

COMO FUNCIONA UM AVIÃO

Maj Av Mario Cesar Berto

Centro Técnico Aeroespacial - CTA

Instituto de Aeronáutica e Espaço - IAE

Divisão de Ensaio em Vôo - AEV

berto@iae.cta.br

Resumo. *O sonho de voar acompanha a humanidade desde a lenda de Ícaro. Existem controvérsias a respeito do pioneirismo nesta área, porém foi no início do século XX que o homem conseguiu, efetivamente, sair do solo com um veículo mais pesado que o ar. Muitos estudiosos trataram deste assunto, com maior ou menor profundidade, porém os conceitos físicos básicos que explicam esta capacidade permanecem constantes até hoje. Além das asas, componentes fundamentais para o sucesso do vôo de uma aeronave, existem diversos outros sistemas essenciais para que o mais pesado que o ar tenha condições de alçar vôo. Este trabalho aborda de uma maneira simplificada todo o ciclo que explica o porquê do vôo de uma aeronave.*

Palavras-chaves: *avião, aeronaves, asa, sistemas, motor.*

1. Introdução

O objetivo deste artigo é apresentar conceitos básicos sobre a operação de uma aeronave, tanto do ponto de vista aerodinâmico, como do funcionamento dos principais sistemas embarcados. A abordagem será feita de uma maneira simples, de modo a permitir que os conceitos possam ser compreendidos de uma maneira genérica. Para um conhecimento mais aprofundado torna-se necessário um estudo mais detalhado da bibliografia existente sobre este assunto.

Inicialmente será apresentada a evolução da aviação desde os primórdios até os dias atuais, inclusive com algumas projeções sobre as tendências de evolução das aeronaves num futuro próximo. Em seguida serão abordadas as forças que atuam sobre uma aeronave em vôo, dando-se ênfase especial para a sustentação gerada pelas asas, com explicações simplificadas sobre o modelamento utilizado para explicar este fenômeno. Serão utilizadas algumas equações matemáticas para ilustrar este assunto, sem a intenção de torná-lo complexo demais e, ainda, será explicado o fenômeno de estol de uma asa.

Por fim, será apresentado o funcionamento dos principais sistemas componentes de uma aeronave, de uma forma superficial e direta. É importante frisar que existem variantes em relação ao assunto ora apresentado, podendo ser observados sistemas com a mesma funcionalidade e modos de operação diferentes dos que serão objeto deste trabalho.

2. Histórico

O sonho de voar como os pássaros acompanha o homem desde a antiguidade; bastando citar a lenda de Ícaro como prova disso. Leonardo da Vinci desenhou o esboço de um helicóptero e muitos outros pensadores da época abordavam este assunto. Porém, somente no final do século

XIX que o sonho começou a se tornar realidade. Otto Liliental (1889) construiu e realizou vários vôos de planador na Alemanha, até perder a vida em um de seus testes. O desafio de fazer o mais pesado que o ar voar por meios próprios continuou. Em 1903, os irmãos Wright realizaram um vôo com um protótipo. Este feito hoje é aceito por muitos como o primeiro vôo do mais pesado que o ar. Entretanto, ainda existem muitas discussões e controvérsias sobre este assunto, principalmente pelas poucas testemunhas oculares do fato e pela aeronave ter sido impulsionada por uma catapulta.

Em 23 de outubro de 1906, no campo Bagatelle em Paris, o brasileiro Alberto Santos Dumont realizou um vôo de aproximadamente 60 metros com a aeronave 14-Bis, mostrando ao mundo que o vôo do mais pesado que o ar era possível.

Este trabalho não tem por intenção levantar polêmicas. Há reportes de outros pioneiros na Alemanha e França que, nesta mesma época, conseguiram alçar vôo num aparelho mais pesado que o ar. A única certeza absoluta é que este tipo de vôo só se tornou viável no início do século XX; e Alberto Santos Dumont foi o cientista que mais publicamente apresentou seus trabalhos.

Após essa fase pioneira, a aviação progrediu muito. Na Primeira Guerra Mundial (1914-1918), o avião começou a ser utilizado militarmente, no início como vetor de reconhecimento para, logo em seguida, tornar-se uma arma letal, tanto contra outras aeronaves como contra alvos no solo.

