

# Princípios de Aerotécnica (III)

**JOSÉ DE CARVALHO LOPES**

Engenheiro de Minas e Civil — Prof.  
Catedrático de Hidráulica da Escola  
de Minas de Ouro Preto — Prof.  
Catedrático da Escola de Arquitetura  
da U. M. G.

Prosseguiremos, no presente número, com a terceira parte, a seqüência de publicações sobre o que chamaremos "Princípios de Aerotécnica", com o objetivo de mostrar o notável auxílio didático e a valiosa contribuição da Aerotécnica, apoiada em túnel de vento de pequeno porte, no campo da Mecânica dos Fluidos e mesmo da Hidráulica, uma vez bem assimilada a teoria da semelhança mecânica e modelos reduzidos. O presente artigo é prosseguimento das partes I e II, publicadas na Revista DAE n.º 56.

O hiato que separa essas duas últimas publicações é explicado pela necessidade que tivemos de assumir a regência da Cátedra de Mecânica dos Fluidos e Hidráulica, da Escola de Engenharia da Universidade de Minas Gerais, em decorrência da aposentadoria do Professor Álvaro de Campos Andrade.

Como aplicação e para concretizar idéias, faremos referência ao primeiro trabalho prático (TP) que ministramos na Escola de Minas, com o título:

## Visualização do Princípio da Energia (D. Bernoulli). Transformação da energia.

Recapitulemos, preliminarmente, algumas noções básicas. O meio em que vivemos imerso faz parte do envoltório gasoso que recobre a Terra: a atmosfera, mistura de gases (Nitrogênio 79%, oxigênio 21%, gás carbônico: CO<sup>2</sup> 3%, o restante se compo de gases raros e umidade). Na fig. 5 o é o centro da Terra e MN o traço da superfície do "nível médio dos mares", suposto circunferência. A normal OAB é a vertical de uma localidade A de altitude Aa, onde está nosso laboratório. Evidentemente em MN reina a pressão barométrica normal, de 1000 milibares ou 76 centímetros de mercúrio — coluna. A espessura atmosférica será aB, tida como da ordem de 100 km. Como o ar é compressível e pesado, vai-se tornando cada vez mais rarefeito, a densidade variando na razão inversa da altitude, até o ponto B onde reina o vazio absoluto. Se tomarmos aB como abcissa e as pressões perpendicularmente, ab seria a pressão atmosférica normal, ao nível do mar. A lei de variação da pressão em altitude decorre dum integração da equação diferencial hidrostática aplicada a fluido pesado elástico:

$$z = K \log p + C$$

que é a base do chamado "nivelamento barométrico". A curva resultante, ramo de espiral logarítmica, está representada em

b d e

na fig. 5 e é assintótica em relação à vertical AB. Daremos alguns valores "médios", pois as pressões oscilam com temperatura e outros fatores. Além do mais o tópo B'B é sempre mal definido, as moléculas de ar sendo muito esparsas. A mais de 60 km p. ex., elas se fastam mais de 10 metros (Van Allen).

Vejamos alguns valores particulares, em milibares (mb):

Altitude (km)	Pressão (mb)
0	1000
4	350
10	300
20	120
24	20
26	14
30	1
60	0,5
70	0,2

Considerando que o mb é a milésima parte da altura barométrica normal, em água, teremos:

$$\frac{10,332}{1000} = 0,010332 \text{ m}$$

o que dá 2 milímetros a mais de 70 km.

A mais de 30 km a pressão não passa de um centímetro de água. Cai, pois, violentamente no começo, para estabilizar num valor mínimo a algumas dezenas de km apenas.

Como nossas medidas se operam em laboratórios cuja altitude pouco ultrapasa mil metros, o ar é relativamente denso e para velocidades sub-sônicas ele é considerado incompressível e já o justificamos.

Em nosso diagrama a linha B'B é, pois, a "linha de carga absoluta" (LCA) em que reina a pressão zero absoluto (fig. 5).

A camada de ar BA causa a pressão absoluta  $p_d$ , que é a pressão atmosférica local do ambiente do laboratório. Neste ponto, a pressão efetiva é zero e o plano tangente ou superfície que passa por A é o "plano de carga efetivo" e o seu traço é a "linha de carga efetiva". À esquerda da fig. 5, representamos, em grande tamanho, em conjugação com o desenho global, o túnel de vento T em cuja boca de descarga instalamos um tubo de seção variável  $m$   $n$ , que está acoplado ao multimanômetro EF com seu frasco de álcool colorido V definindo o citado plano de carga efetivo de traço V-1-2-3. Para simplicidade reduzimos o "tubo Venturi" a três tomadas, duas alargadas  $m$  e  $n$  e uma estreitada  $r$ .

