



# Verificação das relações de Rateaux pelo emprego de um inversor de frequência<sup>1</sup>



Aylton J. Alves<sup>2</sup>, Luiz F. C. de Oliveira<sup>3</sup> & Antônio M. de Oliveira<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Trabalho extraído da Dissertação de Mestrado do primeiro autor

<sup>2</sup> CEFET/GO. Rua 75, 46, Setor Central, Goiânia, GO. Fone: (62) 212-5050. E-mail: aja@cefetgo.br (Foto)

<sup>3</sup> Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da UFG. Goiânia, GO. E-mail: lfco@agro.ufg.br

<sup>4</sup> Escola de Engenharia Elétrica e de Computação da UFG. Goiânia, GO. E-mail: melo@eee.ufg.br

Protocolo 134 - 26/9/2001

**Resumo:** Este trabalho teve como objetivo verificar a veracidade das relações de Rateaux e a redução no consumo da potência consumida no bombeamento, quando se emprega o inversor de frequência, o qual permite a variação de rotação do conjunto motobomba. Empregando-se o inversor de frequência, a redução média da potência consumida foi de 40,7 e 75,0% com a adoção da redução da rotação de 1800 para 1500 rotações min<sup>-1</sup> e de 1800 para 1100 rotações min<sup>-1</sup>, respectivamente. Quando se avaliou a potência consumida usando-se essas mesmas relações, o erro médio na redução de potência foi de 1,33 e 2,00% para as rotações min<sup>-1</sup> de 1500 e 1100, respectivamente, o que permite o emprego das relações para se estimar as grandezas altura manométrica, vazão e potência, a partir da curva característica obtida experimentalmente.

**Palavras-chave:** instalação de bombeamento, potência, curva característica

## Verification of the relationships of Rateaux utilizing a frequency inverter

**Abstract:** This study had the objective to verify the relationships of Rateaux and the reduction of the power consumed during pumping when a frequency inverter is used it causes the variation of rotation of the motor-pump unit. Using a variable frequency drive, the observed average reduction in the power consumed was 40.7% with the reduction of the rotation from 1800 to 1500 rotations min<sup>-1</sup> and 75.0% for reduction from of 1800 to 1100 rotations min<sup>-1</sup>, respectively. When the power consumption was evaluated using the relationships of Rateaux, the mean error in the reduction of power was 1.33 and 2.00% for 1500 and 1100 rotations min<sup>-1</sup>, respectively, which shows that the Rateaux relationships may be used for the estimation of manometric height, discharge and the power consumed from the characteristic curve obtained experimentally.

**Key words:** frequency variable drive, hydraulic pump, relationships of Rateaux

## INTRODUÇÃO

Ao se projetar uma bomba hidráulica visa-se, especificamente, o recalque de determinada vazão em certa altura manométrica (H) de modo a se obter o máximo rendimento. Entretanto, esta bomba poderá ser posta a recalcar vazões (Q) maiores ou menores que aquela para a qual foi projetada mudando, com a variação de Q, a altura manométrica (H), a potência necessária ao acionamento (P) e o rendimento (R) (Carvalho, 1977). Desta forma, cada bomba tem seu campo de aplicação em termos de grandeza, que interferem em seu funcionamento. A representação gráfica deste campo é chamada curva característica da bomba.

As bombas centrífugas são as mais empregadas em irrigação, apresentando a característica de reduzir o H com o aumento da Q, o que requer maior P, a ponto de poder

sobrecarregar o motor. Variações na Q e H são muito comuns em sistemas de irrigação, principalmente em sistemas móveis, com movimentação manual ou mecânica.

