

Universidade do Sul de Santa Catarina

Conhecimento Geral dos Helicópteros

Disciplina na modalidade a distância

UnisulVirtual

A sua universidade a distância

Universidade do Sul de Santa Catarina

Conhecimento Geral dos Helicópteros

Disciplina na modalidade a distância

Palhoça
UnisulVirtual
2011

Alessandro José Machado
Marcio Leandro Reisdorfer

Conhecimento Geral dos Helicópteros

Livro didático

Design instrucional
João Marcos de Souza Alves

Palhoça
UnisulVirtual
2011

Copyright © UnisulVirtual 2011

Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida por qualquer meio sem a prévia autorização desta instituição.

Edição – Livro Didático

Professor Conteudista

Alessandro José Machado
Marcio Leandro Reisdorfer

Design Instrucional

João Marcos de Souza Alves

ISBN

978-85-7817-386-9

Projeto Gráfico e Capa

Equipe UnisulVirtual

Diagramação e Ilustrações

Oberdan Piantino

Revisão

Diane Dal Mago

629.133352

M13 Machado, Alessandro José

Conhecimento geral dos helicópteros : livro didático / Alessandro José Machado, Marcio Leandro Reisdorfer ; design instrucional João Marcos de Souza Alves. – Palhoça : UnisulVirtual, 2011.

202 p. : il. ; 28 cm.

Inclui bibliografia.

ISBN 978-85-7817-386-9

1. Helicópteros – Estrutura. 2. Helicópteros – Instrumentos. I. Reisdorfer, Marcio Leandro. II. Alves, João Marcos de Souza III. Título.

Sumário

Apresentação.....	7
Palavras dos professores	9
Plano de estudo	11
UNIDADE 1 - Fundamentos de engenharia das aeronaves de asas rotativas	15
UNIDADE 2 - O helicóptero	33
UNIDADE 3 - Qualidades de voo	81
UNIDADE 4 - Fenômenos relacionados a acidentes comuns	145
Para concluir o estudo.....	187
Referências	189
Sobre os professores conteudistas.....	193
Respostas e comentários das atividades de autoavaliação	195
Biblioteca Virtual.....	201

Apresentação

Este livro didático corresponde à disciplina **Conhecimento Geral dos Helicópteros**.

O material foi elaborado visando a uma aprendizagem autônoma e aborda conteúdos especialmente selecionados e relacionados à sua área de formação. Ao adotar uma linguagem didática e dialógica, objetivamos facilitar seu estudo a distância, proporcionando condições favoráveis às múltiplas interações e a um aprendizado contextualizado e eficaz.

Lembre-se que sua caminhada, nesta disciplina, será acompanhada e monitorada constantemente pelo Sistema Tutorial da UnisulVirtual, por isso a “distância” fica caracterizada somente na modalidade de ensino que você optou para sua formação, pois na relação de aprendizagem professores e instituição estarão sempre conectados com você.

Então, sempre que sentir necessidade entre em contato; você tem à disposição diversas ferramentas e canais de acesso tais como: telefone, e-mail e o Espaço Unisul Virtual de Aprendizagem, que é o canal mais recomendado, pois tudo o que for enviado e recebido fica registrado para seu maior controle e comodidade. Nossa equipe técnica e pedagógica terá o maior prazer em lhe atender, pois sua aprendizagem é o nosso principal objetivo.

Bom estudo e sucesso!

Equipe UnisulVirtual.

Palavras dos professores



Caro (a) aluno (a),

Parabéns por ter escolhido este curso, visto que você já deve ter percebido que o universo da aviação é algo motivador e apaixonante, e que se agiganta cada vez que aprimoramos nossos conhecimentos nesta área.

Nesta disciplina estudaremos, dentre as diferentes máquinas voadoras já produzidas pelo homem, o helicóptero, que é, sem dúvida alguma, a aeronave que proporciona aos aeronavegantes uma maior plenitude do que é voar, pois apresenta, entre suas características, a manobrabilidade multidirecional aliada a agilidade no ar, trazendo a todos os operadores o sentimento de realização dos antigos sonhos infantis.

Desejamos a você as boas-vindas a este magnífico mundo.

Alessandro José Machado
Marcio Leandro Reisdorfer



Plano de estudo

O plano de estudos visa a orientá-lo no desenvolvimento da disciplina. Ele possui elementos que o ajudarão a conhecer o contexto da disciplina e a organizar o seu tempo de estudos.

O processo de ensino e aprendizagem na UnisulVirtual leva em conta instrumentos que se articulam e se complementam, portanto, a construção de competências se dá sobre a articulação de metodologias e por meio das diversas formas de ação/mediação.

São elementos desse processo:

- o livro didático;
- o Espaço UnisulVirtual de Aprendizagem (EVA);
- as atividades de avaliação (a distância, presenciais e de autoavaliação);
- o Sistema Tutorial.

Ementa

Fundamentos de engenharia de helicópteros e aeronaves de asas rotativas. Resumo histórico das aeronaves de asas rotativas. Tecnologia do helicóptero: Configurações de aeronaves VTOL e helicópteros, formas de controle, tipos de Rotores e as articulações. Sistemas de helicópteros. Estrutura. Grupo moto-propulsor. Esforços estruturais. Rotores e sistemas de transmissão. A transmissão dos redutores: principal, intermediário e traseiro. Desempenho no pairado, no voo vertical e à frente. Qualidades de voo: manobrabilidade, estabilidade estática e dinâmica. Pane do motor e voo em autorrotação. Vibrações em helicópteros.

Ruído em helicópteros. Fenômenos relacionados a acidentes comuns: ressonância solo e ar, rolamento dinâmico, choques das pás e operações próximas a obstáculos.

Objetivos da disciplina

Geral

Propiciar aos profissionais da aviação a familiarização com aeronaves de voo em asa rotativa.

Específicos

- Conhecer os fundamentos da engenharia e funcionamento de helicópteros e aeronaves de asas rotativas;
- Entender os sistemas e estruturas dos helicópteros;
- Demonstrar as qualidades de voo em helicópteros;
- Apresentar os fenômenos relacionados a acidentes comuns em aeronaves de asas rotativas.

Carga horária

A carga horária total da disciplina é 60 horas-aula.

Conteúdo programático/objetivos

Veja, a seguir, as unidades que compõem o livro didático desta disciplina e os seus respectivos objetivos. Estes se referem aos resultados que você deverá alcançar ao final de uma etapa de

estudo. Os objetivos de cada unidade definem o conjunto de conhecimentos que você deverá possuir para o desenvolvimento de habilidades e competências necessárias à sua formação.

Unidades de estudo: 4 (quatro)

Unidade 1 – Fundamentos de engenharia das aeronaves de asas rotativas

Nesta primeira unidade, você estudará o histórico das aeronaves de asas rotativas; as tecnologias e as configurações utilizadas em Helicópteros; assim como as formas de controle e os tipos de rotores e articulações que compõem esse tipo de aeronave.

Unidade 2 – O helicóptero

Nesta segunda unidade, você vai se familiarizar com a estrutura das aeronaves, ao estudar o grupo moto-propulsor e os esforços estruturais. Também, vai conhecer os rotores e sistemas de transmissão e aprender sobre o desempenho no voo pairado, voo vertical e à frente.

Unidade 3 – Qualidades de voo

Nesta unidade, você conhecerá sobre manobrabilidade, estabilidade estática e dinâmica. Pane do rotor em voo em autorrotação. Aqui, você entenderá como acontecem vibrações e ruídos em helicópteros.


Unidade 4 – Fenômenos relacionados a acidentes comuns

Esta unidade abordará os seguintes assuntos relacionados a acidentes comuns: ressonância no solo e ar, rolamento dinâmico, choques das pás e operações próximas a obstáculos.



Agenda de atividades/Cronograma

- Verifique com atenção o EVA, organize-se para acessar periodicamente a sala da disciplina. O sucesso nos seus estudos depende da priorização do tempo para a leitura, da realização de análises e sínteses do conteúdo e da interação com os seus colegas e professor.
- Não perca os prazos das atividades. Registre no espaço a seguir as datas com base no cronograma da disciplina disponibilizado no EVA.
- Use o quadro para agendar e programar as atividades relativas ao desenvolvimento da disciplina.

Atividades obrigatórias	
Demais atividades (registro pessoal)	

UNIDADE 1

Fundamentos de engenharia das aeronaves de asas rotativas

1



Objetivos de aprendizagem

- Compreender como funcionam os helicópteros e a aerodinâmica que envolve seu voo.
- Conhecer o desenvolvimento histórico do helicóptero.



Seções de estudo

Seção 1 Como funcionam os helicópteros

Seção 2 Histórico do helicóptero



Para início de estudo

Caro aluno, você ingressará no surpreendente mundo de uma das mais maravilhosas e versáteis máquinas produzidas pelo homem, o helicóptero. Nesta unidade, você será levado a entender seu funcionamento, desenvolvimento histórico, e os acertos para que esta aeronave pudesse decolar e pousar verticalmente. Por meio deste estudo inicial, ficará mais fácil a compreensão dos conteúdos das unidades seguintes relacionados à construção, e principalmente performance de voo das aeronaves de asas rotativas.

Seção 1 – Como funcionam os helicópteros

Para entender o funcionamento dos helicópteros, é útil comparar suas habilidades com as dos trens, carros e aviões. Observando esses diferentes meios de transporte, poderemos entender por que os helicópteros são tão versáteis.

Pegando, por exemplo, o trem, há somente duas direções que este meio de transporte pode seguir, para frente e para trás. Existe um freio para pará-lo em qualquer uma das direções, mas não existe nenhum mecanismo de direção. Os trilhos o levam para onde for necessário.

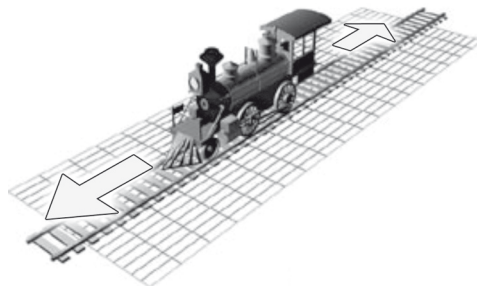


Figura 1.1 - Exemplo de locomoção do trem
Fonte: Howstuffworks, 2011. Adaptada pelos autores.

Um carro pode ir para frente e para trás como um trem. E se estivermos conduzindo este meio de transporte nesses sentidos, poderemos também virá-lo à esquerda ou à direita.

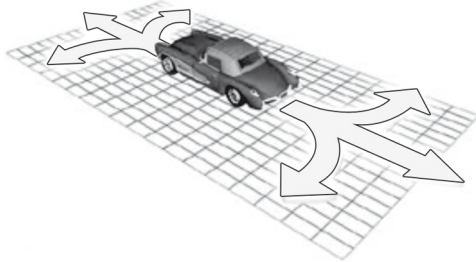


Figura 1.2 - Exemplo de movimentação de um veículo
Fonte: Howstuffworks, 2011. Adaptada pelos autores.

Para controlar a direção de um carro, o motorista usa um volante que pode girar no sentido horário ou anti-horário.

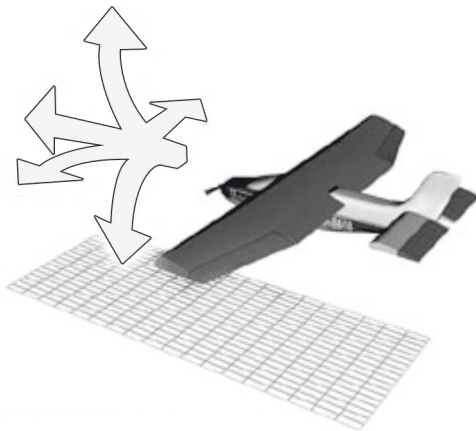


Figura 1.3 - Exemplo de movimentação de um avião
Fonte: Howstuffworks, 2011. Adaptada pelos autores.

Já o avião pode ir para frente e virar para a esquerda ou para a direita; também é capaz de ir para cima e para baixo, mas não voa para trás. Um avião pode mover-se em cinco direções, em vez de quatro, como o carro. E ir para cima e para baixo, adiciona uma dimensão totalmente nova ao avião, e esta dimensão é o diferencial entre aviões e carros.

O controle do movimento para cima e para baixo do avião é feito com o uso do manche, que se move para dentro e para fora, além de virar no sentido horário ou anti-horário. Na maioria dos aviões, o piloto tem acesso a dois pedais para controlar o leme.

Já um helicóptero pode fazer três coisas que um avião não pode:

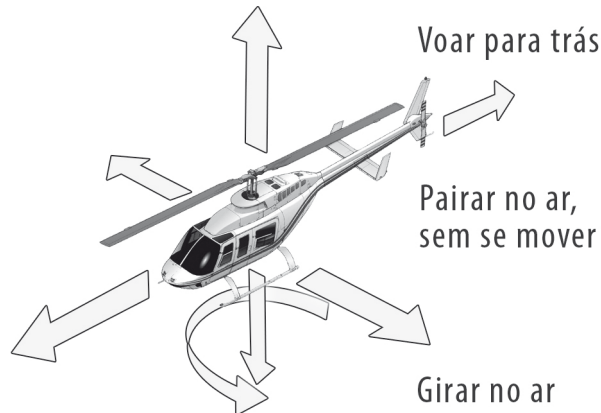


Figura 1.4 - Exemplo de movimentação de um helicóptero
 Fonte: Howstuffworks, 2011. Adaptada pelos autores.

O helicóptero pode se mover lateralmente em qualquer direção ou girar 360°. Essa liberdade extra e a habilidade necessária para dominá-lo fazem dos helicópteros máquinas versáteis, mas também complexas.

Em voo com velocidade, suas funções são as de um manche de asa fixa, no voo pairado, seus comandos movimentam o helicóptero à frente e à ré e para a esquerda ou direita.

Para controlar um helicóptero, a mão direita segura um comando chamado **cíclico**, que controla a direção do helicóptero, incluindo ir para frente, para trás, e para a esquerda e para a direita. A outra mão segura um comando chamado **coletivo**, o qual controla o movimento para cima e para baixo do helicóptero e a velocidade do motor. Os pés do piloto ficam sobre os **pedais** que controlam o rotor de cauda, permitindo ao helicóptero girar sobre seu eixo. Observe a figura 1.5.

Controla o passo do rotor principal e a potência do(s) motor(es). O movimento para cima aumenta o passo das pás e a potência, de forma a manter constante a rotação. No voo pairado, isto faz com que o helicóptero suba. No voo em deslocamento, isto aumenta a velocidade ou a altura. O movimento para baixo reduz passo e potência, levando a descida, diminuição da velocidade ou da altura.

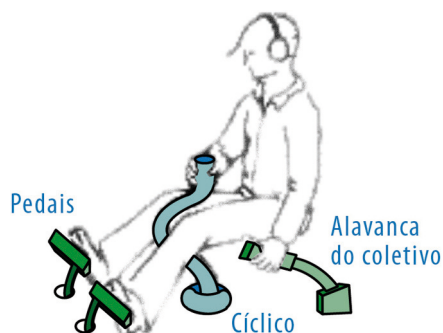


Figura 1.5 - Comandos de um helicóptero
 Fonte: Mankel, 1997. Adaptada pelos autores.

A marca registrada de um helicóptero é a sua habilidade de **pairar no ar**. Outra característica do helicóptero é a habilidade de **voar**

para trás e de **lado** facilmente. Um helicóptero que está voando para frente também pode parar no ar rapidamente e pairar.

Todas estas manobras são impossíveis de fazer com um avião, pois ele precisa voar sempre para frente para gerar sustentação.

As asas rotativas de um helicóptero são moldadas exatamente como os **aerofólios** de uma asa de avião, mas geralmente as pás de um rotor de helicóptero são estreitas e finas porque têm que girar muito rápido.



Aerofólio – é toda superfície capaz de fornecer sustentação, possuindo pequena resistência ao avanço.

O conjunto de pás rotativas do helicóptero é chamado de **rotor principal**. Se você fornecer às pás do rotor principal um pequeno ângulo de ataque no eixo e girar o eixo, as pás começam a gerar sustentação. Figuras 1.6 e 1.7.

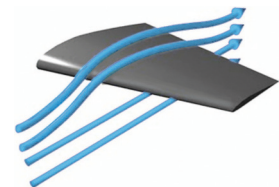


Figura 1.6 - Exemplo de aerofólio deslocando no ar
Fonte: Howstuffworks, 2011.



Figura 1.7 - Sustentação gerada pelo rotor principal
Fonte: Howstuffworks, 2011. Adaptada pelos autores.

Para girar o eixo com força suficiente para levantar o helicóptero, você precisa de algum tipo de motor, seja convencional, a pistão ou à turbina.

O eixo de acionamento do motor pode se conectar ao eixo do rotor principal, por meio de uma transmissão. Essa disposição funciona muito bem, até o momento em que o helicóptero levanta do chão. Nesse instante, não existe nada que evite que o motor e o corpo do aparelho girem exatamente como o rotor principal.

Na falta de algo que evite que o corpo do aparelho gire, ele irá girar em **direção oposta ao rotor principal**. Para evitar esse fator você precisa aplicar uma força a ele. O modo normal de fornecer força ao corpo do aparelho é anexar outro conjunto de pás rotativas a uma longa cauda. Essas pás são chamadas de **rotor de cauda**.

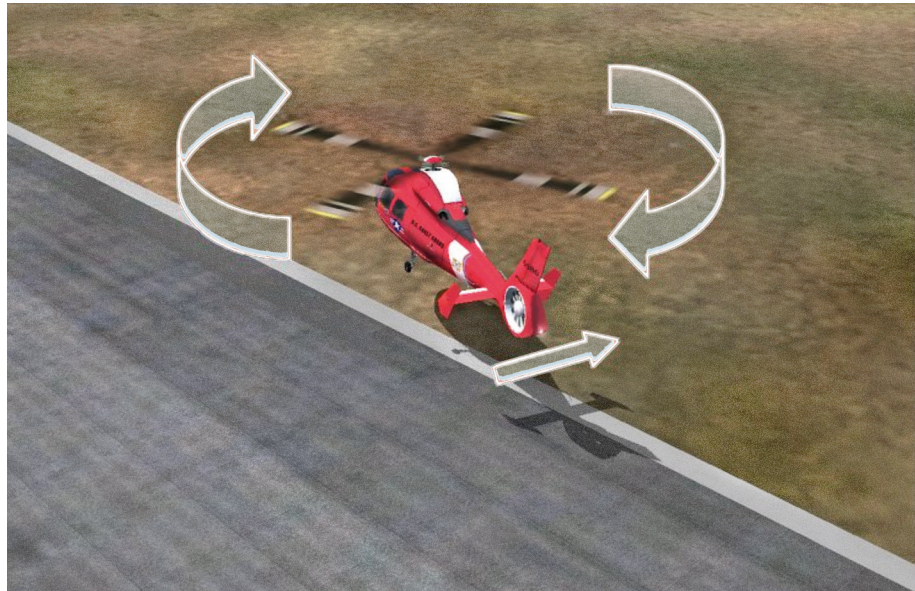


Figura 1.8 - Atuação do rotor de cauda gerando efeito antitorque
Fonte: Howstuffworks, 2011. Adaptada pelos autores.

O rotor de cauda produz empuxo como um propulsor de avião. Produzindo o empuxo na direção lateral, ele age contra a tendência do motor de fazer o aparelho girar. Normalmente, o rotor é acionado por um longo eixo que vem da transmissão do rotor principal e se conecta ao rotor de cauda por uma transmissão menor no cone de cauda do helicóptero.

A configuração convencional de helicóptero possui fuselagem, rotor principal, rotor de cauda, conjunto moto-propulsor e trem de pouso. O conjunto dinâmico formado pelo rotor principal, rotor de cauda, mastro (conjunto suporte do rotor principal), transmissão e comandos, constituem-se no principal sistema de diferenciação do helicóptero com relação às demais aeronaves. O resultado disso é um aparelho como este:

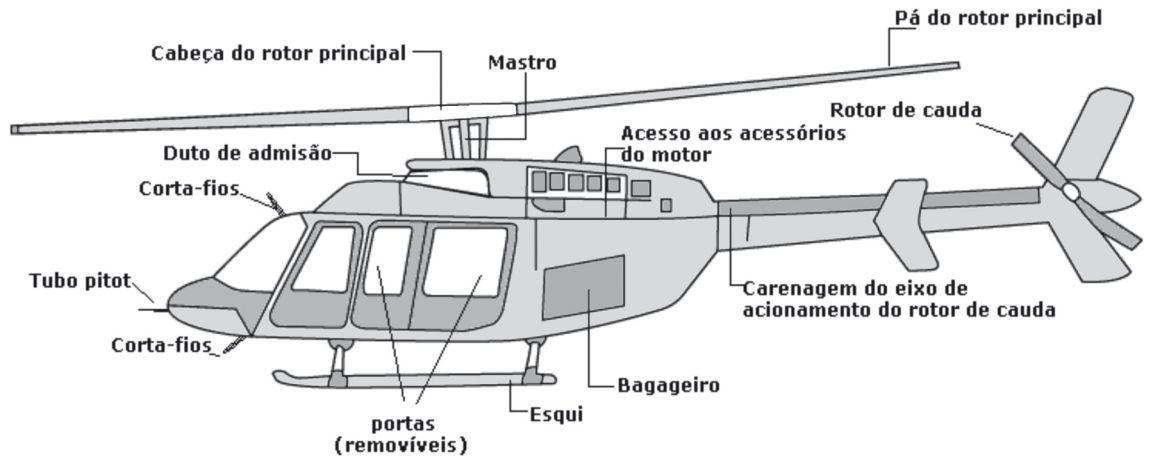


Figura 1.9 - Exemplo de algumas partes, componentes e sistemas que formam um helicóptero
 Fonte: Bell Helicopter, 2011. Adaptada pelos autores.

Como vimos, de uma forma fundamental, para um helicóptero voar, precisamos manejar corretamente os comandos de voo, a fim de estabilizá-lo no espaço aéreo e assim conduzi-lo de acordo com a performance para qual foi projetado.

Até chegarmos a aeronaves de asa rotativas modernas, foram necessários acertos de engenharia e construção, uma verdadeira luta cheia de desilusões na busca por um modelo ideal de aeronave com capacidade de voo a partir da decolagem vertical.

Esse acontecimento não foi de se admirar. Para montar o quebra-cabeça de construir uma aeronave com a capacidade de permanecer pairada no ar, e de decolar e pousar verticalmente em uma área restrita, foi necessário resolver três problemas fundamentais:

- a) a operação no voo pairado exige um pico de potência bem maior que na condição de cruzeiro, potência essa não disponível nos motores do início do século passado, que contavam com relação potência/peso muito baixas;
- b) equilíbrio do torque remanescente: uma vez que a transmissão é mecânica, o rotor girando num determinado sentido impõe um torque remanescente à fuselagem, que tende a girar a aeronave no sentido contrário; e

- c) ineficácia das superfícies de controle e estabilidade convencionais no voo pairado.

A seguir, acompanharemos um breve histórico sobre os trabalhos que resultaram na construção do helicóptero, que somente próximo a metade do século passado atingiu o nível de controlabilidade almejado, com o aperfeiçoamento e soluções que permitiram o desenvolvimento da aviação de asas rotativas tal como conhecemos hoje.

Seção 2 – Histórico do helicóptero

Embora as aeronaves de asa fixa recebam toda a atenção pela maioria dos historiadores, o voo de asa rotativa foi o primeiro previsto pelo homem.

Cerca de 400 anos antes de Cristo, os chineses idealizaram os primeiros rotores com penas de aves presas a uma haste, que quando girada com o movimento rápido das palmas das mãos, ganhavam sustentação e eram capazes de voar. Uma espécie de passatempo, fácil de encontrar nas mãos das crianças de hoje em dia, e que provavelmente foi idealizado a partir da observação da natureza, onde determinadas sementes, ao caírem das árvores, voavam carregadas pela brisa.

Em 1483, Leonardo Da Vinci desenhou o seu La Hélice, um fabuloso engenho que nunca chegou a sair do papel, mas que mostrou os princípios básicos da máquina que um dia passaria a ser o helicóptero. Sua asa em espiral apresentava para o mundo, como muitos séculos depois, seria a base do voo dos helicópteros.



Figura 1.10 - La Hélice de Da Vinci
Fonte: Chediak, 1989.

Depois de Da Vinci, a outra iniciativa que se tem notícia foi a do russo Mikhail Lomonosov, que deixou um conceito muito importante para a aviação de asas rotativas quando, em 1754, desenvolveu um rotor coaxial, similar ao que os chineses haviam feito, mas impulsionado por uma mola. O dispositivo era capaz de voar livre e ganhar uma boa altura. Foi idealizado para elevar instrumentos meteorológicos.

Pouco depois, o naturalista francês Launoy, com a assistência de seu mecânico Bienvenu, desenvolveu um modelo que consistia em dois conjuntos de penas de peru e que giravam para lados opostos, resolvendo o problema de contrariar o torque. O conjunto era impulsionado por uma fina haste que fazia o papel de uma mola.

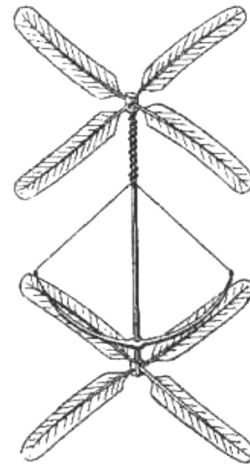


Figura 1.11 - O dispositivo de Launoy e Bienvenu
Fonte: Chediak, 1989.

Sir George Cayley, da Grã Bretanha, desenhou uma máquina de voar, composta por dois rotores instalados nas extremidades e que serviriam para contrapor o torque gerado por cada um deles. A solução de engenharia criada por ele é aplicada a alguns modelos em utilização hoje em dia. Os únicos motores existentes na época eram movidos a vapor, extremamente pesados para serem utilizados.

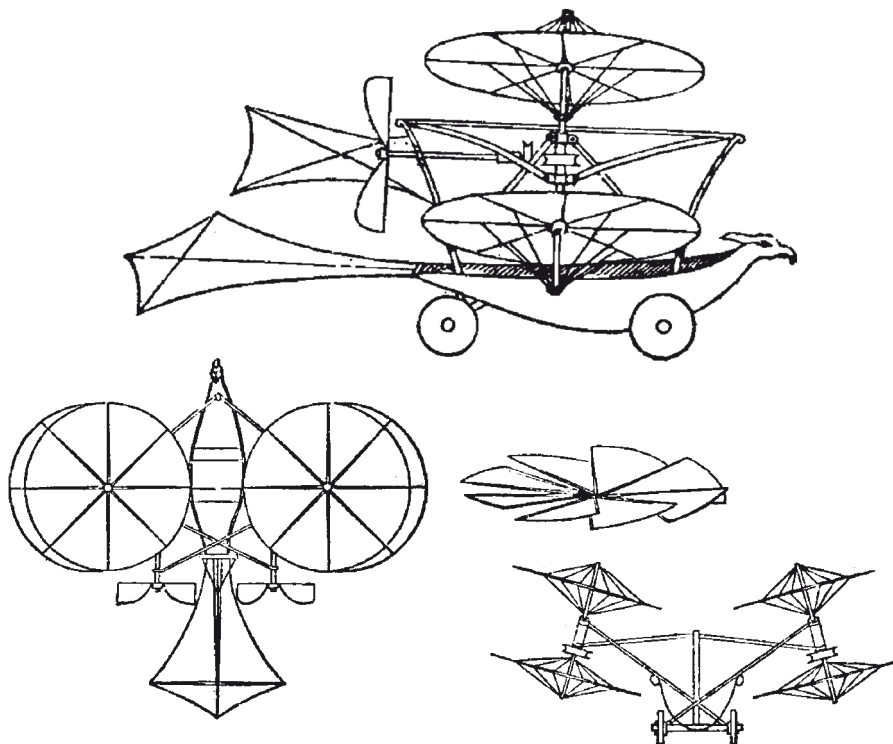


Figura 1.12 - A máquina aérea de George Cayley
Fonte: Aviastar, 2012.

Cossus da França, em 1845, desenhou uma máquina que voaria impulsionada por um motor movido a vapor e que teria três conjuntos de rotores.

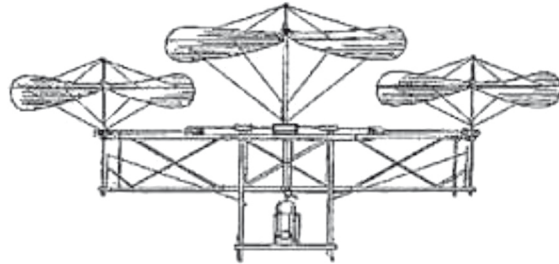


Figura 1.13 - A máquina de Cossus da França
Fonte: Chediak, 1989.

O nome “helicóptero” foi usado por Gustave Ponton d’Amecourt em 1861, francês que idealizou um modelo com hélices contrarrotativas, movidas também por um motor a vapor. O

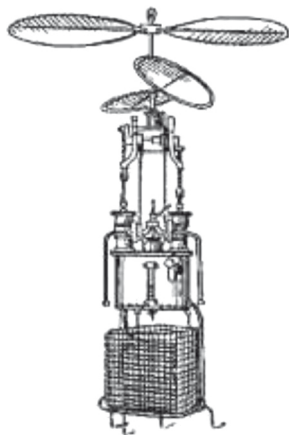


Figura 1.14 - O helicóptero de Gustave Ponton D’Amecourt
Fonte: Chediak, 1989.

nome Helicóptero advém do grego: HELIX= helicóide, hélice e PTERON= asa. A máquina foi apresentada na Exposição Aeronáutica de Londres, em 1868, mas não conseguiu voar. Uma outra impulsionada por mola, obteve melhor êxito.

Em 1878, o francês Castel idealizou um helicóptero movido a ar comprimido, que impulsionava dois eixos contrarrotativos, mas que nunca conseguiu voar. Somente anos mais tarde, fez seu experimento voar com elásticos de borracha.

No mesmo ano, o engenheiro italiano civil Enrico Forlanini construiu um helicóptero movido a motor a vapor, com dois rotores contrarrotativos, que subiu 40 pés e voou por cerca de 20 segundos.

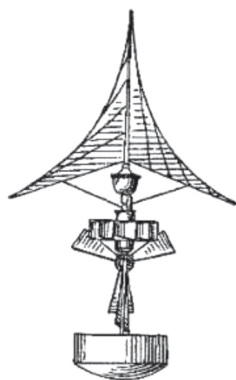


Figura 1.15 - O helicóptero a vapor de Enrico Forlanini
Fonte: Chediak, 1989.

Mas foi somente no final do século XIX, que os experimentos começaram a apresentar um grande avanço, devido à introdução do motor de combustão interna. Isso tornou possível para os pioneiros o desenvolvimento de modelos em tamanho real com uma fonte de alimentação adequada. Foi então que encontraram o primeiro de muitos grandes problemas: o torque, o efeito produzido pelo rotor para forçar a fuselagem, gira no sentido oposto ao do motor.

Apesar de todos os problemas que afetavam o voo de aeronaves de asa rotativa não terem sido desvendados e resolvidos, em 13 de novembro de 1907, o pioneiro francês Paul Cornu levantou um helicóptero bi-rotor no ar, completamente sem assistência do chão por alguns segundos.



Figura 1.16 - A aeronave de asas rotativas de Paul Cornu
Fonte: Chediak, 1989.

Depois disso, vários modelos foram produzidos por muitos inventores, mas não houve avanços significativos, até que outro pioneiro francês, Etienne Oehmichen, tornou-se o primeiro a pilotar um helicóptero em um circuito fechado em 1924.

Ainda na década de 1920, o espanhol Juan De La Cierva iniciou estudos para a construção de aviões capazes de voar, caso falhassem os motores. Ele idealizou um sistema que é primo dos helicópteros atuais, o AUTOGIRO, onde em um avião comum era adaptado um rotor principal. Esse rotor era capaz de girar impulsionado apenas pelo vento relativo, o que mantinha a aeronave voando.



Figura 1.17 - O Autogiro de Juan de La Cierva
Fonte: Chediak, 1989.

Chamou-se este efeito de **AUTORROTAÇÃO**, o que atualmente é incorporado em todos os helicópteros. Os primeiros modelos de La Cierva tendiam a tombar para o lado, devido a

DISSIMETRIA DE SUSTENTAÇÃO. Para eliminar esse problema, utilizaram-se pás flexíveis que eram ligadas aos punhos da cabeça do rotor por meio de articulação.

Até 1935, foi em vão todas as tentativas de fazer do AUTOGIRO, uma combinação ideal. Chediak (1989) salienta que a velha teoria do helicóptero puro, aos poucos estava sendo aperfeiçoada, impulsionada pelos seguintes trabalhos:

- HENRI BERLINER construiu dois tipos de helicópteros, um coaxial e outro com rotores principais dispostos lateralmente, impulsionados por um motor de 80 HP. Voaram, mas faltava ainda maior estabilidade.
- DE BOTHEZAT construiu um tipo de helicóptero com quatro rotores principais em cruz, impulsionados por um motor de 200 HP e dois rotores menores colocados no plano vertical para permitir mudanças de direção.
- PESCARA, de 1920 a 1926, fez várias tentativas, a mais eficiente foi um sistema bi-plano de rotores, impulsionado por um motor de 40 HP, mas que não obteve estabilidade e levou seu trabalho ao insucesso.
- VON BAUMHAUER, em 1930, construiu um tipo que com motor de 200 HP impulsionava um rotor principal com duas pás (nada comum na época) e outro motor com 80 HP acionava um pequeno rotor no plano vertical, para eliminar o torque de reação do rotor principal.

Com isso, era possível a mudança de direção. Sofreu muitas críticas, pois eram necessários 80 HP para vencer o torque e mudar a direção, isso equivalia a 35% da potência do rotor principal. BAUMHAUER obteve danos fatais durante as experiências. Entretanto, a sua ideia foi estudada e aproveitada por SIKORSKY, que demonstrou estar o holandês errado apenas nos cálculos em relação à potência consumida pelo rotor de cauda.

A honra do primeiro voo com um helicóptero realmente bem sucedida, isso coube ao alemão Heinrich Focke. O seu aparelho, o “Focke-Wulf FW-61” estabeleceu, em 1937, vários records: voo de uma hora e meia de duração, deslocamentos em todas as

direções, subidas e descidas na vertical – tudo com estabilidade e controle satisfatório. Em 1938, permaneceu a 11.000 pés de altitude, por aproximadamente 80 minutos.



Figura 1.18 - O Focke-Wulf FW-61
Fonte: Chediak, 1989.

No entanto, o helicóptero emergiu realmente do embrião quando o ucraniano IGOR SIKORSKY viu coroado de êxito suas experiências. Apesar de haver realizado um voo bem sucedido em 1939, com seu modelo “VS-300”, somente conseguiu preencher completamente os requisitos de um verdadeiro helicóptero em 1940. Finalmente, IGOR SIKORSKY conseguiu introduzir as modificações que trouxeram melhor controle e estabilidade, além de melhores características mecânicas e aerodinâmicas.



Figura 1.19 - O VS-300 de Igor Sikorsky
Fonte: ASME, 2012.

Nos aparelhos construídos por Sikorsky, de 1939 em diante, na sua fábrica em Connecticut, EUA, baseiam-se quase todos os helicópteros conhecidos.

Devido, talvez, a sua menor complexidade ou porque a prioridade do homem, na ocasião, fosse a conquista das grandes distâncias e o enlace continental, o desenvolvimento do avião foi bem mais acelerado que o do helicóptero.

Sua total aceitação só veio a acontecer depois da Segunda Guerra Mundial, quando sua evolução tecnológica permitiu seu uso nos conflitos, como na Argélia, Vietnam e tantos outros, fazendo dele uma formidável arma de guerra. Esta evolução também possibilitou seu uso maciço em aplicações civis, como o transporte de passageiros nos grandes centros urbanos, na defesa civil, operações *off shore* em apoio a exploração de petróleo, segurança pública e tantas outras mais.

O seu surgimento no Brasil, entretanto, motivou-se pelas necessidades da pulverização agrícola. Em 1948, a empresa Socopralla, sediada em Orlândia, SP, comprou um pequeno helicóptero, o Bell 47 D, equipado com motor Franklyn, que recebeu o prefixo PP-H 1. O seu piloto, Renato Arena, treinado na fábrica, é considerado o primeiro piloto de helicóptero brasileiro. A licença número 001, entretanto, pertence a Carlos Alberto Alves, que foi treinado, no mesmo ano, por Arena.



Figura 1.20 - Helicóptero Bell 47
Fonte: Wikipédia, 2011.

Na área militar, foi somente na década de 1950 que chegaram os primeiros helicópteros Bell 47, para a Força Aérea Brasileira, destinados ao Grupo de Transporte Especial, sediado no Aeroporto Santos Dumont.

Mais tarde, em 1965, com a implantação da aviação naval de asas rotativas, e mais recentemente com a reativação da Aviação do Exército em 1986, somente com helicópteros, essa aeronave conquistou finalmente o seu merecido espaço em nossas Forças Armadas.

Devido a sua grande flexibilidade, o helicóptero comprovou ser uma ferramenta ideal também para as operações policiais, de

busca e salvamento, de defesa civil e de transporte de executivos, atuando como apoio principal nas plataformas de prospecção petrolífera, localizadas em alto mar, totalmente dependentes dos seus serviços.



Figura 1.21 - Helicóptero Sikorsky Sea King – SH-3B da Marinha do Brasil
Fonte: Aviation, 2011.



Síntese

Caro aluno, nesta primeira unidade, vimos como o helicóptero funciona e quais são suas principais características e vantagens de utilização, principalmente com relação à aviação de asa fixa, bem como a outros meios de transporte, pois o helicóptero pode voar para trás, girar e pairar no ar sem se mover.

Ressaltamos, novamente, os três problemas fundamentais que tiveram que ser resolvidos para que a aviação de asas rotativas pudesse alcançar o desenvolvimento que hoje conhecemos:

- a) a operação no voo pairado exige um pico de potência bem maior que na condição de cruzeiro, potência essa não disponível nos motores do início do século passado, que contavam com relação potência/peso muito baixas;

- b) equilíbrio do torque remanescente: uma vez que a transmissão é mecânica, o rotor, girando num determinado sentido, impõe um torque remanescente à fuselagem, que tende a girar a aeronave no sentido contrário – EFEITO ANTITORQUE; e
- c) ineficácia das superfícies de controle e estabilidade convencionais no voo pairado. No histórico, confrontamo-nos com os principais idealizadores e seus projetos, os quais resultaram no desenvolvimento de uma das máquinas mais complexas concebidas pelo homem, que devido a sua versatilidade comprovou ser, uma ferramenta ideal para emprego em operações militares, policiais, de busca e salvamento, de defesa civil e de transporte de executivos, atuando como apoio principal nas plataformas de petróleo, situadas no mar.



Atividades de autoavaliação

1) Explique como o helicóptero obtém sustentação, e quais são suas principais vantagens em relação a outros meios de transporte.

2) Quais foram os principais problemas enfrentados pelos inventores no começo do século passado, que restringiram o desenvolvimento do helicóptero?



Saiba mais

O aluno poderá complementar sua leitura e compreensão desta unidade por meio das seguintes obras recomendadas:

CHEDIAC, Dirceu A. Peres. **O Helicóptero para pilotos e mecânicos:** Teoria de Voo – conhecimentos técnicos. Rio de Janeiro, 1989.

DA SILVA, Paulo Rodrigues. **Helicóptero:** conhecimentos técnicos: noções fundamentais. Ed. ASA. São Paulo, 2006.

JOFFILY, Kleber. **Aerodinâmica do helicóptero:** teoria do voo: conhecimentos técnicos. Curitiba: K.Joffily, 2000.

MANDEL, Roberto. **O helicóptero sem segredos:** teoria de voo, conhecimentos técnicos específicos de helicóptero e emergências. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997.

0 helicóptero



Objetivos de aprendizagem

- Compreender a classificação geral das aeronaves quanto a sua sustentação, tipo de decolagem e dos helicópteros, além da classificação quanto aos rotores.
- Compreender a construção da fuselagem e tipos de estruturas dos helicópteros.
- Conhecer a divisão clássica do helicóptero, suas partes, componentes e sistemas.
- Saber diferenciar manutenção preventiva da manutenção corretiva.



Seções de estudo

- Seção 1** Classificação geral das aeronaves, de acordo com a distância de pouso e de decolagem
- Seção 2** Helicópteros: classificação quanto aos rotores
- Seção 3** Construção dos helicópteros: fuselagem e tipos de estruturas
- Seção 4** O helicóptero e suas seções – partes, componentes e sistemas
- Seção 5** Manutenção e operação



Para início de estudo

O helicóptero é uma máquina de voar, ou seja, uma aeronave, constituída por uma estrutura, na qual são montados uma cabine, um motor, rotores, transmissões e os necessários comandos de voo.

Constitui-se num tipo de aeronave que obtém sustentação e tração do torque de um ou mais rotores. As pás do rotor principal constituem-se nas suas **asas rotativas**, que ao girarem criam sustentação da mesma forma como as asas de um avião, conforme vimos anteriormente.

Nesta Unidade, aprofundaremos nossos conhecimentos, iniciando o estudo pelas diferentes classificações que dizem respeito ao helicóptero, e os tipos de estruturas. Abordaremos, de uma forma pormenorizada os sistemas, partes e componentes do helicóptero, desde a **seção dianteira** até chegarmos ao final do cone de cauda localizado no final da **seção traseira**.

Seção 1 – Classificação geral das aeronaves, de acordo com a distância de pouso e de decolagem

As aeronaves de uma forma geral se classificam em **aeróstatos** e **aeródinos**.

Aeróstatos são as aeronaves mais leves que o ar, construídas baseadas no princípio de Arquimedes, o qual afirma que todo corpo mergulhado num fluido recebe um empuxo para cima igual ao peso do fluido deslocado. Os balões e dirigíveis são aeróstatos. Nesses veículos, o empuxo é controlado, pelo piloto, podendo ser igual, maior ou menor do que seu peso, sendo a direção do voo controlada somente no dirigível, que possui sistemas de propulsão e superfícies de controle destinadas para esse fim. Observe a Figura 2.1.

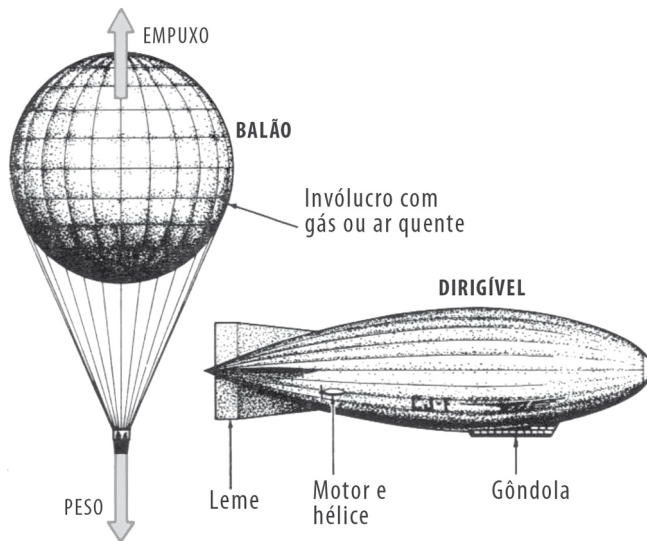


Figura 2.1 - Exemplo de aerostatos
 Fonte: HOMA, 2002. Adaptada pelos autores.

