Peso e balanceamento de aeronaves

Aprenda a conferir unidades, interpretar uma ficha de pesagem e localizar o centro de gravidade a partir de massas, braços e momentos. As fichas e os limites numéricos dos exercícios são fictícios. Cada decisão real depende da identificação da aeronave, da configuração e dos dados aprovados aplicáveis.

Percurso de estudo

1. Peso e balanceamento: referências, momentos e deslocamento do centro de gravidade
    - Onde fica o zero?
    - O que a coluna de momento mede
    - Da lista de peças à posição do conjunto
    - Separar a posição do item e a mudança de massa
    - Transferir massa e estimar a sensibilidade
    - Ler unidades, fatores de escala e índices
2. Da ficha de pesagem ao CG da condição documentada
    - Ler o cabeçalho antes das estações
    - Descontar a tara no apoio correspondente
    - Somar as reações e localizar o CG da condição pesada
    - Reconhecer a unidade e o divisor de momento
    - Comparar a condição pesada com uma referência documentada
    - Reconciliar duas versões da mesma ficha
3. Massas de operação, limites e leitura de envelopes
    - Que massa está na primeira linha da planilha?
    - Valor sem combustível e máximo sem combustível
    - Rampa, decolagem e pouso são fotografias de instantes diferentes
    - Como converter a estação do CG em porcentagem da corda?
    - Como ler os limites dianteiro e traseiro no mesmo gráfico?
    - Que documento sustenta o resultado?

Parte 1 · Peso e balanceamento: referências, momentos e deslocamento do centro de gravidade

Onde fica o zero?

Desenhe o perfil de uma maquete sobre uma folha quadriculada. Trace uma linha vertical junto a uma das marcas e chame-a de datum. Na vista de perfil, a linha representa o plano de referência transversal. Escolha x crescente para trás. O braço longitudinal de uma peça é a coordenada do seu centro de gravidade em relação ao plano. Uma peça à frente recebe braço negativo, mesmo que sua massa seja positiva.

A coordenada responde a uma pergunta específica. Em duas vistas da mesma peça, a distância para a direita do plano de simetria descreve uma posição lateral, enquanto a altura descreve uma posição vertical. Para localizar o CG em três dimensões, repita a média ponderada em cada coordenada, com origens e sentidos declarados. Uma tabela somente com x permite recuperar apenas x do CG.

> ### Caso para discussão
>
> Uma turma põe o zero na ponta da régua. Outra põe o zero 0,40 m atrás. A peça que a primeira chama de +0,15 m recebe a coordenada −0,25 m na segunda. A distância entre a peça e as demais não mudou. A diferença entre duas estações é independente dessa translação do zero.

Atividade

Marque duas peças em −0,20 m e +0,70 m. Desenhe um novo datum em +0,30 m do sistema antigo. Os novos braços serão −0,50 m e +0,40 m. Confira a separação de 0,90 m nos dois desenhos.

Para aprofundar: P1A1

O que a coluna de momento mede

Coloque duas peças sobre uma régua horizontal ideal de massa desprezível. Sob gravidade uniforme, a tendência de giro depende tanto do peso como da distância perpendicular à sua linha de ação. Uma peça mais leve pode compensar outra mais pesada se ficar mais longe do apoio. Nesta unidade, usamos o sinal de x para escriturar as contribuições.

Na planilha em SI, m é a massa e m·x é seu primeiro momento, em kg·m. Para calcular o momento do peso em módulo, use a força mg em newtons e o braço perpendicular em metros. O resultado sai em N·m. Com o mesmo g em todas as estações, dividir a soma dos momentos dos pesos pelo peso total dá o mesmo x que dividir a soma dos momentos de massa pela massa total.

Caso para discussão

Um bloco de 3 kg está a 0,80 m do apoio. A folha traz 2,40 kg·m. Um colega o interpreta como 2,40 N·m. Com g = 9,8 m/s², o peso vale 29,4 N e o módulo do momento do peso é 23,52 N·m. A unidade esclarece qual das duas contas foi feita.

Atividade

Atribua unidades aos três resultados para 5 kg a 0,60 m do apoio, com g = 10 m/s². A massa vezes o braço dá 3 kg·m. O peso vale 50 N e o módulo do momento do peso vale 30 N·m.

Para aprofundar: P1A1, P1A5, P1A6

Da lista de peças à posição do conjunto

Registre uma linha por peça, com massa, braço assinado e produto. Some as massas na primeira coluna e os produtos na terceira. Se M for a massa total positiva e S for a soma dos produtos, xCG = S/M. A divisão restitui uma distância. Somar os braços ou calcular sua média simples só reproduz a média ponderada em situações particulares.

Uma conferência física independe da escala da régua. O CG de massas positivas fica entre o menor e o maior braço. Uma segunda conferência usa o próprio resultado como novo zero. Calcule Σm(x − xCG): as contribuições de sinais opostos devem se compensar, ressalvado o arredondamento.

Caso para discussão

Considere uma base de 6 kg em +0,20 m e uma peça de 2 kg em +1,00 m. Os momentos são +1,20 e +2,00 kg·m. Dividindo +3,20 kg·m por 8 kg, encontramos +0,40 m. Em relação a esse ponto a base contribui com −1,20 kg·m e a peça com +1,20 kg·m.

