Propulsores tipo hélice

- Teoria do Elemento de Pá (*Blade Element Theory*)

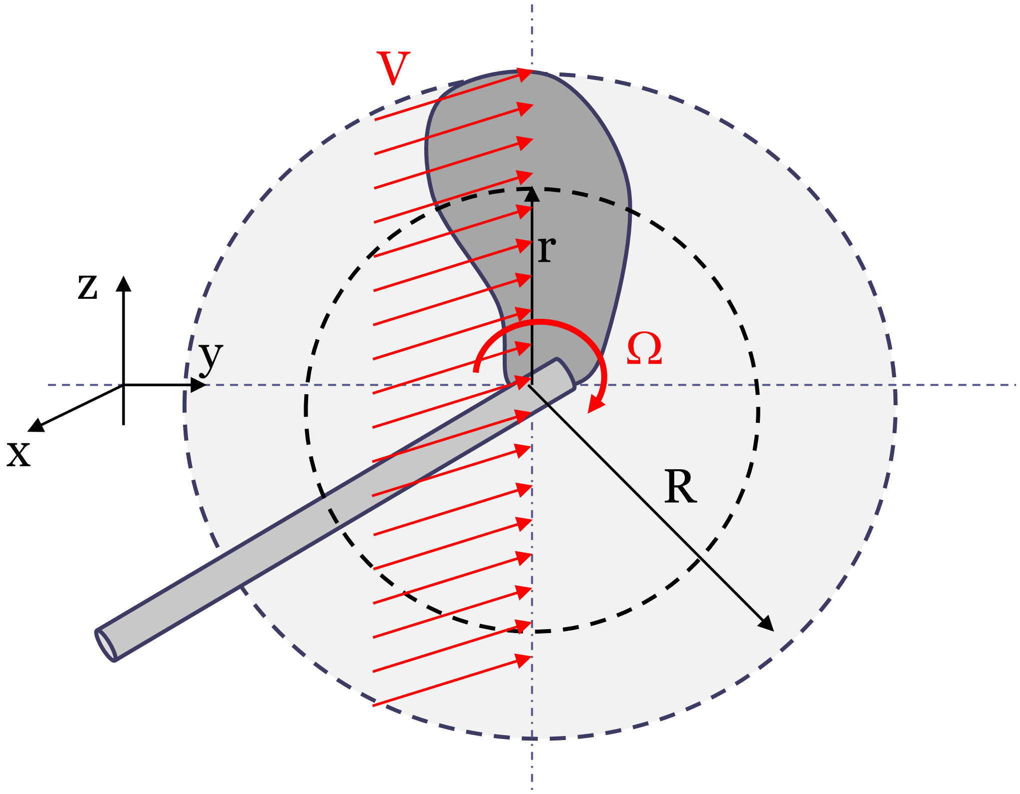
A Teoria de Elemento de Pá

Premissas: A teoria pressupõe que as velocidades do escoamento no plano do propulsor (disco) sejam conhecidas. Chamemos a velocidade axial no plano do rotor de V, e suponhamos que o rotor esteja operando com velocidade de rotação Ω.

Princípio: Cada pá é composta por seções de espessura infinitesimal (dr) representando *fólios de geometria e coeficientes de força conhecidos* (C_L,;C_D), sobre os quais se *supõe escoamento 2D*.

Efeitos tridimensionais do escoamento são desconsiderados (não há velocidade na direção da envergadura da pá), assim como efeitos de interação hidrodinâmica entre as pás