Aeródinos são aeronaves mais pesadas que o ar, baseadas na Lei da Ação e Reação – 3ª Lei de Newton (a toda ação corresponde uma reação de igual intensidade e direção, porém, em sentido contrário), como os aviões, planadores, autogiros e helicópteros.

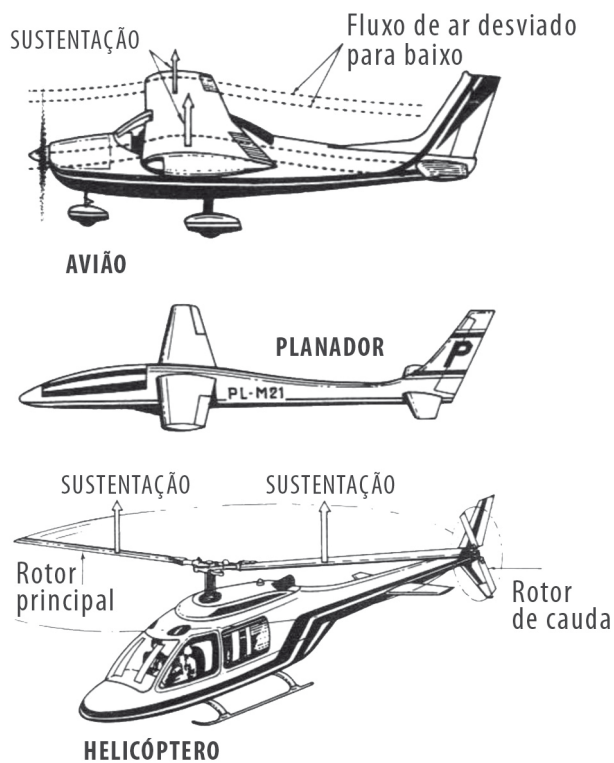


Figura 2.2 - Exemplos de aeródinos
 Fonte: HOMA, 2002. Adaptada pelos autores.

Já que nosso estudo é voltado às aeronaves de asas rotativas, comentaremos sobre o autogiro, que foi parte contribuinte na história do desenvolvimento do helicóptero. Veja a Figura 2.3.

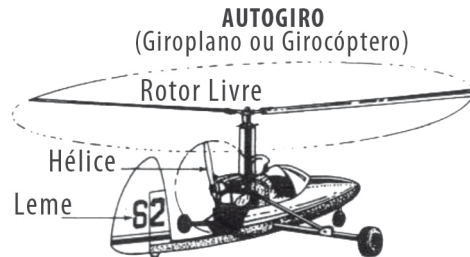


Figura 2.3 - Girocôptero
Fonte: HOMA, 2002. Adaptada pelos autores.

Tanto o helicóptero quanto o autogiro, são aeródinos de asas rotativas. As pás do rotor giram criando sustentação, porém, no **girocôptero ou giroplano**, o rotor principal não é acionado pelo motor, bem como, esse não cria a força de tração, que é fornecida por uma hélice na parte traseira do motor. No helicóptero, o rotor principal além de fornecer sustentação, oferece tração, permitindo fazer o voo para frente, para os lados e para trás, além de sua característica principal, que é o voo pairado, conforme vimos anteriormente.

Em virtude destas características, o helicóptero é uma aeronave de asas rotativas que pode ser classificada como do tipo **V/STOL**, ou seja, aeronave com capacidade de **decolar e pousar na vertical (VTOL – Vertical Take-off and Landing)**, e que também pode utilizar-se de pistas curtas para realizar tais tarefas (**STOL – Short Take-off and Landing**), em operações conhecidas como **decolagem e pouso curtos**.

As aeronaves do tipo **VTOL** englobam desde helicópteros até veículos lançadores. Dessas, apenas o helicóptero tem sido extensivamente utilizado na condição de voo pairado (condição de voo em que a aeronave não possui velocidade relativa à massa de ar, seja vertical ou horizontal).

Os aviões de uma forma geral classificam-se como aeronaves do tipo **CTOL (CTOL – Conventional Take-off and Landing ou Decolagem e Pouso Convencionais)**. Existem aviões com capacidade de decolagem e pouso **STOL e VTOL**, ou

combinação de ambas **V/STOL**, constituindo-se em exceções dentro da categoria de aeronaves de asa fixa.



Figura 2.4 - Exemplo de avião STOL/VTOL de origem inglesa, atualmente fabricado pela americana Boeing – AV-8B Harrier II Plus
Fonte: Boeing, 2011.

Seção 2 – Helicópteros: classificação quanto aos rotores

Os helicópteros são classificados de acordo com o tipo e configuração dos seus rotores e projetados em razão de sua utilidade, em conformidade com o desempenho e qualidade de voo desejados.

Os rotores são sistemas mecânicos complexos, com múltiplas articulações e movimentos variados, que possibilitam o deslocamento do helicóptero no ar, compensando as forças aerodinâmicas que atuam sobre ele. Podendo ser de diferentes formas, contendo características próprias, que serão comentadas a seguir:

Rotor Simples (Configuração Simples ou Básica) – é o tipo mais utilizado atualmente, por sua eficiência e pela simplicidade na construção. É composto por dois rotores, um principal (na horizontal), e um de cauda (na vertical) que tem a função de anular o torque. A grande vantagem desse tipo de helicóptero é seu baixo custo de produção, em relação aos demais.



Figura 2.5 - Exemplo helicóptero rotor simples
Fonte: Nomenclatura de Helicópteros, 2009.

Tandem (em linha) – configuração na qual os rotores principais são colocados em linha, sendo a configuração mais utilizada, um rotor na parte dianteira e outro na traseira do helicóptero, onde o rotor dianteiro é colocado em um plano inferior ao traseiro, neste tipo de configuração o torque é anulado pela contrariedade de rotação dos rotores. Como os rotores ficam instalados em mastros distintos, permite possuir também uma grande área livre para carga. Possui uma enorme área de disco, o que permite um desempenho excelente no levantamento de peso, porém, como desvantagem apresenta um sistema mecânico bastante complexo.



Figura 2.6 - Exemplo de helicóptero rotor em tandem
Fonte: Nomenclatura de Helicópteros, 2009.

Contra-Rotativo (tipo duplo, lado a lado sincronizado) – é composto de dois rotores principais independentes entre si e dois mastros-eixos de acionamentos, cujas rotações em sentidos opostos anulam o efeito de torque, não necessitando do rotor de cauda, direcionando a potência consumida por esse para os rotores principais. Sua desvantagem é a construção muito complexa, devido à contrariedade de rotação e a sincronização das pás. É um rotor que suporta grandes esforços, pois tem uma área de disco bem grande, sua principal vantagem é a fácil manobrabilidade lateral, ideal para o emprego em grandes construções de prédios e torres.



Figura 2.7 - Exemplo de helicóptero rotor contrarrotativo, lado a lado sincronizado
 Fonte: Nomenclatura de Helicópteros, 2009.

Tipo Duplo Coaxial – São dois rotores principais em um só eixo (mastro), em alguns casos com dimensões diferentes, girando em sentidos opostos, anulando o torque e, conseqüentemente, dispensando o uso do rotor de cauda. A sua desvantagem é que a construção e a manutenção são muito complexas, sendo também um rotor com peso muito elevado, porém, com grande eficiência no transporte de cargas, por meio do *cargo hook* (guincho de carga).

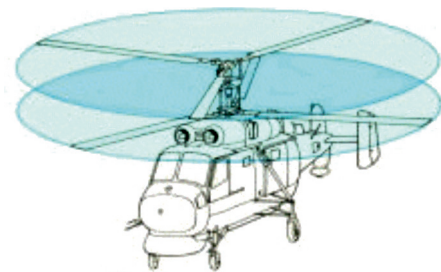


Figura 2.8 - Exemplo de helicóptero rotor tipo duplo coaxial
 Fonte: Nomenclatura de helicópteros, 2009.

Jato – O rotor principal é acionado por um jato de ar com saídas direcionadas nas pontas das pás, eliminando, dessa forma, o torque. Tem uma construção bastante simples, porém, apresenta altíssimo consumo de combustível.



Figura 2.9 - Exemplo de rotor tipo jato
 Fonte: I Look Forward to, 2010. Adaptada pelos autores.

Tipo Duplo, Lado a Lado Não Sincronizado (girando em sentido contrário) – sua principal vantagem fica pela facilidade de transportar grande peso e possuir grande área de fuselagem disponível. As desvantagens desta configuração são a complexidade mecânica do conjunto, alto peso e grande arrasto parasita (resistência ao deslocamento).



Figura 2.10 - Exemplo de rotor tipo duplo lado a lado não sincronizado
Helicóptero russo – Mil Mi 12
Fonte: Gigantes do Mundo, 2011.

Tipo Configuração Variável – Convertiplano (Tiltrotor) –

O tiltrotor trata-se de uma aeronave VTOL do tipo rotor com inclinação da tração (“thrust-tilting”). O Bell-Boeing V-22 Osprey, única aeronave convertiplano em linha de produção atualmente, é um exemplo desta configuração. Esta capacidade do V-22 em operar como um helicóptero e como um avião em função da inclinação de seus rotores, atribui-lhe o nome de convertiplano. Outra terminologia utilizada para o Osprey é o de helicóptero composto, ou seja, um helicóptero que utiliza um dispositivo auxiliar de sustentação, a asa (“lift-compound”), e um sistema auxiliar de propulsão, dois rotores (“thrust-compound”).

O conceito tiltrotor tem como objetivo aliar o bom desempenho em voo pairado e a eficiência em voo de cruzeiro, valendo-se dessas características tanto em missões curtas quanto nas de médio alcance. O helicóptero é mais eficiente no voo pairado, entretanto, a velocidade à frente é limitada em virtude do conflito de requisitos gerados pelos efeitos de compressibilidade na pá que avança e de estol na pá que recua.



Figura 2.11 - Rotor de configuração variável
 Fonte: Target Lock, 2012. Adaptada pelos autores.

X – WING – este conceito já foi explorado pela Nasa em conjunto com a empresa Sikorsky Americana, utilizando motores a jato, e agora a fabricante de helicópteros Eurocopter, está combinando a tecnologia de um avião turboélice com a engenharia de aeronaves de asa rotativa tradicionais, utilizando concepção semelhante. A aeronave é equipada com dois motores turbo-hélice instalados no espaço curto de asas fixas e um rotor principal de cinco pás. Com capacidade de pouso e decolagem vertical, o helicóptero ultrapassou a velocidade de cruzeiro de 180 nós. Construído para a velocidade, o Helicóptero Rolls-Royce Eurocopter X3 é construído em torno da estrutura do Eurocopter Dauphin e pretende quebrar um recorde de velocidade de 250 nós.

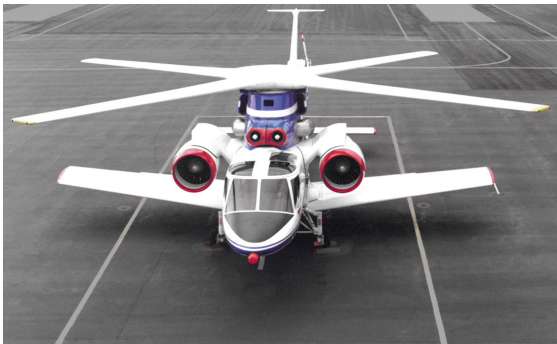


Figura 2.12 - X-Wing da NASA
 Fonte: Military Photos, 2011.



Figura 2.13 - Eurocopter X3
 Fonte: Notícias Aero, 2010.

Seção 3 – Construção dos helicópteros: fuselagem e tipos de estruturas

Vimos basicamente como voa um helicóptero e quais são as vantagens na utilização deste tipo de aeronave. Agora precisamos entender de uma forma mais completa essa intrigante máquina feita pelo homem, inicialmente compreendendo como são construídas a fuselagem e os diferentes tipos de estruturas, que nada mais são do que o corpo do helicóptero, onde são anexadas as demais partes, componentes e sistemas.

Fuselagem

A fuselagem serve como plataforma aos sistemas do helicóptero, à tripulação e aos passageiros e, ainda, à carga. A forma exterior da fuselagem é condicionada à missão para que o helicóptero foi desenhado. Durante o vôo, a fuselagem é suportada pelo rotor principal, e quando o helicóptero está no chão, é o trem de aterragem que a suporta.

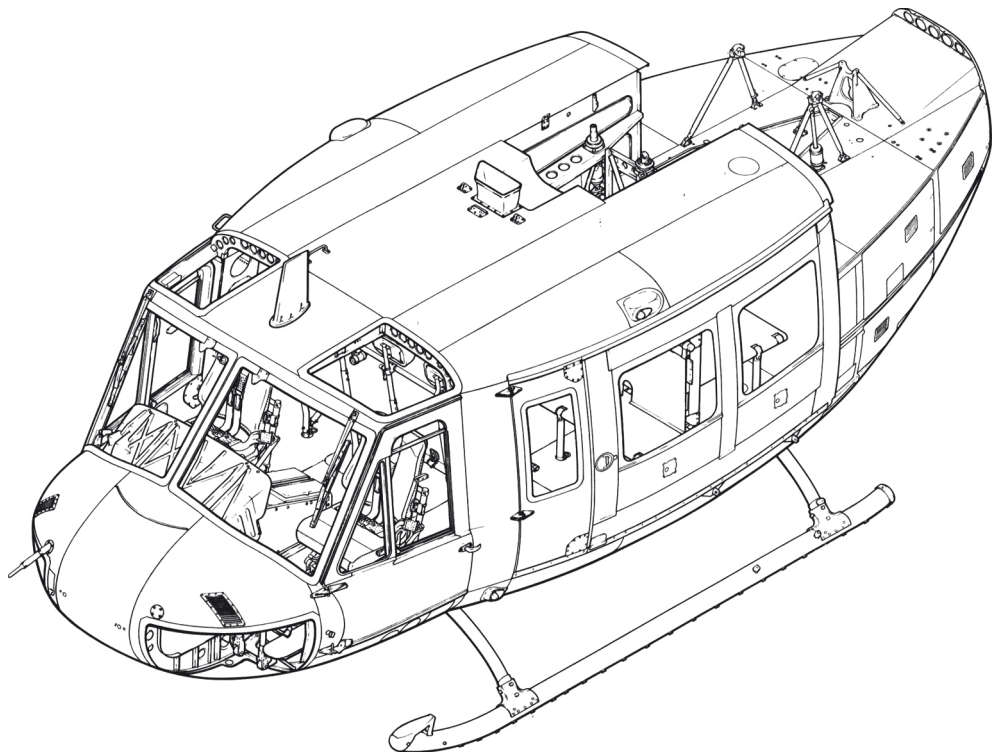


Figura 2.14 - Exemplo de fuselagem de helicóptero
Fonte: Aviastar, 2011.

Toda fuselagem deve ter o máximo de forma aerodinâmica para uma melhor relação **sustentação/velocidade**. Além de ser o mais leve possível. A estrutura também deve ser de fácil acesso para os reparos, inspeções e manutenção, porém, tem que resistir aos esforços específicos em função da performance para qual foi projetada.

São empregados na construção das aeronaves vários materiais, a saber: alumínio, aço inoxidável, colmeia de alumínio (*honeycomb*), fibra de vidro, liga de alumínio – *duralumínio*, e materiais compostos como o *Kevlar* e o *Makrolon*.

No helicóptero às vezes o fabricante sacrifica o fator velocidade, para uma melhor relação entre **sustentação/carga**. Nas aeronaves de asa rotativa a velocidade não é o mais importante, mas sim a capacidade de transportar carga para locais de difícil acesso.

Os materiais utilizados na estrutura devem resistir a diversos esforços durante a operação do helicóptero, e devem ser leves e resistentes. Os principais tipos de esforços estão ilustrados abaixo:

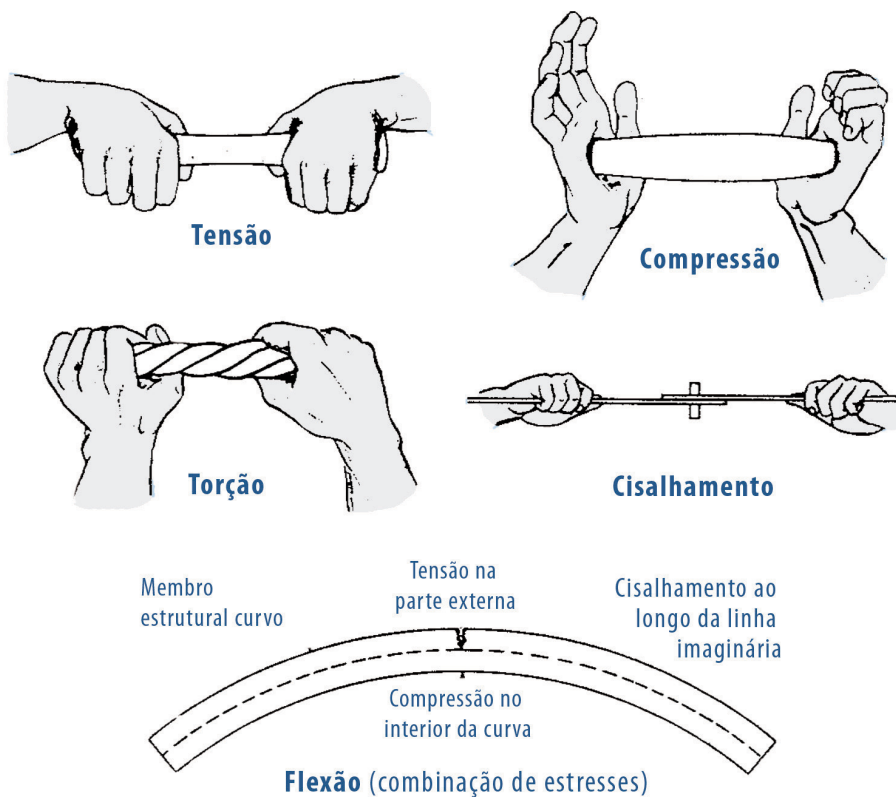


Figura 2.15 - Exemplos de esforços a que está sujeita a estrutura da aeronave
 Fonte: Células de aeronaves, 2002. Adaptada pelos autores.

Os membros estruturais do helicóptero são dimensionados para resistir a um determinado tipo de esforço, ou uma combinação de esforços estruturais. São geralmente combinados a uma treliça que suporta as cargas finais. Na maioria dos casos é preferível que os membros estruturais suportem esforços de tensão ou compressão, ao invés de flexão.

Os membros não estruturais, que não são removíveis do helicóptero, geralmente são fixados por rebiteagem ou por soldagem a ponto. As partes removíveis da estrutura são geralmente parafusadas.

A fibra de vidro e outros materiais mais modernos baseados na fibra de carbono, denominada *composite*, também são utilizados como substitutos, para certas partes metálicas, face ao alto índice de resistência à corrosão e baixo peso.

Tipos de Estruturas

São três os tipos básicos de estrutura: Monocoque, Semimonocoque e tubular.

Monocoque – É formada por armações de alumínio (cavernas), que darão o formato à fuselagem, sendo revestidas com chapas de alumínio rebitadas.

Características: baixo peso estrutural, resistente a pequenos esforços, **toda janela de inspeção é estrutural**, em caso de falha em uma, a estrutura estará comprometida, **os rebites devem ser inspecionados com certa frequência**, se frouxos, podem provocar deformação na estrutura.

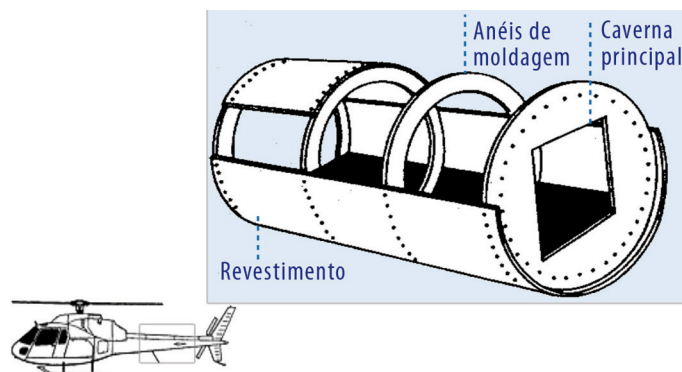


Figura 2.16 - Exemplo de estrutura monocoque
 Fonte: Células de aeronaves, 2002. Adaptada pelos autores.

Semimonocoque – É semelhante à monocoque. Porém, as cavernas são interligadas por longarinas e revestidas por chapas de alumínio rebitadas.

Características: peso estrutural maior que a monocoque, suporta grandes esforços, **as janelas de inspeção não fazem parte da estrutura** e sim do revestimento, **os rebites podem ser inspecionados com menor frequência**, pois as longarinas é que suportam maior esforço.

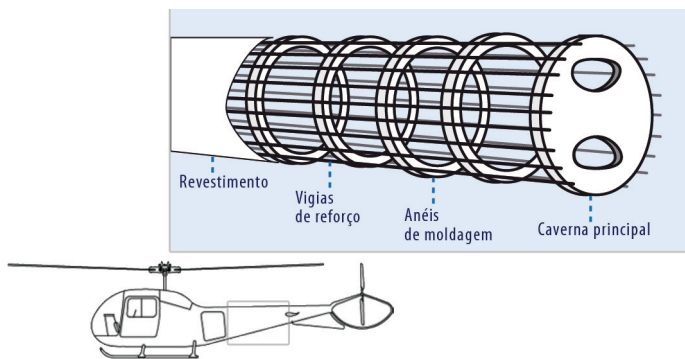


Figura 2.17 - Exemplo de estrutura semimonocoque
 Fonte: Células de aeronaves, 2002. Adaptada pelos autores.

Tubular – É construída por tubos de aço cromo-molibidênio. O seu interior é preenchido, durante sua fabricação, por um produto anticorrosivo e corante, para que em caso de rachadura, seja prontamente identificada, facilitando sua inspeção.

Características: alto peso estrutural (maior que a monocoque e semimonocoque), é de fácil inspeção (componentes e sistemas), por não possuir revestimento externo, apresenta menor resistência aos ventos de través e do rotor principal, expõe muito os sistemas ao tempo, poeira ou água.

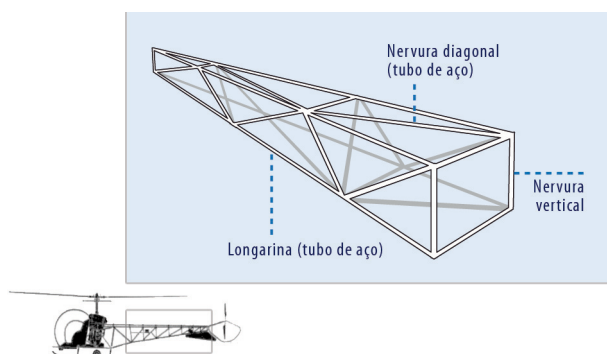


Figura 2.18 - Exemplo de estrutura tubular
 Fonte: Células de aeronaves, 2002. Adaptada pelos autores.

Seção 4 – O helicóptero e suas seções – partes, componentes e sistemas

Agora que compreendemos como e de que forma é construída a fuselagem e os diferentes tipos de estrutura do helicóptero, passaremos a estudá-lo detalhadamente.

Para uma melhor compreensão desta máquina de asas rotativas, aproveitaremos a divisão classicamente estabelecida em seções **dianteira, central e traseira**, para apresentar as partes, componentes e sistemas de cada seção, de uma forma mais detalhada, concluindo o estudo ao chegarmos ao final do cone de cauda, entendendo mecanicamente como funciona o helicóptero.

Vamos então iniciar nosso passeio por meio das seções **dianteira, central e traseira!**

1 – Seção dianteira



Figura 2.19 - Seção dianteira do helicóptero
Fonte: Defense Industry Daily, 2011. Adaptada pelos autores.

Na seção dianteira, sobre a estrutura está localizada a cabine de pilotagem. Nos aparelhos pequenos, é nesta seção que também estão acomodados os passageiros ou carga. É construída para funcionar como fuselagem. A sua estrutura serve para apoiar e montar os vidros e as portas.

As cabines podem ser construídas de alumínio, aço inoxidável, liga de alumínio com colmeia interna (*honeycomb*), fornecendo grande resistência ao material, com mínimo peso.

Na cabine, além dos assentos, estão localizados todos os comandos de voo, **cíclico**, **coletivo**, **manete** e os **pedais**, que são acionados por hastes, cabos de comando e *links*, cujos movimentos devem ser mantidos livres e sem folgas, com tensão correta, para que cada comando possa ser correspondido adequadamente. Portanto, não deverão ter folgas além das previstas pelo fabricante.



- | | | |
|--------------------------|--------------------------|---|
| - Comando cíclico do 2P | - Pannel de instrumentos | - Dispositivo de fricção do cíclico (regulável) |
| - Pedais do 2P | - Comando cíclico do 1P | - Comando coletivo do 1P |
| - Comando coletivo do 2P | - Pedais do 1P | - Console central |

Figura 2.20 - Exemplo da disposição dos comandos numa cabine de helicóptero
 Fonte: Police Helicopter Pilot, 2012. Adaptada pelos autores.

Em seguida, vamos comentar sobre os comandos de voo que fornecem controlabilidade ao helicóptero, de uma forma mais completa e pormenorizada. Alguns conceitos estão ligados a teoria de voo, e que em caso de dúvida devem ser consultados, em virtude de no momento estarmos tratando especificamente sobre o conhecimento geral de aeronaves de asas rotativas.

Cíclico

É uma alavanca vertical localizada na frente e no centro do assento do piloto, entre as pernas. Tem por finalidade mudar o plano de rotação do rotor principal, permitindo as manobras de deslocamento na horizontal, criando a força de tração, que é composição das forças de sustentação (sempre perpendicular ao plano de rotação) e o peso (ação da força gravitacional).

Recebe este nome por alterar o passo das pás do rotor principal, em determinados setores do plano de rotação, aumentando o passo num setor (maior sustentação) e diminuindo no setor diametralmente oposto (menor sustentação), fazendo com que o plano de rotação se incline na direção desejada (batimento para baixo). Esta mudança automática se repete a cada volta das pás (mudança de passo cíclica), não dependendo de qualquer ação do piloto, a não ser inclinar o comando na direção desejada dentro dos 360°, fato que ocasiona uma inclinação na unidade misturadora (*swash plate*), na estrela estacionária, inclinando o plano de rotação.

Dessa forma, no voo pairado, sem vento, e com cíclico em neutro, o ângulo de ataque das pás do rotor principal será igual em todos os setores do plano de rotação. Esse assunto será discorrido de forma mais elucidativa, quando tratarmos sobre a teoria de voo.

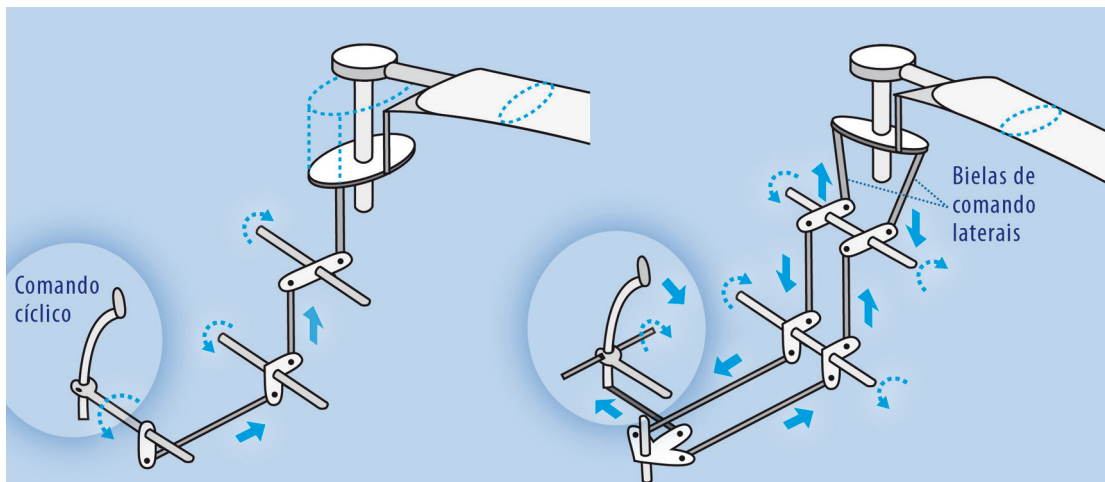


Figura 2.21 - Comando cíclico

Fonte: Nomenclatura de Helicópteros, 2009. Adaptada pelos autores.

Comanda os movimentos em torno dos eixos longitudinal e transversal da aeronave, bem como das pás. Em deslocamento, comanda os movimentos em torno dos eixos longitudinal e transversal do helicóptero e do rotor, provocando os movimentos de arfagem (picar e cabrar) e rolamento (direita e esquerda) e nas pás o movimento de mudança de passo e batimento.

Coletivo

É o controle vertical do helicóptero, responsável por alterar o ângulo de ataque de todas as pás do rotor principal, independente do setor do plano de rotação em que se encontre e de forma igual, ou seja, mesmo ângulo para todas as pás.

É uma alavanca instalada na horizontal, ao lado esquerdo do assento do piloto, devendo ser operado conjuntamente com o manete de RPM (Rotações por Minuto), para que essa permaneça constante em todas as fases do voo.

Está ligada à unidade misturadora por meio de **hastes de comando**, de tal forma que qualquer movimento desse comando, implicará um movimento correspondente à estrela estacionária, comandando a rotativa (para cima ou para baixo), e desta para as pás do rotor principal, obtendo, assim, maior ângulo de ataque em todas as pás, maior sustentação (coletivo para cima) ou menor ângulo de ataque, menor sustentação (coletivo para baixo).

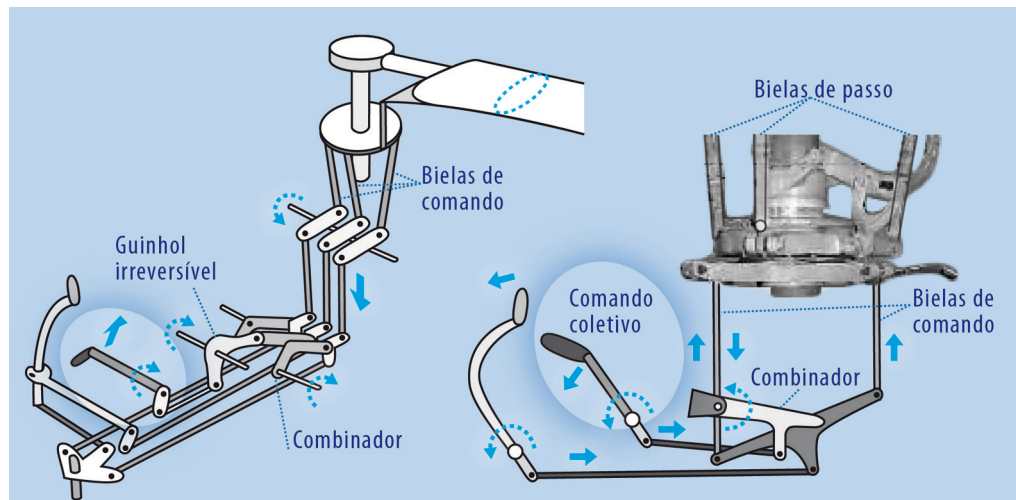


Figura 2.22 - Comando coletivo

Fonte: Nomenclatura de Helicópteros, 2009. Adaptada pelos autores.

Manete de RPM

É um dos mais importantes comandos de voo, pois todos os comandos do helicóptero dependem da RPM do rotor principal.

O manete é do tipo empunhadura, instalada no extremo do coletivo, assemelhando-se ao punho de aceleração de uma motocicleta, controlando a quantidade de combustível admitida. É necessária aos helicópteros que não tenham um dispositivo automático de correção de RPM (governador) para mantê-la constante, devido à resistência aerodinâmica, arrasto da pá, pois ao elevarmos o coletivo para cima, aumentamos o arrasto, necessitando, dessa forma, de uma maior abertura do manete.

Girando-se a manete de RPM na direção do piloto, sentido anti-horário, tem-se o fechamento da borboleta e uma menor RPM. A mesma possui um curso de 180°, onde os primeiros 30° correspondem à marcha lenta (engrazamento) do motor. A partir dos 30° age conjugada com o coletivo. Ao colocarmos o coletivo para cima ou para baixo, o manete abre ou fecha automaticamente, sendo necessário do piloto apenas um ajuste fino para manter a RPM desejada.

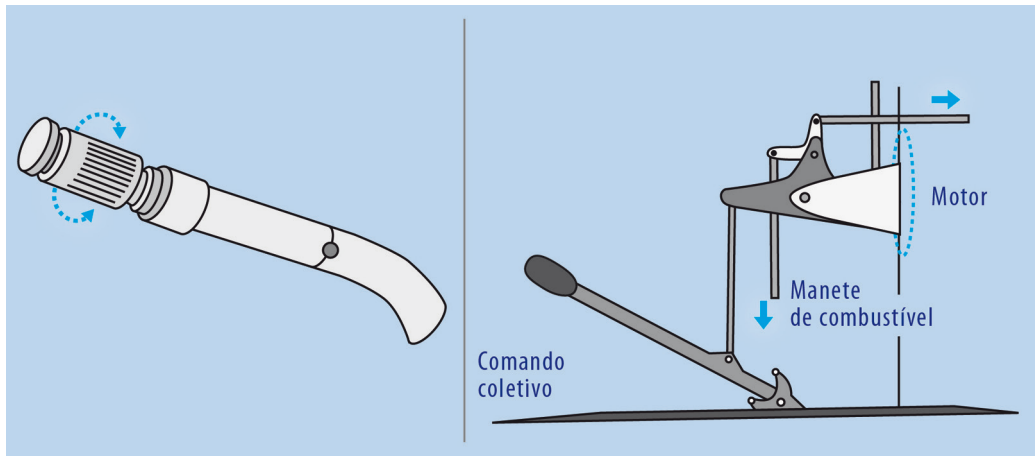


Figura 2.23 - Manete de RPM

Fonte: Nomenclatura de Helicópteros, 2009. Adaptada pelos autores.

Abaixo vemos um quadro que demonstra as ações corretivas com a correspondente resposta nas indicações de PA (pressão de admissão) e de RPM, ao atuarmos nos comandos de manete e coletivo.

Situação	Ação	Resposta
P.A baixa RPM baixa	Abrir manete	P.A subirá RPM aumentará
P.A alta RPM alta	Fechar manete	P.A diminuirá RPM diminuirá
P.A alta RPM baixa	Baixar coletivo	P.A diminuirá RPM aumentará
P.A baixa RPM alta	Puxar coletivo	P.A subirá RPM diminuirá

Quadro 2.1 - Resposta dos comandos de acordo com a PA e RPM do helicóptero

Fonte: Mankel, 1997.

Pedais

São os pedais que controlam o ângulo de ataque das pás do rotor de cauda, pedal esquerdo (exemplo – rotor principal anti-horário) aumenta o ângulo, aumentando a tração do rotor de cauda, fazendo a fuselagem girar para a esquerda; pedal direito diminui o ângulo de ataque, diminuindo a tração, fazendo a fuselagem girar para a direita.

Estando os pedais em neutro (centralizados), o ângulo de ataque do rotor de cauda é positivo. Em qualquer situação dos pedais, **o ângulo de ataque do rotor de cauda, nos helicópteros, será sempre positivo**, considerando que a rotação do rotor principal estará sempre gerando um torque que precisa ser neutralizado.

O uso do pedal causa uma alteração na RPM do rotor principal, podendo consumir até **8 - 10% da potência no voo pairado** e até **3 - 4% no voo com deslocamento (regime de cruzeiro)**, pois o rotor de cauda tende a ganhar eficiência com a velocidade de deslocamento do helicóptero, devido ao vento relativo, que atua alinhando a fuselagem com o deslocamento, devido, principalmente, à deriva vertical instalada na seção traseira da aeronave.

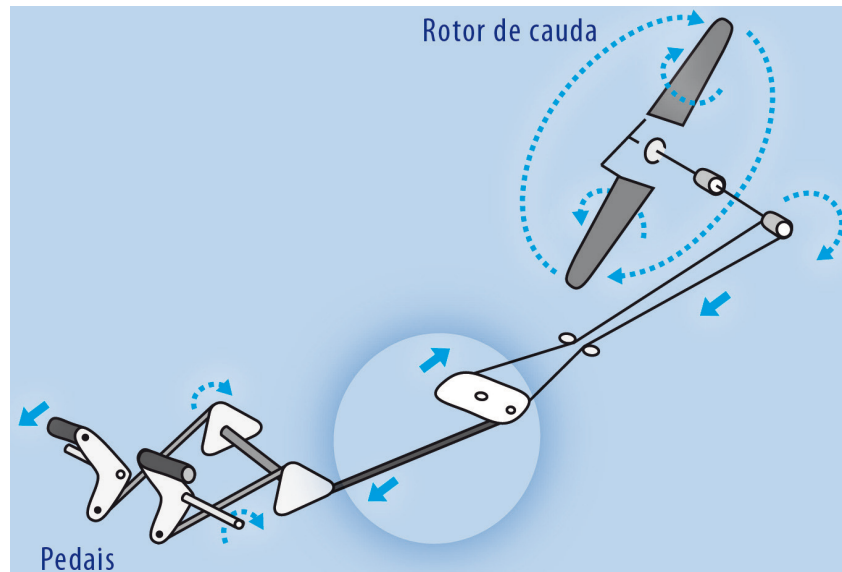


Figura 2.24 - Comando de pedais do helicóptero
 Fonte: Nomenclatura de Helicópteros, 2009. Adaptada pelos autores.

Após demonstrar para que serve os comandos de voo, iremos verificar, no quadro abaixo, quais são as ações primárias e secundárias relativas a atuações desses comandos.

Comando	Ação	Atuação
Cíclico	Primário	Direção e velocidade
	Secundário	Altitude (em velocidade)

Comando	Ação	Atuação
Coletivo	Primário	Altitude
	Primário	Pressão de admissão
	Secundário	RPM
Manete	Primário	RPM
	Secundário	Pressão de admissão
	Secundário	Altitude
Pedais	Primário	Antitorque
	Secundário	RPM

Quadro 2.2 - Atuação primária e secundária dos comandos de vôo
 Fonte: Mankel, 1997.

Complementando nosso entendimento sobre o voo do helicóptero, e como ele se movimenta no ar, veremos a seguir os **eixos de manobras** desta máquina.

- **Eixo longitudinal** – eixo imaginário da proa até a cauda, por meio do qual a aeronave faz o movimento de rolamento, para a esquerda e direita, executado pelo comando cíclico, é responsável pela **estabilidade lateral**.
- **Eixo lateral ou transversal** – eixo imaginário que atravessa a aeronave da esquerda para direita, próximo ao mastro e ao centro da fuselagem, pelo qual a aeronave faz o movimento de **arfagem ou tangagem**. Esse movimento faz a aeronave picar, ou seja, descer o nariz, empurrando-se o cíclico, ou levantar a proa, cabrando-a quando puxa o comando cíclico para trás, é responsável pela **estabilidade longitudinal**.
- **Eixo vertical** – eixo imaginário que atravessa a aeronave de cima para baixo, próxima ao mastro, pelo qual a aeronave faz o movimento de giro ou guinada por meio dos pedais (comando do rotor de cauda), é responsável pela **estabilidade direcional**.

O ponto onde esses três eixos se cruzam, na aeronave, chama-se **centro de gravidade** da aeronave. E deve estar localizado o mais próximo do mastro possível.

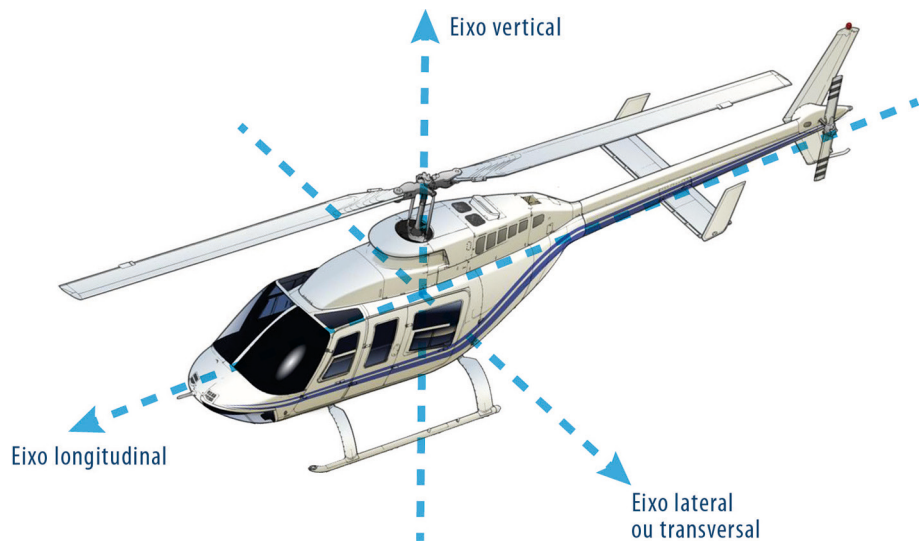


Figura 2.25 - Eixos de manobras do helicóptero
 Fonte: Westwind-helicopters, 2011. Adaptada pelos autores.

Ainda sobre os comandos, agora saindo da parte de teoria de voo, e de sua atuação no voo da máquina, veremos que eles, mecanicamente, possuem algumas características que merecem nossa atenção.

Os **comandos do rotor principal** se constituem de um sistema de hastes interligadas por pequenos rolamentos, que distribuem o esforço, reduzindo atritos e vibrações. Alguns helicópteros possuem um sistema de hastes que atua por servos hidráulicos, deixando os comandos mais leves e amortecendo as vibrações. Alguns helicópteros mais sofisticados possuem sistemas de piloto automático, que atuam nos comandos por meio de servos elétricos.

Todos os helicópteros possuem **sistema de fixação dos comandos** (travamento), que deve ser aplicado quando o helicóptero estiver fora de funcionamento.

O **comando dos pedais**, que atuam na mudança de passo do rotor de cauda nos helicópteros de configuração simples ou básica, é feito com hastes, servos, roldanas e cabos de comando, até atingir o tambor de mudança de passo, o qual está ligado a um eixo com rosca sem fim. Ao atravessar o eixo do rotor de cauda, muda igualmente, por meio de hastes, o passo das pás do rotor de cauda. Nos helicópteros de porte médio para cima, o tambor de mudança de passo é substituído por uma roda dentada, que é comandada em seu estágio final por uma corrente.

Continuando nosso passeio, vemos que à frente dos comandos encontramos o **painel de instrumentos**, cheio de componentes que possibilitam ao piloto o total monitoramento do voo e dos sistemas do helicóptero. Os instrumentos possuem marcações nas cores amarela, verde e vermelha. A amarela indica operação com restrição de tempo ou de atitude, a verde, operação normal e a vermelha operação incorreta ou limites ultrapassados.