Atividade

Em uma folha sem peso, ponha marcas para 2 kg em −0,50 m, 4 kg no zero e 1 kg em +1,00 m. Explique por que a soma dos momentos é zero enquanto a massa total é 7 kg. Identifique o ponto de equilíbrio.

Para aprofundar: P1A1

Separar a posição do item e a mudança de massa

Para atualizar uma maquete, conserve os totais iniciais M e S. Para cada alteração anote Δm, positivo para inclusão e negativo para retirada. O braço x segue o sentido do eixo, independentemente da operação. Os novos totais são M + ΣΔm e S + Σ(Δm·x). Divida somente quando todas as alterações tiverem sido lançadas.

O deslocamento depende da posição da peça em relação ao CG anterior. Adicionar massa no próprio CG conserva essa coordenada. Fora dele, o CG se aproxima da massa acrescentada. Retirar uma peça afasta o CG da posição retirada quando resta massa. O sinal isolado do braço, medido desde o datum, não determina esse movimento.

Caso para discussão

Uma base já montada totaliza 12 kg e +3,60 kg·m. Sai dela um bloco de 2 kg situado em −0,60 m. A variação de momento é (−2) × (−0,60) = +1,20 kg·m. Restam 10 kg e +4,80 kg·m, logo o CG passa de +0,30 m para +0,48 m.

Atividade

Uma maquete de 8 kg está centrada em +0,50 m. Acrescente 2 kg em +0,20 m. O novo braço é (4,00 + 0,40)/10 = +0,44 m. Explique por que ele diminuiu embora a posição da peça fosse positiva.

Para aprofundar: P1A3, P1A1

Transferir massa e estimar a sensibilidade

Imagine que um bloco já incluído no total M vai de a para b sem sair do conjunto. Cancele sua contribuição em a e lance-a em b. A massa total permanece a mesma e a variação do momento é m(b − a). Assim, ΔxCG = (m/M)(b − a). Nesta expressão, M inclui o bloco antes e depois da mudança.

A fração m/M mede a sensibilidade da posição do conjunto à posição daquele bloco. Se o bloco representa um décimo do total, um deslocamento de 30 cm muda o CG em 3 cm no mesmo sentido. O mesmo raciocínio estima o efeito de um erro de leitura no braço de uma peça, mantendo corretos os outros braços e todas as massas. Um erro no datum de todas as linhas tem efeito diferente.

Caso para discussão

Em um trilho de 25 kg no total, um bloco de 5 kg vai de −0,15 m a +0,35 m. A variação de momento é +2,50 kg·m e a do CG é +0,10 m. Não é preciso conhecer o CG anterior para obter a variação. Ele seria necessário para indicar a nova coordenada absoluta.

Atividade

Em uma maquete de 30 kg, mova no papel um bloco de 3 kg por +0,40 m e outro de 2 kg por −0,60 m. Os acréscimos +1,20 e −1,20 kg·m se cancelam, apesar de os dois blocos terem mudado de estação.

Para aprofundar: P1A2, P1A3

Ler unidades, fatores de escala e índices

Nos exemplos da FAA, os cabeçalhos weight (lb), arm (in) e moment (lb-in) formam um conjunto coerente. lb-in indica produto de libra por polegada na convenção da folha. A barra em lb/in, libra por polegada, indicaria divisão. Quando se divide um momento em lb-in pelo peso em lb, o resultado é um braço em polegadas.

Um índice facilita a escrita de números grandes. Se a coluna é moment (lb-in/1,000), um índice 3,6 representa 3.600 lb-in. Outra folha pode usar um divisor diferente. O adendo da FAA de 2025 esclarece esse ponto no texto sobre a figura 2-16. Use o divisor do cabeçalho em cada conjunto de dados. Para unir folhas, recupere primeiro os momentos na mesma unidade e escala.

Caso para discussão

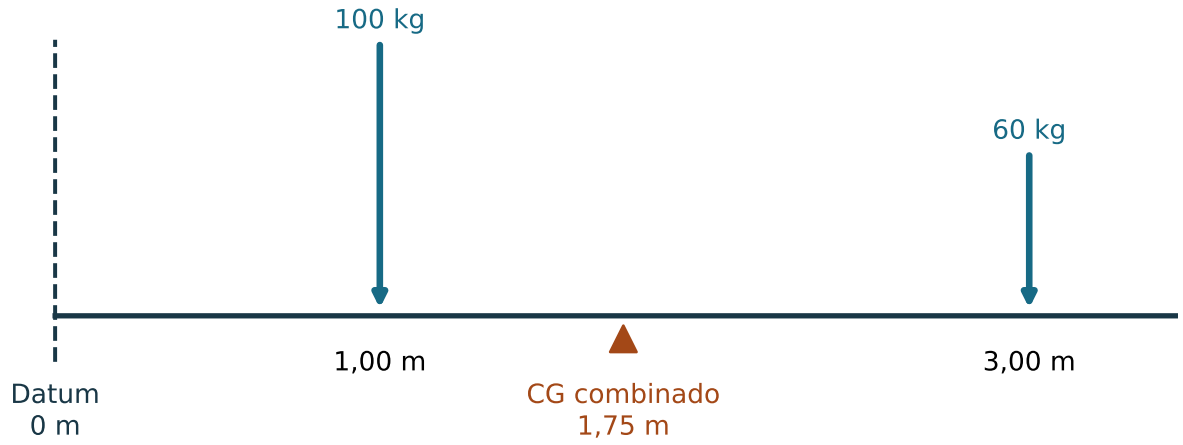
Em um modelo de 160 lb, o momento total está registrado como índice 4,8 com divisor 1.000. O momento integral é 4.800 lb-in e a posição é 30 in. Dividir diretamente 4,8 por 160 sem desfazer a escala daria 0,03 e perderia o fator 1.000.

