

UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO E EFICIÊNCIA POTENCIAL DE APLICAÇÃO EM UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO DO TIPO PIVÔ CENTRAL^{1/}

Newton Carneiro dos Santos^{2/}

Gilberto C. Sedyama^{2/}

Enio Fernandes da Costa^{3/}

Antonio Alves Soares^{2/}

1. INTRODUÇÃO

Em grande parte do território brasileiro as condições climáticas são favoráveis à agricultura intensiva, prática limitada pelas irregularidades na distribuição pluviométrica. Esse risco pode ser minimizado pela irrigação, que garante condições hídricas satisfatórias durante a estação chuvosa e possibilita o cultivo na época seca do ano.

Dentre os vários métodos de irrigação, a aspersão é um dos mais usados. Essa preferência deve-se a vários fatores, como elevada uniformidade de distribuição da água, eficiência de irrigação, bom controle do volume de água aplicado na irrigação e adaptabilidade às diversas culturas, relevos e tipos de solo, bem como possibilidade de uso em culturas estabelecidas ou fase de plantio (8).

A escassez e a falta de especialização da mão-de-obra são fatores que limitam a adoção dos sistemas de irrigação por aspersão convencionais. Procurando solucionar o problema, os fabricantes vêm desenvolvendo equipamentos automatizados, como o pivô central e o pivô autopropelido, que possibilita a irrigação de médias e grandes áreas, com custos operacionais relativamente baixos.

O pivô central é constituído, em geral, de uma linha lateral, com aspersores, que opera em círculo, com velocidade prefixada e constante. Esse sistema foi patenteado em 1952, por Franck Zyback, no estado de Nebraska, E.U.A., e em 1960 já se encontravam em funcionamento duas centenas de conjuntos nas zonas áridas norte-americanas. Em decorrência da introdução de novos e modernos conceitos

^{1/} Aceito para publicação em 5-04-1988.

^{2/} Departamento de Engenharia Agrícola da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

^{3/} EMBRAPA/CNPMS — Sete Lagoas, MG.

de irrigação na agricultura, bem como do aperfeiçoamento tecnológico do sistema, sua expansão rapidamente ultrapassou as fronteiras dos E.U.A.

No Brasil, a fabricação desse equipamento teve início em 1978, com a associação da VALMONT, empresa norte-americana, com a ASBRASIL, originando a marca VALMATIC, que já fabricou e instalou equipamentos numa área superior a 50.000 hectares (13).

A expressiva adoção desse sistema de irrigação deve-se à sua automação, que proporciona grande economia de mão-de-obra e de tubulações, à facilidade de fertirrigação e à aplicação de defensivos agrícolas diluídos na água, além da aplicação de pequenas lâminas de água, com maior frequência, sobre a cultura.

Uma desvantagem desse sistema é a grande intensidade de aplicação na sua periferia, variando de 25 a 100 mm/h. Apresenta, ainda, em relação aos sistemas convencionais de aspersão, as seguintes limitações: difícil mobilidade entre áreas distintas; perda de áreas cultiváveis, da ordem de 20%; exigência de uma área totalmente livre de árvores, ou qualquer outro elemento de grande porte; e alto custo inicial.

A irrigação por aspersão, para suprir deficiências hídricas em determinadas épocas do ano, favorece o aumento da produtividade das culturas, o qual está estreitamente relacionado com a uniformidade de distribuição de água (3, 4, 5, 6).

A uniformidade de distribuição depende do perfil de distribuição produzido pelo aspersor, que, por sua vez, depende do vento, da pressão de serviço, da uniformidade de rotação, da altura da elevação, do diâmetro e tipo de bocal dos aspersores (4, 5).

Nos sistemas de irrigação do tipo pivô central, o movimento contínuo da linha lateral contribui para melhorar a uniformidade de distribuição de água, tornando-se importante parâmetro da eficiência desse sistema de irrigação. A baixa uniformidade das lâminas de água sobre a área irrigada pode levar a resultados comprometedores, reduzindo a eficiência de aplicação do sistema (2, 4, 5).

O manejo de um sistema de aspersão exige, dentre outras informações, o conhecimento da distribuição, quantidade e intensidade de água aplicada pelo sistema. O melhor meio para obter esses dados é determiná-los no campo, estando o sistema em condições normais de funcionamento (7, 9, 10, 11).

Em virtude da boa aceitação do sistema de irrigação do tipo pivô central, torna-se importante a avaliação do seu desempenho em condições de campo. Assim, o presente trabalho teve os seguintes objetivos:

- a) determinar a uniformidade de distribuição e a eficiência potencial de aplicação de água de um sistema de irrigação tipo pivô central em condições de campo;
- b) comparar os valores da uniformidade de distribuição determinados por meio do método descrito por MERRIAM *et alii* (12) e do sugerido pela ABNT (1);
- c) avaliar os resultados encontrados e fornecer subsídios aos fabricantes e usuários sobre o potencial de uso de manejo do sistema.

2. MATERIAL E MÉTODO

Este trabalho foi realizado no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS/EMBRAPA), localizado em Sete Lagoas, MG, cujas coordenadas geográficas são 19°28' S e 44°15' W e altitude de 732 m.

