



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

PME-3554 – Introdução às Estruturas Aeronáuticas

Aula #01

Prof. Dr. Guilherme Jorge Vernizzi Lopes

Prof. Dr. Roberto Ramos Jr.

07/08/2025



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

Agenda:

1. Apresentação Geral do Curso
2. Objetivos do Curso
3. Conteúdos da Aula #01



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

1. Apresentação do Curso

Nome da Disciplina: Introdução às Estruturas Aeronáuticas

Sigla da Disciplina: PME-3554

Número de Créditos-Aula: 4 CA (1 CA = 15 horas de atividades)

Número de Créditos-Trabalho: 0 CT (1 CT = 30 horas de atividades)

Turma: 2025201

Docentes: Prof. Dr. Guilherme J. V. Lopes (Guilherme.jorge.lopes@usp.br)

Prof. Dr. Roberto Ramos Jr. (rramosjr@usp.br)

Aulas: 5^{as}, das 13:10 às 14:50

6^{as}, das 15:00 às 16:40

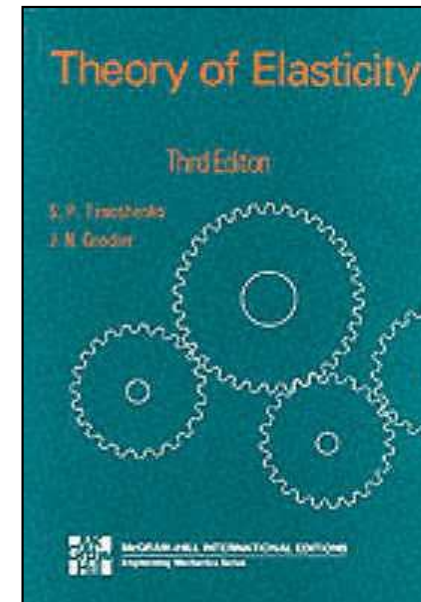
Cronograma, avisos e outros: ver <https://edisciplinas.usp.br/>



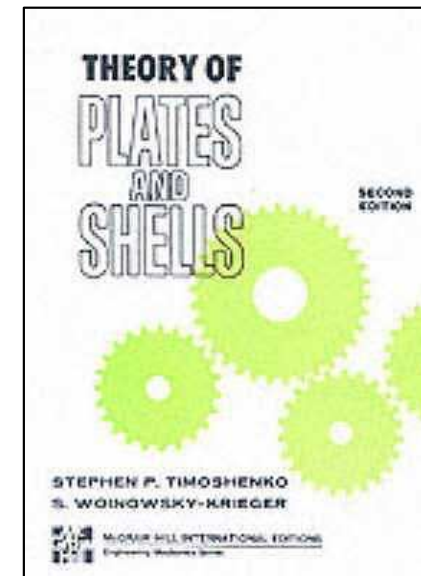
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

Principais livros indicados nas referências:

Timoshenko, S.P., Goodier, J.N. *Theory of elasticity*.
3rd ed. McGraw-Hill, 1970, 567p.



Timoshenko, S.P., Woinowsky-Krieger, S. *Theory of plates and shells*. 2nd ed., 1959, 580 p.

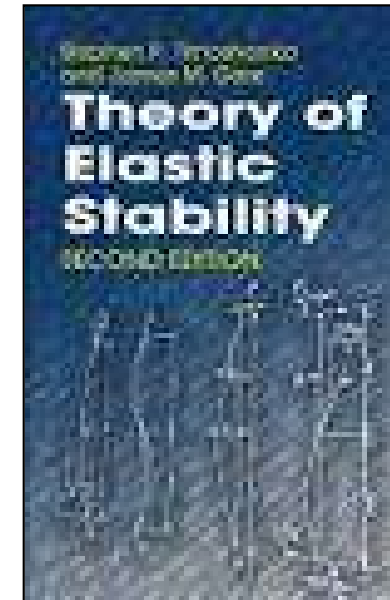




Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

Principais livros indicados nas referências:

Timoshenko, S.P., Gere, J.M. *Theory of elastic stability*. 2nd ed. McGraw-Hill, 1961, 541 p.



Ventsel, E., Krauthammer, T. *Thin plates and shells: theory, analysis and applications*, 2001.

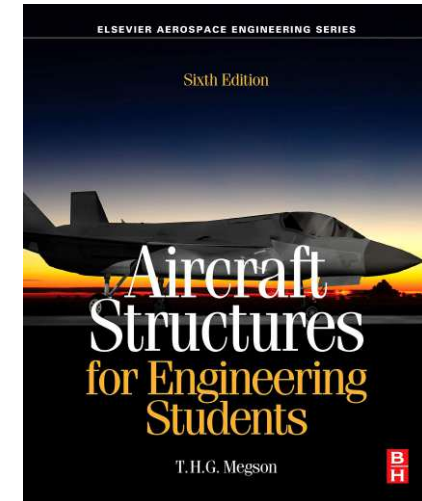




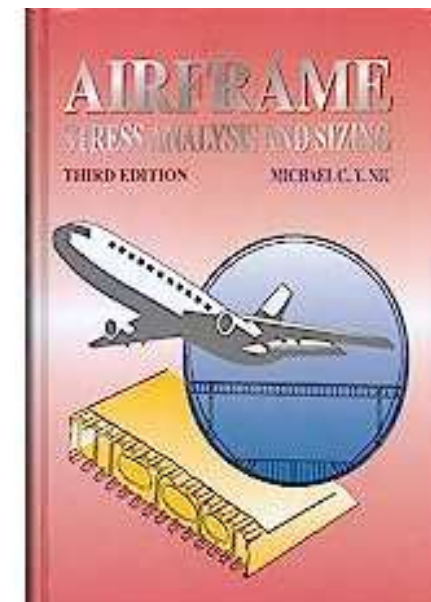
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

Principais livros indicados nas referências:

Megson, T. H. G. *Aircraft Structures for Engineering Students*. 6th ed., Butterworth-Heinemann, 2016.



Niu, Michael C.Y. *Airframe Stress Analysis and Sizing*. 3rd ed., Adaso/Adastr Engineering Center, 2011.

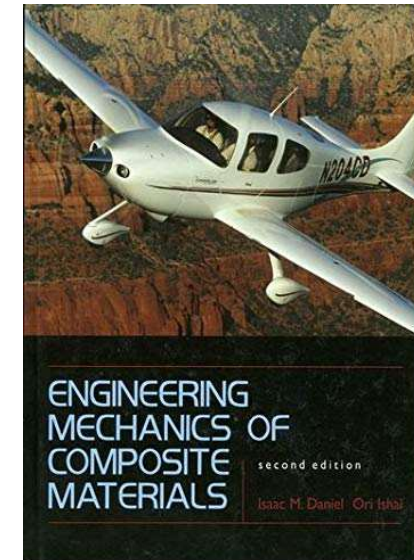




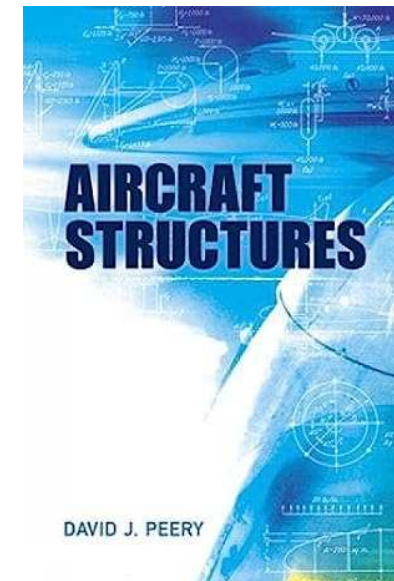
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

Principais livros indicados nas referências:

Daniel, Isaac & Ishai, Ori. *Engineering Mechanics of composite materials*. 2nd ed., Oxford University Press, 2005.



Peery, David J. *Aircraft Structures*. Dover Publications, 2011.





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

Critério de Aprovação:

$$A = \frac{P_1 + P_2 + T + S}{4} \geq 5,0 \quad \text{e} \quad F \geq 70\%$$

Data da P1: 19/09/2025

Data da P2: 23/10/2025

P1 e P2: 1ª e 2ª provas da disciplina

T: média dos trabalhos em grupo e exercícios realizados em sala de aula

S: média aritmética referente ao trabalho e apresentação do projeto final.



2. Objetivos do Curso

Complementar a formação dos estudantes de engenharia nas disciplinas de Mecânica dos Sólidos e Resistência dos Materiais com conteúdos voltados a:

- Análise de estruturas de parede fina enrijecidas;
- Problemas 2D (EPT, EPD, ETA);
- Teoria de placas e cascas;
- Flambagem de placas;
- Análise estrutural de materiais compósitos.