Atividade

Compare dois cartões. O primeiro mostra índice 7,0 em lb-in/100 e o segundo mostra 0,70 em lb-in/1.000. Reconstrua os valores integrais. Os dois representam 700 lb-in. Se forem contribuições distintas, o total é 1.400 lb-in.

Para aprofundar: P1A3, P1A4

Localizar o centro de gravidade combinado



No modelo, uma massa de 100 kg está a 1,00 m do datum e outra de 60 kg está a 3,00 m. O momento de massa total é 280 kg·m e a massa total é 160 kg. Dividir 280 por 160 posiciona o CG a 1,75 m. Confira que ele fica entre as massas e mais perto da maior. As setas apontam no sentido do peso. A seta mais longa representa o maior peso. FAA, Weight & Balance Handbook · Capítulo 2, Weight and Balance Theory

Parte 2 · Da ficha de pesagem ao CG da condição documentada

Ler o cabeçalho antes das estações

Duas fichas podem dar números diferentes para o mesmo ponto físico. O datum é o plano vertical de referência adotado para as distâncias longitudinais. A estação indica a coordenada de um ponto. Nos modelos desta parte, as coordenadas aumentam para a cauda. Assim, um ponto à frente do datum tem braço negativo. O sinal acompanha a coordenada, mesmo quando a leitura da balança é positiva.

Num registro de pesagem, o braço do apoio vai do datum à linha de ação da reação registrada naquele ponto. A distância entre os apoios é outra medida. Se as estações são −20 e +80 cm, a separação é 100 cm. O primeiro apoio continua à estação −20 cm; atribuir-lhe o braço de 100 cm confundiria distância entre pontos com coordenada do apoio.

Ao comparar registros, identifique origem, sentido e unidade antes de fazer as contas. Se, somente no desenho, o novo zero ficar 30 cm à frente do anterior, somam-se 30 cm a todas as coordenadas. A separação entre os apoios e a posição física do centro de gravidade (CG) permanecem as mesmas.

> ### Caso para discussão
>
> Na folha A, o apoio dianteiro, o principal e o CG aparecem a −20, +80 e +50 cm. Na folha B, cujo zero foi deslocado 30 cm para a frente, as três estações são +10, +110 e +80 cm. Nas duas folhas o CG está 30 cm à frente do apoio principal.

Atividade

Desenhe as duas réguas para o caso. Marque os três pontos e confira se as duas distâncias do CG aos apoios coincidem. Depois indique a origem e o sentido de cada régua sem usar a palavra “esquerda”.

Para aprofundar: P2B1

Descontar a tara no apoio correspondente

Em uma ficha com leitura bruta, parte da indicação pode vir de um acessório que o registro classifica como tara. Cada linha informa qual apoio recebeu essa parcela. Quando a indicação inclui a tara, a reação líquida corresponde à leitura bruta menos a tara daquele apoio. Se a linha já fornece o valor líquido, uma segunda subtração desconta o acessório duas vezes.

A palavra bruto nesta coluna qualifica a leitura de uma balança. Uma mesma ficha pode conter três leituras brutas e um único total líquido. Por sua vez, um item transportado pelo modelo durante a pesagem pode exigir ajuste de configuração posterior. É preciso identificar sua posição própria e verificar se deve integrar a condição de referência.

Na folha fictícia Aurora, cada linha traz, nesta ordem, leitura bruta, tara e estação. Dianteira: 206 kg, 6 kg e −20 cm. Principal esquerda: 407 kg, 7 kg e +80 cm. Principal direita: 405 kg, 5 kg e +80 cm. Os quilogramas são indicações equivalentes de massa sob a mesma gravidade. Os três apoios concentram todas as reações verticais do modelo em equilíbrio.

> ### Caso para discussão
>
> A soma bruta da folha Aurora é 1.018 kg. As taras somam 18 kg e as linhas líquidas ficam em 200, 400 e 400 kg. O total líquido é 1.000 kg. Para calcular momentos, conservam-se as três linhas ou agrupam-se apenas as que tenham a mesma estação.

Atividade

Monte uma tabela com as cinco colunas apoio, bruto, tara, líquido e braço. Mostre como verificar o total por dois caminhos: somar a coluna líquido e subtrair do total bruto a soma das taras.

