

O texto a seguir foi escrito nos meus momentos de folga e no período noturno. A principio era prá ser um simples e-mail destinado a um associado do grupo Stolbrasil, mas preferi torná-lo um documento para que fosse localizado mais facilmente do que na seção de mensagens.

Tentei dar um tom bem humorado e descontraído porque a compreensão por vezes não é muito clara.

Estou assumindo que quem estiver lendo possua um conhecimento mínimo do funcionamento de motores de combustão interna. Também pressuponho algum conhecimento de matemática e física básica.

Prá mim é muito prazeroso falar sobre motores porque é um tema que eu gosto. Faço isso por puro gosto, diversão, hobby... Não tenho absolutamente nenhum interesse comercial: não preparo motores, não vendo peças e acredito que compartilhar o conhecimento é benéfico para todos nós. Não vou dar receitas específicas sobre preparo de motores, embora as genéricas vão surgir no decorrer do texto. Tento ser preciso nas minhas informações e se, porventura, encontrarem alguma falha de raciocínio ou de fórmulas por favor me avisem e me corrijam.

Porque falar de motores se o que maioria queria saber era sobre redução??? A resposta é simples: porque é a teoria que está envolvida no processo que vai mover a redução, que por sua vez vai acionar uma hélice e que vai objetivar mover a sua aeronave.

Pausa para reflexão e um gole de puro malte, porque o frio está de lascas...

Já parou prá pensar como as coisas estão interconectadas na natureza?

Grandes e brilhantes mentes vem à Terra, de tempos em tempos, prá nos ensinar as coisas. Cabe a nós, simples mortais, prestar atenção e tentar entender o que eles dizem. Hoje grandes nomes estão integrados no nosso cotidiano e nem nos damos conta disso. Se fala em Volts, em Amperes, em Watts... cientistas que descobriram/pesquisaram grandezas no mundo da Física e criaram fórmulas que todos nós, direta ou indiretamente, usamos todos os dias... O mais incrível é que eles estavam em cantos opostos do planeta e não havia nem telefone!!! Suas fórmulas e conceitos estão interligados de tal maneira que um não poderia existir sem o outro...

Assim é no mundo dos motores, grandezas e valores conectados por fórmulas e conceitos. Se fala em potência e se esquece que a potência está ligada ao torque. Se fala em torque e se se esquece da força, e por aí vai...

Quando eu disse outro dia sobre a dificuldade de se encontrar valores confiáveis, eu não estava brincando. São poucas as especificações que se pode confiar. Alguns meses atrás escrevi num e-mail um caso sobre um dito "preparador" de motores que nem sabia do que estava falando (se quiser procure na seção de mensagens). Hoje em dia é incrível o poder que a mídia tem sobre as pessoas e em particular a internet. A pessoa vai lá, monta um site, publica um monte de imbecilidades e o povo gosta. Nem para prá raciocinar e ver se aquilo é verossímil. Então cabe a cada um definir e usar o bom senso na busca e concretização de um objetivo.

Então quando alguém chega e fala "Eu quero preparar um motor...". Minha mente começa a ferver: quer preparar como? quer mais potência? mais durabilidade? mais eficiência? o que você quer???

Na maioria das vezes todo mundo quer mais potência e sempre se vai ter um preço a pagar por isso. Mais potência significa mais energia térmica (mais calor), maior rotação, maior consumo, maior desgaste, maior risco de quebras, maior conta bancária!!!

Mas e aí? Como vou aumentar a potência?

Existe somente 3 formas de se fazer isso (mais prá frente tem a teoria da coisa):

- 1- aumentando o torque
- 2- aumentando a rotação
- 3- aumentando torque e a rotação

Então vamos analisar:

- Caso 1 - o motor aspirado, por natureza, tem baixa eficiência, ou seja, é o movimento descendente do pistão que aspira ("puxa") o ar prá dentro do cilindro. O enchimento do cilindro normalmente fica em 70% da capacidade volumétrica. Pode-se melhorar um pouco esse valor usando-se 4 válvulas por cilindro (2 de admissão + 2 de escapamento), pode-se aumentar o diâmetro das válvulas e pode-se aumentar o tempo de abertura das válvulas (comando de válvulas mais "brabo", com permanência e levantamento maiores). Pode-se otimizar dutos de admissão e escapamento. Pode-se trabalhar o fluxo no cabeçote, melhorando os ângulos de entrada e saída dos gases ("refluxar" o cabeçote no jargão dos mecânicos). Então vamos ver a sacanagem da coisa: você compra um motor 1600 e ele na verdade vai atuar como um motor  $1600 \times 0,7 = 1120\text{cc}$ . Então, numa primeira olhada, se nós aumentarmos a capacidade volumétrica, nós vamos, conseqüentemente, aumentar a potência. Em se tratando do VW Ar, pode-se chegar a valores de até 2500cc. Neste ponto quero deixar claro que estou falando estritamente do lado da Física, não estou considerando os fatores mecânicos e de desgaste envolvidos!!! Você que está lendo aí presta atenção!!! **EU NÃO DEFENDO MOTORES ASSIM!!!**