Os instrumentos se dividem em:

- **Instrumentos de motor** – exemplo: termômetro do óleo, manômetro do óleo, manômetro do combustível, contágiros, manômetro de pressão de admissão – PA (*manifold pressure*).
- **Instrumentos de navegação** – exemplo: bússola, ADF, VOR, GPS etc.
- **Instrumentos de voo** – exemplo: altímetro, velocímetro, horizonte artificial, *climb* etc.



Figura 2.26 - Painel de Helicóptero modelo HB 350 Esquilo
Fonte: Helibrás, 2011.

- **Instrumentos da aeronave** – exemplo: liquidômetro (indicador de combustível), temperatura do ar externo etc.

Na cabine se localizam, ainda, os **equipamentos de rádio**, e os **cintos de segurança**, que devem estar presos à estrutura e seu dispositivo de travar e destravar com funcionamento perfeito.

Os **parabrisas** devem ser de material que não distorça a visão do piloto, além de estarem sempre limpos, bem como, toda a aeronave.

As **portas** podem ser de abertura e fechamento normal, corrediço, e em alguns casos possuírem dispositivos de alijamento de emergência.

Encerramos nossa visita na seção dianteira, iremos prosseguir até a seção central, seguindo a sequência, assim, chegaremos ao final do cone de cauda, onde encerraremos nosso estudo. Dessa forma, conheceremos esta fascinante máquina que é o helicóptero.

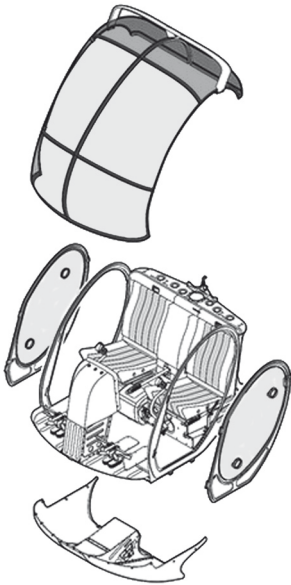


Figura 2.27 - Cabine do Schweizer 300
Fonte: Finescale, 2009.

2 – Seção Central



Figura 2.28 - Seção central do Helicóptero
Fonte: Westwind-helicopters, 2011. Adaptada pelos autores.

A **estrutura central** é a parte da fuselagem que tem a função de suportar toda a carga que o sistema do rotor principal transmite por meio da transmissão principal, e as cargas que os motores, o trem de aterrager e a cauda causam.

Na **seção central ou intermediária**, concentram-se a maioria dos componentes do helicóptero, que são: motor, transmissão principal, roda livre, rotor principal, servos hidráulicos, sistemas de lubrificação, sistemas de refrigeração, hastes e cabos de comandos e trens de pouso.

Motor – são utilizados dois tipos de motores nas aeronaves de asa rotativa. O motor a pistão convencional, explosão interna, similar ao utilizado em veículos automotivos, porém, com modificações que atendem ao uso aeronáutico. E o motor à reação, do tipo turbo-eixo (tipo axial de turbina livre), semelhante a um motor turbo-hélice, mas que porta uma turbina livre, cuja finalidade é acionar dispositivos que não sejam hélices, no caso, a transmissão principal que aciona as pás do rotor principal e o rotor de cauda por meio da caixa de acessórios, de uma aeronave de asa rotativa. Sendo o mais utilizado atualmente em helicópteros de médio e grande porte.

Os primeiros helicópteros utilizavam motores a pistão, grandes e pesados. Os motores à turbina, muito mais apropriados, tiveram progressos decisivos e atualmente são utilizados na maioria dos helicópteros. O “Alouette II” foi o primeiro helicóptero com turbo motor do mundo a ser fabricado em série.

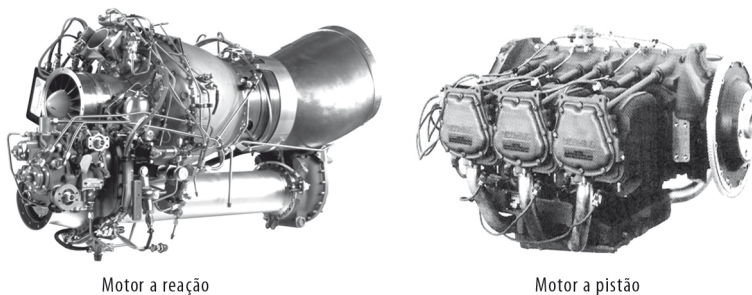


Figura 2.29 - Exemplos de motores à reação e pistão.
Fonte: Helicopterparts, 2011.

Na seção de saída de força da turbina, há uma **caixa de redução**, cuja finalidade é reduzir as altas rotações RPM da turbina para valores compatíveis com os parâmetros acessórios.

O motor é preso a um suporte que se chama **berço do motor**. Esse é preso à estrutura do helicóptero por meio de amortecedores, geralmente confeccionados em borracha especial/

elastômeros, cuja finalidade é amortecer as vibrações naturais do motor, evitando danos à estrutura.



Sobre os motores, recomendamos aos alunos complementarem seus estudos sobre o funcionamento e componentes, por meio da leitura das seguintes obras:

PALHARINI, Marcos J. A. **Motores a Reação**. 7. Ed. ASA. São Paulo, 1997.

HOMA, Jorge M. **Aeronaves e Motores**. 29. Ed. ASA. São Paulo, 2009.

Sistema do rotor principal – tem como finalidade transformar a potência do motor em sustentação e tração. Sendo o sistema de maior importância, pois toda a sustentação do helicóptero é obtida por ele, em que as respostas de todos os comandos dependem da RPM do rotor principal. É também responsável, em sua grande maioria, pela estabilidade e direção do helicóptero.

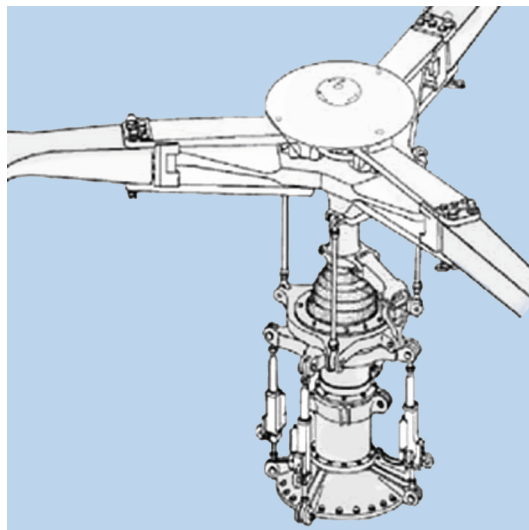


Figura 2.30 - Sistema do Rotor Principal
Fonte: Helicopterparts, 2011. Adaptada pelos autores.

Os componentes do rotor principal são:

- **Pá** – inicialmente construída de madeira, atualmente fabricada com ligas de aço *honeycomb*, materiais compostos como fibras de vidro e de carbono, com

reforço de aço no bordo de ataque, bordo de fuga em alumínio (alguns casos), uma longarina que age como reforço interno. É responsável pela sustentação do helicóptero, devendo ser corretamente alinhada e balanceada, tanto estática quanto dinamicamente, quando instalada. A pá possui **TAB's ou compensadores** que são instalados próximo à linha do bordo de fuga da pá, próximo a sua ponta, utilizados para ajustarem o *tracking*, permitindo o equilíbrio dinâmico do rotor. E geralmente nas pontas e nas raízes são instalados pesos para ajustes de peso e balanceamento.

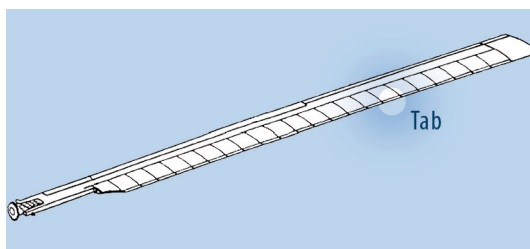


Figura 2.31 - Pá de helicóptero e localização dos TAB's
 Fonte: Prepra PLS Anglais, 2010. Adaptada pelos autores.

Nos helicópteros os tipos de pás mais usados são os de perfil **simétrico** e **assimétrico**. De tal forma que o rotor principal utiliza o perfil simétrico e o rotor de cauda o assimétrico, embora o uso do assimétrico no rotor principal venha crescendo muito ultimamente. Devido ao desenvolvimento de novas ligas e materiais compostos, está permitindo aumentar a resistência estrutural das pás sem comprometer o seu peso, possibilitando ampliar o emprego deste tipo de aerofólio.

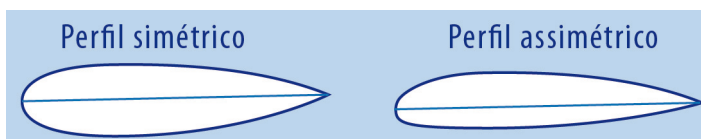


Figura 2.32 - Exemplos de perfis das pás de helicóptero
 Fonte: Helicopterparts, 2011. Adaptada pelos autores.

Partes do aerofólio:

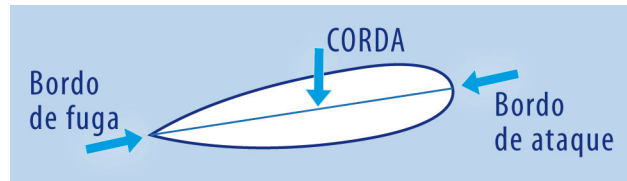


Figura 2.33 - Partes do aerofólio

Fonte: Sérvulo e Saba, 2009. Adaptada pelos autores.

- **Bordo de ataque** – parte frontal do aerofólio.
- **Bordo de fuga** – parte traseira do aerofólio.
- **Cambra superior da pá, extradorso ou dorso** – parte superior do aerofólio, por onde os filetes de ar normalmente passam com maior velocidade, por causa da maior curvatura.
- **Cambra inferior da pá, intradorso ou ventre** – parte inferior do aerofólio, normalmente com menor curvatura, por onde os filetes de ar passam com maior uniformidade.
- **Corda do aerofólio** – linha imaginária que vai do bordo de ataque ao bordo de fuga. Representa o comprimento do aerofólio.
- **Linha de curvatura média** – linha imaginária equidistante do extradorso e intradorso do aerofólio.
- **Centro de Pressão (CP)** ou centro aerodinâmico – ponto imaginário, localizado na corda do aerofólio, onde estão concentradas suas forças aerodinâmicas (sustentação e arrasto).
- **Espessura do Perfil** – ponto máximo de separação entre o extradorso e o intradorso.
- **Envergadura** – distância entre a raiz e a ponta da pá.

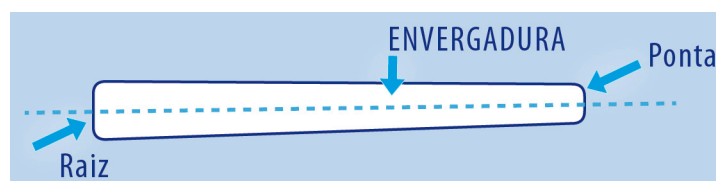


Figura 2.34 - Envergadura, raiz e ponta da pá

Fonte: Sérvulo e Saba, 2009. Adaptada pelos autores.

- **Alongamento** (razão de aspecto ou aspect ratio) – Relação entre envergadura e corda. Quando maior o alongamento maior a sustentação e menor o arrasto.

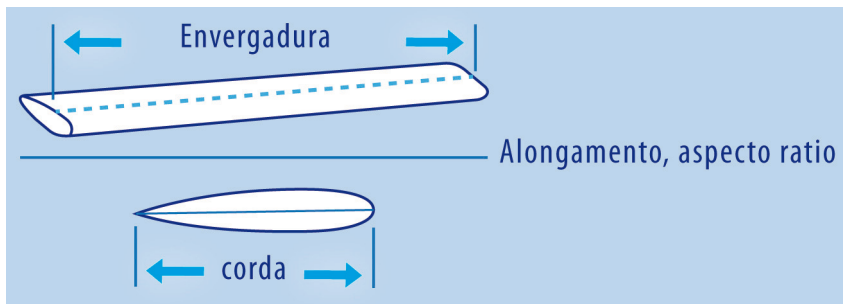


Figura 2.35 - Alongamento da pá
 Fonte: Sérvulo e Saba, 2009. Adaptada pelos autores.

Movimentos das pás

As pás do helicóptero se movimentam sobre três eixos igualmente como o helicóptero:

Eixo longitudinal – eixo imaginário que passa por meio da pá da sua raiz até a ponta, pelo qual a pá faz o movimento de mudança de passo.

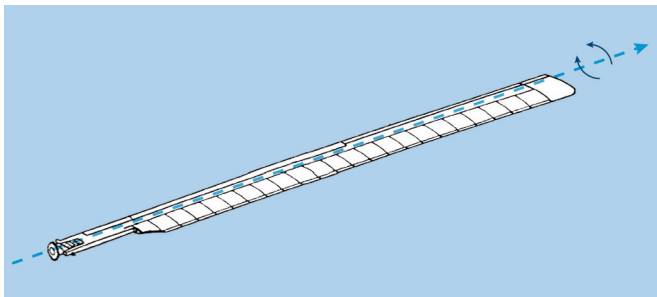


Figura 2.36 - Eixo longitudinal da pá
 Fonte: Helicopterparts, 2011. Adaptada pelos autores.

Eixo lateral ou transversal – eixo imaginário que atravessa a pá da esquerda para a direita (ou vice-versa), próximo a sua raiz, pelo qual a pá faz o movimento de batimento (vertical).

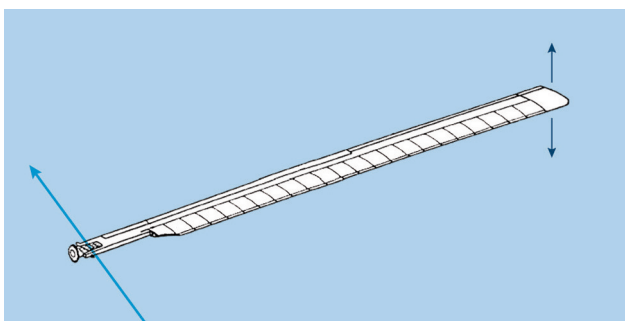


Figura 2.37 - Eixo lateral ou transversal da pá

Fonte: Helicopterparts, 2011. Adaptada pelos autores.

Eixo vertical – eixo imaginário que atravessa a pá de cima para baixo (vice-versa), próximo a sua raiz, pelo qual ele faz o movimento de avanço e recuo. Esse movimento é executado por uma força chamada Efeito Coriolis.

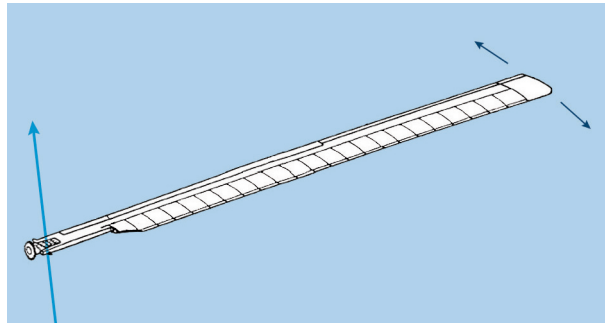


Figura 2.38 - Eixo vertical da pá
Fonte: Helicopterparts, 2011. Adaptada pelos autores.

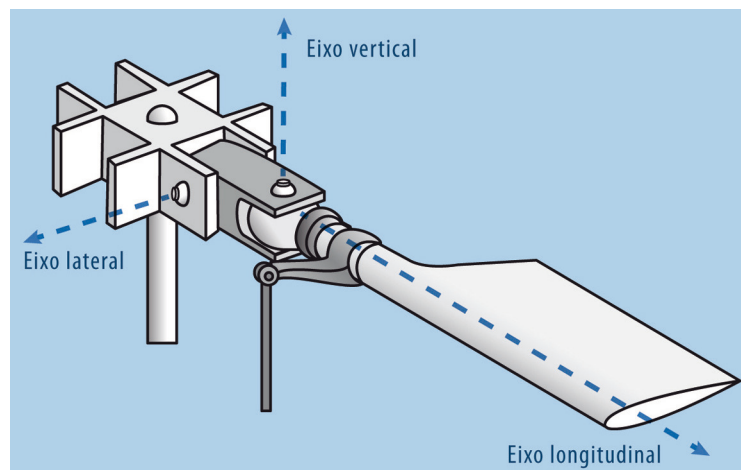


Figura 2.39 - Os três eixos da pá demonstrados em um rotor principal
Fonte: Helicopterparts, 2011. Adaptada pelos autores.

Encerrado o assunto sobre as pás, passaremos a comentar a respeito dos demais componentes do sistema do rotor principal. A explicação que se segue pode ser encontrada em Chediak (1989).

- **Cubo** – fabricado em aço especial, tem como finalidade ligar o rotor principal ao mastro. Ver Figura 2.41.
- **Punhos ou garras** – possuem a finalidade de ligar as pás ao cubo (nos rotores rígidos e semirrígidos, chamados punhos, e nos articulados garras). Ver Figura 2.41.

- **Pinos de fixação das pás ou grampos fixadores** – fabricados em aço, possuem a finalidade de fixar a pá ao punho. Alguns modelos de helicóptero possuem pinos ocos, que auxiliam no processo de balanceamento das pás, por meio da adição e retirada de pesos do seu interior. Ver Figura 2.41.
 - **Braço de arrasto** – normalmente construído em aço, tem a finalidade de fixar as pás aos punhos, impedindo o movimento de avanço e recuo nos rotores semirrígidos. Nos rotores articulados, o braço de arrasto é substituído por amortecedores ou *dampers* que permitem esse movimento em torno do eixo vertical. Ver Figura 2.41.
 - **Limitadores de queda (drop-stop)** – limita o batimento da pá, podendo ser de dois tipos: estático ou dinâmico; estático – instalado entre o munhão e o anel universal, entrando em função quando houver algum problema com o dinâmico, que é composto por cabos de aço que ligam o anel universal à barra estabilizadora. Ver Figura 2.41.
 - **Mastro** – eixo instalado na vertical, que recebe o movimento giratório da transmissão principal, levando ao rotor principal. É o eixo de acionamento do rotor. Ver Figura 2.41.
 - **Barra estabilizadora – Método BELL** – é um dos sistemas de estabilização do helicóptero, tendo como função atenuar o Efeito Pendular, criando um novo plano de rotação, que tende a manter-se sempre na horizontal, para a prova permanece paralelo ao plano de rotação. Está instalada no mastro do rotor principal, logo abaixo desse, ficando defasada em 90° com as pás, girando com a mesma velocidade delas.
- OBS:** Nem todo helicóptero possui a barra estabilizadora, que é uma solução da fabricante BELL (conhecido como método Bell). Rotores independentes do mastro também atenuam o Efeito Pendular. Observe a figura a seguir:

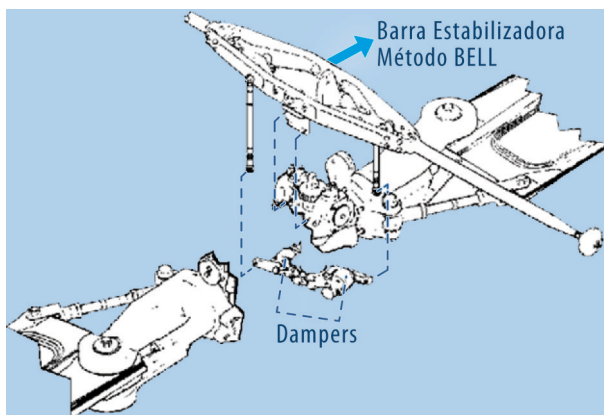


Figura 2.40 - Método BELL – Barra Estabilizadora
 Fonte: Helicopterparts, 2011. Adaptada pelos autores.

- **Unidade misturadora (Swash-Plate, conjunto de: estrelas, pratos, platô ou disco)** – está instalada no mastro do rotor principal próximo a sua base, tendo como finalidade levar os movimentos do cíclico e coletivo, por meio de hastes, para as pás do rotor principal. Sendo inclinada por uma ação do cíclico (ângulo diferente das pás, para cada setor do plano de rotação, maior na pá que recua e menor na que avança), subindo ou descendo por uma ação do coletivo (ângulo igual para todas as pás, em todos os setores do plano de rotação). É composto basicamente por uma estrela estacionária (inferior), que recebe os movimentos do cíclico e do coletivo, e uma rotativa (superior), que gira com o rotor principal, transmitindo os movimentos para as pás (Figura 2.41).



Nem todo helicóptero possui a unidade misturadora, neste caso, a interconexão do cíclico e coletivo com as pás é feita mecanicamente.

- **Haste de comando** – leva os comandos da unidade misturadora até as pás do rotor principal. Observe a Figura 2.41.
- **Chifre de mudança de passo** – recebe o movimento das hastes, transmitindo para as pás (Figura 2.41).

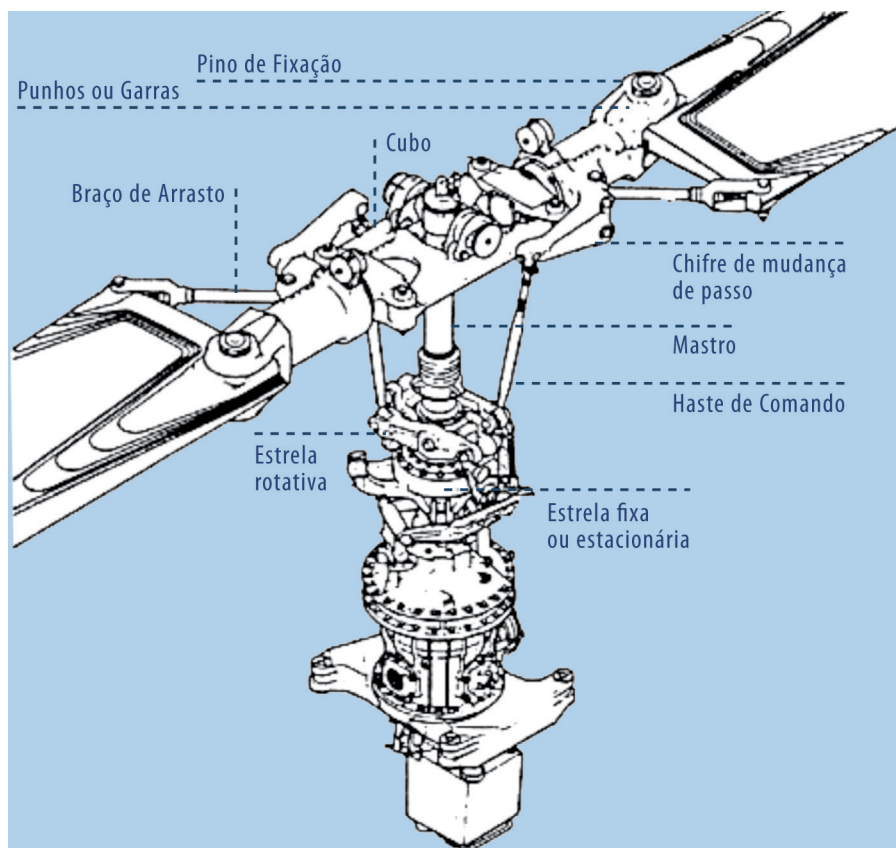


Figura 2.41 - Sistema do Rotor Principal e suas partes
 Fonte: Helicopterparts, 2011. Adaptada pelos autores.

Vejamos a seguir, uma explicação sucinta acerca dos rotores.

Rotores dos helicópteros quanto às articulações

Os rotores de helicópteros são classificados em três tipos quanto às articulações, isto é, quanto aos movimentos que as pás podem executar em relação à cabeça onde elas são fixadas, a saber: rígido, semirrígido e articulado. Vejamos a seguir as características de cada um deles.

Rotores Rígidos

Neste tipo de rotor, a cabeça é rigidamente fixada ao mastro, não havendo nenhuma espécie de articulação entre eles, e as pás só possuem movimento de troca de passo em relação à cabeça. No rotor rígido, devido à ausência de articulação de batimento, as pás devem ser mais flexíveis para absorver este movimento.

Rotores semirrígidos

Esses rotores possuem, além do movimento de troca de passo dos rotores rígidos, uma articulação que permite o batimento das pás.

É utilizado normalmente nos rotores de duas pás, empregando o sistema em que as pás, rigidamente ligadas à cabeça executam um movimento de gangorra tendo o mastro como centro de apoio, por meio de um componente chamado *trunnion*. Nesse sistema, portanto, as pás não têm movimento de abano independente.

Para limitar a amplitude do batimento, são instalados esbarros estáticos, que estabelecem o limite máximo de abano, chamado *DROP STOP* ou *DROP RESTRAINERS*, atuando durante o corte ou a partida de motor, portanto, em baixas rotações, protegendo o cone de cauda contra abanos excessivos das pás.

Rotores articulados

Utilizado só em rotores com mais de duas pás, em que cada uma possui articulações individuais que permitem os movimentos de batimento, troca de passo, avanço e recuo.

Esses rotores são de construção muito complexa e, devido aos movimentos independentes executados pelas pás, oscilam bastante, provocando muita vibração.

Para reduzir essa vibração são instalados limitadores ou amortecedores nas articulações de avanço e recuo que procuram manter a relação geométrica das pás no plano do rotor. São instalados, também, limitadores de abano nos mesmos moldes dos empregados em rotores semirrígidos.

Fonte: História do Helicóptero. Portal São Francisco, 2012.

Tipos de Rotores	Mudança de passo	Batimento	Avanço/Recuo
Rígido	Sim	Não	Não
Semi-rígido	Sim	Sim	Não
Articulado	Sim	Sim	Sim

Quadro 2.3 - Tipos de rotores e os movimentos de mudança das pás
 Fonte: Mankel, 1997. Adaptado pelos autores.

Ainda dentro da seção central e com relação ao sistema de rotor principal, encontramos o **freio do rotor**. Alguns helicópteros possuem este tipo de dispositivo destinado a parar o rotor após o corte do(s) motor(es). O sistema utilizado pode ser do tipo a disco ou a tambor, com acionamento hidráulico ou simples (mecânico).

Sistema da transmissão principal – tem a função de reduzir a RPM e transmitir a força do motor para os rotores. O motor pode ser acoplado à transmissão principal sob diversas formas:

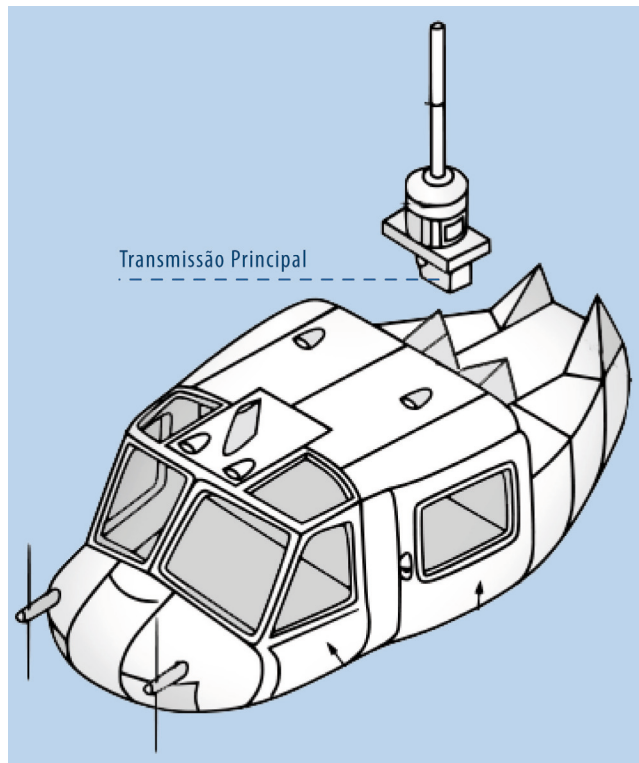


Figura 2.42 - Transmissão principal
 Fonte: Kempley Helicopters, 2012. Adaptada pelos autores.

Por embreagem centrífuga – neste caso, ao girar o motor, o rotor não está acoplado ao motor, o que facilita a partida do motor, sem a carga representada pelo peso do rotor principal. Depois de o motor estar acionado, pela força centrífuga, por meio de sapatas (tipo lona de freio de aplicação automotiva), a transmissão é **engrasada** ao motor e os rotores são acionados.

Por correias – neste caso, a partida do motor é feita completamente independente do rotor principal. Somente com a atuação do comando de engrasamento das correias é que os rotores são acionados.

Por processo direto – um eixo com um sistema especial de amortecimento de choque liga diretamente a saída de força do motor à transmissão principal.

Unidade de roda livre – é este sistema que vai intermediar o motor e a transmissão principal, liberando a transmissão principal do motor em caso de falha deste. É a roda livre que possibilita a autorrotação, permitindo que o rotor principal continue girando por efeito da inércia e pela ação do vento. Nos helicópteros equipados com mais de um motor, ambos acionam o mesmo sistema de transmissão, tendo cada um o seu sistema de roda livre.

Conjunto planetário de redução (caixa redutora) – é o conjunto de engrenagens que fazem as devidas reduções e ampliações da RPM do motor para os diversos acessórios.

Servos hidráulicos dos comandos de voo – possuem a finalidade de eliminar os esforços e a transmissão de vibrações dos componentes dinâmicos aos comandos de voo (cíclico, coletivo e pedais).

Sistema de lubrificação do motor – sendo o motor (pistão ou reação) composto por peças móveis, é necessária a lubrificação entre suas partes, a fim de evitar e diminuir o desgaste dos componentes. A lubrificação acionada por meio de bomba pode ser feita internamente por salpique, pressão ou pulverização. A especificação do óleo a ser utilizado e intervalo de trocas devem ser tratados dentro das normas prescritas pelo fabricante do motor.

Entenda como “conectada”. Porém, é importante que você se ambientize com o termo aeronauticamente pronunciado, que é “engrasar”, momento em que a transmissão conecta-se à força motrix do grupo moto propulsor.

Sistema de lubrificação da transmissão principal – igualmente devido às mesmas características apresentadas pelo motor, as peças componentes deste sistema também devem ser lubrificadas. Nesse caso, quem define a especificação e o tipo de óleo a ser utilizado é o fabricante do helicóptero. O óleo poderá ser o mesmo utilizado no motor, em alguns casos.

Sistemas de refrigeração dos óleos do motor e da transmissão principal – com a finalidade de manter a viscosidade e temperatura certa para eficiente lubrificação, os óleos necessitam de resfriamento adequado, obtido por meio de radiadores que recebem fluxo de ar de ventiladores. Esses ventiladores podem ser acionados por correias, acionado pela transmissão ou por meio de motores elétricos.

Tanques de combustíveis – localizados geralmente na seção central do helicóptero, podem ser visíveis, ou embutidos na fuselagem. São construídos com materiais metálicos ou com ligas de plástico resistente a impactos. Existem configurações de helicópteros que podem transportar tanques de combustível em suportes laterais sob pods (*tiptank*). Note as Figuras 2.43 e 2.44.



Figura 2.43 - Tanque de combustível visível
Fonte: Airfliteok, 2011.



Figura 2.44 - Tanque sob suportes laterais
Fonte: Scale-Rotors, 2011.

Trem de pouso – finalidade de apoiar o helicóptero, absorver impactos com o solo e permitir manobras (taxiamento). Variam de acordo com a configuração, objetivo do trabalho e tipo de terreno onde se pretende pousar.

Tipo skyd/esqui – ideal para solo firme e pode ser baixo, médio e alto.

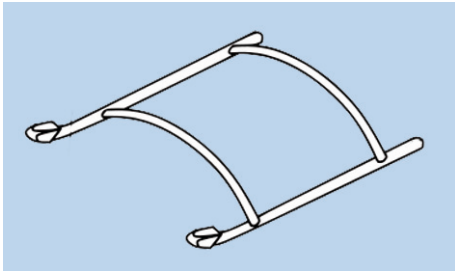


Figura 2.45 - Exemplo de esqui
Fonte: Helicopter parts, 2011. Adaptada pelos autores.

Tipo de rodas – possui a capacidade de taxiar como os aviões, bem como correr até atingir a sustentação efetiva. Pode recolher o trem de pouso, diminuindo assim a resistência ao avanço durante seu voo. Sofrem mais com os efeitos de ressonância com o solo, devendo sempre ter seus amortecedores bem regulados, assim como seus pneus corretamente calibrados. Podendo ser do tipo retrátil ou escamoteável.



Figura 2.46 - Helicóptero com rodas
Fonte: Plane News Aviation, 2011.

Para pouso na água, podem ser instalados **flutuadores**, que podem ser acionados por comando do piloto ou automaticamente (Figura 2.47). Existem, ainda, helicópteros que possuem fuselagem desenhada para pouso na água, possuindo igualmente trem de aterragem para pouso em terra, portanto, classificando-se como **aeronaves anfíbias** (Figura 2.48). Há dispositivos especiais que podem ser instalados, permitindo operações no gelo e na neve.



Figura 2.47 - Exemplo de helicóptero equipado com flutuadores
Fonte: Helicópteros, 2011.



Figura 2.48 - Helicóptero anfíbio Sea King
Fonte: US Navy, 2007.



Figura 2.49 - Helicóptero anfíbio Sea King
Fonte: Infoglobo, 2011.

3 – Seção traseira



Figura 2.50 - Seção traseira
Fonte: Westwind-helicopters, 2011. Adaptado pelo autor.

A seção traseira compreende basicamente o cone e o rotor de cauda.

Cone de cauda – ocupa toda seção traseira do helicóptero, onde estão instalados o sistema de transmissão e de comando do rotor de cauda, os estabilizadores horizontal e vertical, luzes de navegação, esqui de cauda e outros acessórios.

Rotor de cauda – possui a finalidade de contrariar o torque provocado pelo motor por meio do rotor principal (consumindo 8 a 10% da potência no voo pairado e 3 a 4% no voo em deslocamento), e possibilitar giros em torno do eixo vertical do helicóptero, por meio do comando de pedais. Funciona conjugado com o rotor principal, sua rotação representa 1/5 em relação à do rotor principal.

A construção, movimentos e componentes do funcionamento do rotor de cauda quase sempre são semelhantes aos do rotor principal. Está instalado na cauda na posição vertical, junto à caixa de transmissão de 90°, do lado direito ou esquerdo, dependendo do sentido de rotação, sendo em sua maioria do tipo semirrígido.



O problema da dissimetria de sustentação do rotor de cauda, também é resolvido com o batimento. Esse também deverá estar corretamente balanceado, estática e dinamicamente, a fim de evitar os problemas relacionados as vibrações, que, nesse caso, manifestam-se por meio do formigamento dos pedais durante a execução do voo.

Nos helicópteros com mais de um rotor principal não existe a necessidade do rotor de cauda, pois o torque é anulado pela contrariedade de rotação dos rotores principais, que se inclina para lados opostos, quando o aparelho necessita girar em torno de seu eixo. Nos helicópteros que utilizam o sistema **NOTAR**, um jato de ar direcionado produzirá o mesmo resultado de um rotor de cauda comum. O sistema **FENESTRON** possui as mesmas características de um rotor do tipo simples, porém, não realiza os movimentos de batimento (para corrigir dissimetria de sustentação), somente de mudança de passo.

Sistema de transmissão do rotor de cauda – é o sistema mecânico, acoplado à transmissão principal, que transfere a rotação do motor ao rotor de cauda.

Caixa de acionamento do rotor de cauda – caixa de 90° – caixa de engrenagens que modifica em 90° o sentido de acionamento do eixo que vem da transmissão principal. Possui lubrificação, a qual deve ser mantida no nível apropriado (lida na parte média da caixa, por meio de uma janela de visualização), de acordo com o fabricante do helicóptero, sendo abastecida quando necessário, por meio de sua parte superior. A leitura eletromagnética de limalha no óleo, neste tipo de caixa, é feita pela sua parte inferior.

Eixo de acionamento – Eixo que transmite o movimento da transmissão principal para a junta universal. Podem existir três tipos de acionamento: Processo Direto, Junta Universal e Caixa Intermediária.

- **Processo Direto** – O eixo de acionamento sai diretamente da transmissão principal para a de cauda, por meio de rolamentos, não havendo qualquer angulação do rotor com o eixo de acionamento, portanto, não existindo junta universal ou caixa de engrenagem.
- **Junta Universal** – É um tipo de junta homocinética simplificada, tendo a função de permitir uma determinada angulação entre o eixo de acionamento e a caixa de transmissão de cauda. Ligando esses dois eixos temos uma junta chamada universal, tendo como outra função mover o rotor de cauda. Nos helicópteros de médio e grande porte, é substituída por uma caixa de engrenagens ou caixa intermediária.
- **Caixa intermediária** – neste caso, uma caixa de engrenagens com ângulo previsto pelo fabricante é instalada para fazer o trabalho da junta universal. Essa caixa intermediária possui lubrificação, que deve ser mantida no nível próprio.

Mecanismos de mudança de passo do rotor de cauda – É um sistema composto basicamente por um eixo dentado (pinhão) e uma rosca sem fim (cremalheira), acionado por um tambor de mudança de passo que é acionado por cabos de aço, alterando o passo das pás, sempre conjuntamente; sendo que esse ângulo sempre será positivo, independentemente da situação dos pedais. Nos helicópteros de médio e grande porte, esse tambor é substituído por uma roda dentada, que é acionada em seu estágio final por uma corrente (como uma coroa de bicicleta).

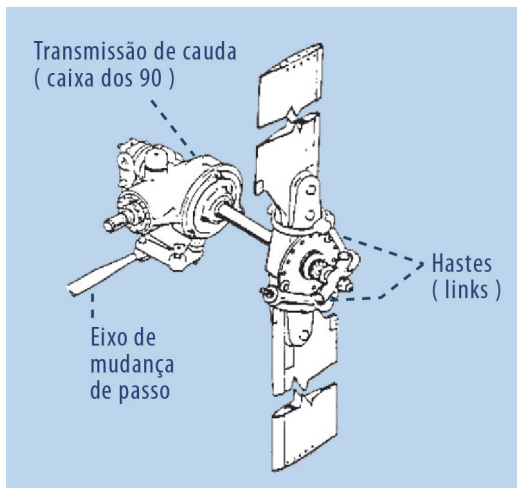


Figura 2.51 - Exemplo de transmissão do rotor de cauda
Fonte: Mankel, 1997. Adaptada pelos autores.

Pás do rotor de cauda – seguem as mesmas características de construção das pás do rotor principal, e no helicóptero, na maioria dos casos, são do tipo assimétrico.

Tipos de rotor de cauda

Convencional ou exposto – é um rotor semelhante ao rotor principal, possuindo as mesmas características de construção e funcionamento. Sofre muita influência do ar turbilhonado, advindo da fuselagem e do rotor principal.



Figura 2.52 - Rotor de cauda do tipo convencional ou exposto
Fonte: CAVOK Asas da Informação, 2010.



Figura 2.53 - Rotor de cauda do tipo convencional ou exposto
Fonte: HowStuffWorks Brasil, 2012.

Fenestron – desenvolvido pela empresa francesa Aerospatiale, hoje pertencente ao grupo Eurocopter. O sistema é uma configuração de rotor de cauda totalmente carenado (*fan-in-fin*), oferecendo maior segurança aos seus operadores. Por estarem envolvidas pela carenagem, as pás de um rotor desse tipo possuem apenas o comando de mudança de passo e não realizam batimento como os rotores convencionais, pois não ocorre a dissimetria de sustentação. A disposição das pás e as instalações de defletores guias distribuem o ruído em diferentes frequências. Isso faz com que o sistema seja mais silencioso e tenha uma performance melhor.



Figura 2.54 - Rotor de cauda do tipo Fenestron
Fonte: Wikipedia, 2011.

Efeito Coanda – O efeito Coanda – é a tendência de um filete de um fluido permanecer unido a uma superfície curva adjacente. O nome homenageia o romeno Henri Coandă, que foi o primeiro a reconhecer a aplicação prática do fenômeno no desenvolvimento de aeronaves. Esse efeito é estudado em mecânica dos fluidos, de modo a expressar as forças que se originam, devido à viscosidade dos fluidos.

Sistema notar (No Tail Rotor) – esse conceito foi desenvolvido pela McDonnell Douglas Helicopter Company, na década de 1980, e teve como objetivo eliminar o rotor de cauda em helicópteros de configuração básica ou simples, por meio da utilização na construção do cone de cauda e seus componentes do **efeito Coanda**, que é responsável por 60-65% da força antitorque, num voo pairado, por exemplo. O sistema NOTAR é composto por quatro componentes: cone de cauda de seção circular pressurizado à baixa pressão, duas fendas longitudinais no cone de cauda, gerador de fluxo (fan) com passo variável para manter a pressão constante dentro do cone de cauda e um direcionador de fluxo posicionado na extremidade do cone de

cauda, acionado pelos pedais, permitindo, assim, o controle direcional do helicóptero. O sistema reduz os níveis de vibração e de ruído, é praticamente livre de danos e não sofre a influência de turbilhonamentos.

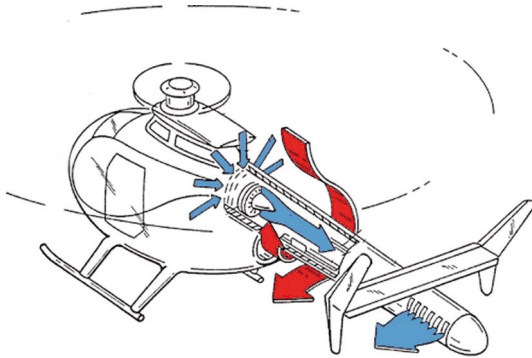


Figura 2.55 - Rotor de cauda do tipo NOTAR
Fonte: Wikipédia, 2011.

Estabilizadores (derivas) horizontal e vertical

São superfícies aerodinâmicas, móveis ou fixas, que tem a função de proporcionar mais estabilidade ao helicóptero, podendo ter perfil, tal como uma asa, assimétrico ou simétrico.

Estabilizador horizontal – está instalado na cauda do helicóptero horizontalmente, estabilizando-o em torno dos eixos longitudinal e transversal. Tem uma sustentação negativa, forçando a cauda para baixo, em alguns modelos é móvel, sendo sua ação conjugada com o cíclico.

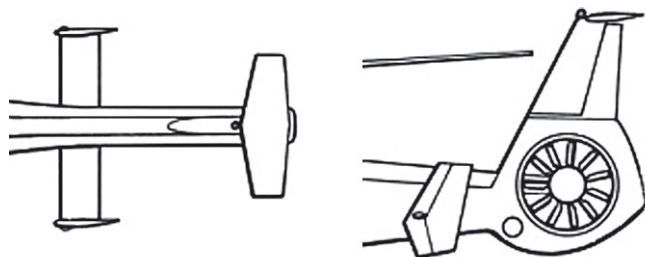


Figura 2.56 - Exemplo de estabilizador horizontal e vertical
Fonte: Wikipedia, 2011.

Estabilizador vertical – instalado na cauda verticalmente, estabilizando-o em torno do eixo vertical, diminuindo a tendência de guinada.

Os dois estabilizadores têm a sua eficiência aumentada com a velocidade de deslocamento do helicóptero.

