

# **ASSOCIAÇÃO DE BOMBAS E CONSUMO DE ENERGIA EM SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO TIPO PIVÔ CENTRAL**

**F. C. Mendonça<sup>1</sup>, P. C. S. Pessoa<sup>2</sup>**

**RESUMO** – O presente trabalho teve por objetivo analisar a capacidade operacional de sistemas de bombeamento utilizados na irrigação por pivô central. Foram escolhidas as bombas centrífugas mais comuns em tais sistemas no Brasil e as características de três pivôs centrais para simular o desempenho hidráulico de associações de bombas multi-estágio em paralelo e bombas mono-estágio em série. As equações que representam as curvas vazão x pressão das bombas centrífugas e as curvas de carga dos sistemas de irrigação estudados foram utilizadas para avaliar os efeitos do envelhecimento da tubulação adutora e da linha lateral sobre o consumo de energia nos pivôs. Os resultados obtidos mostram que as características das bombas centrífugas influenciaram grandemente o desempenho hidráulico e o consumo de energia ao longo da vida útil dos pivôs centrais. O maior aumento do consumo de energia ocorreu com a utilização de bombas em série, indicando maior sensibilidade em relação ao envelhecimento das tubulações.

**PALAVRAS-CHAVE:** pivô central, associação de bombas, envelhecimento de tubulações.

## **PERFORMANCE OF CENTER PIVOT IRRIGATION SYSTEMS WITH DIFFERENT CONFIGURATIONS OF THE PUMPING STATION**

**SUMMARY** – the present work aimed to analyze the operational capacity of pumping systems used on center pivot irrigation systems. The models of centrifugal pumps mostly used in Brazil and the characteristics of three center pivots have been chosen for simulating the hydraulic performance of two kinds of centrifugal pumps association: parallel (multi-stage pumps), and serial (one-stage pumps). The performance curves (Q x H) of the centrifugal pumps and the pipeline of the three pivots have been used for evaluating the effects of the

---

<sup>1</sup> Pesquisador, Embrapa Pecuária Sudeste, C. P. 339, CEP 13560-970, São Carlos, SP. Fone (16) 3361-5611. e-mail: [fernando@cppse.embrapa.br](mailto:fernando@cppse.embrapa.br).

<sup>2</sup> Engenheiro agrônomo consultor, PCPivô Eng. de Irrigação Ltda., Uberlândia, MG. e-mail: [pcpivo@uol.com.br](mailto:pcpivo@uol.com.br)

pipeline age over the energy consumption of the irrigation systems. The results obtained show that the kind of pumping association have greatly influenced the hydraulic performance and, so, the energy consumption along the life of the center pivots. The highest increase of the energy consumption occurred with the use of serial pump association systems, indicating a higher sensibility of this kind of system in relation to the pipeline age.

**KEYWORDS:** center pivot, centrifugal pumps association, pipeline age.

## INTRODUÇÃO

Pivôs centrais são sistemas de irrigação projetados para ter alta eficiência de aplicação. Seu desempenho depende do correto dimensionamento hidráulico, da qualidade dos equipamentos e materiais utilizados, principalmente tubulação e bombas centrífugas. Há diversas opções de bombas centrífugas para pivôs, cuja escolha depende do relevo, da distância da água ao pivô, do material e do diâmetro das tubulações. Muitas vezes são necessárias grandes vazões e alturas manométricas, que não podem ser supridas por uma única bomba. É necessária uma associação de bombas, que pode ser em paralelo (aumento de vazão) ou em série (aumento de pressão) (AZEVEDO NETO E ALVAREZ, 1991).

Geralmente há opções de ambos os tipos que atendem as necessidades de um projeto, tais como associações de bombas multi-estágio em paralelo, ou de bombas mono-estágio e grande vazão em série. Assim, os projetistas se deparam com a escolha entre essas associações, cujo critério de decisão mais comum é o custo. Entretanto, diferenças nas curvas vazão x pressão das bombas podem afetar o desempenho dos sistemas ao longo do tempo.

