



**EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO DA IRRIGAÇÃO EM PIVÔ CENTRAL  
UTILIZANDO INVERSOR DE FREQUÊNCIA  
NO SISTEMA DE BOMBEAMENTO**

J. L. ZOCOLER<sup>1</sup>, A. S. LIMA<sup>2</sup>, F.B.T. HERNANDEZ<sup>3</sup>, M.F. MAGGI<sup>4</sup>, E.H. YANO<sup>5</sup>

**RESUMO:** Neste trabalho, teve-se por objetivo avaliar a variação dos seguintes parâmetros: lâmina de irrigação, eficiência de aplicação e rotação dos conjuntos motobombas de um equipamento pivô central, operando em dois níveis de programação de um inversor de frequência e em três posições de operação. O experimento teve esquema fatorial 2 x 3, inteiramente casualizado com 3 repetições. As 3 posições testadas foram: aclive de 3,5%, nível e declive de 11,8%. As programações foram: P1 – rotação dos conjuntos motobombas aproximadamente constante; P2 – rotação dos conjuntos motobombas variável, diminuindo da posição de aclive para a de declive. Os resultados mostraram que a lâmina de irrigação aplicada foi maior na posição de declive em relação ao aclive e nível, mesmo com a redução da rotação dos conjuntos motobombas no tratamento P2. Com isso, a eficiência de aplicação reduziu em relação ao aclive devido ao excedente em relação à lâmina requerida. A rotação dos conjuntos motobombas foi reduzida significativamente nas 3 posições dentro do tratamento P2 evidenciando a ação correta do inversor de frequência.

**PALAVRAS-CHAVE:** Posição de operação, declive, chave de partida.

**IRRIGATION APPLICATION EFFICIENCY IN CENTER PIVOT  
USING FREQUENCY INVERTER  
ON PUMPING SYSTEM**

**SUMMARY:** The aim of this paper was to evaluate the variation of the water depth, irrigation application efficiency and rotation of pumps in a center pivot, operating at two levels of programming a frequency inverter and three operating positions. The experiment was a factorial 2 x 3 completely randomized with three replications. The three positions were

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Prof. Adjunto, UNESP/Ilha Solteira – SP, [zocoler@agr.feis.unesp.br](mailto:zocoler@agr.feis.unesp.br)

<sup>2</sup> Engenheiro Agrícola, Prof. Doutor, UNICENTRO/Guarapuava – PR

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo, Prof. Titular, UNESP/Ilha Solteira – SP

<sup>4</sup> Engenheiro Agrícola, Prof. Doutor, UNICENTRO/Guarapuava – PR

<sup>5</sup> Engenheiro Agrônomo, Prof. Doutor, UNESP/Ilha Solteira – SP



tested: slope up of 3.5%, level and slope down of 11.8 %. The frequency inverter programming were: P1 – pumps rotation approximately constant; P2 – variable pumps rotation decreasing from position of the slope up to slope down. The results showed that the depth water was greater in the slope down in relation to the slope up and the level position, even with the reduction of pumps rotation in treatment P2. With this, the irrigation application efficiency has reduced compared the slope down due to surplus in relation to the water depth required. The pumps rotation has been reduced significantly in the 3 positions within treatment P2, demonstrating the correct action of the frequency inverter.

