



Diversidade, inclusão e formação

SÉRIE

ASAS

DO CONHECIMENTO

CONTROLES DE VOO



A Agência Nacional de Aviação Civil (Anac) criou a série “Asas do Conhecimento” com o objetivo de disponibilizar manuais teóricos sobre temas aeronáuticos para interessados em ingressar em profissões da aviação civil. As apostilas estão disponíveis para acesso no [portal da Anac](#). O projeto faz parte do Asas para Todos, programa estratégico da Agência que fomenta a diversidade, a inclusão, a capacitação e a formação no setor aéreo brasileiro.

Neste manual, serão abordados a história da aviação civil brasileira, da criação da Anac como órgão de fiscalização e da regulação da aviação civil brasileira. O material também traz conhecimentos básicos para o piloto aluno e para o piloto já certificado que busca certificação mais avançada e específica, como licenças e habilitações.

INTRODUÇÃO

Este capítulo foca nos sistemas de controle de voo que um piloto utiliza para controlar as forças do voo e a direção e atitude da aeronave. Deve-se notar que os sistemas e características de controle de voo podem variar muito, a depender do tipo de aeronave pilotada. Os projetos mais básicos de sistemas de controle de voo são mecânicos e remontam aos primeiros aviões. Eles operam com uma coleção de peças mecânicas, como hastes, cabos, polias e, às vezes, correntes, para transmitir as forças dos controles da cabine de pilotagem para as superfícies de controle. Sistemas de controle de voo mecânicos ainda são usados hoje em aeronaves pequenas das categorias geral e esportiva, onde as forças aerodinâmicas não são excessivas. [Figura 1]

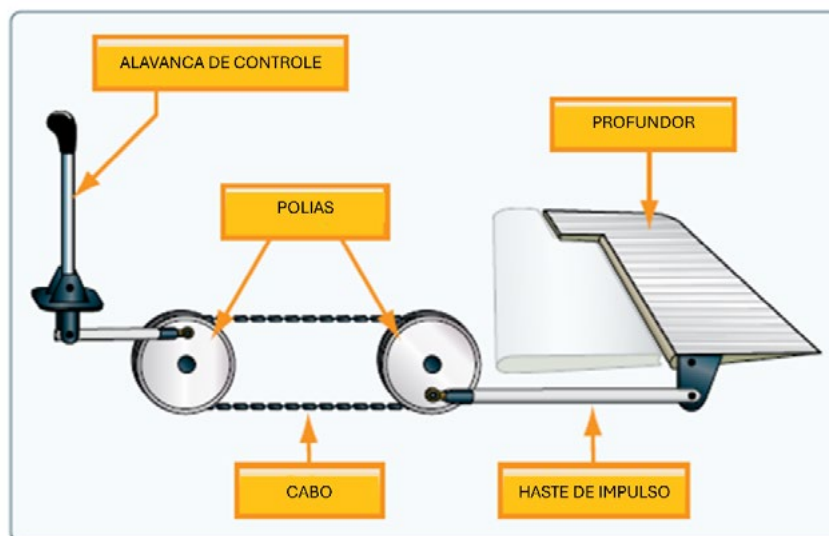


Figura 1. Sistema de controle de voo mecânico.

À medida que a aviação amadureceu e os projetistas de aeronaves aprenderam mais sobre aerodinâmica, a indústria produziu aeronaves maiores e mais rápidas. Portanto, as forças aerodinâmicas que atuam sobre as superfícies de controle aumentaram exponencialmente. Para tornar a força de controle necessária pelos pilotos gerenciável, os engenheiros de aeronaves projetaram sistemas mais complexos. Inicialmente, projetos hidromecânicos, consistindo em um circuito mecânico e um circuito hidráulico, foram usados para reduzir a complexidade, o peso e as limitações dos sistemas de controles de voo mecânicos. [Figura 2] À medida que as aeronaves se tornaram mais sofisticadas, as superfícies de controle passaram a ser acionadas por motores elétricos, computadores digitais ou cabos de fibra óptica. Chamado de “*fly-by-wire*”, esse sistema de controle de voo substitui a conexão física entre os controles do piloto e as superfícies de controle de voo por uma interface elétrica.

Além disso, em algumas aeronaves grandes e de alta velocidade, os controles são reforçados por sistemas acionados hidráulicamente ou eletricamente. Tanto nos controles “fly-by-wire” quanto nos controles reforçados, a sensação da reação do controle é simulada para o piloto. Pesquisas atuais no Centro de Pesquisa de Voo Dryden da Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA) envolvem Sistemas de Controle de Voo Inteligentes (IFCS).

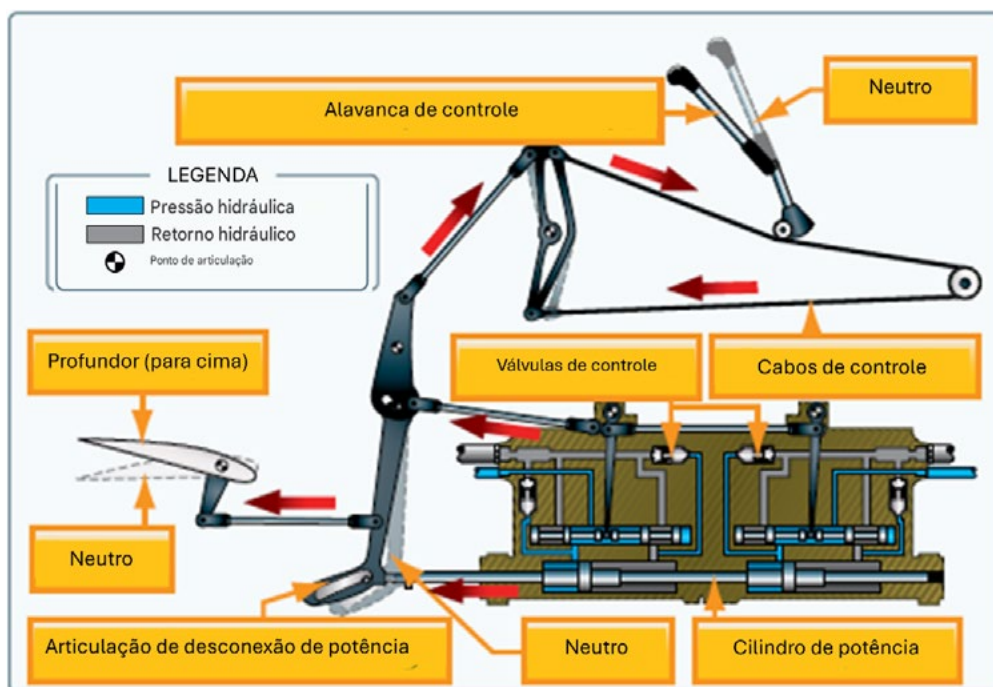


Figura 2. Sistema hidromecânico de controle de voo.

O objetivo deste projeto é desenvolver um sistema de controle de voo baseado em redes neurais adaptativas.

Aplicado diretamente aos erros de feedback do sistema de controle de voo, o IFCS fornece ajustes para melhorar o desempenho da aeronave em voo normal, bem como em casos de falhas do sistema. Com o IFCS, um piloto é capaz de manter o controle e pousar com segurança uma aeronave que sofreu uma falha em uma superfície de controle ou danos à estrutura da aeronave. Ele também melhora a capacidade da missão, aumenta a confiabilidade e segurança do voo e facilita a carga de trabalho do piloto.

As aeronaves de hoje empregam uma variedade de sistemas de controle de voo. Por exemplo, algumas aeronaves na categoria de piloto esportivo dependem do controle de deslocamento de peso para voar, enquanto os balões usam uma técnica de queima padrão. Os helicópteros utilizam um cíclico para inclinar o rotor na direção desejada, juntamente com um coletivo para manipular o passo do rotor e pedais anti-torque para controlar a guinada. [Figura 3] Para informações adicionais sobre sistemas de controle de voo, consulte o manual apropriado sobre as características de tipos específicos de aeronaves.

