

REDUÇÃO DA ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL DA UNIDADE DE BOMBEAMENTO DE UM PIVÔ CENTRAL ATRAVÉS DO AJUSTE DA VELOCIDADE DE ROTAÇÃO

Victor Buono da Silva Baptista¹, Alberto Colombo², José Henrique Nunes Flores³, Thiago Henrique Burgarelli Teixeira⁴, Adriano Valentim Diotto⁵, Miguel Angel Moreno⁶

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi determinar a redução da altura manométrica total proporcionada pelo ajuste de velocidade de rotação da unidade de bombeamento de um pivô central. O software EPANET foi utilizado para simular a distribuição espacial da carga de pressão ao longo da linha lateral, considerando dezoito posições angulares da linha lateral de um pivô central localizado em Formiga/MG. Desta forma foi possível determinar, em cada posição angular, o valor da velocidade de rotação da bomba que resultaria em um valor de carga de pressão mínima na lateral exatamente igual ao valor da carga mínima requerida para operação adequada das válvulas. Este estudo apresentou uma redução de 41% na altura manométrica da bomba, proporcionada pelo ajuste da sua velocidade de rotação, nas diferentes posições angulares da linha lateral.

PALAVRAS-CHAVE: distribuição espacial de pressão, simulação hidráulica, EPANET

REDUCTION OF THE TOTAL DYNAMIC HEAD OF A CENTER PIVOT PUMPING UNIT THROUGH THE ROTATION SPEED ADJUSTMENT

ABSTRACT: This study aims to determine the total dynamic head reduction provided by the rotation speed adjustment of the center pivot pumping unit. The EPANET software was used to simulate the head spatial distribution along the lateral line, seeing eighteen lateral line angular positions of a center pivot located in Formiga/MG. In this way it was possible to

¹ Professor Assistente, Departamento de Engenharia, UFLA, Caixa Postal 3034, CEP 37200-000, Lavras, MG. Fone (35) 38291485. Email: victor.buonosb@ufla.br

² Professor Titular, Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento, UFLA, Lavras, MG.

³ Doutorando, Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, UFLA, Lavras, MG.

⁴ Doutorando, Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, UFLA, Lavras, MG.

⁵ Professor Adjunto, Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento, UFLA, Lavras, MG.

⁶ Professor Titular, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes ETSIAM, UCLM, Albacete, Espanha

determine at each angular position the value of the pump speed which would result in a minimum head on the lateral line exactly equal to the minimum head value required for proper operation of the valves. This study showed 41% of total dynamic head reduction, provided by the adjustment of pump speed, in the different angular positions of the lateral line.

KEYWORDS: spatial head distribution, hydraulic simulation, EPANET

INTRODUÇÃO

Minas Gerais é o estado brasileiro com o maior número de unidades de equipamentos de irrigação do tipo pivô central, totalizando 406124 ha de área irrigada (ANA, 2016). Diminuir o consumo de energia nestes sistemas de irrigação se torna essencial do ponto de vista sustentável, sendo que estratégias para a diminuição de consumo de energia de sistemas de irrigação do tipo pivô central tem sido o objeto de estudo de diversos pesquisadores. Podem ser citadas desde as propostas sugeridas por Gilley and Watts (1977), como a mudança dos aspersores de alta e média pressão para emissores de baixa pressão, mudança no tamanho e espaçamento de bocais, até as propostas de Moreno et al. (2012), que compreendem o aumento do diâmetro interno da linha lateral, redução do tempo de operação do equipamento e aumento da vazão por unidade de área, no entanto, estas propostas visam uma mudança estrutural no equipamento. Uma alternativa para diminuir o consumo de energia sem realizar mudanças estruturais no pivô central é o ajuste da velocidade de rotação da unidade de bombeamento, para adequar a oferta de energia à demanda real. Esta estratégia consiste em reduzir a carga hidráulica (altura manométrica total) na saída da bomba, sem que a pressão fornecida ao emissor torne-se menor que a mínima necessária para seu funcionamento, deste modo, não haverá prejuízo na uniformidade de aplicação de água (Brar et al., 2017; Hanson et al., 1996; King & Wall, 2000). Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi determinar a redução da altura manométrica total proporcionada pelo ajuste de velocidade de rotação da unidade de bombeamento.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido em um sistema de irrigação do tipo pivô central marca Valley, modelo 4865-8000-VSL/7-885 localizado na cidade de Formiga/MG - Brasil (coordenadas UTM: 7723154,75 S, 42595,90 O).