Dessa forma, encerramos o nosso passeio por essa máquina. Esperamos que você tenha compreendido como funcionam os diversos sistemas, partes e componentes que contribuem para que o helicóptero possa alçar voo. Estudamos como foi seu desenvolvimento e os acertos que foram necessários para que o desenvolvimento do helicóptero alcançasse o sucesso e a versatilidade que verificamos hoje. O funcionamento dos comandos, combinados com a atuação no deslocamento das aeronaves de asas rotativas, serão estudados nas próximas seções.

Bons Voos!

Seção 5 – Manutenção e operação

Todo helicóptero tem o seu manual de voo específico, elaborado pelo fabricante, onde o piloto encontra todas as informações de performance e limitações do aparelho.

Todo comandante deve realizar a inspeção pré-voo, conforme o procedimento orientado pelo fabricante da aeronave, ainda que essa inspeção já tenha sido realizada pelo pessoal da manutenção.

Classes de manutenção

Manutenção preventiva – deverá ser realizada, segundo as determinações do fabricante, para se evitar a possível ocorrência de uma pane.

Manutenção corretiva – serve para corrigir uma pane que tenha ocorrido durante o funcionamento da aeronave, entre as manutenções preventivas determinadas. Nesse caso, é o operador que deve relatar a anormalidade constatada para a equipe de manutenção.



Figura 2.57 - Hangar de manutenção do Batalhão de Aviação do Exército Brasileiro
Fonte: Antigoscpvaj, 2011.

A manutenção deve ser feita em oficinas homologadas e por mecânicos credenciados para cada tipo de helicóptero ou de motor, e anotada nas cadernetas de manutenção do motor, da célula ou dos componentes. Essas cadernetas fazem parte da documentação da aeronave e deverão estar de acordo com as normas estabelecidas pela ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) e pelo fabricante do helicóptero.



Síntese

Nesta Unidade, iniciamos nosso estudo pela classificação geral das aeronaves quanto à sustentação, tipo de decolagem e, especificamente, na classificação dos helicópteros quanto aos rotores.

Essas definições iniciais auxiliam no entendimento do voo das aeronaves de asas rotativas, apresentando as diversas disposições de aplicação de rotores, que fazem o aluno compreender os diferentes projetos de helicópteros, levando em consideração sua utilidade, em conformidade com o desenvolvimento e qualidade de voo desejados.

Dentro deste contexto, igualmente verificamos o nascimento do girocópitero (autogiro), que auxiliou no desenvolvimento da aviação de asas rotativas, tal como concebemos hoje em dia.

Por meio da divisão clássica do helicóptero em seções dianteira, central e traseira, antecedida pelo estudo da fuselagem e os tipos de estruturas, iniciamos um passeio conhecendo pormenorizadamente os sistemas e componentes de cada seção, de modo que o aluno, ao final do cone de cauda, compreendesse o funcionamento do helicóptero e a nomenclatura geral de suas partes. Ao final, em conexão com o estudo de conhecimentos técnicos de helicópteros, foram abordados os diferentes tipos de classes de manutenção, e a importância da realização do pré-voo por parte do comandante da aeronave.

Esperamos ter despertado o interesse por estas máquinas, por meio do entendimento de seu funcionamento, doravante trataremos especificamente do voo e seus efeitos. Dessa forma, convidamos o aluno a embarcar conosco nesta nova etapa.

Bons estudos e bons voos!



Atividades de autoavaliação

- 1) Relate quais são os tipos básicos de estrutura de helicópteros e comente sobre suas principais características.

- 2) De acordo com o que foi estudado nesta unidade, descreva os rotores dos helicópteros quanto às articulações e suas características.



Saiba mais

O aluno poderá complementar sua leitura e ter uma compreensão melhor do conteúdo estudado lendo as seguintes obras recomendadas:

BATISTA, Ugo Sá Nogueira. **Teoria de voo de helicóptero**. Ed. EAPAC. Rio de Janeiro, 1992.

CHEDIAC, Dirceu A. Peres. **O helicóptero para pilotos e mecânicos: Teoria de Voo – conhecimentos técnicos**. Rio de Janeiro, 1989.

DA SILVA, Paulo Rodrigues. **Helicóptero: conhecimentos técnicos: noções fundamentais**. Ed. ASA. São Paulo, 2006.

JOFFILY, Kleber. **Aerodinâmica do helicóptero: teoria do voo: conhecimentos técnicos**. Curitiba: K.Joffily, 2000.

MANDEL, Roberto. **O helicóptero sem segredos: Teoria de voo, conhecimentos técnicos específicos de helicóptero e emergências**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997.

ROCHA, Ivan Freire Brito. **Teoria de voo para helicópteros**. São Paulo: Título Independente, 2009.

SÉRVULO, Paulo; SABA, Nicolau. **Apostila de helicóptero: Conhecimentos Técnicos**. São Paulo, 2009.

VIEIRA, Boanerges; SERAPIÃO, Antônio Carlos. **Aerodinâmica de helicópteros**. Rio de Janeiro: Reditora Rio, 2003.

Qualidades de voo



Objetivos de aprendizagem

- Determinar o voo da aeronave e conhecer o movimento do centro de gravidade em relação ao sistema de referência adotado.
- Identificar os movimentos da aeronave em torno de seu centro de gravidade, os quais são determinados pelo controle e estabilidade do helicóptero.
- Reconhecer os principais conceitos relacionados ao voo em autorrotação e à falha repentina do motor em voo.
- Descrever as causas da existência de vibração em aeronaves de asa rotativa.
- Definir as causas e consequências dos ruídos em helicópteros.



Seções de estudo

- Seção 1** Voo pairado, voo vertical e à frente
- Seção 2** Manobrabilidade, estabilidade estática e dinâmica
- Seção 3** Pane do motor e voo em autorrotação
- Seção 4** Vibração em helicópteros
- Seção 5** Ruído em helicópteros



Para início de estudo

Nesta unidade, estudaremos o desempenho do helicóptero em voo e aspectos relacionados às qualidades que o voo do helicóptero proporciona.

Dentro dessas qualidades ímpares em termos de aviação, serão expostas a agilidade e a versatilidade que o helicóptero proporciona, por meio de sua manobrabilidade e estabilidade, tanto a estática quanto a dinâmica.

Veremos ainda o comportamento da aeronave e os sistemas quando em pane de motor, o que exige uma imediata decisão de segundos na entrada em autorrotação.

Por fim, serão ministrados dois dos maiores problemas que a aviação de asa rotativa enfrenta em sua lida, que são as vibrações, devido à atuação de seus sistemas e comportamento de voo e o ruído, os quais podem acarretar danos físicos aos aeronautas.

Seção 1 – Voo pairado, voo vertical e à frente

Quando falamos em desempenho de uma aeronave, buscamos primordialmente conhecer o movimento do Centro de Gravidade (CG) da aeronave em relação a um sistema adotado, ou seja, não são considerados os movimentos em torno do CG.

Este movimento será analisado em três condições especiais de voo: pairado, vertical e à frente.

Voo pairado

O voo pairado, também chamado de hoverado, é aquele em que o helicóptero está estável em relação a um ponto na superfície, sendo eventuais perturbações causadas por ventos, neutralizadas pela ação do piloto nos comandos. Ainda sobre o voo pairado, Rocha (2009, p. 50) descreve:

É aquele em que a aeronave se mantém voando sobre um ponto no solo, sem que haja deslocamento horizontal, lateral e vertical, tanto próximo ao solo quanto em grande altitude.

Para melhor entendimento desta Seção, passaremos a discorrer sobre algumas definições imprescindíveis ao entendimento do voo de helicóptero.

Centro de Gravidade (CG): O Centro de Gravidade é definido por um ponto teórico onde todos os pesos da aeronave se concentram. Para entender melhor, imagine o helicóptero suspenso por um cabo preso no Centro de Gravidade, ele iria oscilar como uma balança mecânica. De acordo com o professor Rocha (2009, p.103), “helicópteros com o rotor simples, o CG normalmente se encontra próximo ao mastro do rotor principal.”

A definição do CG da aeronave é importante para a definição do voo, pois o balanceamento inadequado de uma aeronave pode ocasionar sérios riscos para a operação, devido à probabilidade de perda de controle.

A variação do CG é aceitável, desde que dentro de uma faixa prevista pelo fabricante da aeronave, chamada de envelope de atuação ou limites de passeio do CG. Tanto esses limites quanto o exato local do CG e a faixa de oscilação estão previstos no Manual de voo da aeronave.

Para o pairado, o **plano de rotação** deverá ser inclinado no sentido contrário ao vento.

Plano de rotação: É o desenho formado pela trajetória das pontas das pás, sendo sempre perpendicular ao seu eixo de rotação.

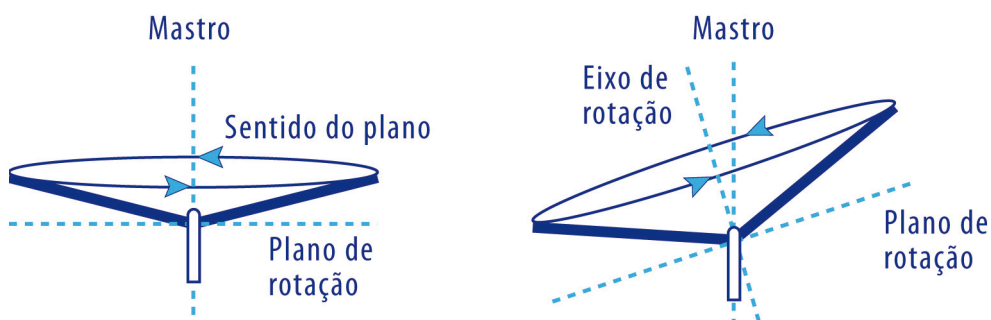


Figura 3.1 - Plano de rotação
 Fonte: Answers, 2011. Adaptada pelos autores.

Eixo de rotação: É uma linha imaginária que passa por meio de um ponto em torno do qual um corpo gira e será sempre *perpendicular* ao plano de rotação.

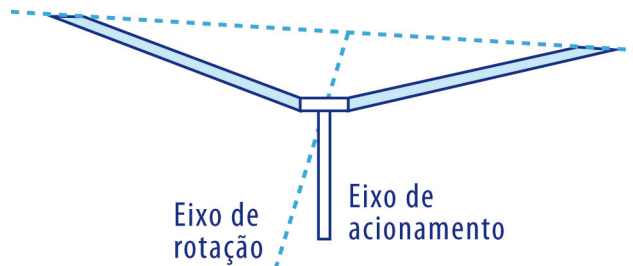


Figura 3.2 - Eixo de rotação
Fonte: Sérvulo e Saba, 2009, p.12. Adaptada pelos autores.

Disco do rotor: É o desenho circular formado pela trajetória das pás quando projetada sobre um plano. Quando observada de cima, mostra a figura de um disco.

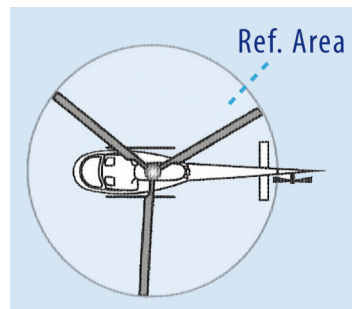


Figura 3.3 - Área do disco rotor
Fonte: ROCHA, 2009, p.79. Adaptada pelos autores.

Solidez parcial: É a razão entre a área de *uma* pá pela área do disco.



Essa solidez representa a capacidade da pá converter a potência dos motores em sustentação (suscintamente falando, a capacidade de ficar fora do solo) e tração (capacidade de movimentar a aeronave no sentido desejado).

Abaixo (Figura 3.4) podemos visualizar em rotor bipá a divisão entre a área de uma pá e a área do disco rotor.

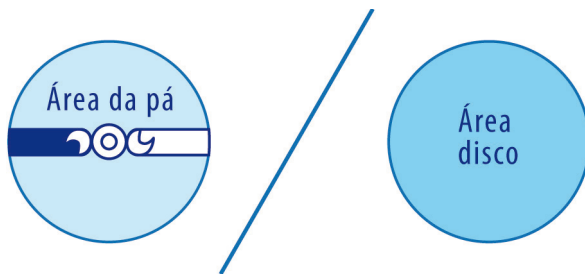


Figura 3.4 - Solidez parcial
 Fonte: Sérvulo e Saba, 2009, p.12. Adaptada pelos autores.

Solidez total: Razão entre a área de todas as pás e a área do disco.

Destaques – isso representa a capacidade das pás converterem a potência dos motores em sustentação e tração.

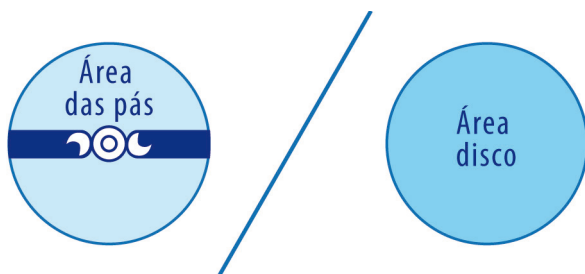


Figura 3.5 - Solidez total
 Fonte: Sérvulo e Saba, 2009, p.12. Adaptada pelos autores.

Razão de carga ou “Disc loading”: É definida pelo peso bruto da aeronave dividido pela área do disco.



Como regra geral, quanto maior for o helicóptero, maior será sua razão de carga.

Para um maior entendimento da teoria da razão de carga, vamos ilustrar o exemplo de uma aeronave bastante utilizada em instrução no Brasil, o Robinson R22. Baseado no Manual de instrução da aeronave, podemos assim exemplificar:



Observe as especificações de uma aeronave modelo Robinson R22, cujo peso máximo de decolagem é 1.398,91 lb (635 kg) e tem como área do disco 497 ft² (46,2 m²). Sua razão de carga será 2,75 lb/ft² (13,7 kg/m²).

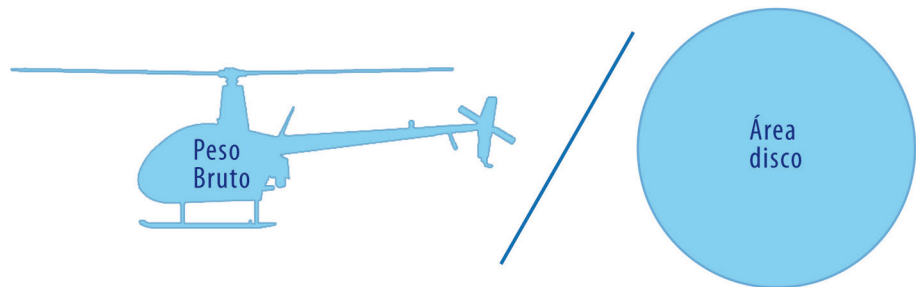


Figura 3.6 - Razão entre peso bruto e área do disco rotor
Fonte: Sérvulo e Saba, 2009, p.13. Adaptada pelos autores.

Usando os ensinamentos de Rocha (2009, p.52), podemos afirmar que:

O rotor de um helicóptero cria sustentação empurrando o ar para baixo. O ar é muito pouco denso, por isso, os rotores devem mover uma enorme quantidade de ar e com uma velocidade relativamente alta. A velocidade deste fluxo de ar e a quantidade de ar movida para baixo depende do “disc loading” do helicóptero.

Área útil de sustentação: É a projeção do desenho do disco rotor sobre um plano.



Essa área sempre muda durante o voo, variando também a capacidade de sustentação da aeronave. O tamanho dessa projeção diminui com o peso da aeronave causado pelo efeito cone, pelas mudanças do fator carga (g) em curvas e em recuperação de mergulho (ROCHA, 2009, p.52).

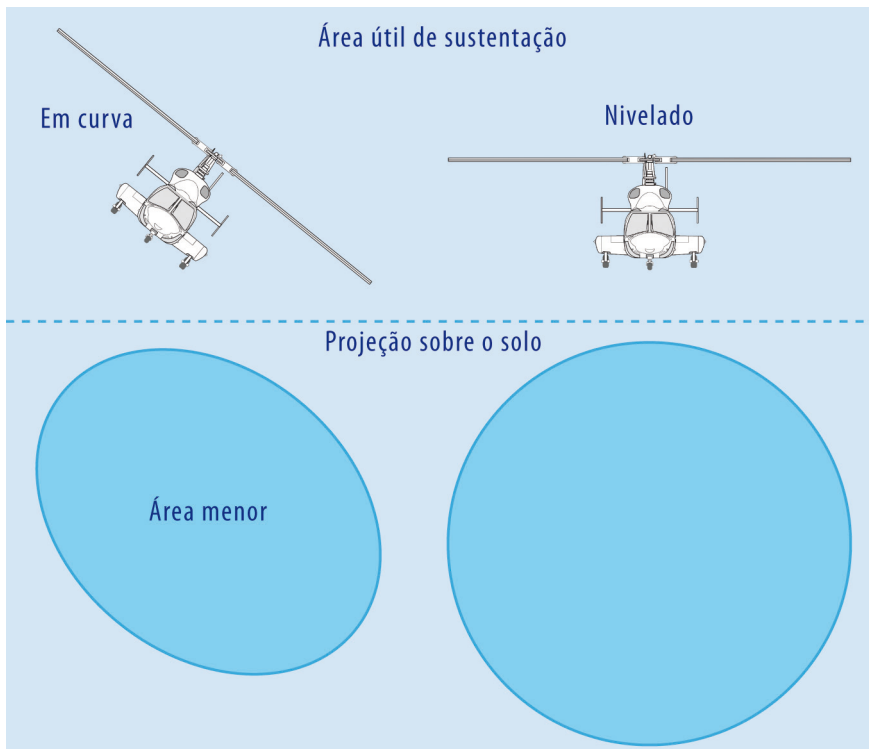


Figura 3.7 - Área útil de sustentação
 Fonte: Rocha, 2009, p.52. Adaptada pelos autores.

A figura acima ilustra a definição de área útil de sustentação de um helicóptero. Observe que quando o helicóptero efetua uma curva sua área útil de sustentação diminui.

Peso e balanceamento do helicóptero:

O piloto em comando é o responsável pela limitação e distribuição do peso, pois o balanceamento é muito importante, uma vez que o passeio do CG (centro de gravidade) na maioria dos helicópteros é muito pequeno. Esse passeio do CG varia de acordo com o tipo e modelo de aeronave.

A finalidade principal do balanceamento é a segurança operacional aeronáutica, e como função secundária, a maior eficiência durante o voo. Um carregamento inadequado reduz a eficiência da aeronave com respeito ao teto, manobrabilidade, velocidade, razão de subida e consumo de combustível, podendo interromper ou mesmo cancelar o voo.

Para um balanceamento correto, o CG deverá localizar-se próximo (à frente) do mastro, pois o balanceamento mais importante no helicóptero é o longitudinal, e na linha de referência (DATUN LINE: linha neutra perpendicular ao mastro para balanceamento do helicóptero), para um balanceamento lateral.

Para uma melhor estabilidade lateral, a área acima do CG deverá ser maior que a de baixo. O CP (centro de pressão) está localizado nas pás do rotor principal, acima do CG, onde se tem a reação aerodinâmica útil ao voo. Assim, de acordo com Sérvulo e Saba (2009, p.13):

Caso o helicóptero não esteja com uma distribuição correta de peso, a fuselagem se inclinará para o lado mais pesado, dando ao helicóptero uma tendência indesejada, obrigando ao piloto a acionar o cíclico na direção oposta, dificultando as manobras e diminuindo a amplitude do comando.

Para um melhor balanceamento, motor e tanque de combustível deverão estar localizados na seção central.

Definições:

1. **Peso vazio** – Peso do helicóptero + motor + rotores + equipamentos fixos + óleo e combustível que não podem ser drenados + fluido hidráulico.
2. **Carga útil** – Peso do piloto, passageiros, bagagem, combustível e óleo.
3. **Peso operacional** (peso bruto) – Peso máximo estipulado no certificado de aeronavegabilidade. É a soma do peso vazio mais a carga útil.
4. **Peso básico** – Peso vazio + peso do óleo.



O cálculo do CG é feito, dividindo a soma dos momentos pela soma dos pesos.

Com base nas definições já apresentadas, iniciaremos a composição do voo pairado sob dois aspectos:

- Voo pairado com vento nulo;
- Voo pairado com vento.

Antes de entrarmos no estudo do voo pairado com e sem vento, temos que entender como funciona uma força importante no entendimento do voo de helicóptero, que se chama **ARRASTO**.



O arrasto é uma força ou reação que tende a frear um corpo que se desloca no ar, ou seja, forma uma resistência ao avanço.

De acordo com Mankel (1997, p.44),

“o arrasto varia com o quadrado da velocidade aerodinâmica e atua sempre na mesma direção e sentido do **vento relativo**. Os mesmos fatores que fazem variar a sustentação agem da mesma forma no arrasto”.

Existem diversos tipos de arrasto. Vejamos alguns:

- **Arrasto induzido:** é a resistência útil relativa à sustentação, ou seja, é o trabalho que se despende para obter a sustentação. Sempre que se aumenta o ângulo de ataque de uma pá, o arrasto induzido ou efeito vórtice é aumentado.



É chamado de vórtice, por que causa um turbilhonamento na ponta da pá. O ar quando escoar numa asa, a pressão é maior no intradorso que no extradorso. Como resultado, o ar escapa do intradorso ao extradorso pela ponta da asa, formando um turbilhonamento. Esse turbilhonamento é o responsável pelo surgimento do arrasto induzido.

Vento relativo é a soma ou subtração do fluxo de ar criado pelo movimento das pás do helicóptero através do ar, mais a velocidade do ar gerada pelo deslocamento do helicóptero e o efeito vento. O sentido do vento relativo é oposto ao da velocidade aerodinâmica.

- **Arrasto do perfil:** é o resultado do atrito do ar sobre a superfície da pá.
- **Arrasto parasita:** é aquele que não contribui em nada para a sustentação ou tração do helicóptero.



Como exemplo, Mankel (1997, p.44) cita: "a fuselagem, o trem de pouso, as antenas, etc."

Eficácia do perfil: é a relação entre o coeficiente de sustentação e o coeficiente de arrasto. Mankel (1997, p.44) afirma que "a melhor razão de sustentação x arrasto, que é a capacidade de flutuação, é obtida operando em grandes ângulos."

De posse dessas informações, você poderá compreender melhor os conceitos a seguir.

Voo pairado com vento nulo

Em voo pairado com vento nulo, o rotor produz uma força para cima (F), e o ar por ele soprado para baixo, ao encontrar a fuselagem, produz um arrasto (DF). A força F , portanto, deve ser igual à soma do peso (W) com o arrasto (DF) para que se mantenha o voo pairado. Nessa situação de vento nulo, F é vertical, sendo consequentemente igual a L (sustentação), assim nos ensina Mankel (1997, p.45).



Figura 3.8 - Forças de sustentação do pairado sem vento
Fonte: Aviação PRF, 2011. Adaptada pelos autores.



Cargas externas, como malas, flutuadores, tambores entre outras, irão aumentar o arrasto da fuselagem. Por esse motivo, o piloto deverá ficar atento com o peso e balanceamento pelo perigo da presença do efeito pendular.



Procure saber mais sobre o efeito pendular.

Voo pairado com vento

De acordo com o Comandante Mankel (1997, p.46),

Num voo pairado com vento, a força F é inclinada, gerando duas componentes: a horizontal (tração) e a vertical (sustentação). Da mesma forma, o arrasto (D) também é inclinado, gerando uma componente horizontal e uma vertical. Nessa situação, a força F deverá anular com a tração a soma do vento relativo com a componente horizontal do arrasto, e com a sustentação, a soma do peso com o componente de arrasto.

Em linhas práticas, quando em voo pairado com vento, para que se mantenha a aeronave parada, devemos inclinar o disco rotor na direção contrária ao vento, assim anulando sua força. Isto é, se o vento vier de proa, incline o rotor para a proa, se vier lateral, incline para o lado que o vento vem. Abaixo você pode visualizar as forças que compõe o voo hoverado com vento.



Figura 3.9 - Forças de sustentação do pairado com vento
 Fonte: Aviação PRF, 2011. Adaptada pelos autores.

Então, vimos o voo pairado com e sem vento. No entanto, ainda existem duas peculiaridades em relação ao voo pairado que você precisa saber. Ele pode ser realizado dentro ou fora do “Efeito solo”.

De acordo com a definição do professor Rocha (2009, p.72), o **efeito solo** pode ser assim definido:

É a condição de voo pairado próximo ao solo em que o ar impulsionado pelas pás dos rotores, atingindo o solo, é defletido para fora e para cima, formando sob o rotor uma camada de ar mais densa (colchão de ar) e isto faz com que se desenvolva uma maior sustentação com menor dispêndio da força dos motores.

Esse tipo de voo, pairado dentro do efeito solo, sofre influência do tipo de solo sobre o qual se refletem o ar impulsionado pelas pás, sendo mais eficiente quanto mais duro e compacto for.



Se o pairado for sobre o capim, a sustentação ficará mais prejudicada do que se for sobre uma área acimentada.

Nos voos pairados dentro do efeito solo, os vórtices nas pontas do rotor são reduzidos, enquanto no pairado fora do efeito solo existem grandes vórtices nas pontas do rotor. Mais adiante você verá o que é e como se comporta o vórtice.



Esse efeito ocorre até uma altura de $\frac{1}{2}$ do diâmetro do disco rotor ou o comprimento de uma pá. A partir daí perde força.

O professor Rocha (2009) ainda ensina que dentro do efeito solo existe a possibilidade de a aeronave pairar a grandes altitudes, como por exemplo, em helipontos e montanhas.

O voo fora do efeito solo exige maior disponibilidade de potência do motor, pois o fluxo de ar produzido pelo rotor principal se dissipa e não auxilia na sustentação do helicóptero. Os manuais de voo de cada aeronave trazem a limitação de teto para o voo pairado fora do efeito solo.

Assim, concluímos que:

O voo pairado exige a igualdade de sustentação (L) e peso (W), obtida por uma ação sobre a alavanca do comando coletivo (uma ação com o coletivo de forma que a mudança de passo exigida seja somente a necessária para anular o peso da aeronave e garantir a sua sustentação). A compensação das forças parasitas é obtida pelo comando cíclico (compensação de vento, centragem da aeronave etc.).

Vieira e Serapião (2003, p.162), ilustram que

é aí que reside a arte da pilotagem em voo pairado, que exige do piloto adiantar-se a essas forças parasitas (especialmente o vento), agindo de forma quase contínua sobre o comando cíclico.

Potência necessária para o voo pairado

A potência ideal é a potência mínima necessária para o disco rotor produzir a força normal (FN) no voo pairado. De acordo com Cruz ([200-?], p.62),

desta forma, é a potência consumida apenas para acelerar o escoamento por meio do rotor, sendo denominada de potência induzida (P_i), que pode ser calculada considerando a energia dissipada pelo rotor no tempo.

A relação FN/A é chamada de carga do disco (CD). Assim, há necessidade de mais potência quanto maior for a carga do disco (CD). O professor Cruz [200-?] assinala que, desta maneira, durante os primórdios do desenvolvimento do helicóptero, quando havia várias limitações dos motores existentes quanto à potência gerada e ao seu peso, os projetistas procuravam minimizar a potência requerida com a diminuição da carga do disco, ou seja, aumentando a área do disco rotor. Com o aparecimento das turbinas mais leves, foi possível deixar de se preocupar tanto com os requisitos de baixa potência e dar mais ênfase ao “design” compacto com menor peso estrutural.



O que provê potência para acionamento do rotor principal via transmissão, é o motor da aeronave, o qual também aciona o rotor de cauda e os equipamentos acessórios, tais como os geradores elétricos e as bombas hidráulicas. A potência necessária para acionar esses equipamentos é chamada de potência de miscelânea, que, de acordo com Cruz [200-?], consome cerca de 15% da potência total.

A maior parte da potência é, portanto, fornecida no voo pairado ao rotor. Essa potência necessária no eixo do rotor (*PNR*) é dividida, em geral, da seguinte maneira:

- **potência induzida** (60% da *PNR*) – potência necessária para criar o fluxo de ar por meio do rotor;
- **potência de perfil** (30% da *PNR*)– potência necessária para vencer o torque causado pelas forças de arrasto de perfil das pás; e
- **perdas de potência** (10% da *PNR*)– devido a perdas na ponta da pá, arrasto vertical da fuselagem, rotação da esteira e não uniformidade da distribuição da velocidade induzida ao longo da pá (fenômenos que não são previstos pelas teorias da Quantidade-de-Movimento e do Elemento-de-Pá).

Uma indicação direta para o piloto da potência que está sendo desenvolvida é dada pelo torquímetro. Esse instrumento é, na verdade, um sistema medidor de pressão que sente a pressão do óleo em algum local conveniente do sistema de transmissão.

Desempenho máximo no voo pairado

O desempenho máximo de uma aeronave de asa rotativa é obtido quando a potência total necessária ao voo pairado, resultante da soma da potência necessária ao rotor com a de miscelânea, for igual à **potência** útil (P_u) ou máxima fornecida pelo motor. Sobre a potência disponível para o voo pairado, assim explica Vieira e Serapião (2003, p.182):

O desempenho no voo pairado depende da diferença entre a potência disponível e a necessária. Apesar da potência disponível não depender do peso da aeronave, certamente depende da densidade do ar, sendo quase que diretamente proporcional a esta. Portanto, para altas altitudes-densidades, a potência disponível é baixa e a potência necessária é elevada.

A *PU* é limitada, seja por um elemento mecânico da transmissão, seja pelo próprio motor. Assim é fácil notar que em helicópteros, na turbina, a potência útil diminui em altitudes mais elevadas e, principalmente, em temperaturas mais altas. Por outro lado, a potência total necessária, considerando as mesmas variações das condições ambientais, aumenta.

O desempenho máximo é representado por curvas em função dos principais parâmetros de voo, que são, em geral, o peso e a altitude-densidade, de modo que os elementos práticos determinados são, respectivamente, o peso máximo de decolagem e o teto.

Tais curvas estão presentes, por requisito de homologação, em qualquer manual de voo de helicóptero para várias condições de altitude, temperatura e regimes de potência (máxima contínua, intermediária de 30 minutos e de decolagem ou de emergência de 2 a 5 minutos). É justamente o mau uso delas que tem provocado acidentes por falta de potência para manter o pairado, especialmente em dias mais quentes.

Pesquise sobre a teoria da Quantidade de Movimento e a Teoria do Elemento de Pá e sua influência no voo pairado de helicóptero. Recomenda-se a consulta da seguinte referência:

VIEIRA, Boanerges; SERAPIÃO, Antônio Carlos.
Aerodinâmica de helicópteros. Rio de Janeiro:
Rio, 2003.

1.2 Voo vertical

O voo pairado é, na realidade, uma situação particular do voo vertical, quando a velocidade vertical (V_z) é nula. No caso dessa velocidade ser diferente de zero, com velocidade à frente nula, tem-se as subidas e descidas verticais, que é outra condição de voo característica do helicóptero, distinguindo-o das aeronaves de asas fixas.

O voo vertical pode ser ascendente ou descendente. Em qualquer um dos casos o voo vertical exige uma ação sobre a alavanca de passo coletivo.

Vamos assim ilustrar, tendo como base a Figura 3.10 abaixo:

- Aumento do passo, sustentação (F) aumenta e o helicóptero sobe. Então, $F > W$ (peso);
- Diminuição do passo, sustentação (F) diminui e o helicóptero desce. Então, $F < W$ (peso);



Figura 3.10 - Voo vertical
Fonte: Aviação PRF, 2011. Adaptada pelos autores.

Perceba que o arrasto (DF) que aumenta com a velocidade vertical VZ dá uma posição de equilíbrio (VZ é constante) quando há igualdade:

$F - W = DF$, no caso de voo ascendente, e

$F + DF = W$, no caso de voo descendente.

Para uma melhor compreensão do voo vertical e seus efeitos, vamos entender como afeta o helicóptero e seu voo os anéis de vórtice e posteriormente a potência que se faz necessária para a subida e a descida da aeronave.

Anéis de vórtice

Os pilotos devem estar atentos quanto ao fenômeno do “vortex”. Vortex é o turbilhonamento de ar nas pontas das pás, os quais

podem acarretar instabilidade do fluxo de ar sobre uma grande área do disco rotor.

De acordo com Vieira e Serapião (2003, p.194)

A partir de velocidades de descida maiores do que um quarto da velocidade induzida no voo pairado, o rotor começa a operar dentro de sua própria esteira de turbilhonamento e esse regime de voo provoca o perigoso fenômeno conhecido como Vortex.

Ensina-nos o professor Cruz [200-?] que descer na vertical ou com ângulos acentuados de rampa exige velocidades de descida lentas. Os valores limites de rampa de aproximação e de velocidades de descida para evitar a região de “vortex” são diferentes para cada tipo de helicóptero. Dado um helicóptero, esses valores variam com o peso e a altitude. Quanto menores o peso e a altitude-densidade, maior deve ser o cuidado por parte do piloto, pois os fenômenos do “vortex” acontecerão com velocidades de descida menores.



Cabe ainda ressaltar que a maioria dos manuais de vôo não traz qualquer tipo de informação sobre o assunto. Como referência, quando não estiver estabelecido no manual de vôo, utilizar a velocidade de descida de 300 ft/min como limite nas descidas verticais ou com grandes rampas (maiores que 60°).

No caso de entrada inadvertida na região de “vortex”, recomenda-se, o mais breve possível, o aumento da velocidade à frente, como meio mais efetivo de sair dessa situação perigosa.

O rotor de cauda também pode encontrar a região de “vortex” nas seguintes condições: giro à direita ou deslocamento lateral à esquerda (para os helicópteros que têm o rotor principal girando no sentido anti-horário, visto por cima). Se o rotor principal gira no sentido horário, as condições críticas são: giro à esquerda ou deslocamento à direita. Nesse caso, um sintoma comum é um aumento brusco na razão de guinada sem qualquer ação do piloto.

Potência necessária para subida e descida



A potência necessária em subida é dividida em duas partes: a potência necessária para criar a velocidade induzida (V_i) e a potência para criar a velocidade vertical (V_z).

Fazendo a analogia do helicóptero como um elevador, a potência para criar V_z seria a potência necessária ao voo pairado somada ao produto do peso do helicóptero com a razão de subida.

Entretanto, o fluxo adicional de ar, que passa pelo rotor devido à subida, auxilia na geração da velocidade induzida, ou seja, é como se o rotor tivesse sua tarefa de empurrar o ar para baixo facilitada pela velocidade do escoamento já existente.

Há ainda outros dois benefícios na subida que reduzem ainda mais a potência requerida. O primeiro é que os vórtices de ponta de uma pá ficam para baixo quando a outra pá passa, diminuindo a interferência e, conseqüentemente, as perdas da pá. O segundo é que o rotor de cauda sofre uma perturbação menor do rotor principal.

Deve-se notar, entretanto, que para subir qualquer helicóptero, é necessária uma potência maior em relação à do voo pairado. Esse acréscimo, porém, em baixas velocidades de subida (cerca de um quarto da velocidade induzida), chega a ser a metade do que se esperaria se o helicóptero fosse simplesmente um elevador.

Para razões de descidas suficientemente lentas, de modo que não se verifica a condição de “vortex”, a mesma relação é aplicável, ou seja, é requerida apenas a metade do decréscimo de energia potencial, à medida que a potência é reduzida. Obviamente, os outros dois efeitos benéficos em subida atrapalham na descida, de modo que a potência requerida pode ser um pouco maior do que a esperada.

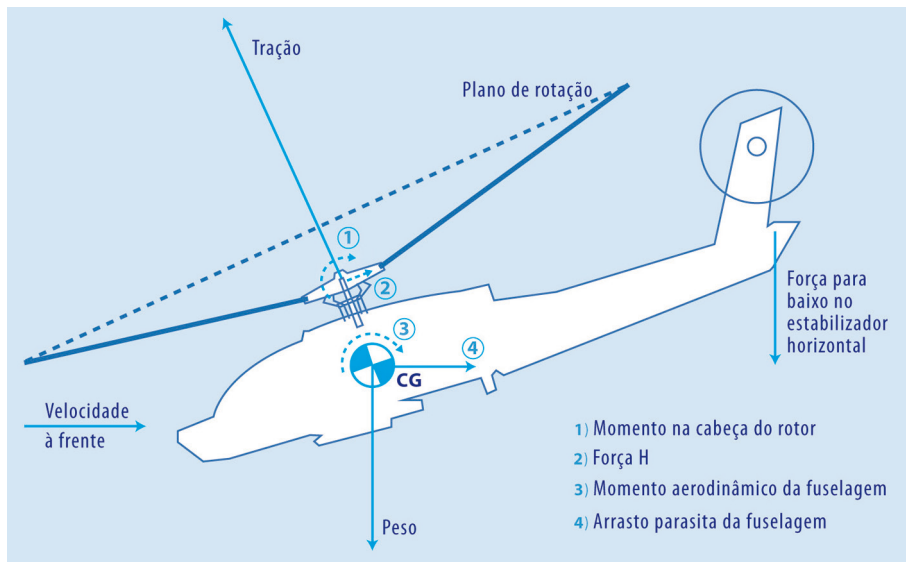
1.3 Voo à frente

A habilidade do helicóptero em **hoverar** e voar na vertical não seriam suficientes para seu sucesso, se ele não pudesse voar à frente.

Hoverar é uma definição muito antiga na aviação, bastante utilizada em manuais militares e deriva do verbo inglês "to hover", que significa pairar.

Equilíbrio da forças no voo nivelado

O equilíbrio longitudinal das forças e momentos aplicados no helicóptero, no voo nivelado à frente, é mostrado na Figura 3.11. No voo estabilizado, dentro do plano longitudinal, os somatórios de todas as forças verticais e horizontais e de todos os momentos de **arfagem** em torno do CG devem ser nulos.



Arfagem é o termo aeronáutico derivado da fraseologia náutica que significa o movimento de oscilação de um navio de proa à popa. No caso da fraseologia aeronáutica, é o movimento oscilatório de uma aeronave da cauda à proa.

Figura 3.11 - Equilíbrio longitudinal no voo nivelado à frente

Fonte: Cruz ([200-?], p.76). Adaptada pelos autores.

De acordo com Cruz ([200?],p.76),

A força horizontal primária é o arrasto parasita da aeronave, incluindo, com exceção das pás, todos os componentes do helicóptero tais como a fuselagem, a cabeça do rotor e o trem de pouso. Uma pequena força horizontal chamada Força *H* representa o arrasto de perfil das pás do rotor principal. Para sobrepujar estas forças horizontais, o rotor tem que ser inclinado ligeiramente para frente, variando de uma fração de grau em baixas velocidades até cerca de 10° na velocidade máxima.

Geralmente as pás do rotor são conectadas ao eixo por meio de articulações de batimento (ou por meio de uma estrutura flexível, como nos rotores tipo “hingeless” e “bearingless”), assim, o disco rotor não é necessariamente perpendicular ao eixo do mastro. O ângulo entre o disco rotor e o plano perpendicular ao mastro, que contém as articulações de batimento, é chamado de ângulo de basculamento longitudinal, cujo valor e direção têm influência sobre a atitude longitudinal do helicóptero.

De fato, a atitude longitudinal depende apenas do equilíbrio de todos os momentos de arfagem em torno do CG:

- **momento aerodinâmico da fuselagem** (arrasto parasita da fuselagem que não é aplicado no CG);
- **momento na cabeça do rotor principal** devido à excentricidade de batimento;
- **momento devido à força no estabilizador horizontal**; e
- **momento devido ao desalinhamento do eixo do mastro com relação ao CG** (depende da posição do CG, dianteiro ou traseiro).

Com relação ao momento na cabeça do rotor, sua magnitude depende da excentricidade de batimento e também da rigidez do rotor. Um rotor tipo gangorra, cuja única fonte de rigidez é a inclinação da tração, é chamado de “soft”, enquanto que um rotor sem articulação real ou virtual de batimento é chamado de “stiff”.



Então, em suma, para que possamos ter a atitude de voo à frente, o piloto deve atuar no comando cíclico, estabelecendo a direção e a magnitude certa do ângulo de basculamento longitudinal, a fim de manter o voo estabilizado. Uma vez estabilizada a condição de voo, resta saber qual a potência necessária.

Potência necessária no voo à frente

No voo à frente, a potência parasita se junta às potências induzidas, de perfil e de miscelânea, as quais já estudamos no voo pairado. A potência necessária do helicóptero em voo nivelado é dada pela soma das parcelas de potência necessária no eixo rotor (induzida, de perfil e parasita) e de miscelânea.

Seção 2 – Manobrabilidade, estabilidade estática e dinâmica

O helicóptero é naturalmente uma aeronave multifuncional. Por meio do comando cíclico, o piloto pode direcionar o disco rotor em qualquer direção, o que proporcionará um movimento. Esse movimento é multidirecional, sendo também usado para imprimir velocidade ou reduzi-la até zero, permanecendo a aeronave em voo pairado. Os pedais movimentam o rotor de cauda, o qual é responsável pela anulação do torque, a que a estrutura da aeronave está acometida, devido ao movimento do rotor principal, e proporcionam movimentos para ambos os lados, sobre o próprio eixo da aeronave. O comando coletivo, além de proporcionar o aumento de potência do motor quando acionado, movimenta a aeronave no sentido vertical, por meio da mudança de passo das pás do rotor principal. A esses movimentos, de forma sintética, atribuímos a manobrabilidade do helicóptero.

Relacionamos os movimentos do helicóptero também com estabilidade. O funcionamento em conjunto de todos os comandos e sistemas da aeronave proporcionam a essa uma estabilidade tanto estática quanto dinâmica, pois isso não acontece naturalmente.

Com isso, ao final pretendemos cumprir o objetivo, que é determinar os movimentos da aeronave em torno de seu centro de gravidade, os quais são representados pelo controle e estabilidade do helicóptero.

Na Seção anterior estudamos as características do voo de helicóptero, em situação de pairado, voo vertical e à frente. Esses movimentos sempre estão relacionados aos do centro de gravidade da aeronave. Agora, portanto, estudaremos os movimentos da aeronave em torno de seu centro de gravidade, que podem ser resumidos em controle e estabilidade do helicóptero.

2.1 Manobrabilidade

A manobrabilidade pode ser definida como a habilidade de uma aeronave de asa rotativa em mudar a direção do seu voo e até mesmo acelerar linearmente de acordo com o envelope de potência e energia disponíveis.

De acordo com o mestre Cruz [200-?, p.92],

Tradicionalmente, os helicópteros não tinham a necessidade de altos graus de manobrabilidade para cumprir as suas missões normais; porém, o evento do helicóptero armado tem dado ênfase sobre este aspecto de voo. Como consequência, até mesmo os helicópteros leves de observação ou ainda os de emprego geral estão sendo solicitados a possuírem requisitos de manobrabilidade cada vez mais rigorosos.

A capacidade de manobrar rapidamente por si só não é suficiente para definir completamente o conceito de aeronave manobrável, pois na maioria dos casos essa qualidade inerente deve ser feita com precisão. Assim, de forma mais clara, o piloto de helicóptero deve ter em mão um equipamento que possibilite seu direcionamento para onde ele quiser, com a precisão que a manobra requerer.