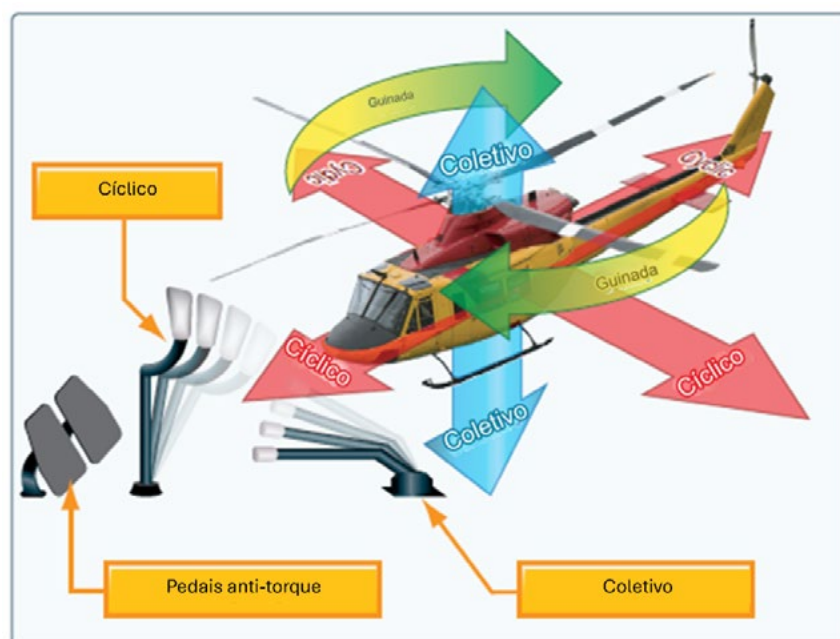


Figura 3. Sistema hidromecânico de controle de voo.

SISTEMAS DE CONTROLE DE VOO

CONTROLES DE VOO

Os sistemas de controle de voo de aeronaves consistem em sistemas primários e secundários. Os ailerons, profundor (ou estabilizador) e leme constituem o sistema de controle primário e são necessários para controlar uma aeronave com segurança durante o voo. Flaps de asa, dispositivos de bordo de ataque, spoilers e sistemas de trim constituem o sistema de controle secundário e melhoram as características de desempenho do avião ou aliviam o piloto de forças de controle excessivas.

CONTROLES DE VOO PRIMÁRIOS

Os sistemas de controle de aeronaves são cuidadosamente projetados para fornecer uma resposta adequada aos comandos de controle, permitindo uma sensação natural. Em baixas velocidades, os controles geralmente parecem suaves e lentos, e a aeronave responde lentamente às aplicações de controle. Em velocidades mais altas, os controles se tornam cada vez mais firmes e a resposta da aeronave é mais rápida.

O movimento de qualquer uma das três superfícies de controle de voo primárias (ailerons, profundor ou estabilizador ou leme), altera o fluxo de ar e a distribuição de pressão sobre e ao redor do aerofólio. Essas mudanças afetam a sustentação e o arrasto produzidos pela combinação aerofólio/superfície de controle, e permitem que o piloto controle a aeronave em torno de seus três eixos de rotação.

Os recursos de projeto limitam a quantidade de deflexão das superfícies de controle de voo. Por exemplo, mecanismos de parada de controle podem ser incorporados nas ligações de controle de voo, ou o movimento da coluna de controle e/ou pedais do leme pode ser limitado. O objetivo desses limites de projeto é evitar que o piloto inadvertidamente controle excessivamente e sobrecarregue a aeronave durante manobras normais.

Uma aeronave adequadamente projetada é estável e facilmente controlada durante manobras normais. Entradas nas superfícies de controle causam movimento em torno dos três eixos de rotação. Os tipos de estabilidade que uma aeronave apresenta também estão relacionados a esses três eixos de rotação. [Figura 4]

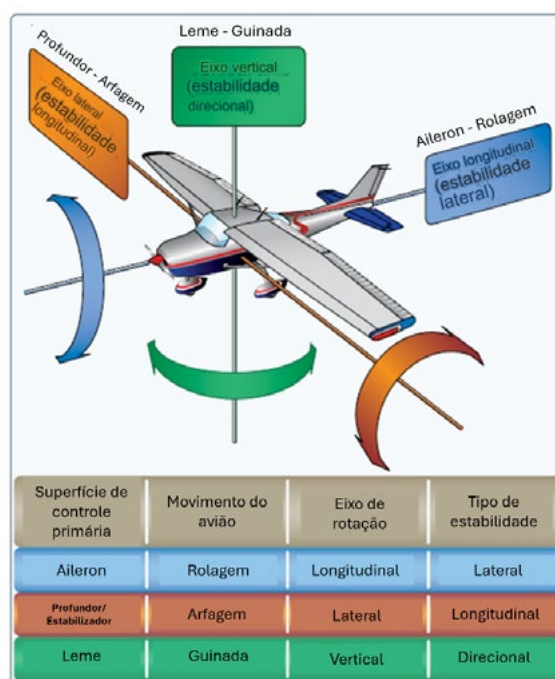


Figura 4. Controles do avião, movimento, eixos de rotação e tipo de estabilidade.

AILERONS

Os ailerons controlam a rolagem em torno do eixo longitudinal. Os ailerons estão ligados à parte externa do bordo de fuga de cada asa e se movem em direções opostas uma da outra. Os ailerons são conectados por cabos, manivelas, polias e/ou barras de empurrar-puxar a uma roda de controle ou manche. Mover a roda de controle, ou manche, para a direita faz com que o aileron direito se deflexione para cima e o aileron esquerdo se deflexione para baixo. A deflexão para cima do aileron direito diminui a curvatura, resultando em menor sustentação na asa direita. A deflexão para baixo correspondente do aileron esquerdo aumenta a curvatura, resultando em maior sustentação na asa esquerda. Assim, a maior sustentação na asa esquerda e a menor sustentação na asa direita fazem com que a aeronave role para a direita.

GUINADA ADVERSA

Como o aileron defletido para baixo produz mais sustentação, como evidenciado pela elevação da asa, ele também produz mais arrasto. Este arrasto adicional faz com que a asa diminua ligeiramente a velocidade. Isso resulta na guinada da aeronave em direção à asa que experimentou um aumento na sustentação (e arrasto). Do ponto de vista do piloto, a guinada é oposta à direção da inclinação. A guinada adversa é resultado do arrasto diferencial e da pequena diferença na velocidade das asas esquerda e direita. [Figura 5] A guinada adversa torna-se mais pronunciada em baixas velocidades. Nessas velocidades mais lentas, a pressão aerodinâmica nas superfícies de controle é baixa e são necessárias entradas de controle maiores para manobrar efetivamente a aeronave.

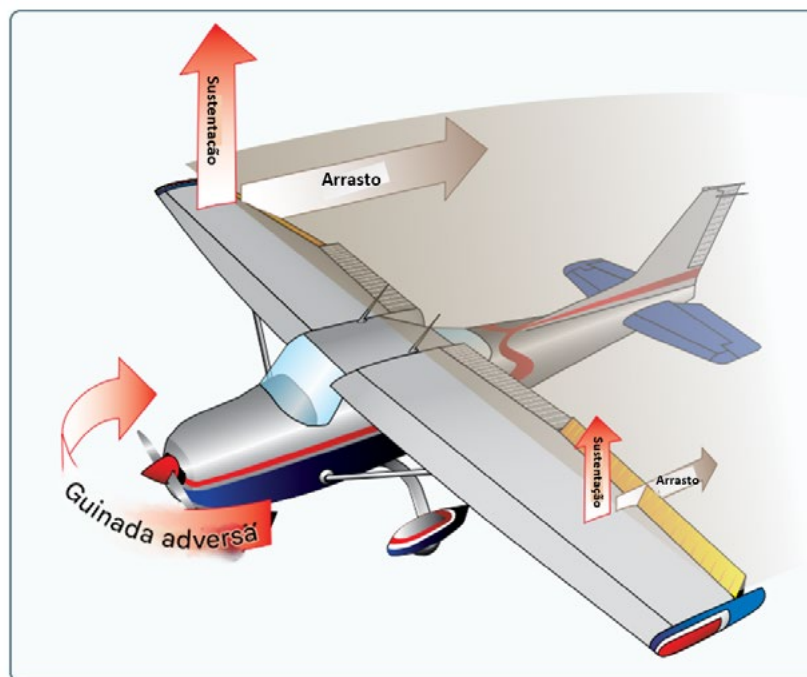


Figura 5. A guinada adversa é causada por um arrasto maior na asa externa que está produzindo mais sustentação.

Como resultado, o aumento na deflexão do aileron causa um aumento na guinada adversa. A guinada é especialmente evidente em aeronaves com grande envergadura.

A aplicação do leme é usada para opor a guinada adversa. A quantidade de controle do leme necessário é maior em baixas velocidades, grandes ângulos de ataque e com grandes deflexões do aileron. Como todas as superfícies de controle em velocidades mais baixas, o estabilizador vertical/leme torna-se menos eficaz e amplifica os problemas de controle associados à guinada adversa.

Todas as curvas são coordenadas pelo uso de ailerons, leme e profundor. A aplicação de pressão no aileron é necessária para colocar a aeronave no ângulo de inclinação desejado,

enquanto a aplicação simultânea de pressão no leme é necessária para contrariar a guinada adversa resultante. Além disso, porque mais sustentação é necessária durante uma curva do que durante o voo reto e nivelado, o ângulo de ataque (AOA) deve ser aumentado aplicando pressão para trás no profundor. Quanto mais íngreme a curva, mais pressão para trás no profundor é necessária.

