Quadro 3.1 Condições da Atmosfera-Padrão nos EUA, ao Nível do Mar

Propriedade	Símbolo	Sistema SI	Sistema Inglês
Temperatura	T	288 K	59 F
Pressão	p	101,3 kPa (abs)	14,696 psia
Massa específica	ρ	1,225 kg/m^3	0,002377 slug/ft^3
Peso específico	γ	—	0,07651 lbf/ft^3
Viscosidade	μ	$1{,}781 \times 10^{-5}$ kg/m · s (Pa · s)	$3{,}719 \times 10^{-7}$ lbf · s/ft^2

Se o módulo de compressibilidade for considerado constante, então a massa específica é apenas uma função da pressão (o fluido é *barotrópico*) e a Eq. 3.8 provê a relação adicional da massa específica, necessária para integrar a relação básica entre pressão e altura. Os módulos de compressibilidade para alguns líquidos comuns são dados no Apêndice A.

3.3 A ATMOSFERA-PADRÃO

Diversos Congressos Internacionais sobre Aeronáutica foram realizados visando a uma melhor comunicação entre os peritos neste assunto, em todo o mundo. O resultado de um desses Congressos foi uma definição internacionalmente aceita da Atmosfera-Padrão. As condições ao nível do mar da Atmosfera-Padrão nos Estados Unidos são resumidas no Quadro 3.1.

O perfil de temperatura da atmosfera-padrão dos Estados Unidos é mostrado na Fig. 3.4. Valores adicionais das propriedades são tabulados como funções da elevação no Apêndice A.

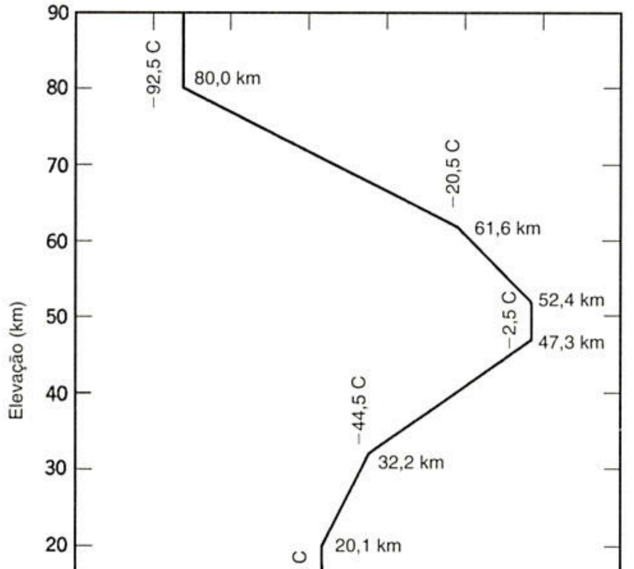

Fig. 3.4 Variação da temperatura com a altitude na atmosfera-padrão dos Estados Unidos.

EXEMPLO 3.3 — Variação da Pressão e da Massa Específica na Atmosfera

A potência máxima produzida por um motor de combustão interna cai com a altitude porque a massa específica do ar e, por conseguinte, a sua vazão em massa, decrescem. Um caminhão sai de Denver (elevação 5.280 pés) num dia em que a temperatura local e a pressão barométrica são 80 F e 24,8 polegadas de mercúrio, respectivamente. Ele viaja por Vail Pass (elevação 10.600 pés) onde a temperatura é 62 F. Determine a pressão barométrica local em Vail Pass e a variação percentual da massa específica, se a temperatura for considerada uma função linear da altitude.

PROBLEMA-EXEMPLO 3.3

DADOS: Um caminhão viaja de Denver para Vail Pass.

Denver: $z = 5.280$ ft — Vail Pass: $z = 10.600$ ft

$p = 24{,}8$ in. Hg — $T = 62$ F

$T = 80$ F

DETERMINAR: A pressão atmosférica em Vail Pass.
A variação percentual da massa específica do ar entre Denver e Vail.

SOLUÇÃO:

Equações básicas:

$$\frac{dp}{dz} = -\rho g \qquad p = \rho R T$$

Hipóteses:
(1) Fluido estático
(2) O ar comporta-se como gás ideal
(3) A temperatura varia linearmente com a altitude

Substituindo na relação básica entre pressão e altura, vem

$$\frac{dp}{dz} = -\frac{p}{RT} g \quad \text{ou} \quad \frac{dp}{p} = -\frac{g\,dz}{RT}$$

Mas a temperatura varia linearmente com a elevação; assim, $T = T_0 + m(z - z_0)$. Logo,

$$\frac{dp}{p} = -\frac{g\,dz}{R[T_0 + m(z - z_0)]} = -\frac{g\,m\,d(z - z_0)}{mR[T_0 + m(z - z_0)]}$$

Integrando de p_0 em Denver a p em Vail, obtemos

$$\ln\left(\frac{p}{p_0}\right) = -\frac{g}{mR}\ln\left[\frac{T_0 + m(z - z_0)}{T_0}\right] = -\frac{g}{mR}\ln\left(\frac{T}{T_0}\right)$$

ou

$$\frac{p}{p_0} = \left(\frac{T}{T_0}\right)^{-g/mR}$$

Introduzindo os valores numéricos, temos

$$m = \frac{T - T_0}{z - z_0} = \frac{(62 - 80)\,\text{F}}{(10{,}6 - 5{,}28)10^3\ \text{ft}} = -3{,}38 \times 10^{-3}\ \text{F/ft}$$

e

$$\frac{g}{mR} = 32{,}2\ \frac{\text{ft}}{\text{s}^2} \times \frac{(-1)\,\text{ft}}{3{,}38 \times 10^{-3}\ \text{F}} \times \frac{\text{lbm} \cdot \text{R}}{53{,}3\,\text{ft} \cdot \text{lbf}} \times \frac{\text{slug}}{32{,}2\,\text{lbm}} \times \frac{\text{lbf} \cdot \text{s}^2}{\text{slug} \cdot \text{ft}} = -5{,}55$$

Logo

$$\frac{p}{p_0} = \left(\frac{T}{T_0}\right)^{-g/mR} = \left(\frac{460 + 62}{460 + 80}\right)^{5{,}55} = (0{,}967)^{5{,}55} = 0{,}830$$

e

$$p = 0{,}830\,p_0 = (0{,}830)24{,}8\ \text{in. Hg} = 20{,}6\ \text{in. Hg}$$

{Note que a temperatura deve ser expressa em termos absolutos porque ela surgiu da equação de estado do gás ideal.}

A variação percentual na massa específica é dada por

$$\frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} = \frac{\rho}{\rho_0} - 1 = \frac{p}{p_0}\frac{T_0}{T} - 1 = \frac{0{,}830}{0{,}967} - 1 = -0{,}142 \quad \text{ou} \quad -14{,}2\%$$

{Incluiu-se este problema a fim de ilustrar o emprego da equação de estado do gás ideal com a relação básica entre pressão e altura, para avaliar a distribuição de pressão na atmosfera.}