

6 - Beranek, L. L. — "Acoustic Measurements" — J. Wiley — U.S.A.

7 - Kurtze, G. — "Física y Técnica de la Lucha contra el ruido" — Ediciones Urno.

Devem-se somar esses textos, as normas brasileiras: TB 37/59, NB 616/79, NB 95/66, NBR 7731/83, NB 101/71.

Dos livros apresentados, o primeiro é exclusivo dos cursos de Engenharia Civil; o segundo e o sétimo, exclusivos da Engenharia Industrial. Os demais são gerais, sendo úteis a ambos os casos.

5 CONCLUSÕES

Os altos níveis de ruído se transformaram nos últimos anos, como uma das formas de poluição que atingem maior número de pessoas. A poluição sonora não se restringe apenas à regiões de grande concentração industrial, como a poluição atmosférica: nem a estritas regiões, como a poluição radioativa; nem a regiões produtoras de álcool, como a poluição dos rios. O barulho está presente em qualquer comunidade, em qualquer tipo de trânsito de veículos, em qualquer processo fabril, em qualquer obra civil. Atualmente, tanto nas grandes capitais, como nas cidades médias do interior, o nível sonoro está acima dos valores recomendados.

O problema se agrava quando se sabe que a perda auditiva é imperceptível, pois, atinge primeiro as altas frequências, não interferindo na comunicação oral; conseqüentemente se constitui num processo progressivo à medida que a pessoa se submete a elevados níveis sonoros.

A repressão, através de leis que rejam todas a geração de ruídos, é um objetivo remoto em nosso país. Mas esse processo deve começar pela educação e conscientização do profissional que mais tem condições de alterar o meio ambiente: o Engenheiro.

Nos Estados Unidos e na Europa, leis severas atuam sobre equipamentos produtores de ruídos: todos os veículos têm seus escapamentos rigorosamente dimensionados; vários modelos de aviões foram obrigados a modificar suas turbinas (é de fácil lembrança a proibição do pouso de aviões Concorde em solo americano por excesso de ruído); as casas comerciais noturnas têm seus limites sonoros inspecionados regularmente. Desde 1980, por força de lei, os Estados Unidos obrigam que todo equipamento que gere barulho no seu funcionamento deve apresentar, em seu rótulo, o nível de ruído. Isso quer dizer que, ao se comprar um eletrodoméstico, como aspirador de pó, liquidificador, condicionador de ar,

máquina de lavar roupa, as pessoas conhecem não só os dados elétricos, como potência, corrente de tensão de funcionamento, mas também o nível de ruído produzido.

A educação do Engenheiro Civil e do Engenheiro Industrial deve criar, a médio prazo, um clima de hostilidade aos altos níveis de ruído: o primeiro, atuando no problema urbano, reprimindo as fontes e protegendo as pessoas da poluição sonora; o segundo preocupando-se com a surdez profissional dos operários e, ao mesmo tempo, projetando máquinas com níveis de ruído que não afetem a saúde pública.

Quando essa conscientização se transformar em leis, teremos um povo mais sadio e com melhor qualidade de vida.

Acústica e ruídos é um tema polêmico e, por isso mesmo deve ser discutido por todos os segmentos da sociedade. O autor se coloca à disposição de quem quiser discutir o problema, aceitando novas colocações e pontos de vista sobre este trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CASTRO, T. — "Estamos ficando surdos e ninguém nos ouve" — Jornal "O Globo" de 8/5/77.
- [2] DE MARCO, C. S. — "Elementos de Acústica Arquitetônica" — Livaria Nobel S. A. — São Paulo.
- [3] LINS, A. — "O Barulho e o Homem" — Revista "Acústica" — n.º 8 — 1977
- [4] PALHANO PEDROSO, L. A. — "O Silêncio — sua promoção é a afirmação de educação e respeito" — Revista "Acústica" — n.º 6 — 1977.
- [5] BOLETIM DO INSTITUTO BRASILEIRO DE ACÚSTICA — Vol. XXX — n.º 8 — fevereiro/1980.
- [6] BOLETIM DO INSTITUTO BRASILEIRO DE ACÚSTICA — Vol. XIX — n.º 12 — junho/1979 e Vol. XVIII — n.º 11 — maio/1978.
- [7] Curso de Engenharia — Autorização, reconhecimento e funcionamento. — DAU/MEC — 1979.
- [8] Curso de Engenharia — Bibliografia — DAU/MEC — 1979.
- [9] SALLES, J. L. — "O ensino de Ciências do Ambiente como disciplina de Departamento de Química da Universidade Gama Filho". — Anais do Seminário sobre ensino das matérias de formação básica nos cursos de Engenharia — Rio de Janeiro — outubro de 1983.
- [10] CECCHINI, M. A. G. — "A análise crítica do ensino da matéria Ciências do Ambiente" — Revista de Ensino de Engenharia — Vol. 3 — n.º 2 — 2.º semestre/84.
- [11] LIMA, O. S. — "Ciências do Ambiente: Uma experiência de ensino na Escola de Engenharia de São Carlos". — Revista de Ensino de Engenharia — Vol. 3 — n.º 2 — 2.º semestre/84.

