

## ESTUDO DO FUNCIONAMENTO E DO PROCESSO DE ESCOLHA DE HÉLICES PARA UM VEÍCULO AÉREO NÃO-TRIPULADO

### Gustavo Oliveira Violato

Instituto Tecnológico de Aeronáutica  
End: Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acácias  
CEP 12228-900 – São José dos Campos – SP – Brasil  
Bolsista PIBIC-CNPq  
E-mail: gustavoviolato@redecasd.ita.br

### Pedro Teixeira Lacava

Instituto Tecnológico de Aeronáutica  
End: Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acácias  
CEP 12228-900 – São José dos Campos – SP – Brasil  
E-mail: lacava@ita.br

**Resumo.** Este trabalho tem como objetivo apresentar algumas teorias sobre a estimativa de desempenho de uma hélice aeronáutica, assim como usar este conhecimento para propor métodos de escolha para a hélice de um veículo aéreo não tripulado.

*Palavras chave:* Hélices, VANT, Propulsão.

### 1. Introdução

Com o objetivo de diminuir os gastos com a inspeção das linhas de transmissão de energia elétrica, atualmente feita através do uso de helicópteros, a companhia elétrica do rio São Francisco está financiando um projeto para o desenvolvimento de um VANT (Veículo Aéreo Não-Tripulado) que execute esta função.

Este trabalho está inserido neste contexto, buscando ajudar na correta escolha de uma hélice de operação para a aeronave. Desta maneira temos a missão de construir bancos de ensaio confiáveis para o teste de hélices e motores, formular modelos teóricos para a análise preliminar do conjunto moto-propulsivo e finalmente testar os conjuntos selecionados, de tal forma que possamos medir o desempenho e relacionar as melhores hélices para o VANT.

As teorias básicas para desempenho de hélices focadas neste trabalho são a do momento e a do elemento de pá. Na primeira a hélice é considerada como um disco atuando sobre o escoamento e na segunda cada pá é considerada em detalhe, sendo dividida em elementos de raio diferencial.

Após este estudo geral, foca-se em estabelecer um conjunto de parâmetros que valide a teoria para hélices testadas em túnel de vento. Com estes parâmetros, estabelece-se um método para a escolha de hélices baseados em dados de ensaios.

### 2. Estudo teórico

Usando a classificação de Weick [1], tem-se duas formas principais para o cálculo do desempenho de uma hélice: a teoria do momento desenvolvida por Rankine e Froude e a teoria simples do elemento de pá, desenvolvida por vários pesquisadores, mas colocada em uma forma prática por Drzewiecki.

Tabela 1. Caracterização das variáveis utilizadas ao longo do artigo

$\rho$	Densidade do ar
V	Velocidade da aeronave
n	Velocidade angular (RPM)
$V_r$	Velocidade resultante
S	Área frontal da Hélice
D	Diâmetro da Hélice
R	Raio da Hélice
b	Corda (largura) do elemento de Hélice
a	Porcentagem de aumento da velocidade na entrada da hélice
P	Passo da Hélice (medido a $\frac{3}{4}$ da raiz)
$\alpha$	Ângulo de ataque resultante de um elemento

$\Phi$	Ângulo entre as velocidades radial e axial do elemento de pá
$\beta$	Ângulo de incidência do elemento de pá
$\gamma$	Ângulo entre as forças de sustentação e arrasto em um aerofólio
$C_L$	Coefficiente de sustentação de um aerofólio
J	Coefficiente de avanço da hélice

## 2.1. Teoria do momento

O princípio básico de funcionamento de uma hélice é fornecer ao ar que passa através dela certa quantidade de movimento, aproveitando a reação gerada para acelerar um corpo contra o deslocamento de ar. Vamos imaginar que o ar que passa pela hélice em um determinado intervalo de tempo percorre um caminho tal qual ilustrado pela Fig.1 abaixo. A hélice será tratada como um disco sem espessura, que causa uma diferença de pressão para o ar que passa por ele com velocidade constante, impondo então uma aceleração ao fluido.