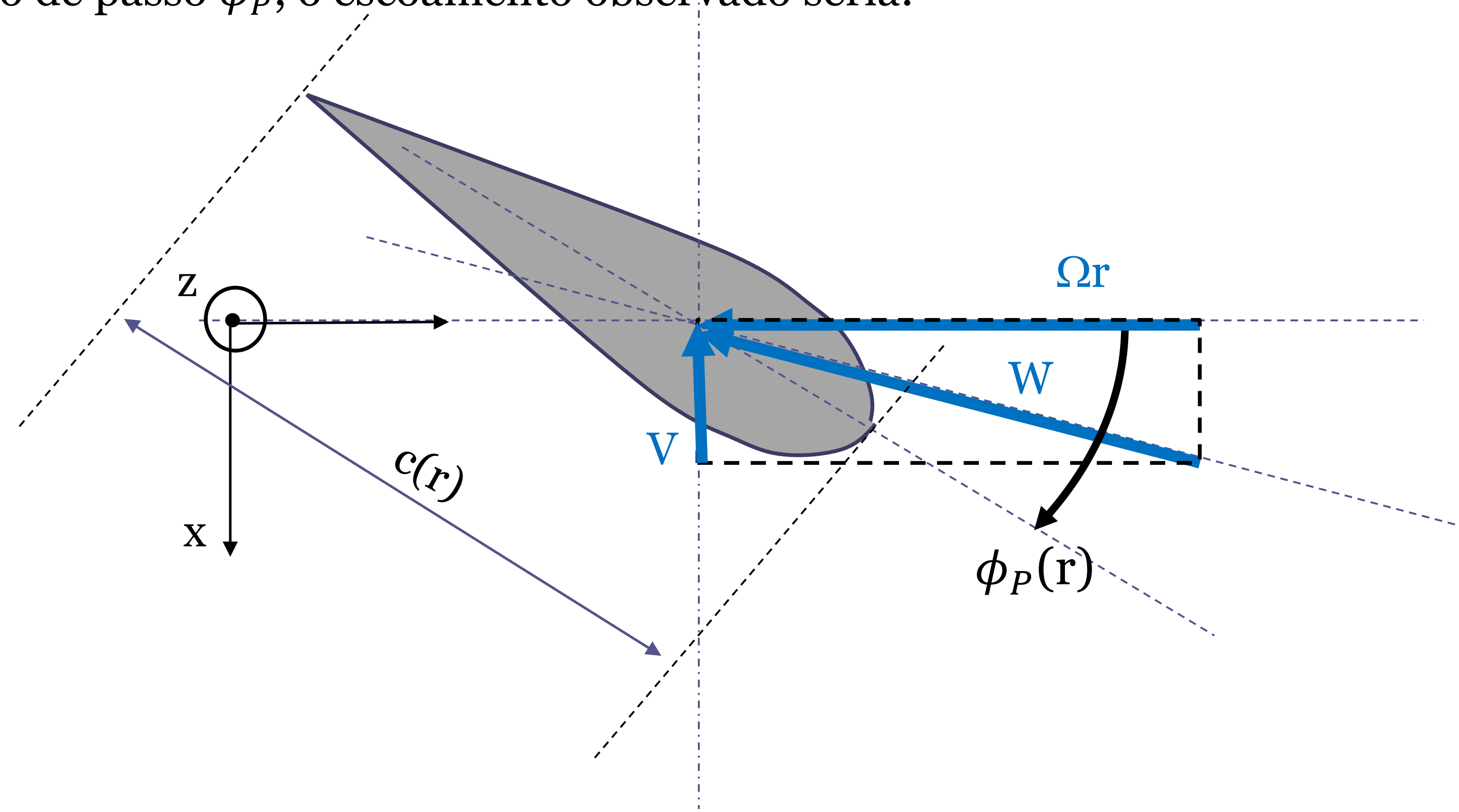
A Teoria de Elemento de Pá



Suponhamos, inicialmente, que a velocidade axial do escoamento que atinge o plano do disco seja uniforme

A Teoria de Elemento de Pá

Se desconsiderarmos inicialmente qualquer efeito de rotação na esteira, no elemento de pá de espessura dr (fólio) que está a uma distância r do eixo e tem ângulo de passo ϕ_P, o escoamento observado seria:

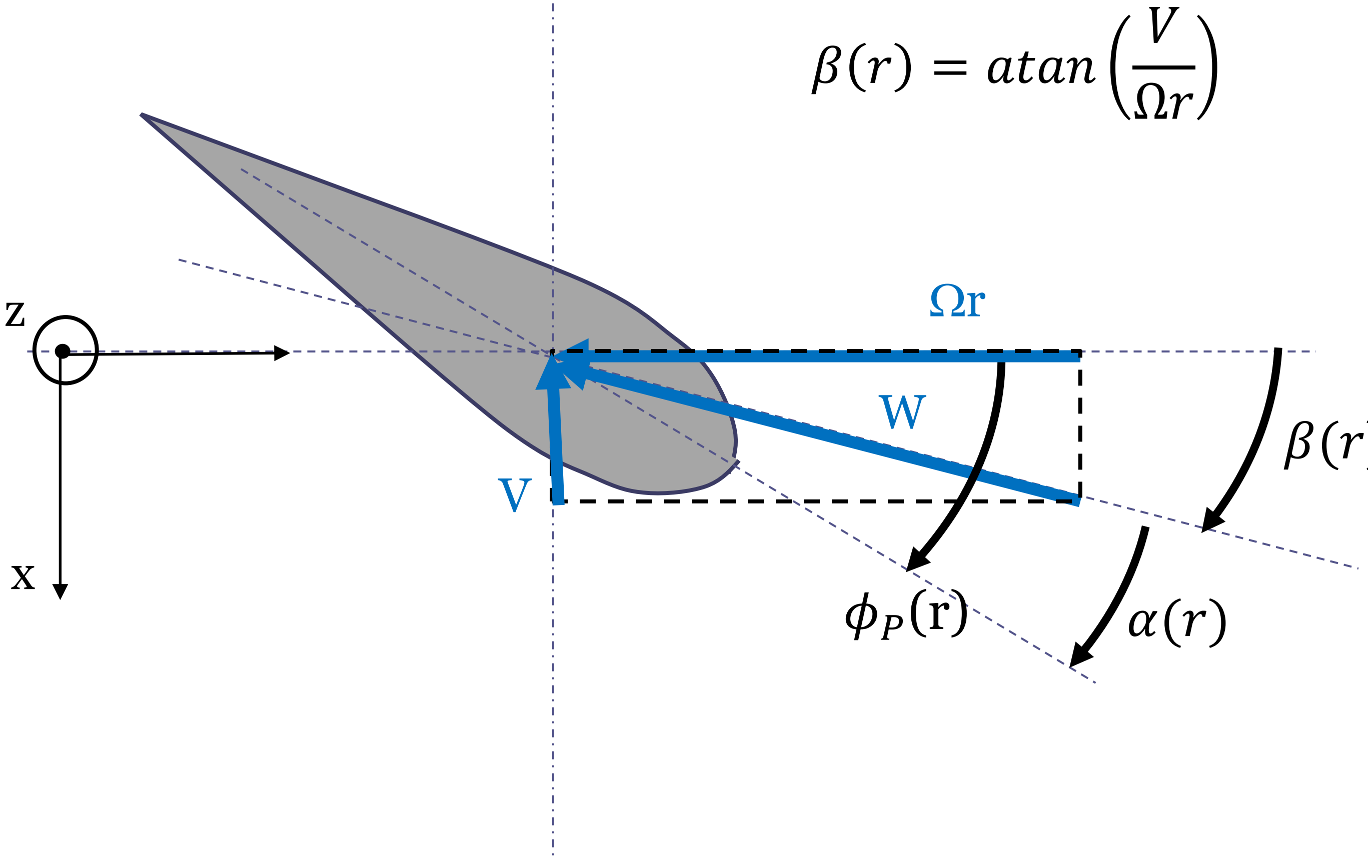


A Teoria de Elemento de Pá

Note-se, então, que:

$$\alpha(r) = \phi_P(\mathrm{r}) - \beta(r)$$

$$\beta(r) = atan\left(\frac{V}{\Omega r}\right)$$



A Teoria de Elemento de Pá

Exercício: Considere um propulsor do tipo hélice com diâmetro D=4m e composto por 6 pás. Suponha que a velocidade axial do escoamento que atinge o disco a uma distância de 1,5m do eixo do propulsor corresponda a V=5,0m/s. Nessa situação, calcule qual a magnitude da velocidade do escoamento e qual o ângulo hidrodinâmico neste elemento de pá para as seguintes velocidades de rotação do propulsor (desconsidere qualquer efeito de velocidade angular do escoamento na esteira à jusante do disco propulsor):