Durante a Segunda Guerra Mundial (1939-1945) o uso de aeronaves foi intensificado, provocando um grande desenvolvimento nesta área. No pós-guerra, com a grande sobra de aeronaves, ocorreu um aumento no uso de aeronaves para transporte de passageiros e de carga. Foi nesta época que se iniciou o desenvolvimento dos motores à reação e o homem conseguiu superar a barreira do som, com o X-1A nos Estados Unidos. A partir daí iniciou-se o uso maciço de aeronaves a jato, aliando conforto com velocidades maiores, permitindo um transporte mais eficiente e seguro de passageiros. Na década de 70 começaram os testes de aeronaves controladas por computador. Este sistema é conhecido popularmente como *fly-by-wire*, onde os comandos são processados e enviados eletronicamente para as superfícies de comando. Na década seguinte, já havia aeronaves comerciais operando com este sistema.

O futuro deste setor certamente ainda reserva grandes surpresas. O uso de artefatos não tripulados está se tornando cada vez mais comum no meio militar. Existem estudos e pesquisas para construir uma aeronave de transporte hipersônica, capaz de reduzir em muito o tempo de viagens intercontinentais. E, quem sabe, em breve não teremos funcionando uma nova modalidade de turismo, o turismo espacial?

3. O Que faz um avião voar?

Existem diversos modelos e explicações, tanto físicas quanto matemáticas, para justificar o vôo de uma aeronave. Não é objetivo deste trabalho fazer comparações ou juízos entre as diversas opções existentes. Será mantida uma linha de raciocínio simples e intuitiva para permitir um melhor entendimento do assunto. De um modo geral, sobre uma aeronave atuam 4 forças distintas, a saber: o peso, a sustentação, a tração e o arrasto. Em uma condição de equilíbrio, como por exemplo num vôo em cruzeiro, o somatório destas forças tem que ser nulo, ou seja a sustentação tem que ter módulo igual ao peso e direção contrária. O mesmo acontece entre a tração e o arrasto. Fig. 1.



Figura 1. As forças fundamentais atuando em uma aeronave em vôo.

A força peso é intuitiva e não será abordada no texto. A sustentação, cujo maior responsável pela sua geração é a asa, é originária da passagem do ar por sobre a mesma. O princípio de Bernoulli prevê que a energia total de um fluido em movimento é constante ao longo de uma mesma linha de corrente. Por isso, temos que a pressão total (soma da pressão estática com a pressão dinâmica) permanece constante. Quando a velocidade do escoamento for maior (maior pressão dinâmica), sua pressão estática terá que ser menor. A explicação deste fenômeno pode ser identificada na Fig. 2.

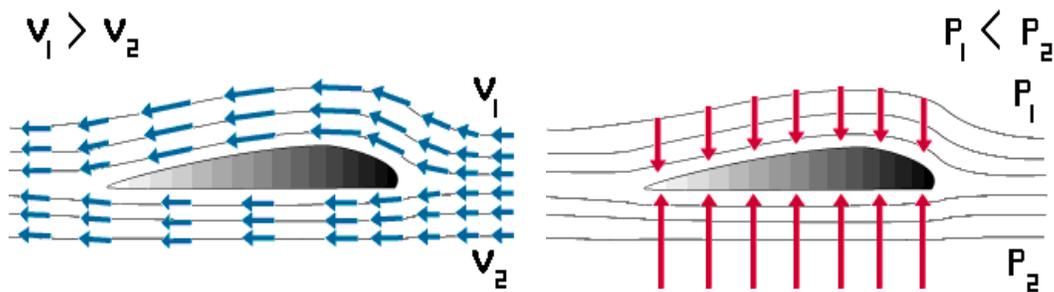


Figura 2. Escoamento sobre uma asa.

Na Fig. 2, pode-se observar no lado esquerdo que a velocidade do escoamento passando sobre a asa é maior que sob a mesma. Conseqüentemente, ocorre o inverso com a pressão estática. Como a pressão “empurrando” a asa para baixo (P_1) é menor que a pressão “empurrando” para cima (P_2), a força resultante, que é a pressão multiplicada pela área, estará apontada para cima, gerando sustentação.