Para definir a manobrabilidade do helicóptero, devemos considerar três parâmetros muito importantes, que são:

- **margem de potência disponível do motor**, a qual pode ser usada para subir, acelerar longitudinalmente ou mesmo para manter e sustentar uma determinada velocidade durante uma curva;

- **margem de sustentação do motor**, a fim de que não se excedam os ângulos de ataque das pás, a tal ponto que possam causar estol do conjunto rotativo;
- **momento de controle em rolamento, arfagem e guinada.**

Momentos de Controle

De acordo com o professor Cruz [200-?], momentos de controle são os momentos gerados em torno do C.G. da aeronave, pela ação das forças provenientes dos comandos de voo. O produto dessas forças pelo braço (perpendicular) que interliga o ponto de aplicação dessas forças ao C.G. da aeronave determina tais momentos (o sentido desses movimentos são os de rolamento, guinada e arfagem, relacionados aos eixos lateral, longitudinal e vertical da aeronave, já estudados).

Potência não é nada sem controle.

O momento de controle longitudinal, cujo sentido positivo é para a direita da aeronave, corresponde ao momento gerado pela sustentação do rotor em torno do eixo lateral, ou seja, perpendicular ao plano de simetria da aeronave.

O momento de controle lateral, por sua vez, é aquele gerado pela força desenvolvida pelo rotor em torno do eixo longitudinal (que está situado no plano de simetria) e tem sentido positivo para frente.

Os helicópteros com articulação centrada (rotor semirrígido, tipo gangorra) como o Bell 206 “JetRanger” e o Bell 205 “HUEY”, obtêm os momentos de controle longitudinal e lateral apenas pela inclinação da força desenvolvida pelo rotor.

Muitos outros helicópteros, entretanto, têm sua articulação de batimento deslocada do centro do rotor, isto é, possuem excentricidade de batimento. Nesses rotores, como o HB 350 Esquilo e o Westland Lynx, a força centrífuga, aplicada sobre as pás inclinadas em sua conicidade, atua sobre as articulações de batimento para produzirem um significativo momento de controle no cubo do rotor (Figura 3.12).

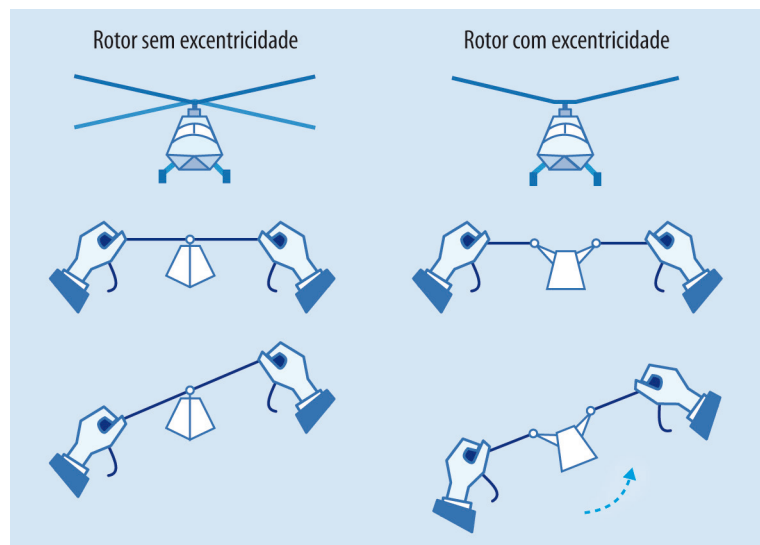


Figura 3.12 - Rotor com e sem excentricidade
 Fonte: Cruz ([200-?], p.93). Adaptada pelos autores.

Uma vez que as forças centrífugas equivalem à cerca de dez vezes a força de sustentação gerada pelo rotor, um acréscimo significativo no momento de controle pode ser obtido com este artifício.



Um fato que deve ser ressaltado é que os rotors com excentricidade possuem momento de controle independente da condição de sustentação, uma vez que a força centrífuga atuante sobre as pás independe desta condição. Isto não é aplicável aos rotors semirrígidos, pois o momento de controle é diretamente proporcional à sustentação do rotor. Além disso, os helicópteros sem excentricidade necessitam que o mastro do rotor seja mais longo em relação aos dotados de excentricidade a fim de obter uma margem de controle satisfatória, o que penaliza seu desempenho no voo à frente (aumento do arrasto parasita). Isso também é válido para as configurações em que a excentricidade de batimento é muito pequena, como é o caso do Robinson R-22 Beta.

O momento de controle em guinada tem sentido positivo para baixo da aeronave e corresponde ao momento gerado pela força normal do rotor de cauda em torno do eixo vertical, situado no plano de simetria.

O controle do rotor de cauda é efetuado exclusivamente pelo passo coletivo das pás, quando comandado pelo deslocamento dos pedais, controlando, assim, o empuxo e, por conseguinte, o momento de guinada.

Requisitos de aeronavegabilidade:

Os requisitos civis de controlabilidade e manobrabilidade são descritos no parágrafo 143 do “Federal Aviation Regulation” (FAR), capítulos 27 e 29. Basicamente, deve ser demonstrado que o helicóptero possui margem de comando suficiente nas condições mais críticas de velocidade, peso, CG e regime de potência.

Um critério adotado é uma margem de 10% antes dos batentes físicos dos comandos, quando em condições de voo mais críticas, é geralmente aceita nos requisitos de manobrabilidade. O detalhe é que esses requisitos poderão restringir o envelope de voo da aeronave.



Tomemos como exemplo a descrição feita pelo professor Cruz [200-?], levando em consideração as características de uma aeronave MD-900 Explorer. No manual de voo do MD-900 “Explorer”, para altitudes densidade superiores a 5000 ft, há uma limitação de vento lateral de 17 kt entre os azimutes (ângulos começando a contar do nariz da aeronave no sentido horário) de 80° e 190°, sendo que, entre os azimutes de 120° e 135°, a limitação cai para 15 kt. Essa restrição surgiu pelo não cumprimento do item c do parágrafo 143, que exige uma margem de pedal para um valor mínimo de 17 kt de vento em todas os azimutes e no peso máximo do helicóptero. Vale ressaltar, inclusive, que o fabricante buscou minimizar este problema, estabelecendo regimes de rotação diferentes para o voo em cruzeiro e para velocidades menores que 47 kt. Neste último caso, aumenta-se a rotação, reduzindo o torque necessário para a mesma potência (requerida) e, conseqüentemente, exige-se uma menor aplicação de pedal, aumentando-se, dessa maneira, a margem de comando nos azimutes críticos.

As aeronaves que cumprem esse requisito, por sua vez, apresentam o envelope de vento da aeronave na seção de desempenho (e não na seção de limitações), que estabelece os valores de vento autorizados (a que podem ficar sujeitas) para a decolagem.

2.2 Estabilidade

O termo estabilidade é usado para descrever o comportamento de uma aeronave após essa ter sido perturbada a partir de uma condição de equilíbrio. Um corpo pode estar em equilíbrio ESTÁVEL, INSTÁVEL ou INDIFERENTE.

O equilíbrio dos corpos poderá ser estudado sob o aspecto ESTÁTICO ou DINÂMICO.

2.2.1 Estabilidade estática

Usando a definição de Saunders (1985, p.155), “a estabilidade estática de um helicóptero é definida pela direção e intensidade da tendência inicial de retorno à posição de equilíbrio, quando levado para fora desta situação por uma perturbação qualquer.”



Se um helicóptero deslocando-se para frente e em equilíbrio é atingido por uma inesperada rajada de vento ascendente, o ângulo de ataque de cada seção da pá aumenta. O ângulo de ataque para o disco rotor como um todo também aumenta, devido à corrente ascendente.

A estabilidade estática da aeronave, com relação ao ângulo de ataque, é determinada pelo seu comportamento inicial quanto à arfagem, em resposta ao aumento repentino no ângulo de ataque. Se a aeronave arfar inicialmente para baixo (isto é, se forem criados momentos picadores em resposta a perturbação), o ângulo de ataque retornará em direção ao seu valor inicial de equilíbrio. A esse comportamento chama-se de **estaticamente estável**, ou diz-se que a aeronave apresenta uma estabilidade estática positiva em relação ao ângulo de ataque. Se a aeronave arfar para cima,

aumentando ainda mais o ângulo de ataque, fica evidente uma **estabilidade estática negativa (comportamento instável)**. O momento de arfagem inicial zero é chamado de **estabilidade estática neutra**. A estabilidade é sempre discutida em relação a uma única variável. No exemplo acima, a variável é o ângulo de ataque. Podem existir diferentes tipos de estabilidade em relação a diferentes variáveis.



Um determinado helicóptero pode apresentar uma estabilidade estática negativa em relação ao ângulo de ataque, mas positiva em relação à velocidade, por exemplo. A estabilidade pode também ser discutida em relação aos movimentos em torno de quaisquer dos eixos da aeronave.

Outro exemplo:

É comum discutir-se a estabilidade direcional do helicóptero em termos do que ocorre com a aeronave em relação à proa, após um distúrbio no ângulo de derrapagem.

A fim de complementar a visão do exposto, citamos a observação do professor Saunders (1985, p.159),

Há uma contradição importante entre estabilidade e controlabilidade, uma vez que uma adequada controlabilidade não coexiste necessariamente com uma adequada estabilidade. Na verdade, um alto grau de estabilidade pode tender a reduzir a controlabilidade da aeronave.

2.2.2 Estabilidade dinâmica

Define-se estabilidade dinâmica como a resposta temporal da aeronave, após a sua reação inicial, a uma perturbação da condição de voo estabilizada sem que haja interferência do piloto.

O termo "estática" é aplicado em estabilidade estática, uma vez que o movimento resultante não é considerado. Apenas a tendência inicial de retorno às condições de equilíbrio é considerada na estabilidade estática, conforme nos ensina Saunders (1985).

Como toda aeronave é **estaticamente** estável, ela tenta voltar à posição original, porém, no decorrer do tempo ela oscila.

Se as oscilações permanecerem na mesma amplitude (não aumentar nem diminuir), dizemos que é dinamicamente indiferente (ou neutra).

Se as oscilações aumentarem com o passar do tempo, dizemos que é dinamicamente instável.

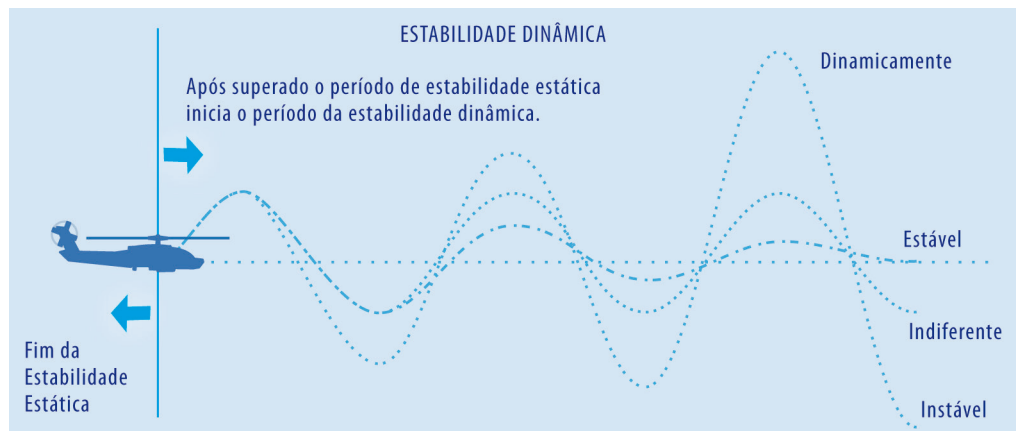


Figura 3.13 - Estabilidade dinâmica
 Fonte: Rocha (2009, p.94). Adaptada pelos autores.

Estabilidade nos três planos de movimento:

- Eixo longitudinal, Eixo X, Estabilidade lateral;
- Eixo lateral, Eixo Y, Estabilidade longitudinal;
- Eixo vertical, Eixo Z, Estabilidade direcional.

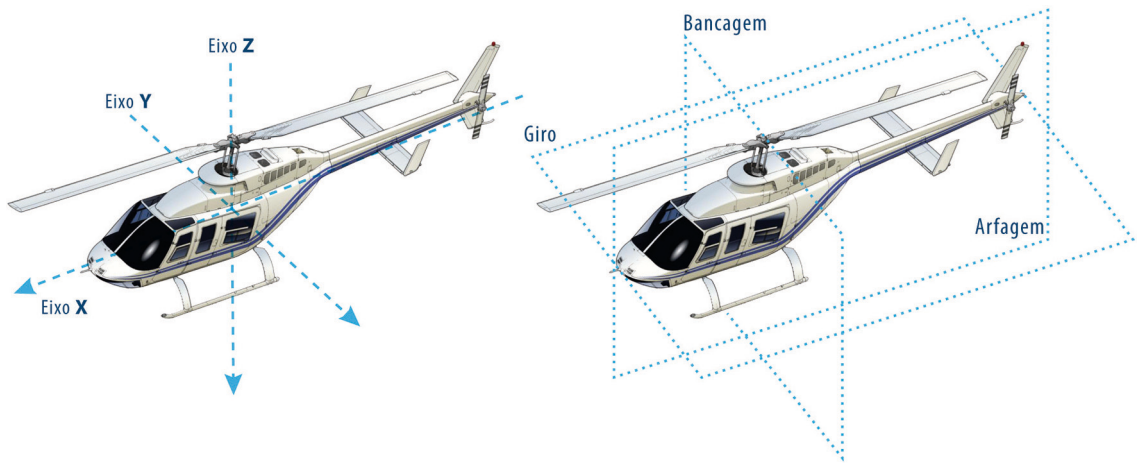


Figura 3.14 - Planos de movimento
 Fonte: Rocha (2009, p.95). Adaptada pelos autores.

O professor Rocha (2009) nos ensina que a estabilidade estática e dinâmica é aplicada a cada plano de movimento de um helicóptero. Então, a aeronave ideal deveria ser estática e dinamicamente estável no rolamento, na arfagem e na guinada.

Passaremos agora a estudar as descrições do que ocorre.

2.2.3 Estabilidade longitudinal



Figura 3.15 - Estabilidade longitudinal
 Fonte: Rocha (2009, p.95). Adaptada pelos autores.

A estabilidade longitudinal é feita por meio do eixo lateral, quando o plano faz o movimento de arfagem (picar e cabrar).

Em um voo pairado, a aeronave é estaticamente estável, mas dinamicamente instável.

No voo pairado, quando a aeronave é atingida por uma rajada de vento de frente, causa uma inclinação do disco rotor na direção do vento (para trás), e a aeronave desloca para trás. Enquanto ela desloca, um vento no sentido contrário (de trás para frente) sopra, e o disco inclina-se para frente. Mas a inércia que leva a fuselagem para trás continua agindo por alguns instantes, após o término da rajada de vento que causou a desestabilização.

Depois o inverso acontece, a aeronave volta a deslocar para frente devido à inclinação do disco, e um vento de frente surge inclinando o disco rotor para trás, novamente trazendo a fuselagem para trás após alguns segundos. Isso faz com que as oscilações sejam contínuas e maiores com o passar do tempo, mostrando claramente uma instabilidade dinâmica, ou seja, efeito pendular por meio do eixo lateral, de acordo com Rocha (2009).



Podemos afirmar que os helicópteros são estaticamente estáveis e dinamicamente instáveis no plano longitudinal.

Os estabilizadores horizontais instalados no cone de cauda ou na parte traseira da aeronave são para ajudar na estabilidade longitudinal. Sua principal função é prevenir o movimento de arfagem quando o helicóptero se depara com rajadas de vento que inclinam o disco rotor para trás.

De acordo com Rocha (2009, p.96),

uma rajada de frente durante um voo reto e nivelado causa a inclinação da aeronave para trás, esta inclinação resulta num aumento do ângulo de ataque do estabilizador criando uma grande sustentação na parte traseira da aeronave, fazendo com que o nariz baixe, trazendo-a para a posição original.

Os estabilizadores funcionam bem nos voos à frente, mas quando em voo para trás eles funcionam com efeito contrário, desestabilizando a aeronave. Por isso, os deslocamentos à ré devem ser feitos sempre com cuidado e em baixa velocidade.

A título de informação, existem ainda estabilizadores sincronizados e sintéticos. O primeiro não é rígido à fuselagem,

mudam de ângulo de ataque de forma sincronizada com o cíclico, sendo eficientes em várias velocidades, diferindo do estabilizador fixo, que possui ângulo de ataque determinado para certa velocidade de cruzeiro. O segundo também é empregado em helicópteros modernos e utiliza uma estabilização eletrônica, possuindo pilotos automáticos, que usam como referência giroscópios e atuam nos sistemas de controle da aeronave, como descreve Rocha (2009).

2.2.4 Estabilidade lateral

A estabilidade lateral é promovida por meio do eixo longitudinal, quando o plano faz o movimento de rolamento ou arfagem. A estabilidade deste plano é semelhante aos princípios descritos na estabilidade longitudinal.



Os helicópteros são estaticamente estáveis e dinamicamente instáveis no plano lateral.

2.2.5 Estabilidade direcional

É a estabilidade da aeronave por meio do seu eixo vertical, onde o plano faz o movimento de guinada ou giro.



Num voo pairado, os helicópteros são estaticamente estáveis e dinamicamente instáveis.

Assim, corroborando os ensinamentos de Rocha (2009) e Saunders (1985), podemos afirmar que se um helicóptero com rotor principal que gira no sentido anti-horário for atingido por uma rajada de vento da direita, irá se mover para a esquerda e ao mesmo tempo girar para a direita. Esta rajada diminui o ângulo de ataque das pás, reduzindo a tração produzida pelo rotor de cauda. Quando a rajada termina, o helicóptero continua deslocando para a esquerda, devido à inércia produzida naquele momento. O vento que atinge o rotor de cauda reduz

rapidamente, o ângulo de ataque aumenta e mais tração é produzida, fazendo a aeronave guinar para a esquerda.



Essas guinadas para a direita e para a esquerda repetem-se sozinhas com aumento de amplitude, demonstrando que o helicóptero é dinamicamente instável. A mesma situação ocorre quando a aeronave é atingida com rajadas pela esquerda durante os voos pairados.

Quando tratamos de um voo reto e nivelado, o helicóptero se torna estaticamente e dinamicamente estável acima de certa velocidade.

O vento relativo durante o voo fornece força suficiente para manter a fuselagem e o rotor de cauda alinhados a esse vento e a empenagem produz força lateral, funcionando como uma asa na vertical, produzindo uma força de equilíbrio. Caso alguma rajada tente desequilibrar a aeronave, essas forças irão sobrepor e farão a aeronave retomar o voo normal.

Assim, finalizamos essa seção, concluindo que todas as aeronaves devem ser estaticamente estáveis, ou seja, devem ter a tendência de retornar à condição original de voo e dinamicamente podem ser, estáveis, indiferentes (neutras) e instáveis. Assim sendo, propiciam ao piloto tempo suficiente para atuar nos comandos e retomar um voo normal.

Seção 3 – Pane do motor e voo em autorrotação

O voo do helicóptero é considerado uma das atividades mais seguras do mundo. Você estudou muitas peculiaridades relativas ao voo, como seus sistemas e seu funcionamento e o comportamento do helicóptero quando em voo. Ao fazermos uma breve comparação com o voo do avião monomotor, um helicóptero monomotor tem uma maior chance de efetuar um pouso em segurança, e esse talvez seja uma das principais

discussões envolvendo a comparação entre ambos. Porém, essa manobra não acontece naturalmente ou automaticamente, muito pelo contrário, requer uma grande carga de trabalho, conhecimento e perícia do piloto para pousar a aeronave sem causar danos materiais e às pessoas, tanto ocupantes do helicóptero quanto eventuais cidadãos que estarão, sem cautela, próximos ou no local de pouso.

Agora vamos estudar, dentro de que se chama em aviação de “Emergências”, aquela em que se exige do piloto o corte do motor e voo em manobra autorrotativa.



O que podemos entender como “Emergência”?

É toda situação em que ocorra falha ou mau funcionamento de algum sistema importante da aeronave que afete a segurança operacional ou ainda que indisponibilize ou impeça voo. Pode ser causada por fatores intrínsecos ao material empregado nos sistemas da aeronave, combustível (contaminação, falta ou combustível errado) ou causado por danos externos, tais como colisão com pássaros, ingestão de material pela turbina, entre outros. Normalmente é percebida pelo piloto por meio de luzes no painel de alarmes ou pelo alarme sonoro.

Ainda a respeito de emergências, é sabido que os fabricantes descrevem em seus manuais de voo as situações de incidentes clássicos. Porém, nas ações a serem executadas, para cada incidente particular deve-se considerar a situação como um todo.

Assim define o Manual de instrução para pilotos THP 350 B2, da Helibrás (2002, Seção 3.1, p.1):

Nesta seção, as expressões “Pousar imediatamente”, “Pousar Assim que Possível” e “Encurtar o Voo” são empregadas de acordo com o grau de urgência, devendo ser interpretadas da seguinte forma:

» Pousar (ou amerrissar) imediatamente;

- » Pousar assim que possível: pousar no local mais próximo onde se possa efetuar um pouso em segurança;
- » Encurtar o voo: não é recomendado um voo prolongado. O pouso e a duração do voo dependem do piloto.

Portanto, a emergência pode ocorrer de diversas formas. Com exceção da pane de rotor de cauda, a entrada em autorrotação é, sem dúvida, a mais crítica. Se tomarmos como exemplo uma aeronave modelo HB 350 Esquilo, em duas situações entraremos em autorrotação: Apagamento do motor em voo sem possibilidade de reacendimento e fogo no motor.

A partir de agora estudaremos nesta Seção os principais conceitos relacionados ao voo em autorrotação e a falta repentina do motor em voo nos helicópteros.

3.1 Autorrotação

Estamos interessados com o que acontece a um helicóptero, após uma perda de potência de motor, por um motivo qualquer, e com as opções do piloto para que realize uma descida e pouso com segurança.



Autorrotação é a manobra que os pilotos de helicóptero têm de fazer em caso de parada de seus motores, permitindo que se faça um pouso de emergência. Existe também a possibilidade de falha do rotor de cauda. Nesse caso, salvo determinadas peculiaridades de algumas aeronaves, até mesmo uma aeronave bimotora será forçada a um pouso em autorrotação. Durante essa manobra, os rotores permanecem girando no mesmo sentido, permitido pelo componente mecânico chamado **roda livre** e pelas forças geradas pelo vento relativo, que passa pelo rotor principal durante a descida, conforme nos ensina o Comandante Rocha (2009).

Segundo Saunders (1985), a autorrotação é composta de três fases, as quais serão descritas e discutidas separadamente, quais sejam: **a descida uniforme, arredondamento e toque no solo** (Figura 3.16).

Durante a execução da manobra, o helicóptero pode ser controlado normalmente, fazendo curvas, aplicando os pedais e atuando no coletivo, de acordo com o necessário, mas sempre em voo descendente, e ao aproximar-se do solo, executa-se uma manobra chamada de *flare*, com o comando cíclico, o que faz com que a aeronave perca velocidade e razão de descida, acumulando rotação suficiente para o pouso.

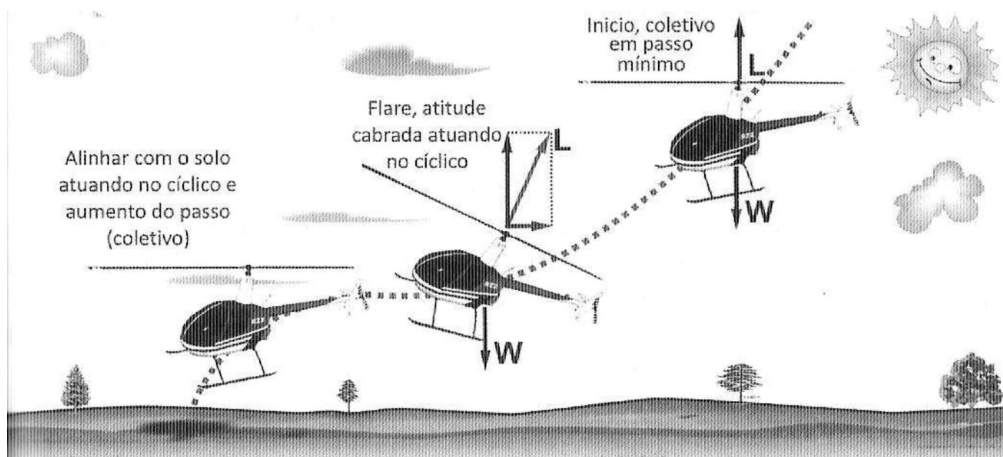


Figura 3.16 - Fases da autorrotação
 Fonte: Rocha (2009, p.85).

Entrada em autorrotação:

Falhas no procedimento do piloto para realizar uma boa entrada em autorrotação, após a parada do motor, têm sido uma das principais causas de acidentes com helicópteros.

A chave para o sucesso na entrada em autorrotação é não permitir que a rotação do rotor caia abaixo dos limites permitidos. Se a rotação do rotor cair além desses limites, o rotor pode “**estolar**” e ter uma parada fatal. Antes de atingir este ponto de irreversibilidade, outras consequências desagradáveis, como perda do gerador e da pressão hidráulica, podem ocorrer, e o mais grave, haverá a perda do rotor de cauda de forma concomitante.

Estolar, termo aeronáutico derivado da palavra “estol”, significa entrar a aeronave em velocidade na qual perde a sustentação.

De acordo com Saunders (1985), a razão de queda da rotação é diretamente proporcional ao torque aplicado e inversamente proporcional ao momento de inércia (2ª Lei de Newton aplicada ao sistema rotacional). O momento de inércia, por sua vez, é determinado pela massa do sistema e pela forma como essa é distribuída radialmente, de acordo com a equação a seguir:

$$I = \sum mr^2 ,$$

onde I é o momento de inércia,

m é a massa, e

r é a distância radial do centro de rotação à massa correspondente.



Se tomarmos como exemplo uma dada massa distante 6 m do centro de rotação, ela será quatro vezes mais eficiente, em termos de inércia rotacional, do que essa mesma massa a 3 m. Assim, a inércia do rotor é um parâmetro que o projetista pode controlar, existindo “rotores de elevada inércia” e “rotores de baixa inércia”.

Explica ainda Saunders (1985, p.205) que

do ponto de vista da diminuição da razão de queda de rotação do rotor após uma perda de potência, é preferível uma inércia rotacional elevada. Entretanto, em termos de aumento de rotação durante o arredondamento (“flare”) antes do toque, o oposto é verdadeiro.

As principais causas da queda de rotação do rotor são passo coletivo e torque correspondente elevados. Dessa maneira, a condição de voo na qual ocorre a perda de potência, também afetará a razão de queda de rotação (Ω). De fato, uma pane de motor em situações de alta potência (passo coletivo elevado) resultará em uma razão de queda de rotação maior do que em situações de voo em descida (baixa potência).

A maneira de parar a queda de rotação (Ω) é reduzir rapidamente a demanda de potência necessária ao rotor, por meio do abaixamento do comando coletivo (redução do passo coletivo para mínimo).



Esse procedimento resulta em uma perda da sustentação do rotor, porém, cria um deslocamento de ar no rotor de baixo para cima – primeiro pré-requisito para uma autorrotação. Assim, a perda de altitude (energia potencial) se transforma em energia cinética rotacional para o rotor.

Em situações de altas velocidades à frente, existe um procedimento alternativo no caso de perda de potência, pois, nessa condição, o piloto tem a vantagem da energia cinética associada à velocidade à frente. Por meio de uma manobra denominada “flare”, o piloto consegue tirar proveito dessa energia, atuando no comando cíclico (no sentido a cabrar), antes de abaixar o comando coletivo. Esse procedimento reduz o torque desacelerador no rotor e mantém a sustentação e a altitude até que o helicóptero atinja a velocidade recomendada de autorrotação, a qual é prevista no manual de voo da aeronave. Nessa velocidade, o coletivo é reduzido para garantir a manutenção da rotação (Ω).



Lembre-se: rotação perdida sem motor nunca mais será recuperada.

Autorrotação uniforme ou estabilizada

Usando os ensinamentos de Saunders (1985), haverá uma autorrotação estabilizada ou uniforme quando o torque sobre o rotor for igual a zero, resultando em uma rotação constante, apesar de o motor desenvolver uma potência nula. Nessa condição, o rotor desenvolve sustentação igual ao peso e a aeronave desce com velocidade constante.

A fonte de energia para criar esta sustentação é a perda de energia potencial.

No voo com potência, o comandante Mankel (1997) explica que o rotor desenvolve a tração e sustentação necessárias ao voo. Ao verificarmos a Figura 3.17, podemos ver que a sustentação (L) é sempre perpendicular ao vento relativo (VR). O arrasto (D), por sua vez é sempre paralelo ao vento relativo (VR). A resultante (R) estará situada um pouco atrás da linha vertical imaginária que passa pelo centro de pressão (CP), tendendo a diminuir a rotação das pás, pelo surgimento da componente horizontal AA (Força Anti auto-rotativa). No entanto, no voo com potência, a força antiautorrotativa é anulada pela tração (B) – Força do motor, prevalecendo, assim, a Lei da Inércia.

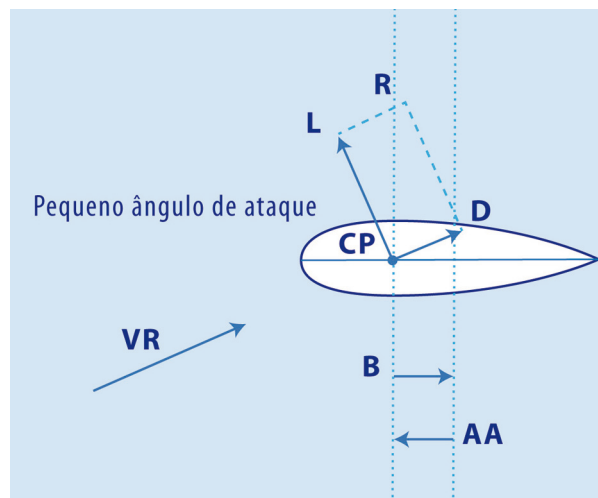


Figura 3.17 - Perfil em voo com potência
 Fonte: Mankel (1997, p.99). Adaptada pelos autores.

De acordo com Mankel (197, p.100),

se mantivermos o mesmo passo das pás, em caso de falha do motor, o ar mudando a direção de seu fluxo, agora de baixo para cima, formará um grande ângulo de ataque. A resultante (R) cairá bem para trás da vertical, fazendo aumentar sua componente horizontal AA (Força Antiautorrotativa) que forçará a diminuição progressiva da rotação das pás.

Quando ocorrer a falha do motor em voo, ocasionando o sintoma de baixa RPM, se de imediato o passo coletivo for colocado em mínimo, o ângulo de ataque, que ainda será grande, será reduzido e forçará a queda da resultante (R) para frente da vertical (Figura 3.17). Surgirá então a componente horizontal A (força autorrotativa) (A), que pela ação da inércia (já citado anteriormente) manterá a rotação das pás. Entretanto, a força autorrotativa (A) atua somente nos 2/3 internos do disco rotor. O 1/3 externo, estando animado por maior velocidade tangencial, terá maior arrasto e, conseqüentemente, forçará a queda da resultante (R) para trás da vertical, fazendo surgir novamente a força antiautorrotativa (AA).



Estas duas forças citadas, "A" e "AA" devem se equilibrar para que as pás permaneçam girando em autorrotação (Figura 3.18).

O comandante Mankel (1997, p.101) cita que “cada helicóptero possui uma rotação ideal, na qual as forças se equilibram, e as pás permanecem girando em velocidade constante.”

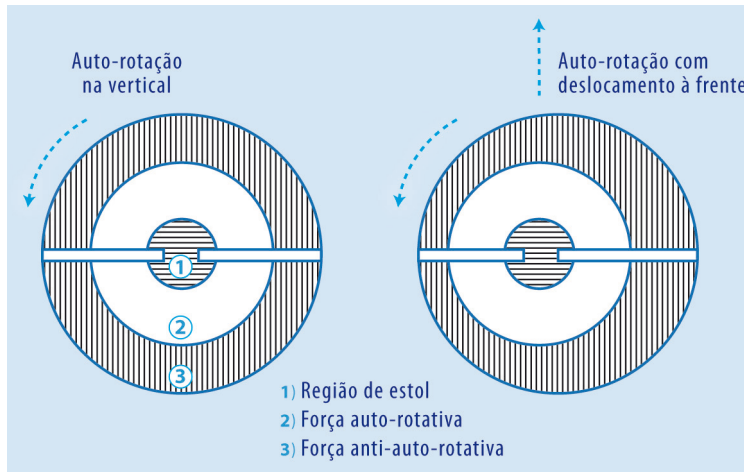


Figura 3.18 - Forças autorrotativa e antiautorrotativa
 Fonte: Mankel (1997, p.101). Adaptada pelos autores.

Arredondamento e pouso

O professor Saunders (1985, p.217) cita que

uma autorrotação bem sucedida termina com uma transformação cuidadosamente cronometrada de energia cinética rotacional, cinética e potencial de modo que seja atingida uma condição de velocidade o mais próximo possível de zero, ao instante do toque... que cada autorrotação que você vença é um sucesso.

Uma manobra particular denominada “flare” (Figura 3.19) permite a transformação de parte da energia de translação do helicóptero em energia cinética rotacional para o rotor. O procedimento consiste em cabrar o helicóptero, ao fim da descida em voo oblíquo, a certa altura do solo, a fim de reduzir a velocidade de translação.

Essa manobra resulta em um aumento coletivo do ângulo de ataque das pás e, conseqüentemente, em uma elevação na rotação do rotor. Assim, pode-se conferir ao rotor uma maior capacidade de sustentação para, ao final da manobra, após nivelar a aeronave com cíclico à frente, possibilitar ao piloto amortecer o toque no solo por meio do aumento do passo coletivo.

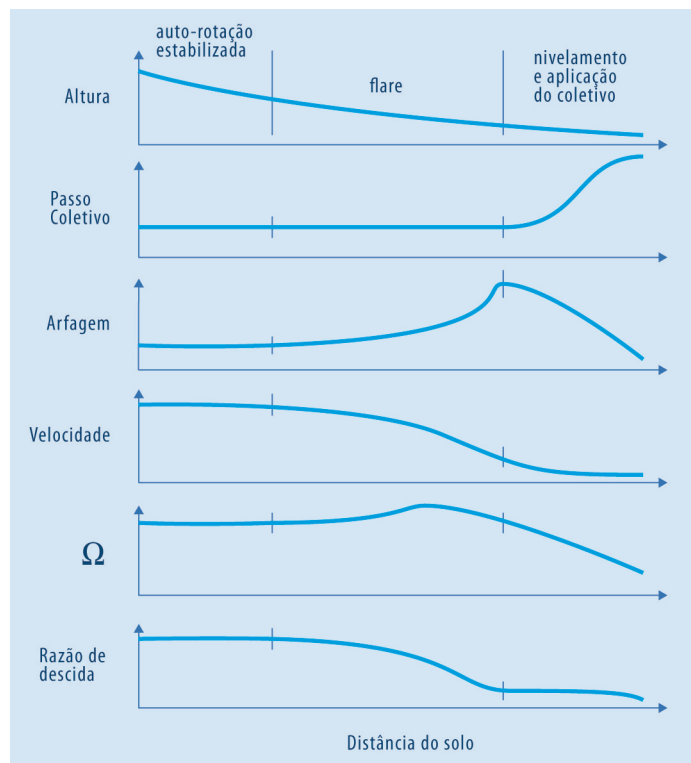


Figura 3.19 - "Flare" idealizado

Fonte: Cruz ([200-?], p.150). Adaptada pelos autores.

É notório que o sucesso de um pouso após a pane do motor depende da precisão no tempo de ação por parte do piloto. Essa precisão pode e deve ser melhorada por meio de treinamento, em que a manete de potência é reduzida de forma que o motor seja desengrazado, mas correndo o risco de não haver tempo suficiente de engrazá-lo quando as ações do piloto não corresponderem aos procedimentos corretos e precisos. Atualmente, apenas algumas escolas especializadas em treinamentos de emergências fazem autorrotação com motor desengrazado.

Por fim, com o intuito de ilustrar como os manuais de voo tratam os procedimentos de autorrotação, vamos utilizar o exemplo do Manual de Voo do HB 350 B2, da Helibrás, o qual traz, em sua Seção 3.1 – PROCEDIMENTOS DE EMERGÊNCIA, página 1, ÍTEM 2, os procedimentos de pouso em autorrotação após pane do motor:



POUSO EM AUTO-ROTAÇÃO

2.1 Procedimento de pouso em autorrotação após pane do motor

- Reduzir o passo coletivo.
- Observar e controlar a rotação do rotor.
- Manter uma velocidade de aproximadamente 65 kt (120 km/h).
- Posicionar a manete de vazão no entalhe "CORTE".
- Dependendo da causa da pane do motor:
- Reacender o motor (consultar § 3.2 desta seção);
- Caso contrário: Fechar a válvula de corte de combustível.

Desligar: - as bombas de combustível.

- o gerador.
- o alternador (se instalado).
- a chave geral (se houver cheiro de fumaça).
- Manobrar para aproar o vento na aproximação final;
- Numa altura de aproximadamente 65 ft (20 m) acima do solo, iniciar arredondamento ("flare");
- Numa altura de 20 a 25 ft (6 a 8 m) em altitude constante, aplicar progressivamente o passo coletivo, a fim de reduzir a razão de descida.
- Antes de tocar o solo, nivelar a aeronave e manter a proa alinhada.
- Reduzir lentamente o coletivo após tocar o solo.

Com a descrição dos procedimentos supracitados, podemos notar a preocupação do fabricante em detalhar o que deve ser feito pelo piloto após uma pane de motor e entrada em autorrotação. Porém, nunca é demais repetir que teoria sem treinamento e prática, em aviação, não funciona.

Diagrama altura-velocidade (Curva do Homem Morto)

A finalidade do diagrama altura-velocidade ($H-V$) ou “Curva do Homem Morto” é mostrar as combinações de altura e velocidade à frente do helicóptero nas quais o fabricante não garante a realização de um pouso seguro, após uma pane repentina do motor.

Sua obtenção é obrigatória em todas as condições de peso e de altitude-densidade do envelope aprovado para decolagem e pouso, conforme estabelecido nos parágrafos 79 e 87 do FAR 27 e 29, respectivamente, para helicópteros categoria normal e transporte. A Figura 3.20 apresenta um diagrama $H-V$ típico, encontrado nos manuais de voo. Nela se observam duas áreas a evitar, conhecidas como áreas de alta e de baixa velocidade. A de baixa velocidade, por sua vez, subdivide-se nos setores 1 a 2 e 2 a 3 denominadas, respectivamente, de limite superior e inferior.

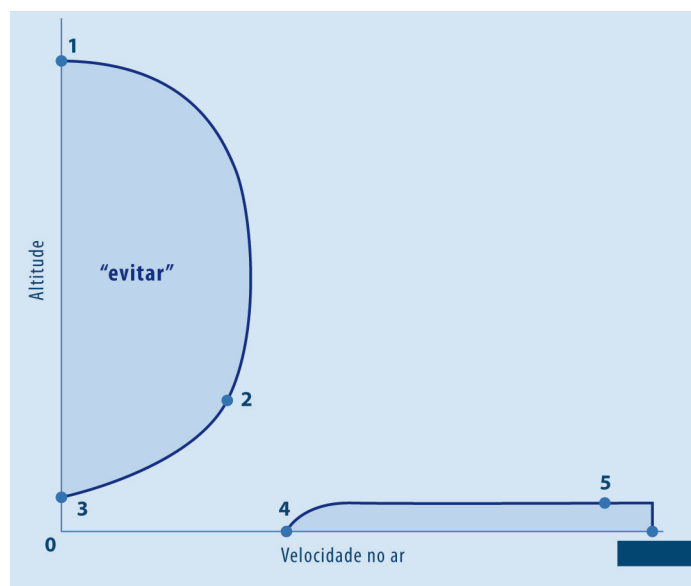


Figura 3.20 - Curva do Homem Morto
Fonte: Saunders (1985, p.220). Adaptada pelos autores.

Tal diagrama é estabelecido a partir de uma campanha de ensaios em voo, na qual a aproximação dos limites é feita de maneira gradual. Baseado nos ensinamentos do professor Saunders (1985), algumas considerações devem ser feitas a respeito da elaboração desse tipo de curva:

- é de interesse do construtor que as áreas “evitáveis” sejam tão pequenas quanto possível (competição comercial);
- o voo é executado por pilotos de provas que consideram para fins de análise de qualidades de pilotagem da aeronave, as habilidades e conhecimentos de um piloto “mediano”; porém, não são utilizados pilotos “medianos” nos voos de ensaio;
- segundo as normas civis, o tempo de reação dos pilotos não ultrapassa um segundo. Muitos pilotos “medianos” podem levar mais tempo para diagnosticar o problema e reagir;
- a curva é demonstrada simulando-se uma pane (redução do motor), dessa forma, o piloto de provas tem conhecimento prévio da “falha” do motor; e
- a curva é frequentemente determinada e demonstrada a partir de uma condição de voo retilíneo e uniforme. Panes em subida e em curvas não são exigidas.

O tamanho da área de baixa velocidade a “evitar” depende de vários fatores. Para um dado helicóptero, aumentando o peso e/ou a altitude-densidade, expande-se a região insegura, especialmente a área compreendida entre os pontos 1 e 2 da Figura 3.20, que cresce de maneira proporcional a tais aumentos.

Outra consideração a ser feita é que os Manuais de voo normalmente trazem poucas informações a respeito da técnica de pilotagem apropriada após uma pane de motor. A técnica exigida para demonstrar uma autorrotação bem sucedida a partir do ponto de inflexão da curva (ponto 2, da Figura 3.20) é bem diferente daquela exigida à alta velocidade e à baixa altura.

A maioria dos programas de instrução enfatiza a prática da autorrotação a partir de uma posição de “encaixe” a cerca de 800 ft acima do terreno e a uma velocidade moderada (fora da área insegura do diagrama). Em certa experiência, foi solicitado a um grupo de instrutores para demonstrar pousos em autorrotação, a partir do ponto de inflexão (ponto 2) de um diagrama $H-V$

previsto no Manual de Voo. Todos falharam, exigindo uma recuperação com potência.

Portanto, é de suma importância a observação deste diagrama, pois a altura exigida em voo para helicópteros é de 500 pés acima do terreno, e dependendo da velocidade em que desloca, pode não haver tempo suficiente para escolher um local e efetuar um pouso seguro em caso de pane do motor.

Seção 4 – Vibração em helicópteros

Todo helicóptero sacode! Essa Seção busca descrever os tipos de vibração e como elas interagem com pilotos, tripulantes e aeronave. As exigências de conforto e bem-estar dos passageiros e tripulantes, aliados aos requisitos de aviação existentes e aos fatores de manutenção, relacionados com a vida e a fadiga dos componentes, obrigaram os fabricantes a reduzirem os níveis de vibração em todas as partes das aeronaves.

Para tanto, são desenvolvidos e implementados sistemas de absorção e de isolamento de vibrações, bem como são aplicados procedimentos para balanceamento e correção de trajetória da pá. Além disso, são realizadas modificações de projeto no que se refere aos modos naturais, tanto da pá como da fuselagem.