O envelhecimento da adutora e da linha lateral modifica a curva de carga do sistema de irrigação, aumentando as perdas de carga e a altura manométrica requerida. As perdas de carga aumentam ao longo do tempo, modificando o ponto de encontro da curva da bomba com a curva de carga do sistema e levando a duas situações possíveis: a) redução da vazão do sistema, principalmente em bombas cuja curva  $Q \times H$  é muito inclinada (curva tipo *steep*), para compensar o aumento da altura manométrica requerida; b) aumento do consumo de energia no bombeamento, devido ao deslocamento do ponto de operação da bomba em relação ao ponto de ótimo rendimento (relação  $Q \times H$  ótima). Essas modificações ocorrem em ambos os tipos de associação de bombas, porém, os efeitos não são iguais, pois dependem das características de cada bomba utilizada.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do envelhecimento da tubulação sobre o desempenho de associações de bombas em paralelo e em série comumente usadas em sistemas de irrigação tipo pivô central.

## MATERIAL E MÉTODOS

Neste estudo foram feitas simulações da operação utilizando-se as características de três sistemas de irrigação por pivô central, dois localizados em Colômbia-SP e o terceiro, em Uberaba-MG. Todos os equipamentos foram testados no campo e, após a correção de problemas de distribuição, trabalham com potencial de eficiência de aplicação de 90%. Os dados de cada equipamento encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Características técnicas de dois sistemas de irrigação utilizados no estudo

Pivô	Lâmina d'água (mm)		TOD <sup>1</sup> (h.dia <sup>-1</sup> )	RI <sup>2</sup> (m)	RUT <sup>3</sup> (m)	Área irrig. (ha)	Vazão (m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	Vel. 100% (m.h <sup>-1</sup> )
	bruta	líquida						
Colômbia - 1	7,1	6,4	21	645,0	630,0	130,7	441,9	270
Colômbia - 2	7,5	6,8	21	604,8	579,8	114,9	410,4	125
Uberaba	8,0	7,2	21	642,6	617,5	129,7	494,2	180

<sup>1</sup> TOD – Tempo de operação diário <sup>2</sup> RI – Raio irrigado

<sup>3</sup> RUT – Raio da última torre

Para simular a operação dos sistemas de bombeamento utilizou-se informações sobre o terreno e as tubulações dos pivôs centrais. O envelhecimento das tubulações foi simulado por meio da modificação do coeficiente atrito (C) na fórmula de perda de carga de Hazen-Williams. Foram escolhidos dois tipos de associação de bombas para cada pivô: em paralelo (bombas multi-estágio) e em série (bombas mono-estágio). As associações foram dimensionadas de acordo com a vazão e a pressão requeridas. As perdas de carga foram calculadas do seguinte modo:

a) Cálculo das perdas de carga na linha lateral, na adutora

Linha lateral:  $hf_{LL} = K_1 \times Q^{1,852}$

$$K_1 = 1,05 \times 0,541 \times 10,65 \times \frac{L_{LL}}{C_{LL}^{1,852} \times D_{LL}^{4,87}}$$

em que,

$hf_{LL}$  – perda de carga na linha lateral, mca

$L_{LL}$  – comprimento da linha lateral, m

$C_{LL}$  – coeficiente de atrito de Hazen-Williams para a linha lateral

$D_{LL}$  – diâmetro interno da linha lateral, m

Adutora:  $hf_{Ad} = K_2 \times Q^{1,852}$

$$K_2 = 1,05 \times 10,65 \times \frac{L_{Ad}}{C_{Ad}^{1,852} \times D_{Ad}^{4,87}}$$

em que,

$hf_{Ad}$  – perda de carga na adutora, mca

$L_{Ad}$  – comprimento da adutora, m

$C_{Ad}$  – coeficiente de atrito de Hazen-Williams para a adutora

$D_{Ad}$  – diâmetro interno da adutora, m

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 encontram-se as características topográficas e hidráulicas dos sistemas de irrigação, com tubulações usadas e novas na adutora e na linha lateral.