Assim que o ângulo de inclinação desejado é estabelecido, as pressões do aileron e do leme devem ser relaxadas. Isso impede que o ângulo de inclinação aumente, porque as superfícies de controle do aileron e do leme estão em uma posição neutra e aerodinâmica. A pressão para trás do profundor deve ser mantida constante para manter a altitude.

A saída de uma curva é semelhante à entrada, exceto que os controles de voo são aplicados na direção oposta. O aileron e o leme são aplicados na direção da saída da curva ou em direção à asa alta. À medida que o ângulo de inclinação diminui, a pressão para trás do profundor deve ser relaxada conforme necessário para manter a altitude.

Na tentativa de reduzir os efeitos da guinada adversa, os fabricantes desenvolveram quatro sistemas: ailerons diferenciais, ailerons tipo frise, ailerons e leme acoplados e flaperons.

AILERONS DIFERENCIAIS

Com ailerons diferenciais, um aileron é levantado a uma distância maior do que o outro aileron e é abaixado para um determinado movimento do manche stick. Isso produz um aumento no arrasto na asa descendente. O maior arrasto resulta da deflexão do aileron para cima na asa descendente para um ângulo maior do que o aileron para baixo na asa ascendente. Embora a guinada adversa seja reduzida, ela não é completamente eliminada [Figura 6].

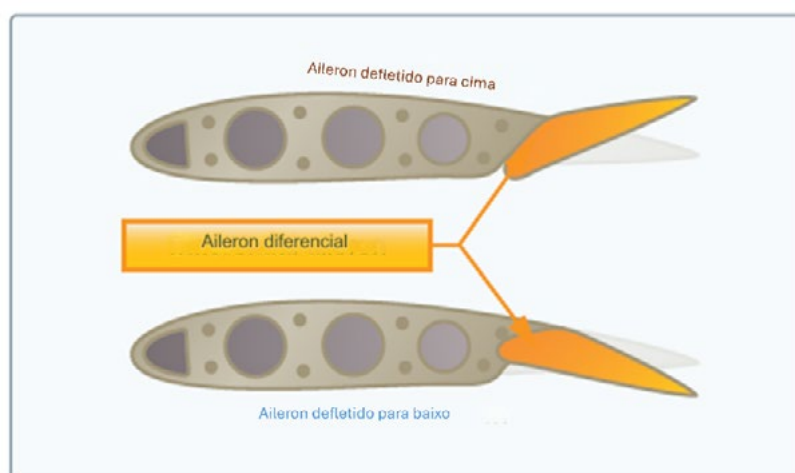


Figura 6. Ailerons diferenciais.

AILERONS TIPO FRISE

Com um aileron tipo frise, quando a pressão é aplicada ao manche ou stick, o aileron que está sendo levantado gira em uma dobradiça deslocada. Isso projeta o bordo de ataque do aileron no fluxo de ar e cria arrasto. Isso ajuda a igualar o arrasto criado pelo aileron abaixado na asa oposta e reduz a guinada adversa [Figura 7].

O aileron tipo frise também forma uma fenda para que o ar flua suavemente sobre o aileron abaixado, tornando-o mais eficaz em grandes ângulos de ataque. Ailerons tipo frise também podem ser projetados para funcionar diferencialmente. Como o aileron diferencial, o aileron tipo frise não elimina completamente a guinada adversa. A aplicação coordenada do leme ainda é necessária quando os ailerons são aplicados.

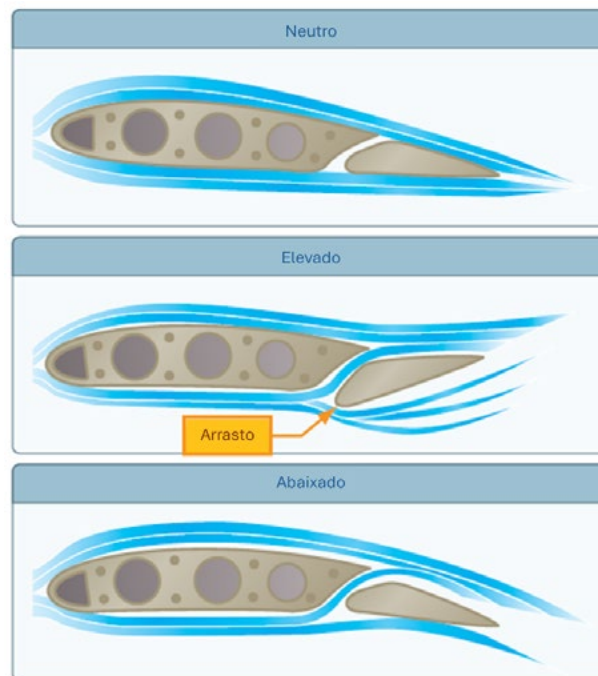


Figura 7. Ailerons tipo frise.

AILERONS E LEME ACOPLADOS

Ailerons e leme acoplados são controles vinculados. Isso é realizado com molas de interconexão de aileron-leme, que ajudam a corrigir o arrasto do aileron, desviando automaticamente o leme ao mesmo tempo que os ailerons são desviados.

Por exemplo, quando o volante ou manche é movido para produzir uma rolagem para a esquerda, o cabo de interconexão e a mola puxam para a frente no pedal do leme esquerdo apenas o suficiente para evitar que o nariz da aeronave guine para a direita. A força aplicada ao leme pelas molas pode ser anulada se for necessário glissar a aeronave. [Figura 8]

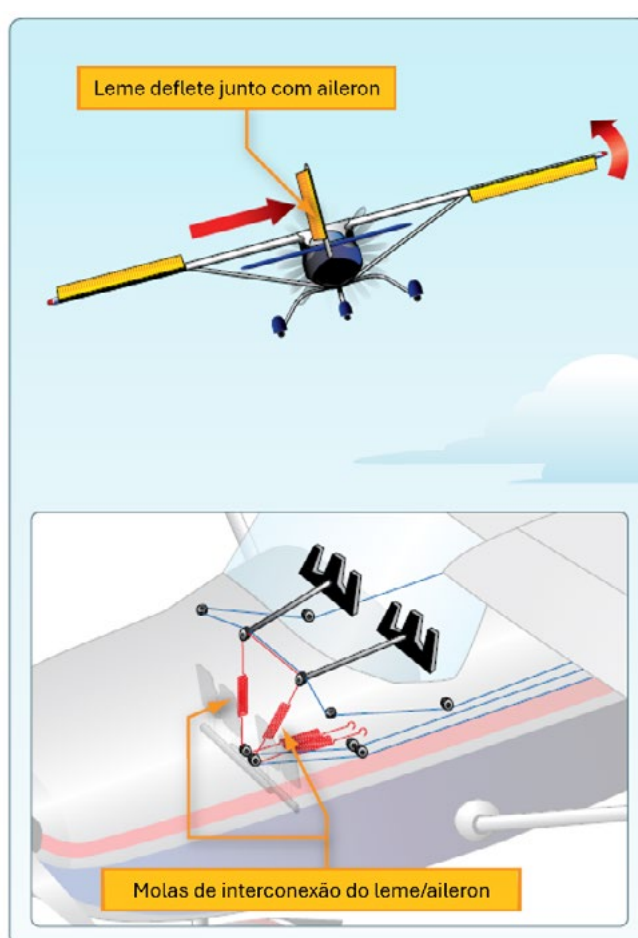


Figura 8. Ailerons e leme acoplados.

FLAPERONS

Os flaperons combinam ambos os aspectos de flaps e ailerons. Além de controlar o ângulo de inclinação de uma aeronave como ailerons convencionais, os flaperons podem ser abaixados juntos para funcionar muito da mesma forma que um conjunto dedicado de flaps. O piloto mantém controles separados para ailerons e flaps. Um mixer é usado para combinar as entradas separadas do piloto neste único conjunto de superfícies de controle chamadas flaperons. Muitos designs que incorporam flaperons montam as superfícies de controle longe da asa para fornecer um fluxo de ar ininterrupto em grandes ângulos de ataque e/ou baixas velocidades. [Figura 9]



Figura 9. Flaperons em um Skystar Kitfox MK 7.

PROFUNDOR

O Profundor controla a arfagem em torno do eixo lateral. Como os ailerons em pequenas aeronaves, o profundor está conectado à coluna de controle no cockpit por uma série de ligações mecânicas. O movimento para trás da coluna de controle desvia o bordo de fuga da superfície do profundor para cima. Isso geralmente é referido como a posição do profundor para cima. [Figura 10] A posição do profundor para cima diminui a curvatura do profundor e cria uma força aerodinâmica descendente, que é maior do que a força normal de cauda para baixo que existe em voo reto e nivelado. O efeito geral faz com que a cauda da aeronave se mova para baixo e o nariz suba. O momento de arfagem ocorre sobre o CG. A força do momento de arfagem é determinada pela distância entre o CG e a superfície da cauda horizontal, bem como pela eficácia aerodinâmica da superfície da cauda horizontal.