CURSO DE SIMILITUDE EM ENGENHARIA

H. A. Gomide*
E. F. y Fernández**

GOMIDE, H. A. e FERNÁNDEZ, y F. E. Curso de Similitude em Engenharia. *Rev. Ensino Eng.*, São Paulo, 4(2): 125-132, 2.º sem. 1985.

O presente trabalho tem como meta divulgar a disciplina "Similitude em Engenharia" ministrada no curso de Engenharia Mecânica da UFU, a qual visa proporcionar aos alunos fundamentos básicos sobre a teoria de modelos. O ciclo de aulas práticas e teóricas tem como objetivos distinguir as quantidades envolvidas em um experimento, manipular dados experimentais, aplicar a análise dimensional para classificar e desenvolver equações, sistematizar coletas de dados e analisar protótipos através de modelos. Oito trabalhos de laboratório foram cuidadosamente selecionados, envolvendo as áreas de mecânica dos fluidos e dos materiais, em ordem crescente de complexidade e procurando utilizar acumulativamente os conhecimentos adquiridos.

Similitude. Modelo. Escala. Distorção.

GOMIDE, H. A. e FERNÁNDEZ, y F. E. A Course of Similitude in Engineering. *Rev. Ensino Eng.*, São Paulo, 4(2) 125-132, 2nd. sem. 1985.

The objective of this paper is to divulge the course "Similitude in Engineering", taught at the Mechanical Engineering Department of UFU with the objective of presenting students basic fundamentals on the theory of modeling. Theoretical and practical activities were planned to allow students to select quantities involved in experiments, to apply dimensional analysis, to classify and develop predictive equations, to systematize data acquisition, and to predict prototype performance from model analysis. Eight different experiments including knowledge of mechanics of materials and fluid mechanics were selected and ordered with increasing levels of difficulties.

Similitude. Model Design. Scale Model. Distortion.

1 INTRODUÇÃO

Muitos problemas práticos em engenharia não podem ser resolvidos analiticamente e por isto, informações experimentais sobre o fenômeno devem ser obtidos. Nos problemas mais simples o que se pretende é conhecer como uma característica particular de um sistema é influenciada por outra. Para determinar a relação entre um parâmetro e outro, testes experimentais devem ser feitos onde as variações de um deles permite a determinação do outro, enquanto todas as outras características ou variáveis do sistema permanecem constantes. Este processo pode ser repetido para cada uma das variáveis envolvidas. Apesar deste princípio parecer simples, ele é difícil e consome tempo considerável na prática. A seleção de grupos de variáveis adimensionais reduz consideravelmente o tempo, não sendo necessário trabalhar individualmente com cada parâmetro [1]. A análise de um determinado problema,

dentro deste ângulo, é chamado de análise dimensional.

Entre a idealização e a construção de um projeto em engenharia, prespõem-se a realização de um vasto conjunto de experiências que simulam, consistentemente, os fenômenos físicos envolvidos. A teoria das dimensões e da similitude estabelece critérios que devem ser impostos sobre os modelos e permite estabelecer os parâmetros característicos do fenômeno em estudo, para que os resultados possam ser obtidos seguramente e sistematicamente [1, 2].

Apesar da simplicidade e das características elementares que regem os princípios da teoria da similitude, eles, normalmente, não são aplicados de maneira consciente. A exposição de certas teorias em livros textos e na prática pedagógica das universidades geralmente são tratadas rápida e superficialmente. Noções fundamentais de grandezas dimensionais e adimensionais não são elucidadas de maneira satisfatória, provocando uma série de confusões e mal entendidos. A constatação dessas dificuldades incentivou a elaboração e implantação de uma disciplina e pós-graduação, no curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia.

* Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia/MG.

2 CONCEITUAÇÃO TEÓRICA.

Na engenharia moderna qualquer tipo de estrutura ou máquina, independente de ser uma ponte, uma turbina ou um aeroplano é construído um modelo que é testado, reprojeto e retestado várias vezes até o desenho final. Frequentemente, por razões econômicas, os modelos são construídos em escala menor que a estrutura final, denominada de protótipo. Os princípios que governam o projeto, construção, operação e interpretação dos resultados dos testes do modelo definem a Teoria da Similitude. Esta teoria inclui considerações sobre as condições nas quais o comportamento de dois sistemas separados serão iguais e as técnicas de como precisão obter resultados de um mediante observações do outro.

Três classes de modelos, para estudos do comportamento de protótipos podem ser destacadas:

- Geometricamente similares. O modelo é uma redução em escala do protótipo.
- Distorcido. O modelo é uma reprodução do protótipo mas, mais de uma escala é usada, ou seja, uma escala é usada para comprimento e outra escala para os outros parâmetros.
- Dissimilar. Estes modelos não tem nenhuma semelhança direta com o protótipo. Por exemplo, as características de vibração de um sistema mecânico podem ser previstas por um circuito elétrico.