A unidade de bombeamento é composta por uma bomba KSB, modelo WKL 125/3, com rotores de 300 mm, acionada por um motor elétrico trifásico WEG, com valores nominais de voltagem, potência e rotação de 380 V, 150 CV e 1787 rpm, respectivamente. A unidade de bombeamento a velocidade fixa fornece uma altura manométrica total (HMT_f) de 128,34 m e vazão total (Q_t) de 202,5 m³ h⁻¹.

A linha lateral do pivô central foi caracterizada conforme proposto por [Baptista et al. \(2017\)](#) e simulada hidraulicamente no EPANET ([Rossman, 2000](#)), considerando 18 posições angulares, contemplando o giro completo da linha lateral ($i=0^\circ$; $i=20^\circ$; ...; $i=340^\circ$), sendo que a posição $i=0^\circ$ foi definida como sendo a que possui maior aclave. As cotas das torres móveis, nas diferentes posições angulares, foram obtidas através do levantamento planialtimétrico fornecido pela empresa responsável pelo projeto de irrigação. Os valores de coeficiente de descarga para os emissores foram obtidos através das vazões informadas na carta de emissores e da pressão regulada pelas válvulas ($H_{vrp}=7,031$ m).

Para estimar o valor da altura manométrica total mínima necessária (HMT_i) para pressurizar a linha lateral de irrigação, sem prejuízo da uniformidade de aplicação de água, nas posições angulares i , foi utilizado o modelo polinomial cúbico (Eq. 1) proposto por [Yanagi Junior et al. \(1997\)](#). Nos resultados das simulações no EPANET foram identificados o valor e a localização, para cada posição angular i , em que ocorre a carga mínima de pressão ao longo da linha lateral (H_i). A partir dos valores de H_i e de valores de carga de pressão requeridas pelas válvulas reguladoras de pressão (H_{vrp}), foram determinados novos valores de altura manométrica total (HMT_i^* , Eq. 2), que forneceriam a pressão adequada ao funcionamento das válvulas reguladoras de pressão (VRP). Os valores do quadrado da diferença dos valores de HMT_i e HMT_i^* foram minimizados, através do Solver do Excel, para estimar as velocidades de rotação da unidade de bombeamento (n_i) para cada posição angular i da linha lateral.

$$HMT_i = \frac{N}{g} \cdot \left(\frac{2\pi \cdot n_i \cdot D_r}{60} \right)^2 \left[a \left(\frac{60 \cdot Q_t}{D_r^3 \cdot 2\pi \cdot n_i} \right)^3 + b \left(\frac{60 \cdot Q_t}{D_r^3 \cdot 2\pi \cdot n_i} \right)^2 + c \left(\frac{60 \cdot Q_t}{D_r^3 \cdot 2\pi \cdot n_i} \right) + d \right] \quad (1)$$

$$HMT_i^* = HMT_f - (H_i + H_{VRP}) \quad (2)$$

Em que,

HMT_i - altura manométrica total mínima necessária (m);

HMT_i^* - altura manométrica total mínima necessária (m);

HMT_f – altura manométrica total com velocidade fixa da unidade de bombeamento (m);

H_i - carga de pressão mínima em cada posição i da linha lateral (m) (obtida no EPANET);

H_{VRP} - carga de pressão regulada pela VRP;

Q_i - vazão do sistema de irrigação ($m^3 s^{-1}$);

N - número de rotores da bomba;

