O percurso do ar na cabine

Estudo com referência ao Airbus A320-214 para alunos de manutenção B1.1 e B2. Por que um passageiro pode sentir calor mesmo quando a pressão da cabine permanece estável?

A resposta depende de separar três grandezas: **vazão** é a quantidade de ar que passa por unidade de tempo; **temperatura** descreve a condição térmica; **pressão** é a força por unidade de área. Elas interagem, mas cada uma exige evidência própria.

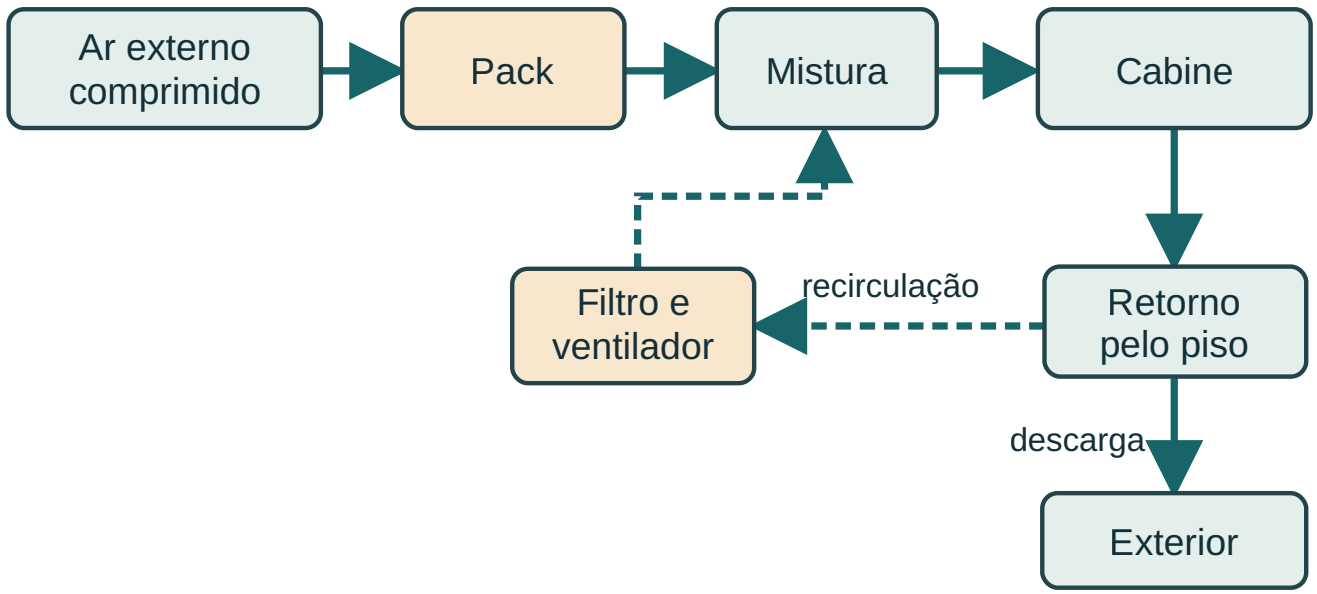


Figura 1. Fluxo funcional de uma cabine de passageiros. A seta tracejada acompanha o ar reutilizado. O desenho agrupa funções e omite ramais para facilitar a leitura. Base conceitual: Airbus FAST, figuras 2 e 3.

Como ler o desenho

Siga primeiro o percurso contínuo: o ar externo é condicionado, passa pela mistura e chega à cabine pelas saídas superiores. O recolhimento ocorre próximo ao piso. Depois acompanhe a seta tracejada: parte do ar recolhido atravessa a filtragem de partículas e volta ao misturador; outra parcela é descarregada para o exterior.

> **Âmbito do exemplo.** A ficha EASA.A.064, edição 62, p. 37, identifica o modelo A320-214. O desenho acima é original e representa a arquitetura geral explicada pela Airbus. Quantidades de unidades, posições, fiação e configuração de um exemplar exigem documentação técnica aplicável à aeronave.

Do compressor à zona ocupada

Na arquitetura descrita na publicação FAST, a fonte pneumática fornece ar comprimido. Quando a fonte é o motor, a sangria é tomada no compressor, a montante da câmara de combustão. A compressão eleva a temperatura. O sistema de condicionamento recebe esse ar e retira calor antes da distribuição.

Pack de condicionamento

O *pack* troca calor com uma corrente de ar externo que serve de meio de resfriamento. Em uma máquina de ciclo de ar, a expansão em turbina também reduz a temperatura. A corrente que resfria o trocador e a que segue para a cabine percorrem circuitos distintos.

Misturador

A unidade de mistura recebe o ar externo condicionado e a parcela de retorno filtrada. Sua saída segue para a distribuição. Somar as duas vazões mostra quanto circula pela cabine; para saber quanto ar novo entrou, observa-se o ramo externo.

Filtro e ventilador

O ventilador mantém o escoamento no ramo de retorno; o filtro HEPA retém partículas suspensas. O CO_2 é um gás. Para estudar sua diluição é necessário considerar o aporte de ar externo e a parcela que sai da aeronave.