Figura 10. O profundor é o controle primário para alterar a atitude de arfagem de uma aeronave.

Mover a alavanca de controle para a frente tem o efeito oposto. Neste caso, a curvatura do profundor aumenta, criando mais sustentação (menos força de cauda para baixo) no estabilizador horizontal/profundor. Isso move a cauda para cima e faz o nariz descer. Novamente, o momento de arfagem ocorre sobre o CG.

Como mencionado anteriormente, estabilidade, potência, linha de empuxo e a posição das superfícies da cauda horizontal no empenamento são fatores na eficácia do profundor controlando a arfagem. Por exemplo, as superfícies da cauda horizontal podem ser fixadas perto da parte inferior do estabilizador vertical, no ponto médio, ou no ponto alto, como no design de cauda em T.

CAUDA EM T

Em uma configuração de cauda em T, o profundor está acima da maioria dos efeitos do fluxo descendente da hélice, bem como do fluxo de ar ao redor da fuselagem e/ou asas durante condições normais de voo. A operação dos profundores neste ar não perturbado permite movimentos de controle que são uniformes na maioria dos regimes de voo. Os projetos de cauda em T tornaram-se populares em muitas aeronaves leves e grandes, especialmente aquelas com motores montados na parte traseira da fuselagem, porque a configuração de cauda em T remove a cauda da explosão do escapamento dos motores. Hidroaviões e anfíbios costumam ter caudas em T para manter as superfícies horizontais o mais longe possível da água. Um benefício adicional é a redução do ruído e da vibração dentro da aeronave.

Em comparação com aeronaves de cauda convencional, o profundor em uma aeronave de cauda em T deve ser movido a uma distância maior para levantar o nariz em determinado grau ao viajar em baixas velocidades. Isso ocorre porque a aeronave de cauda convencional tem o fluxo descendente da hélice empurrando a cauda para ajudar a levantar o nariz.

Os controles da aeronave são manipulados de forma que um aumento na força de controle é necessário para aumentar o deslocamento do controle. As forças necessárias para levantar o nariz de uma aeronave de cauda em T são maiores do que as forças necessárias para levantar o nariz de uma aeronave de cauda convencional. A estabilidade longitudinal de uma aeronave com compensador (trim) é a mesma para ambos os tipos de configuração, mas o piloto deve estar ciente de que as forças de controle necessárias são maiores em baixas velocidades durante decolagens, pousos ou situações de estol do que para aeronaves de tamanho semelhante equipadas com caudas convencionais.

Aeronaves de cauda em T também exigem considerações de design adicionais para combater o problema de flutuação. Como o peso das superfícies horizontais está no topo do estabilizador vertical, o braço de momento criado gera cargas elevadas no estabilizador vertical que podem resultar em flutuação. Os engenheiros devem compensar isso aumentando a rigidez de design do estabilizador vertical, geralmente resultando em uma penalidade de peso sobre os designs de cauda convencionais.

Ao voar com um AOA muito grande, com uma baixa velocidade do ar e um CG recuado, a aeronave com cauda em T pode ser mais suscetível a um estol profundo. Nesta condição, o fluxo de ar da asa incide sobre a superfície da cauda e a torna quase ineficaz. A asa, se totalmente estolada, permite que seu fluxo de ar se destaque logo após o bordo de ataque. O amplo fluxo de ar desacelerado e turbulento cobre a cauda horizontal e, portanto, sua eficácia diminui significativamente. Nessas circunstâncias, o controle do profundor ou estabilizador é reduzido (ou talvez eliminado), tornando difícil a recuperação do estol. Deve-se notar que um CG recuado é frequentemente um fator contribuinte nesses incidentes, uma vez que problemas de recuperação semelhantes também são encontrados em aeronaves com cauda convencional com um CG atrás. [Figura 11] Estóis profundos podem ocorrer em qualquer aeronave, mas são mais propensos a ocorrer em aeronaves com caudas "T", pois um grande AOA tende a fazer com que o fluxo de ar separado das asas atinja a superfície horizontal da cauda. Além disso, a distância entre as asas e a cauda, a posição dos motores (montados na cauda) pode aumentar a suscetibilidade ao estol profundo. Portanto, um estol profundo pode ser mais prevalente em aeronaves de transporte versus aeronaves da aviação geral.

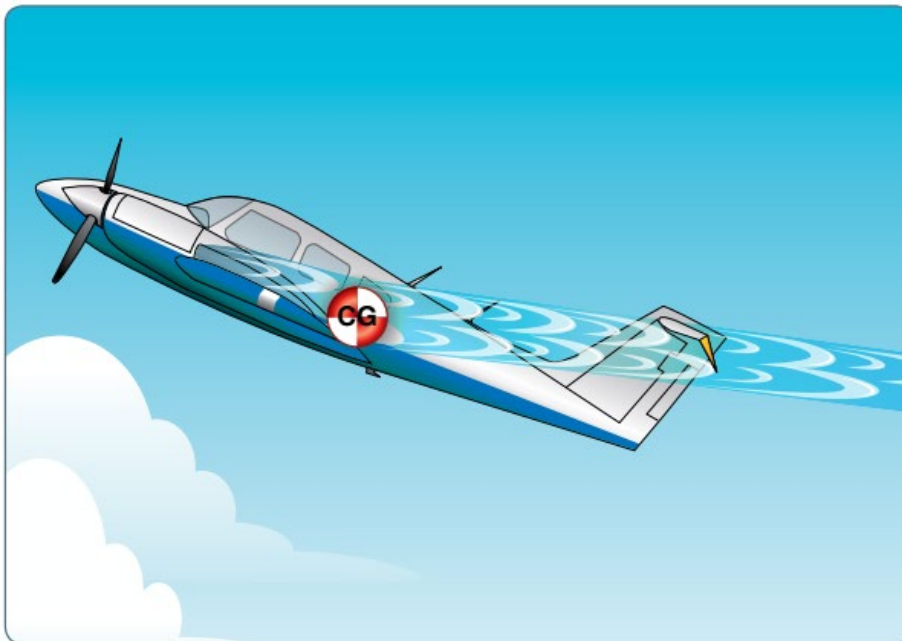


Figura 11. Aeronave com um design de cauda em T em um grande ângulo de ataque e um CG atrás.

Como o voo com um grande AOA, com uma baixa velocidade do ar e uma posição de CG traseira pode ser perigoso, muitas aeronaves têm sistemas para compensar essa situação. Os sistemas variam de batentes de controle a molas de abaixamento do profundor. Em jatos de categoria de transporte, as alavancas do manche são comumente usadas. Uma mola de abaixamento do profundor auxilia a abaixar o nariz da aeronave para prevenir um estol causado pela posição do CG atrás. O estol ocorre porque o avião devidamente ajustado está voando com o profundor em uma posição do bordo de fuga para baixo, forçando a cauda para cima e o nariz para baixo. Nesta condição instável, se a aeronave enfrenta turbulência e diminui ainda mais a velocidade, o compensador não posiciona mais o profundor na posição de nariz para baixo. O profundor então se alinha com o fluxo de ar, e o nariz da aeronave sobe, possivelmente resultando em um estol.

A mola de abaixar o profundor produz uma carga mecânica no profundor, fazendo com que ele se mova em direção à posição de nariz para baixo, se não estiver equilibrado de outra forma. O ajuste do profundor equilibra a força da mola, mantendo-o na posição desejada. Quando o ajuste se torna ineficaz, a mola de abaixamento move o profundor para uma posição de nariz para baixo. O nariz da aeronave abaixa, a velocidade aumenta e um estol é evitado [Figura 12]. O profundor também deve ter autoridade suficiente para manter o nariz da aeronave para cima durante o arredondamento para um pouso. Neste caso, um CG à frente pode causar um problema. Durante o flare de pouso, a potência geralmente é reduzida, o que diminui o fluxo de ar sobre a empenagem. Isso, juntamente com a velocidade de pouso reduzida, torna o profundor menos eficaz. Como esta discussão demonstra, os pilotos devem entender e seguir os procedimentos adequados de carregamento, especialmente em relação à posição do CG.

