

## Configurações e Dimensionamento da Empenagem.

**Luiz Eduardo Miranda José Rodrigues**

Professor MSc.

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

[luizeduardo@cefetsp.br](mailto:luizeduardo@cefetsp.br)

**Larissa Carvalho Dantas**

Aluna de Gestão da Produção Industrial

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

[larissacarvalho@tecnofagia.com](mailto:larissacarvalho@tecnofagia.com)

### Resumo

O presente artigo visa discorrer sobre a estrutura da empenagem de uma aeronave e sua ligação com a eficiência da mesma, bem como exemplificar os tipos de empenagem e correlacioná-los com suas vantagens e desvantagens.

### Palavras-chave

Empenagem; aerodinâmica; engenharia aeronáutica; aerodesign.

### 1 – Fundamentos Básicos

A empenagem é a parte terminal da fuselagem, leme (superfície vertical) e profundor (superfície horizontal).

O leme funciona como controlador direcional do avião; faz com que o nariz vire para esquerda ou direita (guinada).

O profundor tem como principal função o controle longitudinal (controle de arfagem) e a trimagem da aeronave. Trimagem é a regulagem e correção, no controle, de pequenas perturbações que podem ocorrer durante o voo.

Quando o bordo de fuga do profundor se deflete para baixo ou para cima ele gera um momento ao redor do CG no sentido horário e anti-horário, respectivamente, se traduzindo no movimento de arfagem.

### 2 – Dimensionamento

O dimensionamento dos componentes da empenagem de um avião representa um dos aspectos mais empíricos e menos preciso de todo o projeto. Como citado, a função primária da superfície horizontal da cauda é prover a estabilidade longitudinal e o profundor atua como forma de se garantir o controle longitudinal e a trimagem da aeronave. Já a superfície vertical possui a finalidade de garantir a estabilidade direcional sendo que o leme de direção atua com a finalidade de prover o controle direcional da aeronave.

Dessa forma, durante a fase preliminar do projeto de uma nova aeronave, as dimensões das superfícies horizontal e vertical da empenagem devem ser suficientes para se garantir a estabilidade e o controle da aeronave.

O processo para a realização desse dimensionamento é fundamentado em dados históricos e empíricos onde duas quantidades adimensionais importantes denominadas de volume de cauda horizontal e volume de cauda vertical são utilizadas para se estimar as dimensões mínimas das superfícies de cauda. Essas quantidades adimensionais são definidas a partir das Equações (1) e (2).

$$V_{HT} = \frac{l_{HT} \cdot S_{HT}}{\bar{c} \cdot S} \quad (1)$$

$$V_{VT} = \frac{l_{VT} \cdot S_{VT}}{b \cdot S} \quad (2)$$

Nessas equações,  $l_{HT}$  representa a distância entre o CG do avião e o centro aerodinâmico da superfície horizontal da empenagem,  $l_{VT}$  é a distância entre o CG do avião e o centro aerodinâmico da superfície vertical da empenagem,  $S_{HT}$  é a área necessária para a superfície horizontal da empenagem,  $S_{VT}$  a área necessária para a superfície vertical da empenagem,  $\bar{c}$  representa a corda média aerodinâmica da asa,  $b$  é a envergadura da asa e  $S$  a área da asa.

Baseado em dados históricos e empíricos de aviões monomotores existentes, os valores dos volumes de cauda estão compreendidos na seguinte faixa:

$$0,35 \leq V_{HT} \leq 0,5$$

$$0,03 \leq V_{VT} \leq 0,06$$

As Equações (1) e (2) possuem como finalidade principal o cálculo das áreas necessárias das superfícies horizontal e vertical da empenagem como forma de se garantir a estabilidade e o controle da aeronave, assim, para a solução dessas equações se faz necessário o conhecimento prévio da corda média aerodinâmica, da área da asa e da envergadura da mesma. Os valores de  $l_{HT}$ ,  $l_{VT}$ ,  $V_{HT}$  e  $V_{VT}$  são adotados de acordo com a experiência do projetista e às necessidades do projeto em questão.

É importante observar que maiores valores de  $l_{HT}$  e  $l_{VT}$  proporcionam menores valores de áreas para as superfícies horizontal e vertical da empenagem. De maneira inversa, maiores valores de  $V_{HT}$  e  $V_{VT}$  proporcionam maiores valores de área necessária. Portanto, a experiência do projetista é essencial para se definir os melhores valores a serem adotados para a solução das Equações (1) e (2).