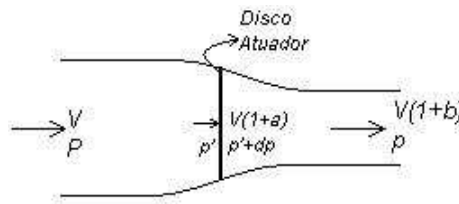


Figura 1. Esquemática da hélice como disco atuador.

A corrente de ar que será formada nas redondezas da hélice (tubo de linhas de corrente) estará em equilíbrio com a atmosfera circundante. Como as diferenças de pressão aqui tratadas são pequenas, o ar será considerado um fluido incompressível. Os efeitos de viscosidade serão desprezados e finalmente o escoamento terá uma distribuição uniforme de velocidades em cada seção transversal, o que de acordo com Reissner [2], pode ser provado ser a distribuição de maior eficiência.

O disco acrescenta energia ao escoamento de duas formas: aumentando a sua velocidade (energia cinética) e aumentando a sua pressão estática (energia potencial). Ao contrário do que ocorre com a pressão estática, a velocidade de um escoamento não pode ser aumentada de maneira descontínua (nem mesmo em uma análise aproximada como a feita aqui). Portanto, se o disco aumenta a velocidade do escoamento para um determinado valor, este aumento já é sentido antes do mesmo, fazendo com que a pressão estática logo antes do disco esteja a um valor  $p'$  menor que o valor  $P$  da pressão do escoamento a montante. Como já mencionado, o aumento de pressão estática causado pelo disco é descontínuo, portanto o escoamento logo após disco possui uma pressão  $p' + \Delta p$ . Este aumento de pressão é então reconvertido em velocidade à jusante do disco, para que ele possa se manter em equilíbrio com a atmosfera.

Reconhece-se portanto que o escoamento divide-se em três regiões quanto a velocidade: a primeira, à frente do disco, possui a velocidade de avanço do avião ( $V$ ), uma vez que é indiferente para esta teoria saber se quem se move é o avião ou a corrente de ar; a segunda onde a aceleração devido a presença do disco atuador é sentido (logo antes e logo após o mesmo), temos uma velocidade de  $V+aV$ ; a terceira, mais atrás, corresponde à um segundo incremento de velocidade ( $V+bV$ ), pois o acréscimo de pressão no ar causado pelo disco atuador é reconvertido em energia cinética.

Tomando o teorema do transporte de Reynolds para o volume de controle definido também na Fig.1 temos, pela equação da continuidade e da quantidade de movimento, respectivamente:

$$\rho V A_1 = \rho V (1+b) A_2 = \rho V (1+a) S = \dot{m} \tag{1}$$

$$T = \rho [V((1+b))]^2 A_2 - \rho V^2 A_1 = \dot{m} [V(1+b) - V] = \dot{m} b V = \rho S V^2 b (1+a) \tag{2}$$

Das simplificações feitas para o escoamento em estudo, pode-se utilizar a equação de Bernoulli para calcular a relação entre os acréscimos de velocidade  $a$  e  $b$ . Tem-se dois escoamentos com energias diferentes: antes e depois de passar pelo disco atuador. Desta forma, temos a Eq.3 e a Eq.4 para as energias:

$$H = p + \frac{1}{2} \rho V^2 = p' + \frac{1}{2} \rho V^2 (1+a)^2 \tag{3}$$

$$H_1 = p' + \Delta p + \frac{1}{2} \rho V^2 (1+a)^2 = p + \frac{1}{2} \rho V^2 (1+b)^2 \tag{4}$$

Das equações (3) e (4) obtém-se:

$$\Delta p = (H_1 - H) = \rho V^2 b(1 + b/2) \tag{5}$$

Da expressão (5) tira-se a tração produzida, apenas multiplicando pela área do disco com o raio da hélice. Se igualarmos a expressão assim obtida com a Eq (2) temos a seguinte relação entre os acréscimos de velocidade:

$$a = b/2 \tag{6}$$

A potência produzida pelo motor é a soma da taxa de trabalho feito pela força de tração com a taxa de energia cinética fornecida ao ar que passa no disco, ou seja:

$$\begin{aligned} P_t &= \frac{1}{2} \rho S V (1 + a) [V^2 (1 + b)^2 - V^2] + TV \\ &= \rho S V^3 b(1 + a)^2 \end{aligned} \tag{7}$$