O principal objetivo da Teoria da Similitude é estabelecer relações necessárias para permitir que as observações feitas no modelo sejam confiáveis. As observações obtidas tem duas características gerais, ou seja, podem ser qualitativas ou quantitativas. A característica qualitativa define a unidade da dimensão observada como força (F) e comprimento (L), enquanto que a característica quantitativa envolve ambas, a grandeza e a unidade (como 3m, 5g ou 10mi). Esta pode ser do primeiro grupo (quantidades primárias) como comprimento (L), massa (M) ou força (F) e tempo (T), e do segundo grupo (quantidade secundária) como aceleração (LT^{-2}) e viscosidade ($ML^{-1}T^{-1}$). As quantidades do segundo grupo podem sempre ser expressar em função das quantidades do primeiro grupo, ou seja, em função de L, M(F) e T. Outras quantidades do primeiro grupo, não mencionadas, são a temperatura (θ), carga elétrica (Q), indutância (D) e outras.

2.1 Interpretação dos resultados.

A interpretação de um conjunto de observações experimentais é mais difícil que o puro acúmulo de

dados. A escolha dos equipamentos, a simples construção de um gráfico, a análise de erro e incerteza envolvida no experimento até a interpretação dos resultados fazem parte do processo de redução dos dados experimentais. Algumas vezes, uma variação indica uma tendência ou uma lei do fenômeno físico observado, em outras, indica simplesmente erros no processo de medição.

Ao realizar um grande número de medidas de uma quantidade supostamente invariante, observa-se que as leituras individuais não são idênticas. Tais variações devem representar as influências de diferentes tipos de erros, tais como: a precisão do equipamento utilizado, sensibilidade do observador e a eliminação da contribuição de parcelas consideradas teoricamente desprezíveis. A análise estatística propõem-se a estabelecer o valor mais provável da grandeza medida e obter uma indicação de sua confiabilidade.

A formulação matemática para análise estatística de dados experimentais é objeto de diferentes publicações [1, 3]. A conceituação de média, valor mais provável, desvio padrão, erro sistemático, erro estatístico e rejeição também são analisados nessas referências.

Normalmente, na manipulação com dados experimentais exige-se a determinação de uma correlação que dá origem aos pontos observados com a maior probabilidade. Para montar expressões analíticas que correspondam a essa expectativa deve ser usado o método dos mínimos graduados [3].

2.2 Análise dimensional

A análise dimensional, no ponto de vista de uma ferramenta analítica, é desenvolvida a partir das considerações de dimensões em que cada uma das quantidades envolvidas são expressas. É baseado em dois axiomas:

AXIOMA 1 — Igualdades numéricas absolutas de quantidades existentes somente quando estas são qualitativamente similares.

AXIOMA 2 — A razão das grandezas de duas quantidades é independente das unidades usadas, desde que se tenha unidades compatíveis.

A análise dimensional desenvolvida desses dois axiomas, é baseada na relação que deve existir entre variáveis envolvidas devido às suas dimensões, e difere de outros tipos de análises, baseadas nas leis de Newton ou outras leis naturais. A análise dimensional, por si só, fornece informações qualitativas de um fenômeno, mas quando combinada com procedimentos experimentais, resultados quantitativos podem ser obtidos.

As aplicações da análise dimensional em engenharia são:

- Classificação de equações e indicação de suas generalidades.
- Conversão de equações e dados de um sistema para outro.
- Desenvolvimento de equações.
- Sistematização de coletas de dados em um experimento e redução do número de variáveis que devem ser investigadas.
- Estabelecimento dos princípios de modelagem, operação e interpretação.

Com relação a aplicabilidade e com base na análise dimensional, as equações podem ser classificadas em homogêneas e não homogêneas. As equações não homogêneas são aquelas cujas parcelas que compõe a mesma não são idênticas ou com a mesma característica dimensional, enquanto que nas homogêneas esta igualdade é encontrada. As equações homogêneas podem, por sua vez, ser restritas e gerais. As gerais são válidas em qualquer sistema de medida e as restritas apenas para um sistema particular. Outra grande utilização da análise dimensional é a conversão do número de unidade de um sistema para outro, muito utilizado na prática de engenharia. As demais aplicações da análise dimensional serão abordadas nos itens seguintes.

2.3 Determinação de equações dimensionais

Como foi mencionado no item anterior, qualquer quantidade pode ser expressa em termos das quantidades primárias. Desta forma, sendo A uma quantidade secundária, a mesma pode ser expressa em termos das quantidades primárias a_i . A relação entre A e as quantidades primárias estão relacionadas pela função, ou seja:

$$A = f(a_1, a_2, a_3 \dots a_n) \quad (1)$$

Pode ser mostrado analiticamente [1] que a quantidade A é dada por:

$$A = C_a a_1^{x_1} a_2^{x_2} a_3^{x_3} \dots a_n^{x_n} \quad (2)$$

onde

- A — grandeza da quantidade secundária
 - C_a — coeficiente adimensional
 - $a_1, a_2 \dots a_n$ — número que representa a grandeza das quantidades primárias
 - $x_1, x_2 \dots x_n$ — números a serem determinados
- A equação (2) indica que a quantidade secundária A é expressa em função de um coeficiente adimensional C_a multiplicado pelo produto das quantidades primárias pertinentes elevados a expoentes

apropriados. A validade da equação (2) não implica em a_1, a_2, a_n serem quantidades primárias. Na verdade, A pode ser expressa em função da combinação das quantidades primárias a_i , enquanto que o coeficiente C_a é função dos grupos de variáveis que influenciam o fenômeno.