Outra maneira normalmente utilizada para explicar este fenômeno baseia-se nas leis de Newton. Sabe-se que ocorre uma pequena deflexão do escoamento para baixo após passar por um aerofólio que esteja gerando sustentação positiva. Este evento recebe o nome de *downwash* e, levando-se em conta que houve uma ação empurrando o ar para baixo, deve ocorrer uma reação de igual intensidade e direção contrária, fazendo com que o ar empurre o aerofólio (asa) para cima.

Estas duas explicações estão apresentadas de modo simplificado e, de modo algum, são contraditórias. O que ocorre, na verdade, é que são maneiras diferentes de abordar o mesmo fenômeno.

Outro fenômeno importante relacionado com a capacidade de gerar sustentação por parte de uma asa é o estol. Ele ocorre em função do ângulo de ataque (α), que nada mais é do que o aspecto com que a asa “enxerga” o escoamento. Assim, num vôo nivelado, se o nariz da aeronave estiver apontado para cima, teremos um ângulo de ataque maior do que se o mesmo estiver na horizontal. Este ângulo determina o coeficiente de sustentação (C_L) de uma asa, que será abordado em seguida ao ser apresentada a equação da sustentação. O estol ocorre quando o escoamento não consegue mais acompanhar o perfil, devido a um excessivo ângulo de ataque. Ocorre a separação do escoamento, gerando uma área turbulenta que é incapaz de gerar sustentação. A descrição deste evento pode ser visualizada na Fig. 3.

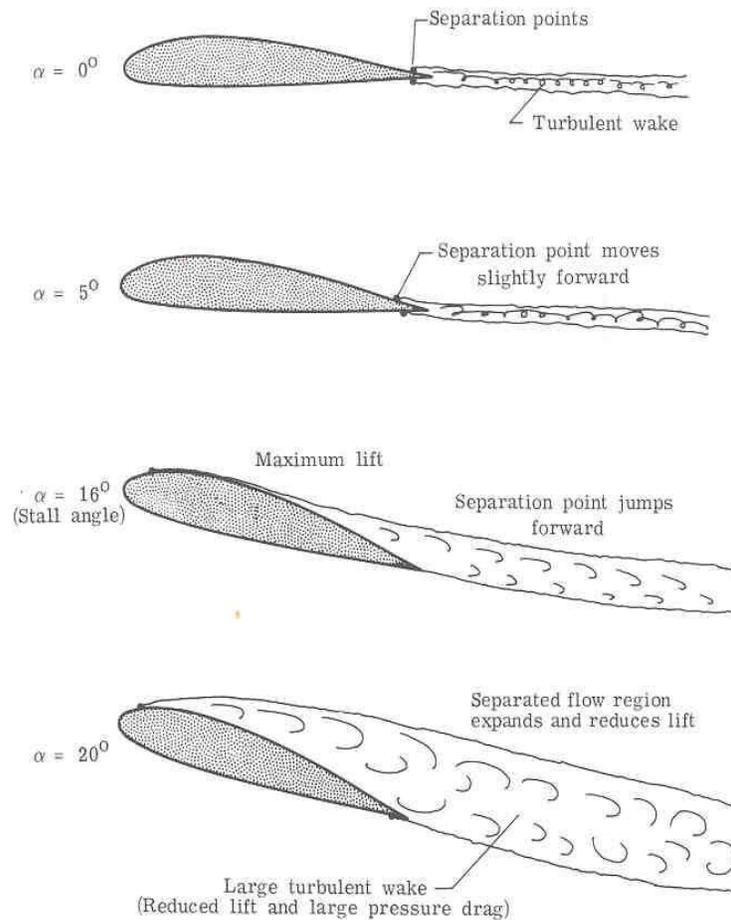


Figura 3. Estol de uma asa.

A equação que rege a sustentação de uma asa é a seguinte:

$$\text{Sustentação} = \frac{1}{2} \rho V S C_L \quad (1)$$

Onde:

ρ é a densidade do ar

V é a velocidade da aeronave

S é uma área de referência da asa

C_L é o coeficiente de sustentação

Da Eq. (1), pode-se observar que:

Quanto menor for a densidade do ar (maior altitude de vôo), menor será a sustentação;

Quanto maior for a velocidade, maior será a sustentação;

Quanto maior for a área da asa, maior será a sustentação;

Quanto menor for o coeficiente de sustentação, menor será a sustentação;