Das equações (2) e (7), tira-se a eficiência prevista pela teoria do momento:

$$\eta = \frac{TV}{P_t} = \frac{\rho S V^3 b(1 + a)}{\rho S V^3 b(1 + a)^2} = \frac{1}{1 + a} \tag{8}$$

Esta eficiência é a máxima eficiência teoricamente alcançada por uma hélice. Ela nunca é alcançada na prática, pois nesta teoria foram desconsiderados:

1. Os efeitos de rotação do fluxo de ar (torque);
2. O arrasto induzido e de atrito das pás das hélices;
3. A aceleração gerada na corrente de ar não é uniforme na seção, gerando uma distribuição de velocidades diferente da ideal;
4. As perdas devido a um número finito de pás (e não um disco todo), que variam a aceleração do ar periodicamente num dado ponto da área do disco.

De qualquer forma, a eficiência ideal já é uma estimativa da eficiência máxima que uma hélice pode atingir numa determinada velocidade de uso, representando uma marca que se deve procurar atingir.

## 2.2. Teoria do elemento de pá

Enquanto a teoria momento é útil para analisarmos o caso ideal do escoamento em uma hélice, estimando um limite de operação, ela não leva em conta os efeitos de torque produzidos em uma hélice. Além disto, as forças que atuam em cada pá separadamente não são calculadas, impossibilitando um estudo mais detalhado das hélices.

Com este objetivo, foi criada a teoria do elemento de pá, que analisa as forças atuantes em faixas transversais de comprimento infinitesimal em cada pá, como mostra a Fig. 2, para então somá-las, obtendo a força total em cada pá.

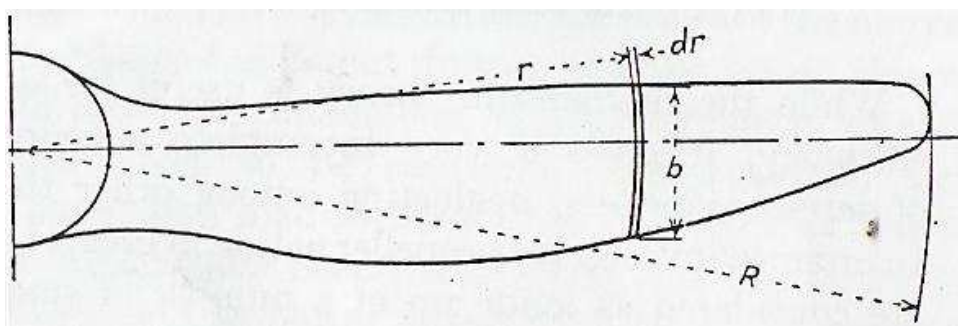


Figura 2. Esquemática do elemento de pá. Fonte: E. Weik, Aircraft Propeller Design

O caminho percorrido por um elemento de pá numa hélice em operação é helicoidal, de tal forma que seu ângulo de ataque depende da velocidade da aeronave assim como a velocidade de rotação da hélice e do ângulo de incidência da hélice no elemento em estudo, como ilustra a Fig. 3

Esta teoria faz as seguintes hipóteses:

1) O escoamento em cada elemento pode ser considerado bidimensional, ou seja, que não há interferência entre os elementos de pá. Esta hipótese foi provada ser correta através de testes em túneis de vento (de acordo com Weik [1]).

2) Não existe escoamento na direção radial, ou seja, não existe contração ou expansão da corrente de ar que passa pela hélice.

3) Não há interferência entre as pás.