D_r - diâmetro dos rotores (m);

n_i - velocidade de rotação da unidade de bombeamento (min^{-1});

a, b, c e d - parâmetros de ajuste da equação;

g - aceleração da gravidade ($9,80665 m s^{-2}$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação à localização dos pontos de mínima pressão ao longo da linha lateral, é possível observar na Fig. 1 que em metade do giro da linha lateral o ponto de mínima pressão permanece no ponto pivô, e somente em três posições (340° , 0° e 20°) a mínima pressão está localizada na extremidade da linha lateral. Estas três posições, de acordo com a Fig. 1, são as de maior altitude da área irrigada, ou seja, a linha lateral está em posição ascendente. Este comportamento do ponto de mínima pressão foi descrito por [Scaloppi and Allen \(1993\)](#), que afirmam que conforme diferenças topográficas da área irrigada, o ponto de mínima pressão tende a migrar da extremidade para o ponto pivô, permitindo dessa forma, uma estratégia para redução do consumo de energia, neste caso, o ajuste da velocidade de rotação das unidades de bombeamento nestes sistemas de irrigação.

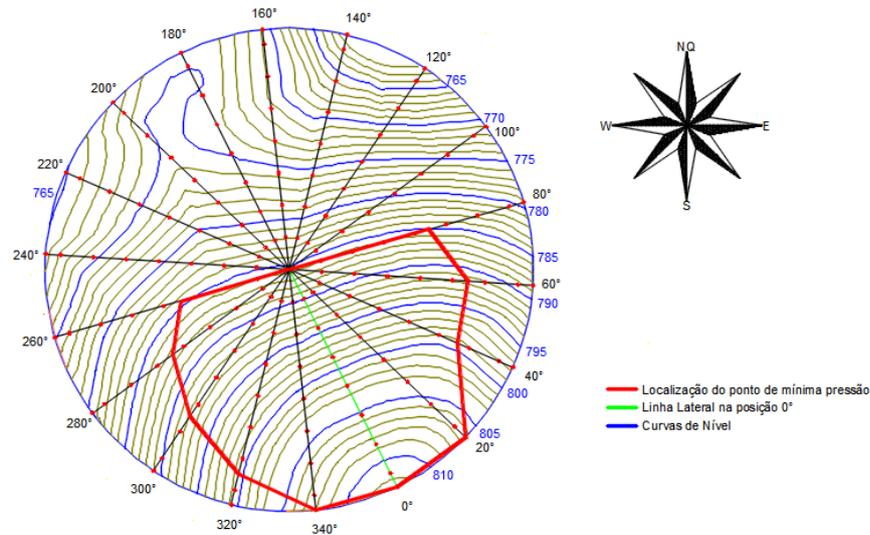


Fig.1. Localização dos pontos de mínima pressão para as diferentes posições angulares da linha lateral do pivô central em estudo

Considerando que a unidade de bombeamento a velocidade fixa apresenta valores de rotação e altura manométrica total de 1787 rpm e 128,34 m, respectivamente, os valores encontrados neste estudo, mostrados na Tabela 1, apresentam uma diminuição do valor de altura manométrica total de cerca de 41%. Em um estudo de conservação de energia em pivôs centrais utilizando unidades de bombeamento com velocidade variável, [King and Wall \(2000\)](#) apresentaram uma variação de 39,75% de altura manométrica total na saída da unidade de bombeamento de um pivô central com variação topográfica da área irrigada de 13,6 m.

Tabela 1. Valores de velocidade de rotação e altura manométrica total na unidade de bombeamento, para diferentes posições angulares i da linha lateral.

| Posição Angular | Rotação (rpm) | HMT _i (m) | Posição Angular | Rotação (rpm) | HMT _i (m) |
|-----------------|---------------|----------------------|-----------------|---------------|----------------------|
| 0 | 1607 | 97.77 | 180 | 1402 | 67.09 |
| 20 | 1579 | 93.35 | 200 | 1402 | 67.09 |
| 40 | 1528 | 85.47 | 220 | 1402 | 67.09 |
| 60 | 1478 | 77.94 | 240 | 1402 | 67.10 |
| 80 | 1428 | 70.73 | 260 | 1415 | 68.91 |
| 100 | 1402 | 67.09 | 280 | 1443 | 72.93 |
| 120 | 1402 | 67.09 | 300 | 1481 | 78.45 |
| 140 | 1402 | 67.09 | 320 | 1533 | 86.17 |
| 160 | 1402 | 67.09 | 340 | 1585 | 94.24 |