4.1 Vibração

O conhecimento da vibração nas aeronaves de asas rotativas é extremamente importante. O helicóptero tem em sua engenharia diversos tipos de esforços, os quais transmitem alguma consequência para a estrutura da aeronave e para o material humano que o opera.

Devido à sua própria concepção, o helicóptero é submetido a esforços periódicos (vibrações) provenientes

de várias fontes de excitação: rotor principal, rotor de cauda, árvores de transmissões, grupo moto-propulsor e estabilizadores horizontal e vertical. (VIEIRA E SERAPIÃO, 2003, p. 249).

Todas as fontes citadas excitam a célula do helicóptero, que, por sua vez, reage segundo suas próprias características (flexão e torção), desencadeando assim certo modo vibratório, que será percebido pelos tripulantes (conforto) e pelos diversos equipamentos dispostos sobre a aeronave (fadiga de material).

A deformação da célula comporta pontos de máxima amplitude e de amplitude nula, causando níveis de vibração diferentes em cada parte do helicóptero.



O comandante Rocha (2009, p.99) descreve vibração como algo que "...ocorre quando um corpo descreve um movimento oscilatório em torno de um ponto de referência." O número de vezes de um ciclo completo de um movimento durante um período de um segundo é chamado de frequência e é medido em Hertz (Hz).

Antes de darmos continuidade ao estudo da vibração em helicópteros, vamos nos interar sobre o que sejam movimentos oscilatórios, citados na definição acima.

4.1.1 Movimentos oscilatórios

Entre os movimentos encontrados na natureza, um dos mais importantes é o oscilatório, no qual uma determinada partícula se move em torno de uma posição de equilíbrio.

Um corpo deve satisfazer duas condições para que ele oscile: ser capaz de armazenar energia potencial (isto é, precisa de elasticidade) e deve ser capaz de ter energia cinética (isto é, deve ter massa). A oscilação representa, portanto, o intercâmbio contínuo de energia cinética e potencial. O que se propaga nos movimentos ondulatórios são o estado de vibração e, em última análise, energia e quantidade de movimento.

O movimento oscilatório pode repetir-se regularmente, como no rotor de um helicóptero, ou apresentar irregularidade considerável, como em terremotos. Quando o movimento se repete em intervalos iguais de tempo T , chamado de período da oscilação, ele é denominado de movimento periódico, sendo que a recíproca $f = 1/T$ é conhecida como frequência.

A forma mais simples do movimento periódico é o **harmônico**, que pode ser obtido, por exemplo, a partir da projeção de um ponto que se move numa circunferência, à velocidade angular constante.

4.2 Tipos de vibração

Os níveis de vibração devem ser mantidos em valores aceitáveis, os quais são estabelecidos no manual de voo da aeronave, a fim de proporcionar conforto ao piloto e aos passageiros, bem como evitar a ruptura de determinado componente por fadiga de material. Níveis altos de vibração tiram a atenção do piloto, comprometendo a segurança operacional aeronáutica.



A causa principal das vibrações é o desbalanceamento ou *track* defeituoso dos rotores principal e de cauda.

De acordo com Vieira e Serapião (2003), o desbalanceamento resulta da não coincidência do centro de gravidade do rotor com seu eixo de rotação, e pode ser proveniente de uma diferença de massa de um elemento qualquer do rotor, de uma dissimetria da cabeça do rotor e de uma diferença no movimento de arrasto de uma pá em relação às demais (amortecedor de arrasto danificado ou mal regulado).

O *track* defeituoso resulta em uma diferença da trajetória de cada pá (diferença de batimento), ou seja, uma pá sobe mais do que a outra. As causas mais comuns de um *track* defeituoso são a má regulagem ou a folga excessiva nas bielas de comando do passo coletivo, o ajuste incorreto nos compensadores das pás e defeito na centragem da pá em profundidade (sentido da corda).

Os pilotos devem sempre relatar as vibrações percebidas em relatório de manutenção, o qual deve ser avaliado pelos mecânicos de manutenção aeronáutica e sanadas o mais breve possível.

As vibrações mais comuns podem ser divididas em três tipos:

- » Vibração de baixa frequência,
 - » Vibração de frequência intermediária e
 - » Vibração de alta frequência.
-

A referência que utilizaremos para a medição de frequência será a do rotor principal, por ser um dos componentes de menor rotação durante o seu funcionamento, a partir do qual tomamos como referência a vibração de baixa frequência. A partir daí o utilizaremos para referir as vibrações de média e de alta frequência.

4.2.1 Vibração de baixa frequência

São fáceis de contar e correspondem, aproximadamente, a uma vibração por cada volta do rotor. São também conhecidas por vibrações tipo 1 por 1 (1:1), e possuem frequência entre 100 e 400 Hz. A vibração de baixa frequência 1:1 divide-se em dois tipos:

4.2.1.1 Vertical

Ocorre quando uma pá desenvolve maior sustentação que a outra, ou seja, está fora de *tracking*. Ela sacode o helicóptero de baixo para cima e vice-versa. Aparece em todas as manobras, geralmente aumenta com a velocidade.

- **Sentido da vibração:** Vertical, percebida pelo piloto como um galope.
- **Causa:** Pás do rotor principal fora de *tracking* ou desbalanceado.
- **Correção:** O Comandante Mankel (1997, p.132) assim descreve como deve ser a correção deste tipo de vibração:

Os mecânicos podem utilizar dois métodos: mecânico ou eletrônico. No sistema mecânico utiliza-se uma bandeirola que será tocada na ponta das pás, durante o giro no solo. Cada ponta de pá tem um local exato para receber uma marcação de tinta. Coloca-se, por exemplo, na pá nº1 uma marca com tinta vermelha, a pá nº 2 uma pintura azul. Ao tocarem na bandeirola ficarão as duas marcas, e então saberemos qual a pá que está mais alta. Pronto, é só regular os compensadores (tab), para que passem exatamente na mesma pista. No método eletrônico usa-se o “vibrex”, que consiste no uso de um “strobex”, ou seja, uma projeção de um feixe eletrônico de encontro a refletores instalados na ponta das pás.

4.2.1.2 Lateral

Vibração percebida de forma lateral é geralmente causada por desequilíbrio do rotor principal. Sacode o helicóptero de um lado para outro, permanecendo constante em diferentes velocidades.

Causa: Rotor principal desbalanceado.

Correção:

Pelo método da correção estática, o rotor principal é retirado do helicóptero, colocado em um local a prova de qualquer corrente de vento, sendo então verificada qual é a pá que está mais pesada. Através de pequenas “bolinhas de chumbo”, é feita a compensação adicionando ou retirando o peso, até que as pás estejam exatamente com o mesmo peso (MANKEL, 1997, p.132).

4.2.2 Vibração de frequência intermediária

Também conhecidas como vibrações do tipo 2 por 1 (1000 a 2000 Hz). Correspondem, aproximadamente, a duas vibrações por cada volta do rotor.

Sacode a aeronave lateralmente e aparece entre 15 e 20 milhas por hora (kt), resumem os comandantes Vieira e Serapião (2003).

Ainda sobre este tipo de vibração, ensina-nos Mankel (1997, p.132), que “esta vibração é considerada normal quando ocorre no início do deslocamento do helicóptero (fluxo transversal).”

Caso essa vibração venha a persistir durante o voo, é muito provável que tenhamos problemas nos amortecedores do sistema de transmissão.

4.2.3 Vibração de alta frequência



Esta vibração é praticamente impossível de se determinar a frequência. Apresentam-se como zumbido (acima de 2000 Hz).

Normalmente o piloto percebe esse tipo de vibração sentindo uma espécie de “formigamento” nos pedais e um forte zumbido.

Causa: Rotor de cauda desbalanceado.

Correção: A haste de mudança de passo deve ser ajustada. Em caso de desbalanceamento do rotor de cauda, os procedimentos devem ser os mesmos adotados na correção do desbalanceamento do rotor principal.

Outras situações de vibração de alta frequência:

Vibração sentida na fuselagem e nos pedais quando em voo pairado com vento cruzado tem sua causa provocada pelo batimento excessivo das pás do rotor de cauda e é considerada normal.

Vibração sentida na fuselagem em todas as manobras, diminuindo ou desaparecendo em auto rotação, tem sua causa relacionada à trepidação do motor ou do ventilador. (VIEIRA E SERAPIÃO, 2003, p.251).

Devemos ter muito cuidado com vibrações, se elas forem excessivas poderão ocasionar a perda de comando e uma queda descontrolada.

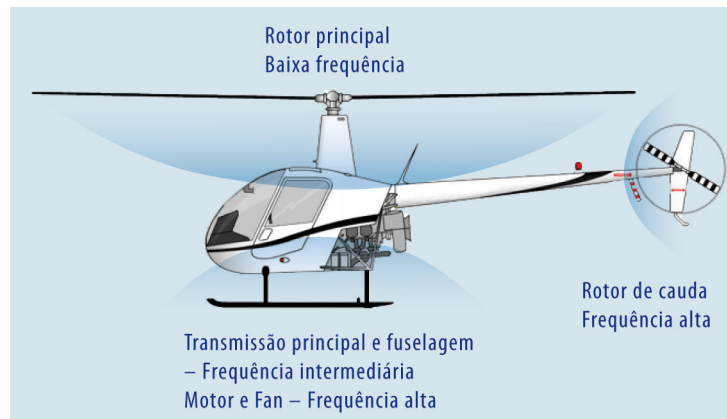


Figura 3.21 - Vibrações
Fonte: Rocha, 2009, p.100. Adaptada pelos autores.

Pronto. Já vimos como as vibrações se comportam em relação ao helicóptero e à sensação do piloto. Agora vamos estudar quais são os efeitos delas no corpo humano.

4.3 Efeitos das vibrações no corpo humano

As vibrações dos helicópteros possuem uma frequência que pode variar de 3 Hz a 60 Hz, conforme o número de pás e o regime de rotação do rotor. As principais faixas de frequências naturais do corpo humano e, portanto, aquelas que entram em ressonância com a excitação do meio, são:

- a) de 4 a 8 Hz: região torácica interna e abdômen interno (vísceras);
- b) de 11 a 15 Hz: coluna vertebral, com a massa muscular adjacente e articulações de todo o corpo;
- c) de 17 a 25 Hz: caixa craniana;
- d) de 25 a 40 Hz: globo ocular, com prejuízos para a função visual e, conseqüentemente, diminuindo a sua acuidade; e
- e) de 40 a 60 Hz: caixa torácica (costelas e músculos intercostais).



As vibrações verticais certamente produzem os efeitos mais nocivos sobre o corpo dos tripulantes. As exposições prolongadas e repetidas às vibrações de diferentes frequências, amplitudes e direções podem provocar várias agressões ao corpo humano, como: dores de cabeça, zumbidos, mal-estar generalizado, sensação de torpor, de fraqueza geral, irritabilidade, redução da vontade e da capacidade de concentração, redução dos reflexos, depressão psíquica assim como fadiga dos olhos e ouvidos.

Esses distúrbios, dependendo da intensidade e da persistência, podem contribuir decisivamente para a fadiga dos pilotos, assim como constituem um perigo potencial para os acidentes aeronáuticos.

4.4 Influências da vibração

Para finalizar o estudo das vibrações produzidas por helicópteros, vamos agora estudar a sua influência no corpo humano.



As vibrações são transmitidas ao piloto pelos seus pés e pelo assento. A magnitude e a frequência dependem do tipo de helicóptero.

Do ponto de vista mecânico, o corpo humano é uma estrutura complexa, com tecido visco-elástico, completado por um tecido ósseo. O corpo humano, portanto, pode ser considerado como um sistema de massas separadas por molas.

Quando excitado por certas frequências, pode ocorrer uma ressonância no corpo humano, especialmente, na falta de um amortecimento adequado da vibração, com deformação ou deslocamento dos órgãos internos. Suportando grande massa muscular, a coluna tem que absorver as vibrações, tornando-se rapidamente o ponto de dor.

Seção 5 – Ruído em helicópteros

Os efeitos do ruído sobre a audição, provocados pelos componentes dinâmicos dos helicópteros, são tão danosos e fatigantes quanto os efeitos das vibrações. Não há dúvida de que a exposição prolongada e repetida ao ruído causa fadiga auditiva e tem uma influência considerável no agravamento da fadiga geral.

Cruz [200-?], explica que os ruídos, ao atingirem determinada intensidade (cerca de 80 dB) durante 12 a 16 horas de exposição, produzem primeiramente um estado de adaptação que consiste numa ascensão do limiar de percepção acústica (TTS = “Temporary Threshold Shift”). Se o ruído persistir, essa elevação do limiar torna-se mais duradora (ATTS = “Asymptotic TTS”), permanecendo no mesmo nível após a interrupção do ruído. Entretanto, se a interrupção do ruído durar alguns dias, o limiar retornará ao seu nível normal.

Repetindo seguidamente essa exposição prolongada ao ruído, terá início um estado de adaptação que pode terminar em fadiga auditiva, definida como a redução da sensibilidade de percepção devido à contínua estimulação do aparelho auditivo. Essa redução persistirá ainda por algum tempo, depois de cessado o ruído. Ela será seguida por um período de recuperação, que pode ser rápido, inicialmente, e mais lento em seguida, com a possibilidade de interrupção ou breves retrocessos.



Existe uma evidente relação entre a fadiga e a intensidade de estimulação, particularmente após os 60 dB, assim como entre a fadiga e o tempo da estimulação. Se a exposição ao ruído for habitual, as pessoas predispostas podem, se não utilizarem proteção adequada, atingir o último estágio: a surdez.

Neste caso, o TTS transformar-se-á em PTS (“*Permanent Threshold Shift*”), com redução permanente do nível auditivo. A surdez permanente dependerá de várias causas, podendo ser de natureza endógena (idade, predisposição individual e afecções anteriores do ouvido) ou exógena (intensidade, frequência, ritmo de ruído e condições de trabalho).

Além dos efeitos locais no aparelho auditivo, o ruído pode também atingir o sistema nervoso central, o sistema circulatório, o aparelho respiratório e, até mesmo, o aparelho digestivo, agravando, desse modo, a fadiga de voo em geral.

É importante notar, entretanto, que os efeitos do ruído não se manifestam nos indivíduos protegidos por capacetes ou por proteção nos ouvidos.

5.1 Ruído produzido por helicóptero

De acordo com o mestre Cruz [200-?], o ruído produzido por um helicóptero deve ser analisado sob dois aspectos principais: o ruído externo que perturba o meio ambiente e o ruído interno relacionado diretamente com o conforto dos passageiros.

O ruído, do ponto de vista externo, deve ser levado em consideração nos projetos, pois o helicóptero é uma aeronave que possui a grande vantagem de operar dentro de áreas densamente urbanizadas, decolando e aterrissando muito próximo a pessoas e a construções habitacionais.

Atualmente, essa facilidade tem sido o pivô de grandes disputas em algumas cidades americanas, envolvendo ambientalistas de um lado, comunidade de asas rotativas (operadores, indústrias, pesquisadores e cientistas) de outro e, tendo como árbitros, políticos, funcionários do FAA (*Federal Aviation Administration*) e opinião pública.



Além das batalhas judiciais com relação à restrição de sobrevoo dos Parques Nacionais Americanos, um exemplo relativamente recente dessa disputa se observou quando Rudolph W. Giuliani, na época prefeito de New York, comandou pessoalmente o fechamento de um heliporto situado na East 60th Street, devido a críticas populares com relação ao ruído e a segurança.

No Brasil não é diferente. Em São Paulo moradores do bairro Butantã também reclamam da falta de tranquilidade devido aos

ruídos produzidos por aeronaves, apesar de que por aqui ainda não ocorreram batalhas jurídicas sobre o tema.

Diante desse cenário, os órgãos reguladores não poderiam ficar calados. O FAR 36 e o Anexo 16 da ICAO estabelecem limites máximos de ruído em função do peso máximo de decolagem, tanto para aeronaves de asa fixa como para helicópteros civis.



Um helicóptero com peso máximo de decolagem de 2730 kg, por exemplo, não pode ter um nível de ruído superior a 87,378 dB, medido a 150 metros de distância da aeronave.

Deve-se notar ainda que o ruído externo é uma preocupação nos projetos militares, principalmente em helicópteros concebidos para missões de reconhecimento e ataque, onde a emissão acústica pode eliminar o efeito surpresa, permitindo a detecção prematura da aeronave e até mesmo a sua identificação (assinatura acústica de cada modelo de helicóptero).

Quanto ao ruído interno da cabine, sabe-se que é naturalmente mais elevado nos helicópteros do que nos aviões, exigindo que o peso vazio da aeronave aumente, devido ao acréscimo de isoladores acústicos.



Afinal, o que é ruído?

Assim define Cruz [200-?, p.224],

O ruído é definido como a perturbação da pressão estática em função do tempo e é medido em decibéis. Sua emissão e propagação são regidas pelos mesmos princípios físicos dos escoamentos aerodinâmicos não estacionários, sendo que, no helicóptero, tais perturbações acústicas são produzidas por fontes mecânicas e aerodinâmicas.

5.1.1 Fontes mecânicas

As fontes mecânicas são os ruídos provenientes das partes mecânicas e da estrutura do helicóptero, ou seja:

- Caixa de redução do motor;
- Caixa de transmissão principal e de acessórios;
- Caixa de transmissão traseira; e
- Vibrações na estrutura.

Cruz [200-?] explica que para as partes mecânicas que giram, os ruídos são facilmente identificáveis, pois estão associados à rotação do rotor principal. Esses ruídos, destacando-se o da caixa de transmissão principal, têm uma região de influência muito grande próxima à fuselagem e à cabine.

Devido às dificuldades de minimizar os ruídos diretamente na fonte, há a necessidade de fazer tratamentos acústicos na cabine, usando-se, por exemplo, tecidos em lã de vidro, o que penaliza o peso vazio do helicóptero.

5.1.2 Fontes aerodinâmicas

O rotor principal, o rotor de cauda e a entrada de ar do motor são as principais fontes de ruídos acústicos de origem aerodinâmica do helicóptero.

5.1.2.1 Ruído do rotor

Dependendo do regime de operação da aeronave, os ruídos provenientes do rotor podem ser separados em três grupos:

a) Ruído rotacional:

“É o ruído proveniente das componentes das forças periódicas de sustentação e de arrasto das pás.”(CRUZ [200-?], p.225).

b) Ruído de vórtice:

Também chamado de ruído de banda larga. As pás de um rotor em movimento geram turbilhões no bordo de fuga que, por sua vez, provocam flutuações aleatórias da sustentação. Tais flutuações são as principais responsáveis pelo ruído de vórtice ou de banda larga, com intensidade superior ao ruído rotacional, e engloba uma porção substancial da faixa audível de cerca de 150 a 1000 Hz, com picos em torno de 300 ou 400 Hz.

Na condição de sustentação nula (passo zero), esse ruído é similar ao de um carro em alta velocidade, devido às sacudidelas e saltos das moléculas de ar aceleradas por meio da camada-limite das pás, em direção ao bordo de fuga delas. Impondo-se sustentação são formados os vórtices de ponta da pá que passam como que a rugir mais e mais, à medida que a sustentação aumenta. (CRUZ [200-?]).

O ruído de “vortex” engloba ainda os ruídos devido aos efeitos de separação e de turbulência da camada-limite e dos efeitos da esteira do rotor, sendo a principal fonte de incômodo acústico em rotores de grande diâmetro.

c) Ruído de “Slap” (“Blade Slap”) ou ruído impulsivo:

Enquanto os tipos anteriores de ruído se observam em qualquer condição de voo, incluindo o voo pairado, o ruído semelhante a uma palmada violenta (“slap”) sobre a mesa só verifica-se no voo à frente e tem duas origens distintas: o surgimento dos efeitos de compressibilidade e a interação do vórtice de uma pá sobre a outra.

5.1.2.2 Ruído do motor

Os motores turbo-eixo, tais como o HB 350 Esquilo, são uma fonte de ruído muito incômoda, especialmente na direção da entrada de ar. Geralmente, o primeiro estágio de um compressor apresenta um regime supersônico na extremidade da palheta, produzindo ondas de choque com grandes perturbações acústicas.

5.2 Técnicas de redução de ruídos

Os fabricantes de helicópteros buscam cada vez mais desenvolver tecnologia e técnicas que reduzam os ruídos, tanto internos quanto externos.

De acordo com Cruz [200-?], a ferramenta tecnológica mais direta para diminuir o ruído dos rotores principal e de cauda consiste em escolher valores mais baixos de velocidade de ponta de pá na fase conceitual do projeto. De fato, todos os tipos de ruído, especialmente o rotacional e o de “slap”, são reduzidos nessa condição. Entretanto, diminuir a velocidade de ponta de pá significa exigir maior área de pá e, em consequência, rotores mais pesados, o que compromete o desempenho da aeronave.

Uma solução moderna para enfrentar os efeitos de compressibilidade da pá que avança, envolve modificações na geometria das pontas dessas pás. Tais modificações podem incluir implantação de diedro negativo, que pode ser observado nos modelos Sikorsky-Boeing RAH-66 Comanche (Figura 3.22) e GKN Westland Lynx Mk9, ou mesmo alterações exóticas como a ponta da pá do modelo Super Lynx, conhecida como “paddle-tip blade” (Figura 3.23), desenvolvida dentro do programa BERP (“British Experimental Rotor Program”).

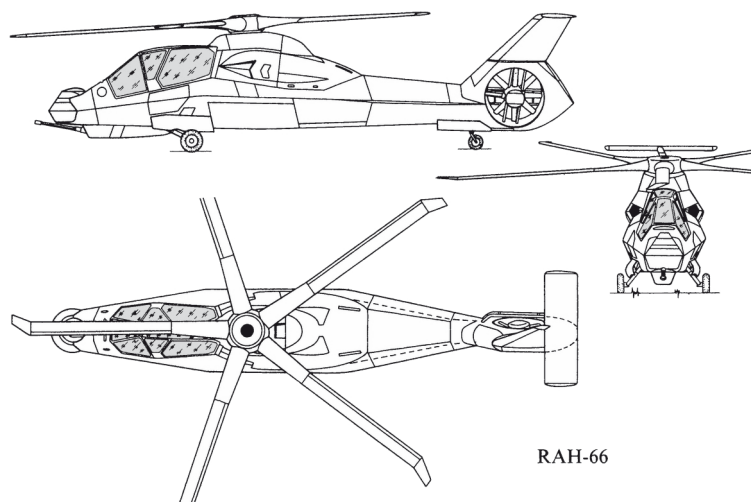


Figura 3.22 - Vista de cima do Comanche
Fonte: Cruz ([200-?], p.228).

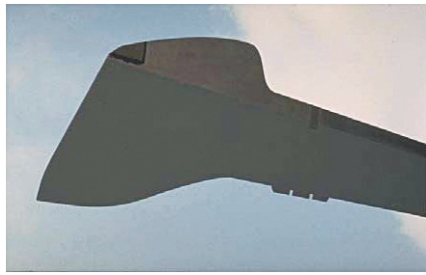


Figura 3.23 - "Paddle-Tip Blade" do Super Lynx
 Fonte: Cruz ([200-?], p.229).

Especificamente com relação ao rotor de cauda, segunda fonte principal de ruído externo do helicóptero, a utilização de rotores tipo fenestron (Figura 3.24), com pás não igualmente espaçadas e com espessura menor, como se observa nos modelos de helicópteros EC-120, EC-135 e EC-155, ajudam a reduzir esse nível de ruído. De fato, como as pás têm uma distância muito pequena das paredes do duto, formado pelo estabilizador vertical, praticamente não há vórtices de ponta para influenciar a outra pá, além do que o ruído oriundo dessas pás é, no mínimo, parcialmente bloqueado pelo duto.



Figura 3.24 - Rotor tipo Fenestron
 Fonte: Flyheli, 2011.

Para a redução dos ruídos internos, são utilizados isoladores acústicos, os quais aliam os efeitos de máscaras acústicas e de atenuação por paredes com cavidades ressonantes. O material mais usado é a fibra de vidro e a parede geralmente é composta por uma colmeia (onde o tecido oferece uma resistência ao escoamento) e por uma cobertura perfurada.



Por fim, devemos salientar que a participação dos pilotos na redução de ruídos também é importante. Como?

Simple, basta seguir o que em aviação chamamos de técnicas de voo para redução de ruídos. Essa técnica consiste em iniciar o procedimento de descida com uma velocidade à frente e com uma razão de descida maiores que as convencionais. Basicamente, trata-se de utilizar uma rampa mais vertical e com uma velocidade maior, expondo ao ruído, o mínimo possível, à vizinhança localizada próxima à área de pouso.



Síntese

Nesse conteúdo, composto de cinco seções, você estudou o voo pairado, voo vertical e a frente, a manobrabilidade, estabilidade estática e dinâmica, a pane do motor e o voo em autorrotação, a vibração e o ruído em helicópteros.

Você estudou a prática do voo de um helicóptero quando hoverado, que é aquele em que o helicóptero está estável em relação ao solo, ou seja, não há deslocamento em relação ao solo, a velocidade do vento em relação à aeronave é nula. Como a intenção é o estudo do voo de aeronave de asa rotativa, conhecendo o movimento do Centro de Gravidade em relação ao sistema de referência adotado, você pôde incorporar os conceitos de Centro de Gravidade, Plano de Rotação, Eixo de Rotação, Disco do Rotor, Solidez Parcial e Total, Razão de Carga, Área de Sustentação e Arrasto, entre as mais importantes, assim definiu a composição de forças para manter um helicóptero no voo pairado com e sem vento. Você viu que o voo pairado é, na realidade, uma situação particular do voo vertical, quando a velocidade vertical é nula. No caso dessa velocidade ser diferente de zero, com velocidade à frente nula, tem-se as subidas e descidas verticais, que é outra condição de voo característica do helicóptero, distinguindo-o das aeronaves de asas fixas.

Quando você estudou a dinâmica do voo em seus movimentos por meio de seus eixos imaginários, percebeu a necessidade de entender como pode uma aeronave tão peculiar manter-se em equilíbrio para voar. Os movimentos em torno de seu centro de gravidade puderam ser determinados pelo controle e estabilidade do helicóptero. A manobrabilidade pode ser definida como a habilidade de uma aeronave de asa rotativa em mudar a direção do seu voo e até mesmo acelerar linearmente de acordo com o envelope de potência e energia disponíveis.

Portanto, a manobrabilidade deve sempre ser considerada sobre três parâmetros muito importantes, que são a margem de potência disponível do motor, a qual pode ser usada para subir, acelerar longitudinalmente ou mesmo para manter e sustentar uma determinada velocidade durante uma curva, a margem de sustentação do rotor, a fim de que não se excedam os ângulos de ataque das pás, a tal ponto que possam causar estol do conjunto rotativo e o momento de controle em rolamento, arfagem e guinada.

Quando o comportamento da aeronave, isto é, o equilíbrio dela é perturbado, você estudou que ela teve problemas com a sua estabilidade. Um corpo pode estar em equilíbrio instável, estável ou indiferente, sendo estudado no aspecto estático e dinâmico. Podemos afirmar que os helicópteros são estaticamente estáveis e dinamicamente instáveis no plano longitudinal.

Pôde perceber as muitas peculiaridades relativas ao voo, como seus sistemas e seu funcionamento e o comportamento do helicóptero quando em voo. Quando tudo funciona bem, podemos concluir que o voo é perfeito. Porém, não raras vezes aviadores tem que se deparar com problemas relativos ao funcionamento do motor, que por razões diversas podem repentinamente parar de funcionar. Ao fazermos uma breve comparação com o voo do avião monomotor, um helicóptero monomotor tem uma maior chance de efetuar um pouso em segurança, utilizando a técnica de autorrotação. Porém, essa manobra não acontece naturalmente ou automaticamente, muito pelo contrário, requer uma grande carga de trabalho, conhecimento e perícia do piloto para pousar a aeronave sem causar danos materiais e às pessoas, tanto ocupantes do helicóptero quanto eventuais cidadãos que estarão incautamente

próximo ou no local de pouso. Autorrotação é a manobra que os pilotos de helicóptero têm que fazer em caso de parada de seus motores, permitindo que se faça um pouso em emergência.

Viu que existe também a possibilidade de falha do rotor de cauda. Nesse caso, salvo determinadas peculiaridades de algumas aeronaves, até mesmo uma aeronave bimotora será forçada a um pouso em autorrotação. Durante essa manobra os rotores permanecem girando no mesmo sentido permitido pelo componente mecânico chamado roda livre e pelas forças geradas pelo vento relativo que passa pelo rotor principal durante a descida. É muito importante lembrar que o piloto tem frações de segundo para identificar a pane e tomar a decisão de efetuar a manobra. Rotação perdida sem motor nunca mais será recuperada.

Verificou também que o helicóptero chacoalha bastante. Para isso foi necessário entender os tipos de vibração e como elas interagem com pilotos, tripulantes e aeronave. As exigências de conforto e bem-estar dos passageiros e tripulantes, aliados aos requisitos de aviação existentes e aos fatores de manutenção, relacionados com a vida e a fadiga dos componentes, obrigaram os fabricantes a reduzirem os níveis de vibração em todas as partes das aeronaves. Verificou que o helicóptero é submetido a esforços periódicos (vibrações) provenientes de várias fontes de excitação: rotor principal, rotor de cauda, árvores de transmissões, grupo moto-propulsor e estabilizadores horizontal e vertical. Foi possível identificar que as vibrações mais comuns podem ser divididas em três tipos: vibração de baixa frequência, vibração de frequência intermediária e vibração de alta frequência.

E, por fim, pôde identificar os efeitos do ruído sobre a audição, provocados pelos componentes dinâmicos dos helicópteros, os quais são tão danosos e fatigantes quanto os efeitos das vibrações. Não há dúvida de que a exposição prolongada e repetida ao ruído causa fadiga auditiva e tem uma influência considerável no agravamento da fadiga geral. Existe uma evidente relação entre a fadiga e a intensidade de estimulação, particularmente após os 60 dB, assim como entre a fadiga e o tempo da estimulação. Compreendeu que se a exposição ao ruído for habitual, as pessoas predispostas podem, se não utilizarem proteção adequada, atingir o último estágio: a surdez.



Atividades de autoavaliação

- 1) Descreva o que é manobrabilidade e cite os parâmetros mais importantes a serem considerados.

- 2) Descreva o que é autorrotação e cite suas fases.



Saiba mais

Se você desejar, aprofunde os conteúdos estudados nesta unidade ao consultar as seguintes referências:

PROUTY R. W. **Helicopter Aerodynamics**: Rotary Wing International. PJS Publications Inc, 1992.

SAUNDERS, G.H. **A dinâmica do voo de helicóptero**. Rio de Janeiro: LTC, 1985.

VIEIRA, Boanerges; SERAPIÃO, Antônio Carlos. **Aerodinâmica de helicópteros**. Rio de Janeiro: Reditora Rio, 2003.

Fenômenos relacionados a acidentes comuns



Objetivos de aprendizagem

- Identificar o que é acidente aeronáutico e os acidentes mais comuns relacionados à operação.
- Compreender as causas e os efeitos da ressonância em solo e ar.
- Conhecer como ocorre e quais os efeitos do rolamento dinâmico.
- Analisar situações e riscos de choque das pás e operações próximas a obstáculos.



Seções de estudo

- Seção 1** Acidentes aeronáuticos e acidentes comuns com helicópteros
- Seção 2** Ressonância solo e ar
- Seção 3** Rolamento dinâmico
- Seção 4** Choques das pás com estrutura da aeronave e operações próximas a obstáculos



Para início de estudo

Ao analisarmos toda a evolução do voo com helicóptero, conseguimos claramente visualizar as dificuldades que os pioneiros encontraram. Muitos sacrifícios e muito custo foram empregados para que essa máquina maravilhosa pudesse voar, apesar das enormes adversidades encontradas.

Nos dias atuais, muitos desses problemas originais, os quais na forma mais cruel podem ser definidos como acidentes aeronáuticos, ainda persistem. Quase que diariamente ainda ocorre a destruição de helicópteros antes mesmo de eles decolarem, devido a, basicamente, dois infortúnios na aviação, a ressonância com o solo e o rolamento dinâmico.

Caro aluno, nesta unidade você vai estudar esses fenômenos e outras causas de acidentes comuns na aviação de asa rotativa e poderá identificá-los, a fim de preveni-los.

Seção 1 – Acidentes aeronáuticos e acidentes comuns com helicópteros

A aviação é muito dinâmica. Você já estudou como funciona o helicóptero e como ele se comporta com as forças que atuam sobre ele.



Já parou pra pensar se as leis da natureza, aliadas ao invento do homem, interagem a fim de tentar impedir a estabilidade de um helicóptero quando ele está pousando ou decolando?

Acidentes aeronáuticos são combatidos em toda a aviação mundial, sendo o conhecimento e a prudência os maiores aliados nesta luta. Entre os acidentes mais comuns relacionados

ao funcionamento e voo do helicóptero, está a ressonância com o solo, o rolamento dinâmico e a colisão com obstáculos. Não estudaremos aqui outros fatores relacionados a acidentes aeronáuticos, tais como CFIT (Controlled Flight in to Terrain), choque contra o solo em voo controlado, colisão com pássaros, entre outros, que são assunto de matéria específica relacionada à Segurança de Voo.

Porém, você já vai ter uma noção do que é acidente e incidente aeronáutico, gerenciamento de risco, bem como os fatores que contribuem para que esses aconteçam.

Acidente e incidente aeronáutico

Para definições e parâmetros do que sejam acidentes e incidentes aeronáuticos, utilizaremos a norma legal preceituada pelo **CENIPA**.

Acidente aeronáutico e seus requisitos é assim definido pela NSCA 3-1 (2008, p. 16):

3.2.1 Toda ocorrência relacionada com a operação de uma aeronave, havida entre o momento em que uma pessoa nela embarca 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 (itens 3.2.1.1, 3.2.1.2 e 3.2.1.3):

CENIPA é o Centro Nacional de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos, e existe desde 1971, com a finalidade de investigar as causas dos acidentes na aviação civil e militar, e emitir recomendações de segurança operacional para a aviação.

Em complemento,

3.2.1.1 Uma pessoa sofra lesão grave ou morra como resultado de:

- a) Estar na aeronave; ou
- b) Contato direto com qualquer parte da aeronave, incluindo aquelas que dela tenham se desprendido; ou
- c) Submetida à exposição direta do sopro de hélice, rotor ou escapamento de jato, ou às suas conseqüências.

NOTA – Exceção é feita quando as lesões resultem de causas naturais, forem auto-infligidas ou infligidas por terceiros, ou forem causadas a pessoas que embarcaram

clandestinamente e se acomodaram em área que não as destinadas aos passageiros e tripulantes.

3.2.1.2 A aeronave sofra dano ou falha estrutural que:

- a) Afete adversamente a resistência estrutural, o seu desempenho ou as suas características de voo; e
- b) Normalmente exija a realização de grande reparo ou a substituição do componente afetado.

NOTA – Exceção é feita para falha ou danos limitados ao motor, suas carenagens ou acessórios; ou para danos limitados a hélices, pontas de asa, antenas, pneus, freios, carenagens do trem, amassamentos leves e pequenas perfurações no revestimento da aeronave.

3.2.1.3 A aeronave seja considerada desaparecida ou completamente inacessível.

Cabe complementar que as lesões decorrentes de um acidente aeronáutico que resultem em fatalidade até 30 dias da data da ocorrência são consideradas lesões fatais (NSCA 3-1, 2008, p.18).

Quanto ao desaparecimento de uma aeronave, será oficialmente considerada quando as buscas pelos órgãos oficiais encerrarem e os destroços não forem encontrados.



Figura 4.1 - Acidente ocorrido no dia 24 de dezembro de 1998, no heliponto do Grupo de Busca e Salvamento em Florianópolis.
Fonte: Acervo do Batalhão de Aviação da Polícia Militar de Santa Catarina.



O incidente aeronáutico é “toda ocorrência associada à operação de uma aeronave que não chegue a se caracterizar como um acidente aeronáutico, mas que afete ou possa afetar a segurança da operação. (NR) – Portaria EMAER nº 016/CEN, de 17 de março de 2009.” (NSCA 3-1, 2008, P. 25).

Por incidente grave, temos a seguinte definição:

3.63.1 Incidente ocorrido sob circunstâncias em que um acidente quase ocorreu. A diferença entre o incidente grave e o acidente está apenas nas consequências.

3.63.2 Uma lista exemplificativa de ocorrências a serem classificadas como incidentes graves pode ser encontrada no Manual de Investigação do SIPAER.

De posse dessas definições, serão agora discorridos acerca dos fatores que contribuem para a ocorrência de um acidente, incidente ou incidente grave.

Fatores contribuintes

Até o ano de 2007 eram considerados três os fatores contribuintes para acidentes aeronáuticos: o fator humano, o fator operacional e o fator material. A partir de 2008, após muita análise científica e estudos comparados, o CENIPA modificou essa estrutura, adotando definição da ICAO. Passou então a ser adotado pela comunidade aeronáutica a concepção de apenas dois fatores, o humano e o material. O fator operacional foi absorvido pelo fator humano, por, em breve síntese, ser considerado apenas mais um aspecto a ser observado pelo fator humano, assim como os aspectos médico e psicológico.

A NSCA 3-1 (2008, p.23) assim define e classifica os fatores contribuintes:

3.53.1 Condição (ato, fato, ou combinação deles) que, aliada a outras, em seqüência ou como consequência, conduz à ocorrência de um acidente aeronáutico, de um incidente aeronáutico ou de uma ocorrência de solo, ou que contribui para o agravamento de suas consequências.

3.53.2 Os procedimentos para a identificação dos fatores contribuintes, bem como a taxonomia empregada pelo SIPAER estão dispostos no Manual de Investigação do SIPAER.

3.53.3 Os fatores contribuintes classificam-se de acordo com a área de abordagem da segurança operacional, a qual poderá ser a de Fatores Humanos ou a de Fatores Materiais.

a) Fator humano

A definição de fator humano é descrita na NSCA 3-1 (2008, p.23), dessa forma:

Área de abordagem da segurança operacional que se refere ao complexo biológico do ser humano e que compreende os seguintes aspectos:

a) ASPECTO MÉDICO – é a área dos Fatores Humanos onde há o envolvimento de conhecimentos médicos e fisiológicos que são pesquisados para definir a presença de variáveis desta natureza e a forma de sua participação nos eventos.

b) ASPECTO PSICOLÓGICO – é a participação de variáveis psicológicas individuais, psicossociais ou organizacionais no desempenho da pessoa envolvida.

c) ASPECTO OPERACIONAL – refere-se ao desempenho do ser humano nas atividades diretamente relacionadas com o voo.

Sobre o fator humano nos ensina De Paula (2000, p. 23):

O homem, como ser bípede, implume e semovente, não tem os céus como seu habitat natural, por essa razão deve adotar medidas preventivas para que a falibilidade inerente ao seu gênero não propicie condições potencialmente perigosas à atividade aérea e, por outro lado, compreender as reações de seu organismo para que não sofra transformações significativas em razão do voo, a ponto de comprometer a Segurança.

b) Fator material

O fator material é definido em norma como sendo a:

Área de abordagem da segurança operacional que se refere à aeronave, incluindo seus componentes, e equipamentos e sistemas de tecnologia da informação empregados no controle do espaço aéreo, nos seus aspectos de projeto, de fabricação, de manuseio do material e de falhas não relacionadas à serviço de manutenção.(NSCA, 2008, p.24).

Ainda utilizando os ensinamentos do Comandante De Paula (2000, p.32), citamos que:

A construção e engenharia aeronáutica atingiram um estágio de avanço tecnológico e de segurança nos dias atuais que é bem pouco provável que o Fator Material contribua para a ocorrência dos acidentes aeronáuticos, as estatísticas comprovam isso, contudo eventualmente ele está presente. Muitas vezes uma deficiente manutenção preventiva ou corretiva, classificada dentro do fator operacional, pode comprometer a operação aérea, pois estas ações poderiam detectar o fator material potencialmente perigoso e impedir a “seqüência de eventos”, ou seja, o aparecimento do fator material. Daí a importância das equipes de solo também estarem comprometidas com a segurança de voo, aliás, todas as pessoas direta ou indiretamente vinculadas à atividade aérea devem ter esse compromisso.

Gerenciamento do risco

“Voar é preciso, mesmo que as condições não sejam as ideais.” (Bastos, 1997, p.03). Com essa frase, concluímos que o risco é inerente à atividade aérea. Porém, devemos dar a ele um tratamento adequado, o qual requer métodos específicos, que considerem a complexa relação definida pelo trinômio Homem, Meio e Máquina.



De forma natural, os profissionais de segurança operacional tendem a superestimar o risco associado, vendo sempre o pior cenário possível. A virtude está então em racionalizar sua avaliação do potencial do risco a fim de não inviabilizar o transcurso da operação.

Por outro lado, nunca se devem correr riscos desnecessários, que nada contribuem para o cumprimento da missão. Bastos (1997) ratifica que assumir riscos sem razão é jogar com vidas e equipamentos. Atualmente, além de vidas e equipamentos, é arriscar toda a história e a vida de uma unidade.

O objetivo de gerenciar é a redução do risco, fazendo vantajosa a relação custo benefício.



As decisões sobre o risco assumido devem ser tomadas no nível apropriado, sendo que quanto maior o risco, maior deverá ser o nível hierárquico, onde maturidade e experiência somam-se para uma correta tomada de decisão.

De acordo com Bastos (1997, p.05),

O gerenciamento do risco deve ser voltado, primordialmente, para os aspectos incomuns ou complexos da atividade a ser desenvolvida, podendo ser aplicado em diferentes níveis. No nível elementar, parte-se da consideração mental do processo de gerenciamento durante a estimativa dos perigos, decidindo-se com base numa avaliação sumária do nível de risco. Adicionando-se tempo e o uso de tabelas, faz-se uma avaliação mais completa, chegando-se a uma decisão deliberada. Quando a complexidade e a importância da atividade justificarem, e houver tempo disponível, deve-se lançar mão da técnica de trabalho de grupo, atingindo-se uma análise quantitativa do nível de risco envolvido.

Portanto, “gerenciamento do risco é a identificação e controle do risco, conforme parâmetros preestabelecidos”. (Bastos, 1997, p.06).

Para a identificação do risco, os referenciais são a probabilidade de ocorrência, a gravidade dos resultados e a exposição ao perigo, que, após avaliados, conduzem a uma classificação do risco que varia de muito elevado a inexistente. Para controlar o risco, os parâmetros serão aqueles definidos pelo empregador do processo, como o adiamento, a modificação ou até mesmo o cancelamento da missão.

Para uma medição de risco, existem tabelas e matrizes que conduzem a uma avaliação, e essas tabelas podem ser pela própria empresa, tendo como base o modelo empregado pelo CENIPA.

Gerenciar o risco é uma das melhores ferramentas de prevenção de acidentes aeronáuticos.