4) Não se leva em conta os efeitos de alongamento finito da hélice. (Efeitos de ponta de asa)

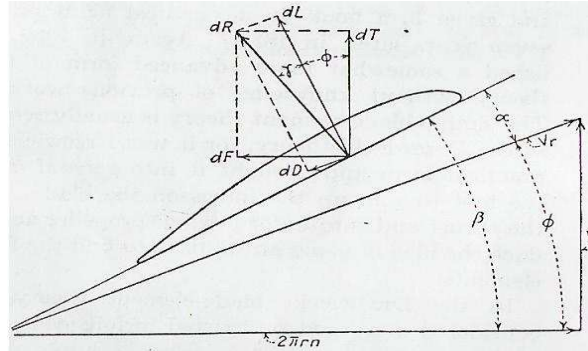


Figura 3. Caminho de um elemento de pá no escoamento.

Seja o ângulo entre as duas componentes de velocidade  $\phi$  e o ângulo de incidência da pá neste elemento  $\beta$ . Tem-se então que o ângulo de ataque fica definido por  $\alpha = \beta - \phi$ .

Através da teoria do estudo de aerofólios:

$$dL = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_r^2 \cdot C_L \cdot b \cdot dr \quad (9)$$

Sendo  $\gamma$  o ângulo entre a componente de sustentação e a força resultante no perfil, ou seja,  $\gamma = \arctan \frac{D}{L}$ , então a força resultante no perfil fica

$$dR = \frac{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_r^2 \cdot C_L \cdot b \cdot dr}{\cos \gamma} \quad (10)$$

A direção da força de tração causada por este elemento é axial, e portanto dada por

$$dT = dR \cdot \cos(\phi + \gamma) = \frac{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot C_L \cdot b \cdot dr \cdot \cos(\phi + \gamma)}{\cos \gamma \cdot \sin^2 \phi} \quad (11)$$

que é a expressão para a força de tração no elemento de pá.

Por conveniência chamamos  $K = \frac{C_L \cdot b}{\cos \gamma \cdot \sin^2 \phi}$  e  $T_c = K \cdot \cos(\phi + \gamma)$  para termos:

$$dT = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot T_c \cdot dr \quad (12)$$

Portanto, a força de tração de uma pá de hélice fica dada pela integral:

$$T = \frac{1}{2} \rho V^2 \int_0^R T_c dr \quad (13)$$

Ao se analisar a componente da força resultante que atua no plano da hélice, obtém-se analogamente o torque resultante para uma pá:

$$Q = \frac{1}{2} \rho V^2 \int_0^R Q_c dr \quad (14)$$

onde  $Q_c = Krsen(\phi + \gamma)$ .

Para obter as forças totais da hélice basta integrar os coeficientes de tração e torque no raio da pá e multiplicarmos pelo número de pás.

O cálculo da eficiência da pá é dado por:

$$\eta = \frac{TV}{2\pi nQ} \quad (15)$$

Embora a teoria do elemento de pá pareça ser bem mais exata, deve-se usá-la com algumas ressalvas. Percebe-se inicialmente que o coeficiente K possui em si muitas informações relacionadas ao perfil utilizado, que pode variar ao longo da hélice e deve ser obtido de ensaios com outros perfis, adicionando algumas imperfeições nos cálculos, como por exemplo, não considerar o efeito de a asa ser finita. Outro problema é que não é considerado o efeito de interferência entre as pás, que passa a ser mais pronunciado com o aumento da RPM. Finalmente, esta teoria deve ser revista para hélices operando em um baixo número de Reynolds, como por exemplo, no nosso caso, em que pretendemos usa-la em um VANT.