Evidentemente, o vôo de uma aeronave é resultado do equilíbrio entre os elementos desta equação. Como a densidade não é controlável pelo piloto e a área da asa é fixa para uma dada configuração, resta para o controle de sustentação da aeronave ajustar a relação entre a velocidade e o ângulo de ataque. Exemplificando, para voar nivelado (sem subir ou descer) com um determinado peso, um piloto terá que manter uma velocidade e um ângulo e ataque que façam a sustentação ter o mesmo módulo do peso. Ou seja, voando em baixas velocidades, haverá necessidade de um grande coeficiente de sustentação que, como já foi visto anteriormente, implica em um valor elevado de ângulo de ataque. O inverso ocorre em uma situação de alta velocidade. É por esse motivo que, quando observamos uma aeronave pousando, seu nariz está apontado para cima e quando ela está em cruzeiro, fica praticamente na horizontal.

As duas outras forças, tração e arrasto, atuam perpendicularmente à direção do peso e da sustentação. A tração é gerada pelos motores e será abordada mais adiante neste trabalho. O importante é saber que o piloto controla a quantidade de tração gerada, de modo a conseguir colocar a aeronave em uma condição de equilíbrio.

O arrasto é uma força horizontal de sentido contrário à direção de vôo e atrapalha o deslocamento da aeronave, porém não há como evitá-lo. Diversos efeitos produzem esta força, sendo duas as principais. A primeira, bastante intuitiva, é que o ar impõe uma resistência ao avanço da aeronave, semelhantemente ao que ocorre quando colocamos a mão para fora da janela em um carro em movimento. O braço é “empurrado” para trás pelo arrasto produzido. A outra grande componente ocorre devido ao *downwash* já citado anteriormente. Como ele inclina a corrente de ar ligeiramente para baixo, a sustentação gerada também fica um pouco inclinada e acaba gerando uma componente de força para trás, conhecida como arrasto induzido. Existem outros tipos de arrasto, como o arrasto de onda existente em velocidades transônicas, que não serão abordados neste trabalho para não aumentar em demasia a sua complexidade. Maiores detalhes podem ser obtidos consultando a bibliografia apresentada.

4. Componentes de uma aeronave

Neste trabalho somente serão tratados os principais componentes e sistemas de uma aeronave, para que o leitor possa ter uma visão geral do seu funcionamento. Para efeito didático, serão considerados partes principais de uma aeronave a fuselagem, a asa e o motor. Os sistemas abordados serão os de comandos de vôo, o de combustível, trem de pouso, pneumático e cabine. Deixarão de ser abordados os sistemas elétrico, hidráulico, de iluminação, de oxigênio, anemométrico, de armamento, de avisos e alarmes, de comunicação, de navegação, de extinção de fogo, anti-gelo, etc. Um aprofundamento maior pode ser obtido consultando a bibliografia deste trabalho.

4.1 Fuselagem

A fuselagem é o local onde são transportados os passageiros, a carga e os tripulantes. Seu formato e dimensões têm influência marcante no arrasto, na estabilidade e na segurança da aeronave. Além disso, ela serve como local para instalação dos diversos sistemas necessários à operação da aeronave como equipamentos de comunicação e navegação, sistema de ar condicionado, dentre outros. Numa comparação simplificada, considerando o transporte de passageiros, os assentos estariam colocados dentro da fuselagem, sendo ela, portanto, a principal responsável pelo cumprimento da missão da aeronave, ficando todo o resto como suporte a esta atividade.

4.2 Asa

A asa é um componente fundamental em qualquer aeronave, pois a maior parte da sustentação é gerada por ela. Seu projeto é complexo, pois existe a necessidade de ser atingido um balanço entre elevadas velocidades de cruzeiro (para que as viagens sejam mais rápidas) e baixas velocidades de aproximação (para permitir a operação em aeroportos com pistas pequenas). Além disso, seu desenho afeta diretamente a estabilidade e o controle do avião. Normalmente, a asa incorpora tanques de combustível e aloja, ao menos parcialmente, o trem de pouso. Tipicamente, aeronaves de transporte possuem asas com envergadura (distância de uma ponta à outra) elevada, enquanto aeronaves militares de combate tem asas de envergadura reduzida.

