

Princípios de Aerotécnica (IV)

(quarta parte)

J. CARVALHO LOPES

Engenheiro de Minas e Civil, Prof. Catedrático da Escola de Arquitetura da UMG e da Escola de Minas de Ouro Preto.

Antes de prosseguir nesta quarta parte de nossa modesta contribuição para a Mecânica dos Fluidos, seja-me permitida a oportunidade duma "digressão" que talvez tome grande parte da presente exposição. Refiro-me à inauguração, melhor dito à instalação, concluída há pouco, do Laboratório de Mecânica dos Fluidos da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, por nós projetado, calculado e instalado.

Já afirmámos nesta Revista D. A. E. (n.º 58 — setembro de 1965 - pág. 61) que o Arquiteto, longe de se tornar um "especialista", deverá (no entanto) trazer razoável bagagem de conhecimentos de Hidráulica e Saneamento e, conseqüentemente, de Mecânica dos Fluidos, e que o ensino dessas disciplinas deverá orientar-se no sentido de atendimento à mentalidade, eminentemente sintética, do Arquiteto.

Tornou-se, assim, a Escola de Arquitetura da Universidade Federal de M. G., a nosso ver, a melhor aparelhada, senão a única, em nosso meio, dentre as suas congêneres, nesse assunto.

Já afirmámos, e a opinião é nossa pelo menos, que já "passou" a época dos velhos tradicionais e convencionais laboratórios à base de água. São muito mais onerosos no custo inicial e de manutenção mais cara e difícil e nem sempre mais exatos que o símile aerotécnico. Um bem estabelecido Tunel de Vento, com poucos cavalos de potência e "conexos simples e de baixo custo": manômetros simples, manômetros diferenciais, multi-manômetros, micromanômetros, tubos de Pitot e Prandtl, uma dúzia de metros de mangueiras de plástico de vários pequenos diâmetros e um litro de álcool colorido, adicionados a uma dúzia de modelos reduzidos, quase tudo fabricado pelos próprios alunos do laboratório em sua pequena oficina, tudo isto faria tanto e certamente mais didaticamente que qualquer custoso, imponente laboratório convencional, e ainda com a vantagem do mais íntimo contacto dos alunos com e sedutora teoria da Semelhança Mecânica e Modelos Reduzidos. Se se quiser repetir a experiência substituindo o ar por água (com as complicações do difícil expurgo de ar da água nas sinuosidades das mangueiras, etc.) os "São Tomés" se extasiarão diante da correlação dos fenômenos.

Não significa, o que afirmamos, a derrogação dos velhos laboratórios convencionais. Longe disto nosso intento. O Laboratório Aerotécnico é o do "primo pobre", diante de verbas por vezes tão mal distribuídas. Na verdade houve os que pensaram que os modernos físicos laboratórios "super-transistoropticoeletronizados" abafassem por completo os velhos clássicos tipos Lavoisier-Regnault. Nunca. Ai daqueles sem a base destes; êles como se completam e a preponderância tem apóio na economia de tempo, vertigem de nossos tempos e nas astúcias dos modernos computadores. Todavia, em nosso caso em foco, maximé em se tratando de escolas de Arquitetura, nada mais necessário além do que propusemos para nossa Escola. Aproveitando remanescente material da Física Industrial (para estudo de ar condicionado), a Escola não dispendeu mais que um milhão e meio de cruzeiros, quantia modesta em confronto com as dezenas de milhões que custaria o símile "aquático". É verdade que a Escola contou com a amizade e colaboração de sua irmã da Engenharia, pois a oficina do Laboratório Hidráulico da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais ofereceu gratuitamente tôda a mão de obra e

mesmo algum material, o que constituiu edificante exemplo em nosso meio, geralmente de emulação ao invés de colaboração.

Posto isto, passemos ao nosso tema anunciado:

TRANSFORMAÇÃO-CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

(Princípio de Bernoulli)

Curioso é considerar que devemos a dois ilustres MÉDICOS dois dos maiores impulsos à Mecânica dos Fluidos.

POISEUILLE, em sua memorável Tese de Doutorado de 1846, indagando sobre o comportamento da circulação sanguínea no corpo humano, assimilado o sistema veno-arterial a tubos, produziu a histórica obra: "Recherches Experimentales Sur le Mouvement des Liquides Dans les Tubes de Très Petit Diametre".