Foram determinadas a uniformidade de distribuição e a eficiência potencial

de aplicação, visando a avaliar o desempenho de um sistema de irrigação tipo pivô central, instalado numa área de cerrado, cujo solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Escuro Álico (LEa), textura argilosa. Os testes foram realizados em área coberta por vegetação rasteira, de 3 a 13 de fevereiro de 1987.

As características topográficas da área podem ser observadas na Figura 1.

O equipamento testado foi um pivô central VALMATIC, cujas especificações encontram-se no Quadro 1. A água foi captada de uma represa próxima à área dos testes, por meio de uma motobomba SIEMENS (motor elétrico trifásico, com potência de 40 c.v. e 1.760 rpm) e de uma bomba KSB (modelo ETA, tipo 80-40/3).

QUADRO 1 - Especificações do pivô central

Especificações	
. Marca:	Valmatic
. Modelo:	4071 - VSN/5-220 (modificado para baixa pressão)
. Propulsão	elétrico
. Comprimento da tubulação:	202,9 m
. Diâmetro da tubulação:	168 mm
. Material da tubulação:	aço zincado
. Número de torres:	5
. Distância entre torres:	
- Vão inicial:	39,52 m
- Vãos intermediários:	38,61 m
- Vão final:	38,53 m
- Balanço:	9,0 m

A uniformidade de distribuição de água do sistema foi determinada por meio do método clássico, citado por MERRIAM *et alii* (12), e do método sugerido pela ABNT (1).

O método clássico consiste em coletar as precipitações por meio de pluviômetros distribuídos numa disposição radial, a partir do centro. Numerados em ordem crescente, os quatro raios, perpendiculares entre si, constituem as linhas de número 1 (Figura 2).

Foram utilizados pluviômetros feitos de tubos de aço zincado, com seção de coleta de 58,9 cm². Distribuíram-se 42 pluviômetros por raio, espaçados de cinco metros, a partir de 15 metros do ponto pivô, sobre suporte de metal. Esses suportes tinham 50 cm de altura, para que a seção de coleta dos pluviômetros ficasse cerca de 30 cm acima da superfície, evitando-se, dessa maneira, interferência na coleta da precipitação. Os suportes foram cravados no solo, a uma profundidade que permitisse manter a altura desejada, obter estabilidade e assegurar o nivelamento da seção de coleta dos pluviômetros.

O método sugerido pela ABNT para determinar a uniformidade de distribuição é semelhante ao método clássico, diferindo apenas no item que se refere à distribuição dos pluviômetros no campo. Neste, os pluviômetros são instalados em

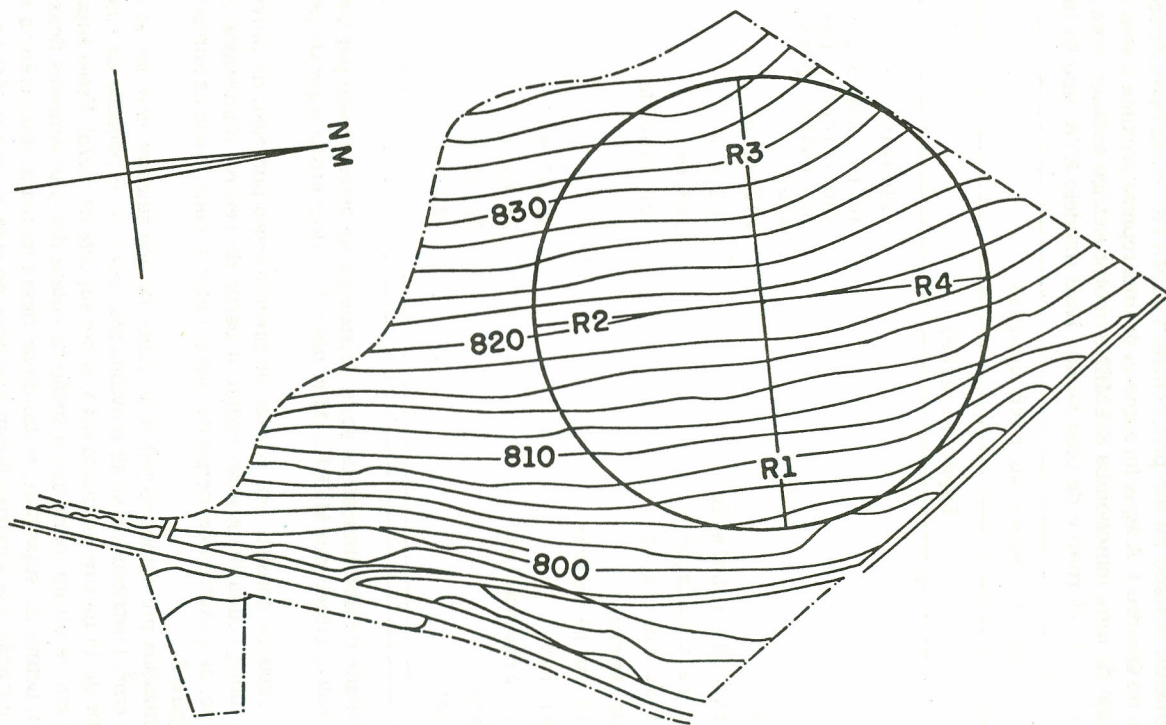


FIGURA 1 - Croqui da área em que foram realizados os testes, com a localização dos raios (R1, R2, R3 e R4).