4.3 Motor

O motor, ou motores, dependendo do tipo de avião, são um componente fundamental e diretamente responsável pelo desempenho global de uma aeronave. Em função disso, também é um dos componentes de custo mais elevado, tanto para operação como para manutenção. Existem duas classificações para tipos de motor, a saber: os motores convencionais e os motores a reação, dentre os quais destacam-se os turbo-hélices, os turbojatos e os turbofans. A localização os mesmos varia com o tipo de aeronave, podendo estar no nariz (T-27 Tucano, Aero Boero), no interior da fuselagem (F-5E TigerII, Mirage 2000), nas asas (Boeing 737, Airbus 380) ou na parte traseira da aeronave (ERJ-145, Fokker 100).

Os motores convencionais têm funcionamento semelhante ao de um automóvel, com a diferença que o eixo do motor, ao invés de girar uma engrenagem ligada às rodas, aciona a hélice. Os motores a reação têm o funcionamento básico parecido. O ar é admitido através de entradas de ar e,

em seguida, passa através de um compressor onde sua pressão é elevada para, na seqüência, ser misturado o combustível dentro da câmara de combustão. Neste ponto, ocorre a queima, com conseqüente aceleração da mistura ar-combustível que, então, passa através de uma ou mais turbinas, cuja finalidade principal é tirar potência dos gases de escapamento para acionar os acessórios do motor, para em seguida ser ejetado na atmosfera. A Figura 4 apresenta um esquema comparativo do funcionamento de um motor a reação e um motor convencional.

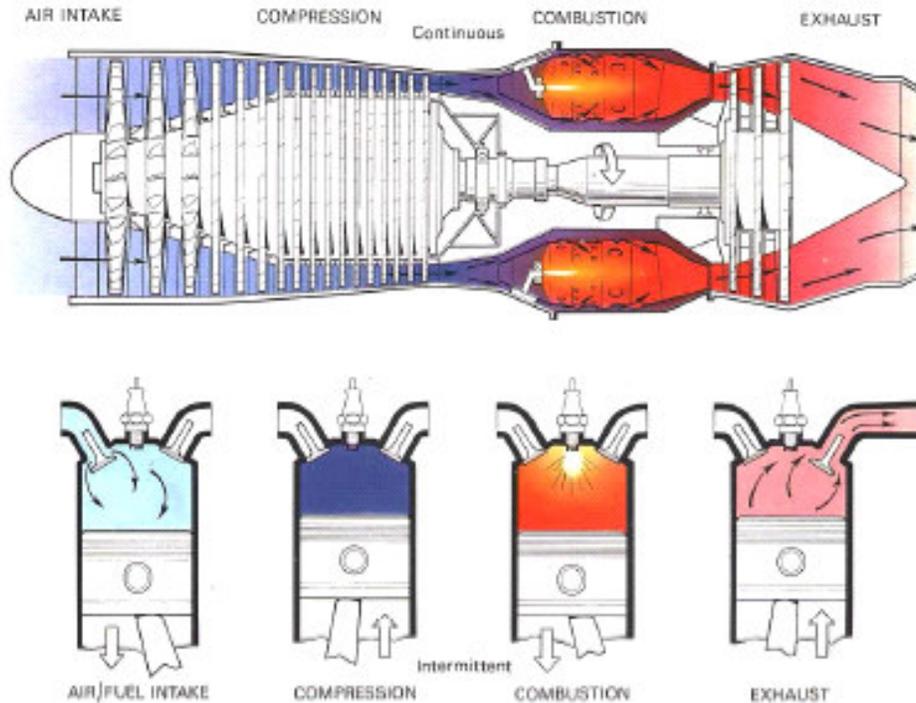


Figura 4. Funcionamento do Motor a Reação (topo) e Convencional.

É no aproveitamento dos gases de escapamento que os tipos de motor a reação diferem. Num turbo-hélice, a energia dos gases é quase totalmente absorvida pela turbina para girar um eixo que, através de uma caixa de engrenagens, faz girar a hélice. Já num motor turbojato, o que gera tração é a velocidade de saída dos gases, portanto a turbina absorve energia apenas para movimentar o compressor e os outros acessórios do motor.

O turbofan, que atualmente é utilizado na maioria das aeronaves com motor a reação, é uma mistura dos dois casos anteriores. A maior parte da tração é gerada pelo *fan*, que é um grande disco que fica na frente do motor e funciona de modo parecido com o de uma hélice, porém gira a uma velocidade muito maior. As grandes vantagens deste tipo de motor são gerar tração superior ao similar turbojato, sem ser tão afetado pela velocidade como no caso do motor turbo-hélice, que perde muita eficiência em altas velocidades.