Acidentes mais comuns na operação com helicópteros

Uma das regras em segurança operacional é que **todo acidente pode e deve ser evitado.**

O helicóptero, por sua versatilidade, é utilizado nas mais diversas operações, tais como operações policiais, operações de resgate, transporte de passageiros, condução de carga externa, inspeção de linhas de alta tensão, apoio operacional em sismografia, levantamentos fotográficos, entre muitos outros. Essas operações, em muitas delas, exigem pouso em áreas com terrenos instáveis e de diversos tipos de pavimentação, bem como estão sujeitos a ventos fortes, pouso em áreas restritas, em terrenos irregulares e inclinados, em áreas com obstáculos diversos como árvores, fios, cabos, linhas de pipas, torres de alta tensão, antenas de transmissão celular e de ondas de rádio.



Como podemos observar, um piloto de helicóptero deve estar sempre atento a muita coisa ao mesmo tempo. Além dos obstáculos e situações acima citados, tem que estar atento às condições meteorológicas, temperatura do ar, altitude de sobrevoos e peso e balanceamento de sua aeronave.

Todos estes fatores, conjugados ou não, quando aliados a outros fatores como desconhecimento da aeronave e inobservância de conhecimento específico de fenômenos que incidem na operação de helicópteros, podem acarretar acidente.

Dentre os fenômenos e outras causas de acidentes comuns com helicópteros, estudaremos, a seguir, a ressonância com o solo, o rolamento dinâmico e choques das pás e operações próximas a obstáculos.

Seção 2 – Ressonância solo e ar

Ressonância com o solo

Ressonância com o solo pode ser definida como violentas vibrações que podem surgir durante o giro no solo, durante o **táxi**, durante o acionamento da aeronave, durante o pouso ou até mesmo quando a aeronave estiver dentro do efeito solo.

Táxi é a manobra utilizada para deslocar o helicóptero, lentamente, a uma determinada altura, para a posição de decolagem.

É mais comum aparecer nos helicópteros que usam rotores articulados ou que possuam trem de pouso com amortecedores hidráulicos, ensina-nos o professor Silva (2010).

Silva (2010, p.68), aponta ainda “como causa, a diferença angular, o avanço e atraso das pás e os trens de pouso desregulados.” Ainda em seus ensinamentos, discorre sobre como agir:

Como correção, se houver potência suficiente, faremos a decolagem e tentaremos o pouso normal. Se possível, em vez de pousar no heliponto, utilizaremos o gramado. Se o motor estiver com baixa rotação, diminuimos a aceleração e cortamos o motor o mais rápido possível.

Já presenciei um Hughes 300 destruir um heliponto porque os amortecedores pneumáticos estavam calibrados com excesso de pressão. Não tente ajudar. Só o piloto poderá tomar a decisão correta. Se for passageiro, não desça ou suba no helicóptero. Siga rigorosamente as ordens do piloto. Um aumento ou diminuição do peso do helicóptero pode acelerar a ressonância ou desequilibrar e tombar o aparelho.

Mas ressonância não é apenas isso. A ressonância com o solo pode desenvolver-se quando o contato da aeronave com o solo causa um desbalanceamento do rotor principal. Essa condição, se mantida, pode ser extremamente perigosa e usualmente resulta em falha estrutural, reforça Vieira e Serapião (2003).

Ainda, definindo ressonância com o solo, o Comandante Mankel (1997, p.96), diz que “São oscilações violentas que podem surgir durante o táxi, decolagem, pouso ou cheque de magnetos. A

ressonância poderá **destruir totalmente** um helicóptero em **poucos segundos!**”

Aqui houve o acréscimo da possibilidade de ressonância no momento do cheque de magnetos, o qual é feito no acionamento de aeronaves com motor a pistão, tais como o R 22 Robinson (Figura 4.2) e o Shweizer 300CB (Figura 4.3).



Figura 4.2 - Helicóptero modelo Robinson R22 Beta
Fonte: Power Helicópteros, 2011.



Figura 4.3 - Helicóptero modelo Schweizer 300CB
Fonte: Acervo de Alessandro José Machado.



Mankel (1997) também aponta a ressonância como mais comum em helicópteros com rotor articulado e/ou com trem de pouso com amortecedores hidráulicos e rodas pneumáticas, sendo esse aspecto unânime entre os autores.

De modo geral, a ressonância surge quando o CG, ou seja, o centro de massa do rotor é descentralizado, e isso pode ocorrer quando as relações angulares entre as pás forem alteradas. (Figura 4.4 e 4.5).

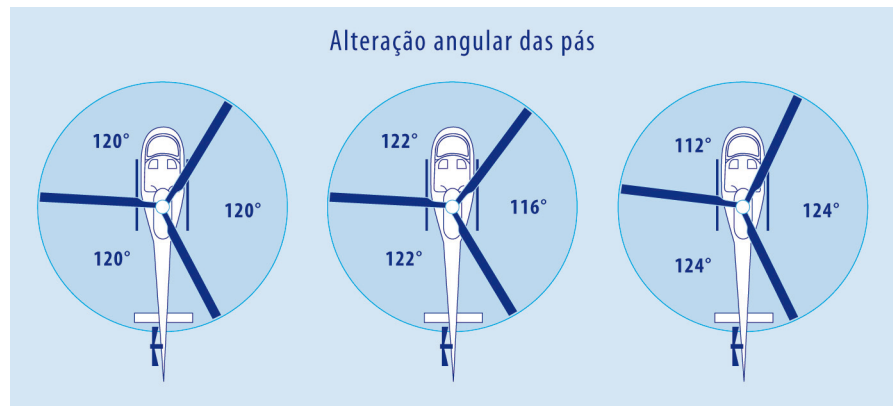


Figura 4.4 - Alteração angular das pás
 Fonte: Rocha, 2009, p.79. Adaptada pelos autores.

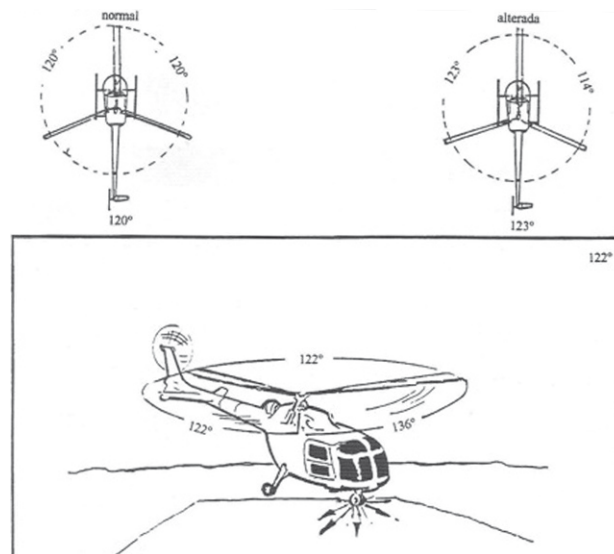


Figura 4.5 - Ressonância com o solo
 Fonte: Mankel, 1997, p.96.

O professor Rocha (2010) explica que quando no momento do toque com o solo houver um choque violento do trem de pouso, esse choque forçará as pás para baixo quebrando a relação angular. Não apenas o pouso violento, mas pneus descalibrados, o estouro de um pneu ou a quebra de um amortecedor poderá causar essa quebra angular. Elas ficam tentando corrigir essa descentralização, porém, se a aeronave ainda estiver sob efeito solo, as mesmas não conseguirão corrigir e permanecerão oscilando mecanicamente na mesma frequência da estrutura do helicóptero. Poderíamos eventualmente ficar com ângulos de 123°, 123° e 114° (Figura 4.5), onde o correto seria uma separação uniforme de 120°. As amplitudes dessas oscilações aumentarão, a ponto de haver um dano estrutural.

Outra causa de ressonância é o mau funcionamento dos “drag dampers” ou amortecedores de arrasto, e, nesse caso, mesmo que o helicóptero toque o solo de forma suave, a ressonância poderá ocorrer se um ou mais amortecedores estiverem emperrados.

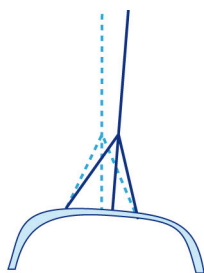
Basicamente já vimos o que seja a ressonância com o solo. Porém, agora nos utilizaremos do conhecimento do mestre Cruz [200-?], a fim de aprofundar um pouco mais o conhecimento sobre o assunto. A ressonância com o solo é uma oscilação autoexcitada, causada quando o movimento oscilatório de arrasto (avanço e recuo) das pás do rotor principal, de forma conjunta com algum dos modos de vibração da fuselagem, fica apoiado no solo.



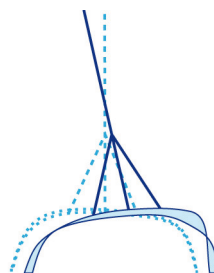
Exemplos de modos de vibração da fuselagem :

- movimento para frente e para trás – “fuselage fore/aft”;
- movimento para cima e para baixo – “pylon rock”;
- oscilação em rolamento – “fuselage roll”;
- oscilação em arfagem – “fuselage pitch”;
- oscilação em guinada – “fuselage yaw”;
- pendular em arfagem – “pylon pitch”;
- pendular em rolamento “pylon roll” etc.).

A Figura 4.6 apresenta um exemplo dos dois primeiros modos de rolamento da fuselagem que são, normalmente, os mais críticos: “fuselage roll” e “pylon roll”.



(a) 1º Modo de Rolamento



(b) 2º Modo de Rolamento “Pylon Roll”

Figura 4.6 - Exemplos de modos de vibração da fuselagem
 Fonte: Cruz ([200-?], p.233). Adaptada pelos autores.

Onde:

- a) “Fuselage roll”;
- b) “Pylon roll”.

Esse fenômeno foi constatado logo que os helicópteros começaram a voar. O primeiro registro ocorreu na década de 1930, quando um autogiro ficou completamente destruído enquanto taxiava.

Nesse fenômeno, as forças de inércia, oriundas do movimento fora de fase da pá, reagem com a estrutura da fuselagem e com o chassi da caixa de transmissão, produzindo um movimento da cabeça do rotor que, ao girar, realimenta o movimento de avanço e recuo. Essa oscilação, de característica destrutiva, pode aparecer quando as pás se desalinham, deslocando o centro de gravidade (CG) para fora do eixo de rotação do rotor, como já visto antes, com a concordância de diversos autores.

Na maior parte das condições de voo, ao ocorrer um desbalanceamento, as pás rapidamente se realinham, devido ao efeito das forças de inércia e centrífuga, se o rotor estiver adequadamente balanceado. Nesse processo de realinhamento, o CG percorrerá uma trajetória em forma de espiral convergente em torno do eixo de rotação.

O problema potencial ocorre quando a aeronave não está totalmente apoiada no solo, pois os amortecedores estão distendidos, reduzindo a sua eficiência. Uma rajada de vento, um movimento brusco dos comandos de voo ou um pouso mais duro podem deslocar o CG das pás. O movimento oscilatório resultante, causado pela força centrífuga atuando no CG das pás, pode ter uma frequência coincidente com a frequência de oscilação da fuselagem apoiada no trem de pouso.

A Figura 4.7 ilustra o fenômeno ressonância do solo. Uma vez que isso acontece, os dois movimentos entram em acoplamento e, ao invés do CG das pás percorrer uma trajetória estável, numa espiral convergente, ele inicia uma trajetória em forma de espiral divergente, produzindo uma força giratória na cabeça do rotor e sacudindo violentamente a aeronave.

Deve-se observar que esse movimento depende também da intensidade de apoio da célula no solo e do tipo de terreno. Normalmente, solos macios (areia, grama) tendem a amortecer as oscilações, enquanto que pistas asfaltadas ou cimentadas tendem a aumentar a amplitude da vibração.

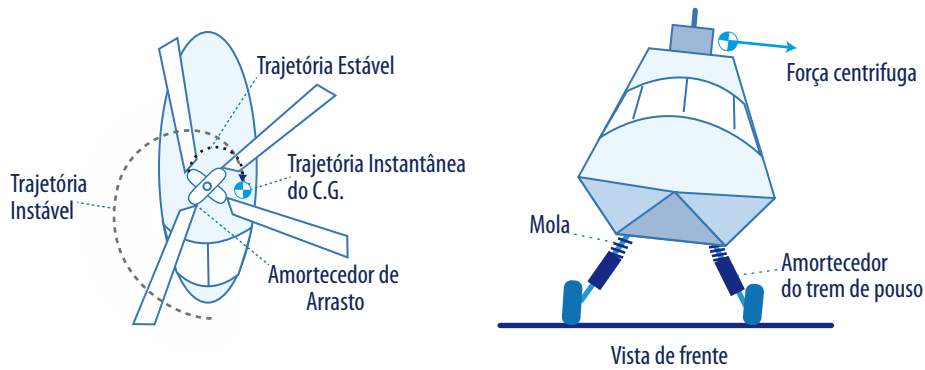


Figura 4.7 - Oscilação de um helicóptero apoiado no solo
 Fonte: Cruz ([200-?], p.235). Adaptada pelos autores.

A título de informação, é bom saber que quanto maior a frequência de arrasto (avanço-recuo), melhor para se ter estabilidade em ressonância. O rotor rígido, sem articulação ou flexão no plano de avanço, não é normalmente suscetível à ressonância com o solo.

Estudamos as mais diversas situações em que a aeronave pode entrar em ressonância com o solo. Faltou, porém, citar uma situação, de igual importância, que apesar de ocorrer no solo, não se refere à ressonância propriamente dita, mas que pela vibração exercida na aeronave muitas vezes é confundida. Vamos saber do que se trata:

Quando acionamos um helicóptero, na grande maioria deles, quando entramos em uma faixa de rotação, que varia de acordo com a aeronave, entramos em uma faixa de ressonância em que a aeronave vibra mais. Essas oscilações correspondem a fenômenos de ressonância quando houver uma coincidência da frequência de excitação com alguma frequência própria da fuselagem apoiada no solo. Esse aumento de amplitude da oscilação interrompe-se, diminui ou se anula (a tendência em uma aeronave equilibrada é essa) à medida que a rotação aumenta. Cruz ([200-?], p.239), explica que:

Se o amortecimento geral do helicóptero, incluindo o amortecimento estrutural e os amortecedores propriamente ditos, for satisfatório, não ocorrerá a divergência de amplitude; contudo, a existência de folgas estruturais ou a presença de amortecedores desgastados ou defeituosos podem deteriorar o nível vibratório da aeronave nestes pontos de ressonância.



Como prevenir a ressonância com o solo?

A prevenção, ao nível do piloto operacional, consiste em fazer uma inspeção pré-voos cuidadosa, verificando o estado geral dos amortecedores do trem de pouso e dos amortecedores de arrasto (avanço-atraso) das pás.

Se, apesar desses cuidados preliminares, o helicóptero começar a oscilar com tendências à divergência, deve-se interromper rapidamente a velocidade de rotação do rotor ou, se tiver rotação suficiente, **decolar imediatamente**. Se ocorrer a decolagem nessas condições, procurar pousar delicadamente numa superfície macia, em um gramado, por exemplo.

A fim de reforçar essa recomendação, de modo prático, se o piloto no momento do toque começar a “quicar” com os esquis, não deve, de modo algum, insistir no pouso. Decole e tente novamente o pouso com calma e se mesmo assim não for possível, decole novamente e pouse em uma área mais macia. Se o pouso já estiver concluído, ou seja, a aeronave já estiver com os esquis no solo com intenção de corte, no caso já com os manetes em redução, deve cortar o motor imediatamente e acionar o freio rotor, a fim de pará-los e sair da faixa de ressonância.

Ressonância ar

A ressonância pode ocorrer também em pleno voo, sendo suficiente apenas que a frequência de excitação, causada por um possível desbalanceamento do rotor em uma dada condição, coincida com alguma frequência dos modos naturais da fuselagem naquele instante. É a chamada ressonância no ar que, como a ressonância no solo, trata-se de uma oscilação

autoexcitada, porém, bem mais recente, surgindo com o advento dos rotores rígidos não articulados.

De acordo com Cruz [200-?], de todos os fenômenos aeroelásticos conhecidos, a ressonância no ar é talvez o maior desafio para o projetista, em virtude da quantidade e variedade de forças de interação (de inércia, aerodinâmicas, elásticas e gravitacionais) necessárias para definir suas características.



A principal diferença entre a ressonância no solo e no ar (além obviamente de onde elas ocorrem) está relacionada com as respectivas fontes de amortecimento e rigidez. Na ressonância no solo, a fonte tanto da rigidez como do amortecimento é tipicamente o conjunto do trem de pouso. Na ressonância no ar, as fontes são múltiplas: gravidade (ou, alternativamente, tração do rotor) e amortecimento das pás do rotor, devido à flexão em batimento e à aerodinâmica.

Por sorte, ao se escolher a maioria dos parâmetros de projeto envolvidos no fenômeno, normalmente se obtém estabilidade positiva em todos os modos. Mesmo assim, o método mais seguro para se evitar instabilidades, ainda é prover o helicóptero de um amortecimento artificial para o modo de avanço e recuo das pás.

De fato, existem casos raros de oscilação no ar, sendo que a condição mais crítica é a operação com carga externa no gancho, especialmente quando o cabo é curto. A ressonância pode ser oriunda da tentativa do piloto de amortecer a oscilação da carga com uma aplicação de comando cíclico na mesma frequência do movimento da carga, amplificando seu movimento. Para se evitar o movimento divergente, o piloto teria que alijar a carga.

A ressonância ar típica pode ocorrer também em rotores com pás rígidas no plano de arrasto (avanço-atraso), cuja frequência natural de avanço-recuo é suficientemente elevada e próxima da frequência de batimento. Neste caso, as **forças de Coriolis**, devido ao movimento de batimento, podem excitar as vibrações no plano de arrasto.

Procure pesquisar e saber mais sobre as forças de Coriolis.

Seção 3 – Rolamento dinâmico

Antes de entrarmos no rolamento dinâmico propriamente dito, vamos estudar um pouco sobre pouso em terreno inclinado.

Pouso em terreno inclinado

Muitas vezes, na operação de aeronave de asa rotativa, o helicóptero é submetido a pousos em terrenos acidentados e em pisos inclinados. Esse tipo de pouso, em que a aeronave fica desnivelada em relação ao terreno, requer conhecimento e técnica adequada. A não observância dessas regras pode acarretar em um rolamento dinâmico e em acidente aeronáutico. Cada tipo e modelo de aeronave traz em seu Manual de Voo as limitações de pouso com a aeronave inclinada à frente (picada), para trás (cabrada) e para as laterais.



Tomando como exemplo um helicóptero Esquilo, AS 350 B 2, aeronave mais utilizada no Brasil em operações de resgate e policiais, teremos os seguintes aspectos na Seção 2.1 do Manual de instrução Para Pilotos THP 350 B2 (2002, p. 7):

14. LIMITAÇÕES DE POUSO E ESTACIONAMENTO SOBRE TERRENO EM DECLIVE

- Posição cabrada.....10°
- Posição picada.....6°
- Posição lateral.....8°



Figura 4.8 - Helicóptero EC 145 do Corpo de Bombeiros do DF, pousando em terreno inclinado
Fonte: Corpo de Bombeiros Militar – Distrito Federal, 2011.

O Comandante Mankel (1997, p.120) passa as seguintes recomendações para um pouso seguro em terreno inclinado:

- Pouse sempre a 90° com a inclinação do terreno;
- Baixe suavemente o coletivo, até sentir que o helicóptero está firme;
- Aplique o cíclico em direção ao skyd mais alto;
- Nunca pouse em um terreno que tenha mais de 5° de inclinação.

Vamos agora tomar um exemplo do que um piloto NÃO deve fazer em pouso em terreno inclinado, quando esse é feito no sentido de inclinação do terreno. Observe a Figura 4.9 abaixo:

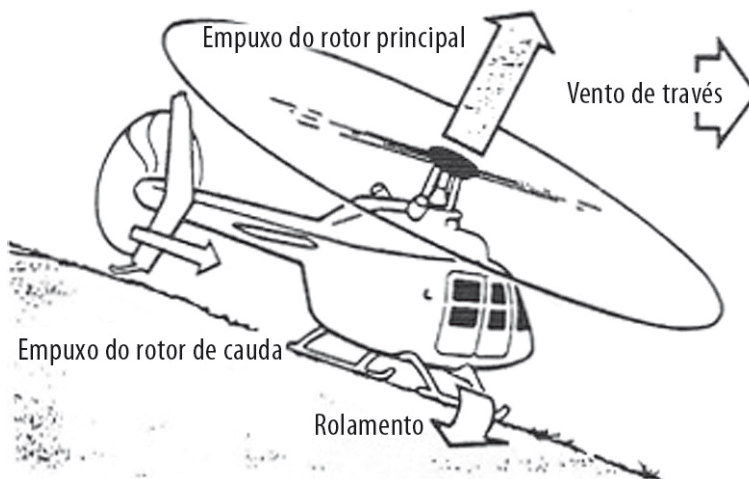


Figura 4.9 - Pouso em terreno inclinado, no sentido de inclinação do terreno
 Fonte: Mankel, 1997, p. 121.

Observe agora a sucessão de erros cometidos pelo comandante da aeronave:

- Desconsiderou a direção do vento, que está de través esquerdo;
- Efetuou o pouso no sentido de inclinação;
- Desconsiderou os efeitos do rotor de cauda, o qual contraria o torque, “puxando” a aeronave para a direita;
- O cíclico está inclinado para a direita, deixando o disco rotor paralelo com a linha inclinada do terreno.

Em um pouso correto, devemos sempre considerar:

- A direção e intensidade do vento;
- A inclinação do terreno, evitando ultrapassar os limites impostos pelo fabricante de inclinação máxima, em situação cabrada, picada e lateral;
- Evitar pouso na situação cabrada, pois na decolagem algumas aeronaves têm a tendência natural de cabrar, inclinando a cauda ainda mais para o solo, e estando em terreno inclinado o risco de toque do rotor de cauda com o solo é grande;
- Após o pouso, retornar o cíclico para posição paralela com a linha do horizonte, desfazendo a inclinação do disco rotor;
- Nunca decolar com o disco rotor paralelo com a inclinação do terreno;
- Iniciar a decolagem puxando o coletivo suavemente, descolando primeiro o esqui que estiver para o lado da inclinação do terreno e depois, com a aeronave nivelada, descolar o outro esqui, em decolagem vertical, (Figura 4.10) e partir para o voo pairado.

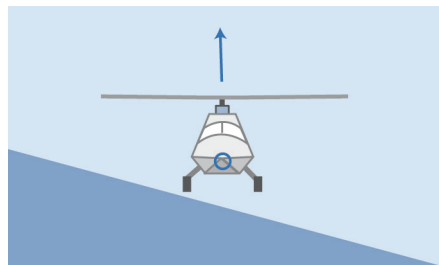


Figura 4.10 - Decolagem na vertical de terreno inclinado.

Fonte: Naval Service Training Command – US Navy, 2011. Adaptada pelos autores.

Sequência de um pouso em terreno inclinado (Figura 4.11):

1. Pairado sobre o local escolhido para pouso;
2. Toque de um esqui na parte mais alta do terreno;
3. Toque do segundo esqui no terreno, com apoio do cíclico para o lado contrário à inclinação do terreno;

4. Após o pouso, com o coletivo todo embaixo, volta-se o cíclico à posição em que o disco rotor fique paralelo ao terreno.

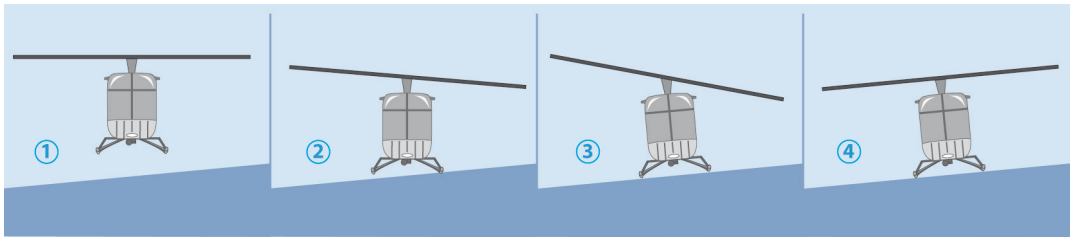


Figura 4.11- Pouso em terreno inclinado
 Fonte: Dynamicflight, 2011. Adaptada pelos autores.

Sequência correta de decolagem de terreno inclinado (Figura 4.12):

1. Após o acionamento, posiciona-se o cíclico de forma a propiciar uma decolagem **vertical**;
2. Puxando o coletivo suavemente, descola-se o esqui da parte mais baixa do terreno, ficando a aeronave apoiada apenas no esqui apoiado na parte mais alta do terreno;
3. Ato contínuo, retira-se o helicóptero do solo em voo vertical.

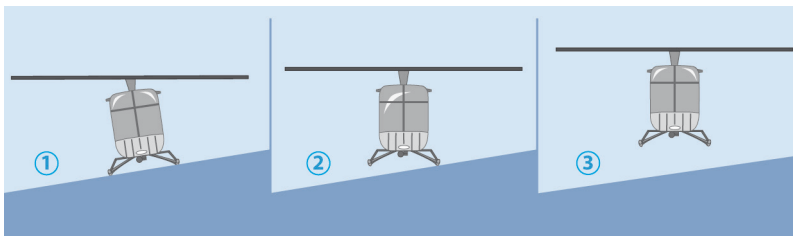


Figura 4.12 - Decolagem de terreno inclinado
 Fonte: Dynamicflight, 2011. Adaptada pelos autores.

A não observância desses preceitos pode levar à situação que os americanos chamam de “*worst possible situation = DYNAMIC ROLLOVER*”, ou seja, a “pior situação possível = ROLAMENTO DINÂMICO”. É o que veremos a seguir.

Rolamento dinâmico

Em agosto de 2001, um helicóptero AS 355 em serviço aeromédico iniciava uma decolagem para o pairado, quando foi envolvido por uma imensa nuvem de poeira levantada pelo efeito do giro do rotor principal. O piloto comandou o pouso, esperou a poeira baixar e iniciou uma nova decolagem. Envolto outra vez pela poeira, a aeronave moveu-se lateralmente, tocou um dos esquis no solo e capotou, sofrendo danos graves. Esse tipo de acidente, ainda pouco compreendido e muito mais frequente do que se imagina, chama-se **Rolamento Dinâmico** e pode acontecer com qualquer piloto, independente da sua experiência, do tipo de helicóptero ou da operação que realiza. Alguns manuais de operação alertam que o grande perigo do rolamento dinâmico é a dificuldade que a maioria dos pilotos tem em reconhecer o fenômeno.

Em voo, grandes inclinações laterais não são muito preocupantes, porém, no solo, mesmo ângulos moderados de inclinação lateral podem ser desastrosos e serem suficientes para tombar a aeronave.



De acordo com o professor Cruz [200-?], o rolamento dinâmico ocorre tipicamente quando o ângulo de rolamento crítico é excedido. Este ângulo, conhecido como ângulo de rolamento dinâmico, é definido como a inclinação máxima, além da qual a autoridade de comando do piloto não é capaz de segurar a velocidade angular que se desenvolve lateralmente em torno de um ponto de pivô como um esqui ou um pneu do trem de pouso. Esse ângulo pode ser de apenas 7° e varia de acordo com a razão de rolamento, o peso e a tração do rotor principal.

Além desse, há ainda outro ângulo quase tão importante e que fornece alguma esperança de recuperação: o ângulo de rolamento estático. Este ângulo corresponde à inclinação necessária para que o CG lateral do helicóptero se posicione diretamente em cima do esqui ou do pneu. Em outras palavras, se o piloto conseguir equilibrar a aeronave levantando um esqui ou pneu até que o CG esteja exatamente em cima do esqui ou da roda oposta, esse seria o ângulo de rolamento estático.

Para compreender o rolamento dinâmico, é necessário observar a resposta em rolamento de um helicóptero em vôo, após uma entrada de cíclico lateral. No voo nivelado, por exemplo, o vetor tração, que é perpendicular ao plano de rotação do rotor principal, atua em torno do CG lateral, a fim de fornecer as razões de rolamento desejadas, como mostra a Figura 4.13(a).

Cruz [200-?] explica que no rolamento dinâmico, a razão de rolamento em torno do ponto de pivô é determinada pela aceleração de rolamento, sendo dependente do momento de controle que atua em torno do CG e do momento de inércia no eixo de rolamento. O momento de controle é função da tração do rotor principal, enquanto que o momento de inércia está relacionado às componentes de massa em torno, nesse caso, do CG lateral. Consequentemente, toda aeronave tem momentos de inércia específicos em torno de cada eixo da aeronave (referentes a cada grau de liberdade rotacional da mesma): arfagem, rolamento e guinada.

Em voo, é confortável manobrar em torno do CG. O problema potencial ocorre quando o helicóptero entra em contato com o solo (devido a um deslocamento lateral, por exemplo), estabelecendo, dessa forma, um novo ponto de pivô (por exemplo, num esqui ou pneu). Nessa situação, o momento de inércia em torno do eixo de rolamento aumenta quase cinco vezes, devido ao deslocamento do ponto de pivô e o momento de controle diminui com o cíclico contrário, como mostra a Figura 4.13(b). Para piorar, se o piloto aplicar cíclico contrário muito tarde, o momento de controle não será suficiente para impedir o movimento de rolamento.



Neste instante, uma importante questão é levantada: Como os helicópteros podem entrar na condição de rolamento dinâmico?

Para responder a essa pergunta, basta imaginar, por exemplo, o helicóptero pousando a partir do voo pairado em uma condição de baixa visibilidade. Devido à perda de referências visuais, o piloto pode estabelecer um deslocamento lateral e tocar o solo com o esqui ou a roda. Assim, o CG da aeronave gira em torno da roda ou do esqui, originando um movimento de rolamento

indesejável e, para piorar, a tração do rotor principal pode estar acelerando o movimento, uma vez que o coletivo não está em passo mínimo, provocando, conseqüentemente, o tombamento da aeronave.

Outros acidentes dessa natureza têm ocorrido quando uma decolagem vertical é iniciada com um dos esquis ou pneus presos ao solo no barro, no gelo ou em fitas de amarração. Identificado o perigo, o piloto deve estar alerta e tomar medidas preventivas para assegurar que o helicóptero não entre nesta condição. Entretanto, ele deve, da mesma forma, saber o que fazer caso se observe, por alguma razão, esse fenômeno. De fato, se durante a decolagem começar um rolamento com uma das rodas ou esquis apoiados no solo, o piloto pode tentar acelerar a decolagem, aplicando passo coletivo o que, normalmente, é um erro, desde que o aumento da tração na mesma direção do rolamento resulta em um incremento dos momentos de perturbação (CRUZ [200-?]).

Outra opção é aplicar o comando cíclico lateral para trazer o trem de pouso de volta para o solo. Essa ação, porém, pode demorar demais e não ser efetiva, caso a aeronave ultrapasse o ângulo de rolamento dinâmico, especialmente se o movimento inicial veio de surpresa.

Assim, antes de tudo, a diminuição do momento de controle, pela redução do passo coletivo, deve ser o objetivo de todo piloto, porque ele não pode ter certeza se a tração do rotor está acelerando ou desacelerando o movimento de rolamento. Basicamente, essa ação de comando permite que o peso da aeronave aja contra o movimento de rolamento, como mostra a Figura 4.13 (c).

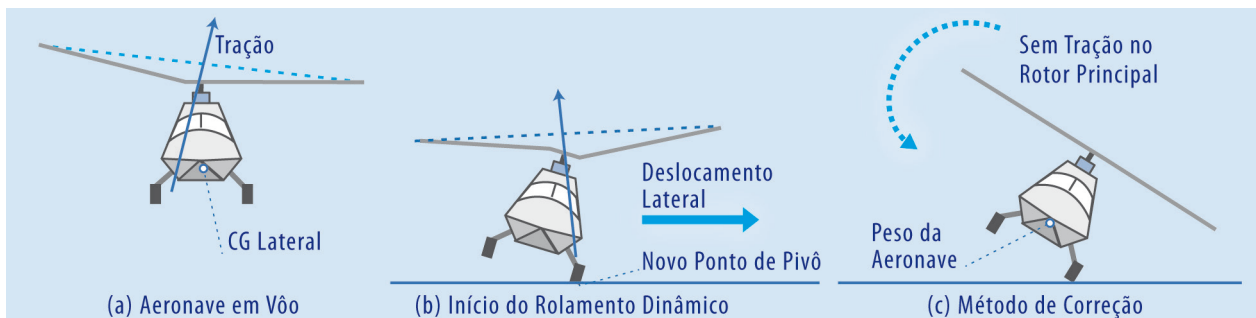


Figura 4.13 - Rolamento dinâmico

Fonte: Cruz ([200-?], p.240). Adaptada pelos autores.

Nota-se que essa redução deve ser suave, pois é possível que o helicóptero incline-se excessivamente rápido, colida com o solo e inicie um rolamento no sentido oposto.

A tração do rotor de cauda e a intensidade de vento lateral também influenciam esse fenômeno. De fato, para helicópteros girando no sentido anti-horário, por exemplo, um movimento de rolamento para a direita (referencial dentro da aeronave) será agravado pelo rotor de cauda, uma vez que sua tração também gera um momento em torno do pneu ou esqui (Figura 4.14). Por outro lado, um movimento de rolamento para a esquerda será reduzido, uma vez que a tração do rotor de cauda atua no sentido de desacelerar o movimento. Da mesma forma, a intensidade de vento lateral também pode ser um fator agravante ou benéfico, dependendo de sua direção e, portanto, do momento que ele origina em torno do ponto de pivô.

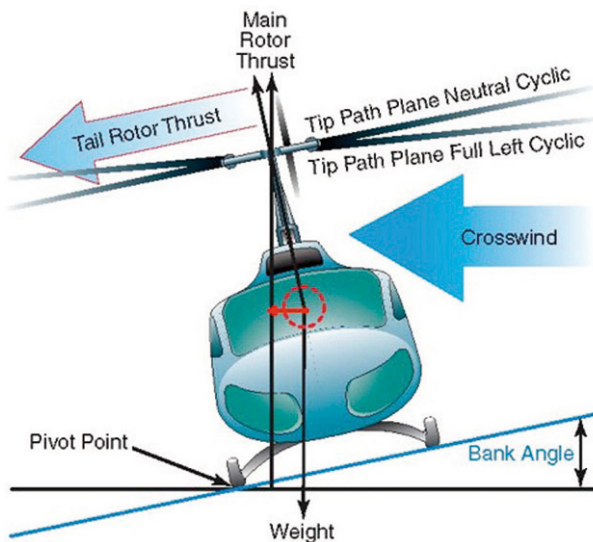


Figura 4.14 - Forças agindo no helicóptero, quando o esqui direito está no solo.
Fonte: Just Helicopters, 2011.

Na figura consideremos:

- *Main Rotor thrust*: Empuxo do Rotor Principal.
- *Tail Rotor Thrust*: Empuxo do Rotor de Cauda.
- *Pivot Point*: Ponto de Apoio.
- *Tip Path Plane Cyclic*: Eixo com o cíclico neutro.
- *Tip Path Plane Full Left Cyclic*: Eixo com o cíclico para a esquerda.

- *Crosswind*: Direção do Vento.
- *Bank Angle* : Ângulo de inclinação.
- *Weight*: Peso.

Além dessas condições, o fenômeno do rolamento dinâmico também é importante no caso de operações embarcadas em alto-mar.



Um exemplo desse fenômeno em alto mar é de um acidente de uma aeronave SH-60B da Marinha Americana ocorrido em 1997. O rotor principal da aeronave estava girando a 100% de rpm, com o coletivo totalmente baixado, e não estava estaqueada, quando o navio foi atingido por uma violenta onda, que provocou um rolamento do "deck" de 20 a 25°. Em seguida, a aeronave rolou para a esquerda e o rotor principal atingiu o "deck". Por sorte, a aeronave permaneceu embarcada e a tripulação escapou ilesa.

Essa discussão de rolamento dinâmico tem aplicação direta em outra condição de voo: o pouso em terreno inclinado.

Normalmente, esse tipo de pouso é executado abaixando suavemente o coletivo da posição do pairado até que a aeronave toque o solo em um único ponto, como mostrado na Figura 4.15 (a). O comando cíclico é usualmente deslocado na direção superior do declive, a fim de evitar o deslizamento da aeronave. O piloto, então, gentilmente, abaixa o coletivo para que a aeronave se apoie completamente no terreno e complete o pouso, como apresentado na Figura 4.15(b).

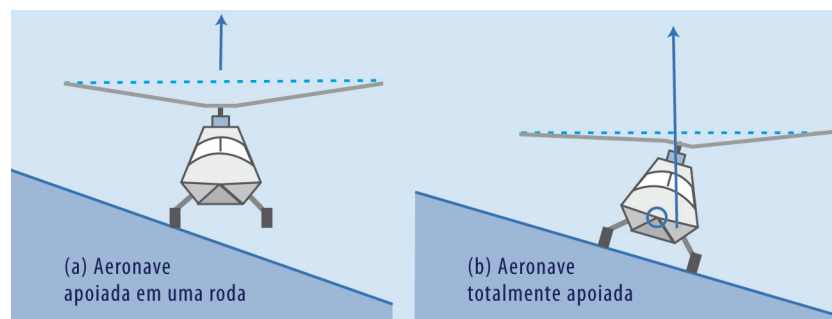


Figura 4.15 - Rolamento dinâmico em terreno inclinado
 Fonte: Cruz ([200-?], p.240). Adaptada pelos autores.

Duas condições críticas a serem observadas durante este procedimento:

- a distância do rotor com relação ao solo (deve-se tomar muito cuidado com as pessoas que se aproximam da aeronave neste tipo de terreno);
- e a perda de autoridade de comando quando o cíclico atingir seus batentes.



Muito frequentemente, a condição mais perigosa é a decolagem para o pairado de um terreno inclinado. A técnica usual é deslocar o cíclico lateralmente na direção da parte mais alta do solo, enquanto o coletivo é aplicado para cima. Isso deve ser realizado suavemente, à medida que o piloto busca uma atitude nivelada antes de levantar totalmente o trem de pouso do solo.

Contudo, um problema pode ocorrer quando essa técnica não é corretamente utilizada. Por exemplo, se o coletivo é rapidamente puxado antes da aeronave sair totalmente do solo, um excessivo momento de rolamento se verifica ou, em outras palavras, se a aeronave não está estabilizada antes de tirar os pneus ou esquis do solo, um “efeito de ricochete” pode ocorrer, à medida que o ponto de pivô move-se rapidamente do pneu ou do esqui de volta para o CG. Devido à inércia, essa mudança pode aumentar em cinco vezes o momento de controle, tornando a aeronave completamente instável. O resultado final pode ser fatal.

Seção 4 – Choques das pás e operações próximas a obstáculos

Nesta Seção, vamos estudar colisões relativas às pás do helicóptero e operações próximas a obstáculos.

Vamos iniciar nosso estudo com a definição e conhecimento do que vem a ser o “Mast Bumping”, veremos depois os choques das pás com a estrutura da aeronave, operações em áreas restritas e operações próximas a obstáculos.

Mast bumping

Tomando a liberdade de traduzir o que seja “mast bumping”, chegamos à conclusão de significa **Colisão contra o mastro**.

Juan de La Sierva inventou a articulação de batimento, o que desenvolveu sobremaneira a aviação de asas rotativas. Mas sua invenção trouxe também um problema. O projeto mecânico e a geometria da aeronave obrigam que o movimento de batimento das pás para baixo ou o movimento de gangorra em rotores semirrígidos (Figura 4.16) tenham alguma limitação física.



Figura 4.16 - Rotor semirrígido, bi-pá
Fonte: USAFHPA, 2011.

Essa limitação física em rotores semirrígidos bipás pode causar o efeito do “mast bumping”, que vitimou muitos aviadores militares norte americanos durante a Guerra do Vietnã e em alguns outros casos isolados na aviação civil.

Atualmente, a aviação policial, mais especificamente a do Estado do Rio de Janeiro, adquiriu a segunda aeronave modelo HUEY II, conhecida por “Sapão”, uma versão mais moderna do helicóptero modelo HUEY I, o UH-1H, utilizado pelos

EUA na Guerra do Vietnã, trazendo, novamente, o fantasma do mast bumping.



Mas por que o “mast bumping” é tão temido?

Simples, porque ele pode provocar uma **SEPARAÇÃO TOTAL** do mastro do rotor principal, o que, obviamente, é fatal para todos os ocupantes da aeronave, trazendo ainda risco a quem estiver no local da queda.

Vamos ver agora como isso ocorre!

A principal função dos projetistas é permitir que as pás do rotor principal tenham um movimento normal, com uma relativa margem de segurança, a fim de evitar movimentos anormais.

Porém, mesmo assim, dependendo do tipo de rotor, em determinadas condições podem ocorrer a secção do mastro do rotor principal, em fenômeno conhecido como “mast bumping”. Esse fenômeno ocorre quando os limites de movimento de gangorra das pás do rotor são excedidos de modo que o mastro sofre um impacto na cabeça do rotor, e o choque nos batentes baixos, quando os limites do movimento de batimento das pás são excedidos.

A maioria destas ocorrências é causada pela tentativa de manobrar a aeronave com baixos fatores de carga. Desde que uma grande parte dos helicópteros com rotores tipo gangorra obtém momentos de controle de arfagem e de rolamento apenas pela inclinação do vetor tração do rotor principal (com exceção dos helicópteros com excentricidade de batimento como o Bell 222), tais aeronaves dependem inteiramente da manutenção dos fatores de carga no rotor. (CRUZ, [200-?], p.245).

Assim, ainda de acordo com o mestre Cruz ([200-?]), quando o piloto tenta uma manobra durante uma condição de voo com baixo fator de carga, por exemplo, após a redução do passo coletivo durante uma entrada em autorrotação, ele necessitará inclinar muito mais o disco rotor para produzir a mesma resposta de comando do que ele precisaria numa condição de

voo nivelado. Mesmo com tração nula, o plano de rotação responderá às entradas de comando cíclicas com sua inclinação. Na realidade, ele sobrepujará qualquer batente mecânico de batimento ou gangorra por meio da flexão das pás, desde que os efeitos aerodinâmicos sejam mais fortes que a rigidez estrutural das pás.



Se a inclinação requerida é maior do que os projetistas supunham, então, o “mast bumping” ocorrerá. Em rotores com excentricidade de batimento, o piloto não necessita inclinar tanto o disco rotor para executar as mesmas manobras em condições de baixo fator de carga, em virtude do momento de controle adicional oriundo da força centrífuga das pás inclinadas em sua conicidade. Com baixa tração no rotor principal, entretanto, a conicidade formada pelas pás será menor, de modo que elas estarão mais próximas de seus batentes baixos do que em uma condição normal de voo reto e nivelado.

Em qualquer condição, tanto o “mast bumping” quanto os choques nos batentes baixos são perigosos, uma vez que eles geram grandes tensões oscilatórias capazes de provocar rupturas nas partes do rotor que estão colidindo uma nas outras.

De forma mais sucinta, podemos afirmar que o “mast bumping” ocorre em rotores semirrígidos, bipás. Algumas aeronaves correm maior risco de “mast bumping”, tais como os modelos Robinson R 22 e R44, Bell Jet Ranger, Bell Long Ranger e Bell 204, 205, 210 e 212.

Lembre-se de que o piloto contribui para a situação sempre que coloca sua aeronave em condição de baixo G, pois a reação instintiva de qualquer piloto quando a rolagem inicia é corrigir com o cíclico para o lado contrário ao movimento, e quanto maior a razão de rolagem, mais brutos serão os **movimentos de controle**.

