

	<h1>LADIF</h1> <h2>ROTEIRO DA EXPERIÊNCIA</h2>	<h1>UFRJ</h1> <h2>IF</h2>
Disciplina: <b>Hidrodinâmica</b>		Tema: <b>Fluidos</b>
Código: <b>11-05</b>	Nome: <b>TUBO DE VENTO</b>	
Onde encontrar: <b>Salão principal</b>		
<p><b>Potencialidade:</b> Mostrar como fluidos a diferentes velocidades se comportam.</p> <p><b>Palavras-chave:</b> Hidrodinâmica, Bernoulli, pressão, fluidos</p> <p><b>Ref. Bibliográficas:</b> M. Nussenzveig, <i>Física Básica 2: Fluidos, oscilações e ondas</i> (Blucher, 2001). cap. 2, p. 22-24.;</p> <p>H.D. Young e R.A. Freedman, <i>Física II – Termodinâmica e Ondas</i> (Pearson, São Paulo, 2008), p. 85.</p> <p>Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, n. 3, 3505 (2015)</p> <p>Figuras 1 e 2: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=NvzXKZNJ7ZU">https://www.youtube.com/watch?v=NvzXKZNJ7ZU</a></p>		

## Roteiro da experiência

### Montagem

O experimento não requer montagem para sua utilização. Para seu funcionamento, é necessário apenas que esteja conectado à tomada mais próxima. Além disso, é prudente que se utilize uma bola cuja massa seja sustentada pela potência do soprador utilizado.

### Introdução teórica

Líquidos e gases têm em comum a propriedade de se escoar ou fluir com facilidade, por isso a estes é atribuído o nome de fluidos. Um fluido, ao contrário de um sólido, não possui forma bem definida - amolda-se ao recipiente em que é colocado. Um líquido ainda é capaz de manter seu volume no processo de acomodação a um espaço, porém um gás, por exemplo, sem forma ou volume bem definidos, irá se expandir até ocupar todo o volume do recipiente. Assim como superfícies sólidas, fluidos também são capazes de exercer pressão. Tratando-se, então, do fluxo do ar como um fluido, o presente experimento pode ser bem descrito pela equação de Bernoulli e pelo efeito Coanda.

A equação de Bernoulli (1) indica que um fluido escoando em fluxo contínuo exercerá pressão cuja intensidade depende da velocidade de escoamento deste.

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad (1)$$

Onde  $P$ ,  $v$  e  $h$  são os valores inicial e final de pressão, velocidade e altura do fluido (respectivamente). A variável  $\rho$  corresponde à massa específica do fluido, que não muda já que consideraremos fluidos incompressíveis. De acordo com (1), quanto mais rápido o fluido estiver se movendo, proporcionalmente menor será a pressão à mesma altura do fluido.

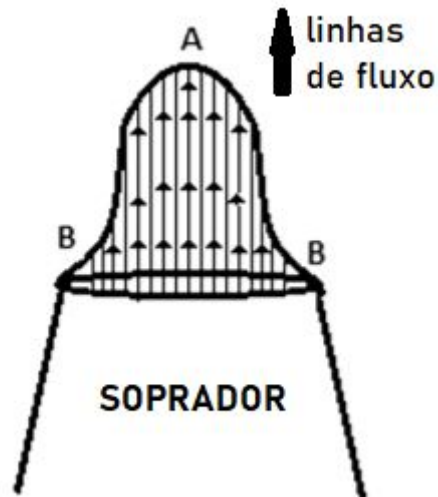
Para explicar o efeito Coanda é preciso pensar no ar como um fluido viscoso, ou seja, admitir que há atrito entre suas moléculas. O ar soprado (figuras 1 e 2) empurraria as moléculas presentes numa dada superfície, deslocando-as para fora dessa área, criando nesta uma região de menor pressão que produz uma força resultante nessa direção. Dessa forma, o ar seria atraído pelas superfícies próximas do fluxo, como ilustrado nas figuras a seguir.