Conclui que, "felizmente" a circulação do sangue no corpo humano é do TIPO TRANQUILO ou LAMINAR, também dito LAMELAR (Número de Reynolds inferior a 2400). Como todavia, a deficiência pouco se afasta da "zona de ninguém" (2 a 3 mil), perturbação qualquer esporádica, agindo como uma "turbulência", melhor "pre-turbulência" como dizemos em laboratório, poderá transpor o escoamento para a faixa turbulenta. Como a viscosidade é preponderante no tipo considerado de escoamento em que prevalece a ação da viscosidade, sendo esta influenciada "violentamente" pela variação da temperatura, decrescendo com o aumento desta, PODERÁ ACONTECER que, num estado altamente febril a viscosidade do sangue humano, normalmente em torno de 0,051 Poise à temperatura normal de 37,5 cent. do corpo humano com $\omega = 1,045$, venha a decrescer de modo tal que

$$NR = \frac{VD\rho}{\mu} = N.^{\circ} \text{ Reynolds} \quad (1)$$

possa provocar a transposição do escoamento para a faixa TURBULENTA, ultrapassando a "Zona de transição" (2 a 3 mil) que os franceses chamam "Seuil du Regime", provocando turbulência tal que faça desprender da faixa interna junto às paredes dos vasos sanguíneos, em nós Velhos bem esquirolada, partículas ou "THROMBOS" (palavra latina que significa coágulo), que, liberados, entram na torrente circulatória e quando detidos, a probabilidade é que o seja na delicada rede dos capilares cerebrais, podendo provocar a chamada TROMBOSE. A lógica indica que talvez 90% dessas ocorrências tenham como "palco inicial o "Báculo da Aorta", sede do maior diâmetro de vaso humano (média estatística de 2,5 centímetros), isto porque a "velocidade crítica", isto é, a acima da qual o regime passa a turbulento é mais facilmente alcançada em grandes diâmetros como o indica a fórmula (2) seguinte, que vem dá (1):

$$V_c = \mu NR / \rho D = K/D \quad (2)$$

Quanto maior D menor V_c sendo, pois, mais facilmente alcançado, daqui decorrendo o caráter "capilar" dos estudos de Poiseuille.

Na realidade normalmente muito antes que possa ocorrer turbulência que cause o arrastamento de trombos, com o "avançar" de nossa já provecida idade o sangue como que se vai "engrossando", ficando mais viscoso. Isto facilita a permanência do regime tranquilo, porém a perda de pressão, que é função inversa da "quarta potência do diâmetro":

$$H_f = 128 \cdot v \cdot l \cdot Q / \pi \cdot g \cdot D^4 \quad (3)$$

poderá causar o estagnamento das extremidades capilares, e como tal se opera numa área que vai "avançando em espessura", neutraliza um volume que causará a clássica amnésia dos velhos e, em estado avançado, a caduquice, variada conforme o centro atingido.

Temos, assim, um dos vários pontos de contacto entre engenheiros e médicos.

Poiseuille era mais prático que teórico, mais laboratorista que pesquisador teórico, porém, francês que era, jogava bem com a álgebra, o que não é muito comum entre nossos ilustres escúliptos.

Rendamos, aqui, um tributo à argúcia experimental de Poiseuille, que discerniu, pela experiência, a influência da quarta potência do diâmetro, como o indica a fórmula (3).

O que Poiseuille achou, por via quase que exclusivamente experimental, o alemão G. Hagen havia deduzido, em 1839, portanto bem antes que Poiseuille, as mesmas leis de escoamento e que foram publicadas nos "Poggendorff Annalen" sob a epígrafe: "Bewegung Des Wassers In Eigen Cylindrischen Roheren". Ficou, no entanto, patenteado que Poiseuille desconhecia a existência destes estudos.

Feita a digressão supra, retomemos o tema do presente capítulo IV. O principio de Bernoulli se nos apresenta sob dois aspectos:

1) — Aplicado a "fluidos reais": e já vimos:

$$z + \bar{p}/\bar{\omega} + V^2/2g + \varphi_{M_0-M} = H \quad (4)$$

em que o plano de carga H é alcançado pela soma de 4 termos, os dois primeiros (energia de posição e energia de pressão) se dizem "energia potencial", o 3.º, que se intercambia com os anteriores, é a "energia cinética" ou "atual" e, finalmente o 4.º, que é a perda de carga ou de energia, é a energia irreversível, irrecuperável. Das linhas gráficamente representativas, a primeira é "Linha de Posição, a segunda: de pressão ou piezométrica, a terceira, a de energia que apresenta declividade sempre decrescente, pois a sua ascensão, em qualquer ponto, significaria reaproveitamento de "energia já perdida" e a solução do sonhado "Motu contínuo"...

Os termos são evidentemente lineares (unidimensionais) e traduzem a evolução duma partícula de M_0 a M e referentes à unidade de peso.

2.º) — Aplicado a fluidos chamados "Perfeitos", isto é "despojados de viscosidade" que é a causa preponderante nos escoamentos que abordaremos. Neste caso:

$$\varphi_{M_0-M} = 0$$

o que equivale a desprezar a perda de energia, admissível em nosso caso do ar e tubo curto, sob fracas velocidades. Assim, finalmente:

$$\bar{p}/\bar{\omega} + V^2/2g = H \quad (5)$$

com abstração dos z .