Para aprofundar: P2B2, P2B6

Somar as reações e localizar o CG da condição pesada

A balança registra a parcela da carga sustentada naquele apoio. Ela não identifica a massa de uma roda ou de uma seção da fuselagem. Em equilíbrio estático, sem apoio adicional e com todas as reações verticais contabilizadas, sua soma recupera o peso total. No cálculo longitudinal, cada reação entra com seu próprio braço.

Usando indicações equivalentes de massa em quilogramas, multiplique cada valor líquido pela respectiva estação. A soma dos produtos é o primeiro momento de massa em kg·cm. Dividir essa soma pela massa total em kg fornece o braço do CG em centímetros. A mesma razão funciona com forças em N e momentos de força em N·cm, se a gravidade for uniforme. O quilograma (kg) é a unidade de massa no SI. O newton (N) é a unidade de força.

Na folha Aurora, 200 × (−20) = −4.000 kg·cm e cada principal fornece 400 × 80 = +32.000 kg·cm. O momento total é +60.000 kg·cm. O CG da condição em que o modelo foi pesado está a +60 cm. O sinal positivo localiza o ponto atrás do datum. Ele está mais perto da estação +80 porque os dois apoios nessa estação somam 800 kg.

> ### Caso para discussão
>
> Lia fez a média simples das três estações da folha Aurora e encontrou +46,67 cm. O resultado difere de +60 cm porque atribui o mesmo peso às três coordenadas. Como conferência com outro zero, os braços relativos ao CG calculado são −80, +20 e +20 cm: −16.000 + 8.000 + 8.000 = 0 kg·cm.

Atividade

Cubra o resultado da folha Aurora e refaça o cálculo agrupando os dois apoios principais. Indique qual informação se perde com o agrupamento e explique por que não se pode aplicar o mesmo atalho a duas estações diferentes usando um dos braços originais.

Para aprofundar: P2B3, P2B6

Reconhecer a unidade e o divisor de momento

Alguns registros da FAA apresentam peso em lb, braço em in e momento em lb·in. Aqui, quando reproduzimos esse cabeçalho convencional, os valores correspondem ao mesmo sistema de pesagem. Para tratar explicitamente uma força em unidades inglesas, emprega-se o símbolo lbf. Nas fichas métricas deste curso, kg·m indica primeiro momento de massa e N·m indica momento de força.

Em uma coluna com cabeçalho “(lb·in)/1.000”, cada número representa o produto do peso pelo braço dividido por mil. Esse valor reduzido é chamado índice de momento. Para recuperar o momento original, multiplica-se o índice pelo divisor da coluna. O adendo da FAA de outubro de 2025 explicita essa leitura para a figura 2-16 do manual.

Um divisor também afeta correções negativas. Um lançamento de −2.500 lb·in equivale ao índice −2,5 na escala de mil. Somam-se diretamente índices com o mesmo divisor. Quando os divisores diferem, normalize os valores antes da soma. Guarde as casas decimais disponíveis até o fim do cálculo.

> ### Caso para discussão
>
> A ficha Norte traz peso total de 1.200 lb e índice +54 na coluna (lb·in)/1.000. O momento original é +54.000 lb·in e o CG está a +45 in. Outra cópia mostra +540 na coluna (lb·in)/100; ela representa os mesmos +54.000 lb·in.

Atividade

Crie duas linhas de legenda para um único momento de +36.000 lb·in, uma com divisor 100 e outra com divisor 1.000. Explique por escrito que número se pode somar a um índice +4,0 com divisor 1.000.

Para aprofundar: P2B4, P2B3, P2B6

Comparar a condição pesada com uma referência documentada

O CG calculado pelas reações descreve o conjunto que efetivamente participou da pesagem. Para descrever uma segunda condição, devem estar claros os itens presentes na primeira e os que a ficha define na referência. As definições de peso vazio dependem da documentação aplicável, inclusive quanto aos fluidos. Neste capítulo cada enunciado declara a condição de comparação.

Para cada diferença, registre a variação de massa e seu braço. Item presente na pesagem e excluído da referência entra com variação negativa. Item ausente na pesagem e incluído na referência entra positiva. Um item idêntico nas duas condições tem variação zero. O momento da diferença é a variação de massa multiplicada pelo braço assinado do item.

O braço de um item é o de seu próprio centro de massa na ficha. Em particular, para uma diferença de fluido, use o braço atribuído à parcela que difere entre as condições. Se o registro dá apenas um volume, é necessária a massa por unidade de volume nas condições declaradas, além da posição, para determinar a correção de momento.

Caso para discussão

Na folha Aurora, a base pesada tem 1.000 kg e +60.000 kg·cm. A referência da aula exclui uma caixa de 20 kg a +100 cm que estava presente e inclui 10 kg de fluido a +40 cm que faltavam. Os ajustes são −2.000 e +400 kg·cm. O resultado é 990 kg, +58.400 kg·cm e CG de aproximadamente +58,99 cm.

Atividade

Faça uma tabela com as colunas presente na pesagem, incluído na referência, variação de massa, braço e variação de momento. Acrescente uma linha para uma peça de 3 kg que já estava presente e continua incluída. Compare os totais antes e depois dessa linha.

