

A Deformação de Escalas em modelos de Condutos Forçados

Coronel Engenheiro **Leonino Junior** —
Professor e Chefe do Laboratório de
Hidráulica e de Mecânica dos Fluidos
do Instituto Militar de Engenharia.

I — Introdução

Assunto geralmente omitido pelos livros e demais publicações que tratam da técnica do modelo reduzido em hidráulica diz respeito à deformação de escalas em modelos de condutos forçados, quando, como sabem os especialistas no assunto, passa a semelhança dinâmica a ser comandada pelo Número de Reynolds e não pelo Número de Froude, como é o caso geral da prática, em virtude de, no primeiro caso, haver predominância das forças viscosas sobre as forças gravitacionais.

Como frequentemente, devido aos fatores já conhecidos, a deformação se torna necessária quando se lida com escoamentos em condutos livres e como, por outro lado, os estudos em que a semelhança dinâmica é fixada pelo Número de Reynolds são de ocorrência pouco comum na prática, pelo menos quando comparados com os que têm as suas condições ditadas pelo Número de Froude, nota-se, de um modo geral, uma lamentável emissão na literatura especializada, no que diz respeito às possibilidades que pode ter o experimentador de, pelo emprêgo de determinados artificios, poder lidar, também em condutos forçados, com a faculdade de emprêgo de escalas vertical e horizontal com denominadores diferentes.

A omissão a que nos referimos, todavia, não é total, e algumas referências são feitas quando se trata de estudo de chaminés de equilíbrio, como é o caso do emprêgo de método preconizado por Gibson (*) em seu clássico trabalho que abaixo citamos. No entanto, além disso, em outros casos até, de ocorrência comum na prática, poucas indicações temos encontrado, mesmo nos livros que abordam em destaque a técnica de modelo reduzido em hidráulica.

Por isso, quando fomos forçados a encarar certos casos reais, para cuja solução tivemos que apelar para a técnica experimental, encontramos em sérias dificuldades e fomos então levados a adoção de um artifício muito simples, objetivo e prático, que nos conduziu a resultados plenamente satisfatórios e que resolvemos então divulgar através destas notas para conhecimento e orientação daqueles que se virem a braços com problemas da mesma natureza.

II — Algumas considerações sobre a semelhança de Reynolds

Sabem, os que lidam na técnica experimental, as dificuldades que surgem no laboratório quando, no estudo de um problema de escoamento em que predominam as forças viscosas, se deseja obedecer as escalas ditadas pela igualdade do clássico número, no modelo e no protótipo, principalmente quando se tenta empregar o mesmo fluido no laboratório, e notadamente, quando o denominador da escala geométrica que se pretende ou necessita adotar tem valor numérico amplo, quando referido às dimensões do protótipo.

(*) "The Investigation of the Surge-Tank Problem by Model Experiments" por A. H. Gibson — "Proceedings Institution of Civil Engineering" — Vol. 219 — Part I, 1924-25, Pág. 161 — Londres — Inglaterra.

Como principal e sério obstáculo, surge, de início, a obtenção das velocidades necessárias pois, como se sabe, com a adoção do mesmo fluido, passa a escala dessa grandeza a ter o mesmo denominador da escala geométrica. Melhor explicando, quando se trata de obedecer à semelhança em aprêço, a seguinte igualdade deve ser satisfeita:

$$(NR)_m = (NR)_p$$

onde os índices **m** e **p** se referem, respectivamente, a modelo e protótipo. Empregando-se o mesmo fluido, pode-se escrever:

$$(V \times D)_m = (V \times D)_p$$

o que conduz a:

$$\frac{V_m}{V_p} = n$$

sendo **n** o denominador da escala geométrica. Implica portanto, esta expressão, na obtenção, no laboratório, de valores de velocidade para o escoamento em estudo **n** vezes maiores do que no protótipo.

Aqueles que lidam na prática diária do laboratório, sabem as dificuldades que tal condição acarreta, quando se pensa em realmente obedecer a relação fixada. Surgem então os conhecidos artifícios, dentre os quais citamos o emprêgo de fluido diferente, dotado de menor viscosidade cinemática, como é o caso do ar atmosférico.