A coisa tá ruim??? Vai ficar pior!!! Quando a gente fala de avião ele está longe do chão e quanto maior a altitude mais rarefeito é o ar. Então vamos dizer que a 2500 metros você perde 25% da eficiência do enchimento. Então se antes você tinha eficiência de 70%, nessa altitude a eficiência vai ser de  $70\% \times 0,75 = 52,5\%$  ou seja aquele seu motor 1600 vai ser na verdade um 840cc. É bom não subir mais alto...

Caso 2 - aumentando a rotação (veja a teoria mais na frente). A coisa toda vai ficar mais óbvia se a gente pegar um motor de Fórmula 1 prá comparar. Além de toda parafernália eletrônica envolvida, estes motores de (relativa) baixa capacidade volumétrica, conseguem desenvolver potências na casa dos 600HP. Então se nós aumentarmos a rotação (de 15.000RPM prá cima) estaremos aumentando também a potência. O problema aqui é a resistência das peças, problemas de lubrificação e o alto custo (quando eu digo alto é ALTO mesmo!!!)

do processo envolvido. Além de todo problema de inércia dos gases que deverá ser MUITO bem trabalhado, existe o aspecto mecânico, por exemplo, da frequência de ressonância das molas das válvulas do cabeçote que podem quebrar, superaquecimentos, travamentos que devem ser evitados com um super lubrificante e por aí vai... Veja quanto dinheiro as equipes de F1 investem nos motores e desista dessa idéia!!! Você quer ter um motor infalível, que não quebre nunca porque você não tem acostamento lá no céu!!!

Caso 3 - é a soma dos casos 1 e 2 acima. Então não querendo desanimar ninguém, mas num BOM preparo mecânico, no qual se considere DESEMPENHO X DURABILIDADE, você vai conseguir algo em torno de 10 a 25% a mais de potência. É o tipo de preparo que pode ser feito sem grande risco quanto à durabilidade e desempenho, desde que feito por um PROFISSIONAL competente e consciente. Verifique as condições de trabalho e equipamentos/ferramentas disponíveis na oficina do mecânico. Só como exemplo: pneu furado... entrei na borracharia... o borracheiro consertou o pneu e perguntou se era "prá por prá rodar???". Respondi que era o dianteiro esquerdo. O camarada tirou o pneu com a chave de rodas normal e quando foi aparafusar o pneu consertado ele usou um TORQUIMETRO!!! prá apertar os parafusos da roda!!! Fiquei surpreso e ele me disse "não é porque eu sou um borracheiro é que eu tenho que deixar de ser um bom profissional!!!!". Sou cliente e amigo dele até hoje.

Lagavulin, um blues de fundo com Gary Moore, motores, avião... O mundo pode ser lindo e maravilhoso!!!

E o turbocompressor??? A opção é excelente escolha. Novamente digo: "não estou considerando a parte da resistência mecânica da coisa toda, somente a parte da Física".

Com o turbo você pode encher o cilindro 100% e ainda pode compensar as diferenças de densidade do ar devido a diferentes altitudes. Tem umas formulinhas que dá prá usar e vão entrar em algum lugar lá na freeeeeente...

Mas falando novamente da potência... As fórmulas abaixo são bastante úteis e podem ser aplicadas no dia a dia de quem trabalha, ou está envolvido, com motores:

Formulas:

$$P = T \times W$$

onde:

P = potência em Watts (1HP = 746 Watts ou 1CV = 735 Watts - valores arredondados para fins de cálculo)

T = torque em NXm (Newton vezes metro - 1 Kgfm = 9,80665Nm)

W = velocidade angular

a velocidade angular é definida por  
 $W = 2 \times \text{PI} \times f$

Onde

PI = constante 3,14159...

f = frequência em Hertz (ciclos por segundo - ex.: 3600RPM = 3600RPM / 60 segundos = 60 Hz).