### 3 – Configurações de Empenagem

As principais configurações de empenagem geralmente utilizadas nas aeronaves são denominadas como convencional, cauda em T, cauda em V, cauda dupla e cruciforme e estão representadas a seguir nas Figuras 1 e 2.



Figura 1 - Principais tipos de empenagens.

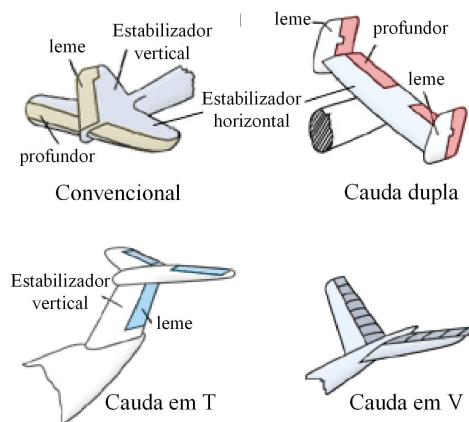


Figura 2 – Ilustração dos principais tipos de empenagens.

A configuração convencional geralmente é a utilizada em praticamente 70% dos aviões, este modelo é favorecido pelo seu menor peso estrutural quando comparada às outras configurações citadas e também possui boas qualidades para se garantir a estabilidade e o controle da aeronave. A cauda em T possui uma estrutura mais pesada e a superfície vertical deve possuir uma estrutura mais rígida para suportar as cargas aerodinâmicas e o peso da superfície horizontal.

Uma característica importante da configuração em T é que a superfície horizontal atua como um “end plate” na extremidade da superfície vertical resultando em um menor arrasto induzido. A configuração em V geralmente pode ser utilizada na intenção de se reduzir a área

molhada da empenagem além de propiciar um menor arrasto de interferência, porém sua maior penalidade é com relação a complexidade dos controles uma vez que leme e profundor devem trabalhar em conjunto como forma de se manobrar a aeronave.

A cauda dupla normalmente é utilizada como forma de se posicionar o estabilizador vertical fora da esteira de vórtices principalmente em elevados ângulos de ataque e a configuração cruciforme representa basicamente uma situação intermediária entre a cauda convencional e a cauda em T.

Uma vez que as utilizações das superfícies vertical e horizontal da empenagem devem fornecer meios para se garantir a estabilidade e o controle da aeronave, as forças aerodinâmicas atuantes nesses componentes geralmente são bem menores que as atuantes na asa da aeronave além de mudarem de direção constantemente durante o voo, isto implica na utilização de perfis simétricos como forma de se garantir que em qualquer sentido de movimento dessas superfícies a força aerodinâmica gerada seja equivalente.

Uma vez selecionado o perfil e calculada qual a área necessária para cada uma das superfícies da empenagem, a forma geométrica adotada pode ser fruto da criação e imaginação do projetista, normalmente a superfície horizontal assume uma forma geométrica retangular, elíptica ou trapezoidal e a superfície vertical em 99% dos casos assume uma forma trapezoidal.

Outro ponto importante com relação à superfície horizontal da empenagem é relacionado ao seu alongamento, pois esta superfície pode ser considerada uma asa de baixo alongamento, e, portanto, uma asa de menor eficiência. Assim, se o alongamento da superfície horizontal for menor que o alongamento da asa da aeronave, quando ocorrer um estol na asa a superfície horizontal da empenagem ainda possui

controle sobre a aeronave, pois o seu estol ocorre para um ângulo de ataque maior que o da asa.

#### 4 – Conclusão

A empenagem tem função de estabilizar a aeronave. Além de sua importância, outro fator que a torna crítica é sua imprecisão, por depender de vários fatores externos.

Toda aeronave precisa estar em congruência para que a empenagem esteja bem ajustada e seja ideal para suprir a demanda do avião.

#### 5 – Referências Bibliográficas

- [1] ANDERSON, JOHN, D. *Aircraft performance and design*, McGraw-Hill, New York, 1999.
- [2] ANDERSON, JOHN, D. *Introduction to flight*, McGraw-Hill, New York, 1989.
- [3] RODRIGUES. LEMJ, *Fundamentos de Engenharia Aeronáutica*, Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia de São Paulo, E-Book, São Paulo, 2009.
- [4] ROSKAM. JAN, *Airplane aerodynamics and performance*, DARcorporation, University of Kansas, 1997.