**Figs. 1 e 2:** Trajetória do ar soprado pelo secador, a certa distância da superfície curva e próximo o suficiente para que o ar se encoste na dita superfície, respectivamente

## Experimento

Ao ligar o aparelho, o ar é soprado na direção na qual este aponta. Colocando uma bola no centro do fluxo de ar - soprando na direção vertical - verifica-se que a bola flutua apesar de seu peso e se mantém estável de alguma maneira, amparando leves oscilações. Mantendo o soprador ligado e inclinando-o lentamente, de forma a diminuir sua angulação com o chão (fig. 2), percebe-se que a bola permanece no ar e gira em torno de seu próprio eixo.

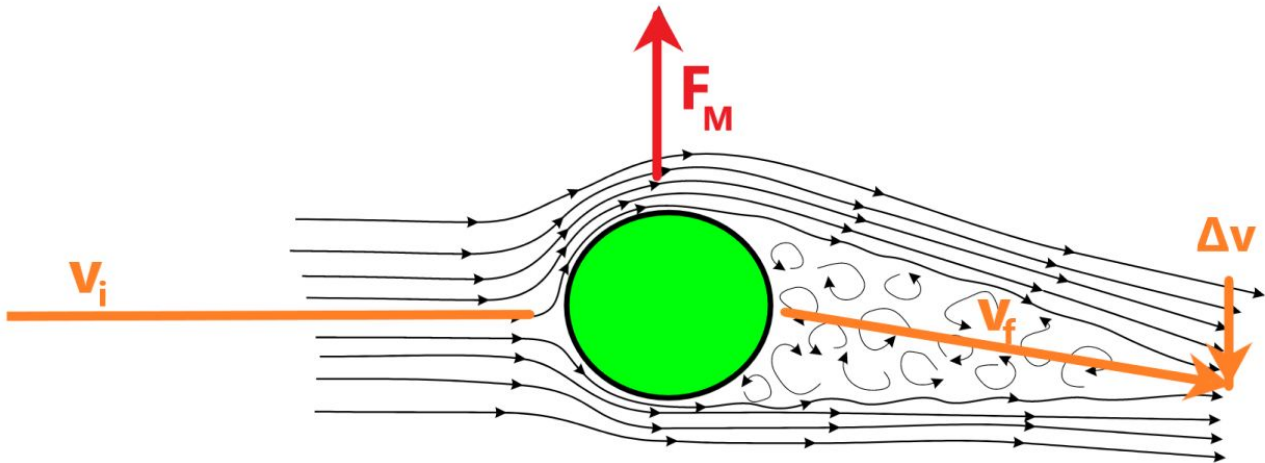


**Fig. 3:** Esquema de soprador de ar com áreas A e B de maior e menor velocidades de escoamento do ar, respectivamente.

A explicação para o fato do ar conseguir suspender a bola, e da mesma permanecer no ar - e na região de escoamento - mesmo após a inclinação, provém da supramencionada equação de Bernoulli. Analisando o fluxo de ar, percebe-se que nas regiões periféricas do escoamento a velocidade é menor, enquanto que na região central deste a velocidade é maior. Então, de acordo com Bernoulli, a pressão é menor na região central de escoamento em relação às periferias. Dessa forma, a diferença de pressão entre as regiões é o que faz com que a bola se desloque da área de maior pressão (periferia) para a de menor pressão (central).