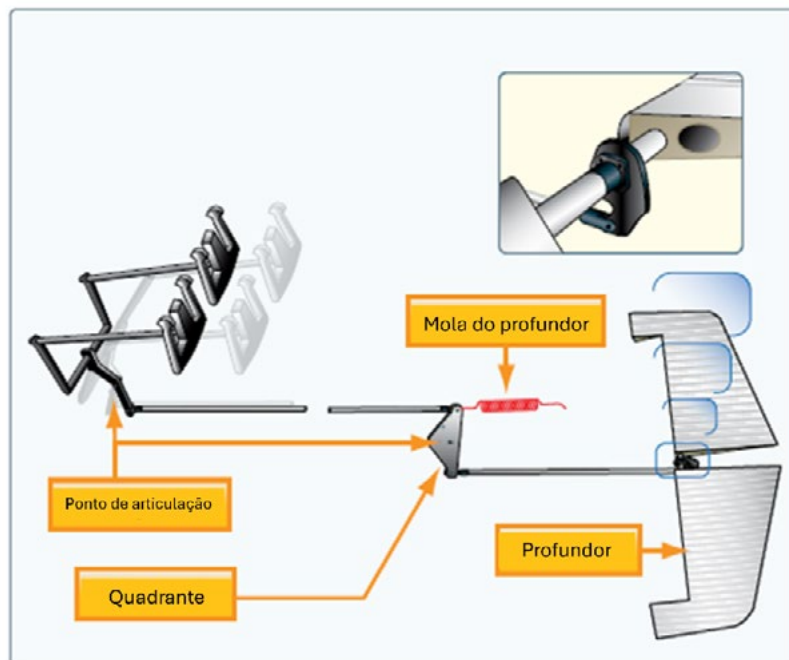


Figura 12. Quando a eficiência aerodinâmica da superfície horizontal da cauda é inadequada devido a uma condição de CG atrás, uma mola de compensação do profundor pode ser usada para fornecer uma carga mecânica para baixar o nariz.

ESTABILIZADOR

Um estabilizador é essencialmente um estabilizador horizontal de peça única que se move a partir de um ponto de articulação central. Quando a alavanca de controle é puxada para trás elevando o bordo de fuga do estabilizador, puxa o nariz da aeronave para cima. Empurrar a alavanca de controle para a frente abaixa o bordo de fuga do estabilizador e inclina o nariz da aeronave para baixo. Como os estabilizadores giram em torno de um ponto de dobradiça central, eles são extremamente sensíveis às entradas de controle e cargas aerodinâmicas. Anticompensadores são incorporados no bordo de fuga para diminuir a sensibilidade. Eles desviam na mesma direção que o estabilizador. Isso resulta em um aumento na força necessária para mover o estabilizador, tornando-o menos propenso a supercontrole induzido pelo piloto. Além disso, geralmente é incorporado um peso de equilíbrio na frente da longarina principal. O peso de equilíbrio pode se projetar na empenagem ou pode ser incorporado na parte frontal das pontas do estabilizador. [Figura 13]

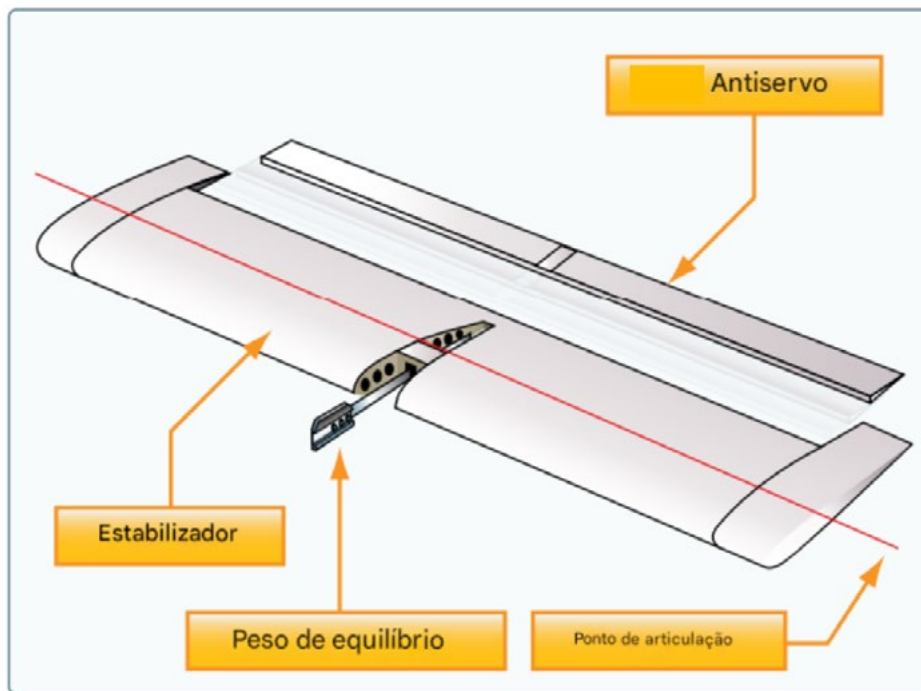


Figura 13. O estabilizador é uma superfície de cauda horizontal de peça única que se move para cima e para baixo em torno de um ponto de articulação central.

CANARD

O design canard utiliza o conceito de duas superfícies de sustentação. O canard funciona como um estabilizador horizontal localizado na frente das asas principais.

Na prática, o canard é um aerofólio semelhante à superfície horizontal em um design de cauda traseira convencional. A diferença é que o canard realmente cria sustentação e mantém o nariz para cima, ao contrário do design de cauda traseira que exerce força para baixo na cauda para evitar que o nariz gire para baixo. [Figura 14]

O design canard remonta aos dias pioneiros da aviação. Mais notavelmente, foi usado no *Wright Flyer*. Recentemente, a configuração canard recuperou popularidade e está aparecendo em aeronaves mais novas. Os designs canard incluem dois tipos – um com uma superfície horizontal de aproximadamente o mesmo tamanho que um design de cauda traseira normal, e o outro com uma superfície de tamanho aproximado e com o mesmo aerofólio da asa montada na traseira conhecida como configuração de asa em tandem. Teoricamente, o canard é considerado mais eficiente porque usar a superfície horizontal para ajudar a levantar o peso da aeronave deve resultar em menos arrasto para uma determinada quantidade de sustentação.



Figura 14. O Piaggio P180 inclui um design de canard de geometria variável que proporciona estabilidade longitudinal em torno do eixo lateral.

LEME

O leme controla o movimento da aeronave em torno de seu eixo vertical. Esse movimento é chamado de guinada. Como as outras superfícies de controle primárias, o leme é uma superfície móvel articulada a uma superfície fixa, neste caso, ao estabilizador vertical ou leme de direção. O leme é controlado pelos pedais de leme esquerdo e direito.

Quando o leme está defletido para o fluxo de ar, uma força horizontal é exercida na direção oposta. [Figura 15] Ao pressionar o pedal esquerdo, o leme se move para a esquerda. Isso altera o fluxo de ar ao redor do estabilizador vertical/leme e cria uma sustentação lateral que move a cauda para a direita e guina o nariz do avião para a esquerda. A eficácia do leme aumenta com a velocidade; portanto, grandes deflexões em baixas velocidades e pequenas deflexões em altas velocidades podem ser necessárias para fornecer a reação desejada. Em aeronaves movidas a hélice, qualquer fluxo de esteira que flui sobre o leme aumenta sua eficácia.

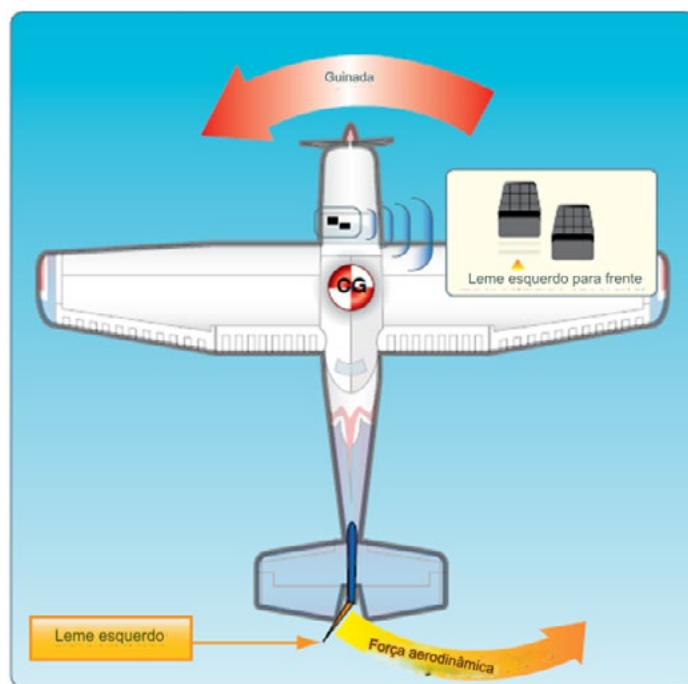


Figura 15. O efeito da pressão do leme para a esquerda.

CAUDA EM V

O design de cauda em V utiliza duas superfícies de cauda inclinadas para realizar as mesmas funções que as superfícies de uma configuração convencional de profundor e leme. As superfícies fixas atuam como estabilizador horizontal e vertical. [Figura 16] As superfícies móveis, que geralmente são chamadas de lemes de elevação (*ruddervators*), estão conectadas por meio de uma ligação especial que permite que o manche mova ambas as superfícies simultaneamente. Por outro lado, o deslocamento dos pedais do leme move as superfícies diferencialmente, fornecendo assim controle direcional.