Outra consideração importante a respeito do turbofan é o seu menor ruído, devido à menor velocidade dos gases no escapamento. Trata-se de um fator crítico quando se considera que atualmente existem legislações muito rigorosas a respeito de níveis máximos de ruído permitidos em alguns aeroportos situados dentro de áreas densamente habitadas.

De uma forma simplificada, a tração gerada pelo motor advém da quantidade de ar acelerada, quer pela hélice, quer pelos gases de escapamento. Considerando motores gerando uma mesma tração, uma hélice acelera pouco uma grande massa de ar enquanto um motor turbojato acelera muito uma massa de ar menor.

4.4 Comandos de voo

De nada adianta ter uma aeronave capaz de transportar uma carga elevada se os pilotos não conseguirem levar a aeronave até o seu destino com conforto e segurança. É para garantir esta capacidade que existe o sistema de comandos de voo. Em uma aeronave convencional, as superfícies de comando primárias são o profundor (*elevator*), os *ailerons* e o leme (*rudder*), como pode ser visualizado na Fig. 5.

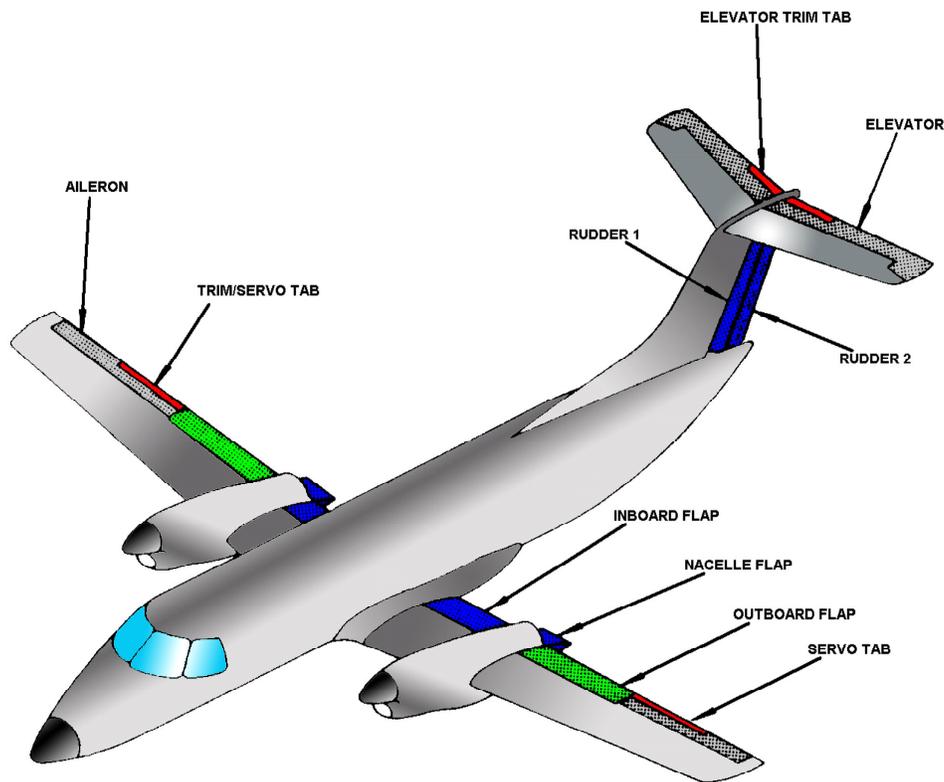


Figura 5. Comandos de Voo da Aeronave EMB-120 Brasília.

O profundor, situado no estabilizador horizontal, faz com que seja possível ao piloto levantar e abaixar o nariz da aeronave. Isto é muito importante durante as fases de decolagem e pouso. Durante o vôo de cruzeiro, para cada velocidade haverá uma posição de profundor para permitir que a aeronave voe em equilíbrio.

Os *ailerons* são localizados nas extremidades das asas e permitem o rolamento da mesma, através da deflexão oposta das superfícies, ou seja, o *aileron* de uma asa sobe, ocasionando uma força que “empurra” a asa para baixo enquanto o *aileron* da outra desce, levantando a mesma. Assim é possível controlar a inclinação do avião. Dessa forma, o avião rotaciona em torno do seu próprio eixo.