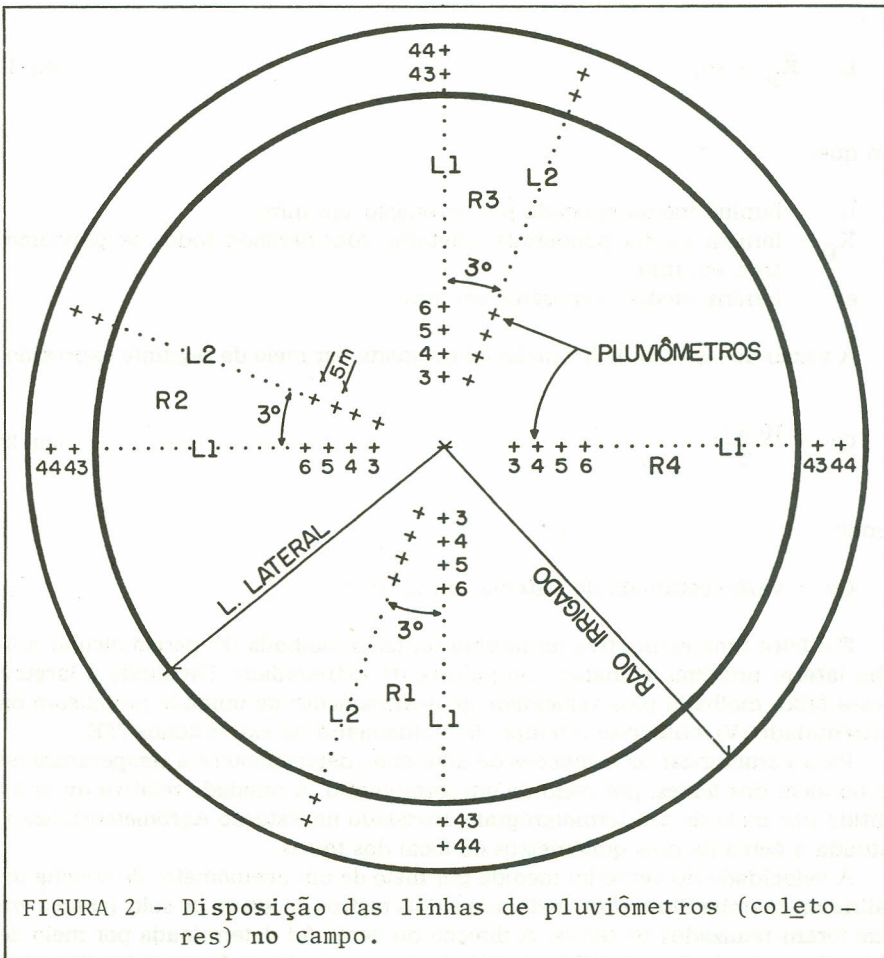
duas linhas radiais, formando um ângulo de três graus, para três diferentes posições na topografia: movendo-se a linha lateral em nível (R2), em aclave (R3) e em declive (R1) (Figura 2).

O volume coletado em cada pluviômetro foi medido o mais rápido possível, para diminuir o efeito da evaporação.

Como representam áreas maiores, conforme aumenta a distância do ponto pivô, os volumes coletados nos pluviômetros foram ponderados, isto é, multiplicou-se o volume coletado no pluviômetro pelo número correspondente à sua posição.

Para determinar a perda por evaporação, no momento em que os aspersores atingiram a linha de coletores, três pluviômetros de volume de água conhecido foram separados e mantidos próximos à área dos testes. No final do teste, por diferença, foi determinada a média das perdas por evaporação.

A regulagem da velocidade de deslocamento foi feita no painel de controle do pivô, através do relé percentual. O sistema foi testado com três velocidades, 100, 40 e 20%. Para cada velocidade, foram feitas três repetições. Durante os testes, foi



determinada a velocidade de deslocamento da unidade propulsora de extremidade (V), estabelecendo-se, com estacas, uma distância de 10 m ao longo da trilha da roda externa para cada raio. Com um cronômetro, mediu-se o tempo (t) necessário para que o equipamento fizesse o percurso entre as estacas. Como velocidade do sistema foi considerada a média dos quatro raios.

Para calcular o tempo (T) necessário para que o sistema completasse uma revolução, dividiu-se o perímetro da circunferência, descrito pela roda externa, pela velocidade da unidade propulsora da extremidade. A área irrigada foi dividida em quadrantes, cada um tendo como bissetriz o raio de distribuição das linhas de coletores. Dessa maneira, foi possível determinar o tempo gasto pelo sistema para percorrer o perímetro da circunferência irrigada, com a respectiva velocidade de deslocamento do sistema, correspondente a um raio determinado.