3. Conteúdos da Aula #01

- 3.1. Definição de Acidente Aeronáutico
- 3.2. Sistema de Coordenadas e Movimentos da Aeronave
- 3.3. Partes e Funções de uma Aeronave
- 3.4. Fuselagem
- 3.5. Asa(s)
- 3.6. Empenagem



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

3.1. Definição de Acidente Aeronáutico

É toda ocorrência relacionada à operação de uma aeronave tripulada no período entre o embarque do passageiro, com a intenção de realizar um voo, até o momento em que todas as pessoas tenham dela desembarcado e, durante o qual, pelo menos uma das situações abaixo ocorra:

- a) Qualquer pessoa sofra lesão grave ou morra em decorrência de sua presença na aeronave, em contato direto com qualquer de suas partes, incluindo aquelas que dela tenham se desprendido, ou submetido à exposição direta do sopro de hélice, rotor ou escapamento de jato, ou às suas consequências. Exceção é feita quando as lesões resultarem de causas naturais, forem auto ou infligidas por terceiros, ou forem causadas a pessoas que embarcaram clandestinamente e se acomodaram em área que não as destinadas aos passageiros ou aos tripulantes.



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

- b) A aeronave sofra dano ou falha estrutural que afete adversamente a resistência estrutural, o seu desempenho ou as suas características de voo ou, ainda, se exigir a substituição de grandes componentes ou a realização de grandes reparos no componente afetado. Exceção é feita para falha ou danos limitados ao motor, carenagens, seus acessórios, hélices, pontas de asas, antenas, pneus, freios, ou pequenos amassamentos ou perfurações no revestimento da aeronave.
- c) A aeronave seja considerada desaparecida ou o local onde se encontra seja absolutamente inacessível.

Fonte: Ministério da Defesa – Departamento de Controle do Espaço Aéreo – DECEA – Força Aérea Brasileira [1]



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

Causas dos Acidentes Aeronáuticos:

Cerca de 80% de todos os acidente na aviação ocorreram imediatamente antes, durante ou depois da decolagem ou da aterrissagem, e são frequentemente identificados como resultado de erro humano. Desastres em voo são raros mas não inteiramente inéditos ou impossíveis.

Dentre outras causas, estão os atentados terroristas com bombas (voo PanAm-103) e sequestros (voo Ethiopian-961), as colisões em voo (voo Gol-1907), as falhas estruturais (como as ocorridas com os Comets, em 1953 e 1954) e as condições climáticas (voo Air France-447).



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

Uma análise de 1843 acidentes aéreos desde 1950 até 2006 determinou as seguintes causas, excluindo-se ocorrências militares, voos privados e voos charters:

- **53%:** Erro do piloto;
- **21%:** Falhas estruturais;
- **11%:** Clima/tempo;
- **8%:** Outros erros humanos (erro do controle de tráfego aéreo, imperícia no carregamento ou na manutenção, contaminação de combustível, erro de comunicação, etc.);
- **6%:** Sabotagem (bombas, sequestros, abatimentos);
- **1%:** Outras causas.

Fontes:

https://pt.wikipedia.org/wiki/Acidentes_e_incidentes_aéreos

<https://www.planecrashinfo.com/cause.htm>

<http://aviation-safety.net/>

<https://inspecaoequipto.blogspot.com/2014/02/caso-060-avioes-comet-falhas-por-fadiga.html>



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

Panorama dos Acidentes Aeronáuticos no Brasil

O Painel SIPAER é uma ferramenta de visualização de dados desenvolvida pelo CENIPA (Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos) que permite pesquisar as ocorrências aeronáuticas ocorridas no Brasil nos últimos 10 anos, reportadas no [Portal Único](#). Os dados são exibidos em forma de gráficos e tabelas, que são dinamicamente modificados conforme filtros de pesquisa aplicados pelo próprio usuário.

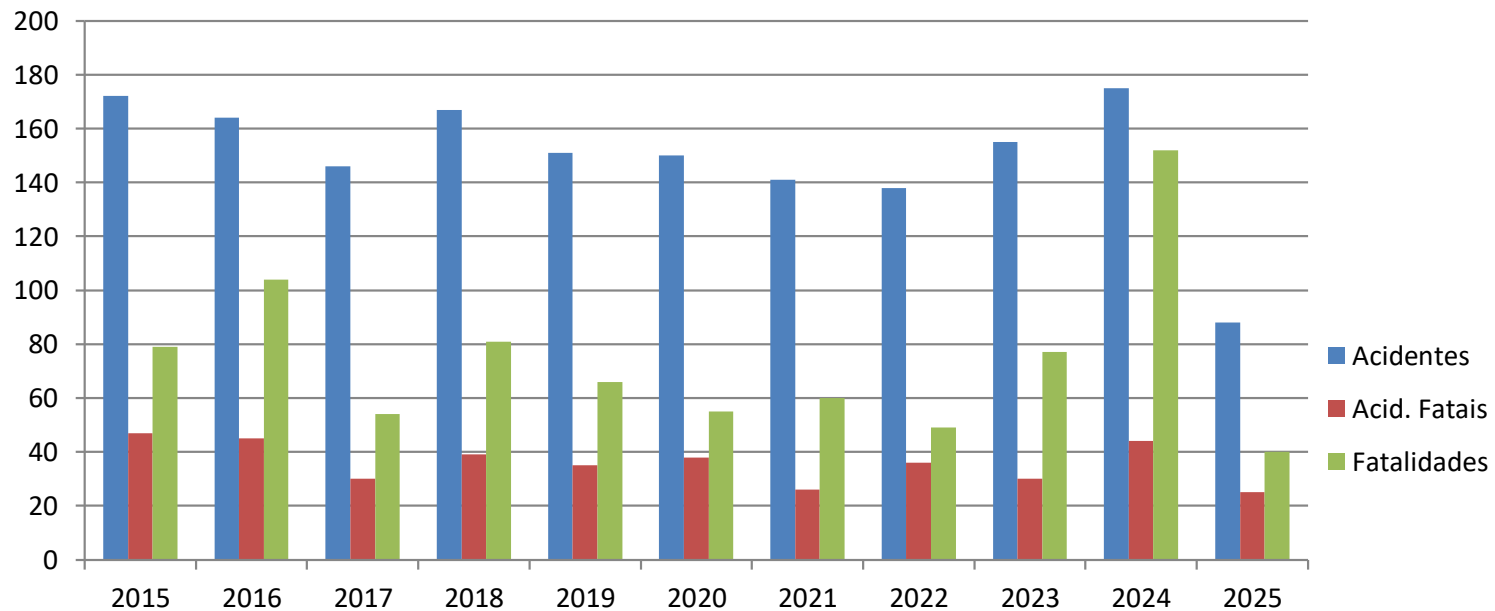
O CENIPA exerce a função de Autoridade de Investigação SIPAER e, no âmbito da aviação civil, as atividades de prevenção, de competência do CENIPA, estão limitadas às investigações de acidentes e incidentes aeronáuticos e às tarefas relacionadas com a gestão dos sistemas de reporte voluntário, conforme disposto no § 6º do Art. nº 1 do Decreto nº 9540, de 25/10/2018, que dispõe sobre o Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos ([SIPAER](#)).

Todos os Relatórios Finais publicados pelo CENIPA são disponibilizados à Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) para que as análises técnico-científicas das investigações sejam utilizadas como fonte de dados e informações, objetivando a identificação de perigos e a avaliação de riscos, conforme disposto no [Programa Brasileiro para a Segurança Operacional da Aviação Civil \(PSO-BR\)](#).



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

Panorama dos Acidentes Aeronáuticos no Brasil nos últimos 10 anos:



Fonte: <https://painelsipaer.cenipa.fab.mil.br/extensions/Sipaer/Sipaer.html>

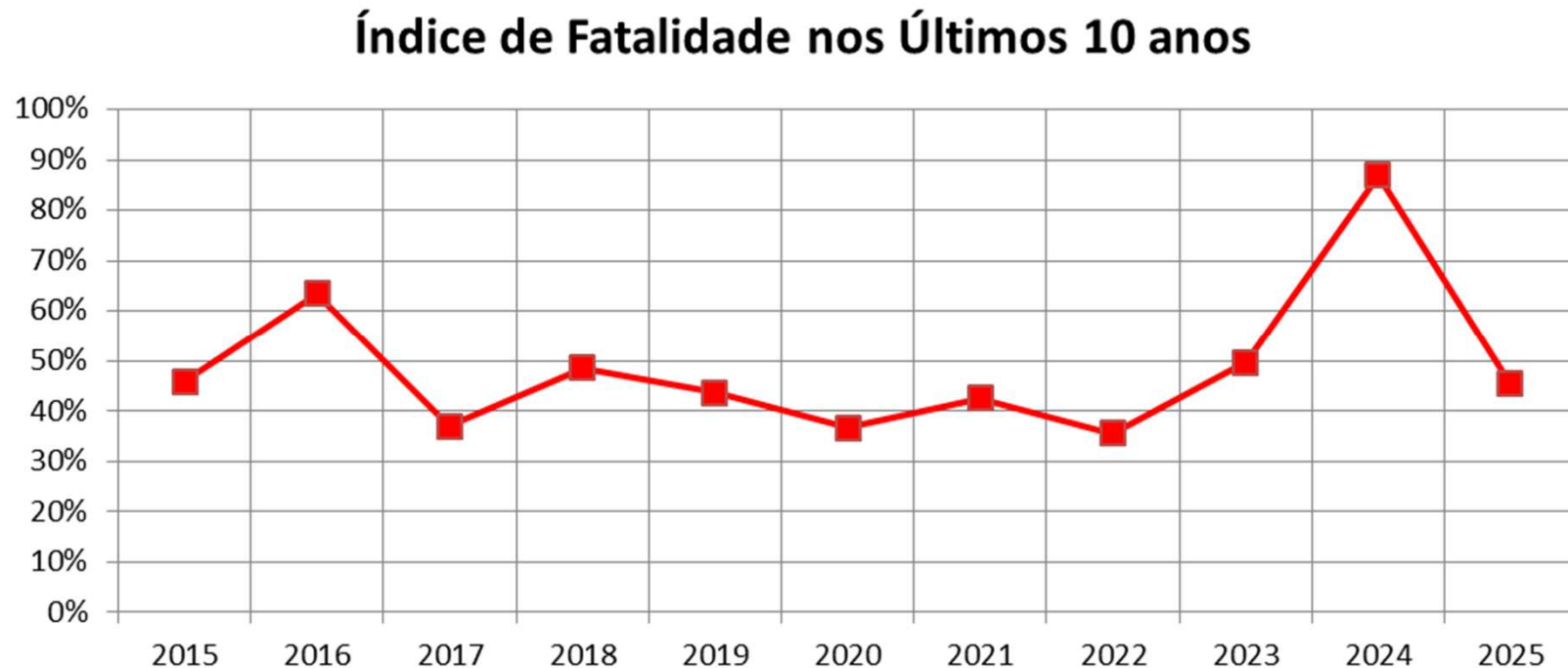
Define-se o índice de fatalidades por:

$$IF = \frac{\text{Total de Fatalidades}}{\text{Total de Acidentes}} \times 100$$



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

Índice de Fatalidade em Acidentes Aeronáuticos no Brasil nos últimos 10 anos:



Fonte: <https://painelsipaer.cenipa.fab.mil.br/extensions/Sipaer/Sipaer.html>



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

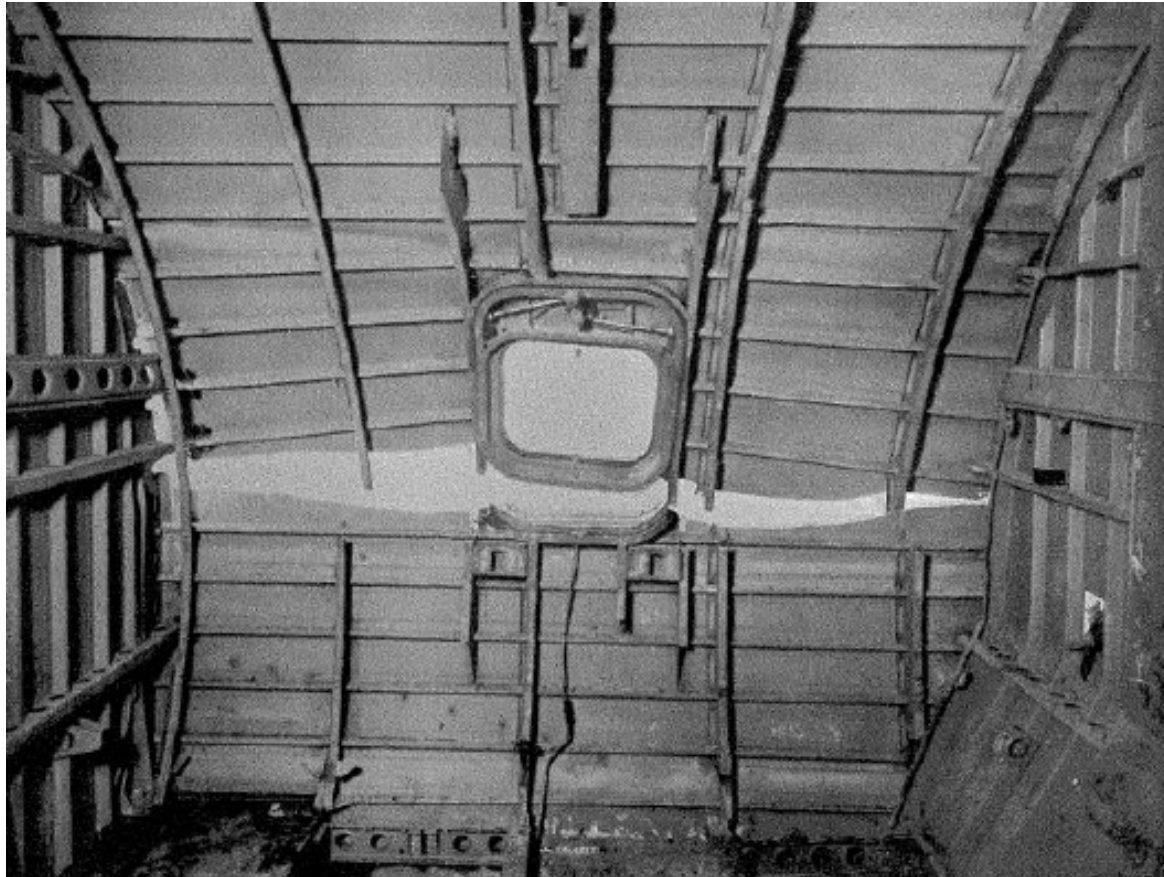


Fig. 1: Falha estrutural por concentração de tensões e fadiga nos aviões Comet.
Fonte: https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2022-10/G-ALYP_Report_0.pdf



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica



Fig. 2: Falha da estrutura de uma aeronave (Boeing 737) por corrosão e fadiga na fuselagem (acidente ocorrido em 28/04/1988).

Fonte: <https://inspecaoequipto.blogspot.com/2014/02/caso-060-avioes-comet-falhas-por-fadiga.html>



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica



Fig. 3: Exemplo de aeronave com colisão múltipla com fauna (aves).
Fonte: Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. MCA 3-6. Manual de Investigação do SIPAER. Ministério da Defesa . Comando da Aeronáutica (2017).



3.2. Sistema de Coordenadas e Movimentos da Aeronave [2]

Segundo o padrão utilizado na indústria aeronáutica, adota-se o centro de gravidade da aeronave como origem do sistema de coordenadas. Os três eixos de coordenadas formam ângulos de 90° entre si.

O eixo longitudinal é posicionado ao longo da fuselagem, orientado da cauda para o nariz do avião. O eixo lateral forma ângulos iguais com os eixos das asas e é orientado da esquerda para a direita (para quem olha no sentido positivo do eixo longitudinal). Por fim, o eixo vertical é orientado de cima para baixo, de modo que os versores dos três eixos, acima definidos, formam uma base ortonormal com orientação positiva.



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

Durante o voo, uma aeronave pode realizar seis tipos de movimento em relação aos três eixos de referência, ou seja, um avião pode ser modelado como um sistema de seis graus de liberdade (se imaginado como um corpo rígido).

Dos movimentos possíveis de uma aeronave, três são referentes aos movimentos de translação e três são referentes aos movimentos de rotação.

Os três movimentos de translação são:

- para frente, ao longo do eixo longitudinal (*surge*),
- para a esquerda, ou para a direita, ao longo do eixo transversal (*sway*) e
- para cima, ou para baixo, ao longo do eixo vertical (*heave*).

Já os três movimentos de rotação ao redor dos eixos são:

- movimento de rolamento em torno do eixo longitudinal (*roll*),
- movimento de arfagem em torno do eixo transversal (*pitch*) e
- movimento de guinada em torno do eixo vertical (*yaw*).



