

INTEGRAÇÃO DO CLP E SIMILITUDE EM UM SISTEMA HIDRÁULICO

Marco Vinícius Muniz Ferreira, MAPL, marcomuniz@outlook.com
Wesley Pereira Marcos, MAPL, wesleypmarcos@gmail.com
José Jean-Paul Zanlucchi de Souza Tavares, jean.tavares@mecanica.ufu.br

Resumo. Este trabalho apresenta a aplicabilidade da teoria de Similitude em um sistema industrial para prever o tempo de ciclo em uma bancada hidráulica. O teorema de Buckingham é uma ferramenta poderosa para reduzir o número de variáveis em um problema por meio de análise adimensional. Para isso é necessário a realização de alguns experimentos, que apesar de acumular um erro no sistema, levam a uma equação preditiva. Para determinar a equação preditiva neste trabalho foram realizados três experimentos.

Palavras chave: bancada hidráulica, Teorema de Buckingham, Integração do CLP, tempo de ciclo, equação preditiva.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Holman [1], não existe tal coisa como uma experiência fácil, nem há qualquer substituto para a experimentação cuidadosa em muitas áreas de pesquisa básica e desenvolvimento de produto aplicado. Uma vez que o engenheiro precisa experimentação em todas as fases de engenharia, os métodos de técnicas de medição e de análise deve ser familiar.

Análise dimensional é um método para reduzir problemas físicos complexos para suas formas mais simples (mais econômicas) antes da análise quantitativa ou investigação experimental [2]. O teorema fundamental para a análise dimensional é o teorema de Buckingham (teorema dos π -termos).

Este artigo apresenta uma equação preditiva para o tempo de ciclo em uma bancada hidráulica. A ideia é usar o teorema dos π -termos para encontrar essa equação. Para realizar o experimento e o controle da bancada um CLP (Controlador Lógico Programável) deve ser programado.

Há uma breve explicação sobre o teorema de Buckingham. Por fim, os procedimentos experimentais são apresentados. Existem os termos adimensionais, os dados a partir da bancada, a relação entre os termos, e a equação de predição. Uma análise analítica e experimental é mostrada com a fonte principal erro.

2. CONCEITO BÁSICO

O teorema de Buckingham [3] afirma que, se uma quantidade Q_0 (variável dependente) é completamente determinada pelos valores de um conjunto de “n” quantidades independentes, dos quais um número “k” formam completamente, um subconjunto dimensionalmente independente, então, Q_0 é determinada por “n – k” parâmetros adimensionais. Em outras palavras [4], o número de variáveis independentes (o problema são os graus de liberdade) pode ser deduzido o número “k”. O valor de “k” e as formas de os parâmetros de similaridade emergem da análise dimensional.

Uma maneira metódica para encontrar a equação preditiva usando o teorema de Buckingham é pelos seis passos seguintes:

Passo 1: estudo da natureza do problema e encontrar as variáveis envolvidas. Se uma variável parece ser importante, deve ser considerada. Quando uma variável é considerada e não é importante para o problema as seguintes etapas irão descartá-las.

Passo 2: Criar uma tabela onde as colunas são todas as variáveis em ordem, e as linhas são todas as dimensões. É comum usar a primeira coluna para a variável que quer encontrar. A Tab. (1) é um exemplo desta tabela. Neste caso, a variável “a” é a função das variáveis “b” até “g” e as dimensões utilizadas são dimensões primárias.

Tabela 1. Exemplo da tabela do passo 2.

	‘a’	‘b’	‘c’	‘d’	‘e’	‘f’	‘g’
<i>T (tempo)</i>							
<i>M (massa)</i>							
<i>L (comprimento)</i>							

Passo 3: Preencher a tabela no passo 2 com os números de cada dimensão para cada variável. Existem duas matrizes nesta tabela, A e B. A matriz A é uma matriz quadrada com a dimensão igual ao número de linhas da Tab. (1). Esta matriz está localizada na última coluna da tabela. A matriz B são as restantes colunas.

Passo 4: Calcular o determinante da matriz A. Se for zero, alterar as colunas da tabela no passo 2 modificando as matrizes A e B. Calcular o determinante novamente. Se não for zero, este método pode ser continuado.

Passo 5: Calcular a matriz C usando a Eq. (1). A matriz D é uma matriz de identidade com a mesma dimensão que a matriz B.

$$C = -[A^{-1}B]^t \quad (1)$$

Passo 6: Inserir o número de π -termos como novas linhas na Tab. (1). As linhas serão os π -termos em ordem. Preencha esta nova parte da tabela com a matriz D e C, nesta ordem.

O resultado destes passos é π - os termos que podem ser ligados pela função na Eq. (2).

$$\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3, \dots) \quad (2)$$

Todos os π -termos são adimensionais e uma conexão entre estes termos pode ser encontrada. Experimentos envolvendo π_1 , variando um termo e mantendo os demais constantes dá essa relação. Por exemplo, uma experiência envolvendo π_1 e π_2 é definida como $F(\pi_2, \overline{\pi_3}, \overline{\pi_4}, \dots)$, onde a barra de cima π_3 e π_4 indicam que estes termos são constantes no experimento. Este experimento apresenta uma curva de ajuste entre os dois termos.