Então vamos às especificações:

- Um motor VW Ar (álcool) tem 67CV a 4.200RPM e torque máximo de 12,7 Kgfm a 2.600RPM.

Calcula aí:

- qual a potência desenvolvida no torque máximo?
- qual o torque obtido na potência máxima?

Quando eu disse que a potência só podia se aumentada através do torque e da rotação, acredito que muitos devem ter pensado "esse cara tá me gozando...". Agora com a fórmula fica fácil de comprovar isso. Só podemos mesmo alterar, na fórmula, o torque e a frequência (RPM), porque o resto é constante. Então entendendo um pouco melhor esses parâmetros que o fabricante do motor fornece:

- a potência máxima está diretamente ligada à RPM do motor. A potência máxima é aquela que o fabricante determina baseando-se num conceito de resistência, durabilidade e eficiência. A pergunta que todo mundo se deve fazer é a seguinte: "Porque que o fabricante já não preparou o motor prá dar mais potência?". Chegue às suas próprias conclusões...

Podemos ver também que conforme aumentamos a rotação do motor o torque diminui.

Então na potência máxima o torque será de apenas 111,965Nm (11,417Kgfm). Aplicando a fórmula ficaria assim:  $67\text{CV} \times 735\text{W} = T \times 2 \times \text{PI} \times (4200 \text{ RPM} / 60 \text{ segundos})$  ou  $T = 49.245\text{W} / 439,823$

- no torque máximo a potência é inferior àquela obtida na potência máxima.

Então temos  $P = (12,7 \text{ Kgfm} \times 9,80665 \text{ Nm}) \times 2 \times \text{PI} \times (2600 \text{ RPM} / 60 \text{ segundos})$

$P = 33.910 \text{ W}$

ou

$P = 46,14 \text{ CV}$

ou

$P = 45,45 \text{ HP}$

Então amanhã ou depois, quando você se deparar com uma especificação de motor dizendo que a potência é de 90 HP @ (não especifica rotação); torque

26Kgfm de 3200 a 5200RPM, use a fórmula acima e você descobrirá que isso não é possível de ser executado e as informações desse produto são falsas. Mais um mentiroso na internet...

Agora vem a pergunta inevitável: como é que eu transmito essa "força" pra hélice?

Basicamente de duas formas: ou acoplamento direto da hélice no eixo do virabrequim; ou usando uma redução.

Qual o objetivo da redução? Basicamente é o mesmo conceito do câmbio de um automóvel. Você quer transmitir a "força" do motor para as rodas (hélice) usando o maior torque possível. Mas você também quer usar a máxima velocidade que a potência lhe permitir.

Nesse processo todo não se pode esquecer, obviamente, da hélice. Isso também envolve um outro problema porque não existe hélice ideal para todas as condições de vôo (estou falando de hélices de passo fixo!). Por si só, o cálculo da hélice, é um misto de ciência e alquimia, pelo que pude estudar até agora. Mais uma noite, mais algumas palavras

Outra vantagem em prol do redutor é a seguinte: o motor automobilístico foi projetado para transmitir força no sentido radial. No avião a hélice está "puxando" ou "empurrando" a aeronave através do eixo do virabrequim. Embora os motores são construídos para suportar uma carga axial, com certeza não foram desenvolvidos pra esse tipo de aplicação. Fica claro, então, que se eu conseguir transmitir esse movimento para outro eixo, eu posso montá-lo em rolamentos que sejam apropriados para carga axial e então os mancais do motor terão durabilidade maior.

O torque de saída é dado pela fórmula:

Torque de saída = torque de entrada X redução

e a rotação do eixo movido:

rotação de saída = rotação de entrada / redução

Existe várias formas de fazer uma redução: polias e correias em "V", polias lisas e correia plana, polias dentadas e correia sincronizadora, engrenagem/engrenagem e engrenagem/corrente/engrenagem. Independente do método usado existe a chamada relação de redução. Ela pode ser obtida dividindo-se os diâmetros (no caso das polias em "V" e lisas) ou dividindo-se os números de dentes nos outros casos. Então se no meu motor eu tiver uma polia de 10 cm de diâmetro e na hélice uma de 20 cm, teremos uma relação de 1:2 (10/20) (leia-se 1 por 2). Se for montada uma polia dentada com 40 dentes

no motor e outra com 80 dentes na hélice minha relação também vai ser 1:2 (40/80). Para o cálculo ideal do redutor é necessário se conhecer os parâmetros do motor e as características da hélice. Como o cálculo de hélices está fora do escopo deste documento, vamos focar o problema sob um outro ângulo.