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

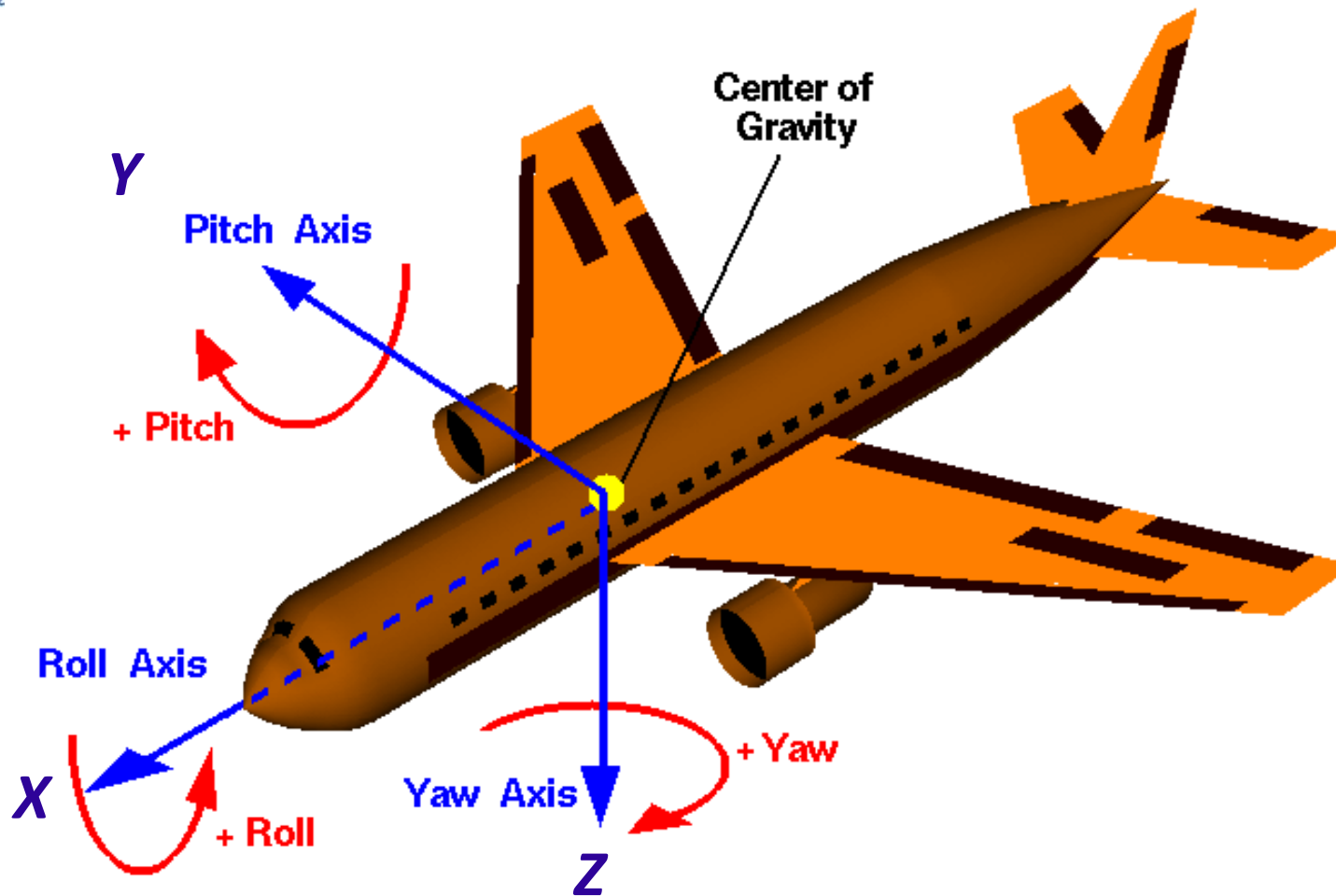
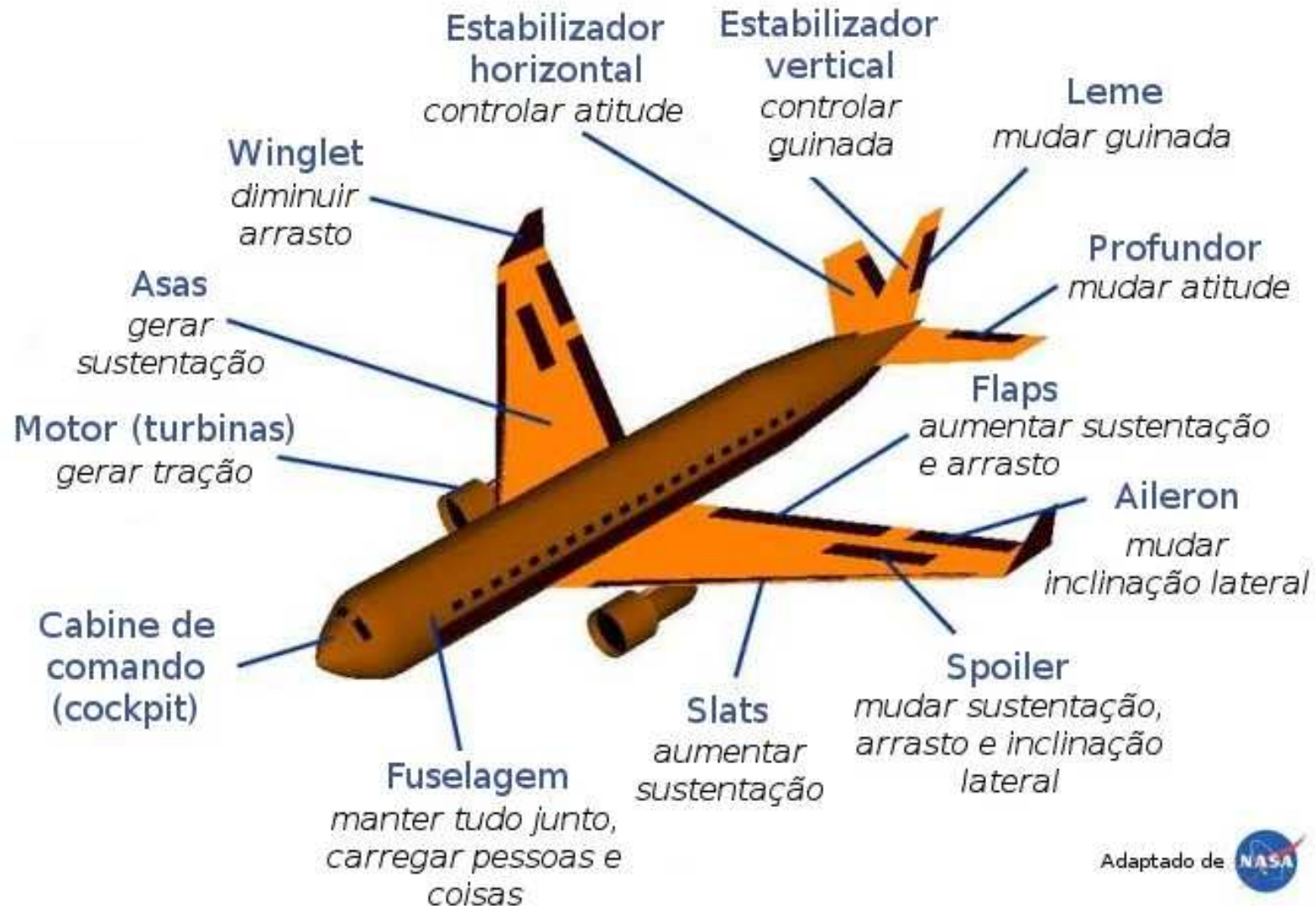


Fig.3: Eixos e movimentos de rotação de uma aeronave.
Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Rollpitchyawplain.png>



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

3.3. Partes e Funções de uma Aeronave [3]





3.4. Fuselagem

A fuselagem é a camada de proteção exterior de uma estrutura, geralmente feita em material metálico, e constitui, no caso de aeronaves, o corpo principal da estrutura. O nome vem da palavra francesa "*fuselé*", que significa *forma cônica* [4].

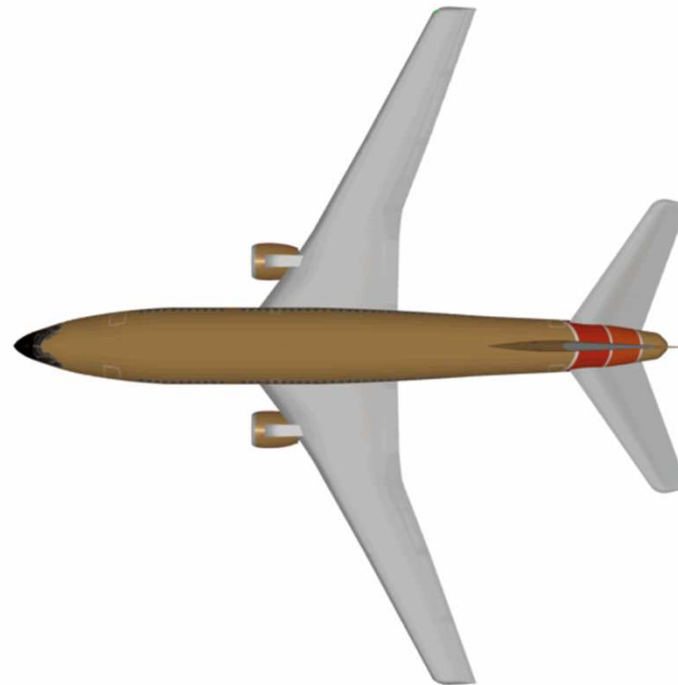


Fig.4: Fuselagem de um *Boeing 737* [4].



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

A fuselagem inclui a cabine de comandos, que contém os assentos para seus ocupantes e os controles de voo da aeronave, e também possui o compartimento para acomodar passageiros, tripulação e carga, bem como os vínculos de fixação para outros componentes principais do avião.

Os tipos principais empregados na estrutura das fuselagens são:

- a) Estrutura treliçada;
- b) Estrutura monocoque;
- c) Estrutura semi-monocoque.



