

## INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE NO CUSTO DE BOMBEAMENTO EM LAVOURAS DE ARROZ

WENDELL ANTUNES DA SILVA<sup>1</sup>; MARCELO HOLZ PRESTES<sup>2</sup>; LUCIANA MARINI KÖPP<sup>3</sup>

<sup>1</sup>UFPEL – FAEM – wendellasilva@gmail.com

<sup>2</sup>UFPEL – FAEM – contatamarcelop@gmail.com

<sup>3</sup>UFPEL – FAEM – lucianakopp@gmail.com

### 1. INTRODUÇÃO

O arroz é uma das principais culturas de grãos, sendo o segundo cereal mais cultivado no mundo. Segundo ROBAINA (1997) e KÖPP (2015), há grande desperdício de energia na irrigação do arroz em função do mau dimensionamento das estações de bombeamento. O diâmetro da tubulação é o item determinado a partir da velocidade de fluxo e da vazão de projeto. Assim para mesma vazão diâmetros maiores implicam em maior custo fixo e menor custo operacional. A minimização do custo total passa por processo de identificação da velocidade que conduz ao diâmetro adequado. Este trabalho tem como objetivo identificar a relação entre a velocidade de fluxo, a vazão necessária e o comprimento da tubulação, buscando a minimização do custo total de bombeamento em lavouras de arroz irrigado.

### 2. METODOLOGIA

Este trabalho foi conduzido em três fases a seguir descritas.

1º - Levantamento dos custos das tubulações:

A tubulação utilizada em lavouras de arroz é constituída de chapas de aço soldado como descrito por KÖPP (2015). Foi feito um levantamento dos preços e dimensões das laminas de aço na região de Pelotas entre março e junho de 2015. As chapas avaliadas possuem massa de 20,8 Kg m<sup>-2</sup> e suas dimensões são descritas na Tabela 1. O custo obtido durante a pesquisa (Custo Matéria Prima - CMP) foi de R\$ 13,70 por Kg.

Tabela 1: Relação dos diâmetros e custo das tubulações, utilizadas em lavouras de arroz, confeccionadas com chapas de aço calhandradas e soldadas.

Perímetro (m)	Peso (Kg)	Diâmetro (m)	Custo (R\$ m <sup>-1</sup> )
1,0	20,80	0,318	284,96
1,2	24,96	0,380	341,95
1,5	31,20	0,477	427,44
1,8	37,44	0,573	512,92
2,0	41,60	0,636	569,92
3,0	62,40	0,955	854,88

2º - Levantamento dos custos de energia

Para determinar os valores cobrados pela energia foi obtida, junto à companhia de distribuição de energia elétrica na região de Pelotas, a tabela de tarifas do Grupo A, na modalidade tarifário horário verde. Foram observados os valores da demanda (R\$ kW) e energia fora ponta (R\$ kW h<sup>-1</sup>), para 12,5 horas diárias. Em função das instalações estudadas caracterizarem atividade de

irrigação, foi usado a tarifa em horário reservado de portaria (que concede 70% de desconto no custo de energia).

### 3º - Simulação

Foram utilizados dados de 40 estações de bombeamento localizadas na fronteira oeste do RS, que constavam de:  $Q$  ( $m^3 s^{-1}$ ),  $H_g$  (m),  $L$  (m),  $D$  (m). Os dados foram obtidos de levantamento de campo realizado por KÖPP (2015) e foram armazenados e processados utilizando o software Microsoft Excel 2007. Foi determinado o custo fixo anual para diversos diâmetros, utilizando como causas de variação as vazões e comprimentos obtidos em campo. Os menores custos obtidos no experimento foram separados e classificados junto com suas respectivas velocidades, fornecendo os elementos necessários para a determinação de um modelo que expresse a velocidade econômica.

O custo fixo da tubulação (eq. 1) é o produto do custo unitário da tubulação (CUT), comprimento total da tubulação ( $L$ ) e um fator de recuperação de capital (eq. 2). A taxa utilizada foi de 12% a.a em um período de 10 anos.

$$(1) CFT = CUT \cdot L \cdot FRC$$

$$(2) FRC = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Para determinar a altura manométrica de recalque (AMT), foi utilizada a equação modificada de Hazzen-Williams (eq. 3). O coeficiente de rugosidade ( $C$ ) adotado foi 90, equivalente a tubulações de aço soldado com 10 anos de uso. Para o comprimento virtual ( $L_{virtual}$ ), utiliza-se o número de diâmetros equivalentes a peças especiais ( $N$ ) 120. Foi adotado um valor fixo de 20 metros para a altura geométrica ( $h_g$ ) durante as simulações.

