

ENVELOPES DE VOO

Ultrapassar obstáculos vencendo seus próprios limites. Este sempre foi um dos principais objetivos do homem, aliás, devemos a este comportamento a maior parcela da nossa evolução. Entretanto, em determinadas áreas, manter-se dentro dos limites estabelecidos pode significar a diferença entre o sucesso e o fracasso, entre a missão cumprida e o acidente.

Quando se trata dos limites de operação impostos pelo fabricante de uma aeronave, devemos ter em mente que aqueles números, definindo o “envelope de voo”, foram exaustivamente estudados e testados antes da entrada em serviço do equipamento. O processo de definição desses limites está intimamente ligado às duas primeiras fases do ciclo de vida de um produto aeronáutico, quais sejam: concepção e desenvolvimento.

Na Fase de Concepção, onde o fabricante foca seu projeto na missão que a aeronave deverá cumprir, são definidas, de forma preliminar, as condições em que esta irá operar e algumas características gerais de desempenho, como autonomia e carga paga.

Em seguida, na Fase de Desenvolvimento e com base em análises de engenharia, são propostos os limites que irão compor o envelope de voo do protótipo (POL – *Prototype Operational Limits*). Com o primeiro protótipo em mãos, a equipe de ensaios em voo, cumprindo um planejamento denominado Programa de Ensaios, elaborado e aprovado especificamente para este fim, expande gradualmente esses limites, numa atividade conhecida como “abertura de envelope”.

Como passo inicial, a aeronave recebe instrumentação dedicada à coleta de dados, a qual permite a gravação e/ou transmissão em tempo real de todos os parâmetros de interesse do motor, transmissão, célula, rotores, posição de comandos, anemometria, etc. O protótipo passa então por uma calibração desta instrumentação, como forma de garantir a exatidão dos dados colhidos, fundamentais ao ajuste do envelope de voo desejado às condições reais de operação.

Na preparação da aeronave para o primeiro giro no solo (primeira partida de seus motores) são realizados testes funcionais dos diversos sistemas. Neste primeiro giro são executados outros testes funcionais em complemento àqueles realizados na fase de preparação e feitos os ajustes necessários no balanceamento dos rotores principal e de cauda, para reduzir a vibração. É observada, ainda, a ausência de vazamentos e possíveis tendências à ressonância solo. Após a análise dos dados deste primeiro ponto e uma avaliação completa do nível de risco envolvido, a aeronave é preparada para o primeiro voo, dando continuidade à abertura do envelope proposto.

Os voos de ensaio que se seguem são marcados por uma grande interatividade do grupo de engenharia do produto e das tripulações de ensaios em voo. Ao longo do trabalho, os resultados ratificam, retificam ou determinam o quanto se pode esperar dessa aeronave em termos de desempenho, qualidades de voo e funcionalidade de seus sistemas.

Cumprido o Programa de Ensaios, ter-se-á determinado o envelope de voo, que determina os limites que constarão dos Manuais da aeronave e que constituirão a linha mestra para uma operação segura da mesma. Para um helicóptero genérico este envelope é apresentado na seção de limitações do manual de voo e é composto, basicamente, pelos limites de massa, centragem, fator de carga, velocidade, altitude e temperatura de operação, além do envelope de vento e das manobras proibidas.

Estes parâmetros são frequentemente inter-relacionados, o que torna sua análise complexa e abrangente. Assim, será estabelecido um “envelope de voo” para este artigo, limitando o escopo da discussão a dois tópicos básicos, um relacionado ao desempenho e outro às qualidades de voo de um helicóptero, quais sejam:

- 1º Peso máximo de decolagem; e
- 2º Envelope de vento.

Peso máximo de decolagem

Pergunte a um piloto qual o peso máximo de decolagem do helicóptero que ele voa, e terá como resposta um número preciso e, aparentemente, inquestionável. Porém, por trás dessa resposta certa, há um lapso de informação que, apesar de contida no manual de voo, não é considerada pela maioria dos pilotos. O desempenho de qualquer aeronave e, conseqüentemente, seu peso máximo de decolagem, dependem da altitude densidade na qual se está operando. Assim, no que se refere à massa, o envelope de voo é definido, principalmente, com base nas condições ambientais (altitude e temperatura) que, em última instância, definem a densidade do ar.

Alguns helicópteros definem um peso máximo de decolagem e um peso máximo de decolagem com carga externa, maior que o primeiro. Esta diferença é função da resistência estrutural do trem de pouso e é válida a observação de que são consideradas cargas externas apenas aquelas conectadas ao gancho de cargas com a aeronave em voo pairado e que, portanto, não induzem esforços ao trem. Desta forma, fica claro que a resistência estrutural é outro fator limitante do peso máximo de decolagem. Entretanto, a análise aqui apresentada será baseada exclusivamente no fator desempenho.

A potência disponível de um helicóptero é função, basicamente, de sua motorização, e varia de acordo com as condições ambientais. Assim, à medida que se aumenta a altitude pressão ou a temperatura ambiente (aumento da altitude densidade), a potência disponível cai.