A linha de carga efetiva é a mesma que passa em A e visualizada pelo tópo do álcool colorido.

Pôsto o túnel a funcionar sob velocidade  $V_\infty$  as colunas do multimanômetro definirão a curva 1' 2' 3', de convexidade voltada para cima. Evidentemente as colunas que são aspiradas para cima, como o é a 2 definirão depressões e as recalçadas para baixo, como 1 e 3 mostrarão compressões. A coluna de ar B''2 diminuiu de 2-2' a altura de pressão absoluta sendo, pois, B''2' menor que a normal B''2.

Em resumo, o exame das figuras nos dão:

- Plano de carga absoluto B''B'B
- Plano de carga efetivo 2 C.
- Pressão absoluta em 2 = B''2'
- Pressão efetiva em = 2 - 2' — negativa.

A representação da fig. 5 é como a concebemos no espaço atmosférico, evidentemente esquemática,

apenas 1-1', 2-2' e 3-3' sendo colunas de álcool ao invés de ar, estas podendo ser obtidas multiplicando as primeiras pela razão inversa das densidades. Em nosso laboratório as colunas de ar local são tomadas em milímetros de álcool colorido. Para facilidade usamos a convenção seguinte:

- Colunas de ar, sem índice =  $h$
- Colunas de álcool, com índice  $e = h_e$   
( $e = \text{etílico}$ )
- Colunas de água, índice  $a = h_a$
- Colunas de mercúrio, índice  $m = h_m$

Além disto, letras minúsculas representarão alturas em milímetros e maiúsculas metros. Admitindo colunas métricas em equilíbrio, um plano isopiésico é horizontal (fluido pesado em equilíbrio) e definirá alturas assim expressas:

$$\bar{w} H = \bar{w}_a H_a = \bar{w}_e H_e = \bar{w}_m H_m$$

expressões que permitem a transformação de colunas. Assim.

$$H = \frac{\bar{w}_e}{\bar{w}} H_e$$

e teremos transformado coluna alcoólica em aérea.

De acôrdo com a convenção supra poderemos escrever:

$$H = \frac{\bar{w}_e}{\bar{w}} \cdot \frac{1}{1000} h_e$$

e teremos transformado milímetros de coluna alcoólica em metros de ar, e assim por diante.

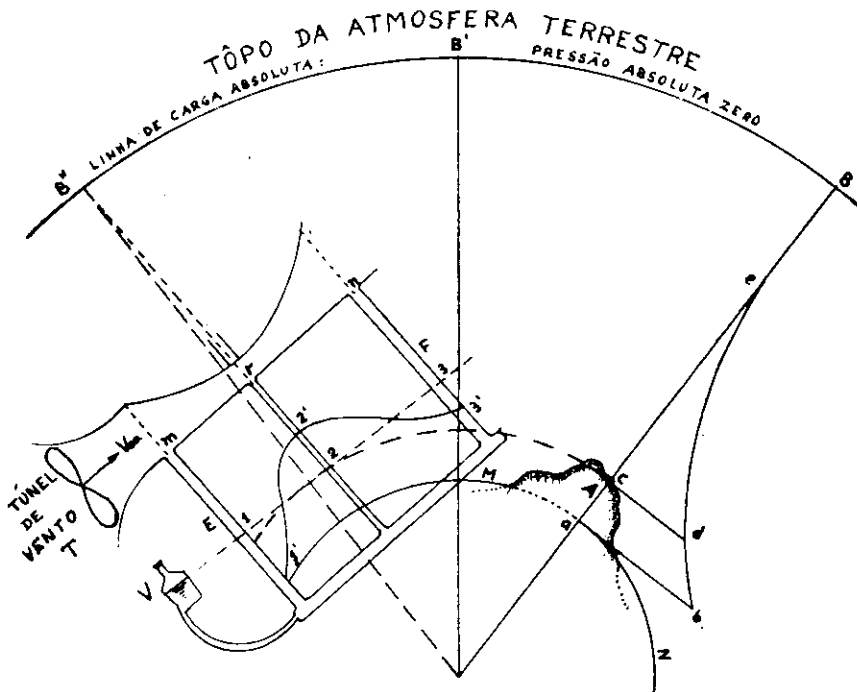


Fig. 5