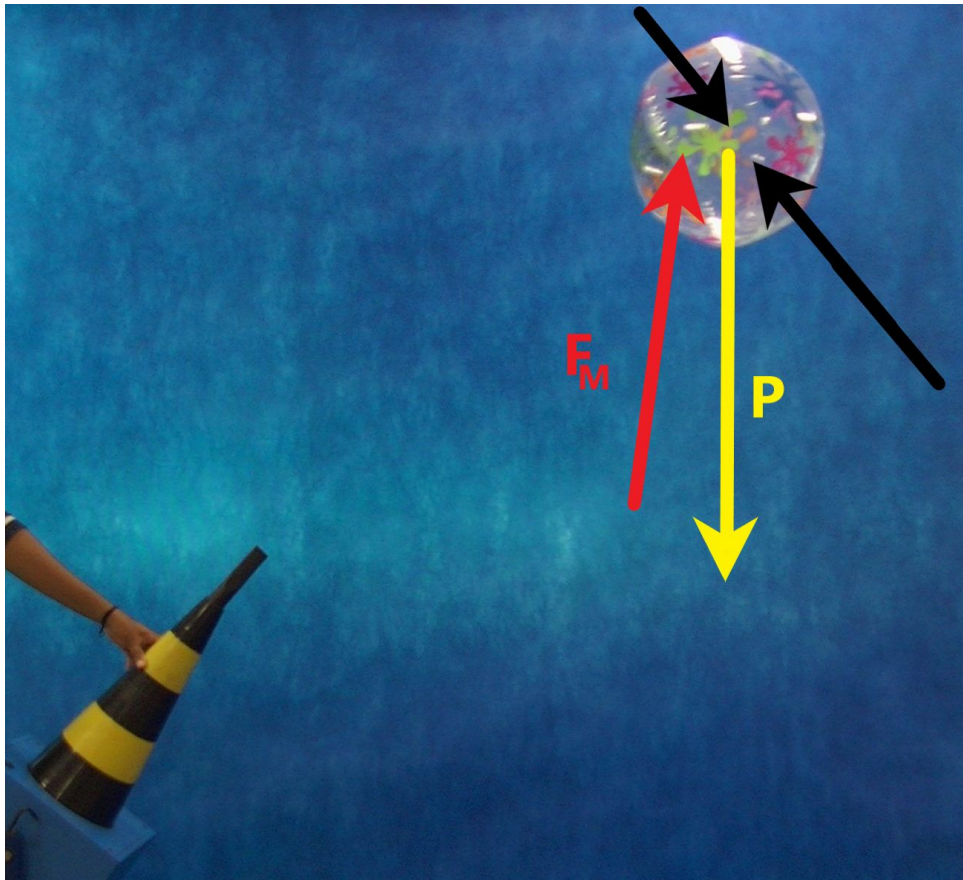
Isto fica ainda mais evidente quando o soprador é inclinado (figura 5); Nessas condições, a força Peso da bola a empurra para a região periférica de escoamento do ar. Sendo assim, haverá um fluxo maior de ar mais rápido (e, portanto, de menor pressão) na extremidade da bola que se aproxima mais do centro. Isso porque, como descrito pelo efeito Coanda, o fluxo de ar mais rápido irá circular a extremidade da bola mais afastada do centro na direção da região central e, portanto, o gradiente de pressão entre as regiões será ainda maior do que quando o soprador está ereto, e a variação de momento do ar terá uma resultante nessa direção (figura 4); Além disso, quando a bola desvia o fluxo de ar para baixo, surge também uma força de reação para cima. Assim, haverá uma

força de reação através da qual a bola adquire sustentação suficiente, a despeito de seu peso, para permanecer suspensa na área central de escoamento. Essa variação de momento também é responsável por uma velocidade angular diferente de zero, o que explica a rotação da bola quando o soprador é inclinado.



**Figura 4:** Variação na velocidade do ar que ocasiona a mudança de momento do mesmo e, por consequência, a força  $F_M$  que ajuda a sustentar a bola.

Como ilustrado também na figura 4, quando o fluxo de ar deixa a superfície da bola, este deixa um espaço turbulento, representado na figura pelas setas curvas.



**Figs. 5:** Diagrama de forças quando a bola está suspensa no ar com o soprador inclinado. As setas pretas representam os vetores das forças na bola causadas pelo efeito explicado por Bernoulli.