2.4 Sistematização de coletas de dados.

A determinação das equações através da análise dimensional (eq. 2), permite, como já mencionado, uma análise qualitativa do fenômeno físico. Quase sempre, é necessário recorrer a testes experimentais para um completo entendimento do fenômeno em estudo, que constituem muitas vezes na determinação do coeficiente C_a ou mesmo alguns expoentes x_i . As técnicas utilizadas para minimizar ou mesmo sistematizar a coleta de dados experimentais estão baseados na determinação de grupos adimensionais, denominados Pi-termos e designados por π_i , de tal forma que a equação (1) pode ser escrita da seguinte forma:

$$\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3 \dots \pi_s) \quad (3)$$

onde

- π_i — grupos adimensionais compostos de quantidades envolvidas no fenômeno.
- s — número dos grupos adimensionais.

O número de grupos adimensionais, ou Pi-termos, requeridos para expressar um fenômeno, é determinado pelo Teorema de Buckingham. Este teorema diz que "se uma equação envolvendo k variáveis é uma equação completa, esta equação pode ser reduzida em k-p números independentes e adimensionais, onde p é o número das variáveis primárias". Logo, o número dos grupos adimensionais ou Pi-termos é dado por $s = k-p$.

O procedimento para encontrar os Pi-termos está fundamentado na determinação das equações dimensionais (eq. 2), onde as quantidades primárias a_i são substituídas pelas quantidades μ_i envolvidas no fenômeno, onde $\mu_i = L^{a_i} M^{b_i} T^{c_i}$. Desta forma e com base na equação (2), m equações lineares com k incógnitas podem ser obtidas [1]. Considerando que p das incógnitas podem ser expressas em função das outras k-p e desde que o determinante dos coeficientes das m incógnitas selecionadas sejam diferentes de zero e os k-p termos forem considerados constantes, as p equações devem ser independentes. Desta forma, s expoentes podem ser determinados através da solução destas equações acarretando a determinação dos s Pi-termos.

Considerando que todo fenômeno pode ser expresso na forma da equação (3), é sempre possível determinar a variação de um Pi-termo em função de um outro, mantendo os demais constantes. As equações finais obtidas, são chamadas equações componentes. Sob certas condições, as equações componentes podem ser combinadas para obter a equação final, sendo estas combinações por multiplicação ou adição. Estas condições são analisadas de forma clara e simples na referência [1].

2.5 Teoria de modelos

No estudo de um determinado problema, tudo que o engenheiro necessita são indicações das variáveis e o seu relacionamento. Nestas circunstâncias, um modelo pode fornecer informações de uma forma rápida e econômica. Por definição, "um modelo é um sistema que é tão relacionado com o sistema físico que observações feitas no modelo podem ser usadas por prever corretamente o desempenho do sistema físico em todos os seus aspectos". O sistema físico para o qual as observações são feitas é chamado de protótipo.

A teoria geral de modelos pode ser desenvolvida de uma forma simples pela extensão da equação (3), discutida no item anterior. Uma vez que esta é uma equação geral, ela se aplica a um sistema específico como um modelo geral, ela se aplica a um sistema específico como um modelo, ou seja:

$$\pi_{1m} = f(\pi_{2m}, \pi_{3m}, \dots, \pi_{sm}) \quad (4)$$

A equação para prever ou determinar π_1 através de π_{1m} é obtida diretamente considerando as condições de projeto ou condições de similaridades definidas pelas igualdades:

$$\begin{aligned} \pi_{2m} &= \pi_2 \\ \pi_{3m} &= \pi_3 \\ &\vdots \\ \pi_{sm} &= \pi_s \end{aligned} \quad (5)$$

o que acarreta a igualdade

$$F(\pi_2, \pi_3, \dots, \pi_s) = F(\pi_{2m}, \pi_{3m}, \dots, \pi_{sm}) \quad (6)$$

Tendo em vista as equações (6) e a equação obtida pela divisão das equações (3) e (4), tem-se que:

$$\pi_1 = \pi_{1m} \quad (7)$$

A equação (7) é a equação preditiva, que deve ser válida se as condições de projeto e operações definidas pelas equações (5) forem satisfeitas.

Freqüentemente não é possível satisfazer todas as condições de projeto e operação para o modelo real. Desta maneira, se uma das condições dadas pela equação (5) através da introdução do fator de distorção β e determinar o fator preditivo δ , de tal forma que a nova equação preditiva seja dada pela igualdade:

$$\pi_1 \neq \pi_{1m} \rightarrow \pi_1 = \delta \pi_{1m} \quad (8)$$

Com a aplicação deste desenvolvimento teórico diferentes tipos de modelos, distorcidos ou não, podem ser estudados. Destacam-se entre eles, os modelos estruturais, modelos de escoamento fluido, térmicos, elétricos ou magnéticos e acústicos [1]. Modelos dissimilares não foram abordados neste curso, mas podem ser encontrados nas referências [1, 2].

3 ESTRUTURA DO CURSO

O curso foi estruturado de tal forma a fornecer ao aluno os conceitos teóricos básicos da Teoria da Similitude, listas de exercícios sobre os assuntos e oito laboratórios cuidadosamente escolhidos. Nos itens seguintes são abordados os laboratórios aplicados, onde em cada um deles é abordado o procedimento, forma de apresentação, equipamentos a serem usados e sobretudo os objetivos a serem alcançados.