Figura 16. Beechcraft Bonanza V35.

Quando ambos os controles do leme e do profundor são movidos pelo piloto, um mecanismo de controle move cada superfície na quantidade apropriada. O sistema de controle para a cauda em V é mais complexo do que o sistema de controle para uma cauda convencional. Além disso, o design da cauda em V é mais suscetível a tendências de rotação holandesa do que uma cauda convencional e a redução total no arrasto é mínima.

CONTROLES SECUNDÁRIOS DE VOO

Os sistemas de controle de voo secundários podem consistir em flaps de asa, dispositivos de bordo de ataque, spoilers e sistemas de trim.

FLAPS

Os flaps são os dispositivos de alta sustentação mais comuns usados em aeronaves. Essas superfícies, que estão ligadas ao bordo de fuga da asa, aumentam tanto a sustentação quanto o arrasto induzido para qualquer ângulo AOA dado. Os flaps permitem um compromisso entre alta velocidade de cruzeiro e baixa velocidade de pouso porque podem ser estendidos quando necessário e recolhidos na estrutura da asa quando não são necessários. Existem quatro tipos comuns de flaps: simples, dividido, com fendas e Fowler. [Figura 17]

O flap simples é o mais básico dos quatro tipos. Ele aumenta a curvatura do aerofólio, resultando em um aumento significativo no CL em um determinado AOA. Ao mesmo tempo, aumenta muito o arrasto e move o centro de pressão CP para trás no aerofólio, resultando em um momento de inclinação do nariz para baixo.

O flap dividido é desviado da superfície inferior do aerofólio e produz um aumento ligeiramente maior na sustentação do que o flap simples. Mais arrasto é gerado por causa do padrão de ar turbulento produzido atrás do aerofólio.

Quando totalmente estendidos, ambos os flaps, simples e dividido, produzem alto arrasto, com pouca sustentação adicional.

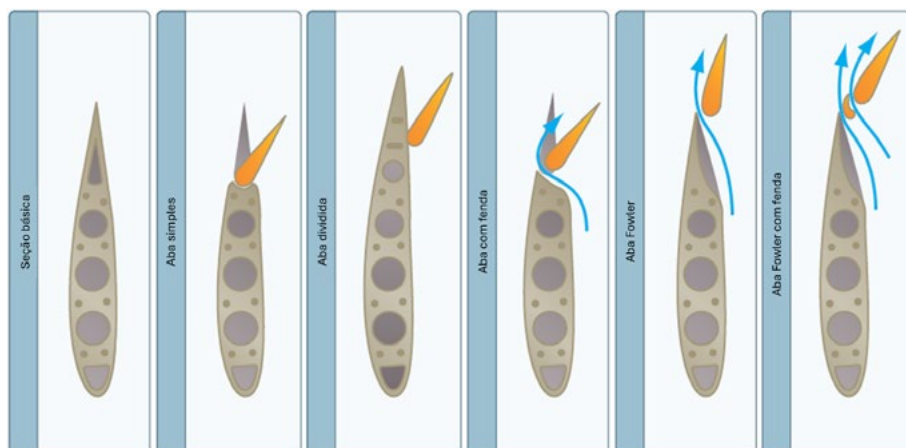


Figura 17. Cinco tipos mais comuns de flap.

O flap mais popular nas aeronaves hoje é o flap com fendas. Variações desse design são usadas para aeronaves pequenas, bem como para grandes. Flaps com fendas aumentam o CL significativamente mais do que flaps simples ou ventrais. Em aeronaves pequenas, a dobradiça está localizada abaixo da superfície inferior do flap e, quando o flap é abaixado, um duto se forma entre o compartimento do flap na asa e o bordo de ataque do flap.

Quando o flap com fendas é abaixado, o ar de alta energia da superfície inferior é direcionado para a superfície superior do flap. O ar de alta energia da fenda acelera a camada limite da superfície superior e retarda a separação do fluxo de ar, fornecendo um CL mais alto. Assim, o flap com fendas produz aumentos muito maiores no coeficiente máximo de sustentação (CL-MAX) do que o flap simples ou ventral. Embora existam muitos tipos de flaps com fendas, aeronaves grandes costumam ter flaps com fendas duplos e até triplos. Esses permitem o aumento máximo no arrasto, sem que o fluxo de ar sobre os flaps se separe e destrua a sustentação que eles produzem.

Flaps Fowler são um tipo de flap com fenda. Esse design de flap não apenas muda a curvatura da asa, mas também aumenta a área da asa. Em vez de girar para baixo em uma dobradiça, ele desliza para trás em trilhos. Na primeira parte de sua extensão, aumenta muito pouco o arrasto, mas aumenta muito a sustentação, pois aumenta tanto a área quanto a curvatura. Os pilotos devem estar cientes de que a extensão do flap pode causar um momento de inclinação para cima ou para baixo, dependendo do tipo de aeronave, que o piloto precisará compensar, geralmente com um ajuste de trim. À medida que a extensão continua, o flap se desvia para baixo. Durante a última parte de sua viagem, o flap aumenta o arrasto, com pouco aumento adicional na sustentação.

DISPOSITIVOS DO BORDO DE ATAQUE

Dispositivos de alta sustentação também podem ser aplicados ao bordo de ataque do aerofólio. Os tipos mais comuns são slots fixos, slats móveis, flaps de bordo de ataque e cuffs. [Figura 18]

Slots fixos direcionam o fluxo de ar para a superfície superior da asa e atrasam a separação do fluxo de ar em ângulos de ataque maiores. O slot não aumenta a curvatura da asa, mas permite um CL máximo maior, porque a estolagem é adiada até que a asa atinja um maior AOA.

Slats móveis consistem em segmentos do bordo de ataque que se movem em trilhos. Em pequenos ângulos de ataque, cada slat é mantido rente ao bordo de ataque da asa pela alta pressão que se forma no bordo de ataque da asa. À medida que o AOA aumenta, a área de alta pressão se move para trás, abaixo da superfície inferior da asa, permitindo que os slats avancem. Alguns slats, no entanto, são operados pelo piloto e podem ser implantados em qualquer AOA. Abrir um slat permite que o ar abaixo da asa flua sobre a superfície superior da asa, retardando a separação do fluxo de ar.

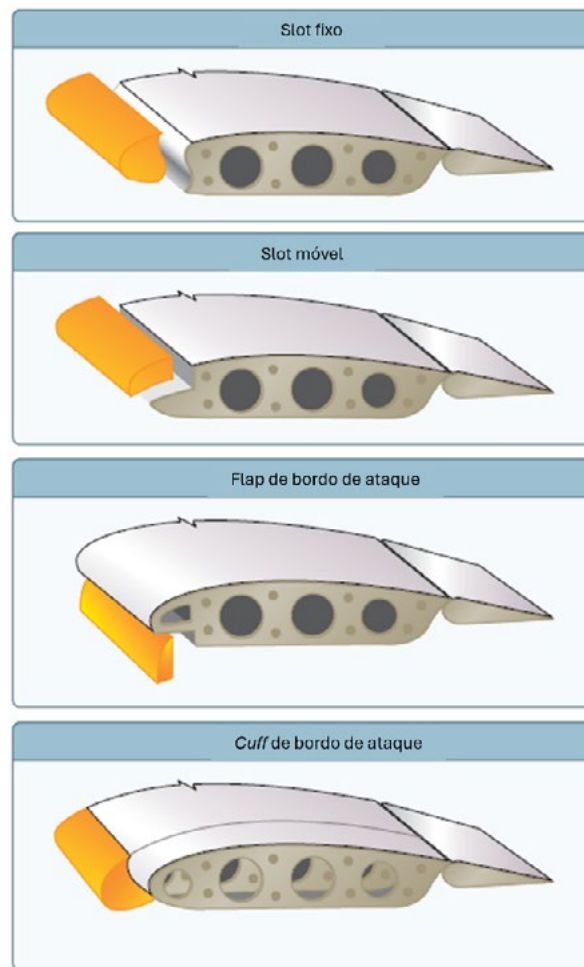


Figura 18. Dispositivos de alta sustentação no bordo de ataque.

Flaps de bordo de ataque, como flaps de bordo de fuga, são usados para aumentar tanto o CL-MAX quanto a curvatura das asas. Este tipo de dispositivo de bordo de ataque é frequentemente usado em conjunto com flaps de bordo de fuga e pode reduzir o movimento de inclinação, com o nariz para baixo, produzido por este último. Como ocorre com flaps de bordo de fuga, um pequeno incremento de flaps de bordo de ataque aumenta a sustentação em muito maior extensão do que o arrasto. À medida que os flaps são estendidos, o arrasto aumenta a uma taxa maior do que a sustentação.