Isto nos é permitido. não somente por operarmos no laboratório em montagem sensivelmente paralela ao piso (horizontal) como igualmente em razão da pequena densidade do ar, em nosso caso cêrca de mil vezes inferior à da água (um e mil Kg/M^3 respectivamente). Realmente, o primeiro de nossos TL (trabalhos de laboratório) é fazer os alunos se familiarizarem com a fórmula já citada (cap. II):

$$\bar{\omega} = p/(29,27(273 + t.º)) \quad (6)$$

corrente em Termodinâmica e que nos fornece ω com ajuda tão somente do barômetro e do termômetro. Para maior elasticidade didática damos p em polegadas de Mercúrio (grande aneroide Casella) e t em graus Fahrenheit. Veremos mais adiante que em nossa altitude (840 m em Belo Horizonte) encontraremos $\bar{\omega} = 1,022 \text{ Kg}/\text{M}^3$. Virá, pois, finalmente:

$$p/\bar{\omega} + V^2/2g = H \quad (7)$$

ou melhor, em acôrdo com o já desenvolvido no cap. II

$$P_{\infty}/\bar{\omega} + V_{\infty}^2/2g = H \quad (8)$$

os índices ∞ indicando tratar-se de "partícula indeformada", melhor "imperturbada" (infinito montante, dos franceses).

É, em resumo, a velocidade "média" oferecida pelo Tunel de Vento, logo após a boca de descarga.

TL preliminar. Os alunos, munidos de barômetro e termômetro, passam a determinar o pêsso do ar do ambiente do laboratório, elemento que figura em várias fórmulas, como já vimos.

Aplicando a fórmula (6) teremos:

$$p = 26,14 \text{ poleg. Hg} = 66,50 \text{ Cm Hg} = 9 \text{ metro H}_2\text{O} = 9\,000 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$\text{ou } 9\,000 \text{ Kg/metro quadrado}$$

$$t.^{\circ}\text{F} = 80,6 = 27 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\bar{\omega} = 9\,000/29,27 (273 + 27) = 9\,000/8\,800 = 1,022 \text{ Kg/M}^3 \quad (6)$$

$$\bar{\omega} = 1,022 \text{ quilogr. por metro cúbico.} \quad (7)$$

Demonstraremos poder tomar 1 Kg/M³ (um Kg/M³), muito facilitando os cálculos futuros, principalmente as velocidades. Antigamente, antes de Galileu, se supunha o ar imponderável (ciência anterior ao Sec. XVI). Ao nível médio dos mares o valor mais exato foi determinado por Regnault e Leduc: $\bar{\omega} = 1,293 \text{ Kg/M}^3$ que é o valor clássico dos tratados de Física. É 30% mais denso que o do nosso laboratório. Nosso valor 1 Kg/M³ acarretou a fórmula simples muito em voga nos trabalhos aerotécnicos nas altitudes próximas de mil metros:

$$V = 4\sqrt{h_e} \quad (8)$$

h_e sendo expresso em milímetros de álcool colorido (e = etílico) que empregamos em nossos trabalhos, de p.e. = 800 Kg/M³.

V é a velocidade em metros por segundo.

Este h_e é obtido aplicando o tubo de Prandtl ou simplesmente o de Pitot se o escoamento é livre. V agindo nestes tubos, a mecânica nos dá a clássica fórmula (Torricelli):

$$V = \sqrt{2gH} \quad (9)$$

H sendo metros de coluna vertical do fluido atuante, o ar. Como é praticamente impossível medir "diretamente" colunas de ar, têmolas expressas em milímetros de álcool. Pela nossa convenção manométrica (cap. III) escreveremos:

$$\bar{\omega} \cdot H = \bar{\omega}_e \cdot H_e = \bar{\omega}_e \cdot h_e / 1000 \quad (10)$$

$$H = \bar{\omega}_e / \bar{\omega} \cdot h_e / 1000$$

e levando êste valor de H à (9) teremos:

$$V = \sqrt{2g \cdot \bar{\omega}_e / \bar{\omega} \cdot h_e / 1000} = \sqrt{16 \cdot h_e} = 4\sqrt{h_e} \quad (11)$$

$$V = 4\sqrt{h_e}$$

como queríamos demonstrar, obtida dando a g o valor 20 (êrro de + 0,02 (mais 2%) e a $\bar{\omega}$ o valor 1 (êrro = - 2%) o êrro global sendo $g/\bar{\omega} + 0,02 \cdot g/\bar{\omega}$ ou 0,02 (a menos de 2%, portanto).

(Continuará na parte V)