Outro artifício muito conhecido consiste em empregar o mesmo fluido, trabalhando-se em faixas diferentes do Número de Reynolds e depois, agindo com muito critério, com muito discernimento e com muita cautela, fazer a transposição dos resultados, dentro da compatibilidade das ocorrências. Ainda quando o escoamento no protótipo é caracterizado por altos valores do número de Reynolds, existe a possibilidade de obter-se no modelo escoamento semelhante, para o qual o coeficiente de perda de carga está situado na zona em que, no clássico diagrama de Moody, evidencia-se o paralelismo entre a curva de valores de **f** e o eixo das abscissas, ou seja, dos NR. Tal facto, como se sabe, permite a transposição de valores experimentais mediante a introdução de hipóteses simplificadoras, baseadas na invariabilidade do coeficiente de perda de carga, em relação ao Número de Reynolds.

De qualquer modo, como sabem os experimentadores, contrariamente ao que acontece com relação a semelhança de Froude, a obtenção de valores compatíveis no laboratório, quando a semelhança é regida pelo Número de Reynolds, geralmente acarreta dificuldades, obrigando à adoção de hipóteses simplificadoras e o emprêgo de artifícios que, se não forem analisados e usados com muita cautela e discernimento, poderão conduzir a resultados enganosos.

O caso ainda mais se complica quando surgem impossibilidades materiais para emprêgo da semelhança, e se cogita de tentar uma solução com a deformação de escalas, isto é, com a adoção de escala vertical diferente da horizontal.

Note-se finalmente, em acréscimo a tudo o que foi dito, que a literatura técnica a respeito de tais situações é escassa, devido principalmente à pouca frequência de emprêgo da semelhança de Reynolds para a solução de casos reais.

Foi encarando tais dificuldades, na prática diária da experimentação, que fomos conduzidos à adoção de um original e útil artifício que, face a excelência dos resultados obtidos resolvemos divulgar, para conhecimento e orientação daqueles que se virem embaraçados em casos análogos.

III — A solução adotada

Consiste, o nosso artifício, no seguinte processo que adotamos todas as vezes que, no emprêgo da semelhança de Reynolds, encontramos dificuldades em reproduzir no laboratório, na escala indicada, uma certa extensão do conduto forçado, ditada pelo valor do

denominador da escala geométrica: — substituímos a perda de carga normal, por uma perda de carga acidental equivalente.

Indiscutivelmente, a primeira pergunta que seria feita a respeito seria naturalmente: — Como fazer e principalmente, como controlar, tal substituição?

É fácil responder e explicar, exemplificando, inclusive.

Analisemos a Fig. 1, onde representamos um trecho de conduto forçado, no qual consideramos uma parte onde se verifica apenas perda de carga normal e um pequeno trecho, onde existe uma perda de carga acidental, cujo valor pode ser controlado, tal como um registro de gaveta, por exemplo.