Distribuição e zonas

Dutos conduzem a mistura às áreas atendidas. No exemplo funcional da Airbus, uma parcela de ar quente de ajuste, chamada *trim air*, permite elevar a temperatura de insuflação de uma zona. Um valor medido no misturador e outro na zona podem, portanto, divergir.

Interfaces que mudam a interpretação

Fronteira	O que a atravessa	Pergunta de leitura
Pneumática → pack	Ar comprimido e energia térmica.	O valor descreve a entrada ou a saída do condicionamento?
Distribuição → zona	Ar insuflado, com vazão e temperatura.	O sensor representa a corrente no duto ou o ambiente ocupado?
Sensor → controle → atuação	Informação medida e sinal de comando.	Existe dado independente da posição efetiva e de seu efeito?

A última linha é uma representação didática de realimentação. A descrição de uma instalação real depende de suas interfaces e documentos aplicáveis.

O que a pressão revela

Mesmo com ar circulando junto aos assentos, é preciso controlar a pressão do volume ocupado. A válvula de saída (*outflow valve*) regula a descarga. Em uma cabine idealizada de volume e temperatura constantes, se a vazão mássica externa que entra supera a que sai, a massa retida aumenta e a pressão tende a subir. A recirculação move ar dentro dessa fronteira; sua contribuição líquida ao balanço de massa da cabine completa é zero.

Altitude de cabine é a altitude da atmosfera-padrão que corresponde à pressão interna. Quando a pressão interna diminui, a altitude de cabine aumenta. Já a **pressão diferencial** usa a medida externa na mesma ocasião: $\mathbf{\Delta p = p_{interna} - p_{externa}}$. Se a pressão de cabine fica constante e a externa diminui, a altitude de cabine fica constante e o diferencial aumenta.

Controle normal

Compara-se uma condição desejada com a condição medida. Um comando que pede maior abertura da saída tende a aumentar a descarga, mantidas as demais condições. O registro do comando, sozinho, não mede vazão nem deslocamento físico.

Proteção e aviso

O alívio de pressão limita diferenciais excessivos. A proteção contra diferencial negativo trata da situação em que a pressão externa supera a interna. O aviso informa à tripulação uma condição monitorada; sua presença, por si só, não identifica a causa.

Onde entra a Parte 66

Conhecimento básico exigido por subtema • Anexo III, Apêndice I

Subtema ATA 21	B1.1 · módulo 11.4	B2 · módulo 13.11
(a) Pressurização	3	3
(b) Suprimento de ar	3	1
(c) Condicionamento de ar	3	3
(d) Dispositivos de segurança e aviso	3	3

B1.1. Siga um fluxo de massa e explique como uma mudança se propaga entre fornecimento, condicionamento e distribuição. **B2.** Reconheça a função do suprimento no nível 1 e, nos temas de nível 3, interprete medições, relações entre sinais e comportamento do sistema. A tabela reproduz os níveis curriculares; este capítulo exercita parte desses conteúdos.

OFICINA DE LEITURA · DADOS SIMULADOS

Cabine mais quente, pressão estável

Dois alunos recebem o histórico de um modelo de bancada com um misturador e duas zonas, A e B. A turma quer saber se os dados sustentam a hipótese de perda de pressurização. Os números pertencem apenas à simulação; as pressões são absolutas e as vazões são mássicas.

Dois instantes do mesmo ensaio didático

Grandeza registrada	Instante 1	Instante 2
Suprimento externo no misturador	0,60 kg/s	0,60 kg/s
Retorno filtrado ao misturador	0,40 kg/s	0,40 kg/s
Mistura antes da distribuição	16 °C	16 °C
Ambiente A / ambiente B	23 / 23 °C	23 / 27 °C
Pressão interna / externa	78 / 55 kPa	78 / 55 kPa

Leitura comentada

Nos dois instantes, o misturador recebe 1,00 kg/s pela soma de seus dois ramos. A contribuição externa continua em 0,60 kg/s. Se o controle de volume abrange todo o circuito da cabine, a recirculação é interna a essa fronteira. O balanço externo de um modelo em regime permanente exige que a vazão mássica descartada iguale a admitida, considerando todas as entradas e saídas.

A zona B aqueceu 4 °C. A temperatura de mistura e as duas pressões registradas se mantiveram; o diferencial vale 23 kPa em ambos os instantes. A tabela sustenta uma mudança térmica localizada entre as observações. É compatível, por exemplo, com ganho térmico local ou mudança na distribuição para B. Para comparar essas hipóteses, seriam úteis registros simultâneos de temperatura e vazão na saída de insuflação de B e de carga térmica local. Nenhum componente foi identificado como causa.