3.1 Laboratório 1 — Densidade.

Neste laboratório deve ser obtido um número suficientemente grande de dados para ser traçada a curva da variação da massa com o volume de um líquido e observar o comportamento da função de distribuição. Para tal é necessário dispor de uma balança e um conjunto de beakers graduados. Como resultado é produzido um relatório contendo a tabela de leituras, a média e o desvio padrão relativos aos valores locais e global e a equação da massa em função do volume obtida pelo método dos mínimos quadrados.

Este primeiro laboratório tem como objetivo a uniformização dos conceitos básicos da análise estatística. O estudante deve familiarizar-se com os conceitos de erro, acuidade, média, valor mais provável e desvio padrão. A regressão linear através do método dos mínimos quadrados deve ser realizada manualmente. Deve ser incentivada a necessidade dos cálculos passo a passo considerando que, nos laboratórios seguintes, a análise estatística é consi-

derada como ferramenta de cálculo sendo estimulado o uso de micros computadores na manipulação dos dados experimentais.

3.2 Laboratório 2 — Pêndulo Simples.

No presente laboratório deve ser obtido um número suficiente de dados para determinar o efeito do peso e do comprimento do pêndulo em função do período. Para executar a experiência deve ser fornecida uma série de pêndulos (esferas de diferentes diâmetros), cronômetro, escala, paquímetro e balança. Os resultados obtidos devem ser comparados com a equação teórica desenvolvida para pequenas oscilações. Para isso, devem ser plotados os valores do período em função do peso e do comprimento em escalas lineares e logarítmicas. As equações (9) e (10) mostram essas relações e o esquema da Figura 1 define as variáveis. A equação do pêndulo deve ser obtida graficamente a partir das curvas traçadas pelo melhor ajuste dos pontos experimentais.

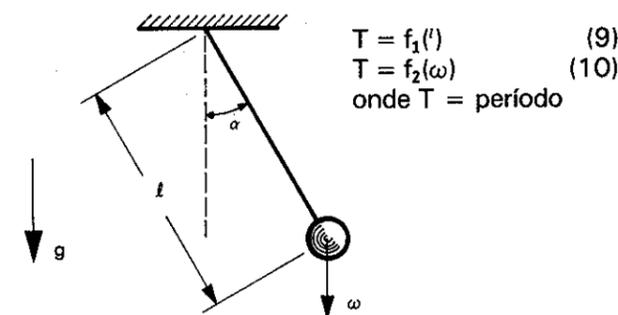


Figura 1 - Esquema do pêndulo

Este laboratório tem como objetivo a determinação experimental da expressão para o período do pêndulo. O procedimento é feito sem a utilização da análise dimensional, exigindo-se, assim, que seja analisado o comportamento de uma variável em função de duas outras, isto é:

$$T = f(\omega, l) \quad (11)$$

3.3 Laboratório 3 — Viscosidade

Analicamente podem ser obtidas equações para determinar a viscosidade de líquidos nos viscosímetros denominados de Hoppler e Saybolt. Naturalmente essas equações possuem uma série de restrições teóricas, induzindo a presença de um erro sistemático nos resultados obtidos, sendo necessário executar um processo de calibração da instrumentação para corrigir estas distorções.

O procedimento da experiência necessita de um viscosímetro Hoppler (Fig. 2a), um viscosímetro Saybolt (Fig. 2b) e um banho de controle térmico conforme é mostrado na Figura 2c. São necessários, ainda, becker graduado e cronômetro, além dos líquidos de teste e calibração.

Devem ser realizadas medidas nos dois viscosímetros, com o objetivo de calibrar os instrumentos através de um fluido padrão, de viscosidade conhecida. Como a viscosidade é uma propriedade sensível à temperatura, deve ser observado o seu comportamento com esta variável. O relatório final deve conter a tabela das leituras feitas no laboratório, o processo de calibração com as correlações corrigidas e a variação da viscosidade com a temperatura.

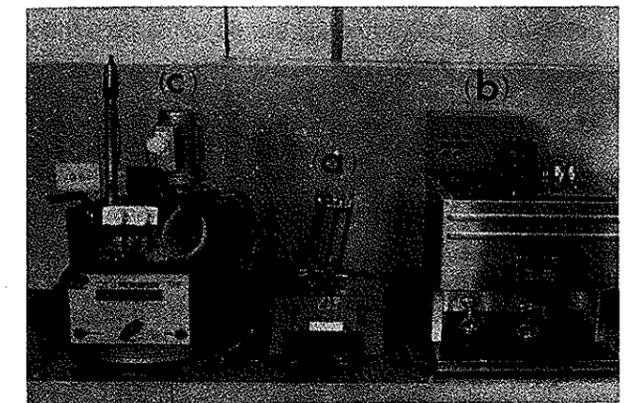


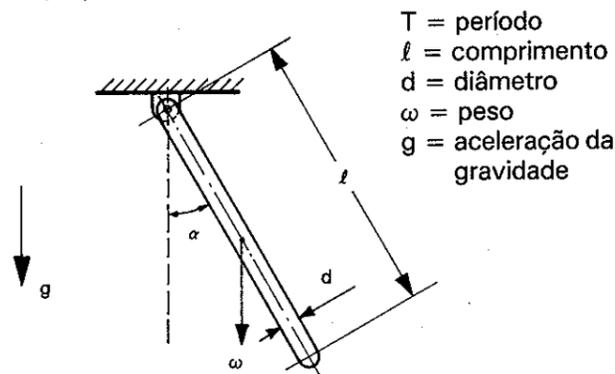
Figura 2 - Viscosímetros Hoppler (a) e Saybolt (b) e banho de controle térmico (c).