### 3. Aplicações das teorias na estimativa de parâmetros para a escolha das hélices

Nesta seção busca-se aplicar as teorias apresentadas acima para estimar parâmetros que nos ajudem a escolher, dentre um conjunto de hélices, qual a melhor para uma determinada missão. Primeiramente, alguns dados empíricos baseados na teoria do momento são obtidos, tendo assim base para fazer uma escolha geral de um conjunto de hélices a serem testadas em maior detalhe (estes dados não buscam validar a teoria do momento deduzida no item 2.1, mas sim fornecer dados para, a partir da teoria, obter-se ajustes de curvas para hélices reais). Depois, parte-se do fato de que se possui um conjunto de hélices geometricamente similares e um conjunto de requisições de operação em voo para escolhermos dentre elas qual a melhor hélice. Esta segunda etapa será feita utilizando os coeficientes já conhecidos de testes de hélice no meio aeronáutico (posteriormente definidos), baseados na teoria do elemento de pá. Ao final, serão mostrados quais passos devem ser seguidos num procedimento de escolha de hélice para uma determinada condição de operação.

#### 3.1 Aplicação da teoria do momento

No intuito de obter estimativas de eficiências ideais para as hélices do VANT, precisa-se estimar a ordem de grandeza dos acréscimos de velocidade comentados no desenvolvimento da teoria. Para isso, contamos com um conjunto de dados obtidos em ensaios de hélices de aeromodelos (referência [3]), onde se mediram a tração, o torque, a rotação e a velocidade do escoamento.

Para calcular qual a eficiência prevista pela teoria do momento, primeiramente encontra-se o acréscimo de velocidade “a” a partir das Eqs. (2) e (6), uma vez que a tração é dada. Então basta usar o valor encontrado para estimar a eficiência teórica através da Eq. (8).

Assim como em ensaios com perfis na aerodinâmica, os dados de ensaios de hélices são colocados em função de parâmetros adimensionais, para que um dado conjunto geometricamente similar de hélices possa ser comparado em um dado regime de escoamento também similar. O principal parâmetro adimensional usado neste caso é o coeficiente de avanço J, definido por  $J = \frac{V}{nD}$ .

A partir dos dados citados acima, construímos o gráfico da Fig.4, abaixo:

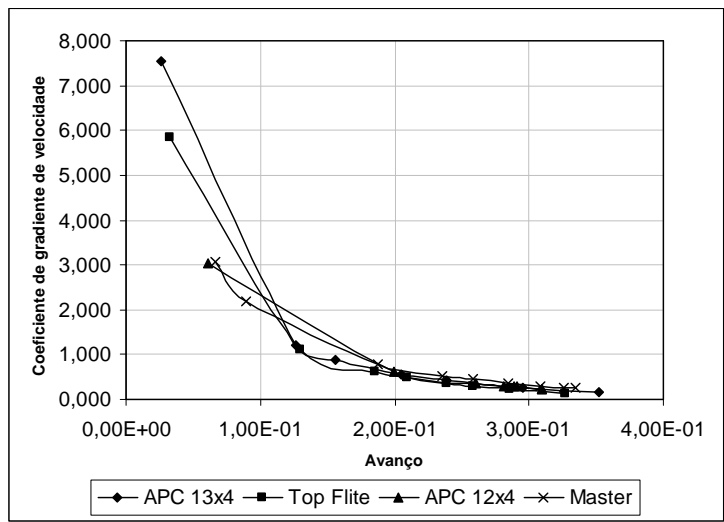


Figura 4. Relação entre o aumento de velocidade e o avanço para diversas hélices

Para estimar a equação que rege a relação a x J partiremos do fato que eles são inversamente proporcionais e buscaremos uma fórmula o tipo

$$a(J) = k \cdot \frac{1}{J^n} \tag{16}$$

e usamos o método dos mínimos quadrados para estimar os valores de k e n.

Deve-se, no entanto, excluir os pontos relativos a avanços muito baixos, pois se percebe que “a” diverge próximo de avanço nulo, gerando erros, que podem ser verificados graficamente pela discordância dos primeiros pontos na Fig. 2.