a) Ω= 80 rpm

b) Ω=120 rpm

R: a) 13,52 m/s ; 21,70 deg

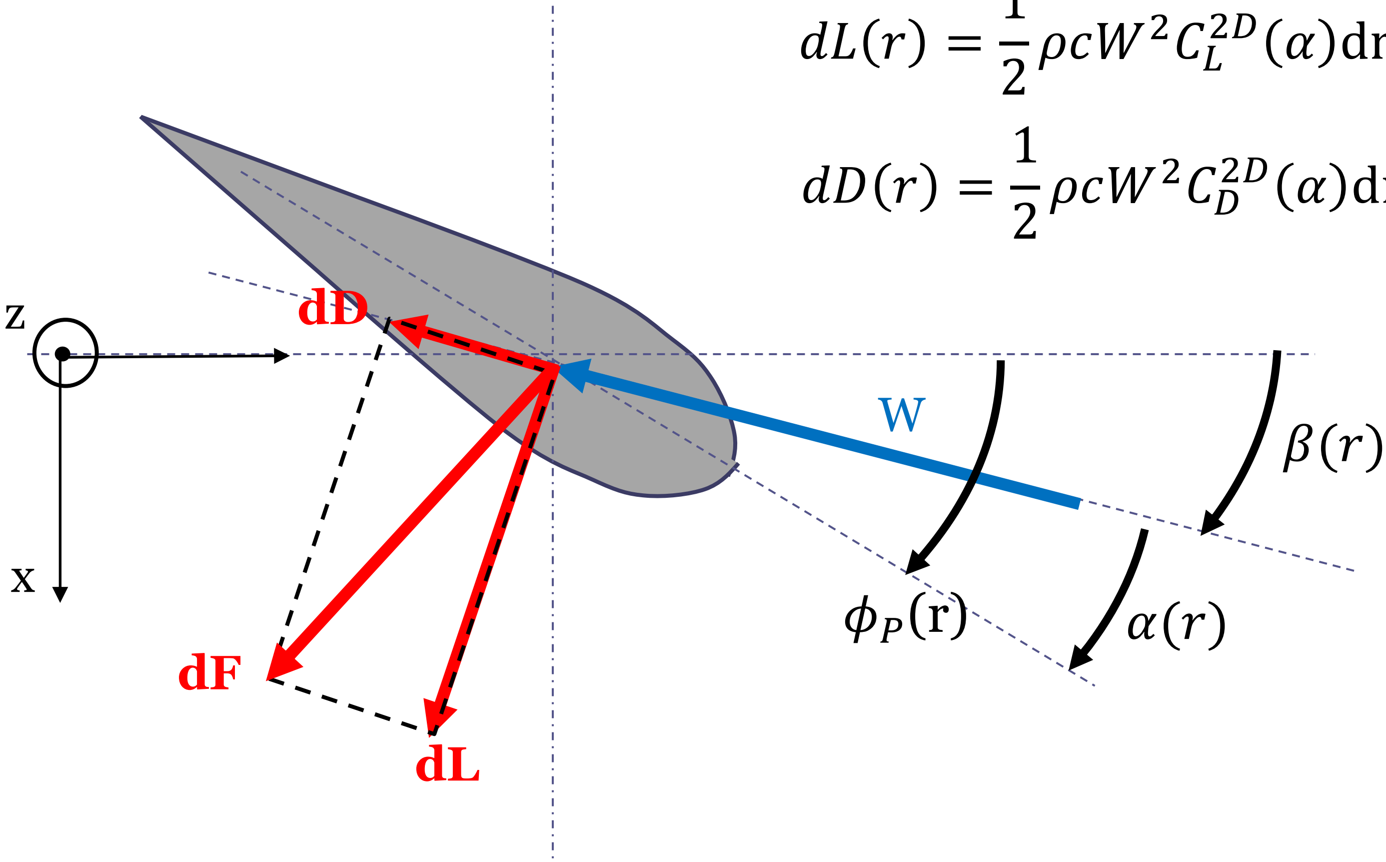
A Teoria de Elemento de Pá

E, como os coeficientes de força no fólio são conhecidos:

$$\alpha(r) = \phi_P(\mathrm{r}) - \beta(r)$$

$$dL(r) = \frac{1}{2}\rho c W^2 C_L^{2D}(\alpha)\mathrm{dr}$$

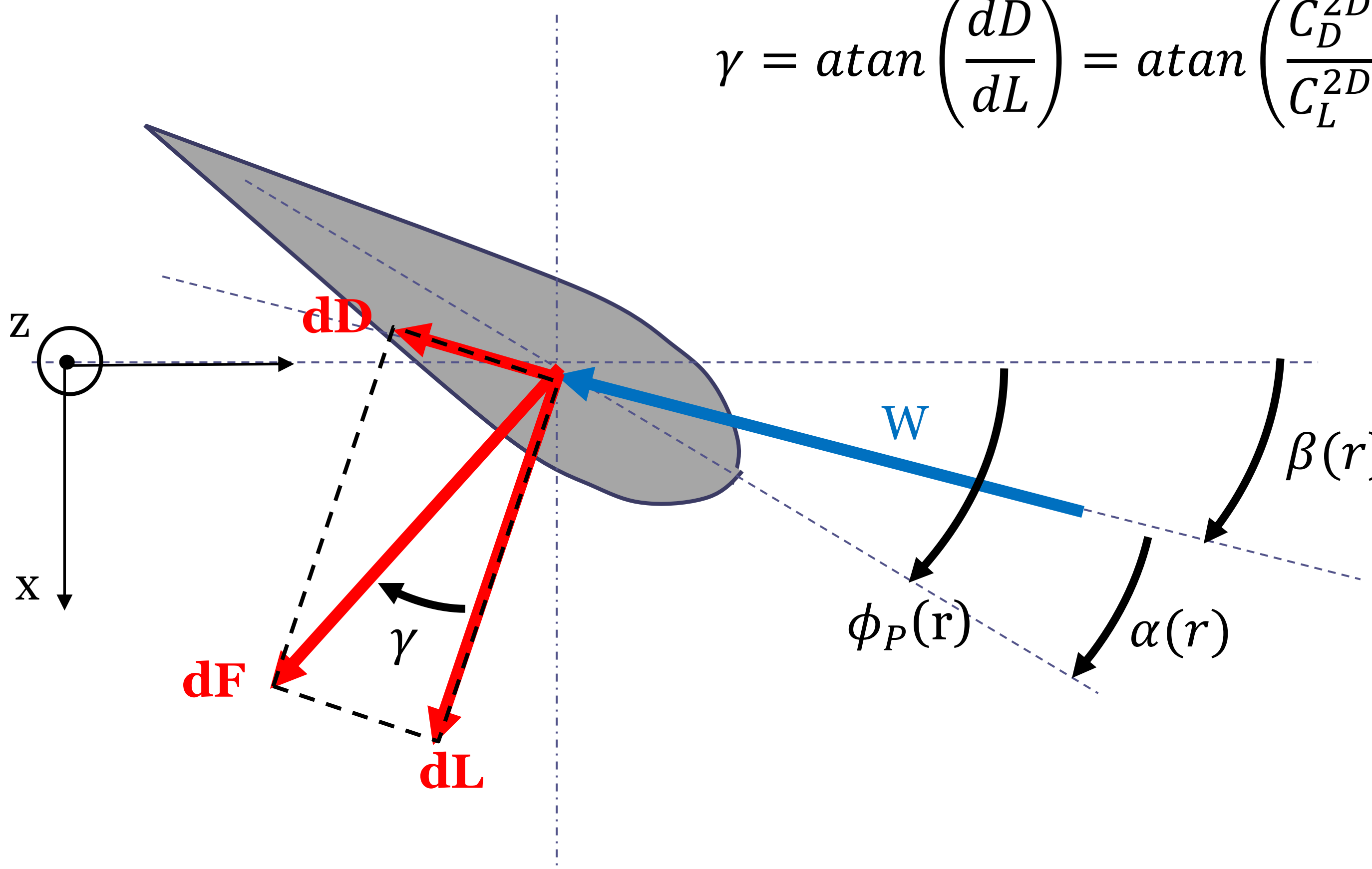
$$dD(r) = \frac{1}{2}\rho c W^2 C_D^{2D}(\alpha)\mathrm{dr}$$