O objetivo do presente laboratório é de realizar uma correção empírica sobre uma equação obtida analiticamente onde as principais variáveis envolvidas no fenômeno físico estão presentes na equação. Entretanto, a determinação de uma relação simples e fechada para o cálculo da viscosidade conduz a um erro, por motivos de simplificação, que podem ser corrigidos experimentalmente através da determinação de um coeficiente empírico. Paralelamente poderia ser realizada uma análise dimensional, determinada uma equação de predição e calculado o coeficiente C_v .

3.4 Laboratório 4 — Pêndulo Composto

Neste laboratório deve ser determinado o comportamento do período em um pêndulo composto, em função de suas dimensões. Denomina-se de pêndulo composto a uma barra maciça de seção reta circular, articulada em uma das extremidades, conforme é mostrado na Figura 3.

Para o desenvolvimento da experiência é necessário uma série de barras sólidas, cronômetros, escala e paquímetro. A partir do conhecimento das variáveis envolvidas, deve ser feita uma análise dimensional e obter uma relação funcional para o período, identificando os grupos adimensionais apropriados. Devem ser adquiridos dados suficientes para obter a equação do período pelo método gráfico e por regressão linear, que podem ser comparadas com a equação teórica.



T = período
l = comprimento
d = diâmetro
 ω = peso
g = aceleração da gravidade

Figura 3 - Esquema do pêndulo composto.

O objetivo deste laboratório é obter a equação de predição do período de um pêndulo composto, utilizando a análise dimensional, baseado nas variáveis envolvidas, que são:

$$T = f(l, d, g) \quad (12)$$

Convém salientar que os grupos adimensionais podem ser constituídos por quaisquer das variáveis envolvidas. Entretanto, existem aqueles grupos que se mostram mais convenientes quando a redução dos dados é feita de forma sistemática e consciente. Observações como esta simplificam consideravelmente a equação final e melhoram a compreensão física do fenômeno, constituindo parte dos objetivos desse laboratório.

3.5 Laboratório 5 — Arraste em escoamento de fluidos.

Com o auxílio da análise dimensional é determinada a força de arraste sobre uma esfera sujeita a um escoamento externo. Para o desenvolvimento da experiência é necessário um conjunto de esferas, paquímetros e um túnel de vento instrumentado, como mostra a Figura 3a. Inicialmente devem ser identificadas as principais variáveis envolvidas. A Figura 3b mostra o esquema de uma esfera sujeita

ao escoamento de arraste com os principais parâmetros envolvidos.

$$\text{onde: } F_a = f(u_o, \rho, \mu, d, \epsilon) \quad (13)$$

F_a = força de arraste
 u_o = velocidade do fluido
 ρ = densidade do fluido
 μ = viscosidade do fluido
d = diâmetro da esfera
 ϵ = rugosidade da esfera

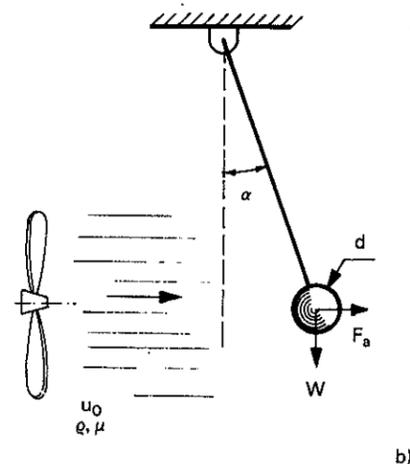
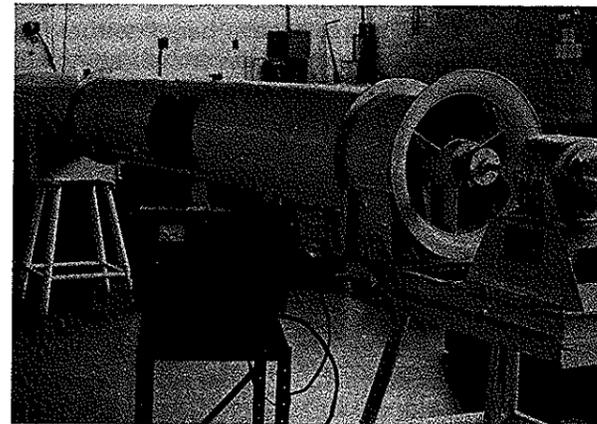


Figura 3 - a) Túnel de vento instrumentado. b) Esquema de uma esfera sujeita ao arraste.

Aplicada a análise dimensional à equação (13) pode ser reduzida na forma da equação (3), ou seja:

$$\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3) \quad (14)$$

onde π_i são os grupos adimensionais obtidos. Deve ser obtido um número suficiente de dados para correlacionar os grupos adimensionais encontrados, de tal forma a permitir a previsão de arraste de esferas em fluidos.