Na Tabela 1, pode-se observar que nas posições entre 100° e 260°, a HMT mantém o valor constante de 67,09 m, pois nestas posições a linha lateral apresenta posição descendente, conforme mostrado na Fig. 1. Por outro lado, a posição 0° apresenta os maiores valores de

altura manométrica total e rotação, 97,77m e 1607 rpm, respectivamente, devido a essa posição apresentar uma topografia em desnível ascendente, conforme mostrado na Fig. 1.

Essas diferenças nos valores de HMT_i podem ser explicadas devido ao superdimensionamento da estação de bombeamento e à variação na topografia da área irrigada, que é da ordem de 25m de desnível. [Brar et al. \(2017\)](#) e [King and Wall \(2000\)](#) afirmaram que quanto maior a variação da topografia da área irrigada, maior a variação da pressão de bombeamento (HMT) e conseqüente redução no consumo de energia nas estações de bombeamento.

CONCLUSÕES

Os resultados apresentados confirmam que o ajuste da velocidade de rotação pode ser uma alternativa para diminuir a altura manométrica, e conseqüentemente de energia, em unidades de bombeamento de sistemas de irrigação do tipo pivô central, sem comprometer a uniformidade de aplicação de água.

AGRADECIMENTOS

Ao Sr. Pablo Beretens Guimarães e a Lavras Irrigação Ltda por ceder informações sobre o equipamento para o estudo. A CAPES pela bolsa de estudos PDSE processo n° 88881.190146/2018-01. Ao CNPq e FAPEMIG pelas bolsas concedidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil: relatório síntese. **AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA**, p. 33, 2016.

BAPTISTA, V. B. S.; COLOMBO, A.; BARBOSA, B. D. S.; ALVARENGA, L. A.; FARIA, L. C.; ARAÚJO, D. S. A. Uso do EPANET 2.0 na determinação da distribuição espacial de pressão em um sistema de irrigação do tipo pivô central. **IV Inovagri Internacional Meeting**, 2017.

BRAR, D.; KRANZ, W. L.; LO, T.; IRMAK, S.; MARTIN, D. L. Energy Conservation Using Variable-Frequency Drives for Center-Pivot Irrigation: Standard Systems. **Transactions of the ASABE**, v. 60, n. 1, p. 95–106, 2017.

GILLEY, J. R.; WATTS, D. G. Possible Energy Savings in Irrigation. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, v. 103, n. 4, p. 445–457, 1977.

HANSON, B. R.; WEIGAND, C.; ORLOFF, S. Variable-frequency drives for electric irrigation pumping plants save energy. **Calif Agric**, v. 50, p. 36–39, 1996.

KING, B. A.; WALL, R. W. Distributed Instrumentation for Optimum Control of Variable Speed Electric Pumping Plants with Center Pivots. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 16, n. 1, p. 45–50, 2000.

MORENO, M. A.; MEDINA, D.; ORTEGA, J. F.; TARJUELO, J. M. Optimal design of center pivot systems with water supplied from wells. **Agricultural Water Management**, v. 107, p. 112–121, 2012.

ROSSMAN, L. A. EPANET 2: User Manual. **Cincinnati US Environmental Protection Agency National Risk Management Research Laboratory**, n. September, p. 104, 2000.

SCALOPPI, E. J.; ALLEN, R. G. Hydraulics of Center Pivot Laterals. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 119, n. 3, p. 554–567, 1993.

YANAGI JUNIOR, T.; FERREIRA, E.; COLOMBO, A.; MELLO, C. R. Modelo Matemático para Estimativa Análítica das Curvas de Desempenho de Bombas Centrífugas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 21, n. 4, p. 484–490, 1997.