Uma das formas de se ampliar o campo de aplicação de uma bomba para atender às variações na H, é alterar a rotação de acionamento. Variando a rotação de acionamento, muda a curva característica da bomba, ou seja, a cada ponto H, Q a uma rotação n, corresponde, em semelhança mecânica, a um outro ponto H', Q' sob rotação n' (Azevedo Netto & Alvarez 1982). As relações de Rateaux expressam as mudanças nas grandezas H, Q e P com a variação de n, ou seja:

$$\frac{Q'}{Q} = \frac{n'}{n}, \quad \frac{H'}{H} = \left(\frac{n'}{n}\right)^2 \quad \text{e} \quad \frac{P'}{P} = \left(\frac{n'}{n}\right)^3$$

Mello et al. (1999) e Carvalho et al. (2000) comentam que um equipamento capaz de promover variações na rotação de acionamento com rapidez e eficiência, seguindo as relações de Rateaux, é o inversor de frequência. Este equipamento trabalha alterando a frequência da tensão aplicada ao motor, possibilitando controlar sua rotação. Campana et al. (2000) demonstraram que variações de H em sistemas de irrigação do tipo pivô central fazem com que os motores elétricos utilizados nos sistemas de bombeamento estejam, em grande parte do círculo irrigado, com índices de carregamento, rendimentos e fatores de potência inferiores aos nominais e que o uso de inversores de frequência se apresenta como uma ferramenta útil para corrigir esses índices e aliviar o motor elétrico de cargas desnecessárias, resultando em uma redução no consumo de energia.

Em vista do exposto, este trabalho teve como objetivo verificar a veracidade das relações de Rateaux e a redução no consumo de energia, pelo emprego de inversor de frequência em um sistema de bombeamento.

## MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se, neste trabalho, uma bomba centrífuga de pequeno porte, montado na microusina da Escola de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Goiás (EEE-UFG) cuja potência do motor elétrico é de 3 HP, o qual, por sua vez foi interligado ao inversor de frequência, permitindo a variação da rotação da motobomba (Fig. 1).

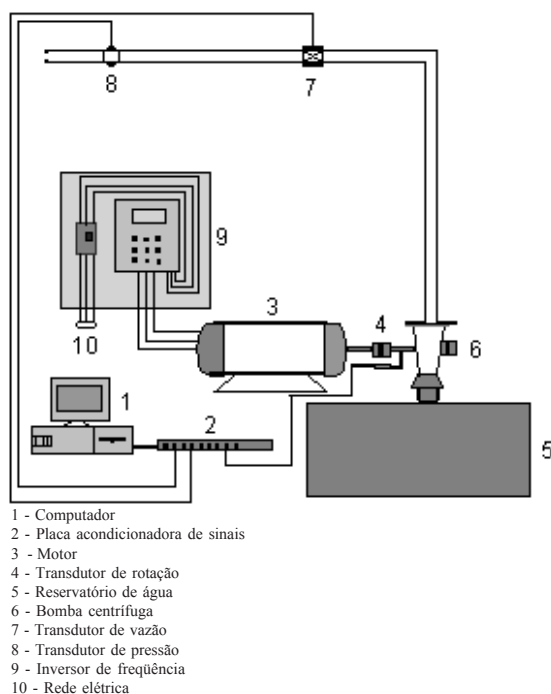


Figura 1. Desenho esquemático da bancada de ensaio

Na saída da tubulação de recalque foram instalados os transdutores de pressão e vazão e, no eixo do conjunto motobomba, um transdutor de rotação. Os transdutores foram interligados a uma placa condicionadora de sinais (PAS) e esta a um computador.

As rotações empregadas neste trabalho foram 1800, 1500 e 1100 rotações  $\text{min}^{-1}$ , sendo a de 1800 rotações  $\text{min}^{-1}$  a rotação tomada como nominal. Para cada rotação, variou a vazão recalçada pela abertura de uma válvula de gaveta. Os valores de Q e H, para cada rotação e posição da válvula de gaveta, foram armazenados na PAS, o que permitiu o traçado das curvas características.

Empregando-se as relações de Rateaux, calcularam-se as grandezas H, Q e P para n igual a 1500 e 1100 rotações  $\text{min}^{-1}$ , a partir da rotação nominal. Com os dados obtidos no experimento, verificou-se a veracidade das relações de Rateaux e a redução da potência consumida com a variação da rotação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta as curvas características para as diferentes rotações e as calculadas, empregando-se as relações de Rateaux, com base na rotação nominal. Com auxílio da planilha Excel, foram ajustados, segundo as sugestões de Arens & Porto (1989) e Yanagi Júnior (1997), polinômios de terceiro e segundo graus para as curvas H x Q e P x Q, respectivamente (Tabelas 1 e 2). Observa-se, na Figura 2, o bom ajuste dos polinômios aos dados observados e calculados empregando-se as relações de Rateaux, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) todos acima de 0,99 (Tabela 1). As curvas obtidas pelo emprego das relações de Rateaux ficaram bem próximas das experimentais permitindo, assim, a utilização dessas relações no traçado das curvas características da bomba para diferentes rotações, a partir de uma curva experimental.