Este laboratório tem como objetivo a perfeita identificação das variáveis envolvidas e a obtenção dos grupos adimensionais adequados. É importante, também, identificar o comportamento da força de arraste com as principais variáveis envolvidas e a obtenção da equação de predição da força de arraste para uma rugosidade superficial fixa.

3.6 Laboratório 6 — Vibração de barra engastada.

Neste laboratório deve ser desenvolvida a equação geral para o período de vibração de uma barra engastada. O aparato experimental é constituído de uma série de barras de secção retangular uniforme, de um dispositivo de fixação, escala, paquímetro, cronômetro e estroboscópio. A Figura 4 mostra um esquema de montagem e as principais dimensões envolvidas.

τ = período
 γ = peso específico
l = comprimento
b = largura
d = altura
E = módulo de elasticidade
 $\tau = f(\gamma, l, b, d, E)$

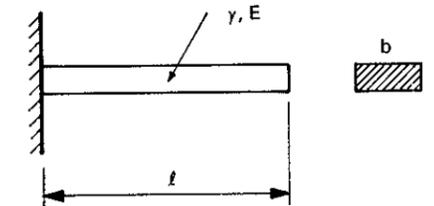


Figura 4 - Esquema do arranjo da barra engastada.

Neste laboratório uma relação funcional entre os Pi-termos é obtida da análise dimensional, representada por uma equação similar a equação (14), e determinada a equação geral do período envolvendo os três Pi-termos. Para isto, fazendo $\pi_2 = C^{10}$, os valores de π_1 podem ser obtidos em função de π_3 . Da mesma maneira, para $\pi_3 = C^{10}$, obtêm-se valores para π_1 em função de π_2 . Desta forma as funções $\pi_1 = f_1(\pi_3)$ e $\pi_1 = f_2(\pi_2)$ são lotadas e obtidas as equações componentes. Devem ser feitos os testes para verificar como as equações componentes podem ser combinadas e obter-se a equação geral, que deve ser comparada com a equação clássica teórica.

Este laboratório apresenta como objetivo a determinação da equação de predição quando se apresentam três Pi-termos e exige os testes para verificar como as equações devem ser combinadas.

3.7 Laboratório 7 — Descarga de tanques

Neste laboratório deve se analisar um modelo e determinar a equação geral para prever a descarga em reservatórios através de um tubo horizontal. A Figura 5 mostra o esquema do reservatório e os parâmetros principais envolvidos.

Este laboratório pode ser reduzido a três Pi-termos, depois de algumas simplificações, sendo o procedimento para determinar a equação geral de predição similar ao do laboratório anterior. Uma conveniente combinação das variáveis do tanque e um significativo número de dados experimentais permite a obtenção da equação geral para a descarga. Devem ser obtidos resultados para as condições de protótipo, cujos dados devem ser comparados com a equação de predição obtida dos testes realizados sobre o modelo.

h = altura da coluna de água
l = comprimento do tubo
d = diâmetro do tubo
a = posição do tubo
 ρ = densidade do fluido
 μ = viscosidade do fluido
v = velocidade da descarga

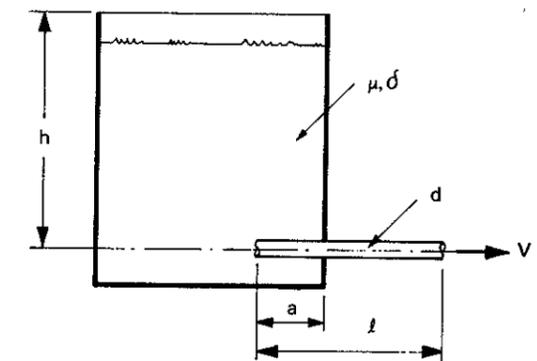


Figura 5 - Esquema do reservatório.

O objetivo deste laboratório é trabalhar a partir de um grande número de variáveis e obter uma equação de predição que deve ser testada com resultados experimentais obtidos para os protótipos.

3.8 Laboratório 8 — Deflexão de barras engastadas

Neste último laboratório é determinado o fator de predição para a deflexão do modelo distorcido de uma barra engastada. O aparato experimental é uma série de barras retangulares, um dispositivo de

fixação, escala, paquímetro, peso para aplicação da carga e um dispositivo para medir a deflexão máxima. A Figura 6 mostra esquematicamente a barra engastada e os parâmetros envolvidos.

A análise dimensional permite a determinação dos Pi-termos e a equação (3) pode ser escrita da seguinte forma:

$$\frac{Y}{l} = f\left(\frac{d}{l}, \frac{b}{l}, \frac{a}{l}, \frac{P}{E l^2}\right) \quad (15)$$

Uma distorção é então provocada no Pi-termo $\pi_2 = d/l$ e uma série de dados experimentais são obtidos, força versus deflexão, para três barras com variações apenas no parâmetro d. Este procedimento permite a variação do fator de predição em função do fator de distorção. Os resultados experimentais obtidos são comparados com os obtidos da equação teórica.

l = comprimento
a = posição da força
b = largura
d = altura
P = carga aplicada
E = módulo de elasticidade
Y = f(l, a, b, d, P, E)

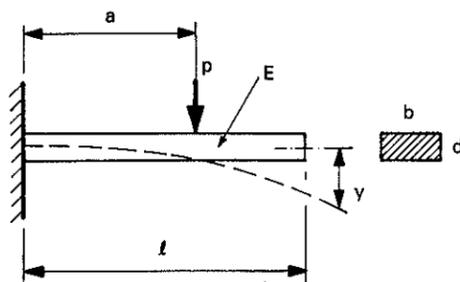


Figura 6 - Esquema da barra engastada.