A partir do raio irrigado, determinaram-se a área irrigada de cada setor e, a partir do raio médio irrigado, a área total irrigada.

Para obter a lâmina total média aplicada (L), somou-se a média da evaporação (ev), medida nos três pluviômetros separados para essa finalidade, com a média da precipitação média total ponderada do sistema (\bar{X}_p), ou seja:

$$L = \bar{X}_p + ev, \quad (\text{eq. 1})$$

em que:

L = lâmina média aplicada por revolução, em mm;

\bar{X}_p = lâmina média ponderada coletada, considerando todos os pluviômetros, em mm;

ev = lâmina média evaporada, em mm.

A vazão do sistema de irrigação foi estimada por meio da seguinte expressão:

$$Q_e = \frac{10.A.L.}{T}, \quad (\text{eq. 2})$$

sendo

Q_e = vazão estimada do sistema, em $m^3.h^{-1}$.

Foi feita uma estimativa da largura da faixa molhada (F) perpendicular à linha lateral próxima à unidade propulsora da extremidade. Dividindo a largura dessa faixa molhada pela velocidade de deslocamento da unidade propulsora da extremidade (V), obteve-se o tempo de molhamento na extremidade (TE).

Para caracterizar as condições de ambiente, determinou-se a temperatura do ar no local dos testes, por meio de um termômetro. A umidade relativa do ar foi obtida por meio de um termoigrógrafo, instalado na Estação Agrometeorológica, situada a cerca de dois quilômetros do local dos testes.

A velocidade do vento foi medida por meio de um anemômetro de concha totalizador, marcha Shimadzu, instalado a dois metros de altura do solo, na área em que foram realizados os testes. A direção do vento foi determinada por meio de um catavento de fio estendido, instalado à mesma altura do anemômetro, com

distância de dois metros entre ambos.

A pressão de operação do sistema foi determinada por meio de um manômetro de Bourdon, com graduação de $0,2 \text{ Kgf.cm}^{-2}$, acoplado à tubulação do pivô.

Foram determinados o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), para cada raio, seguindo-se os dois métodos citados, para verificar as possíveis influências da temperatura e umidade relativa do ar, da velocidade e direção do vento e da pressão no pivô sobre a distribuição da precipitação.

Para analisar a uniformidade de distribuição de água do sistema, por raio, determinaram-se o coeficiente de uniformidade de distribuição e o coeficiente de uniformidade de Christiansen, pelo método clássico, a partir dos volumes coletados nos pluviômetros distribuídos na linha (L1) de coletores, para os quatro raios, e pelo método sugerido pela ABNT, a partir da média aritmética dos dois volumes coletados em pluviômetros de mesma ordem nas duas linhas de coletores, distribuídas nas três situações testadas.

Analisou-se a eficiência global do sistema, pelo método clássico, calculando-se o coeficiente de uniformidade de Christiansen e o coeficiente de uniformidade de distribuição, para cada velocidade testada, a partir da média aritmética dos volumes coletados nos quatro pluviômetros (\bar{X}_4R) da mesma ordem.

Transformou-se o volume coletado nos pluviômetros em lâmina coletada, dividindo-se o volume coletado pela seção de coleta do pluviômetro.

O coeficiente de uniformidade de Christiansen foi determinado por meio da equação a seguir, que é a equação de Christiansen modificada por HEERMANN e HEIN (10)

$$CUC = 100 \left(1,0 - \frac{\sum_{i=1}^n S_i |D_i - \bar{X}_p|}{\sum_{i=1}^n D_i S_i} \right), \quad (\text{eq. 3})$$

sendo

$$\bar{X}_p = \left(\frac{\sum_{i=1}^n D_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \right)$$

em que:

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen, em %;

\bar{X}_p = lâmina média ponderada coletada, considerando todos os pluviômetros, em mm;

D_i = lâmina coletada em cada pluviômetro, à distância S_i do pivô, em mm;

i = índice que denota um ponto de observação.

Para calcular o coeficiente de uniformidade de distribuição, adotou-se a definição dada pela ABNT (1), por meio da seguinte equação:

$$\text{CUD} = 100 \frac{d(25)}{\bar{X}_p} \quad (\text{eq.4})$$

em que:

CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição, em %;

d (25) = média ponderada da quantidade de água coletada nos 25% da área total que recebe menos água, em mm.

Para estimar a intensidade máxima aplicada, empregou-se a equação citada por MERRIAM *et alii* (12):

$$\text{Imáx} = \frac{1,5 \cdot 60 \cdot \bar{X}_p}{\text{TE}}, \quad (\text{eq.5})$$

em que:

Imáx = intensidade máxima aplicada, $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$.

Calculou-se a eficiência potencial de aplicação do sistema por meio da seguinte equação:

$$\text{EAP} = \frac{100-d(25)}{L}, \quad (\text{eq.6})$$

em que:

EAP = eficiência potencial de aplicação, em %.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 2 encontram-se os resultados do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), para cada velocidade testada, pressão média do pivô e velocidade média do vento.

