

## Resumo

Um sistema de irrigação deve possibilitar o manejo eficiente da lâmina de água aplicada. Para tal, é necessário avaliar o desempenho do sistema em operação. Este trabalho teve por objetivo avaliar a uniformidade de distribuição, consumo de energia elétrica e lâmina de água aplicada por um equipamento de irrigação por aspersão do tipo pivô central em função da posição da linha lateral. Foram testadas três posições de linhas coletoras de água: aclive de 3,45%, nível e declive de 11,78%. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, sendo feitas três repetições em cada posição testada. Aplicou-se a análise de variância seguida do teste de Tukey. O valor médio do coeficiente de uniformidade de Heermann e Hein foi de 90,02%, qualificando a uniformidade de distribuição de água como muito boa segundo a Norma Brasileira 14244. A lâmina média ponderada de irrigação aplicada foi 5,84 mm, variando dentro de cada ensaio significativamente (5%) entre as posições de declive versus aclive e nível. Concluiu-se que a posição da linha lateral influenciou significativamente na uniformidade de distribuição, lâmina de água aplicada e consumo de energia.

**Palavras-chave:** aplicação de água; sistema de controle; rotação; pivô central

## Uniformidad de la distribución y lámina del agua aplicada en sistema de pivote central en función de la posición

### Resumen

Un sistema de riego debe permitir la gestión eficiente de la lámina del agua aplicada. Para esto es necesario evaluar el desempeño del sistema en funcionamiento. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la uniformidad de la distribución, el consumo de electricidad y la lámina del agua aplicada por un equipo de riego por aspersión con pivote central en función de la posición de la línea lateral. Fueran evaluados tres posiciones de las líneas de recolección de agua, la pendiente ascendente de 3,45%, el nivel y la pendiente en declive de 11,78%. El diseño experimental fue completamente aleatorizado, con tres repeticiones realizadas en cada posición de la prueba. Se aplicó el análisis de varianza seguido por prueba de Tukey. El coeficiente de uniformidad de Heermann e Hein fue 90,02%, que describe la uniformidad de distribución de agua como muy buena según la norma brasileña 14244. La lámina promedio ponderado de riego aplicada fue 5,84 mm, variando significativamente dentro de cada prueba (5%) entre las posiciones de la pendiente ascendente frente a la pendiente y el nivel. Se concluyó que la posición de la línea lateral ha influido considerablemente en la uniformidad de la distribución, la lámina del agua aplicada y el consumo de energía.

**Palabras clave:** aplicación de agua; del sistema de control; la rotación, pivote central

### Introdução

Na agricultura é essencial a aplicação correta da água às culturas, pois seu desenvolvimento está ligado a esta condição. A irrigação destaca-se como uma das principais técnicas hoje disponível a serem implantadas para elevar os níveis de produtividade no país.

O principal objetivo de um sistema de irrigação é proporcionar condições para produzir

## Uniformidade de distribuição e lâmina de água aplicada em sistema pivô central em função da posição relativa da linha lateral

*Adenilsom dos Santos Lima<sup>1</sup>, João Luís Zocoler<sup>2</sup>*

economicamente o que se consegue pelo aumento da produtividade e redução dos custos por unidade produzida. Neste aspecto, os parâmetros que expressam a qualidade da irrigação devem ser entendidos como componentes decisórios do processo de planejamento e operação dos sistemas de irrigação (FRIZZONE, 1992).

O conhecimento do desempenho do equipamento, principalmente em relação à uniformidade de distribuição de água e lâmina de

Recebido em: 15 out. 2009. Aceito para publicação em: 05 mar. 2010.

1 Eng. Agrícola, Dr. em Irrigação e Drenagem, e-mail: adenilsom@unix.com.br.

2 Prof. Livre-Docente – Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP.

*Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia v3 n2 Mai.-Ago. 2010*

*Print-ISSN 1983-6325 (On line) e-ISSN 1984-7548*

água aplicada, é imprescindível para se tomar medidas que permitam economizar água e energia. Quando se aplica somente a lâmina de irrigação necessária numa área (sendo que esta lâmina corresponde à lâmina média), devido à falta de uniformidade, uma fração dessa área é irrigada com excesso, enquanto que em outra fração ocorre déficit de água. 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, transportando também parte dos nutrientes daquela camada. Na fração com déficit, toda água infiltrada é considerada 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, podendo até se tornar inviável economicamente, além de agravar a lixiviação dos nutrientes. Portanto, a uniformidade de distribuição da água da irrigação deve ser analisada não apenas como uma simples informação de dispersão, mas sim como um importante parâmetro na avaliação econômica da irrigação (ZOCOLER et al., 2004).

