.000

Redutor = 2,92

Peso = 45 kg

T25hp

Potência = 25 HP

Cilindros = 2

Cilindrada = 498

Faixa de RPM = 5.000-6.000

Redutor = 2,42

Peso = 87 kg

T50hp

Potência = 50 HP

Cilindros = 4

Cilindrada = 935

Faixa de RPM = 5.000-6.000

Redutor = 2,33

Peso = 110 kg

Série 4 tempos portátil

F4hp

Potência = 4 HP

Cilindros = 1

Cilindrada = 112

Faixa de RPM = 4.000-5.000

Redutor = 2,08

Peso = 22 kg

F6hp

Potência = 6 HP

Cilindros = 2

Cilindrada = 197

Faixa de RPM = 4.500-5.500

Redutor = 2,08

Peso = 38 kg

F8hp

Potência = 8 HP

Cilindros = 2

Cilindrada = 197

Faixa de RPM = 5.000-6.000

Redutor = 2,08

Peso = 38 kg

F9.9hp

Potência = 9,9 HP

Cilindros = 2

Cilindrada = 232

Faixa de RPM = 4.500-5.500

Redutor = 2,08

Peso = 42 kg

F15hp

Potência = 15 HP

Cilindros = 2

Cilindrada = 323

Faixa de RPM = 4.500-5.500

Redutor = 2,08

Peso = 45 kg

F25hp

Potência = 25 HP

Cilindros = 2

Cilindrada = 498

Faixa de RPM = 5.000-6.000

Redutor = 2,08

Peso = 52 kg

Série Max 3.1L

200 OX66 V Max

Potência = 200 HP

Cilindrada = 3.130

Faixa de RPM = 4.500-5.500

Redutor = 1,81

Peso = 222 kg

225 OX66 V Max

Potência = 225 HP

Cilindrada = 3.130

Faixa de RPM = 4.500-5.500

Redutor = 1,81

Peso = 222 kg

250 OX66 V Max

Potência = 250 HP

Cilindrada = 3.130

Faixa de RPM = 4.500-5.500

Redutor = 1,75

Peso = 222 kg

Série V MAX HPDI

150 HPDI

Potência = 150 HP

Cilindrada = 2.596

Faixa de RPM = 4.500-5.500

Redutor = 2

Peso = 213 kg

175 HPDI

Potência = 175 HP

Cilindrada = 2.596

Faixa de RPM = 4.500-5.500

Redutor = 1,86

Peso = 213 kg

200 HPDI

Potência = 200 HP

Cilindrada = 2.596

Faixa de RPM = 4.500-5.500

Redutor = 1,86

Peso = 213 kg

MAX Series 2.6L OX66 / Carb Specifications

150 V Max Carbureted

Potência = 150 HP

Cilindrada = 2.596

Faixa de RPM = 4.500-5.500

Redutor = 2

Peso = 190 kg

TRP150 OX66 V Max

Potência = 150 HP

Cilindrada = 2.596

Faixa de RPM = 4.500-5.500

Redutor = 2

Peso = 202 kg

OX66 150 V Max

Potência = 150 HP

Cilindrada = 2.596

Faixa de RPM = 4.500-5.500

Redutor = 2

Peso = 202 kg

Motores fortes

Trator Massey Ferguson

Potência = 138 CV a 2.200 RPM

Torque = 500 N.m a 1.400 RPM

Scania 360 HP

Potência máxima = 360 HP a 1.600 RPM

Torque máximo = 1.665 N.m a 1.300 RPM

Scania 400 HP

Potência máxima = 400 HP a 1.800 RPM

Torque máximo = 1.810 N.m a 1.100 RPM

Scania 420 HP

Potência máxima = 420 HP a 1.700 RPM

Torque máximo = 1.952 N.m a 1.050 RPM

Helicóptero Esquilo AS 350

Este helicóptero é fabricado pela Hélibras, uma empresa brasileira, é o helicóptero que a policia militar utiliza.

Carrega 1 piloto e 5 passageiros. Atinge 246 Km/h com 6 pessoas a bordo e consegue levantar do chão até 2.250 Kg!

Vamos ao motor:

1 turbina de 732 HP

RPM da turbina = 10.800

RPM do rotor principal = 386 (constante)

RPM do rotor de cauda = 2.024

Então vamos analisar como fica o torque:

Potência máxima = 732 HP a 10.800 RPM, torque = 482,8336 N.m

Há um redutor que passa o RPM de 10.800 para 6.000, logo o redutor é de 1,8 para 1, na saída deste redutor o torque é:

Torque = 1,8 x 482,8336 = 869,10048 N.m

Depois que passou por este redutor há mais dois redutores, um para o rotor principal e outro para o rotor de cauda. Como o fabricante não informa como é a divisão de torque não dá para calcular com precisão quanto é o torque no rotor principal e no rotor de cauda. No entanto, o fabricante informa que o RPM de entrada é

6.000, logo nós podemos supor que 85% do torque vai para o rotor principal e que 15% do torque vai para o rotor de cauda. Então:

Para o rotor principal:

O RPM vai de 6.000 para 386, logo é um redutor de 15,5440 para 1, então o torque fornecido para o rotor principal é:

$$\text{Torque de entrada} = 869,10048 \times 85\% = 738,7354 \text{ N.m}$$

$$\text{Torque para o rotor} = 15,5440 \times 738,7354 = 11.482,9030 \text{ N.m}$$

Repare que este torque é 5,88 vezes maior que o torque máximo do motor da Scania de 420 HP!

Para o rotor de cauda:

O RPM vai de 6.000 para 2.024, logo o redutor é 2,9644 para 1, então o torque fornecido para o rotor de cauda é:

$$\text{Torque de entrada} = 869,10048 \times 15\% = 130,3650 \text{ N.m}$$

$$\text{Torque para o rotor} = 2,9644 \times 130,3650 = 386,454 \text{ N.m}$$

Repare que este torque é maior que o torque que o ROTAX 912 fornece para a hélice.

Resumindo:

O rotor principal tem 10,69 m de diâmetro

$$\text{Torque} = 11.482,9030 \text{ N.m}$$

$$\text{RPM} = 386$$

$$\text{Potência} = 622,2 \text{ HP}$$

O rotor de cauda tem 1,86 m de diâmetro

$$\text{Torque} = 386,454 \text{ N.m}$$

$$\text{RPM} = 2.024$$

Potência = 109,8 HP

Motores do Titanic (aquele do filme)

Dois motores de 30.000 HP a 75 RPM

Torque de cada um 2.849.510,10 N.m

Cada um girava uma hélice tripá de 7,6 metros de diâmetro e peso de 26 toneladas. Girava ela em 75 RPM. Os motores e as hélices ficavam nas laterais do navio.

Um motor de 16.000 HP a 165 RPM

Torque = 690.790,32 N.m

Girava uma hélice quadripá de 5,3 metros de diâmetro e peso de 22 toneladas. Girava ela em 165 RPM. Esse motor ficava no meio do navio.

Potência total = 76.000 HP

Torque total = 6.389.810,52 N.m

Esse torque equivale a:

55.728 motores de Volkswagen 1600 ou

40.248 motores de Monza 2.0 ou

3.273 motores de Scania 460 HP

Isso foi em 1912, imagine quanto é o torque de um motor de um super petroleiro ou de um porta-aviões nuclear. Repare no tamanho da hélice e no RPM que ela gira.