Analisando os dados desse quadro, verifica-se, pelo resultado do teste um, um aumento na uniformidade de distribuição para a regulagem de 20%, em comparação à uniformidade obtida com a regulagem de 40 ou 100% da velocidade máxima. Todavia, isso não se repetiu nos demais testes. No segundo teste, a uniformidade de distribuição foi maior para a regulagem de 40%; no terceiro, não houve, praticamente, diferença entre as uniformidades obtidas com 40 e 20% da velocidade máxima.

Os valores médios do coeficiente de uniformidade de Christiansen (Quadro 2), calculados por meio do método clássico, a partir da média aritmética da precipitação, nos quatro raios, ficaram acima de 80%, valor considerado como limite mínimo para que o sistema opere com boa uniformidade de distribuição.

Os dados do coeficiente de uniformidade de Christiansen, do coeficiente de

QUADRO 2 - Coeficiente de uniformidade de christiansen (CUC) e coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), conforme a velocidade de operação do sistema, pressão média no pivô e velocidade média do vento

Teste	Regulagem da velocidade (%)	Pressão média no pivô ₂ (Kgf.cm ²)	Velocidade média do vento (ms ⁻¹)	CUC %	CUD %
01	100	2,95	0,60	84,23	80,60
	40	2,95	0,79	85,22	81,66
	20	2,98	0,76	87,38	83,78
02	100	3,00	1,67	84,00	80,32
	40	2,95	0,87	87,77	80,82
	20	2,95	1,25	85,51	77,00
03	100	3,00	1,40	76,00	74,13
	40	2,95	2,17	86,67	81,92
	20	3,00	0,79	86,53	80,20

uniformidade de distribuição (para R1, R2, R3 e R4), da média aritmética das lâminas coletadas nos quatro raios ($\bar{X}R4$), da velocidade de operação do sistema, da pressão média no pivô e da velocidade média do vento encontram-se no Quadro 3.

Para as condições em que foram realizados os testes, variando muito a direção e a velocidade do vento, em pequenos intervalos de tempo, os coeficientes obtidos por meio do método sugerido pela ABNT foram, normalmente, mais elevados do que os encontrados por meio do método clássico (Quadro 3), indicando a ocorrência de uma compensação da menor lâmina coletada numa das linhas por uma lâmina maior na outra linha.

Avaliando os resultados, verificou-se que, apesar de serem mais elevados, houve uma tendência de os coeficientes obtidos a partir do método sugerido pela ABNT ficarem bem próximos dos coeficientes obtidos por meio do método clássico.

Segundo o fabricante, o sistema testado é equipado com regulador de pressão, que permite o funcionamento em relevos ondulados, sem que a pressão nos aspersores ao longo da lateral seja muito alterada, propiciando adequada distribuição do jato. Contudo, observou-se que esses reguladores não estavam sendo eficazes, uma vez que a pressão nos aspersores da extremidade variava conforme a posição da linha lateral, isto é, a pressão média nos cinco últimos aspersores foi mais elevada que a obtida nos do início da lateral, quando em declive, ficando 96,6% acima da pressão recomendada pelos fabricantes. Quando a lateral operava em aclive, invertia-se a situação: a pressão nos aspersores do início da linha era superior à pressão nos aspersores da extremidade. Isso pode ter prejudicado o desempenho dos reguladores de pressão, fazendo com que os aspersores trabalhassem com pressão acima da recomendada, o que ocasionou pulverização excessiva do jato e reduziu a uniformidade de distribuição da água na área.

QUADRO 3 - Coeficiente de uniformidade de Christiansen, coeficiente de uniformidade de distribuição para os raios (R1, R2, R3 e R4), média aritmética das lâminas coletadas nos quatro raios ($\bar{X}4R$), velocidade de operação do sistema, pressão média no pivô e velocidade média do vento

Regulagem da velocidade (%)	Raio	Pressão média no pivô (Kgfcm ⁻²)	Velocidade média do vento (ms ⁻¹)	CUC		CUD	
				CUC (%)		CUD (%)	
				ABNT	Clássica	ABNT	Clássica
100	R1	2,8	2,03	78,49	76,40	74,31	72,00
	R2	3,0	0,60	81,34	74,55	76,37	69,61
	R3	3,2	0,59	78,87	79,56	75,36	74,02
	R4	3,0	1,68		75,33		68,11
	$\bar{X}4R$	3,0	1,22		81,74		78,35
40	R1	2,7	1,24	78,68	76,32	74,32	70,74
	R2	3,0	0,93	85,29	84,60	79,19	77,03
	R3	3,1	1,79	84,96	80,57	77,87	73,00
	R4	3,0	1,18		84,78		77,07
	$\bar{X}4R$	3,0	1,28		86,55		81,47
20	R1	2,7	0,54	81,58	82,10	72,51	74,28
	R2	3,0	1,06	83,93	81,81	75,52	73,97
	R3	3,2	0,59	86,18	83,79	80,11	76,25
	R4	3,0	1,54		84,74		78,34
	$\bar{X}4R$	3,0	0,93		86,47		80,33

O sistema apresentou distribuição de pressão mais uniforme ao longo da lateral quando esta operava em nível. Apesar de elevada, essa pressão representa a pressão de funcionamento do sistema, uma vez que constitui condição intermediária da topografia. Isso justifica o fato de ter a uniformidade de distribuição da água apresentado maiores coeficientes para a posição do R2, mais próximos dos coeficientes calculados a partir da média aritmética da precipitação coletada nos pluviômetros distribuídos nos quatro raios.