Como a função proposta não tem grau definido em J, precisa-se torná-la linear, trabalhando com os logaritmos das grandezas a e J. Desta forma, precisamos achar os coeficientes  $\log(k)$  e n da reta. Acharmos então a seguinte função empírica para a função a(J):

$$a(J) = 0,031 \cdot \frac{1}{J^{1,799}} \tag{17}$$

Portanto, dadas as condições em que um determinado avião irá operar, pode-se, a partir desta fórmula empírica, encontrar o quanto de aumento de velocidade do escoamento ocorre logo antes do disco atuador, e portanto encontrar a eficiência da hélice para um determinado regime. Ressalta-se que esta fórmula está baseado em ensaios com hélices de tamanho reduzido (de 12 a 14 polegadas) à velocidades também relativamente baixas, e que portanto os efeitos de escala devem ser lembrador ao se usar a Eq. (17).

Pode-se agora fazer uma estimativa de um diâmetro adequado para a escolha de um conjunto de hélices que posteriormente serão melhor analisadas. Primeiramente, tomemos um conjunto de parâmetros de vôo dado pelos projetistas do VANT, como  $V=33$  m/s e  $n = 7000$  RPM. Neste ponto de operação o fabricante do motor diz que a potência de eixo do motor é aproximadamente 4 HP. Dados a velocidade e o número de rotações por minuto, o coeficiente de avanço fica apenas em função do diâmetro. Assim, teremos também “a” e conseqüentemente a eficiência e a potência dados em função apenas do diâmetro de acordo com as Eqs (16), (8) e (7). O gráfico da eficiência e da potência em função do diâmetro é dado na Fig 5.

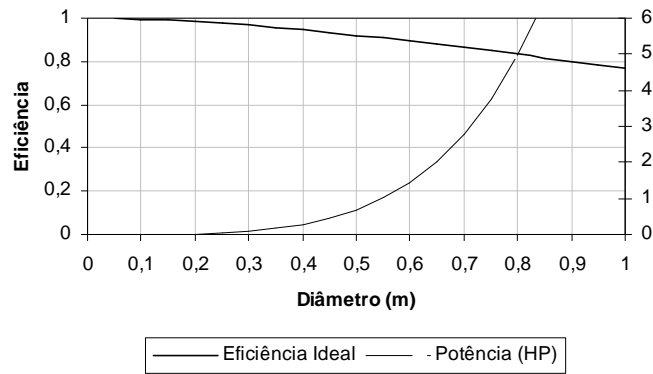


Figura 5. Gráfico da eficiência e potência ideais em função do diâmetro.

Como a máxima potência disponível é de 4HP, o gráfico nos mostra que poderíamos escolher um diâmetro tão alto quanto 0,75m. No entanto, precisamos levar em conta que a potência dada pelo gráfico é conseguida com um funcionamento ideal da hélice. Além disso, com o aumento do diâmetro da hélice existe uma perda na eficiência, o que é indesejável e de acordo com o visto anteriormente não é previsto pela teoria do momento. Finalmente, seguindo recomendações do fabricante do motor, adotamos o diâmetro de 24 pol, o que equivale a 0,61m para o conjunto de hélices a serem testadas.

### 3.2 Aplicação da teoria do elemento de pá

Antes de aplicar a teoria do elemento de pá, é útil analisar a definição do coeficiente de avanço, definido no item anterior, com mais detalhes. Percebe-se que ele é diretamente proporcional à medida do ângulo de ataque de uma pá, conforme a definição de  $\phi$  na Fig.3. Desta forma, podemos substituir o valor das funções proporcionais a  $\phi$  na equação (11) para obter:

$$dT \propto \rho V^2 D^2 f\left(\frac{V}{nD}\right) \quad (18)$$

onde  $\frac{C_L \cdot \cos(\phi + \gamma)}{\cos \gamma \cdot \sin^2 \phi}$  foi substituído por uma função  $f(V/nD)$  e  $b$  e  $dr$  são diretamente proporcionais a  $D$ .

Introduzindo um novo coeficiente de tração, agora para toda a hélice, a equação (18) fica:

$$T = T_c \rho V^2 D^2 \quad (19)$$

e o coeficiente de tração fica definido como  $T_c = \frac{T}{\rho V^2 D^2}$ . Analogamente é definido o coeficiente de torque

$Q_c = \frac{Q}{\rho V^2 D^3}$ . Ressalta-se neste ponto que tanto  $T_c$  como  $Q_c$  são funções apenas do coeficiente de avanço para uma dada hélice de geometria definida.