Tabela 2 – Características topográficas e das tubulações dos sistemas irrigação, e simulação do efeito do envelhecimento das tubulações sobre a altura manométrica total

Característica	Pivô e idade da tubulação					
	Colômbia-1		Colômbia-2		Uberaba	
Altura de sucção (m)	2		2		3	
Desnível 1 (Adutora, m)	40		25		63	
Desnível 2 (Linha lateral, m)	5		20		2	
<b>Adutora</b>	<b>Nova</b>	<b>Usada</b>	<b>Nova</b>	<b>Usada</b>	<b>Nova</b>	<b>Usada</b>
Coef. C <sup>1</sup>	135	110	135	110	135	110
Comprimento (m)	890		900		1490	
Diâm. interno (mm)	250		250		300	
Velocidade de escoamento (m/s)	2,50		2,32		1,94	
Perda de carga (mca)	23,8	33,3	21,6	29,6	19,9	27,7
<b>Linha Lateral</b>	<b>Nova</b>	<b>Usada</b>	<b>Nova</b>	<b>Usada</b>	<b>Nova</b>	<b>Usada</b>
Coef. C	130	110	130	110	130	110
Comprimento (m) <sup>2</sup>	645		604,8		569,5 / 73,1	
Diâmetro (mm) <sup>3</sup>	163		163,0		213 / 163	
Perda de carga (mca)	64,1	68,3	52,4	53,4	20,9	23,0
Pressão no final (mca)	20		20		13	
<b>Pivô</b>						
Perda de carga total	87,9	101,6	74,0	83,0	40,8	50,7
Pressão no pivô	92,1	96,3	95,4	96,4	38,9	41,0
Pressão na bomba	155,9	169,7	142,0	151,1	121,8	131,7
Altura manométrica total	158,9	172,7	145,1	154,1	125,8	135,7

<sup>1</sup> Coeficiente C determinado experimentalmente, no campo.

<sup>2,3</sup> Linhas laterais com mais de um comprimento e mais de um diâmetro têm os valores separados por barras.

A simulação mostra que o envelhecimento das tubulações aumenta a altura manométrica total nos três pivôs. O efeito foi mais acentuado no pivô Colômbia-1, devido à maior velocidade de escoamento na adutora, que levou a maiores perdas de carga nesse pivô. Apesar da menor velocidade de escoamento, o pivô Uberaba tem a maior adutora, o que

elevou o efeito do envelhecimento dessa tubulação sobre a altura manométrica total.

Na Tabela 3 encontram-se as características das associações de bombas em cada pivô, bem como a simulação de seu desempenho, considerando-se as características operacionais de cada associação e o efeito do envelhecimento da tubulação (nova e com 10 anos de uso).

Tabela 3 – Características dos sistemas de bombeamento com tubulações novas e usadas <sup>1</sup>

Bombeamento		Colômbia-1		Colômbia-2		Uberaba	
		Paralelo	Série	Paralelo	Série	Paralelo	Série
Nº de bombas		2	2	2	2	2	2
Rotores/bomba		2	1	3	1	3	1
Diâmetro de rotores (mm)		305	413	340	410	310	380
Rotação (rpm)		1750	1750	1750	1750	1750	1750
Vazão total (m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	Novo	441,9	441,9	410,4	410,4	494,2	494,2
	Usado	404,6	385,9	366,6	355,7	451,0	432,4
Pressão por rotor (mca)	Novo	39,7	79,5	48,4	72,5	41,9	62,9
	Usado	43,2	82,5	51,4	75,1	45,2	66,3
Pressão (saída da bomba, mca)	Novo	155,9	155,9	142,0	142,0	121,8	121,8
	Usado	169,7	162,0	151,1	147,1	131,7	128,5
Rendimento previsto		76%	81%	76%	78%	78%	82%
Pot. Absorvida (cv)	Novo	342,3	321,3	290,2	290,2	295,2	282,6
	Usado	340,4	294,8	275,3	253,5	294,4	262,1
Cons. Energia – Novo (kWh)		280,6	263,4	237,9	237,9	239,4	229,2
	Usado (kWh)	279,1	241,7	225,7	207,8	238,7	212,5
	Novo (kWh/m <sup>3</sup> )	0,63	0,60	0,58	0,58	0,48	0,46
	Usado (kWh/m <sup>3</sup> )	0,69	0,63	0,62	0,58	0,53	0,49
	Novo (kWh/mm)	829,9	779,0	666,1	666,1	628,4	601,5
	Usado (kWh/mm)	901,6	818,6	707,5	671,5	686,6	637,5
Acréscimo no consumo		8,63%	5,08%	6,22%	0,81%	9,26%	5,98%

<sup>1</sup> Tubulações com 10 anos de uso.