A partir dos dados levantados em campo, foram estabelecidas sete classes de vazões e comprimentos. Os diâmetros estabelecidos para a simulação estavam no intervalo de 0,3 a 1,2 m, espaçados em 50 em 50 mm. Foi utilizado um rendimento global fixo (de 60%) para a determinação da potência ativa (kW) (eq. 4) necessária no sistema. O peso específico da água é apresentado por  $\gamma$  ( $N m^{-3}$ ).

$$(3) AMT = \left\{ \left( \frac{Q}{0,278 \cdot C \cdot D^{2,63}} \right)^{1,85} \cdot (L + L_{virtual}) \right\} + h_g$$

$$(4) Pot = \frac{\gamma \cdot Q \cdot AMT}{1000 \cdot \eta}$$

O custo operacional de energia (COE) (eq. 5) é a soma do consumo e demanda de energia. Para a demanda, foi determinado o período de quatro meses, com custo de R\$ 9,31  $kW^{-1}$  ( $CE_d$ ). O consumo foi calculado pela soma do período de 1071,4 horas operando em tarifa horosazonal verde (R\$ 0,30503  $kWh^{-1}$ ) ( $CE_{ho}$ ) e do período de 728,6 horas em horário reservado de portaria (R\$ 0,09151  $kWh^{-1}$ ) ( $CE_{hr}$ ) totalizando 1800 horas de bombeamento. Não foram acrescentados impostos no cálculo.

O custo total (CT) foi determinado pela equação 6.

$$(5) COE = CE_{ho} + CE_{hr} + CE_d$$

$$(6) CT = COE + CFT$$

Foi obtida a velocidade econômica pela análise de minimização do custo total e então estudou-se, com uso do software SigmaPlot 11.0, um modelo de regressão multivariada onde a velocidade era a variável dependente e a vazão e comprimento eram as causas de variação.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 2 apresenta os valores de velocidade determinados pela minimização do custo total para as 40 estações de bombeamento estudadas.

Tabela 2: Velocidades econômicas obtidas através da minimização do custo total de bombeamento em 40 estações para 7 classes de vazão e comprimento.

Vazão (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	comprimento (m)						
	20	148,3	276,7	405	533,3	661,7	790
0,0067	0,53	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
0,3135	0,81	1,11	1,11	1,32	1,32	1,32	1,32
0,5600	0,88	1,27	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46
0,8065	0,93	1,42	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60
1,0530	1,01	1,66	1,66	1,86	1,86	1,86	1,86
1,2995	1,15	1,65	1,83	1,83	1,83	1,83	2,04
1,5460	1,37	1,79	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97

A velocidade se mostra mais sensível à variação de vazão do que de comprimento apesar de ambos gerarem variabilidade nos valores observados na Tabela 2.

A equação 7 representa a regressão multivariada obtida para determinação da velocidade econômica ( $v_{economica}$ ) em função da vazão e comprimento das tubulações. O coeficiente de determinação  $R^2$  indica que a mesma representa satisfatoriamente a relação entre as variáveis estudadas.

$$(7) v_{economica} = 0,723.Q + 0,000613.L + 0,592 \quad R^2=0,806$$

A partir da equação 7 foram determinadas as velocidades econômicas para as 40 estações estudadas e recalculados os custos de bombeamento. A comparação dos custos e das velocidades são apresentadas nas Figuras 1 e 2.

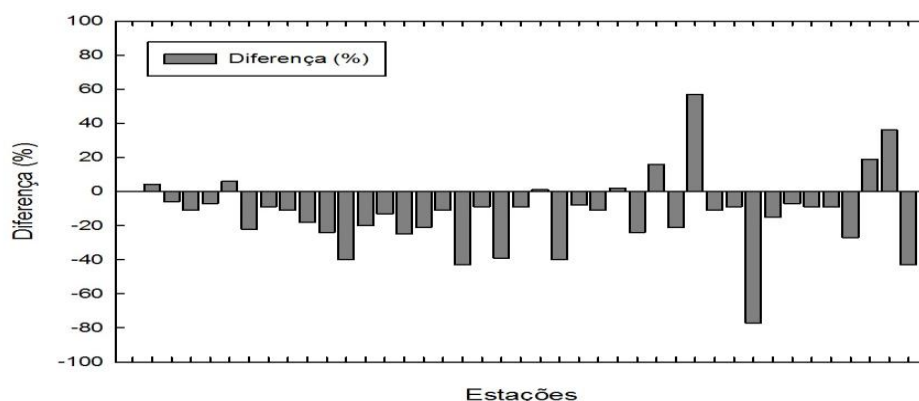


Figura 1: Diferença percentual entre o custo total de bombeamento antes e depois do ajuste da velocidade pelo uso do modelo proposto para as 40 estações de bombeamento estudadas.