A média aritmética da precipitação, nos quatro raios, considerando a distância, ao longo do pivô, operando o sistema com 100%, 40% e 20% da velocidade máxima, acha-se nas Figuras 3, 4 e 5, respectivamente.

Observa-se, no Quadro 4, que, para a mesma velocidade operacional do sistema, quanto maior a temperatura e quanto menor a umidade relativa do ar, maiores as perdas por evaporação e, conseqüentemente, menor a eficiência potencial de aplicação.

Pode-se observar, ainda, maior eficiência potencial de aplicação para menor velocidade de deslocamento do sistema, o que pode ser atribuído à menor evaporação, devida ao aumento da umidade relativa do ar, quando o sistema estava operando com 20% da sua velocidade máxima.

No Quadro 5 estão listados os demais parâmetros de avaliação do desempenho do pivô, por raio, para o sistema como um todo.

No sistema, apareceram pontos com precipitação abaixo da média e outros bem acima (Figuras 3, 4 e 5), o que desuniformizou a distribuição da água na área. Para contornar o problema, podem-se trocar os bocais dos aspersores correspondentes para diâmetro imediatamente superior ou inferior e reduzir-lhes ou aumentar-lhes o espaçamento.

O Quadro 4 fornece a lâmina média total coletada, a lâmina média estimada aplicada e a eficiência potencial de aplicação, para as diferentes velocidades de operação do sistema, o que possibilita a verificação de que a menor velocidade de operação corresponde à coleta de maior lâmina média. A diferença entre a lâmina média total coletada e a lâmina média estimada aplicada corresponde às perdas por evaporação. Esse quadro apresenta ainda os dados de velocidade média do vento, temperatura média e umidade relativa do ar durante os testes.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Este trabalho foi conduzido no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, CNPMS-EMBRAPA, localizado no município de Sete Lagoas, MG, no período de 3 a 13 de fevereiro de 1987.

Foi utilizado, nos testes, um pivô VALMATIC, com três regulagens percentuais de velocidade de deslocamento.

A uniformidade de distribuição de água do sistema foi avaliada por meio do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), conforme recomendação do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), calculados a partir do método sugerido por MERRIAM *et alii* (12) (método clássico) e do método recomendado pela ABNT (1).

Para cada teste, foram determinados a velocidade de deslocamento da unidade propulsora da extremidade, o tempo necessário para uma revolução, a área irrigada, o volume de água armazenado em cada coletor, a vazão estimada do sistema, a lâmina média coletada, para cada regulagem percentual da velocidade de deslocamento do sistema, a largura da faixa molhada próxima à unidade propulsora da extremidade e o período de tempo em que o sistema aplica água em determinado ponto da extremidade.