Para aprofundar: P2B5, P2B7, P2B3

Reconciliar duas versões da mesma ficha

A variação do total e a variação do momento respondem a perguntas diferentes. Dois equipamentos de massas iguais podem ocupar estações distintas. Na comparação documental de duas configurações, a massa total pode coincidir enquanto o CG muda. A troca deve aparecer em duas linhas, cada uma com seu próprio braço e sinal.

Uma conferência eficaz começa com as hipóteses da folha: gravidade comum, equilíbrio estático, todos os apoios incluídos, convenção de sinais e unidades consistentes. Com reações positivas, o CG longitudinal da condição pesada deve cair entre a estação de apoio mais dianteira e a mais traseira. Esse teste pode revelar uma incoerência mesmo quando a divisão foi feita sem erro.

Ao conferir a cópia de uma ficha, procure o primeiro valor que diverge: uma tara, a estação de um apoio, uma unidade ou a abrangência de um conjunto de equipamentos. Se falta o braço de uma diferença de massa conhecida, a nova massa total pode estar determinada enquanto a posição exata do CG permanece em aberto.

Caso para discussão

Uma folha traz 800 kg e +40.000 kg·cm. A segunda versão documental substitui um conjunto de 10 kg a +20 cm por outro de 10 kg a +70 cm. A variação é zero em massa e +500 kg·cm em momento. Na segunda versão, 40.500 ÷ 800 = +50,625 cm, um deslocamento de +0,625 cm em relação aos +50 cm iniciais.

Atividade

Um colega encontra os mesmos 800 kg nas duas versões e conclui que as posições dos centros de gravidade coincidem. Redija uma resposta que use duas linhas de lançamentos e uma unidade em cada subtotal.

Para aprofundar: P2B5, P2B3

Parte 3 · Massas de operação, limites e leitura de envelopes

Que massa está na primeira linha da planilha?

Peso é uma força. Os registros didáticos deste capítulo usam quilogramas e somam massas. Conservamos termos em inglês como weight quando fazem parte do título do campo. Antes da conta, leia o escopo da linha inicial. No glossário da FAA, basic operating weight (BOW) incorpora ao peso vazio a tripulação prevista, sua bagagem e itens operacionais, como provisões. Uma base que já contém a tripulação não pode recebê-la uma segunda vez.

Nos exercícios, chamaremos de base operacional a soma da massa vazia registrada com os itens operacionais explicitamente listados. Carga de tráfego reúne passageiros, sua bagagem e carga transportada, inclusive carga sem receita quando indicada. O combustível utilizável fica separado. O combustível não utilizável já incluído na massa vazia permanece na base. Esses nomes descrevem a convenção usada aqui. Ao comparar dois documentos, leia o que cada um efetivamente inclui.

> ### Caso para discussão
>
> O modelo de sala tem massa vazia registrada de 4 200 kg, já com os equipamentos instalados previstos. A ficha acrescenta 180 kg de tripulação e bagagem da tripulação e 40 kg de provisões. A base é 4 420 kg. Passageiros e suas malas somam 560 kg, mais 90 kg de encomendas. A carga de tráfego é 650 kg. O valor sem combustível utilizável é 5 070 kg. A mala do tripulante pertence ao primeiro grupo; uma mala de passageiro pertence ao segundo.

Atividade

Dividam cartões de massa entre três pastas: base operacional, tráfego e combustível utilizável. Incluam uma caixa de material transportada gratuitamente e uma mala de tripulante já contabilizada na base. Expliquem a classificação de cada uma antes de somar.

Para aprofundar: P3C1, P3C2

Valor sem combustível e máximo sem combustível

Zero fuel weight (ZFW) descreve uma condição de carregamento sem a contribuição do combustível utilizável. Nesta convenção, ZFW = base operacional + carga de tráfego. Maximum zero fuel weight (MZFW) é o limite correspondente, quando especificado. Compare o valor calculado com o limite para descobrir a margem. Um total sem combustível utilizável também pode ser calculado a partir do total carregado, subtraindo o combustível utilizável presente naquele mesmo instante.

Se todo o restante permanece a bordo, consumir combustível utilizável reduz a massa total e preserva o ZFW. Em contrapartida, embarcar mais carga aumenta ambos. Um limite de ZFW pode restringir a carga de tráfego mesmo quando sobra margem na

comparação de massa de decolagem. Acrescentar combustível não cria folga no limite sem combustível. Uma planilha precisa conservar as duas comparações.

> ### Caso para discussão
>
> No cartão fictício, a base é 6 100 kg e a carga de tráfego, 1 350 kg. ZFW = 7 450 kg. O máximo indicado para a condição sem combustível é 7 500 kg. Há 50 kg de margem nessa comparação. Com 700 kg de combustível utilizável no instante da decolagem, a massa seria 8 150 kg; o limite fictício de 8 400 kg deixa 250 kg nessa segunda comparação. Para carga adicional, mantendo o combustível, a menor dessas folgas é 50 kg, antes de examinar CG e limites locais.

Atividade

Uma dupla propõe acrescentar 80 kg de carga. Outra propõe acrescentar 80 kg de combustível. Refazer as duas contas para cada proposta. Indicar em cada resposta o limite comparado, a folga ou o excesso e qual hipótese de permanência dos demais itens foi adotada.