Tabela 1. Polinômios ajustados para as curvas altura manométrica (H) x vazão (Q) e potência (P) x vazão (Q) para as rotações de 1800, 1500 e 1100 rotações  $\text{min}^{-1}$

Rotação (rotações $\text{min}^{-1}$ )	Altura Manométrica (kPa)	$R^2$
<b>A. H x Q</b>		
1800*	$H = 383,2 - 15,9 Q + 1,30 Q^2 - 0,41 Q^3$	0,9994
1500*	$H = 265,2 - 13,2 Q + 0,90 Q^2 - 0,24 Q^3$	0,9999
1100*	$H = 134,6 - 9,30 Q + 0,30 Q^2 - 0,23 Q^3$	0,9998
1500**	$H = 266,1 - 13,2 Q + 1,29 Q^2 - 0,50 Q^3$	0,9914
1100**	$H = 143,1 - 9,70 Q + 1,29 Q^2 - 0,70 Q^3$	0,9994
<b>B. P x Q</b>		
1800*	$P = 1,9233 + 0,0973 Q + 0,0008 Q^2$	0,9982
1500*	$P = 1,1072 + 0,0765 Q - 0,0003 Q^2$	0,9984
1100*	$P = 0,4524 + 0,0429 Q - 0,0006 Q^2$	0,9982
1500**	$P = 1,1149 + 0,0563 Q + 0,0005 Q^2$	0,9989
1100**	$P = 0,4397 + 0,0222 Q + 0,0002 Q^2$	0,9950

\* Polinômios obtidos a partir dos dados observados

\*\* Polinômios obtidos a partir das relações de Rateaux

A Tabela 2 apresenta o comparativo da redução de potência consumida, medida e calculada pelas relações de Rateaux, para as rotações de 1500 e 1100 rotações  $\text{min}^{-1}$  e vazões de 1, 2 e 4  $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ , tomando-se como base a rotação nominal. A redução média de P com a adoção da redução da rotação de 1800 para 1500 rotações  $\text{min}^{-1}$  e de 1800 para 1100 rotações  $\text{min}^{-1}$ , foi de 40,7 e 75,0% baseados nos dados experimentais, e de 42,0 e 77,0%

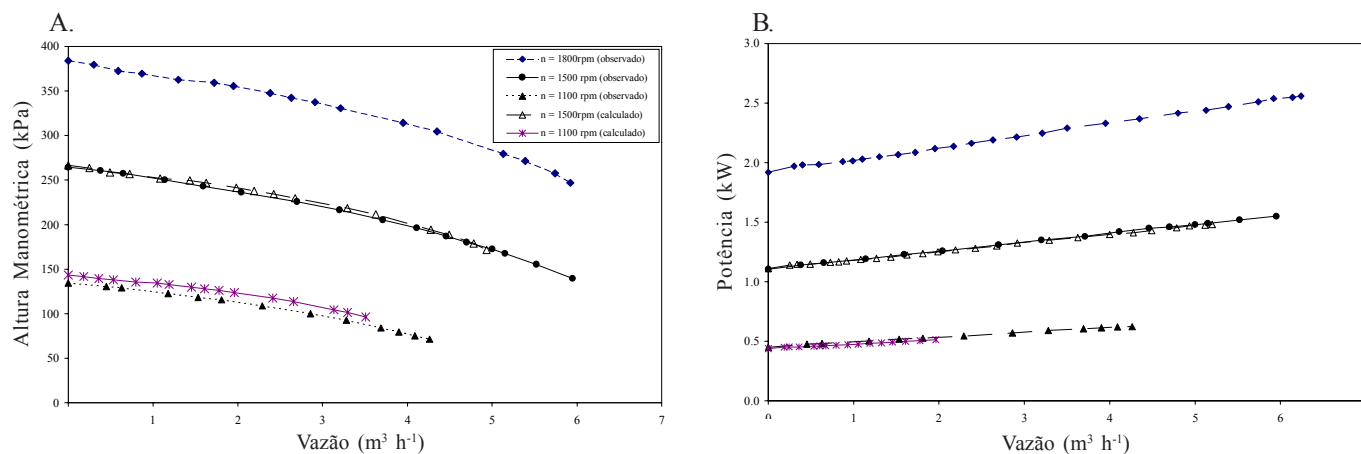


Figura 2. Curvas características de altura manométrica x vazão (A) e potência x vazão (B) observadas e calculadas para as diferentes rotações empregadas