Existem dois tipos de funções que podem validar a equação preditiva: funções do tipo produto e do tipo soma. Para três π -termos a Eq. (3) valida a função do produto.

$$\frac{F(\pi_2, \overline{\pi_3})}{F(\overline{\pi_2}, \overline{\pi_3})} = \frac{F(\pi_2, \overline{\pi_3})}{F(\overline{\pi_2}, \overline{\pi_3})} \quad (3)$$

Se a validação é confirmada, então a Eq. (4) calcula a equação preditiva.

$$\pi_1 = \frac{F(\pi_2, \overline{\pi_3})F(\pi_3, \overline{\pi_2})}{F(\overline{\pi_2}, \overline{\pi_3})} \quad (4)$$

Uma vez que a função produto não pode validar a equação a validação pela função do tipo soma deve ser testada. A Eq. (5) apresenta esta validação.

$$F(\pi_2, \overline{\pi_3}) - F(\overline{\pi_2}, \overline{\pi_3}) = F(\pi_2, \overline{\pi_3}) - F(\overline{\pi_2}, \overline{\pi_3}) \quad (5)$$

Equação (6) calcula a equação preditiva caso a validação pela função soma seja aceita.

$$\pi_1 = F(\pi_2, \overline{\pi_3}) + F(\pi_3, \overline{\pi_2}) - F(\overline{\pi_2}, \overline{\pi_3}) \quad (6)$$

Para ambos os tipos de validação, não há apenas uma equação preditiva. Uma equação pode ser escolhida ou média aritmética das equações pode ser usada como a equação de previsão, dependendo da escolha dos autores.

Por fim, os π -termos são substituídos pelas variáveis na equação preditiva e a variável “a” é isolada.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Um exemplo comum na indústria usando pistões hidráulicos é nos processos para conformar chapa de metal, em que um pistão agarra a chapa e outro pistão a conforma. Este trabalho tenta representar esse cenário. Inicialmente, o cilindro B move agarrando a folha de metal, depois o cilindro A se move com baixa velocidade. O cilindro A retorna permitindo o retorno do cilindro B. A sequência B + A + A - B - é considerada como um ciclo. A Fig. 1 é uma fotografia da bancada utilizada no laboratório de ensino e mostra os cilindros B (abaixo) e A (no meio) e as válvulas correspondentes Na parte superior da foto há um painel de relé e na esquerda - para baixo lado há o CLP EZAP900. A bomba hidráulica está abaixo da bancada.

As variáveis escolhidas para este problema são: **tempo de ciclo**: tempo para realizar um ciclo na bancada hidráulica **curso A**: medida do cilindro A; **curso B**: medida do cilindro B; **velocidade de A**: a velocidade que o cilindro A se move; **pressão de carga**: pressão da bomba quando um cilindro está em movimento e **pressão de descarga**: pressão da bomba sobre os cilindros parados.

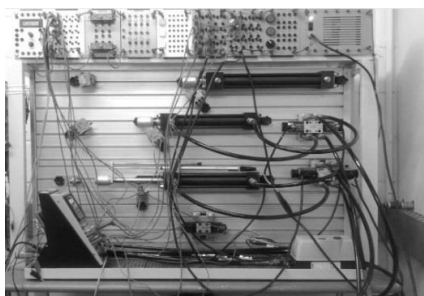


Figura 1. Bancada hidráulica.

O problema dimensional tem seis variáveis e três grandezas: tempo, força e comprimento. Pelo teorema de Buckingham sabe-se que há três π -termos. Ao executar as etapas apresentadas na seção 2 encontra-se a Tab. (2) que apresenta o passo 6.

Observando para a tabela pode observar todos os π -termos. A Eq. (7), Eq. (8) e Eq. (9) representam esses termos em ordem.

Tabela 2. Matriz completa representando o passo 6.

	t	C_b	P_c	C_a	V_a	P_v
T	1	0	0	0	-1	0
F	0	0	1	0	0	1
L	0	1	-2	1	1	-2
π_1	1	0	0	-1	1	0
π_2	0	1	0	-1	0	0
π_3	0	0	1	0	0	1

$$\pi_1 = \frac{tV_a}{C_a} \quad (7)$$

$$\pi_2 = \frac{P_c}{P_v} \quad (8)$$

$$\pi_3 = \frac{C_b}{C_a} \quad (9)$$

Foram realizados três experimentos. No primeiro o P_v variou , mantendo todas as outras variáveis constantes. Assim temos π_1 em função de π_2 . No segundo experimento C_a variou , com outras variáveis constantes. Então temos π_1 em função de π_3 . No terceiro e último experimento P_v variou , mantendo um novo valor para V_a e P_c . Neste caso temos π_1 em função de π_2 para outro π_3 constante.

Os resultados destes três ensaios estão apresentados na Tab. (3) para o primeiro experimento, Tab. (4) para o segundo experimento e Tab. (5) para o último.