**KEYWORDS:** Operating position, slope, key of starter.

**INTRODUÇÃO:** Quando se aplica somente a lâmina de irrigação necessária numa área, devido à desuniformidade, uma fração dessa área é irrigada com excesso, enquanto outra com déficit. Na fração com excesso, uma parte fica armazenada na zona das raízes para uso das plantas e a outra parte é perdida por percolação profunda. Na fração com déficit, toda água infiltrada é considera armazenada na zona radicular, porém, em quantidade inferior às necessidades hídricas das plantas. Por outro lado, se a lâmina média de irrigação aplicada for maior que a necessária, pode-se até eliminar a fração com déficit de irrigação, porém o custo da irrigação sobe, além de agravar a lixiviação dos nutrientes (ZOCOLER et al., 2004). Sistemas convencionais de bombeamento em rotação constante, utilizando válvula de controle da vazão, em grande parte do tempo operam fora do ponto de trabalho projetado, gerando desperdício de energia elétrica. Os motores elétricos utilizados para acionamento das bombas são dimensionados frequentemente para atender a máxima demanda de vazão associada à máxima altura manométrica. Além disso, raramente apresentam controladores de velocidades de rotação (CAMPANA, 2000). Nos sistemas de irrigação, do tipo pivô central, houve modernização nos dispositivos de propulsão, alinhamento e distribuição de água, possibilitando reduzir o consumo de energia e ao mesmo tempo manter a uniformidade e a eficiência de aplicação de água. Assim, emissores de baixa pressão de operação e a utilização de inversores de frequência no controle da rotação do conjunto motobomba contribuem nesse sentido. LIMA (2009) verificou a viabilidade da adoção do inversor de frequência em relação à chave de partida do tipo “soft starter”, mesmo tendo um preço de aquisição cerca de 6 vezes superior. A economia de energia permitiria recuperar o capital investido num período de 6,74 anos, sendo a análise aplicada a um equipamento pivô central de 44 ha. As medidas de eficiência quantificam, fisicamente, a qualidade da irrigação por incorporarem algumas



consequências da uniformidade de distribuição de água pelo equipamento. Se, por um lado os coeficientes de uniformidade medem somente o grau de dispersão da aplicação da água, por outro lado as medidas de eficiência dependem tanto da uniformidade como da forma com que o equipamento é operado (FRIZZONE, 1992). A eficiência de aplicação é definida pela relação entre a quantidade de água incorporada ao solo até a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura e a quantidade de água aplicada. Esse índice incorpora a eficiência de distribuição e a eficiência em potencial de aplicação, indicando as perdas de água por percolação e evaporação. ZOCOLER et al. (2004), avaliando um sistema de irrigação pivô central de 38,2 ha, obtiveram eficiência de aplicação de 80,9%, indicando que, dos 29,36 mm totais aplicados, somente 23,74 mm foram armazenados na camada radicular efetiva, ou seja, as perdas por evaporação e percolação somaram 5,62 mm. O objetivo desse trabalho foi avaliar a variação da lâmina de irrigação, eficiência de aplicação e a rotação dos conjuntos motobombas de um equipamento pivô central, operando em dois níveis de programação de um inversor de frequência e em três posições de operação: acente, nível e declive.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi realizado numa propriedade privada onde estão instalados três equipamentos de irrigação do tipo pivô central interligados por uma única adutora, sendo estes operados de maneira intercalada com o mesmo conjunto de bombeamento comandado por uma chave de partida do tipo Inversor de Frequência. Os ensaios foram realizados no pivô que está mais próximo do ponto de captação. As principais características do equipamento de irrigação avaliado são: área circular irrigada: 44 ha; período (relê 100%): 6,87 h; vazão total:  $339 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ; comprimento da linha lateral: 347,6 m; raio total irrigado: 374,0 m; desnível entre a bomba e o centro do pivô: 51,0 m. As bombas hidráulicas do sistema de bombeamento estão associadas em série, com as seguintes características: marca Imbil, modelo INI 150-400, diâmetro do rotor 390 mm, potência no eixo 131 cv (em 1750 rpm), pressão 715 kPa (73 mca) e rendimento 70%. Os motores elétricos que as acionam têm potência de 175 cv. O acionamento e a variação de rotação nos dois motores é feita simultaneamente por um inversor de frequência WEG, série CFW-09. O controle da variação de velocidade do sistema se dá através um Controlador Lógico Programável – CLP, que recebe sinal de um transdutor de pressão instalado logo no início da tubulação de recalque. Com o uso de uma programação preestabelecida denominada Pressão Máxima (Pmáxima) e Pressão Mínima (Pmínima), o CLP após receber os sinais do transdutor de pressão faz com que tenha uma maior ou menor rotação nos motores, dependendo da posição de operação em