A Teoria de Elemento de Pá

Observar que o ângulo γ é um ângulo característico do fólio, e serve como medida de sua eficiência hidrodinâmica:

$$\gamma = atan\left(\frac{dD}{dL}\right) = atan\left(\frac{C_D^{2D}}{C_L^{2D}}\right)$$



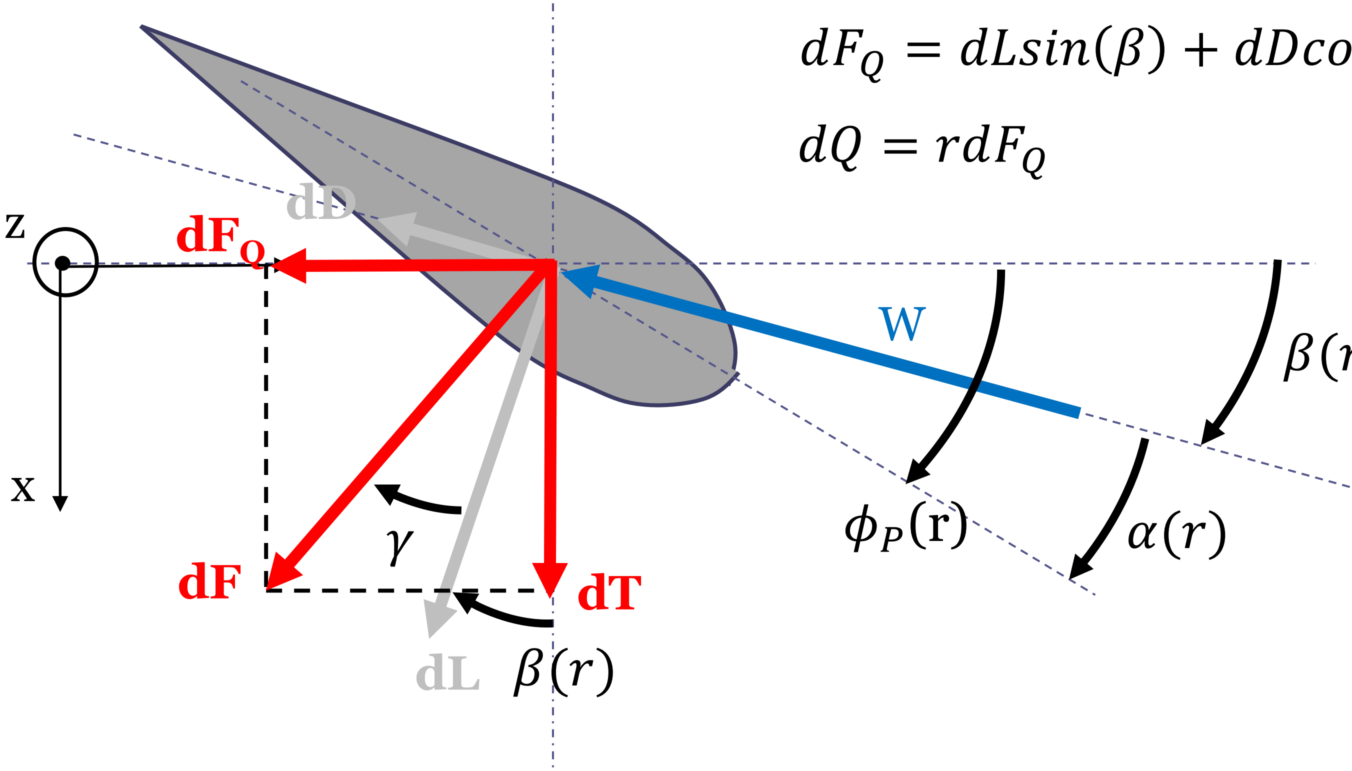
A Teoria de Elemento de Pá

E a força hidrodinâmica também pode ser decomposta em empuxo do elemento (dT) e força indutora do torque (dF_Q):