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

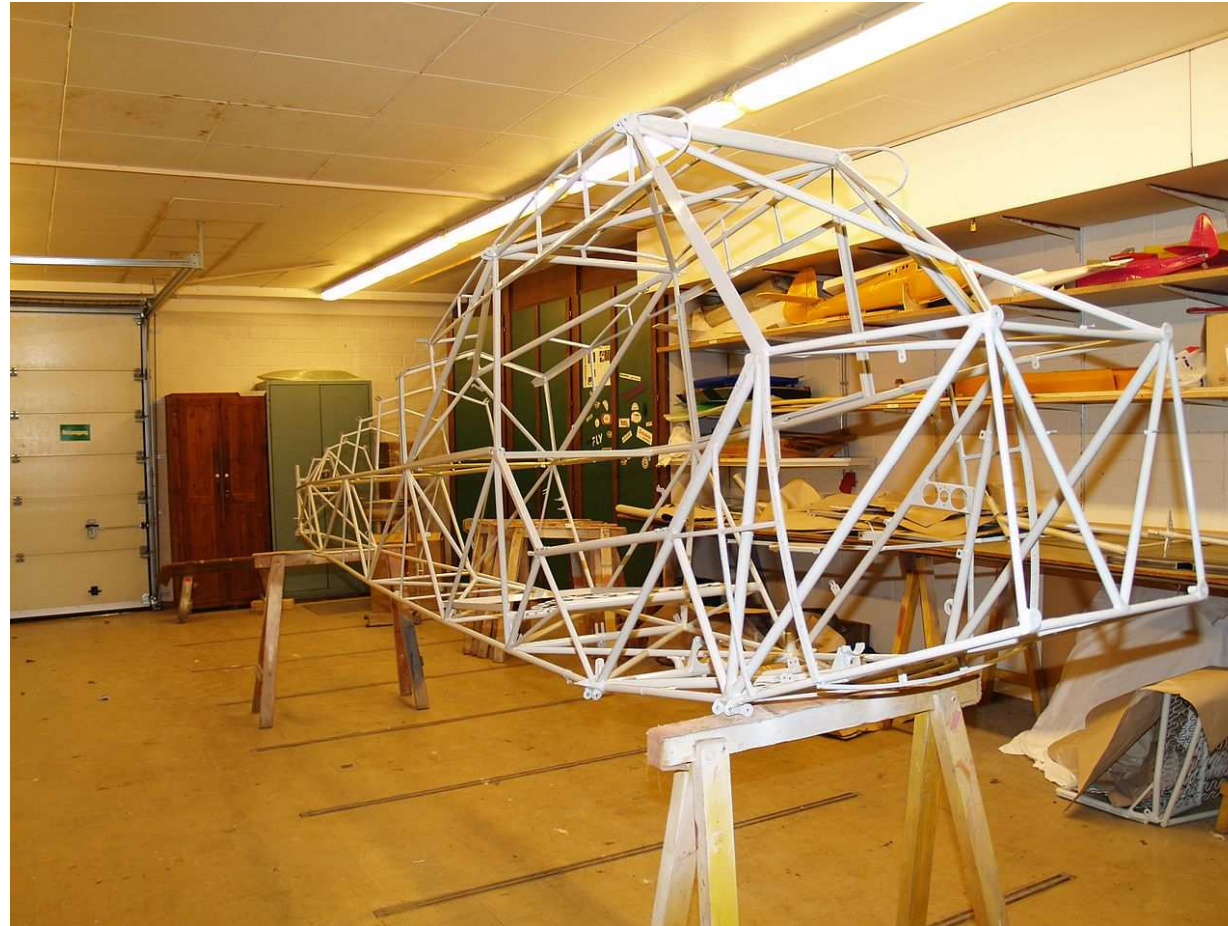
a) Estrutura treliçada (*truss structure*):

Este tipo de estrutura ainda é utilizado em pequenas aeronaves, geralmente soldando barras de aço de ligas cromo-molibdênio de alta resistência, como indicado na Figura 5 e na Figura 6. Em geral o revestimento é feito com materiais leves, sem função estrutural.

É importante ressaltar que, embora o termo “treliça” seja empregado para designar o elemento estrutural submetido apenas a esforços axiais de tração ou de compressão, do ponto de vista prático, tal tipo de construção não funciona exatamente como uma treliça, uma vez que as ligações entre as barras não são articulações ideais (ou seja, há transmissão de momentos fletores e torçores entre as barras).



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica



**Fig.5: Exemplo de estrutura treliçada utilizada na fuselagem do Piper PA18
(Foto: Christoph von Blücher [4]).**



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica



Fig.6: Estrutura treliçada usada na fuselagem de uma pequena aeronave.
Fonte: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=34782784>



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

b) Estrutura monocoque (*monocoque shell structure*):

Neste caso, a própria superfície externa da fuselagem forma a estrutura primária que suporta os carregamentos (vide Fig. 7). Em outras palavras, na fuselagem monocoque, a resistência é advinda basicamente do revestimento, de modo que grande parte dos esforços (flexão, cisalhamento e torção) devem ser resistidos por ele. Contudo, a estrutura monocoque precisa ainda de algumas cavernas (*formers/frames*) para manter sua forma aerodinâmica. Tais elementos são importantes para evitar deformações excessivas no revestimento. Algumas cavernas são responsáveis por acomodar alguns componentes, como o trem de pouso, por exemplo, sendo mais reforçadas (*bulkheads*).



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

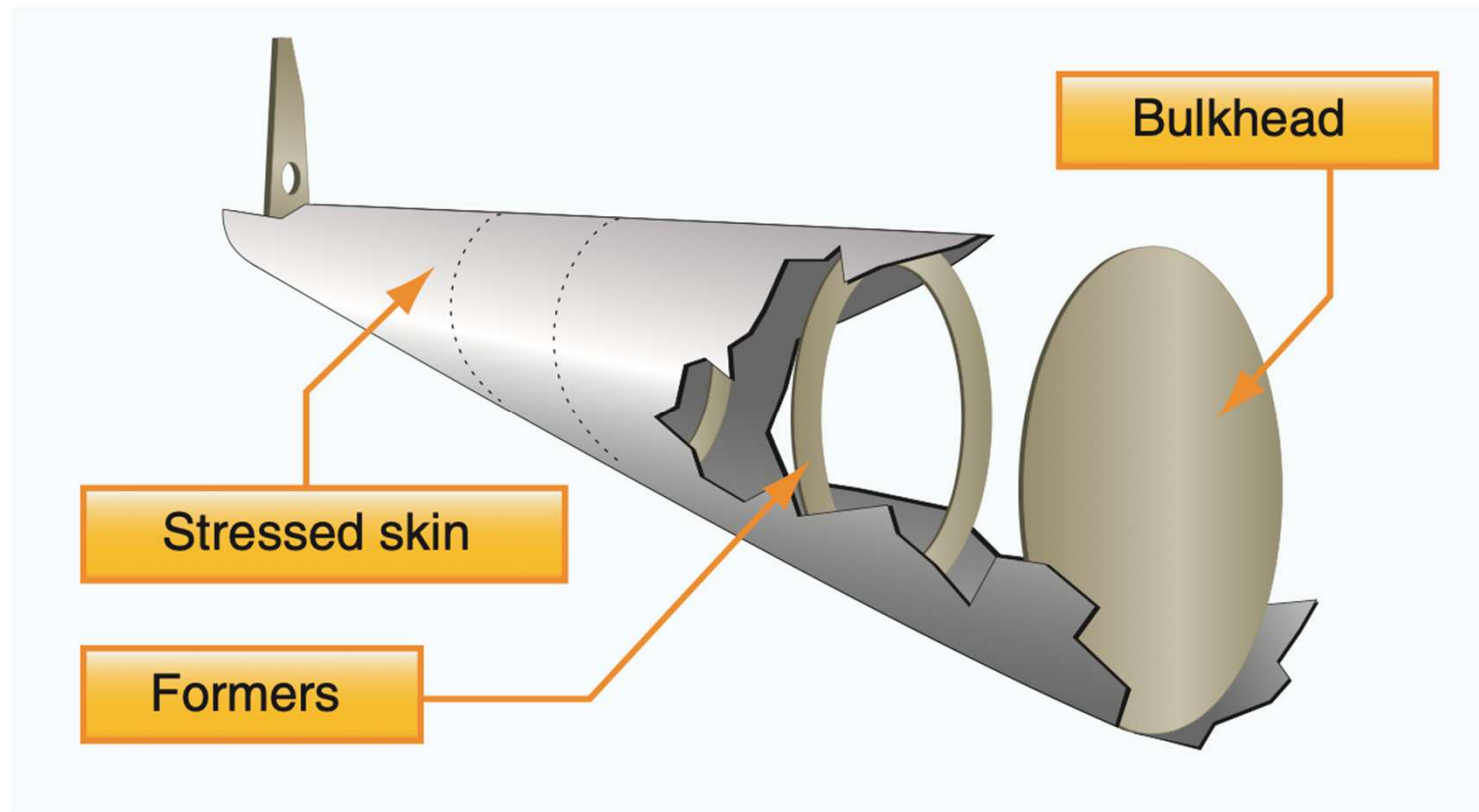


Fig.7: Estrutura monocoque: as chapas (*skin*) suportam grande parte das cargas aplicadas na estrutura [4].