que o pivô se encontra, garantindo a pressão mínima de projeto na extremidade do equipamento. Os ensaios foram executados de acordo com a ABNT NBR 14244:1998, instalando-se duas linhas radiais de coletores, em espaçamento regular e constante de três metros entre coletores, do centro do pivô ao extremo da área irrigada, perpendicularmente ao caminhamento da linha lateral do equipamento, com 3 graus de ângulo de abertura entre as linhas. Para a realização dos testes o relê percentual do equipamento foi ajustado a 100%. Os dados climáticos coletados durante o ensaio foram: velocidade do vento e a evaporação. A evaporação durante o período de cada ensaio foi medida utilizando coletores de controle instalados nas adjacências da base do pivô. As pressões no conjunto de bombeamento foram verificadas com o uso de um manômetro tipo Bourdon com leitura de 0 a 21,0 kgf cm<sup>-2</sup> e precisão de  $\pm 1\%$ . No ponto pivô (no tubo de subida) e na extremidade do equipamento (antes do regulador de pressão) também foram medidas as pressões com manômetro tipo Bourdon. O experimento apresentou esquema fatorial 2 x 3, inteiramente casualizado com 3 repetições, sendo testadas 2 programações da chave inversora de freqüência e 3 posições da linha lateral na área irrigada (aclave, nível e declive). As programações foram:

P1 – realizada em função de uma programação existente no inversor de freqüência da propriedade. Essa programação mantinha a pressão na saída dos conjuntos motobombas praticamente constante, num valor de 1225 kPa (125 mca), independente da posição da linha lateral e, consequentemente, da exigência de altura manométrica total. Com isso, a rotação do conjunto motobomba se mantinha praticamente constante;

P2 – realizada para verificar a atuação do inversor no controle de velocidade de rotação dos conjuntos motobombas e, consequentemente, seus efeitos na uniformidade de distribuição e lâmina de água aplicada, buscou-se variar a rotação de acordo com a demanda na altura manométrica, ou seja, quando o pivô estava irrigando a posição correspondente ao ponto mais alto (aclave) aplicava-se maior rotação, quando estava na posição mais baixa (declive) diminuía-se a rotação aproveitando o desnível do terreno, sempre atendendo a pressão mínima de serviço prevista em projeto. Foram estabelecidas as pressões de 1300 kPa (132,5 mca) para a posição de aclave, 1200 kPa (122,5 mca) para a posição em nível e 810 kPa (82,5 mca) para a posição de declive.

As 3 posições testadas foram: aclave de 3,5%, nível e declive de 11,8%. Entre o ponto pivô e a extremidade da linha lateral, a diferença de nível entre a posição de aclave e nível foi aproximadamente 12 m, e entre a posição de declive e nível foi 41 m, aproximadamente.

As variáveis avaliadas foram: Lâmina de irrigação aplicada, eficiência de aplicação e a rotação dos conjuntos motobombas, medida no painel do inversor de frequência. A lâmina média aplicada no experimento foi considerada igual à lâmina de irrigação requerida pela cultura, cujo valor foi 5,80 mm. Aplicou-se a análise de variância seguida do teste de Tukey para as variáveis que diferiram significativamente.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na Tabela 1 são apresentados os resultados da análise de variância do experimento. Na Tabela 2 são dispostos os resultados do teste de Tukey para as variáveis avaliadas no experimento.

TABELA 1. Síntese da análise de variância do experimento.

Fonte de Variação	Lâmina Aplicada	Eficiência de Aplicação	Rotação dos Conjuntos Motobombas
Programação do Inversor	Ns	ns	**
Posição da linha lateral	**	**	**
Programação x Posição	Ns	ns	**
C.V. (%)	4,72	5,45	0,25

TABELA 2. Efeito da programação do inversor de frequência e da posição da linha lateral nas variáveis avaliadas.