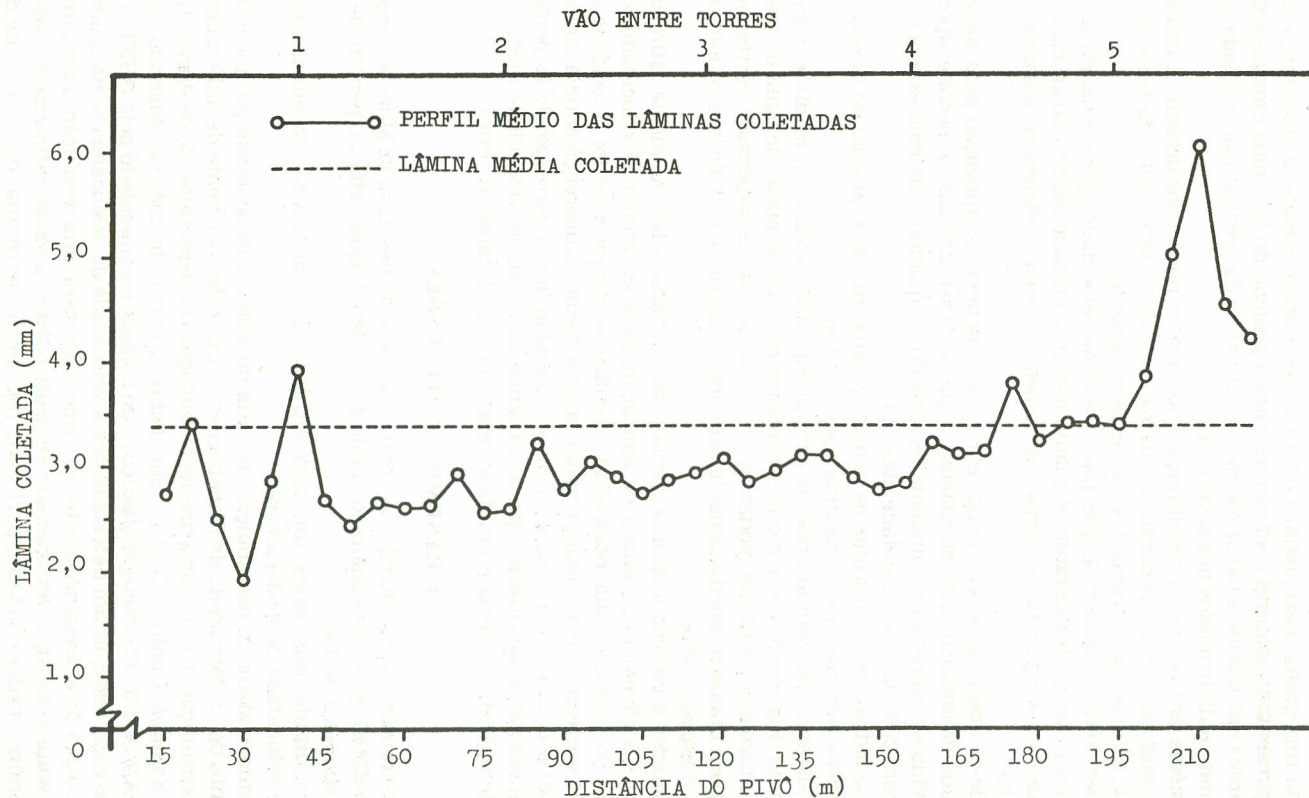


FIGURA 3 - Perfil médio das lâminas coletadas ao longo da linha lateral, para sistema com 100% da velocidade máxima.

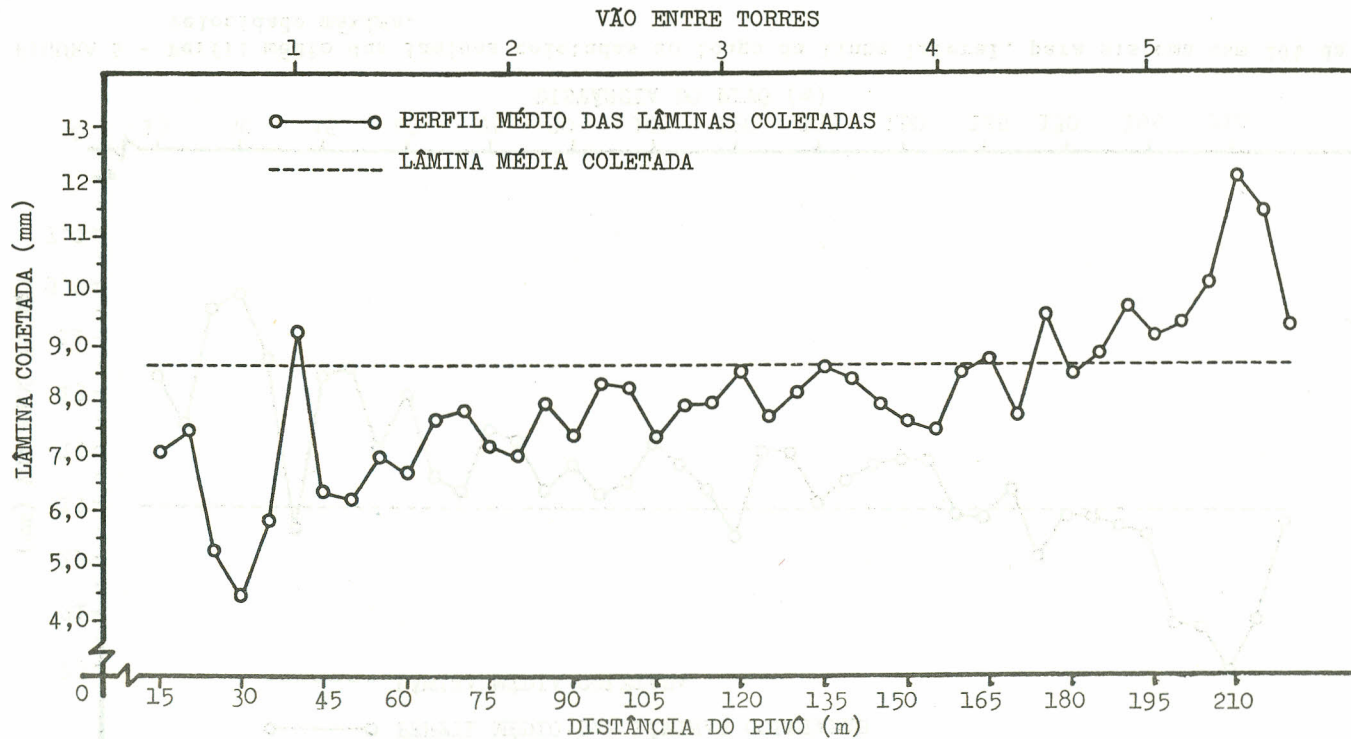


FIGURA 4 - Perfil médio das lâminas coletadas ao longo da linha lateral, para sistema com 40% da velocidade máxima.