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

Um exemplo típico que emprega esta construção é o *Lockheed Vega* (Fig.8), construído usando placas de compensado moldadas sobre uma superfície carenada. Outro exemplo de uma aeronave maior, também construída com compensado moldado, é o caça/bombardeiro leve *De Havilland Mosquito*, da Segunda Guerra Mundial (Fig.9). Posteriormente, foram empregadas, na estrutura monocoque, placas formadas por fibra de vidro impregnadas com poliéster ou resina epóxi, ao invés de compensados.



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

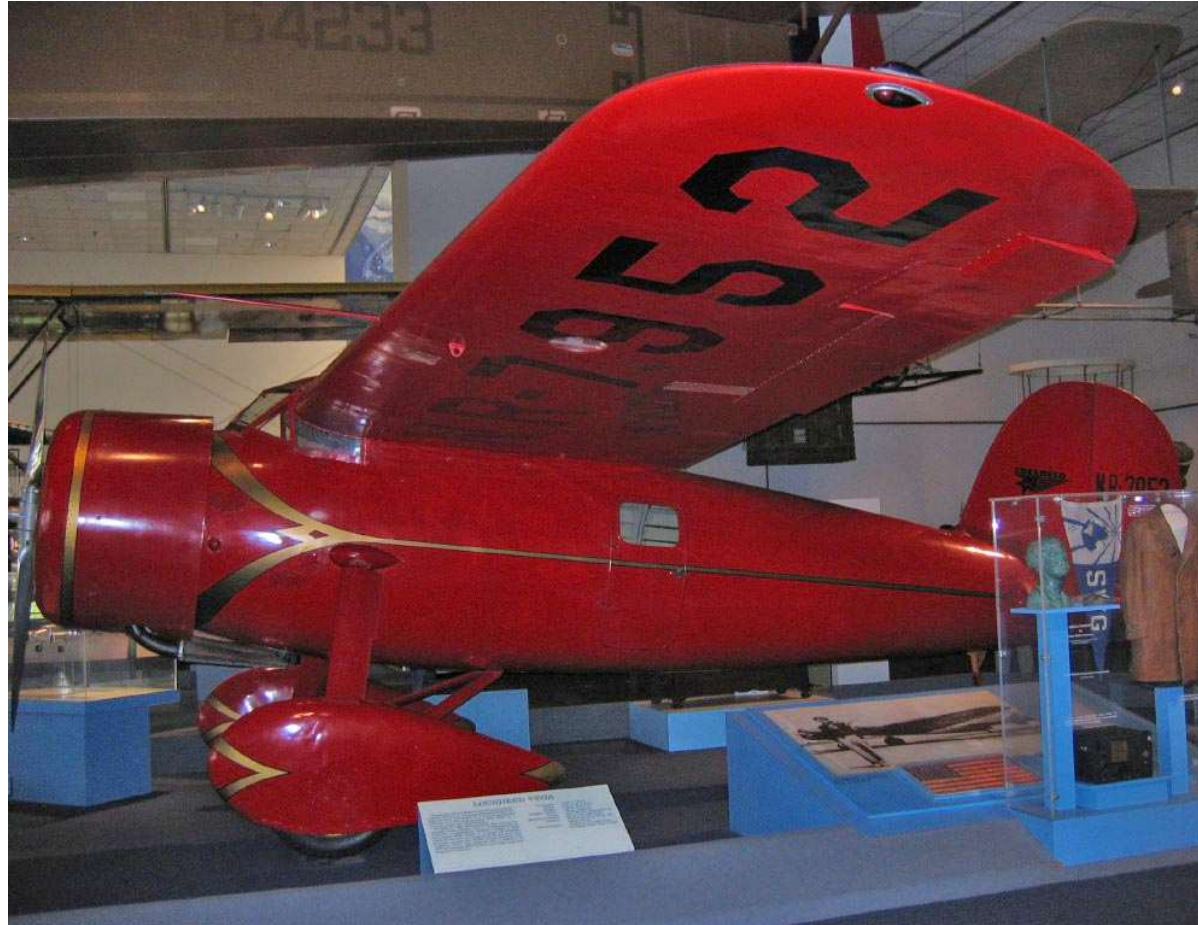


Fig.8: Exemplo de estrutura monocoque: *Lockheed Vega*.
Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Lockheed_Vega



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica



Fig.9: Exemplo de estrutura monocoque: *De Havilland Mosquito*
Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/De_Havilland_Mosquito



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

Deve-se observar, contudo, que nenhuma fuselagem deste tipo é verdadeiramente monocoque, uma vez que elementos de reforço precisam ser incorporados à estrutura para transmitir e suportar cargas que, de outra forma, poderiam causar instabilidade estrutural e grandes distorções. As fuselagens monocoque são encontradas em aviões militares, bem como em aviões comerciais e civis. O Boeing 787 também possui uma fuselagem do tipo monocoque (vide Fig.10).



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica



Fig.10: Boeing 787

Fonte: <https://simpleflying.com/how-its-made-the-787>



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

c) Estrutura semi-monocoque (*semi-monocoque structure*):

Este é o método preferido de construção de fuselagens fabricadas em alumínio. Nesse tipo de estrutura, os esforços são suportados pelas cavernas e/ou anteparas, longarinas e pelo revestimento.

Primeiro, uma série de cavernas no formato das seções transversais da fuselagem são mantidas na posição por meio de acessórios rígidos. As cavernas são, então, unidas com elementos longitudinais leves denominados longarinas. Estas, por sua vez, são cobertas por chapas de alumínio, fixadas por rebitagem ou por colagem com adesivos especiais.

Deve-se observar que tanto a construção monocoque quanto a semi-monocoque são denominadas “*stressed skin*”, pois parte dos esforços externos (em maior ou menor parte) são resistidos pelo revestimento



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

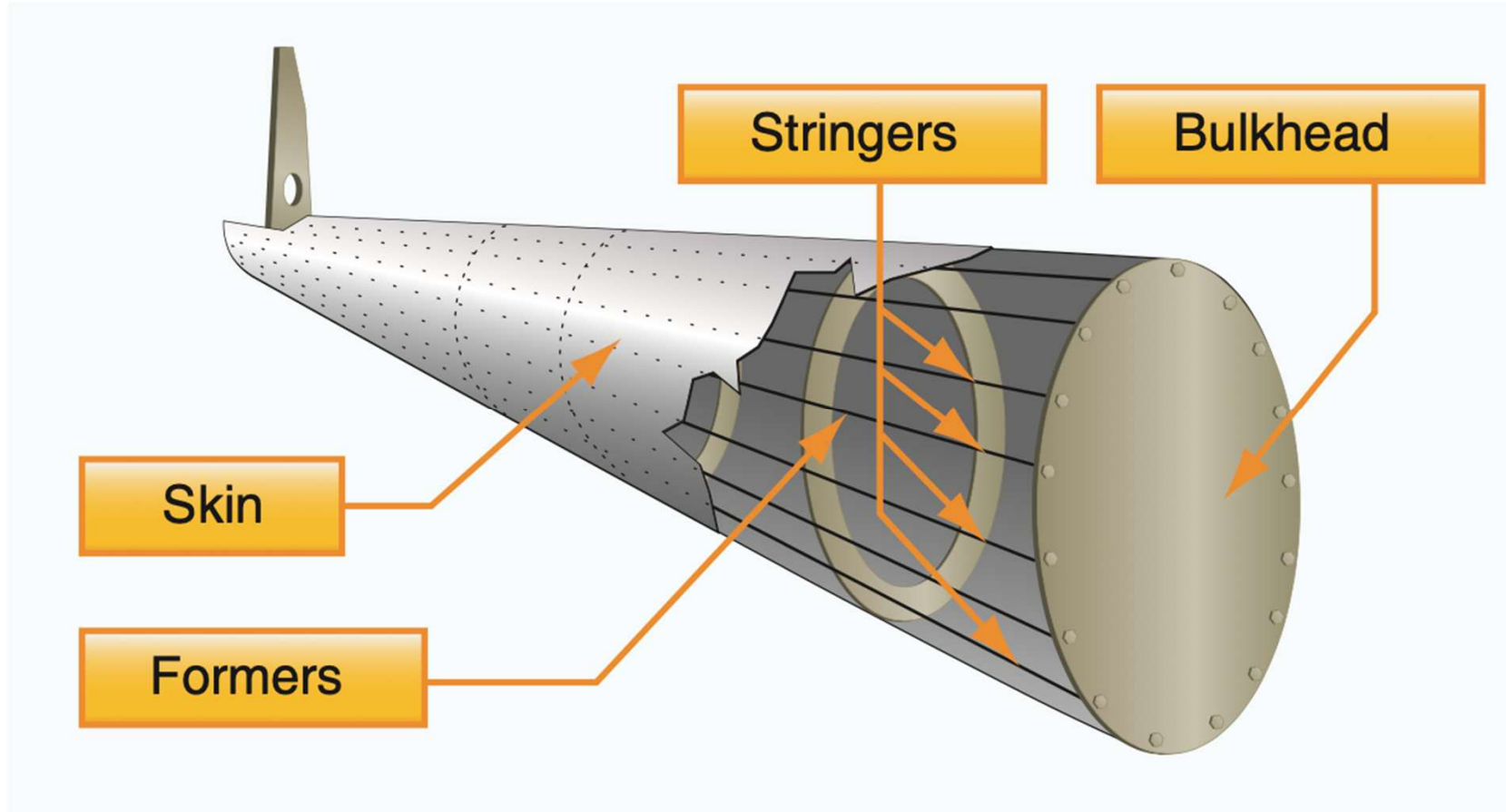


Fig.11: Estrutura semi-monocoque: tanto as chapas (*skin*) quanto os reforçadores são responsáveis por suportar as cargas aplicadas na estrutura [4].