O leme fica situado no estabilizador vertical e serve para movimentar o nariz da aeronave de um lado para o outro. Esta superfície é muito importante quando ocorre falha no motor de uma asa e o piloto precisa controlar a direção da aeronave. Nas fases normais de vôo, o leme é utilizado apenas para manter a aeronave coordenada.

Além dos comandos primários, há dois outros que merecem ser citados; os *flapes* e os compensadores (*trim tab*). Os *flapes* ficam nos bordos de fuga (parte de trás) das asas. Eles servem para aumentar a sustentação e, conseqüentemente, permitir que as aeronaves decole e pousem de pistas menores. Os compensadores têm por finalidade aliviar as forças nos comandos, de modo que o piloto possa sempre realizar um ajuste fino e não fique cansado por estar pilotando a aeronave.

4.5 Combustível

Para que os motores de uma aeronave funcionem, é fundamental haver um sistema de combustível que alimente os mesmos com gasolina ou querosene de aviação. Normalmente, este sistema está localizado dentro das asas ou em partes especiais da fuselagem. É interessante observar que, dependendo do tipo de aeronave, quase metade do peso total pode ser de combustível. Para exemplificar com valores numéricos, o HS-125, um jato inglês, possui capacidade para transportar 9.100 libras de combustível e tem peso máximo de decolagem de 23.600 libras.

Alguns problemas ocorrem devido ao ambiente de vôo, que veículos terrestres não enfrentam. O primeiro deles é a diferença de pressão. Se não houver meios para equalizar a pressão dentro e fora dos tanques, à medida que a aeronave muda de altitude, provavelmente as paredes irão se romper com conseqüências catastróficas.

Outro fator que afeta o sistema, é o deslocamento lateral de combustível durante uma manobra. O líquido tenderá, por gravidade, a escorrer para a ponta da asa baixa e para a raiz da asa que está mais alta. Esse desbalanceamento costuma ser evitado inserindo divisórias internas nos tanques de modo a restringir este movimento.

Por último, a contaminação de combustível, principalmente por água, é um sério fator de risco para a segurança de vôo. Para evitar este problema, os tanques são equipados com drenos na parte mais baixa, permitindo aos mecânicos retirar a água e impurezas que porventura tenham entrado nos tanques antes de um vôo. Caso haja água no tanque de combustível de um carro, o motor poderá falhar e bastará ao motorista parar no acostamento e colocar combustível não contaminado. Se a quantidade for pequena, às vezes basta dar uma nova partida. Para um avião em vôo, não existe acostamento disponível e qualquer falha de motor será sempre perigosa.

4.6 Trem de pouso

Toda aeronave precisa de um trem de pouso para decolar e pousar. Porém, uma vez em vôo, a presença dele só aumenta o arrasto e piora o desempenho. Por este motivo, muitos aviões recolhem o trem de pouso após a decolagem e só os baixam pouco antes do pouso. Isso acarreta alguns problemas adicionais como, por exemplo, reservar espaço para que o trem de pouso caiba dentro das asas ou da fuselagem, com conseqüente redução na capacidade de transportar combustível ou carga.

Outro problema na construção de um trem de pouso é que ele precisa ser capaz de resistir a impactos sem quebrar. Não basta suportar apenas o peso da aeronave, pois, num pouso brusco, o esforço aumenta consideravelmente. Para comprovar isso, basta olhar para o trem de pouso de uma aeronave que opera a bordo de porta-aviões e verificar o quanto ele é reforçado.

4.7 Sistema ar-condicionado e pneumático

Com o advento de aeronaves a reação, tornou-se necessário o vôo com passageiros em elevadas altitudes, pois é nestas condições que estes motores apresentam o melhor rendimento (consegue-se o maior alcance). Porém, seria inviável colocar todos os passageiros para voarem com máscaras de oxigênio. Para resolver este problema, as aeronaves começaram a ser pressurizadas e o sistema utilizado para tal é o pneumático. O ar é sangrado dos compressores e, após passar por uma máquina para regular a temperatura, é injetado na cabine de passageiros. Dessa forma, a pressão dentro da cabine é muito superior ao da atmosfera na qual a aeronave está voando e, por isso, não há a necessidade de serem utilizadas máscaras.