Para aprofundar: P3C2, P3C3

Rampa, decolagem e pouso são fotografias de instantes diferentes

Se o conjunto transportado permanece igual, cada instante pode ser representado por ZFW mais o combustível utilizável remanescente. Na rampa, use o combustível presente na rampa. Para o instante de decolagem, desconte apenas o que foi consumido desde a rampa. Para o pouso, use o combustível ainda a bordo naquele instante. Misturar um total de rampa com o combustível previsto para o pouso produz um ZFW fictício.

Ao comparar massa e limite, rotule as duas linhas com o mesmo instante. O cálculo da margem de pouso pede o máximo de pouso informado no exercício, não o máximo de decolagem. Se houver embarque ou desembarque entre dois registros, a hipótese de ZFW constante precisa ser revista. Uma diferença entre totais só identifica consumo de combustível depois de afastadas outras alterações de carga.

> ### Caso para discussão
>
> Num cenário de sala, ZFW = 5 800 kg. Na rampa há 850 kg de combustível utilizável, dos quais 40 kg são consumidos antes da decolagem e mais 510 kg até o pouso. As massas são 6 650 kg, 6 610 kg e 6 100 kg, respectivamente. Conferência independente: ao pousar, restam 300 kg de combustível, e 5 800 + 300 reproduz o total.

Atividade

Façam uma tabela com três linhas e duas colunas: combustível remanescente e massa total. Invertam o problema entregando ao colega apenas a massa de rampa, o ZFW e os dois consumos. O colega deve recuperar as três linhas sem descontar o táxi duas vezes.

Para aprofundar: P3C2, P3C3

Como converter a estação do CG em porcentagem da corda?

A corda média aerodinâmica, MAC em inglês, é representada por um comprimento e pela posição de seu bordo de ataque, LEMAC. Nesta unidade, a estação x cresce para trás. Todas as estações referem-se ao mesmo datum, e todos os comprimentos da fórmula precisam estar na mesma unidade. %MAC = 100 × (xCG − xLEMAC)/MAC. A subtração localiza o CG em relação ao início da corda.

A operação inversa é xCG = xLEMAC + (%MAC/100) × MAC. O bordo de ataque corresponde a 0% e o de fuga da MAC a 100%. Uma mudança de dois pontos percentuais significa 0,02 vez o comprimento dessa corda. Por si só, 25% MAC não é um limite universal nem informa a estação do CG em metros: o desenho específico e o envelope fornecem essas informações.

> ### Caso para discussão
>
> Para uma aeronave imaginária, xLEMAC = 8,40 m, MAC = 2,00 m e xCG = 8,96 m. A distância do bordo de ataque ao CG é 0,56 m e a posição é 28% MAC. Se o datum for deslocado, os dois valores de estação mudam pela mesma quantidade; a diferença 0,56 m e o resultado percentual permanecem iguais.

Atividade

Desenhem em papel uma corda de 20 cm representando 2 m reais. Marquem 20%, 28% e 30%. Confrontem a separação no papel e em metros reais. Depois acrescentem um datum separado e identifiquem qual ponto permite ler a estação e qual ponto permite ler a fração de corda.

Para aprofundar: P3C4

Como ler os limites dianteiro e traseiro no mesmo gráfico?

Um envelope longitudinal põe em relação massa e posição do CG. Leia os dois eixos: alguns gráficos usam braço ou porcentagem da MAC; outros usam momento ou índice de momento. Não se pode lançar 24% MAC num eixo de índice de momento. Também não basta comparar com o maior limite traseiro que aparece no gráfico: vale a faixa correspondente à massa do ponto.

Para o gráfico fictício desta lição, o eixo horizontal mostra CG em %MAC e o vertical mostra massa em kg. A 6 000 kg a faixa é 15% a 35%; a 7 000 kg, 19% a 35%; a 8 000 kg, 23% a 31%. Os extremos de cada linha pertencem ao envelope e as bordas entre linhas consecutivas são segmentos retos. Fora do intervalo de massas, o gráfico não fornece faixa. Essas convenções pertencem exclusivamente ao exercício.

> ### Caso para discussão
>
> A 7 500 kg, metade do caminho entre 7 000 e 8 000, a borda dianteira vale 21% e a traseira vale 33%. Um ponto de 32% está dentro; outro de 34% está fora pelo lado traseiro. A mesma posição de 34% caberia na faixa a 7 000 kg. Portanto, uma conclusão sobre CG precisa vir acompanhada da massa em que a faixa foi lida.

Atividade

Tracem as duas bordas com as três linhas fornecidas. Marquem (32%; 7 500 kg) e (34%; 7 500 kg). Depois, cubram o eixo vertical e peçam a um colega que explique qual informação desapareceu. Calculem a margem traseira do primeiro ponto em pontos percentuais.

Para aprofundar: P3C5

Que documento sustenta o resultado?

Um problema completo começa com o registro de massa e CG vazios aplicável à configuração identificada. Uma tabela geral de equipamentos possíveis não descreve necessariamente o que está instalado num exemplar. Uma lista individual, um registro de alteração e a revisão correspondente ajudam a reconstruir a base apropriada. Data recente, por si só, não estabelece aplicabilidade a uma configuração diferente.