FRIZZONE e DOURADO NETO (2003) citam que a uniformidade tem efeito no rendimento das culturas, sendo considerada um dos fatores mais importantes na operação dos sistemas de irrigação. O ensaio ou avaliação constitui a via para o levantamento dos dados necessários à tomada de decisão sobre melhorias a introduzir para elevar a eficiência do sistema de irrigação. Os ensaios de sistemas de irrigação são realizados para a avaliação de desempenho dos mesmos, com os seguintes objetivos fundamentais: (a) determinar a eficiência atual do sistema de irrigação; (b) determinar quanto efetivamente o sistema pode ser operado; (c) obter informações que auxiliem no projeto de outros sistemas; (d) obter informações que permitam a comparação de vários métodos de irrigação, sistemas e formas de operação, como base para tomada de decisões gerenciais.

SOUZA et al. (2002b), citado por COSTA (2006), estudando o efeito da uniformidade de distribuição de água no consumo de água em um sistema de irrigação tipo pivô central, concluíram pela possibilidade de economia de água de 25,9% quando

o sistema passa de um coeficiente de uniformidade de Christiansen – CUC de 64,8% para 85,6%.

Atualmente o bombeamento de água se tornou uma importante parcela do custo de produção, forçando o irrigante a procurar alternativas que possibilitem reduzir custos. Os motores elétricos são os equipamentos que consomem a maior parte da energia elétrica utilizada nos sistemas de irrigação, e o dimensionamento errado desses equipamentos poderá acarretar um maior consumo de energia elétrica (AZEVEDO, 2003). Nos sistemas de irrigação, normalmente os motores elétricos utilizados para acionamento das bombas são dimensionados para atender a máxima demanda de vazão associada com a máxima altura manométrica.

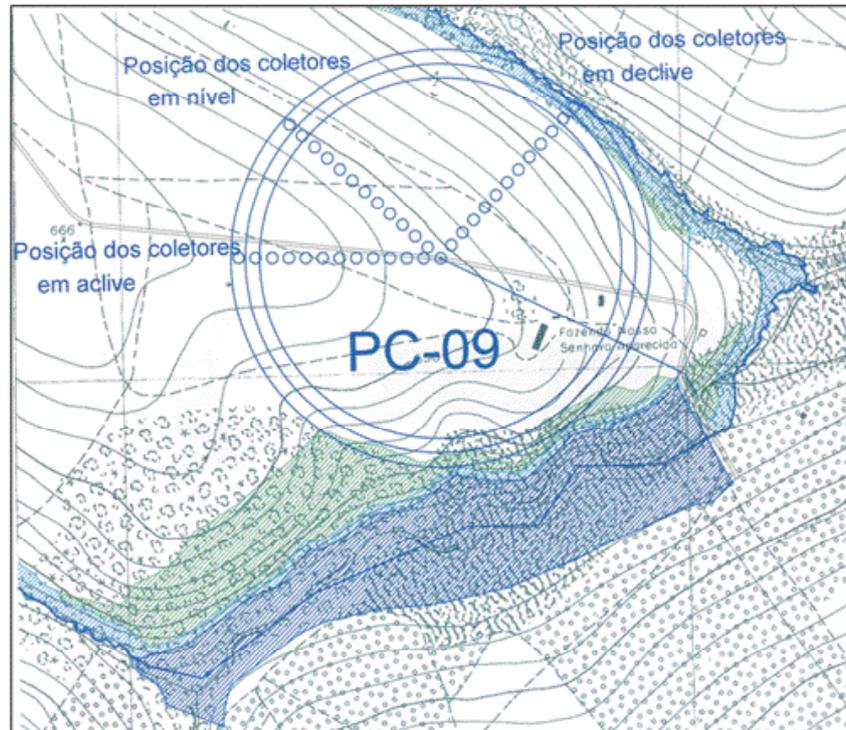
Neste contexto foi objetivo deste trabalho avaliar em um equipamento de irrigação por aspersão tipo pivô central a uniformidade de distribuição, lâmina de água aplicada e consumo de energia em função da posição da linha lateral.