A fuselagem, neste caso, nada mais é do que uma bolha pressurizada. Caso ocorra uma falha na fuselagem, o ar irá sair rapidamente da cabine, e, nesta hora, as máscaras de oxigênio irão cair do teto, pois a pressão interna ficará igual à externa.

O ar que entra na cabine também é climatizado para permitir um nível de conforto adequado. Para se ter uma idéia, no solo as temperaturas situam-se entre 15 a 30 °C. A 33.000 ft (10 km) de altitude (altitude normal de vôo de aeronaves comerciais), as temperaturas giram em torno de 50 °C negativos. Com isso, o sistema de ar condicionado deve ser dimensionado para atender a esta demanda. O ar sangrado dos compressores é muito quente. Utiliza-se o ar externo frio para realizar a primeira troca de calor e, após isso, o ar passa por uma máquina de refrigeração para, em seguida ser distribuído dentro da cabine de passageiros, realizando simultaneamente a pressurização e climatização.

4.8 Cabine

O projeto de cabines modernas passa por uma criteriosa avaliação e análise para propiciar um ambiente de trabalho simples e completo, de modo a aumentar a segurança e reduzir as falhas humanas durante a operação de uma aeronave. Por incrível que possa parecer, o projeto de uma cabine não visa reduzir totalmente a carga de trabalho dos pilotos. A finalidade principal é reduzir o suficiente para que não haja sobrecarga e, ao mesmo tempo, manter uma carga mínima que garanta a atenção por parte da tripulação, pois uma carga muito reduzida gera complacência e cansaço. A informática equipa a cabine da maioria das aeronaves modernas e há necessidade de um processo de certificação muito criterioso, pois no meio de um vôo não seria adequada a mensagem: “este programa executou uma operação ilegal e será fechado...”.

5. Conclusões

A finalidade deste artigo foi a de propiciar uma visão geral, e não o de fornecer detalhes muito particulares sobre o funcionamento de aeronaves. No início foi apresentado um breve histórico da evolução aeronáutica, principalmente no último século. A seguir, foram abordados os modelamentos para justificar porque uma aeronave voa, de maneira superficial. Por fim, foram apresentados os principais componentes de uma aeronave, com atenção especial àqueles que mais influenciam a aeronavegabilidade.

6. Referências

- Pinto, L.S., 1989, Aerodinâmica e Desempenho de Aeronaves para Pilotos, Porto Alegre, ed. Magister.
- Manuais de Aerodinâmica e Mecânica de Vôo (diversos), Comando da Aeronáutica, Centro Técnico Aeroespacial, Instituto de Aeronáutica e Espaço, Divisão de Ensaio em Vôo.
- Understanding Flight, David F. Anderson, Fermi National Accelerator Laboratory, and Scott Eberhardt, Department of Aeronautics and Astronautics, University of Washington. February, 1999.
- Stop Abusing Bernoulli, How Airplanes Really Fly, Gale M. Craig, Regenerative Press, 1998.
- Empresa Brasileira de Aeronáutica (EMBRAER) – Manual de Vôo do Modelo EMB-120 Brasília, OTFN 1VC-97-1, Revisão 30 (10 de junho de 2003).

7. Sobre o autor

Mario Cesar Berto é Piloto de Provas da Força Aérea Brasileira. Formou-se Piloto Militar pela Academia da Força Aérea em 1988, concluindo o curso como 1º colocado. Atuou como Piloto de Caça entre 1989 e 1999, voando o AT-26 Xavante e o F-103 Mirage III BR. Foi Instrutor de Caça de 1994 a 1996 e piloto de Defesa Aérea de 1997 a 1999.

Realizou o Curso de Ensaio em Vôo em 2000, na Divisão de Ensaio em Vôo do CTA, onde permanece trabalhando até hoje. Possui cursos na área de Guerra Eletrônica, Tiro e Bombardeio e Instrução de Vôo. Possui cerca 3.500 horas de vôo em 30 diferentes tipos de aeronave, desde treinadores leves até aeronaves de caça e de transporte.

Recentemente, participou do processo de seleção da nova aeronave de combate da Força Aérea Brasileira, conhecido como Projeto F-X; tendo avaliado as aeronaves Mirage 2000-5, F-16C/D e Gripen. Atualmente é instrutor do Curso de Ensaio em Vôo Brasileiro.