Cuffs de bordo de ataque, como flaps de bordo de ataque e flaps de bordo de fuga, são usados para aumentar tanto o CL-MAX quanto a curvatura das asas. Ao contrário dos flaps de bordo de ataque e flaps de bordo de fuga, os cuffs de bordo de ataque são dispositivos aerodinâmicos fixos. Na maioria dos casos, os cuffs de bordo de ataque estendem o bordo de ataque para baixo e para a frente. Isso faz com que o fluxo de ar se fixe melhor na superfície superior da asa em ângulos de ataque maiores, diminuindo, assim, a velocidade de estol de uma aeronave. A natureza fixa dos cuffs de bordo de ataque extrai uma penalidade na velocidade máxima de cruzeiro, mas avanços recentes em design e tecnologia reduziram essa penalidade.

SPOILERS

Encontrados em algumas aeronaves de asa fixa, dispositivos de alto arrasto, chamados spoilers, são implantados das asas para perturbar o fluxo de ar suave, reduzindo a sustentação e aumentando o arrasto. Em planadores, os spoilers são mais frequentemente usados para controlar a taxa de descida para pousos precisos. Em outras aeronaves, os spoilers são frequentemente usados para controle de rolagem, uma vantagem da qual é a eliminação da guinada adversa. Para virar à direita, por exemplo, o spoiler na asa direita é levantado, destruindo parte da sustentação e criando mais arrasto à direita. A asa direita cai, e a aeronave inclina e guina para a direita. Implantar spoilers em ambas as asas ao mesmo tempo permite que a aeronave desça sem ganhar velocidade. Os spoilers também são implantados para ajudar a reduzir a rolagem no solo após o pouso. Ao destruir a sustentação, eles transferem peso para as rodas, melhorando a eficácia da frenagem. [Figura 19]



Figura 19. Os spoilers reduzem a sustentação e aumentam o arrasto durante a descida e o pouso.

SISTEMAS DE COMPENSAÇÃO

Embora uma aeronave possa ser operada em uma ampla gama de atitudes, velocidades e configurações de potência, ela pode ser projetada para voar sem as mãos dentro de apenas uma combinação muito limitada dessas variáveis. Os sistemas de compensação são usados para aliviar o piloto da necessidade de manter pressão constante nos controles de voo, e geralmente consistem em controles de cabine e pequenos dispositivos articulados, anexados ao bordo de fuga de uma ou mais das superfícies de controle de voo primárias.

Projetados para ajudar a minimizar a carga de trabalho do piloto, os sistemas de compensação auxiliam aerodinamicamente o movimento e a posição da superfície de controle de voo à qual estão anexados. Os tipos comuns de sistemas de compensação incluem compensadores, guias de balanceamento, anticomensadores, guias ajustáveis no solo e um estabilizador ajustável.

COMPENSADORES (TRIM)

A instalação mais comum em aeronaves pequenas é um único compensador, fixado ao bordo de fuga do profundor. A maioria dos compensadores é operada manualmente por uma pequena roda de controle, montada verticalmente. No entanto, uma manivela de compensação pode ser encontrada em algumas aeronaves. O controle de cabine inclui um indicador de posição do compensador.

Colocar o controle de compensação na posição totalmente para baixo move o compensador para sua posição totalmente para cima. Com o compensador para cima e no fluxo de ar, o fluxo de ar sobre a superfície da cauda horizontal tende a forçar o bordo de fuga do profundor para baixo. Isso faz com que a cauda da aeronave se mova para cima e o nariz se mova para baixo. [Figura 20]

Se o compensador estiver ajustado para a posição total de nariz para cima, a guia se move para sua posição totalmente para baixo. Neste caso, o ar fluindo sob a superfície da cauda horizontal atinge a guia e força o bordo de fuga do profundor para cima, reduzindo o AOA do profundor. Isso faz com que a cauda da aeronave se mova para baixo e o nariz se mova para cima.

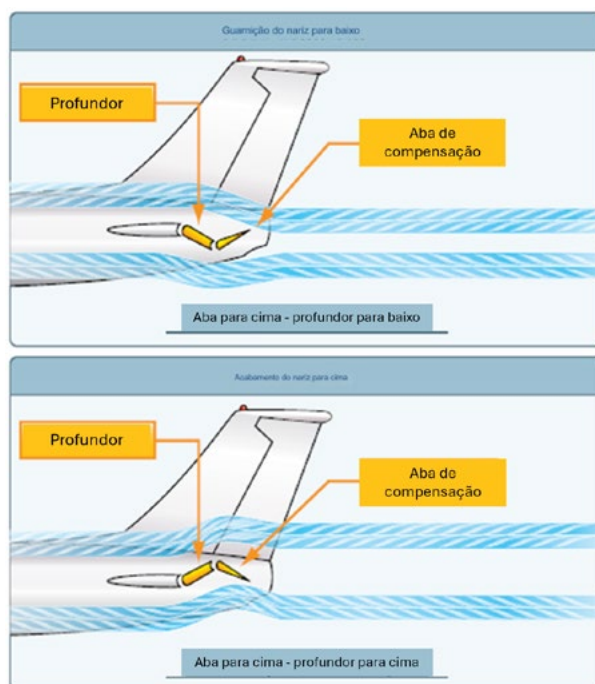


Figura 20. O movimento do profundor é oposto à direção do movimento da guia de trim do profundor.

Apesar do movimento direcional oposto do compensador e do profundor, o controle do compensador é natural para um piloto. Se o piloto precisar exercer pressão constante para trás em uma alavanca de controle, indica-se a necessidade de ajustar o nariz para cima. O procedimento normal de ajuste consiste em continuar ajustando até que a aeronave esteja equilibrada e a condição de nariz pesado não seja mais aparente.

Os pilotos normalmente estabelecem primeiro a potência desejada, atitude de arfagem e configuração, e então ajustam a aeronave para aliviar as pressões de controle que possam existir para essa condição de voo. À medida que a potência, atitude de arfagem ou configuração mudam, é necessário reajustar para aliviar as pressões de controle para a nova condição de voo.

GUIA DE BALANCEAMENTO

As forças de controle podem ser excessivamente altas em algumas aeronaves e, para diminuí-las, o fabricante pode usar guias de balanceamento. Elas se parecem com guias de trim e são articuladas aproximadamente nos mesmos lugares que os compensadores.

A diferença essencial entre as duas é que a guia de balanceamento está acoplada à haste da superfície de controle, de modo que, quando a superfície de controle primária é movida em qualquer direção, a guia se move automaticamente na direção oposta. O fluxo de ar que atinge a guia contrabalança parte da pressão do ar contra a superfície de controle primária e permite que o piloto mova o controle mais facilmente e mantenha a superfície de controle na posição.

Se a ligação entre a guia de balanceamento e a superfície fixa for ajustável a partir da cabine, a guia age como compensador e balanceamento combinados, que podem ser ajustados para a deflexão desejada.

SERVO COMPENSADORES

Servo compensadores são muito semelhantes em operação e aparência aos compensadores discutidos anteriormente. Um servo compensador é uma pequena parte de uma superfície de controle de voo que se desloca de forma a ajudar a mover toda a superfície de controle de voo na direção que o piloto deseja.

Um guia servo é um dispositivo dinâmico que se desloca para diminuir a carga de trabalho do piloto e estabilizar a aeronave. Guia servo, às vezes, é chamado de guia de voo e é usado principalmente em aeronaves grandes. Eles auxiliam o piloto no movimento da superfície de controle e em mantê-la na posição desejada.

Apenas o guia servo se move em resposta ao movimento do controle de voo do piloto, e a força do fluxo de ar sobre a guia servo então move a superfície de controle primária.

COMPENSADOR ANTISERVO

Os compensadores antiservo funcionam da mesma maneira que as guias de balanceamento, exceto que, em vez de se moverem na direção oposta, elas se movem na mesma direção que o bordo de fuga do estabilizador.

Além de diminuir a sensibilidade do estabilizador, um compensador antiservo também funciona como um dispositivo de compensação para aliviar a pressão de controle e manter o estabilizador na posição desejada. [Figura 21]

A extremidade fixa da ligação está no lado oposto da superfície em relação à haste na guia; quando o bordo de fuga do estabilizador se move para cima, a ligação força o bordo de fuga da guia para cima. Quando o estabilizador se move para baixo, a guia também se move para baixo.

Por outro lado, as guias de compensação nos profundores se movem na direção oposta à da superfície de controle.