## Material e métodos

Os ensaios foram realizados durante o mês de dezembro de 2009 e janeiro de 2010 na Fazenda Nossa Senhora Aparecida no município de Coronel Macedo, Estado de São Paulo, cujas coordenadas geográficas são: latitude de 23° 41' sul, longitude 49° 11' oeste e 630 m de altitude.

Na fazenda estão instalados três equipamentos de irrigação do tipo pivô central da marca Valley denominados de PC-07, PC-08 e PC-09. Esses equipamentos estão interligados por uma única adutora e trabalham de maneira intercalada com o mesmo conjunto de bombeamento, sendo este comandado por uma chave de partida do tipo Inversor de Frequência. Os ensaios foram realizados no pivô denominado PC-09 (Figura 01).

As principais características do equipamento de irrigação avaliado são: área circular irrigada: 43,94 ha; período (relê 100%): 6,87 h; vazão total: 338,59 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>; comprimento da linha lateral: 347,55 m; raio total irrigado: 374,0 m; desnível entre a bomba e o centro do pivô: 51,0 m. Foram testadas três posições para o ensaio: aclive de 3,45%, nível e declive de 11,78%. Os ensaios foram executados de acordo com o projeto de norma número 04:015.08-



**Figura 1.** Mapa planialtimétrico da área de localização do pivô central e disposição das linhas coletoras.

008 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT de 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. Para verificar a velocidade do vento e a temperatura durante os ensaios, foi utilizado um Termo-Anemômetro digital portátil da marca Instrutherm, modelo TAD-500, com leitura de velocidade de 0,3 a 45,0 m s<sup>-1</sup> e precisão de ± 3%. A evaporação durante o período de cada ensaio foi medida utilizando coletores de controle instalados nas adjacências da base do pivô, sendo que os valores obtidos foram somados às lâminas de água coletadas, conforme determina a Norma da ABNT para esse tipo de ensaio, perfazendo assim a lâmina líquida total

aplicada pelo equipamento.

As pressões no conjunto de bombeamento foram verificadas com o uso de um manômetro tipo Bourdon com leitura de 0 a 21,00 kgf cm<sup>-2</sup> e precisão de ± 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 em conformidade com as normas da ABNT para averiguação de desvios em relação ao projeto técnico.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, sendo feitas três repetições em cada posição testada. Aplicou-se a análise de variância seguida do teste de Tukey.

## Resultados e discussão

Os dados climáticos registrados no campo, velocidade do vento e evaporação dos pluviômetros (coletores), são mostrados na Tabela 1. Em relação à velocidade do vento durante os ensaios, verificou-se que os valores medidos não ultrapassaram o permitido no projeto de norma, no qual velocidade do vento

acima de 3,0 m s<sup>-1</sup> invalida os testes. Os valores observados durante os ensaios não ultrapassaram 2,7 m s<sup>-1</sup>.

A Tabela 2 mostra os resultados de uniformidade de distribuição para os ensaios. Verifica-se que somente houve diferença significativa entre a posição de nível para declive. Não foi um resultado esperado. Esperava-se que não houvesse diferença entre as posições ou pelo menos que fosse entre as linhas de declive e aclone, pois com a redução de rotação e de vazão na condição de aclone poderia haver uma distribuição menos uniforme na extremidade da linha lateral, que é onde se tem maior influência à variação entre as lâminas e, conseqüentemente, o coeficiente de uniformidade. Contudo, os valores obtidos classificam a uniformidade de aplicação, conforme a ABNT, como sendo boa (entre 85% a 89%) nas posições de aclone e nível e muito boa

(acima de 90%) na posição de declive. Esses elevados valores da uniformidade se devem, provavelmente, ao bom desempenho dos reguladores de pressão e do uso de emissores rotativos. Esses emissores trabalham com a mesma pressão de serviço que os emissores fixos, porém, tem um raio irrigado maior possibilitando uma sobreposição maior entre os emissores e, conseqüentemente, melhor resultado na uniformidade de distribuição.