Tabela 3. Dados para $C_a = C_b = 20$ cm , $V_a = 4.5662$ cm/s e $P_c = 10$ kgf/cm².

P_v [kgf/cm ²]	10	14	20	30	40	50
t [s]	34	19.35	15.33	13.83	13.02	12.9

Tabela 4. Dados para $C_b = 20$ cm , $V_a = 1.896$ cm/s, $P_c = 6$ kgf/cm² e $P_v = 10$ kgf/cm².

C_a [cm]	5.2	7.1	10.3	15.7	16.5	18.9
t [s]	20.045	20.47	22.835	30.2	30.46	32.93

Tabela 5. Dados para $C_a = 12.7$ cm e $C_b = 20$ cm , $V_a = 3.9937$ cm/s e $P_c = 8$ kgf/cm².

P_v [kgf/cm ²]	10	14	20	28	32	40
t [s]	22.71	14.55	11.28	10.4	9.75	8.78

Depois de calculada a relação entre os π – termos, os ajustes de curva para cada experimento foram realizados por uma função do tipo potência como apresenta a Fig. (2). Serão apresentados os resultados apenas do segundo experimento devido a limitação do tamanho do artigo.

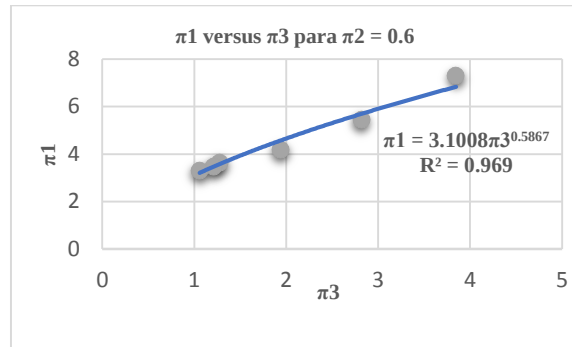


Figura 2. Ajuste de curva do segundo experimento.

A validação apresenta mais viável para a função do tipo produto, e Eq. (4) calcula a equação preditiva. Usando o primeiro e terceiro ensaios existe t_{13} apresentado na Eq. (10). Utilizando o segundo e terceiro experimento existe t_{23} apresentado na Eq. (11). Uma vez que a primeira experiência não teve uma boa confiabilidade o tempo é calculado como uma média aritmética entre as duas equações.

$$t_{13} = 6.1176 \cdot \left(\frac{P_c}{P_v}\right)^{0.5386} \left(\frac{C_b}{C_a}\right)^{0.5867} \frac{C_a}{V_a} \quad (10)$$

$$t_{23} = 4.2878 \cdot \left(\frac{P_c}{P_v}\right)^{0.6345} \left(\frac{C_b}{C_a}\right)^{0.5867} \frac{C_a}{V_a} \quad (11)$$

Para esta equação é calculado um tempo de ciclo teórico, que é comparado com o tempo experimental. A Tab. (3) apresenta o erro entre os tempos teórico e experimental para o segundo experimento.

Tabela 3. Tabela de erros para o segundo experimento.

$t_{\text{experimental}}(\text{s})$	22.71	14.545	11.28	10.4	9.75	8.78
$t_{\text{teórico}}(\text{s})$	18.983	15.632	12.727	10.485	9.7102	8.5413
Erro (%)	16.411	7.4737	12.826	0.8218	0.40779	2.7188

A principal fonte de erro para este experimento é a bomba. Por vezes a pressão na bomba, enquanto em operação, variava drasticamente modificando a velocidade dos cilindros alterando, conseqüentemente, o tempo de ciclo. Um outro ponto a salientar é que a pressão é medida manualmente e, se há uma interação humana, há um erro inserido nos dados.

Vê-se que, para valores baixos de P_c e P_v a bomba funciona com uma oscilação menor do que para valores elevados. Devido a isto é aconselhável utilizar a equação de previsão para esta faixa de operação.

5. CONCLUSÃO

As leituras manuais dos dados de pressão apresentaram variação e baixa precisão. Outras variáveis podem ser analisadas no presente sistema, tais como: a velocidade e a pressão de carga do cilindro B ou viscosidade do óleo. Com mais variáveis, O teorema de Buckingham torna-se difícil de realizar, devido a quantidade e a complexidade das experiências. Outra solução consiste em analisar o problema com a Teoria de Modelos. Para isso, uma simulação numérica deve ser implementada e esta parte será realizada em trabalhos futuros.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos à UFU, FEMEC, CAPES, FAPEMIG, CNPQ, PROF. Dr Ricardo Fortes de Miranda e aos colegas do MAPL.

7. REFERÊNCIAS

- [1] HOLMAN, J. P. Experimental Methods for Engineers. 7. ed. Boston: Mcgraw-hill, 2001. 698 p
- [2] BRIDGMAN, P. W. Dimensional Analysis. 2nd ed, Yale University Press, New Haven, 1931.
- [3] BUCKINGHAM, E. (1914) Phys. Rev. 4, 345–376.
- [4] SONIN, A. A. A generalization of the π -theorem and dimensional analysis, PNAS, vol. 101, no. 23, 8525-8526, 2004.