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica



Fig.12: Estrutura semi-monocoque: cavernas (formers/frames), reforçadores longitudinais (stringers) e revestimento (skin) fabricados de alumínio [4].



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica



Fig.13: Estrutura semi-monocoque utilizada no Airbus A340 [4].



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica



Fig.14: Estrutura semi-monocoque: interior do Boeing 747 [4].



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

3.5. Asa(s)

As asas são superfícies sustentadoras unidas a cada lado da fuselagem e representam os componentes fundamentais que suportam o avião no voo. Para as asas, existem numerosos projetos, tamanhos e formas usadas pelos fabricantes.



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

Número e Posição:

Monoplano: possui somente uma asa. Desde 1930 muitas aeronaves usam a configuração monoplano. Este tipo de asa pode ser montado em várias posições em relação à fuselagem:

- Asa baixa: montada perto do final (ou entre o final e o meio) da fuselagem
- Asa média: montada no meio da fuselagem
- Asa semi-alta: montada na posição intermediária da fuselagem acima de sua metade
- Asa alta: montada acima da fuselagem
- Asa parasol: Montada com montantes presos à fuselagem

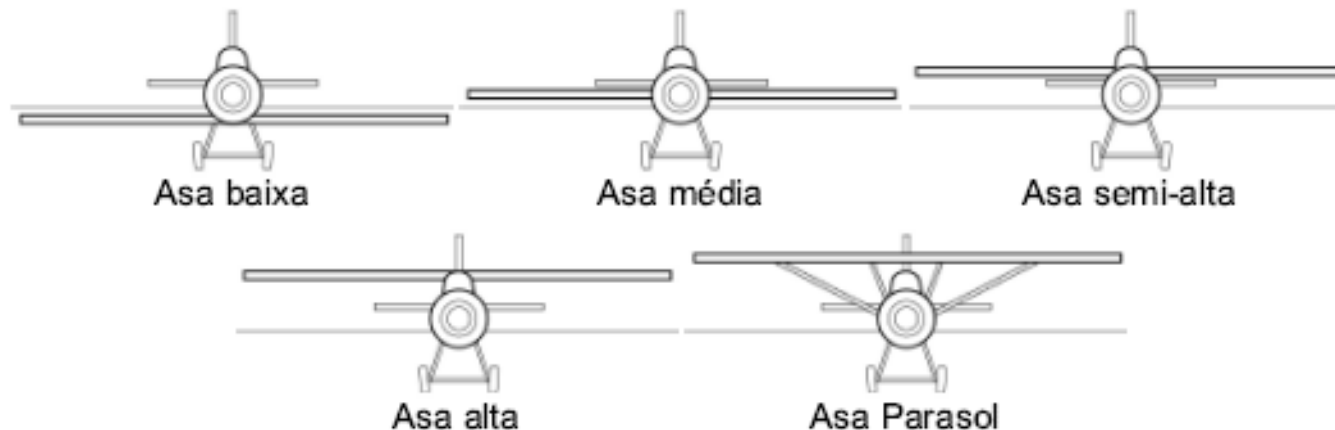


Fig.15: Posições da asa em monoplanos [5].



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

Biplano: possui duas asas, uma acima da outra, separadas por montantes ou cordas. Pode ter as seguintes configurações:

- Biplano comum: asas iguais, sem diferenciação de posição ou tamanho
- Asas desiguais: geralmente a asa de baixo possui comprimento menor que a de cima. Ambas são ligadas por montantes.
- Sesquiplano: é um tipo de biplano que tem a asa inferior muito menor que no modelo de asas desiguais. Não possui montantes.
- Sesquiplano invertido: Contrário ao caso anterior, a asa superior é muito menor que a inferior.



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

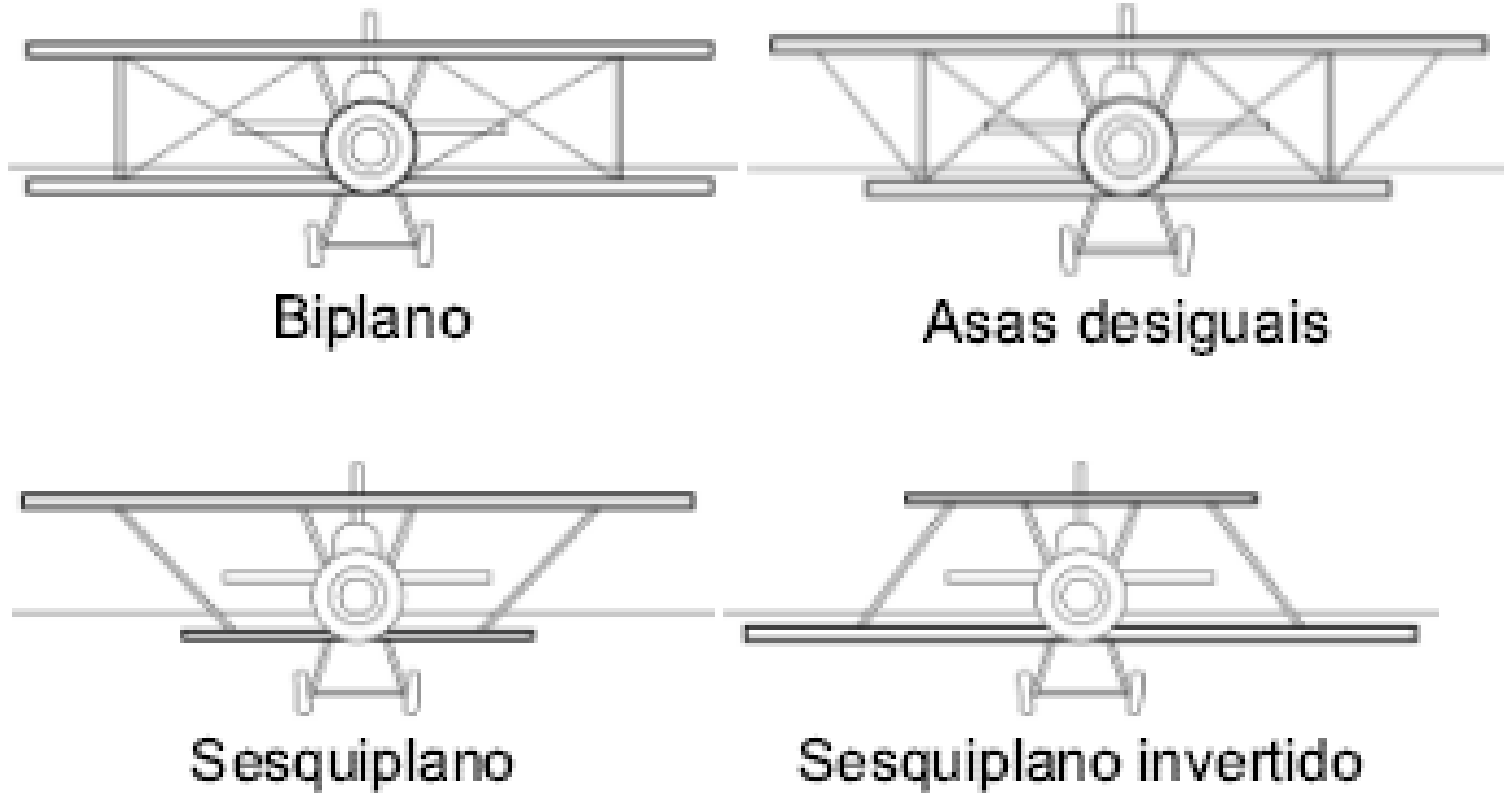


Fig.16: Configurações das asas em biplanos [5].



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

Triplano: possui três asas;

Quadriplano: possui quatro asas;

Multiplano: termo utilizado para aeronaves com várias asas (acima de quatro).