Para exemplificar as modificações ocorridas são apresentadas as curvas de carga do pivô Colômbia-1, novo e usado, encontram-se na Figura 1, bem como as curvas de vazão x pressão (Q x H) das bombas associadas em série e em paralelo.

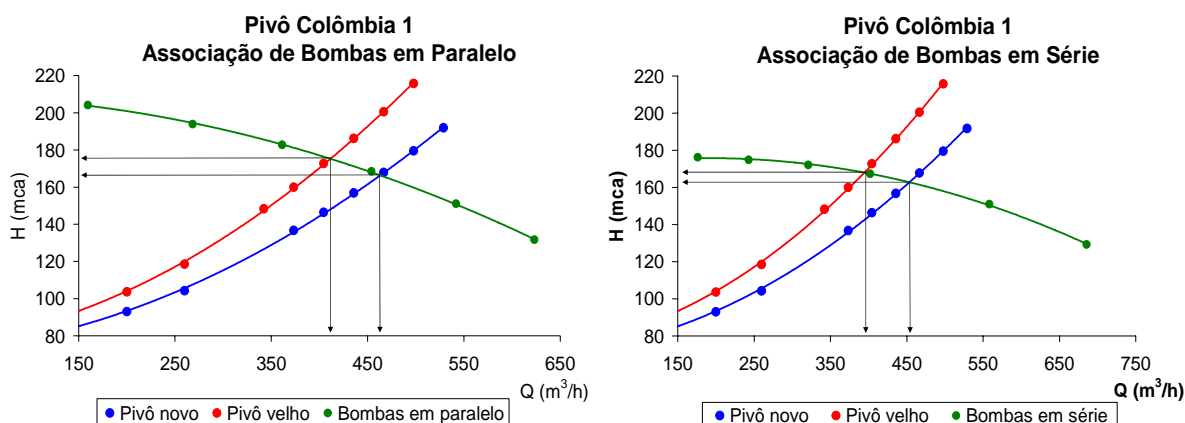


Figura 1 – Curvas vazão x pressão das associações de bombas em paralelo e em série e curva de carga do pivô central Colômbia-1.

O envelhecimento da adutora e da linha lateral deslocou o ponto de encontro entre as curvas de carga dos sistemas de irrigação e das bombas, mudando o consumo de energia. Os dados das últimas linhas da Tabela 3 mostram que a mudança foi mais acentuada para a associação de bombas em paralelo, cujo consumo energético aumentou 8,63%, 6,22% e 9,26% para os pivôs Colômbia 1, Colômbia 2 e Uberaba, respectivamente. Já as bombas em série tiveram aumento do consumo energético de 5,08%, 0,81% e 5,98% para os mesmos pivôs.

## CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos, pode-se afirmar que o tipo de associação de bombas interferiu grandemente nos resultados.

As associações de bombas em paralelo tiveram maior aumento de consumo energético por milímetro aplicado (kWh/mm), em relação às associações de bombas em série.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO NETO, J.M.; ALVAREZ, G.A. **Manual de Hidráulica**. v. 1, 7<sup>a</sup> ed., Rio de Janeiro: Edgar Blücher, 1991. 330 p.
- HOWELL, T.A. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. **Agronomy Journal**, v. 93, mar-abr., 2001. p. 281-289.
- POSTEL, S. Water and agriculture, p. 55-66. In: GLEICK, P.H. (ed.). **Water in crisis: a guide to the world's fresh water resources**. New York: Oxford Univ. Press, 1993.