Fontes e alcance

1. Airbus FAST, *Cabin air* (2021), figs. 2–3. Ver também Airbus · circulação e filtragem e AAIB 9/2020, pp. 53–54, fig. 1 (packs, misturador e ajuste no A320-232 investigado).
2. EASA, TCDS EASA.A.064, edição 62, 26/06/2026, p. 37, lista da seção A320. Identificação do modelo.
3. União Europeia, Regulamento (UE) nº 1321/2014, texto consolidado de 07/08/2026, Anexo III (Parte 66), Apêndice I, módulos 11.4 e 13.11, alíneas (a)–(d).
4. FAA, Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge, cap. 7, *Pressurized Aircraft*, figs. 7-40 e 7-41. EASA, CS 25.841(b), alívio, indicações e avisos em aeronaves pressurizadas. Princípios gerais.

REVISÃO · OITO QUESTÕES

Teste sua leitura

Escolha uma alternativa por questão. Nas questões com números, escreva a unidade junto ao resultado. Confira a justificativa na última página.

1. **No exemplo FAST com sangria dos motores, onde começa o caminho do ar destinado ao pack?**
    1. No escape de gases, após a turbina do motor.
    2. No compressor, antes da câmara de combustão.
    3. No ventilador que movimenta o retorno da cabine.
2. **Qual função o ar ambiente de resfriamento cumpre no trocador do pack?**
    1. Recebe calor da corrente de processo através do trocador.
    2. Mistura-se necessariamente ao ar insuflado no mesmo duto.
    3. Retorna da cabine para transportar CO_2 ao filtro HEPA.
3. **Com 0,60 kg/s externos e 0,40 kg/s de retorno, qual par indica vazão de mistura e contribuição externa?**
    1. 0,60 kg/s e 1,00 kg/s.
    2. 1,00 kg/s e 0,40 kg/s.
    3. 1,00 kg/s e 0,60 kg/s.
4. **Qual mecanismo do esquema contribui diretamente para a diluição do CO_2 produzido pelos ocupantes?**
    1. Retenção de partículas nas fibras do filtro de retorno.
    2. Entrada de ar exterior com menor teor de CO_2 e descarte de ar da cabine.
    3. Transferência de calor para o ar ambiente no pack.
5. **A pressão interna permanece em 78 kPa e a externa cai de 55 para 52 kPa. Como variam o diferencial e a altitude de cabine?**
    1. O diferencial vai de 23 a 26 kPa; a altitude de cabine fica estável.
    2. O diferencial vai de 23 a 20 kPa; a altitude de cabine fica estável.
    3. O diferencial fica em 23 kPa; a altitude de cabine aumenta.
6. **Um registro contém apenas o comando elétrico de maior abertura para a válvula de saída. O que está demonstrado?**
    1. A vazão descarregada aumentou na mesma proporção do comando.
    2. A posição física da válvula atingiu o novo valor solicitado.
    3. O controle solicitou uma mudança; posição e efeito exigem dados próprios.
7. **No caso das zonas A e B, que conclusão aproveita os dados disponíveis?**
    1. A elevação de 4 °C em B demonstra perda de pressurização.
    2. A mudança observada é localizada; medições na insuflação de B ajudariam a explicá-la.
    3. A temperatura estável da mistura identifica o sensor de B como causa.
8. **Qual combinação distingue as funções de alívio e de aviso?**
    1. O alívio limita o diferencial; o aviso informa uma condição monitorada à tripulação.
    2. O alívio interpreta o alerta; o aviso controla diretamente a descarga.
    3. O alívio seleciona a temperatura; o aviso comprova qual componente falhou.

REVISÃO · RESPOSTAS

Gabarito comentado

1. **B · No compressor, antes da câmara de combustão.**

   A sangria vem do compressor. A corrente segue para condicionamento; o ramo de recirculação parte da cabine.

2. **A · Recebe calor da corrente de processo através do trocador.**

   O meio de resfriamento recebe energia térmica. A transferência de calor através do trocador não exige mistura entre as correntes.

3. **C · 1,00 kg/s e 0,60 kg/s.**

   O total é 0,60 + 0,40 = 1,00 kg/s. Dos dois ramos, só o de 0,60 kg/s traz massa nova à fronteira do circuito.

4. **B · Entrada de ar exterior com menor teor de CO_2 e descarte de ar da cabine.**

   A renovação permite remover gás com o ar descartado e diluí-lo com ar externo. O HEPA atua sobre partículas; a troca térmica muda a temperatura.

5. **A · O diferencial vai de 23 a 26 kPa; a altitude de cabine fica estável.**

   O diferencial é interno menos externo. A altitude de cabine depende da pressão interna, que continuou em 78 kPa.

6. **C · O controle solicitou uma mudança; posição e efeito exigem dados próprios.**

   O comando pertence à interface de informação. A conclusão sobre atuação e descarga requer evidência de posição e das condições que determinam o fluxo.

7. **B · A mudança observada é localizada; medições na insuflação de B ajudariam a explicá-la.**

   A aumentou 0 °C, B aumentou 4 °C e o diferencial ficou em 23 kPa nos dois registros. Comparar a vazão e a temperatura insufladas em B com a carga térmica local ajuda a discriminar hipóteses.

8. **A · O alívio limita o diferencial; o aviso informa uma condição monitorada à tripulação.**

   O alívio é uma proteção física contra diferencial excessivo. A indicação comunica a condição detectada e orienta a interpretação, sem estabelecer por si só sua origem.