O adendo da FAA de outubro de 2025 atualiza uma passagem do capítulo 2 do manual sobre informação fornecida pelo fabricante. Entre os detalhes relevantes está a indicação da escala em um índice de momento. Se o cabeçalho diz momento dividido por 1 000, multiplicar o índice por esse fator recupera o momento nas unidades declaradas. Compare os cabeçalhos antes de combinar colunas de duas planilhas. Um ponto dentro de um envelope longitudinal confirma somente aquela comparação, naquele instante. Distribuição por compartimento, condições intermediárias e outros limites precisam de dados próprios.

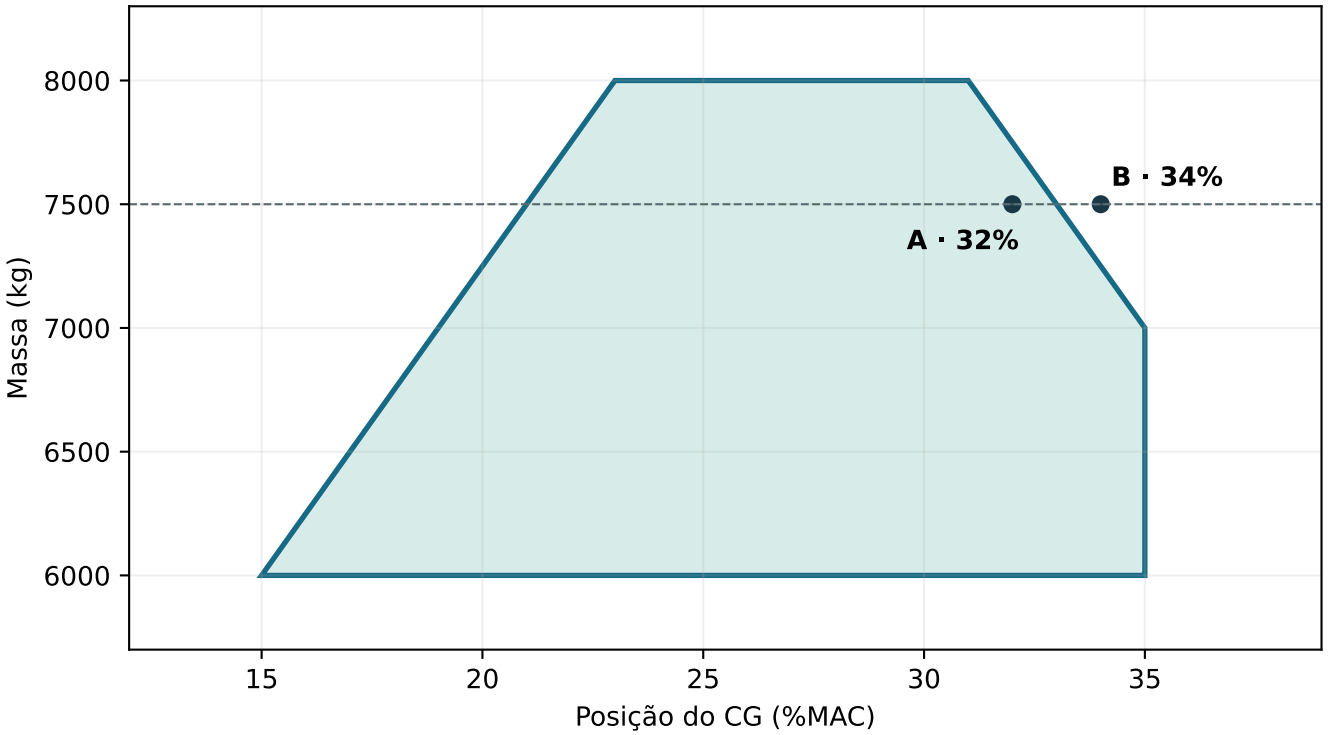
> ### Caso para discussão
>
> Duas fichas da aeronave fictícia Escola-4 têm o mesmo desenho. A ficha A antecede a instalação de um equipamento; a B identifica o mesmo exemplar e registra a configuração posterior. O cenário da turma pede a configuração posterior. Usa-se B após conferir a correspondência. Em outro cartão falta a identificação da revisão: a turma consegue treinar aritmética com os valores, mas deve marcar como pendente a correspondência com a configuração.

Atividade

Montem um quadro com identificação do exemplar, configuração, revisão, unidade do braço, escala do índice e condição de massa. Insiram uma divergência em um desses campos e peçam à dupla que explique qual comparação perde validade e que evidência permitiria retomá-la.

Para aprofundar: P3C5, P3C6, P3C7

Ler dois limites ao mesmo tempo



A 7.500 kg, siga a linha tracejada. O limite dianteiro é 21% da corda média aerodinâmica e o traseiro é 33%. A, a 32%, fica dentro, com margem traseira de um ponto percentual. B, a 34%, excede o limite traseiro em um ponto percentual. A região colorida representa exclusivamente o envelope fictício da lição. FAA, Weight & Balance Handbook · Capítulo 5, Single-Engine Aircraft Weight and Balance Computations

Referências para consulta

P1A1 · FAA, Weight & Balance Handbook, FAA-H-8083-1B
Capítulo 2, pp. 2-2 e 2-3, figuras 2-1 a 2-6, referência, braço e equilíbrio.