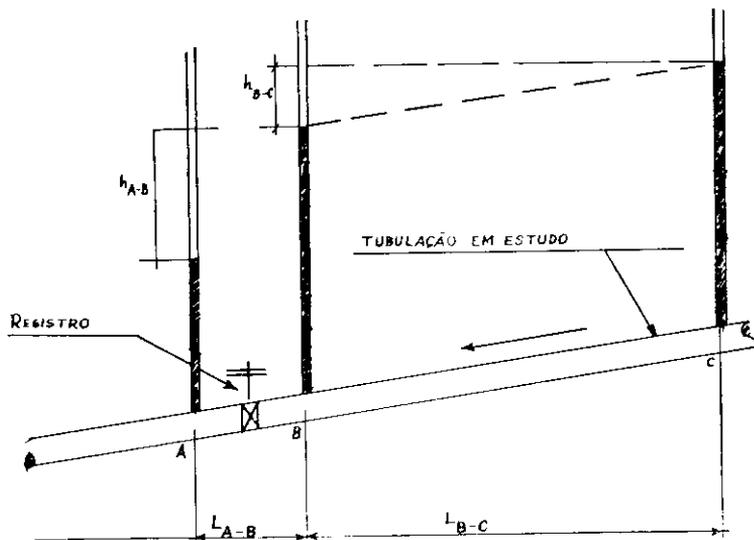


Fig. 1

Sabemos que, na situação esboçada, sendo o conduto da seção constante, a linha energética será paralela à linha piezométrica e portanto a diferença entre alturas piezométricas em um trecho B-C, onde não existem acidentes, corresponderá à perda de carga normal no trecho considerado, h_{B-C} . Pode-se daí obter o valor de perda de carga unitária, válido para toda a tubulação, desde que seja homogênea e portanto, no caso indicado:

$$J = \frac{h_{B-C}}{L_{B-C}}$$

Ora, sendo a perda de carga no trecho A — B regulável, facilmente medida na instalação por intermédio dos piezômetros situados em A e B, fácil será fazer com que ali se reproduza uma perda correspondente a um trecho de comprimento qualquer da mesma tubulação $L_M — N$.

Bastará regular progressivamente o registro, de modo a chegar a uma situação tal que se tenha:

$$h_{A-B} = h_{M-N} = J \times L_{M-N}$$

Note-se que a situação acima poderá ser obtida e ajustada, quaisquer que sejam as condições de escoamento que se estabeleçam na tubulação, em condições perfeitamente compatíveis com o que poderia ocorrer em um caso real, em um sistema semelhante em que efetivamente o trecho A — B fosse n vezes maior do que o trecho B — C. É claro que, no laboratório, a disposição das instalações deve ser tal que permita a obtenção da relação acima sem a ocorrência de causas perturbadoras, que possam concorrer para o falseamento de medida feita. Uma disposição prática, que muito facilitará a obtenção da proporcionalidade estabelecida, será a de colocar os piezômetros em situação tal, que os seus afastamentos estejam na mesma razão dos comprimentos a serem representados.

Assim, quando, como indica a fig. 2, as extremidades das colunas piezométricas estiverem em linha reta, automaticamente estará estabelecida a relação fixada.

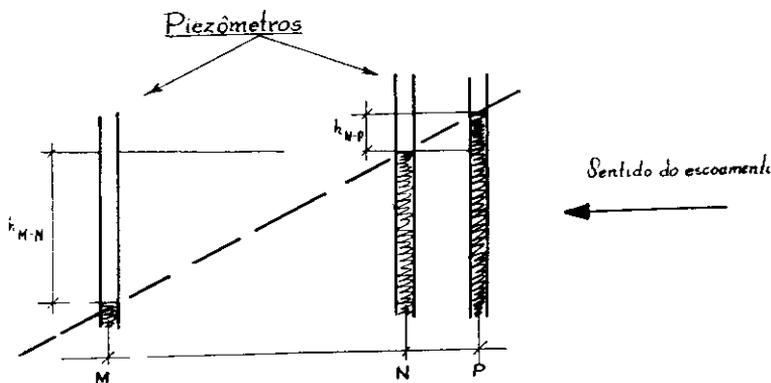


Fig. 2

Por construção, ter-se-á então:

$$\frac{A B}{M N} = \frac{B C}{N P}$$

e portanto, uma vez regulado o registro e obtida a correspondência das colunas:

$$\frac{h_{A-B}}{h_{M-N}} = \frac{h_{B-C}}{h_{N-P}}$$

É claro que o sistema deverá ser regulado para cada vazão, uma vez que, variando as perdas de carga com o quadrado da velocidade do escoamento, a situação acima não mais será obedecida, todas as vezes que a vazão for modificada.

A restauração da proporcionalidade será, no entanto rapidamente feita, agindo-se no registro.

IV — Um caso real

Ocorreu-nos, no laboratório, um caso real, que citaremos a título de exemplo, no qual tivemos que apelar para o artifício indicado, o que foi feito com pleno sucesso.