Variável Avaliada	Programação do Inversor	Posição da Linha Lateral		
		Aclive	Nível	Declive
Lâmina Aplicada (mm)	P1	5,54 b A	5,61 b A	6,55 a A
	P2	5,54 b A	5,39 b A	6,19 a A
Eficiência de Aplicação (%)	P1	96,3 a A	94,7 a A	83,4 b A
	P2	89,9 a A	96,1 ab A	82,9 b A
Rotação dos Conjuntos Motobombas (rpm)	P1	1610 b B	1613 b A	1634 a A
	P2	1682 a A	1622 b A	1375 c B

Letras minúsculas iguais na linha não diferem na significância de 1%.

Letras maiúsculas iguais na coluna não diferem na significância de 1%.

Verifica-se que a lâmina de irrigação, a eficiência de aplicação e a rotação variaram significativamente com as posições da linha lateral. Também houve interação significativa da programação versus posição da linha lateral para a rotação dos conjuntos motobombas. Conforme a Tabela 2, a lâmina de irrigação aplicada foi maior na posição de declive em relação ao aclive e nível, mesmo com a redução da rotação dos conjuntos motobombas no tratamento P2. Com isso, a eficiência de aplicação reduziu em relação ao aclive devido às perdas por percolação. A rotação dos conjuntos motobombas foi reduzida significativamente nas 3 posições no tratamento P2, do aclive ao declive, evidenciando a correta ação do inversor



de frequência, que deve ir diminuindo a rotação da posição de acente para declive. Todavia teria sido mais adequado se a programação do inversor no tratamento P2 tivesse estabelecido uma pressão (medida no início da tubulação de recalque) ainda menor que 82,5 mca (810 kPa) na posição de declive. Isso certamente reduziria ainda mais a rotação nesta posição, diminuindo a lâmina aplicada. Por sua vez, no tratamento P1, o estabelecimento de uma pressão constante no início da tubulação de recalque (125 mca) contribuiu para que a rotação na posição de declive também aumentasse em relação às outras duas posições, pois, para mantê-la, o CLP do inversor que opera em resposta ao sinal do transdutor de pressão, aumentava a rotação dos conjuntos motobombas quando a altura manométrica tendesse a cair. Isso foi mais evidente na posição de declive do que de acente devido ao elevado desnível do ponto pivô em relação à extremidade da linha lateral, em torno de 41 m, enquanto na posição de acente, essa diferença era apenas de 12 m.

**CONCLUSÕES:** As condições de desenvolvimento do experimento permitiram concluir que:

- A lâmina de irrigação aplicada foi maior na posição de declive em relação ao acente e nível, mesmo com a redução da rotação dos conjuntos motobombas no tratamento P2;
- Em decorrência, a eficiência de aplicação reduziu em relação ao acente devido às perdas por percolação;
- A rotação dos conjuntos motobombas foi reduzida significativamente nas 3 posições no tratamento P2, do acente ao declive, evidenciando a correta ação do inversor de frequência;
- No tratamento P1, o estabelecimento uma pressão constante no início da tubulação de recalque (125 mca) contribuiu para que a rotação na posição de declive também aumentasse em relação às outras duas posições.

## REFERÊNCIAS

- CAMPANA, S. Racionalização do uso de energia elétrica em sistemas de irrigação tipos pivô central e aspersão convencional. 2000. 108p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)  
– Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- FRIZONE, J. A. **Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência.** Piracicaba: ESALQ, 1992. 53p. (Série Didática).
- LIMA, A.S. Uso de inversor de frequência em sistema de irrigação do tipo pivô central e seu efeito na lâmina e uniformidade de distribuição de água. 2009. 104p. Tese (Doutorado em



Agronomia – Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciência Agrárias, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Botucatu.

ZOCOLER, J.L; CESAR, L.E.V.; VANZELA, L.S. Efeito da linha lateral de um equipamento de irrigação tipo pivô central na uniformidade de distribuição de água e eficiência da irrigação. In: **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.12, n.4, 290-297, 2004.