P1A2 · FAA, Weight & Balance Handbook, FAA-H-8083-1B
Capítulo 2, pp. 2-4 e 2-5, figuras 2-11 a 2-13 e Solution by Formula, deslocamento de uma carga.

P1A3 · FAA, Weight & Balance Handbook, FAA-H-8083-1B
Capítulo 7, p. 7-5, figuras 7-4 e 7-5, somas algébricas, itens adicionados ou removidos e índices.

P1A4 · FAA, Weight & Balance Handbook, Addendum (MOSAIC), outubro de 2025
Página 1, atualização do capítulo 2, p. 2-10, Manufacturer-Furnished Information e índice da figura 2-16.

P1A5 · NIST, SI Units: Mass
Distinção entre mass e weight, quilograma e newton.

P1A6 · NIST, SP 330: The International System of Units, Section 2
Seção 2.3.4, tabela 6, moment of force, e discussão do produto vetorial após a tabela.

P2B1 · FAA. Weight & Balance Handbook, FAA-H-8083-1B
Cap. 2, Arm, Moment e The Law of the Lever, figuras 2-1 e 2-2; cap. 3, EWCG Formulas, figuras 3-5 a 3-10. Referencial longitudinal e sinais.

P2B2 · FAA. Weight & Balance Handbook, FAA-H-8083-1B
Cap. 3, Determining the CG, p. 3-5, figura 3-5 (colunas Scale reading, TARE weight, Net weight, Arm e Moment); glossário, verbete Tare weight.

P2B3 · FAA. Weight & Balance Handbook, FAA-H-8083-1B
Cap. 2, The Law of the Lever; cap. 3, Determining the CG, figura 3-5 e discussão das figuras 3-6 a 3-9. Soma das reações, momentos e CG.

P2B4 · FAA. Weight & Balance Handbook – Addendum, 20 de outubro de 2025
P. 1, revisão do primeiro parágrafo de Manufacturer-Furnished Information no cap. 2, p. 2-10, figura 2-16. Interpretação da coluna de índice de momento com divisor 1.000.

P2B5 · FAA. Weight & Balance Handbook, FAA-H-8083-1B
Cap. 2, Manufacturer-Furnished Information e figuras 2-16 e 2-17; cap. 3, Configuration of the Aircraft e Other Fluids; glossário, nota inicial sobre as diferentes definições de peso vazio, p. G-1.

P2B6 · National Institute of Standards and Technology. SI Units – Mass
FAQ, What is the difference between the terms “mass” and “weight”? Massa em kg e força peso em N. Aplicações numéricas com aceleração gravitacional explicitada nos enunciados.

P2B7 · FAA. Weight & Balance Handbook, FAA-H-8083-1B
Cap. 3, Standard Weights, figura 3-4, e Other Fluids; cap. 2, Manufacturer-Furnished Information. Massa por volume depende do fluido e das condições; os valores dos exercícios são próprios das fichas fictícias.

P3C1 · FAA, Weight & Balance Handbook, FAA-H-8083-1B (2016)
Glossário, Basic empty weight, Basic operating weight (BOW), Empty weight, Payload e Useful load; cap. 9, Determining the Loaded CG of the Airplane in Percent MAC.

P3C2 · EASA, Easy Access Rules for Flight Crew Licensing, edição de agosto de 2020
Anexo I, Part-FCL, Subpart D, assunto 031 Mass and Balance, glossário didático: Traffic load, Taxi mass or ramp mass, Take-off mass e Zero fuel mass, p. 416. Empregado para terminologia.

P3C3 · FAA, Weight & Balance Handbook, FAA-H-8083-1B (2016)
Cap. 9, figuras 9-55, 9-56 e 9-57, comparação de zero fuel weight, takeoff weight e landing weight; glossário, Maximum zero fuel weight.

P3C4 · FAA, Weight & Balance Handbook, FAA-H-8083-1B (2016)
Cap. 3, Center of Gravity (CG) and Mean Aerodynamic Chord (MAC), figura 3-16; cap. 9, Determining the Loaded CG of the Airplane in Percent MAC.

P3C5 · FAA, Weight & Balance Handbook, FAA-H-8083-1B (2016)
Cap. 2, figura 2-14 e Manufacturer-Furnished Information; glossário, CG limits, CG limits envelope, CG moment envelope e Curtailment. Cap. 7, figura 7-11 e discussão das restrições estruturais do compartimento.

P3C6 · FAA, Weight & Balance Handbook, FAA-H-8083-1B (2016)
Cap. 2, Manufacturer-Furnished Information, figuras 2-16 e 2-17 (registro de peso e balanceamento e lista de equipamentos). Ver também o adendo de 2025.

P3C7 · FAA, Weight & Balance Handbook, Addendum (MOSAIC), outubro de 2025
Trecho referente ao cap. 2, Manufacturer-Furnished Information, p. 2-10, registro inicial de peso vazio e CG vazio e interpretação do índice de momento.