ZOCOLER et al. (2004), avaliando um equipamento de irrigação do tipo pivô central em três posições de operação, verificaram que a posição da linha lateral não influenciou a uniformidade de distribuição de água do referido equipamento.

A Tabela 3 mostra os resultados de lâmina de água coletada nos ensaios. Verifica-se que houve diferença significativa somente entre a posição de aclone e declive. O aumento de rotação na posição em

**Tabela 1.** Valores de velocidade do vento e da evaporação durante os ensaios.

Posições	Repetições	Evaporação dos coletores (mm)	Velocidade do vento (m s <sup>-1</sup> )
Aclone	1	0,17	0,60
	2	0,00	0,10
	3	0,07	0,30
	1	0,20	0,50
Nível	2	0,07	1,00
	3	0,13	1,30
	1	1,40	2,70
Declive	2	1,00	1,60
	3	0,50	2,70

**Tabela 2.** Coeficiente de uniformidade de distribuição.

Posições	Repetições	Rotação da Bomba		Uniformidade de distribuição		
		(rpm)	média	CUH(%)	média	Tukey
Aclone	1	1610		89,66		
	2	1608	1610	89,48	89,75	ab
	3	1611		90,11		
Nível	1	1616		88,45		
	2	1607	1613	88,98	88,93	b
	3	1615		89,38		
Declive	1	1637		92,53		
	2	1632	1634	90,22	91,39	a
	3	1634		91,44		

Letras iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

declive e, conseqüentemente, na vazão é justificado pela programação inicial da chave que, ao identificar uma diminuição da altura manométrica pelos sensores instalados na saída do conjunto motobomba, fez com que houvesse aumento na rotação até atingir a pressão pré-estabelecida. Sendo assim, a curva característica da bomba sob maior rotação proporcionou aumento na vazão devido ao novo ponto de trabalho, conforme pode ser verificado na Figura 2.

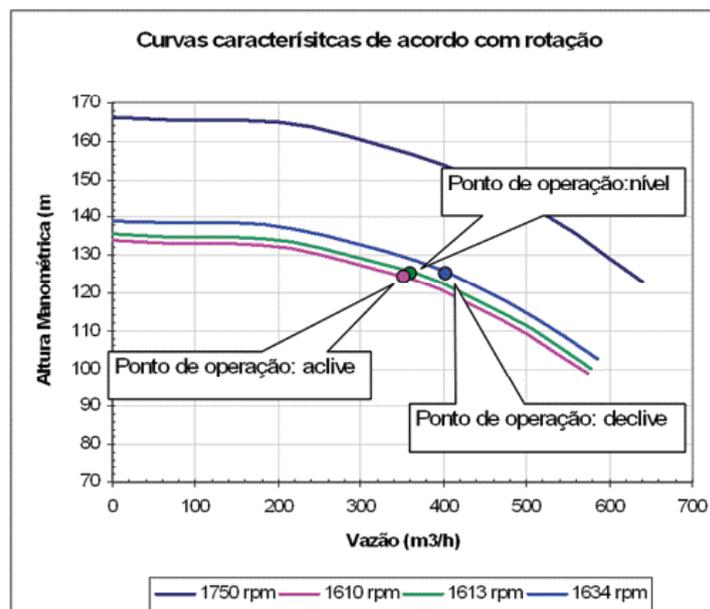
Contudo, não houve diferença significativa entre a posição em nível e declive. Isto ocorreu,

possivelmente, numa situação limiar, em que se uma pequena fração de lâmina que fosse menor na posição em nível (por exemplo: na repetição 1 se ao invés de 5,86 mm fosse 5,70 mm, ou seja, 0,16 mm a menos) já promoveria significância entre esta e a posição de declive. Outra explicação para que o aumento de vazão não tenha ocorrido na mesma razão do aumento de rotação na posição de declive consiste no fato que o acréscimo de vazão dos emissores não responde linearmente ao acréscimo de pressão, mas sim pela sua raiz quadrada  $(\Delta H)^{0.5}$ . Alia-se a isto a

**Tabela 3.** Lâmina de irrigação nos ensaios.

Posições	Repetições	Rotação da Bomba		Lâmina irrigada coletada		
		(rpm)	Média	(mm)	Média	Tukey
Aclive	1	1610		5,55		
	2	1608	1610	5,67	5,56	b
	3	1611		5,47		
Nível	1	1616		5,86		
	2	1607	1613	5,70	5,65	ab
	3	1615		5,38		
Declive	1	1637		6,48		
	2	1632	1634	6,65	6,31	a
	3	1634		5,81		

Letras iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.