Estes coeficientes assim definidos apresentam uma variação muito grande de valores, tornando-se mais adequado, quando lidando com dados de ensaios em túnel de vento, multiplicá-los por alguma potência do coeficiente de avanço, de tal forma a eliminar o termo da velocidade, por exemplo. Desta forma são obtidos os coeficientes de tração e torque usuais da literatura de hélice respectivamente dados pelas Eqs. (20) e (21).

$$C_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad (20)$$

$$C_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \quad (21)$$

Para o processo de escolha de hélices, ainda é mais adequado trabalhar com coeficientes de potência e eficiência, analogamente aos que trabalhamos quando utilizamos a teoria do momento. Inicialmente verificamos que a potência absorvida do motor é dada pelo produto entre o torque e a velocidade angular:

$$P = 2\pi nQ \quad (22)$$

Assim, o coeficiente de potência é dado a partir do coeficiente de torque, pela Eq (23):

$$Q\alpha \frac{P}{n} \Rightarrow C_p = \frac{P}{\rho n^3 D^5} \quad (23)$$

A eficiência por sua vez, é dada por:

$$\eta = \frac{TV}{P} = \frac{C_T \rho n^2 D^4 V}{C_p \rho n^3 D^5} = \frac{C_T}{C_p} \times \frac{V}{nD} \quad (24)$$

Fazer gráficos do coeficiente de torque e da eficiência versus o coeficiente de avanço é útil para analisarmos o comportamento de uma determinada hélice, mas este método não é muito direto quando queremos escolher dentre um conjunto de hélices similares, qual é o melhor para uma determinada tarefa. Pensando nisso, é introduzido o chamado coeficiente de velocidade-potência (Eq. 25), que nada mais é do que um coeficiente que combina o  $C_p$  e o  $J$  de tal maneira a eliminarmos o diâmetro dos cálculos. Este procedimento é particularmente útil quando estamos ensaiando hélices de diâmetros próximos em um mesmo coeficiente de avanço.

$$C_{vp} = \frac{\rho V^5}{P n^2} \quad (25)$$

Esta definição ainda nos fornece um coeficiente muito grande, sendo necessário o uso de escalas logarítmicas nos gráficos. Para evitar este inconveniente, toma-se a raiz quinta deste valor, tornando o gráfico com relação ao coeficiente de avanço quase linear.

Normalmente, quando se escolhe uma hélice para uma determinada operação, os parâmetros para o cálculo de  $C_{vp}$  para o ponto de projeto (velocidade, rotação e potência disponível) são dados. Desta forma, constrói-se um gráfico de  $C_{vp}$  x  $J$  juntamente com um gráfico de  $\eta$  x  $C_{vp}$  para várias hélices similares, e se verifica qual hélice melhor se adapta ao ponto de projeto. Este procedimento fica mais bem explicado com um exemplo:

Neste exemplo, sairemos da análise do VANT que havia sido começada no item anterior, pois ainda não possuímos os dados relevantes à estas hélices provindos de ensaios em túnel de vento. Suponhamos então que esteja decidida uma faixa de diâmetros padrão para as hélices a serem usadas em um aeromodelo: 14-15 pol. São compradas 3 hélices com o estes diâmetros, mas que variam em passo, respectivamente com razões de passo/diâmetro de 0,25; 0,20; 0,17. Estas hélices então são ensaiadas, medindo-se tração, torque, rotação e velocidade do escoamento, para várias velocidades diferentes na operação do túnel. Pode-se, a partir destes dados, construir os gráficos citados no parágrafo anterior, conforme é apresentado na Fig 6:



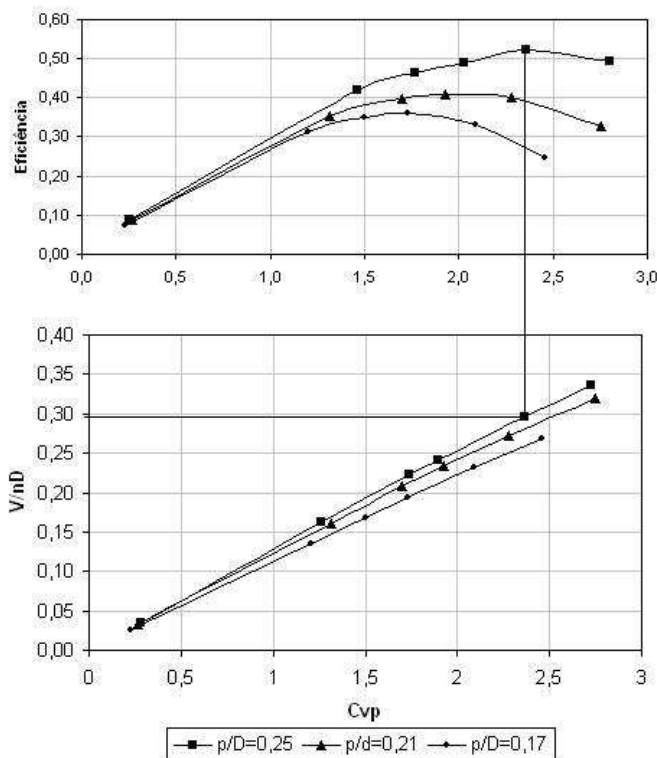


Figura 6. Gráficos de J e Eficiência em função de Cvp para as hélices JC Super 14x3, 14,5X3,5 e 14,5x3,5. Dados foram obtidos de testes em túnel de vento pela equipe ITA-Aerodesign.

Na decolagem do aeromodelo, supõe-se que a velocidade será de 20 m/s e que a rotação do motor está aproximadamente em 11500 RPM. Tendo o valor da densidade do ar, falta apenas a medida da potência para calcularmos Cvp, ou inversamente, se conseguirmos encontrar o Cvp que melhor mais se adequar às nossas exigências, teremos descoberto a potência neste ponto. Como tínhamos o diâmetro de nossas hélices, temos o coeficiente de avanço: J=0,29. No gráfico inferior da Fig 6, verificamos quais curvas possuem intersecção quando traçamos uma paralela às abscissas em V/nD=0,29. Destes pontos, verificamos quais são as eficiências correspondentes para um mesmo valor de Cvp. Nota-se que a maior eficiência ocorre para a hélice com p/D=0,25. Logo, das 3 hélices ensaiadas, a mais recomendada para fornecer mais tração na decolagem é aquela com passo de 3 pol e diâmetro 14 pol. Observando a tendência das curvas de eficiência pode-se recomendar o ensaio de passos ainda maiores.

Percebe-se que este método é útil e prático para resolver qualquer problema de escolha de hélices quando conhecemos 4 dos 7 parâmetros: p, D, V, n, P,  $\rho, \eta$  e queremos descobrir outros 3. Além disso, se P e n estão relacionados através da curva de potência do motor, reduzimos 1 variável de nosso problema. Finalizando, se o método deduzido no item anterior, de aplicação da teoria do momento para a determinação de uma faixa de diâmetros a partir da eficiência e potência da hélice, for utilizado, então o passo ideal da hélice fica determinado para uma condição de velocidade e rotação, dada como conhecida a densidade do ar.

Devemos ressaltar, no entanto, que para VANT's ou aeromodelos, é difícil encontrarmos curvas de potência confiáveis, tornando necessário um trabalho mais minucioso para a escolha das hélices.

#### 4. Agradecimentos

Agradeço inicialmente ao meu orientador, professor Pedro Lacava, pelo apoio e compreensão fornecidos no decorrer dos trabalhos e finalmente ao CNPQ, pelo patrocínio e confiança na capacidade dos universitários.

#### 5. Referências

- WEICK, F.E.: Aircraft Propeller Design, p.294 (1930)
- REISSNER, H.: Theory of Propellers, p. 48 (1942)
- THEODORSEN, T.: Theory of Propellers, p.164 (1948)