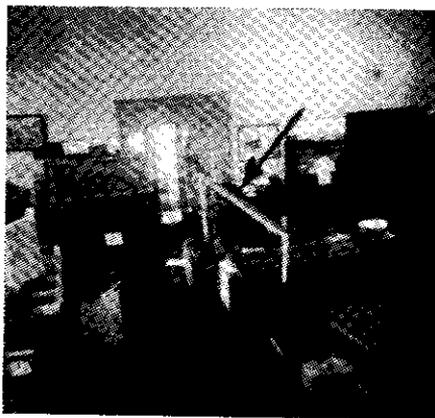


Foto 1 — A seta indica o sifão, visto de cima. Notam-se os reservatórios, que simularam as condições de montante e de jusante.

Tínhamos que estudar as condições de funcionamento de um sifão, a ser construído com tubo plástico (polietileno), tendo cêrca de 320 metros de comprimento e 25 cm de diâmetro. O estudo de semelhança dinâmica, na qual evidentemente teríamos que levar em conta a ação das forças viscosas, indicou-nos uma escala geométrica de 1/10. Ora, se fôssemos reproduzir o sifão nesta escala teríamos que dispor, no laboratório, de um comprimento de 32 metros, o que, evidentemente, além de ser anti-econômico, seria pouco prático. Resolvemos portanto representar o sifão m escala vertical de 1/10 e horizontal de 1/100, substituindo nesta última escala, as perdas de carga normais por uma perda accidental equivalente, que no caso foi um registro tipo gaveta. As fotografias 1 e 2, que estamos apresentando, indicam a instalação realizada no laboratório, onde o artifício foi empregado com pleno sucesso.

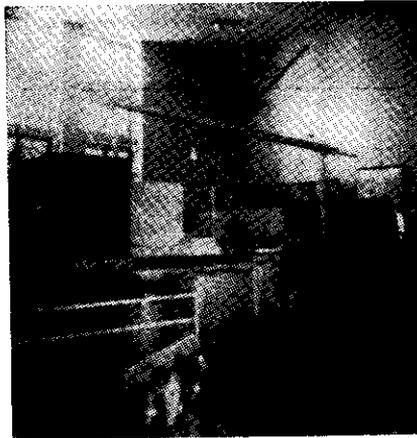


Foto 2 — O sifão, indicado pela seta, visto de baixo. Notar os tubos, ligados às tomadas piezométricas.

Cumpre-nos esclarecer que não foi esta a única vez que lançamos mão da simplificação indicada e que, em todas as outras em que a empregamos, chegamos a resultados inteiramente satisfatórios.

V — Considerações finais

Mais uma vez queremos salientar que a adoção do artifício não exclui a consideração de outros fatores, ditados pela técnica experimental, na obtenção das condições de semelhança. Citá-los e analisá-los aqui, seria fugir as finalidades dêste trabalho, enveredando pelos amplos domínios da semelhança, no campo da experimentação em hidráulica. Como exemplo, no caso, mencionamos as considerações que dizem respeito à rugosidade relativa, que forçosamente teria que ser considerada na interpretação dos resultados.

O que desejamos destacar, e quanto a isso não temos a menor dúvida, é que, existindo a possibilidade de que os modelos que obedecem a semelhança de Reynolds sejam construídos e explorados em escalas horizontal e vertical diferentes, o emprêgo do artifício indicado, se feito judiciosamente, muito concorrerá para a simplificação e para a economia do trabalho, estando baseado, o seu emprêgo, **na substituição de perdas de carga normais por perdas accidentais equivalentes, devidamente controladas.**

Terminando, desejamos salientar que o nosso trabalho foi redigido com vistas àqueles que se dedicam à técnica experimental, para os quais, certamente, julgamos serem as nossas explicações por demais simples e acessíveis.

Que nos perdoem os que labutam em outros domínios da hidráulica se, não desejando tomar muito extensa esta publicação, deixamos de fazer maiores considerações ou dar explicações mais detalhadas sôbre a semelhança dos sistemas hidráulicos nos quais as forças viscosas exercem ação predominante: o assunto está amplamente explicado nas publicações especializadas que tratam do problema.

Estaremos, no entanto, à disposição daqueles que desejarem maiores esclarecimentos ou quiserem trocar idéias a respeito do que escrevemos.