$$dT = dLcos(\beta) - dDsin(\beta)$$

$$dF_Q = dLsin(\beta) + dDcos(\beta)$$

$$dQ = rdF_Q$$



A Teoria de Elemento de Pá

Portanto:

$$dT = \frac{1}{2}\rho c W^2 [C_L^{2D}(\alpha)cos(\beta) - C_D^{2D}(\alpha)sin(\beta)]dr$$

$$dQ = \frac{1}{2}\rho c r W^2 [C_L^{2D}(\alpha)sin(\beta) + C_D^{2D}(\alpha)cos(\beta)]dr$$

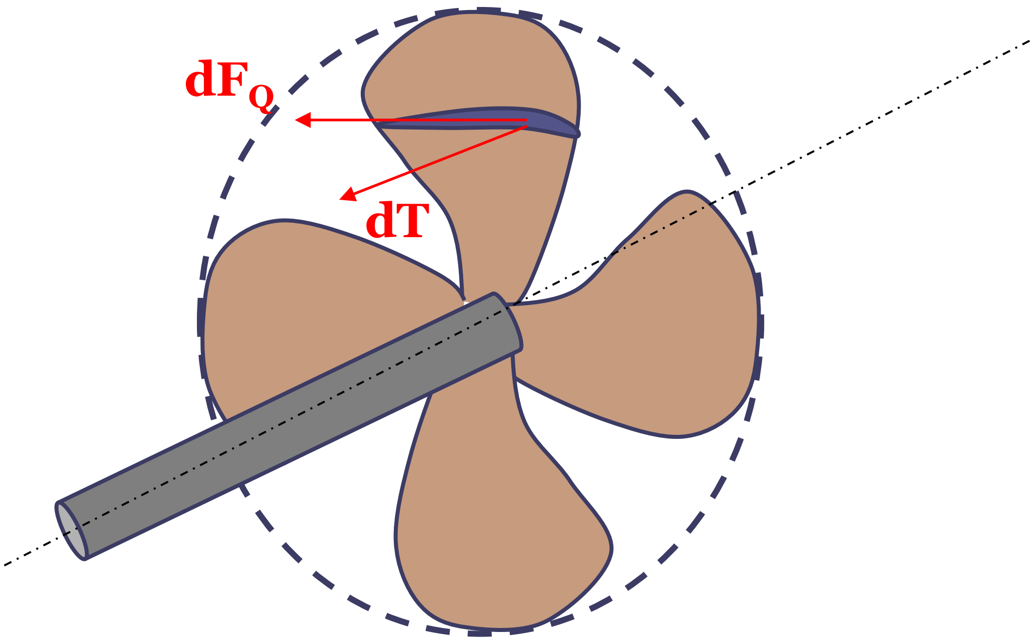
Ou ainda:

$$\frac{dT}{dr} = \frac{1}{2}\rho c W^2 [C_L^{2D}(\alpha)cos(\beta) - C_D^{2D}(\alpha)sin(\beta)]$$

$$\frac{dQ}{dr} = \frac{1}{2}\rho c r W^2 [C_L^{2D}(\alpha)sin(\beta) + C_D^{2D}(\alpha)cos(\beta)]$$

A Teoria de Elemento de Pá

E, para o propulsor composto por N pás:



$$T_{PA} = \int_{rbosso}^{R} \frac{dT}{dr} dr$$

$$Q_{PA} = \int_{rbosso}^{R} \frac{dQ}{dr} dr$$

$$T = T_{PA} N$$

$$Q = Q_{PA} N$$

A Teoria de Elemento de Pá

Dessa forma, a teoria de elemento de pá nos permite estimar, ao menos de forma aproximada, a força e o toque atuantes no propulsor.

No entanto, para sua aplicação é necessário conhecer, de antemão, as velocidades do escoamento no plano do propulsor (disco), **o que requer a consideração da ação do propulsor sobre o escoamento à montante e à jusante do disco**.

Teoria do Disco Atuador

+

Teoria do Elemento de Pá

→

Solução completa do problema