A potência necessária para a manutenção do voo pairado com um determinado peso também varia em função das mesmas condições, porém em sentido inverso da disponível, ou seja, para um mesmo peso, o aumento da altitude densidade leva a um aumento da potência necessária. Dispensável dizer que para pesos maiores a potência necessária será maior.

Essa combinação de diminuição da potência disponível e aumento da necessária gera os gráficos constantes da seção de desempenho do manual de voo, limitando o peso máximo de decolagem em função da altitude e temperatura ambiente.

A inobservância desses gráficos pode levar a extrapolação dos limites do motor ou da transmissão na tentativa de se executar uma decolagem vertical com peso acima do limite. Mais grave porém, é a não utilização dos gráficos de desempenho no planejamento de uma missão com destino a um ponto situado em altitude maior que a do local de origem. Tendo decolado dentro dos limites de peso, o piloto julga ter cumprido seu papel para com a segurança de voo e não atenta para a influência da altitude nas potências disponível e necessária. Assim, prossegue em seu voo e ao concluir a aproximação no local de destino, numa altitude densidade maior, é “surpreendido” pela falta de potência para a manutenção do voo pairado atingindo o ponto de irreversibilidade do acidente que de fato começou com o deficiente planejamento.

Envelope de vento

Na área de qualidade de voo, um dos pontos a se considerar são as margens de comando e seus fatores influentes. Combinações de alto peso e centragem extrema, por exemplo, podem levar a condições críticas de posição do comando cíclico. Outro fator a ser considerado quando se trata de limitação de comando é o envelope de vento.

Como é sabido, o torque do rotor principal faz com que a fuselagem apresente uma tendência de giro em sentido contrário, e para anular essa tendência o piloto atua no pedal, aumentando o passo do rotor de cauda de forma a manter a proa desejada.

Dada a sua geometria, os helicópteros têm a tendência de buscar o alinhamento com o vento. Desta forma, a manutenção do voo pairado com vento cruzado irá exigir uma maior excursão de comando de pedal que com o vento alinhado, sendo este comando tão mais exigido quanto mais intenso for o vento. Esta característica, combinada com o sentido de giro do rotor principal, determina um setor crítico para a direção do vento.

Durante a campanha de ensaios, o envelope de vento é determinado em função da margem de comando correspondente a cada combinação de direção e intensidade do vento. A técnica de ensaio utilizada é o acompanhamento de viatura (*Pacer*). O *pacer*, dotado de um anemômetro, inicia o deslocamento pela pista, estabiliza a uma velocidade pré-estabelecida e libera a aproximação do helicóptero que passa a acompanhá-lo. A posição dos comandos é registrada pelo sistema de aquisição de dados e o piloto muda a proa do helicóptero em 45°, mantendo o deslocamento no mesmo sentido do *pacer*. Dessa forma, obtém-se um vento relativo de intensidade igual a velocidade de deslocamento e defasado em 45° da proa do helicóptero. O piloto prossegue acompanhando o *pacer* e variando a proa com incrementos de 45° até retornar à proa original, obtendo a posição dos comandos para vento de oito diferentes quadrantes.

Este procedimento é repetido para velocidades crescentes de deslocamento com posições de comando cada vez mais próximas do batente físico dos mesmos. Com isso, respeitado o limite de segurança, define-se o envelope de vento da aeronave.

O voo fora desse envelope, a exemplo do que ocorre com voo fora dos limites de desempenho, pode levar a aeronave a situações críticas. Tome como exemplo um helicóptero efetuando uma aproximação com vento cruzado.

Ao concluir a aproximação e aplicar potência para estabelecer o voo pairado, será necessário que o piloto aplique uma certa amplitude de comando de pedal para contrariar o efeito do torque e, de acordo com o sentido de giro do rotor principal, o vento cruzado, pela direita ou esquerda, implicará num aumento ou diminuição dessa amplitude necessária.

Caso a direção do vento seja tal que os efeitos se somem, há o risco de se atingir o batente do comando de pedal sem que seja possível manter o controle direcional a aeronave.

É, portanto, de extrema importância que ao iniciar uma aproximação com vento cruzado, o piloto tenha em mente a tendência de giro em função do torque do rotor principal, além da tendência do helicóptero de alinhar-se com o vento; e, mais que isso, que considere a combinação das duas.

Apenas como forma de ratificar a inter-relação dos diversos limites contidos no Manual de Voo, vale observar a influência do peso no envelope de vento, uma vez que este é função do torque e este último varia com o peso da aeronave.

Conclusão

Como visto, o respeito aos limites contidos no Manual de Voo, ou em outras palavras, a operação dentro do Envelope de Voo de sua aeronave é base para a segurança de voo.

Muitos consideram um piloto habilidoso como um piloto superior. A definição no entanto é outra.

Um piloto superior é aquele que utiliza seu conhecimento e julgamento superiores para evitar situações que exijam o uso de suas habilidades superiores.

Texto: Maj.-Av. **NILTON** Cícero Alves – CTA/IAE/Divisão de Ensaios em Voo

O autor é Oficial de Segurança de Voo, Piloto de Prova de Helicópteros e Instrutor do Curso de Ensaios em Voo