**Figura 2.** Pontos de operação Hman (mca) x Vazão (m³ h<sup>-1</sup>) de acordo com pressões medidas no conjunto motobomba e vazões calculadas a partir da lâmina média ponderada para o Ensaio 1.

atuação dos reguladores de pressão que também se contrapõem ao aumento de vazão quando se aumenta a pressão e, por fim, a própria magnitude de variação de rotação entre estas posições que foi de apenas 1,49%.

Conforme a Figura 2, as curvas para cada rotação foram posicionadas junto aos respectivos pontos de operação dentro da margem que a programação permite (até 10% acima ou abaixo da leitura de rotação no visor da chave de partida).

ZOCOLER et al. (2004), avaliando o efeito da posição da linha lateral de um equipamento de irrigação do tipo pivô central na lâmina de irrigação aplicada concluíram que, apesar de a extremidade do pivô central variar 24,37 m verticalmente entre as posições de aclave e declive, não houve efeito significativo das posições nessa variável.

Na Tabela 4, verificam-se os parâmetros relacionados ao consumo de energia do conjunto motobomba durante os ensaios. Verifica-se que não houve significância entre os valores de potência desenvolvida pelos motores (kW) entre as posições de ensaio em aclave e nível, porém em relação ao declive esses valores foram significativos (nível de 1%). Essa comparação é feita porque rotação e consumo têm uma relação direta, pois, para manter o torque constante, o inversor de frequência deve manter a razão V/F constante, ou seja, caso haja mudança na frequência da rede (Hz), a tensão (V) deve mudar na mesma proporção para que a razão se mantenha na mesma proporção. Nesse caso, como a pressão de saída do conjunto motobomba

estava pré-determinada houve a necessidade de aumentar a rotação para manter a pressão constante e conseqüentemente houve também um acréscimo no consumo.

## Conclusões

Conforme condições desenvolvidas, pode-se concluir que:

As condições de operação (posições) do equipamento para os ensaios influenciaram os valores de uniformidade de distribuição, lâmina de água aplicada e consumo de energia.

Embora os resultados de uniformidade de distribuição tenham sido classificados como bom e muito bom o aumento de rotação na posição em declive demonstrou uma parametrização equivocada da chave de partida, pois com o aumento de rotação houve aumento no consumo de energia.

Os valores de lâmina de água aplicada para os ensaios ficaram acima dos valores especificados na ficha técnica fornecida pelo fabricante do equipamento, demonstrando a necessidade de se avaliar os equipamentos de irrigação após a instalação. Dessa forma, consegue-se melhorar o desempenho dos mesmos não só na questão de aplicação de água como em consumo de energia elétrica.

## Referências

Apresentadas no final da [versão em inglês](#).

**Tabela 4.** Valores de potência do conjunto motobomba.

Posições	Repetições	Rotação da bomba (rpm)	Pressão de recalque (mca)	Frequência do motor (Hz)	Tensão do motor (V)	Potência do motor		
						(kW)	Média	Tukey
Aclave	1	1610	124,50	54,1	342,0	162,0		
	2	1608	123,00	54,1	342,0	168,3	165,56	B
	3	1611	123,00	54,1	342,0	166,4		
Nível	1	1616	125,00	54,5	343,0	169,4		
	2	1607	125,00	54,1	340,0	166,6	167,50	B
	3	1615	125,00	54,3	343,0	166,5		
Declive	1	1637	125,00	55,1	348,0	186,5		
	2	1632	125,00	55,0	347,0	180,8	182,16	A
	3	1634	125,00	55,0	347,0	179,2		

Letras iguais não diferem entre si a 1% de probabilidade, pelo teste de Tukey.