Atitudes severas de voo provêm de comandos severos.

Concluimos então que sempre se corrige uma situação adversa com movimentos suaves. Se você entrar em uma condição de baixo G, lembre-se:

- Evite movimentos bruscos e de grande amplitude nos comandos.
- Movimentos graduais e suaves são fundamentais.

Choques das pás com estrutura da aeronave

Os fabricantes de helicópteros devem sempre projetar rotores com o grau de liberdade em batimento requerido para as manobras (incluindo aqueles relacionados com recuperação de situações perigosas e inesperadas), ao mesmo tempo em que asseguram que as pás dos rotores nunca atingirão qualquer parte da estrutura da aeronave em qualquer condição de voo, conforme estabelecido pelo parágrafo 661 do **FAR 27 e 29**.

Alguns acidentes provam que os projetistas nem sempre conseguem cumprir essa exigência. O erro mais comum deles é subestimar a quantidade de batimento das pás que o piloto solicita, resultando em cálculos teóricos que se mostram inadequados durante a execução de ensaios em voo e mesmo na operação de tais aeronaves.

FAR é a Federal Aviation Administration, é a agência reguladora da aviação Norte Americana.

Tais diferenças forçaram a modificação da configuração, por exemplo, do Sikorsky S-55 (Figura 4.17) ou H-19, que originalmente tinha um cone de cauda reto. Após uma sequência de choques das pás do rotor principal no cone de cauda, o mesmo recebeu uma angulação de 3° para baixo, de modo a prover uma distância mínima adicional.



Figura 4.17 - Sikorsky S-55
Fonte: The-blueprints, 2011.

Recentemente a Bell teve um problema similar no modelo 407. No período de setembro de 1997 a fevereiro de 1999, foram reportadas três perdas de cone de cauda, em virtude de seu

choque com as pás do rotor de cauda, sendo que uma delas ocorreu no Brasil, com duas vítimas fatais.

Para resolver esse problema, que ocorria em altas velocidades de deslocamento com aplicação de todo pedal esquerdo (o que convenhamos não é uma situação normal), o fabricante, além de aumentar a angulação do batente da pá e a distância física entre a cabeça do rotor de cauda e a aeronave, incorporou um limitador de acionamento de pedal esquerdo em torno de 55 kt de velocidade, à frente nos modelos Bell 407 (Figura 4.18) e 427.



Figura 4.18 - Bell 407
Fonte: Hover Dynamics, 2011.

De acordo com Cruz [200-?], uma das condições mais comuns de choques das pás no cone de cauda se verifica no pouso brusco. A Figura 4.19 ilustra dois cenários para esse tipo de acidente.

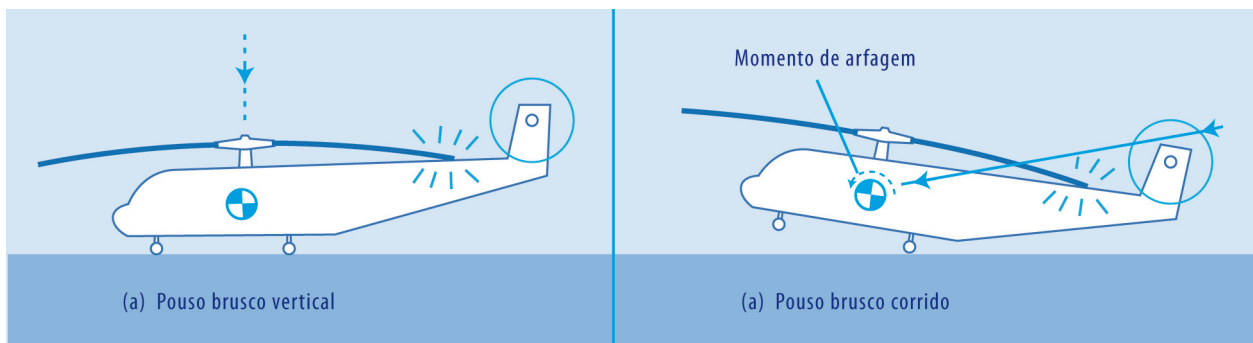


Figura 4.19 - Choques das pás na aeronave em pousos bruscos
Fonte: Cruz ([200-?], p. 247). Adaptada pelos autores.

No primeiro, relacionado ao pouso brusco vertical, o trem de pouso fixa-se firmemente ao solo, segurando o movimento para baixo da estrutura da aeronave; porém, as pás do rotor continuam descendo. Uma baixa rotação do rotor e uma redução rápida de passo coletivo contribuem para o movimento de batimento para baixo e para a flexão das pás, podendo atingir a estrutura traseira da aeronave.

O outro tipo comum de choques das pás no cone de cauda é provável de ocorrer durante um pouso corrido quando o “flare” é excessivo, de modo que a parte traseira do trem de pouso bate primeiro no solo, fazendo com que a parte traseira do helicóptero tenda a pular de volta para cima, enquanto a parte dianteira e o rotor continuam descendo. Além disso, o súbito movimento de arfagem a picar faz com que o piloto instintivamente puxe o comando cíclico para trás, causando uma inclinação do rotor para ainda mais perto do cone de cauda.



Projetando o trem de pouso para ter um grande amortecedor de choque alivia esses problemas de aterrissagem.

Outros incidentes de choques das pás no cone de cauda têm ocorrido em alguns helicópteros durante a entrada em autorrotação. Ensina-nos Cruz ([2000-?], p. 248) que

a redução rápida do passo coletivo produz um movimento repentino de arfagem a picar e, se o piloto reagir com comando cíclico a cabrar, a combinação de pequena conicidade e batimento para trás pode ser suficiente para reduzir a zero a distância das pás com relação ao cone de cauda.

Quando o rotor é acelerado, as forças centrífugas endurecem as pás e limitam a possibilidade de deflexão elástica delas, porém, quando a rotação é baixa, como ocorre durante os procedimentos de partida e corte, esse efeito da força centrífuga de enrijecer as pás é pequeno e, portanto, rajadas fortes de vento podem causar grandes e irregulares amplitudes de batimento e flexão das pás. Por essa razão, muitos rotores com articulações de batimento, como, por exemplo, o AS 365 Dauphin, têm batentes que funcionam de acordo com a força centrífuga.

Em rotações baixas, esses batentes limitam o movimento para baixo das pás e uma vez que o rotor é acelerado (acima de 140 rpm no caso do Dauphin), os batentes são retirados pela ação da força centrífuga, de modo a permitir o batimento das pás, agora mais rígidas (Figura 4.20).

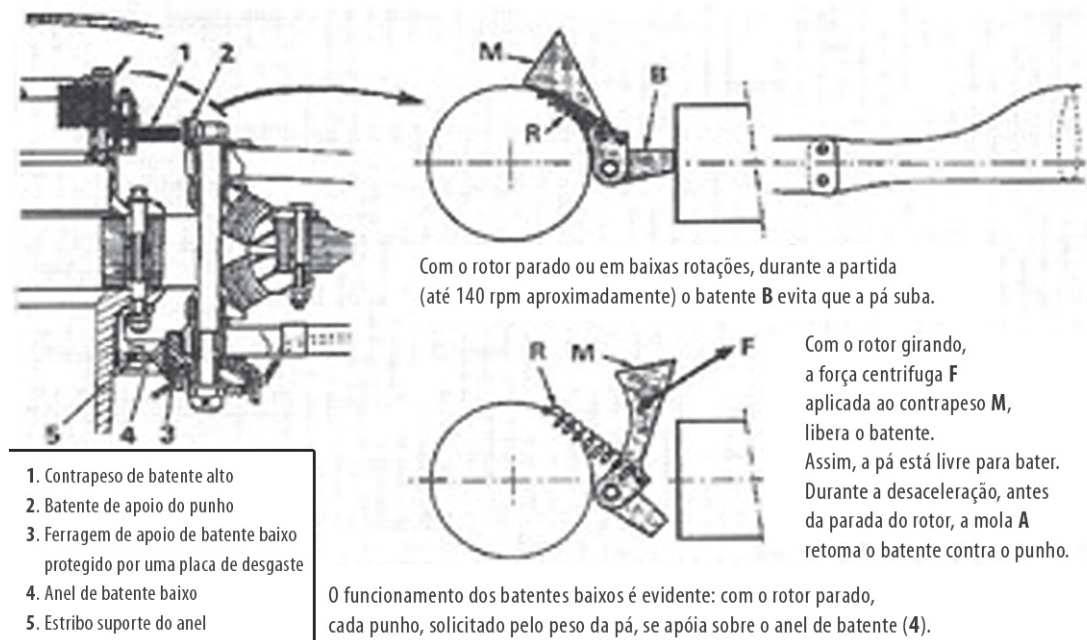


Figura 4.20 - Funcionamento dos batentes do AS365 Dauphin
 Fonte: Cruz ([200-?], p. 249). Adaptada pelos autores.



Cruz ([200-?]) cita um **caso especial** de choque nos batentes baixos que ocorreu uma vez em um Sikorsky S-56 estacionado, quando outro S-56 pousou ao seu lado. O fluxo de ar oriundo da aeronave que pousava levantou uma das pás do helicóptero estacionado, fazendo com que a pá batesse no batente baixo, o que acabou por danificá-la. Essa ocorrência serve para ilustrar a razão pela qual as aeronaves estacionadas devem ter suas pás fixas por fitas de amarração e o motivo pelo qual não se efetua táxi próximo demais e muito menos sobre outra aeronave estacionada.

Operações em área restrita

Iniciamos este estudo com uma definição do Comandante Mankel (1997, p.120), o qual descreve área restrita como

qualquer área onde a operação do helicóptero é limitada por qualquer tipo de obstrução. Podemos definir área restrita como aquela que tem altos obstáculos ou baixos obstáculos ou a combinação de ambos.



Definimos ainda área restrita como sendo aquela que não possui homologação para operações com helicóptero por parte dos órgãos aeronáuticos, e que apresentam dificuldades de acesso para pouso, devido a existência de obstáculos nas imediações, dificultando a aproximação da aeronave exigindo um tráfego fora dos procedimentos padrão de circuito de tráfego.

Os obstáculos citados acima podem ser vegetação (desde capim até copas de árvores), cercas e muros, linhas de alta e baixa tensão, fios de pipa, torres de alta tensão, antenas diversas (celular, rádio), pedras, construções entre tantas outras. Todo material que devido à sua posição no terreno dificulta o pouso e/ou a decolagem de um helicóptero, restringe sua capacidade de operar.

Na Figura 4.21 podemos observar uma operação em área restrita, onde policiais militares do Rio de Janeiro efetuam a manobra de embarque à baixa altura em local repleto de fios energizados, construções irregulares e uma caixa d'água.



Figura 4.21 - Embarque à baixa altura em área restrita
Fonte: Sarinho, 2011.

Já a Figura 4.22 ilustra um pouso em área restrita pela vegetação. Para pousos e decolagens em área restrita, é recomendado que o piloto siga algumas regras básicas, a fim de evitar que sua operação se transforme em um acidente ou incidente aeronáutico. É sempre bom lembrar que esse tipo de operação ocorre **por conta e risco do Comandante da aeronave**, sendo salutar que em caso de dúvida ou risco excessivo não pouse.



Figura 4.22 - Pouso em área restrita
Fonte: Voar News, 2011.

Antes de iniciarmos o estudo das regras básicas para um pouso em área restrita, vamos verificar atividades críticas que envolvem esse tipo de operação. São elas:

- a) Desconhecer as condições meteorológicas que podem ser desfavoráveis ao pouso;
- b) Tráfego aéreo intenso nas proximidades da área;
- c) Proceder sobrevoos abaixo da altura mínima de segurança;
- d) Não clarear a área, fazendo um circuito sobre o local pretendido para pouso, deixando de observar grandes obstáculos (alta tensão e torres).

Regras básicas para um pouso seguro em área restrita:

- Ter pleno conhecimento das condições meteorológicas no local e na região de onde será efetuado o pouso, certificando-se da visibilidade, direção e intensidade do vento;
- Se houver vento, esteja pronto para ser recebido por uma turbulência;
- Ter uma boa comunicação a bordo, pois o auxílio dos demais ocupantes da aeronave pode ser necessário;
- Todos devem estar utilizando o cinto de segurança;

- Certificar-se de que há potência suficiente para a manutenção de pairado fora do efeito solo, antes de efetuar a aproximação final;
- Efetuar um circuito sobre o terreno, mantendo uma altura mínima de 300 pés acima do solo, efetuando giro pela direita, a fim de observar o local de pouso e evitar a surpresa com obstáculos ou declive no terreno;
- Se o local for de trânsito livre de pessoas, certifique-se de que todos perceberam sua intenção de pouso e livraram a área. Caso contrário, não pouse;
- Ficar atento aos obstáculos que possam causar risco na reta final para pouso da aeronave, como fios, árvores e torres, bem como a obstáculos de pequena altura como muros, pequenos arbustos ou materiais fixos ao solo;
- Observar se nas adjacências do local escolhido existem materiais que possam ser danificados pelo vento com a aproximação da aeronave, como telhas, caixas d'água ou madeira, no solo ou em construções próximas, bem como estruturas que possam ser afetadas como bancas de jornal ou carrinhos de vendedores ambulantes;
- Atentar para o espaço disponível para o toque da aeronave no solo, que vai variar de acordo com o tipo e modelo da aeronave (conhecer as dimensões da aeronave que opera);
- Identificar o tipo de solo existente, prevendo a possibilidade de formação de nuvens de poeira que poderão tirar a visibilidade do piloto no momento da aproximação, impossibilitando perceber a distância do solo no momento do toque;
- Quando o piloto informar que está na final para pouso, os tripulantes e passageiros devem atentar para que a cabine fique estéril em relação ao barulho, resumindo a conversação apenas a necessária para a conclusão do pouso;
- Mantenha obstáculos longe do rotor de cauda;

- Ficar atento às condições do terreno no tocante à resistência e inclinação do piso;
- Ficar atento a obstáculos que possam danificar ou desestabilizar os esquis do trem de pouso;
- Assim que a aeronave tocar o solo, o comandante deverá se assegurar das condições de estabilidade da aeronave no solo, e só após certificar-se de que é seguro, autorizar o desembarque;
- Se o tempo em solo for superior a 2 minutos, cortar os motores. A aeronave sem giro dos rotores minimiza os riscos de acidente em solo, por algum transeunte desavisado.



O resultado que sempre esperamos em pouso restrito é que ele seja seguro. A aproximação, pouso e decolagem devem sempre ser efetuados com a maior segurança possível.

Por fim, “Nunca pouse em um local onde suspeite de que não poderá decolar.” (MANKEL, 1997, p.120).

Operações próximas a obstáculos

O piloto de helicóptero raramente tem pistas de como estão as correntes de ar que passam por meio do disco rotor, o que pode ser especialmente ruim, operando próximo a obstáculos. Nessas condições, o vento e o fluxo de ar oriundo do rotor principal são influenciados por esses obstáculos, de modo que o rotor pode estar operando dentro de sua própria esteira de ar.

A Figura 4.23 mostra um dos mais notórios efeitos que podem ocorrer quando um helicóptero decola próximo de um obstáculo. A recirculação do fluxo de ar produz um aumento da não uniformidade de distribuição da velocidade induzida no disco rotor, à medida que se aumenta a tração na decolagem. Isso irá

requerer uma posição de cíclico no pairado não usual, que pode causar uma grande surpresa para um piloto desatento.

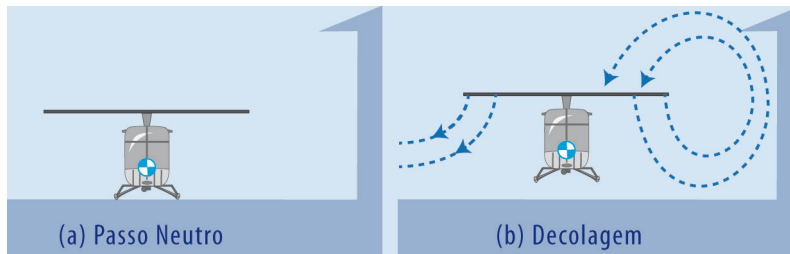


Figura 4.23 - Recirculação de ar
 Fonte: Cruz ([200-?], p.250). Adaptada pelos autores.



Por exemplo, se em virtude da recirculação, o fluxo de ar para baixo do rotor for mais forte do lado esquerdo (Figura 4.23 helicóptero visto de frente), o helicóptero tenderá a mover-se para trás, considerando que o sentido de giro do rotor é anti-horário (visto de cima), por causa do atraso de 90° no batimento.

De acordo com Cruz [200-?], além de influenciar a posição do comando cíclico, esse aumento não uniforme do fluxo de ar para baixo afeta a condição de subida, que requer mais potência do rotor principal e, portanto, do rotor de cauda. Isso representa uma diminuição no efeito solo e pode manter um helicóptero pesado no solo.

As distorções do fluxo de ar também ocorrem sempre que o helicóptero é manobrado dentro de uma região de vento perturbado, como nas plataformas elevadas nos topos de edifícios, nos cumes de montanhas, nas plataformas de petróleo ou nos “deck” de navios. Nesses casos, as mudanças de fluxo de ar podem ser para cima ou para baixo, porém, geralmente ocorrem durante a decolagem e pouso. Para reduzir a surpresa no pouso, alguns pilotos recomendam uma aproximação lenta com vento de través, que permite uma melhor chance de arremetida, quando as coisas ficam muito complicadas.

Finalmente, deve-se tomar cuidado ao redor dos aeroportos, onde grandes aeronaves de asas fixas deixam sua esteira de ar turbulento, que podem persistir por vários minutos, até que um helicóptero passe por ela, trazendo consequências, às vezes desagradáveis, mesmo para helicópteros de grande porte.



Síntese

Neste conteúdo, você obteve a resposta sobre o que é um acidente aeronáutico. Para que se possa identificar e entender os acidentes mais comuns no meio da aviação de asa rotativa, temos que entender o que é e como ocorre um acidente aeronáutico. Na primeira seção deste trabalho, ficou bem evidenciado esse objetivo acadêmico, e de posse dessas definições pudemos entrar nas situações mais específicas, as quais são o objeto do estudo.

Na segunda parte deste conteúdo, você compreendeu as causas e os efeitos da ressonância em solo, as quais são violentas vibrações que podem surgir durante o giro no solo, durante o táxi, durante o acionamento da aeronave, durante o pouso ou até mesmo quando a aeronave estiver dentro do efeito solo. Compreendeu como ocorre e que esse fenômeno pode destruir totalmente um helicóptero e ser potencialmente arriscado para os ocupantes da aeronave. Viu também um fenômeno recentemente estudado, a ressonância ar, a qual pode ter os mesmos efeitos da ressonância com o solo.

Conheceu como ocorre o rolamento dinâmico, e para que esse objetivo obtivesse êxito, viu como se procede em pousos em terreno inclinado. O rolamento dinâmico ocorre por desconhecimento do piloto em comando, nas ações de decolagem em determinadas situações, tais como a aeronave pousada em terreno inclinado e ou decolagem de terrenos propensos a suspensão de partículas sólidas. A decolagem vertical é fundamental para a prevenção do fenômeno.

Analisou as situações e riscos de choque das pás do rotor principal com a estrutura da aeronave, e como os projetistas atuaram para resolver esse tipo de problema. Viu também os efeitos do “mast bumping”, como ocorre e como prevenir esse fenômeno que vem desde os tempos da Guerra do Vietnã.

Por fim, analisou e compreendeu os procedimentos de pouso em área restrita, tendo como base as recomendações de atuação antes e durante essa manobra, considerada de grande risco na aviação. De posse desses conhecimentos, pôde visualizar e entender os riscos de operações próximas a obstáculos, sabendo como agir e tendo subsídios para a tomada de decisão.



Atividades de autoavaliação

- 1) Descreva, em no máximo 15 linhas, o que é a ressonância com o solo, em que tipo de aeronave é mais comum e quais seus efeitos?

- 2) Descreva, em no máximo 10 linhas, como ocorre o rolamento dinâmico.



Saiba mais

Se você desejar, aprofunde os conteúdos estudados nesta unidade consultando as seguintes referências:

MANDEL, Roberto. **O helicóptero sem segredos**: teoria de voo, conhecimentos técnicos específicos de helicóptero e emergências. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997.

VIEIRA, Boanerges; SERAPIÃO, Antônio Carlos. **Aerodinâmica de helicópteros**. Rio de Janeiro: Reditora Rio, 2003.



Para concluir o estudo

Esperamos ter cumprido o nosso papel de elo entre os futuros profissionais de aviação e o incrível mundo dos helicópteros.

Nossa intenção não era, nem nunca foi, esgotar o assunto. Novos conhecimentos aparecem a cada dia, e você deve estar atento às inovações tecnológicas, técnicas e científicas do mundo da aviação.

O mercado de asas rotativas encontra-se em franco crescimento, e o Brasil já ocupa a segunda posição em número e operação de helicópteros. Portanto, sua escolha foi muito acertada.

Esta disciplina, a qual você agora conclui, deixa-o mais perto dos conhecimentos necessários à atuação nesta área. Não importa se você será piloto de avião, de helicóptero ou apenas um especialista em aviação, o importante é que as ferramentas básicas foram fornecidas para você interagir com o mundo aeronáutico.

Você obteve acesso a assuntos importantes sobre teoria de voo e conhecimentos técnicos de helicópteros, além de vislumbrar diversos fenômenos relacionados a acidentes específicos com esse tipo de aeronave.

Mais uma vez, ratificamos a não pretensão de explorarmos totalmente o assunto. A prospecção complementar indicada nos textos, aliada a sua atenta leitura, servirão para seu aprimoramento nesta específica área das Ciências Aeronáuticas.

Finalizando, trazemos a frase proferida por um dos pais da asa rotativa:

“Uma vez que você experimentar o voo,
nunca mais caminhará sobre a terra sem olhar para os céus,
pois você já esteve lá, e para lá sua alma desejará voltar”.

Leonardo Da Vinci

Bons Voos!

Alessandro José Machado
Marcio Leandro Reisdorfer



Referências

AEROSPACEWEB (2011). **Aircraft Museum**. Disponível em: <<http://www.aerospaceweb.org/>>. Acesso em: 02 ago. 2012.

AIRFLITEOK (2011). Tanque de combustível visível. Disponível em: <<http://www.airflitok.com/copters.asp?id=348>>. Acesso em: 02 ago. 2012.

AIRLINERS (2011). Exemplo de rotor tipo duplo lado a lado não sincronizado. Disponível em: <<http://www.airliners.net/aircraft-data/>>. Acesso em: 14 jun. 2011.

AIRLINERS (2011). Aircraft Technical Data & Specifications. X-Wing (NASA). Disponível em: <<http://www.airliners.net/aircraft-data/>>. Acesso em: 14 dez. 2011.

ANSWERS (2011). Plano de Rotação. Disponível em: <http://www.answers.com/topic/plane-of-rotation>>. Acesso em: 16 dez. 2011.

ASME. Engineering Standarts, News and Resources for Engineers. Disponível em: <<http://www.asme.org/about-asme/history/landmarks/topics-a-l/air-and-space-transportation/-95-sikorsky-vs-300-helicopter-%281939%29>>. Acesso em: 23 jul. 2012.

AVIAÇÃO POLICIA RODOVIARIA FEDERAL. Divisão de operações aeromédicas. Disponível em: <<http://www.resgatedoa-brasil.blogspot.com/>>. Acesso em: 16 dez. 2011.

AVIATION (2011). Sikorsky Sea King - SH-3B. Disponível em: <<http://www.aviation.com.br/>>. Acesso em: 13 dez. 2011.

AVIASTAR (2011). Helicopter directory. Disponível em: <<http://www.aviastar.org/>>. Acesso em: 14 dez. 2011.

AVIASTAR (2012). A máquina aérea de George Cayley. Disponível em: <http://www.aviastar.org/helicopters_eng/cayley.php>. Acesso em: 14 dez. 2011.

BELL HELICOPTER (2011). Exemplo de algumas partes, componentes e sistemas que formam um helicóptero. Disponível em: <http://www.bellhelicopter.com/en_US/Commercial/Commercial.html>. Acesso em: 13 dez. 2011.

BOEING (2011). Defense, Space and Security. AV-8B Harrier II Plus. Disponível em: <<http://www.boeing.com/defense-space/military/av8b/index.htm>>. Acesso em: 14 dez. 2011.

CÉLUAS DE AERONAVES. Mecânico de manutenção Aeronáutica. IAC. Edição Revisada, outubro de 2002.

CHEDIAC, Dirceu A. Peres. **O helicóptero para pilotos e mecânicos**: teoria de voo – conhecimentos técnicos. Rio de Janeiro, 1989.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR – DF. Helicóptero EC 145 do Corpo de Bombeiros do DF pousando em terreno inclinado. Disponível em: <<https://www.cbm.df.gov.br/>>. Acesso em: 19 dez. 2011.

DA SILVA, Paulo Rodrigues. **Helicóptero**: conhecimentos técnicos: noções fundamentais. Ed. ASA. São Paulo, 2006.

DEFENSE INDUSTRY DAYLY (2011). Seção dianteira do helicóptero. Disponível em: <www.defenseindustrydaily.com/cat/corporation/small-business/page/2/>. Acesso em: 02 ago. 2012.

_____. Planos de movimento. Disponível em: <www.defenseindustrydaily.com/cat/corporation/small-business/page/2/>. Acesso em: 02 ago. 2012.

DYNAMIC FLIGHT (2011). Pouso e decolagem em terreno inclinado. Disponível em: <<http://www.dynamicflight.com>>. Acesso em: 19 dez. 2011.

EUROCOPTER (2011). Eurocopter X3. Disponível em: <<http://www.eurocopter.com/site/en/ref/home.html>>. Acesso em: 14 jun. 2011.

FINESCALE (2009). The essential magazine for model builders. Building process planning. 1/18 scale Schwizer S-300C/Breda Nardi hugues NH-300 C Scratchbuild Model. Disponível em: <<http://cs.finescale.com/FSMCS/forums/p/144660/1536323.aspx>>. Acesso em: 02 ago. 2012.

FLYHELI (2011). Helicentre aviation. Photo Gallery. **Rotor tipo fenestron**. Disponível em: <<http://www.flyheli.co.uk/gallery/>>. Acesso em: 19 dez. 2011.

FOTOSEARCH. Banco de Imagens. Arquivo mundial de fotografias. Disponível em: <<http://www.fotosearch.com.br/>>. Acesso em: 14 jun. 2011.

GIGANTES DO MUNDO.Exemplo do rotor tipo duplo lado a lado não sincronizado. Helicóptero russo – Mil Mi 12. Disponível em: <<http://gigantesdomundo.blogspot.com/2011/12/mi-12-o-maior-helicoptero-do-mundo.html>>. Acesso em: 02 ago. 2012.

HELIBRAS (2011). Painel de Helicóptero Modelo AS 50. Disponível em: <<http://www.helibras.com.br/>>. Acesso em: 14 dez. 2011.

HELICOPTERPARTS (2011). Cabine do Schweizer 300. Disponível em: <<http://www.helicopterparts.com/>>. Acesso em: 14 dez. 2011.

HELICOPTEROS (2011). Exemplo de helicópteros equipados com flutuadores. Disponível em: <<http://www.helicopteros.com.br/>>. Acesso em: 15 dez. 2011.

HELIS. Helicopter History Site. Disponível em: <<http://www.helis.com/introduction/prin.php>>. Acesso em: 14 dez 2011.

HOMA, Jorge M. **Aeronaves e motores**. Conhecimentos técnicos. Ed. ASA. São Paulo, 2002, 189 p.

_____, Jorge M. **Aeronaves e motores**. 29. Ed. ASA. São Paulo, 2009.

HOVER DYNAMICS (2011). Bell 407. Disponível em: <http://www.hoverdynamics.co.za/helicopters.html>>. Acesso em: 20 dez. 2011.

_____. Estabilidade longitudinal. Disponível em: <http://www.hoverdynamics.co.za/helicopters.html>>. Acesso em: 20 dez. 2011.

_____. (2007). Technical specifications Robinson R22 Beta II. Disponível em: <http://www.hoverdynamics.co.za/helicopters.html>>. Acesso em: 20 dez. 2011.

I LOOK FORWARD TO. Top 8 most promising flying cars and personal air vehicles (2012).<<http://ilookforwardto.com/2010/04/top-8-most-promising-flying-cars-and-personl-air-vehicles.html>>. Acesso em: 23 jul. 2012.

INFOGLOBO (2011). Helicóptero anfíbio Sea King. Disponível em: <<http://extra.globo.com/noticias/mundo/principe-william-pilota-helicoptero-participa-de-corrida-de-barcos-durante-visita-ao-canada-2162964.html>>. Acesso em: 02 ago. 2012.

JOFFILY, Kleber. **Aerodinâmica do helicóptero**: teoria do voo: conhecimentos técnicos. Curitiba: K. Joffily, 2000.

JUST HELICOPTERS (2011). Helo Industry Week in Review e-Newsletter. Disponível em: <<http://www.justhelicopters.com>>. Acesso em: 02 ago. 2012.

KEMPLEY HELICOPTERS (2012). Principles of Helicopter (part) Fligth – Part 1. Disponível em: <www.kempley-helicopters.com/guides/physics-mechanics>. Acesso em: 02 ago. 2012.

MANDEL, Roberto. **O helicóptero sem segredos**: teoria de voo, conhecimentos técnicos específicos de helicóptero e emergências. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **Nomenclatura de helicópteros**. Lisboa: Federação Portuguesa de Aerodelismo, 2009.

MILITARY-TODAY (2011). Aircraft. Disponível em: <<http://www.military-today.com/aircraft.htm>>. Acesso em: 14 dez. 2011.

NOMENCLATURA DE HELICOPTEROS (2009). Federação Portuguesa de Aerodelismo. Disponível em: <<http://www.fpam.pt/Nacional/Formacao/TecNiv1/h17aNomenclaturaHelicopteros.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2011.

MILITARY POWER REVIEW (2011). Helicopters. Disponível em: <<http://www.militarypower.com.br/helic.htm>>. Acesso em: 15 dez. 2011.

MILITARY FHOTOS (2011). X-Wing da NASA. Disponível em: <<http://www.militaryphotos.net/forums/showthread.php?146223-NASA-Sikorsky-S-72-RSRA-%28MV-22-Alternativo-%29>>. Acesso em: 02 ago. 2012.

NAVAL SERVICE TRAINING COMMAND – US NAVY. Disponível em: <<http://www.netc.navy.mil>>. Acesso em: 19 dez. 2011.

NOTÍCIAS AERO (2010). Eurocopter X3. Disponível em: <<http://noticias-aero.info/2010/12/alcanzado-un-importante-hito-de.html>>. Acesso em: 02 ago. 2012.

PORTAL SÃO FRANCISCO. História do Helicóptero. Disponível em: <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/historia-do-helicoptero/helicoptero-11.php>. Acesso em: 19 out. 2012.

PREPA PLS ANGLAIS. Aeronautics and defense for English Learners. Sea King helicopter blade. 2010. Disponível em: <<http://airforces.fr/2010/10/27/sea-king-helicopter-blade/>>. Acesso em: 02 ago. 2012.

ROCHA, Ivan Freire Brito. **Teoria de voo para helicópteros**. São Paulo: Título Independente, 2009.

RUMERMAM, Judy. Early Helicopter Technology. Centennial of Flight. Disponível em: <http://www.centennialofflight.gov/essay/Rotary/early_helicopters/HE1.htm>. Acesso em: 13 dez. 2011.

SARINHO, J. Embarque à baixa altura em área restrita. Disponível em: <<http://www.sarinho.adv.br/home.php>>. Acesso em: 20 dez. 2011.

SCALE ROTORS (2011). Tanque sob suportes laterais. Disponível em: <<http://www.scale-rotors.com/reference/ch-53e-super-stallion>>. Acesso em: 02 ago. 2012.

TARGET LOCK (2012). David Hastings Personal Page: My interest in military aviation. Disponível em: <<http://www.targetlock.org.uk/osprey/production.html>>. Acesso em: 20 dez. 2011.

THE-BLUEPRINTS. Sikorsky S-55. Disponível em: <<http://www.the-blueprints.com>>. Acesso em: 20 ago. 2011.

USAFHPA. USAF Pilot Helicopter Association. Image. Disponível em: <<http://www.usafhpa.org/>>. Acesso em: 19 dez. 2011.

USNAVY (2007). A Canadian CH-124 Sea King performs. Official Website of the United States Navy. Disponível em: <http://www.navy.mil/view_single.asp?id=50299>. Acesso em: 02 ago. 2012.

VOAR NEWS (2011). Pouso em área Restrita. Disponível em: <<http://www.voarnews.blogspot.com>>. Acesso em: 20 dez. 2011.

WESTWIND HELICOPTERS (2011). Helicopter Specifications. Seção dianteira do helicóptero. Disponível em: <<http://www.westwind-helicopters.com/index.php?page=specs>>. Acesso em: 14 dez. 2011.

WIKIPEDIA (2011). Helicóptero Bell 47. Disponível em: <www.wikipedia.org/wiki/Bell_47>. Acesso em: 13 dez 2011.

WIKIPEDIA (2011). Rotor de cauda do tipo Fenestron. Disponível em: <www.es.wikipedia.org/wiki/kamov_Ka-60>. Acesso em: 13 dez 2011.

Sobre os professores conteudistas



Alessandro José Machado

Formado em Direito, é Oficial da Polícia Militar de Santa Catarina. É pós-graduado em Segurança Pública pela UNISUL. Na área de aviação, é Piloto Comercial de Helicóptero, com experiência de mais de 2.500 horas de voo, possui Curso de Segurança de Voo pelo CENIPA, é Instrutor de Voo de Helicóptero da PMSC e ainda tem Treinamento de Emergência na Aeronave Esquilo AS 350 B, BA e B2 e Curso UTEPAS – Unidade de Treinamento de Escape de Aeronave Submersa – realizado na Marinha do Brasil. Atualmente, é Oficial de Segurança de Voo do Batalhão de Aviação da Polícia Militar de Santa Catarina e piloto da aeronave Águia 01 – Esquilo B2 da Polícia Militar, sediada em Joinville.

Márcio Leandro Reisdorfer

Formado pela Academia da Polícia Militar da Trindade (Florianópolis/SC), é oficial da Polícia Militar de Santa Catarina, possui Curso Superior Sequencial de Marketing, realizado pela Universidade do Sul do Estado de Santa Catarina – UNISUL, e pós-graduação em Administração em Segurança Pública, pela mesma universidade. Na área de aviação é Piloto Privado de Avião e Piloto Comercial de Helicóptero, desempenhando, atualmente, atividades como co-piloto da aeronave Águia 01 – Esquilo B2 da Polícia Militar, sediada em Joinville. Possui Curso UTEPAS – Unidade de Treinamento de Escape de Aeronave Submersa – realizado na EDRA Aeronáutica, em São Paulo.



Respostas e comentários das atividades de autoavaliação

Unidade 01

- 1) Explique como o helicóptero obtém sustentação, e quais são suas principais vantagens em relação a outros meios de transporte.

Resposta:

O helicóptero é uma aeronave de asas rotativas, e voa devido a seu rotor principal, que ao girar com ângulo positivo em suas pás produz sustentação, além de propiciar as manobras necessárias ao voo, combinadas com o rotor de cauda, que é responsável pelo efeito antitorque. E suas principais vantagens em relação a outros meios de transporte são a capacidade de pairar sem se mover, voar para trás e girar no ar, além de sua versatilidade que propicia pousá-lo em qualquer lugar.

- 2) Quais foram os principais problemas enfrentados pelos inventores no começo do século passado, que restringiram o desenvolvimento do helicóptero?

Resposta:

Inicialmente, um dos principais problemas enfrentados foi com relação à potência dos motores utilizados nos primeiros protótipos, uma vez que a operação no voo pairado exige um pico de potência bem maior que na condição de cruzeiro, que não era disponível nos motores do início do século passado, que contavam com relação potência/peso muito baixas. Outro ponto importante a ser superado foi o problema do torque remanescente, ou efeito antitorque, gerado pelo rotor principal, que ao girar num determinado sentido impõe um torque remanescente à fuselagem, que tende girar a aeronave no sentido contrário de sua rotação. E a ineficácia das superfícies de controle e estabilidade convencionais no voo pairado.

Unidade 02

- 1) Relate quais são os tipos básicos de estrutura de helicópteros e comente sobre suas principais características.

Resposta:

São três os tipos básicos de estrutura: Monocoque, Semimonocoque e tubular.

Monocoque – É formada por armações de alumínio (cavernas), que darão o formato à fuselagem, sendo revestidas com chapas de alumínio rebitadas.

Características: baixo peso estrutural, resistente a pequenos esforços, toda janela de inspeção é estrutural, em caso de falha em uma, a estrutura estará comprometida, os rebites devem ser inspecionados com certa frequência, se frouxos podem provocar deformação na estrutura.

Semimonocoque – É semelhante a monocoque. Porém, as cavernas são interligadas por longarinas e revestidas por chapas de alumínio rebitadas.

Características: peso estrutural maior que a monocoque, suporta grandes esforços, as janelas de inspeção não fazem parte da estrutura e sim do revestimento, os rebites podem ser inspecionados com menor frequência, pois as longarinas é que suportam maior esforço.

Tubular – É construída por tubos de aço cromo-molibidênio, tendo o seu interior preenchido durante sua fabricação por um produto anticorrosivo e corante, para que, em caso de rachadura, seja prontamente identificada, facilitando sua inspeção.

Características: alto peso estrutural (maior que a monocoque e semimonocoque), é de fácil inspeção (componentes e sistemas), por não possuir revestimento externo, apresenta menor resistência aos ventos de través e do rotor principal, expõe muito os sistemas ao tempo, poeira ou água.

- 2) De acordo com o que foi estudado nesta unidade, **descreva os rotores dos helicópteros quanto às articulações e suas características.**

Resposta:

Os rotores de helicópteros são classificados em três tipos quanto às articulações. Rígido, semirrígido e articulado.

Rotores rígidos

Neste tipo de rotor, a cabeça é rigidamente fixada ao mastro, não havendo nenhuma espécie de articulação entre eles, e as pás só possuem movimento de troca de passo em relação à cabeça. No rotor rígido, devido à ausência de articulação de batimento, as pás devem ser mais flexíveis para absorver este movimento.

Rotores semirrígidos

Estes rotores possuem, além do movimento de troca de passo dos rotores rígidos, uma articulação que permite o batimento das pás.

Rotores articulados

Utilizado só em rotores com mais de duas pás, onde cada uma possui articulações individuais que permitem os movimentos de batimento, troca de passo, avanço e recuo. Esses rotores são de construção muito complexa, devido aos movimentos independentes executados pelas pás, oscilam bastante, provocando muita vibração.

Unidade 03

- 1) Descreva o que é Manobrabilidade e cite os parâmetros mais importantes a serem considerados:

Resposta:

A manobrabilidade pode ser definida como a habilidade de uma aeronave de asa rotativa em mudar a direção do seu voo e até mesmo acelerar linearmente de acordo com o envelope de potência e energia disponíveis.

Para definir a manobrabilidade do helicóptero, devemos considerar três parâmetros muito importantes, que são:

- margem de potência disponível do motor, a qual pode ser usada para subir, acelerar longitudinalmente ou mesmo para manter e sustentar uma determinada velocidade durante uma curva;
- margem de sustentação do motor, a fim de que não se excedam os ângulos de ataque das pás, a tal ponto que possam causar estol do conjunto rotativo;
- momento de controle em rolamento, arfagem e guinada.

2) Descreva o que é autorrotação e cite suas fases.

Resposta:

Autorrotação é a manobra que os pilotos de helicóptero têm que fazer em caso de parada de seus motores, permitindo que se faça um pouso de emergência. Existe também a possibilidade de falha do rotor de cauda. Nesse caso, salvo determinadas peculiaridades de algumas aeronaves, até mesmo uma aeronave bimotora será forçada a um pouso em autorrotação. Durante essa manobra os rotores permanecem girando no mesmo sentido, permitido pelo componente mecânico chamado **roda livre** e pelas forças geradas pelo vento relativo, que passa pelo rotor principal durante a descida.

A autorrotação é composta de três fases, as quais serão descritas e discutidas separadamente, quais sejam: a descida uniforme, arredondamento e toque no solo.

3) Defina o que é vibração e quais são seus tipos mais comuns.

Resposta: É algo que ocorre quando um corpo descreve um movimento oscilatório em torno de um ponto de referência.

As vibrações mais comuns podem ser divididas em três tipos:

- Vibração de baixa frequência,
- Vibração de frequência intermediária e
- Vibração de alta frequência.

Unidade 04

1) Descreva, em no máximo 15 linhas, o que é a ressonância como solo, em que tipo de aeronave é mais comum e quais seus efeitos?

Resposta:

Ressonância com o solo pode ser definida como violentas vibrações que podem surgir durante o giro no solo, durante o táxi, durante o acionamento da aeronave, durante o pouso ou até mesmo quando a aeronave estiver dentro do efeito solo, devido ao desbalanceamento do rotor principal, a um pouso violento, pneus descalibrados, ao estouro de um pneu ou à quebra de um amortecedor e ainda ao mau funcionamento dos “drag dampers”,ou amortecedores de arrasto.

A ressonância é mais comum em helicópteros com rotor articulado e /ou com trem de pouso com amortecedores hidráulicos e rodas pneumáticas.

Os efeitos são a destruição total ou parcial do helicóptero, bem como pode causar danos à integridade física de ocupantes da aeronave.

2) Descreva, em no máximo 10 linhas, como ocorre o rolamento dinâmico:

Resposta:

O rolamento dinâmico ocorre tipicamente quando o ângulo de rolamento crítico é excedido. Esse ângulo, conhecido como ângulo de rolamento dinâmico, é definido como a inclinação máxima, além da qual a autoridade de comando do piloto não é capaz de segurar a velocidade angular que se desenvolve lateralmente em torno de um ponto de pivô, como um esqui ou um pneu do trem de pouso.

Biblioteca Virtual



Veja a seguir os serviços oferecidos pela Biblioteca Virtual aos alunos a distância:

- Pesquisa a publicações on-line
<www.unisul.br/textocompleto>
- Acesso a bases de dados assinadas
<www.unisul.br/bdassinadas>
- Acesso a bases de dados gratuitas selecionadas
<www.unisul.br/bdgratuitas>
- Acesso a jornais e revistas on-line
<www.unisul.br/periodicos>
- Empréstimo de livros
<www.unisul.br/emprestimos>
- Escaneamento de parte de obra*

Acesse a página da Biblioteca Virtual da Unisul, disponível no EVA, e explore seus recursos digitais.

Qualquer dúvida escreva para: bv@unisul.br

* Se você optar por escaneamento de parte do livro, será lhe enviado o sumário da obra para que você possa escolher quais capítulos deseja solicitar a reprodução. Lembrando que para não ferir a Lei dos direitos autorais (Lei 9610/98) pode-se reproduzir até 10% do total de páginas do livro.

UnisulVirtual

A sua universidade a distância



UNISUL



9 788578 173869 >