Pergunta: o que eu quero??? - resposta: eu quero colocar um motor VW Ar no meu Stol CH701. Porque ele é mais barato, as peças de reposição são mais fáceis de encontrar, é confiável...etc, etc...

Então vamos ver o que o fabricante do Stol recomenda:

Motor Rotax 912UL, que tem as seguintes características:

Potência 80HP (59KW) @ 5500RPM  
Torque 76 ft.lbs (103 Nm) @ 4800RPM  
Caixa de redução integrada: 1:2,273

ou então

Motor Rotax 912ULS

Potência 95HP (69KW) @ 5500RPM  
Torque 94 ft.lbs (128 N.m) @ 5100RPM  
Caixa de redução integrada: 1:2,43

Vimos que nosso motor VW Ar (álcool) tem  
67CV @ 4.200RPM  
torque de 12,7 Kgf.m (124,5 N.m) @ 2.600RPM

Hummm!!! Vamos comparar com o 912UL de 80HP. A potência é menor em 13CV!!! Será que dá??? O que vai representar 13CV a menos no meu avião??? Que redução vou ter que usar???

Prá começar a "brincar" com os números vou assumir que vou querer usar a mesma hélice que o fabricante recomenda para o Rotax.

Então o Rotax fornece para a hélice um torque de

$T_s = 103 \times 2,273$   
 $T_s = 234,12 \text{ N.m}$   
Rotação de saída =  $4800 / 2,273$   
Rotação de saída = 2.112 RPM

Então prá girar a mesma hélice vai ser necessário eu ter o mesmo torque e vou conseguir isso através da redução:

redução =  $T_s / T_e$   
redução =  $234,12 / 124,5$   
redução = 1,88

Então usando essa redução nossa RPM será

rotação de saída =  $2600 / 1,88$

rotação de saída = 1383 RPM

Agora o VW, através do redutor, tem força prá girar a mesma hélice, mas existe uma diferença nas RPMs dos dois motores. Isso vai afetar a velocidade na razão:

razão =  $\text{RPM (rotax)} / \text{RPM (vw)}$

razão =  $2.112 / 1383$

razão = 1,527

O avião com motor VW vai voar 1,527 vezes menos que o mesmo avião com motor Rotax. Observe que o cálculo da razão entre as duas velocidades está sendo efetuado com os dois motores girando nas respectivas rotações de torque máximo. Um cuidado a se tomar é comparar as razões de velocidade e verificar que no torque máximo do VW a velocidade não esteja próxima da velocidade de estol. Se isso acontecer deve-se usar para cálculo uma rotação maior e recalcular o torque e a redução com esses novos parâmetros.

Vamos comparar como ficaria na rotação máxima dos dois motores:

$\text{RPM(rotax)} = \text{RPMmax} / \text{redução}$

$\text{RPM(rotax)} = 5500 / 2,273$

$\text{RPM(rotax)} = 2420 \text{ RPM}$

$\text{RPM(vw)} = \text{RPMmax} / \text{redução}$

$\text{RPM(vw)} = 4200 / 1,88$

$\text{RPM (vw)} = 2234 \text{ RPM}$

Então a razão fica:

razão =  $2420 / 2234$

razão = 1,08

Se considerarmos que a velocidade máxima dos CH701, com motor Rotax 912UL é de 85 MPH podemos estimar que a velocidade com motor VW deve ficar próxima de:

$\text{Vel(vw)} = 85 / 1,08$

$\text{Vel(vw)} = 78,7 \text{ MPH}$

Por último alguns comentários.

Quem for se aventurar a confeccionar uma redução deve estar plenamente ciente de que esta é uma peça de tanta responsabilidade quanto o motor. Os elementos que a compõem devem estar precisamente calculados para evitar quebras e falhas durante o voo. Seleção correta de matéria-prima, mão de obra qualificada são requisitos fundamentais!!! Fique vivo prá voar mais um dia!!!

Os conceitos aplicados através da Física, com certeza, não dão a solução pra todos os problemas, mas se souber definir o problema a solução será mais fácil. Então o que vejo são pessoas dizendo que não tem a solução, mas essas mesmas pessoas não conseguiram "equacionar" o problema pra tentar entendê-lo melhor. Lembre-se que conhecimento é poder... Poder voar...

Abraços

Ricardo Pagdi

[Grupo Stolbrasil](#)

[rpagdi@yahoo.com.br](mailto:rpagdi@yahoo.com.br)

ABRAÇACE