Tabela 2. Comparativo da redução de potência consumida para as rotações de 1500 e 1100 rotações  $\text{min}^{-1}$  e vazões de 1, 2 e 4  $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$

Vazão ( $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ )	Rotação (rotações $\text{min}^{-1}$ )								
	1800			1500			1100		
	$P_{\text{obs}}$ (W)	$P_{\text{obs}}$ (W)	$\Delta P\%$	$P_{\text{Rateaux}}$ (W)	$\Delta P\%$	$P_{\text{obs}}$ (W)	$\Delta P\%$	$P_{\text{Rateaux}}$ (W)	$\Delta P\%$
1	2,02	1,18	42,0	1,17	42,0	0,49	76,0	0,46	77,0
2	2,12	1,26	41,0	1,23	42,0	0,54	75,0	0,48	77,0
4	2,33	1,41	39,0	1,35	42,0	0,61	74,0	0,53	77,0
Redução de $P_{\text{média}}$ (%)			40,7		42,0		75,0		77,0
ErroMédio (%)				1,33			2,00		

com base nos dados obtidos nessas relações, respectivamente (Tabela 2). Ao se adotar as relações de Rateaux com a finalidade de se obter as curvas características da bomba para as diferentes rotações, ao invés de obtê-las com base em valores observados, isto acarretou em erro médio da P, de 1,33 e 2,00% para n igual a 1500 e 1100 rotações  $\text{min}^{-1}$ , respectivamente. Os erros médios de P são atribuídos ao fato de se ter levado em consideração a alteração no rendimento da bomba para os diferentes valores de vazão.

## CONCLUSÕES

1. Empregando-se o inversor de frequência, constatou-se que a redução média da potência consumida foi de 40,7 e 75,0%, com a adoção da redução da rotação de 1800 para 1500 e 1100 rotações  $\text{min}^{-1}$ , respectivamente.

2. Quando se avaliou a potência consumida empregando-se as relações de Rateaux, o erro médio na redução de P foi de 1,33 e 2,00% para as rotações de 1500 e 1100 rotações  $\text{min}^{-1}$ , respectivamente, o que permite o emprego dessas relações para se estimar as grandezas altura manométrica, vazão e potência a partir da curva característica obtida de forma experimental.

## LITERATURA CITADA

- Arens, H. G.; Porto, R. M. Para o desempenho de bombas. Revista DAE, São Paulo, v.49, n.11-14, 1989.
- Azevedo Netto, J. M.; Alvarez, G. A. Manual de hidráulica. São Paulo: Edgard Blücher, 1982, 335p.
- Campana, S. Racionalização do uso da energia elétrica em sistemas de irrigação tipos pivô central e aspersão convencional. Viçosa: UFV, 2000, 108p. Dissertação Mestrado
- Carvalho, D. F. Instalações elevatórias: bombas. Belo Horizonte: IPUC, 1977, 355p.
- Carvalho, J. A.; Mello, C. R.; Braga Júnior, R. A.; Reinato, C. H.; Santana, M. J. Utilização do inversor de frequência em sistemas de irrigação para controle de vazão. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.4, n.1, p.51-56, 2000.
- Mello, C. R.; Carvalho, J. A.; Braga Júnior, R. A.; Reinato, C. H.; Santana, M. J. Economia de energia em instalação de bombeamento com o uso de inversor de frequência. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.18, n.4, p.78-88, 1999.
- Yanagi Jr., T.; Ferreira, E.; Colombo, A.; Mello, C. R. Método matemático para a estimativa analítica das curvas de desempenho de bombas centrífugas. Revista Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v.21, n.4, p.484-490, 1997.