Podemos observar na Figura 1, que houve uma redução nos custos fixos em 80% das estações, apresentando em média uma diferença de 20,28%. As

diferenças encontradas variaram entre 6 e 77% indicando ser possível o uso desta informação para justificar intervenções nas estações de bombeamento.

A Figura 2 apresenta os valores de velocidades obtidas antes e depois do seu ajuste. Observa-se que da mesma forma que os custos em 80% das estações houve redução de velocidade após o ajuste, indicando ser possível a redução dos diâmetros com consequente redução de custo fixo. Nas estações em que a velocidade ajustada ficou maior do que a inicial foi observado um superdimensionamento, provavelmente gerado pelo uso de tubulações com diâmetro acima do necessário por aproveitamento de material já existentes na propriedade.

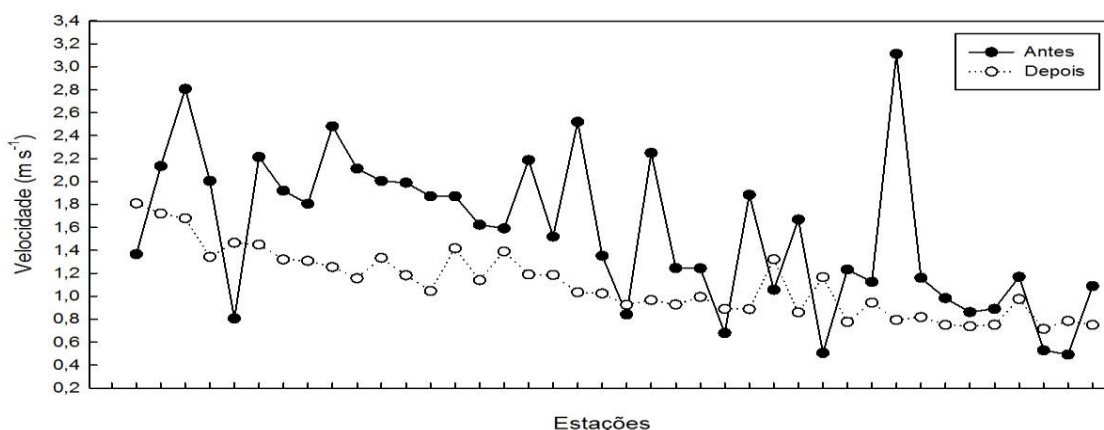


Figura 2: Velocidade inicial e aquela obtida através do uso do modelo proposto para as 40 estações de bombeamento estudadas.

A condição de campo mostrou uma variabilidade nas velocidades de 0,49 a 3,11  $\text{m s}^{-1}$ . Com o modelo foi reduzida a amplitude de variação da velocidade que se manteve entre 0,7 e 1,8  $\text{m s}^{-1}$  que concorda com PERRONI et al. (2011) que encontraram valores de velocidade econômica entre 0,67 e 1,63 para tubulações de aço galvanizado e entre 0,62 e 1,97 para PVC.

#### 4. CONCLUSÕES

Com base na metodologia usada e nos resultados obtidos podemos concluir que:

- O modelo proposto permite a determinação da velocidade para diferentes situações de vazão e comprimento.
- 80% das estações de bombeamento estudadas apresentavam velocidades acima daquela considerada econômica pelo modelo proposto.
- Existe a possibilidade de economia de energia através do redimensionamento das tubulações em lavouras de arroz.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

KOPP, L. M. **Índices de desempenho para estações de bombeamento em lavouras de arroz irrigado**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2015.

PERRONI, B. L. T.; CARVALHO, J. A.; FARIA, L. C. Velocidade de econômica de escoamento e custos de energia em bombeamento. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 487-496, maio/junho, 2011.

ROBAINA, A.D. Seleção de bombas para irrigação. **Lavoura Arrozeira**. Porto Alegre, V. 50, nº 432, julho/agosto, p.3-8, 1997.