P4.17 Uma aproximação razoável para a camada-limite bidimensional incompressível laminar sobre a superfície plana da Fig. P4.17 é

$$u = U\left(\frac{2y}{\delta} - \frac{y^2}{\delta^2}\right) \quad \text{para } y \le \delta \quad \text{onde } \delta = Cx^{1/2},\ C = \text{const.}$$

(*a*) Considerando a condição de não-escorregamento na parede, encontre uma expressão para o componente de velocidade $v(x, y)$ para $y \le \delta$. (*b*) Em seguida, encontre o máximo valor de v na estação $x = 1$ m, para o caso particular de escoamento de ar, com $U = 3$ m/s e $\delta = 1{,}1$ cm.

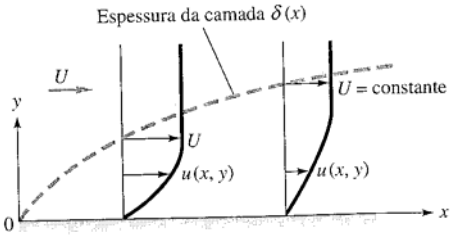

Fig. P4.17

P4.18 Um pistão comprime gás em um cilindro, movendo-se à velocidade constante V, como na Fig. P4.18. Sejam ρ_0 e L_0 a massa específica do gás e o comprimento em $t = 0$, respectivamente. Considere que a velocidade do gás varia linearmente desde $u = V$ na face do pistão até $u = 0$ em $x = L$. Se a massa específica do gás varia apenas com o tempo, encontre uma expressão para $\rho(t)$.

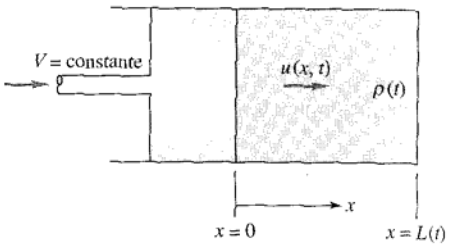

Fig. P4.18

P4.21 Ar escoa em condições permanentes e aproximadamente unidimensionais pelo bocal cônico da Fig. P4.21. Se a velocidade do som é aproximadamente 340 m/s, qual é a mínima

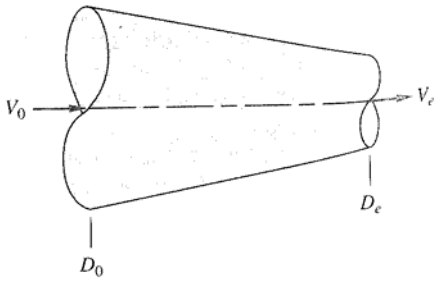

Fig. P4.21

razão de diâmetros do bocal, D_e/D_0, para a qual podemos desprezar com segurança os efeitos da compressibilidade, se $V_0 =$ (*a*) 10 m/s e (*b*) 30 m/s?

P4.25 Um escoamento incompressível em coordenadas polares é dado por

$$v_r = K\cos\theta\left(1 - \frac{b}{r^2}\right)$$

$$v_\theta = -K\,\text{sen}\,\theta\left(1 + \frac{b}{r^2}\right)$$

Esse campo de escoamento satisfaz a continuidade? Em prol da consistência, quais devem ser as dimensões das constantes K e b? Esboce a superfície onde $v_r = 0$ e interprete.

***P4.26** Coordenadas curvilíneas, de linha de corrente, estão definidas na Fig. P4.26, onde n é normal à linha de corrente no plano do raio de curvatura R. Mostre que a equação de Euler da quantidade de movimento sem atrito, (4.36), em coordenadas curvilíneas, torna-se

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V\frac{\partial V}{\partial s} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial s} + g_s \qquad (1)$$

$$-V\frac{\partial \theta}{\partial t} - \frac{V^2}{R} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial n} + g_n \qquad (2)$$

Em seguida, mostre que a integral da Eq. (1) com relação a s nada mais é do que a nossa velha amiga, a equação de Bernoulli (3.76).

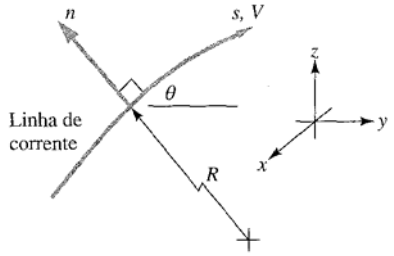

Fig. P4.26

P4.27 Um campo de escoamento permanente, incompressível e sem atrito é dado por

$$\mathbf{V} = 2xy\mathbf{i} - y^2\mathbf{j}$$

em unidades arbitrárias. Seja a massa específica ρ_0 = constante e despreze a gravidade. Encontre uma expressão para o gradiente de pressão na direção x.

P4.29 Considere um escoamento incompressível, permanente e bidimensional de um fluido newtoniano em que o campo de velocidade é conhecido: $u = -2xy$, $v = y^2 - x^2$, $w = 0$. (*a*) Esse escoamento satisfaz a conservação da massa? (*b*) Encontre o campo de pressões, $p(x, y)$, se a pressão no ponto $(x = 0, y = 0)$ for igual a p_a.