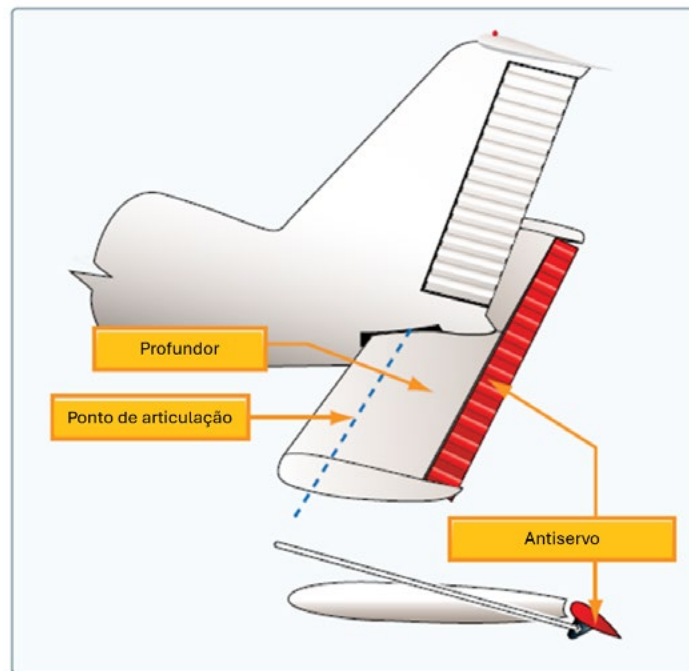


Figura 21. Um compensador antiservo tenta otimizar a superfície de controle e é usado para tornar o estabilizador menos sensível, opondo-se à força exercida pelo piloto.

COMPENSADORES AJUSTÁVEIS NO SOLO

Muitas aeronaves pequenas têm um compensador de metal não móvel no leme. Esse compensador é dobrado em uma direção ou outra enquanto está no solo para aplicar uma força de compensação ao leme. O deslocamento correto é determinado por tentativa e erro. Geralmente, pequenos ajustes são necessários até que a aeronave não derrape mais para a esquerda ou direita durante o voo de cruzeiro normal. [Figura 22]



Figura 22. Um compensador ajustável no solo é usado no leme de muitos aviões pequenos para corrigir uma tendência de voar com a fuselagem ligeiramente desalinhada com o vento relativo.

ESTABILIZADOR AJUSTÁVEL

Em vez de usar uma guia ajustável no bordo traseiro do profundor, algumas aeronaves possuem um estabilizador ajustável. Com este arranjo, as ligações fazem o estabilizador horizontal pivotar em torno de sua longarina traseira. Isso é realizado pelo uso de um parafuso sem-fim montado no bordo de ataque do estabilizador. [Figura 23]

Em aeronaves pequenas, o parafuso sem-fim é operado por cabo, com uma roda de ajuste ou manivela. Em aeronaves maiores, ele é acionado por motor. O efeito de ajuste e as indicações de cabine para um estabilizador ajustável são semelhantes aos de um compensador.

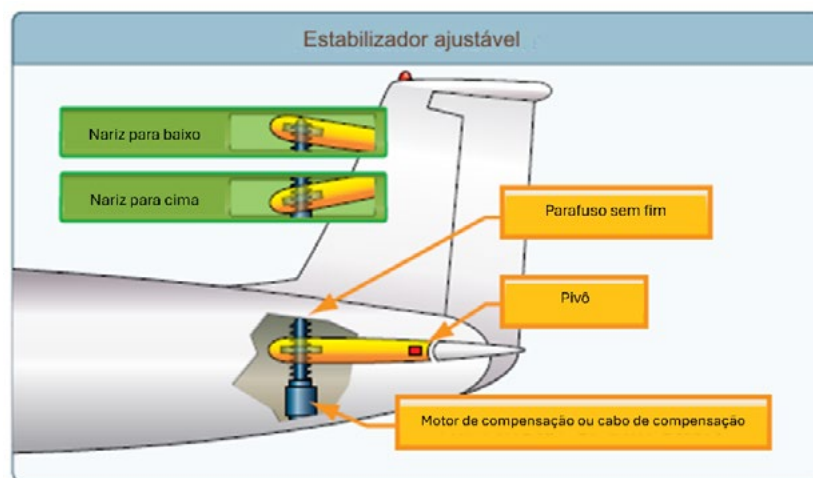


Figura 23. Alguns aviões, incluindo a maioria dos aviões a jato, usam um estabilizador ajustável para fornecer as forças de compensação de arfagem necessárias.

PILOTO AUTOMÁTICO

O piloto automático é um sistema automático de controle de voo que mantém uma aeronave em voo nivelado ou em um curso definido. Ele pode ser controlado pelo piloto ou acoplado a um sinal de navegação por rádio. O piloto automático reduz as demandas físicas e mentais sobre um piloto e aumenta a segurança.

As características comuns disponíveis em um piloto automático são a manutenção de altitude e rumo. [Figura 24] Os sistemas mais simples usam indicadores de atitude giroscópicos e bússolas magnéticas para controlar servos conectados ao sistema de controle de voo.

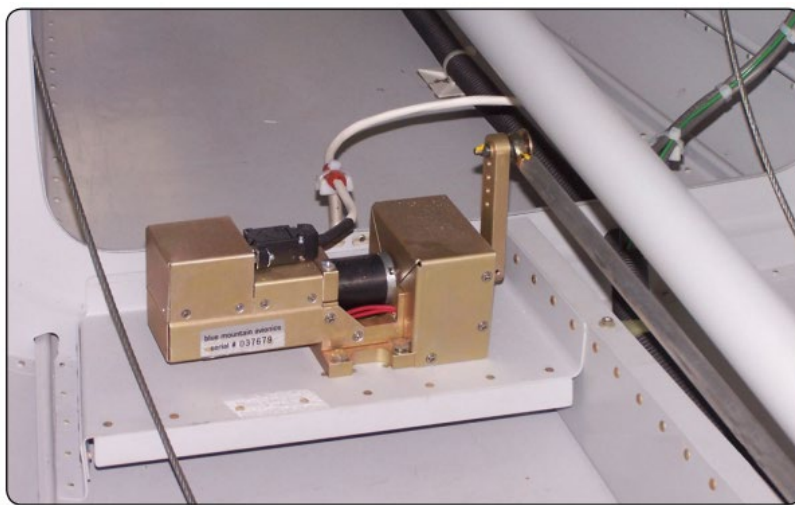


Figura 24. Sistema básico de piloto automático integrado ao sistema de controle de voo.

O número e a localização desses servos dependem da complexidade do sistema. Por exemplo, um piloto automático de um eixo controla a aeronave em torno do eixo longitudinal, e um servo atua nos ailerons. Um piloto automático de três eixos controla a aeronave em torno dos eixos longitudinal, lateral e vertical. Três servos diferentes atuam nos ailerons, profundor e leme. Sistemas mais avançados muitas vezes incluem um modo de manutenção de velocidade vertical e/ou velocidade indicada do ar. Os sistemas de piloto automático avançados são acoplados a auxílios de navegação por meio de um diretor de voo.

O sistema de piloto automático também incorpora um recurso de segurança de desconexão para desativar o sistema automaticamente ou manualmente. Esses pilotos automáticos trabalham com sistemas de navegação inercial, sistemas de posicionamento global (GPS) e computadores de voo para controlar a aeronave. Em sistemas *fly-by-wire*, o piloto automático é um componente integrado.

Além disso, os pilotos automáticos podem ser anulados manualmente. Como os sistemas de piloto automático diferem amplamente em sua operação, consulte as instruções de operação do piloto automático no Manual de Voo da Aeronave (AFM) ou no Manual do Operador do Piloto (POH).

RESUMO DO CAPÍTULO

Como os sistemas de controle de voo e as características aerodinâmicas variam muito entre as aeronaves, é essencial que um piloto se familiarize com os sistemas de controle de voo primários e secundários da aeronave em operação. A principal fonte dessas informações é o AFM ou o POH. Vários sites de fabricantes e grupos de proprietários também podem ser uma fonte valiosa de informações adicionais.

QUER SABER MAIS?

Acompanhe a série Asas do Conhecimento para ficar por dentro dos manuais aeronáuticos. Além desse material, a Anac oferece cursos e seminários para aumentar a segurança aérea no [Portal de Capacitação da Agência](#).

Para obter mais informações, entre em contato com a Agência por meio do serviço ["Fale com a Anac"](#). E não se esqueça de seguir a Anac nas redes sociais para ficar por dentro das últimas notícias e atualizações.

Super App da Anac

Conheça o aplicativo que facilita a gestão de cursos e horas de voo, emissão de Certificados de Habilitação Técnica (CHT), pagamentos de taxas, além de acesso a clínicas e escolas credenciadas.

O aplicativo também envia notificações para auxiliar no cumprimento de prazos e obrigações, simplificando processos e agilizando etapas.



Baixe gratuitamente





ACOMPANHE A ANAC NAS REDES SOCIAIS



[/oficialanac](#)



[/company/oficial-anac](#)



[/oficialanac](#)



[/oficialanacbr](#)



[/oficial_anac](#)