O objetivo deste laboratório é determinar o fator de predição em função de uma distorção geométrica de um fenômeno físico, permitindo a análise de um protótipo através de observações feitas em um modelo distorcido.

4 CONCLUSÃO

Depois de ter sido ministrado o curso de similitude dentro da metodologia mostrada neste trabalho, as seguintes conclusões foram tiradas:

- Os alunos que tiveram a oportunidade de cursar foram unânimes em afirmar a potencialidade de uma técnica pouco explorada em cursos de engenharia.
- O curso permitiu sanar várias deficiências bem como revisar conceitos de outros cursos, alguns destes conceitos comprovados experimentalmente.
- A obtenção, manipulação, e análise dos dados experimentais de forma sistemática de um fenômeno, incentiva e fortalece o aluno à pesquisa.
- Finalmente, por ter uma carga horária de 4 horas semanais, sendo 2 teóricas e 2 de laboratório, o curso exige do aluno muito trabalho individual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MURPHY, G., *Similitude in Engineering*, The Ronald Press Com., 1950.
- [2] HOLMAN, J. P., *Experimental Methods for Engineers*, McGraw-Hill, 1971.
- [3] HELENE, O. A. M. e V. R. VANIN, *Tratamento Estatístico de Dados*, Edgar Blücher, 1981.

SISTEMA DE PROJEÇÃO ESTEREOSCÓPICA COM LUZ POLARIZADA

Nilo Clemente Eick*
Maria T. G. de Oliveira Schuck**
Nelson Amoretti Lisboa***

EICK, Nilo Clemente et alii. Sistema de projeção estereoscópica com luz polarizada. *Rev. Ensino Eng.*, São Paulo, 4(2): 133-134, 2.º sem. 1985.

Descreve-se um sistema de projeção tridimensional em tela metalizada, utilizando-se projetores e óculos, ambos dotados de filtro polarizadores.

Projeção estereoscópica. Foto-geologia.

EICK, Nilo Clemente et alii. Stereoscopic projection system with polarized light. *Rev. Ensino Eng.*, São Paulo, 4(2) 133-134, 2nd. sem. 1985.

A tridimensional projection system utilising a metalised screen, slide projectors and glasses — both provided with polarising filters — is here described.

Stereoscopic projection. Photo-geology.

INTRODUÇÃO

O Sistema de Projeção Estereoscópica com Luz Polarizada foi desenvolvido para aperfeiçoar o sistema tradicional de ensino de disciplinas de Fotointerpretação. O método tradicional de ensino destas disciplinas baseia-se no estudo estereoscópico individual de estereopares de aerofotos. Nestes estereopares os alunos fazem, individualmente, uma análise e identificação das feições relacionadas ao assunto desenvolvido. Esta análise e identificação das feições relacionadas ao assunto desenvolvido. Esta análise e identificação é realizada a partir de um modelo tridimensional. O método não permite a participação de todo o grupo nas observações de um mesmo modelo estereoscópico. Com o emprego do sistema de projeção estereoscópica com luz polarizada, é possível a visualização do mesmo estereomodelo por todos alunos, simultaneamente.

DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE PROJEÇÃO ESTEREOSCÓPICA COM LUZ POLARIZADA

Este sistema à semelhança de outros, deve

- * Geólogo, especializado em Fotogeologia — Standford e Pennsylvania University. Professor Titular de Geodésia/UFRGS.
- ** Geóloga, Mestre em Geociências/UFRGS. Professora Assistente do Departamento de Geodésia/UFRGS.
- *** Geólogo, Mestre em Geociências/UFRGS. Professor Assistente do Departamento de Geodésia/UFRG.

cumprir as duas condições necessárias à percepção visual tridimensional: 1) Imagens diferenciais de um mesmo objeto; 2) A recepção de cada uma destas imagens, separadamente, por cada um dos olhos.

A primeira condição é obtida por um par de aerofotos com recobrimento e a segunda é satisfeita pela aplicação do princípio físico da polarização da luz. Os componentes do sistema são: dois diapositivos com imagens diferenciais de um mesmo objeto, dois projetores dotados de filtros polarizadores e uma tela metalizada.

No caso da reprodução de fotografias aéreas, é suficiente fotografar apenas a área de recobrimento e para facilidade de orientação, os centros e centros conjugados devem estar assinalados nos originais. Os diapositivos são projetados segundo a mesma orientação observada na disposição original do estereopar.

Os dois projetores utilizados devem conter, cada um, um filtro polarizador da luz. Cada filtro deve polarizar a luz a 90° do sentido de polarização do outro. Deste modo as duas imagens projetadas guardarão, cada uma, a mesma direção de polarização determinada pelos projetores. Com a observação da projeção, utilizando-se óculos cujos filtros polarizadores direito e esquerdo coincidam, respectivamente com a direção da polarização dos filtros dos projetores, obtém-se o mesmo efeito tridimensional que o conseguido na observação de um estereopar ao estereoscópio (Figura 1).