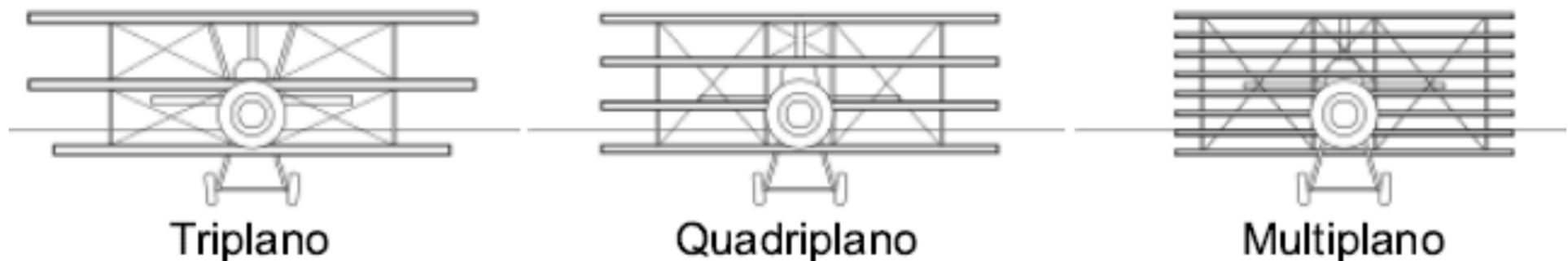


Fig.17: Exemplos de aeronaves com mais do que duas asas [5].



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

Forma Geométrica da Asa:

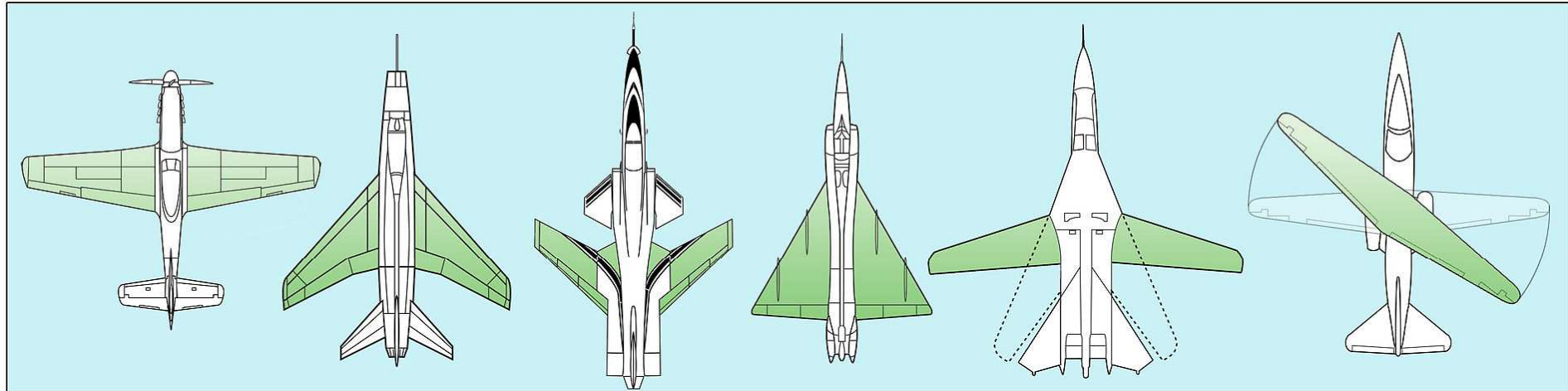
Asa retangular: é uma asa de baixa eficiência aerodinâmica, ou seja, a relação entre a força de sustentação e a força de arrasto (L/D) é menor quando comparada a uma asa trapezoidal ou elíptica. A vantagem da asa retangular é a sua maior facilidade de construção e um menor custo de fabricação quando comparada às outras.

Asa trapezoidal: é uma asa de ótima eficiência aerodinâmica, pois com a redução gradativa da corda entre a raiz e a ponta da asa consegue-se uma significativa redução do arrasto induzido. Nesse tipo de asa o processo construtivo torna-se um pouco mais complexo uma vez que a corda de cada nervura possui uma dimensão diferente.

Asa elíptica: representa a asa ideal, pois é a que proporciona a máxima eficiência aerodinâmica, porém é de difícil fabricação e mais cara quando comparada às outras formas apresentadas.



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica



1

2

3

4

5

6

1 - Asa trapezoidal

2 - Asa enflechada

3 - Asa com enflechamento negativo

4 - Asa em delta

5 - Asa com geometria variável

6 - Asa oblíqua

Fig.18: Tipos de Asa [Por Uomo Grigio - Obra do próprio, Domínio público, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3324603>]



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

Nomenclatura do Perfil e da Asa:

Extradorso: representa a parte superior do perfil;

Intradorso: representa a parte inferior do perfil;

Corda: é a linha reta que une o bordo de ataque ao bordo de fuga do perfil aerodinâmico;

Envergadura: representa a distância entre as duas pontas da asa;

Área da asa: representa toda a área em planta, inclusive a porção compreendida pela fuselagem.



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

Estrutura das Asas:

Nervuras (*ribs*): As nervuras dão a forma aerodinâmica à asa e transmitem os esforços do revestimento para a longarina.

Longarinas (*spars*): As longarinas são os principais componentes estruturais da asa, uma vez que é dimensionada para suportar os esforços de cisalhamento, flexão e torção oriundos das cargas aerodinâmicas atuantes durante o voo.

Bordo de ataque e bordo de fuga: O bordo de ataque representa a parte dianteira da asa e o bordo de fuga representa a parte traseira da asa e serve como berço para o alojamento dos ailerons e dos flaps.



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

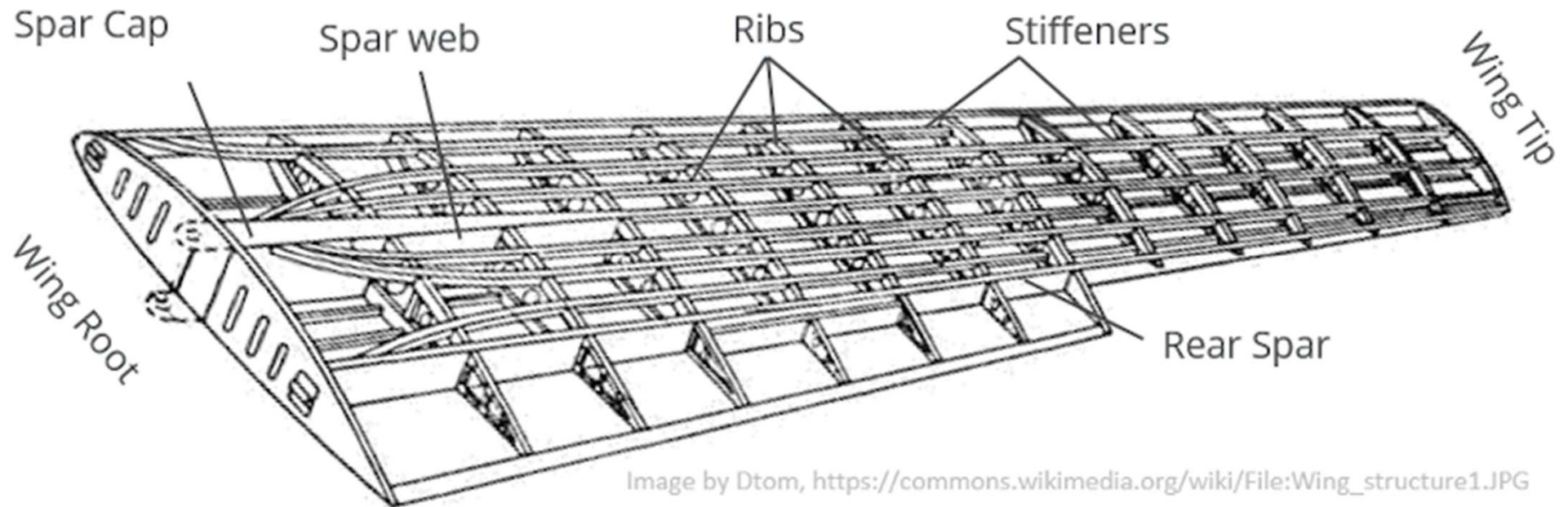


Fig.19: Nomenclatura utilizada para os principais elementos estruturais da asa.
Fonte: <https://aerotoolbox.com/wing-structure/>



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

3.6. Empenagem

A empenagem possui como função principal estabilizar e controlar o avião durante o voo. A empenagem é dividida em duas superfícies:

Superfície horizontal: é formada pelo estabilizador horizontal (parte fixa) e pelo profundor (parte móvel). Algumas aeronaves também possuem os compensadores com a finalidade de reduzir os esforços de pilotagem e, em alguns casos, o estabilizador e o profundor constituem-se de uma única peça completamente móvel. A superfície horizontal é responsável pelos movimentos de arfagem da aeronave.

Superfície vertical: é formada pelo estabilizador vertical (parte fixa) e pelo leme de direção (parte móvel), essa superfície é responsável pelos movimentos de guinada da aeronave.



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

Referências:

- [1] <https://www.decea.mil.br/index.cfm?i=utilidades&p=glossario&single=2133>
- [2] https://pt.wikipedia.org/wiki/Eixos_do_avião
- [3] <https://www.monolitonimbus.com.br/partes-da-aeronave/>
- [4] <https://en.wikipedia.org/wiki/Fuselage>
- [5] [https://pt.wikipedia.org/wiki/Asa_\(aviação\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Asa_(aviação))