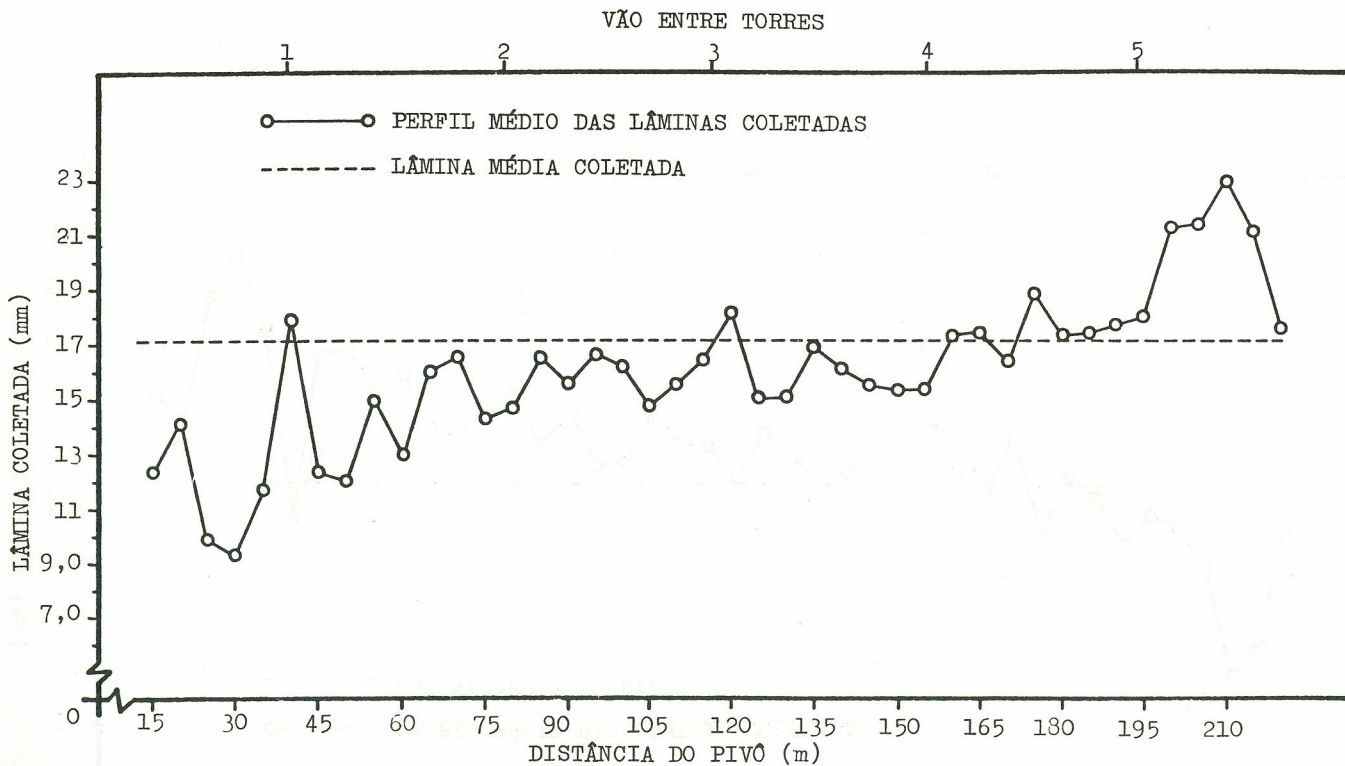


FIGURA 5 - Perfil médio das lâminas coletadas ao longo da linha lateral, para sistema com 20% da velocidade máxima.

QUADRO 4 - Lâmina média total coletada, lâmina média estimada aplicada e eficiência potencial de aplicação, conforme a velocidade de operação do sistema, velocidade média do vento, temperatura média e unidade relativa média do ar

Teste	Regulagem da velocidade (%)	Velocidade média do vento (ms^{-1})	Temperatura média (0°C)	UR média (%)	Lâmina média total coletada (mm)	Lâmina média correspondente aos 25% das menores lâminas (mm)	Lâmina média estimada aplicada (mm)	Eficiência potencial da aplicação (%)
01	100	0,60	28,6	60,4	3,24	2,61	3,79	68,9
	40	0,82	29,0	61,7	8,96	7,32	9,80	74,7
	20	0,76	28,3	64,6	17,02	14,26	18,23	78,2
02	100	1,67	26,8	63,9	3,47	2,79	3,97	70,3
	40	0,87	27,8	63,1	8,70	7,03	9,25	76,0
	20	1,25	27,1	63,1	16,20	12,47	17,18	72,6
03	100	1,40	24,9	66,8	3,43	2,54	3,84	66,1
	40	2,17	26,0	64,3	8,30	6,80	9,12	74,6
	20	0,79	24,5	65,5	18,26	14,46	19,04	75,9

QUADRO 5 - Parâmetros relacionados com a velocidade de operação do sistema, por raio (R1, R2, R3 e R4), a partir da média aritmética da lâmina coletada nos quatro raios (\bar{X}_{4R})

Parâmetros avaliados	RAIO												No sistema (\bar{X}_{4R})		
	R1			R2			R3			R4					
Regulagem da velocidade (%)	100	40	20	100	40	20	100	40	20	100	40	20	100	40	20
Velocidade da última torre (mh^{-1})	144,41	57,33	28,93	142,86	59,88	28,57	144,58	58,11	29,04	142,64	58,32	29,53	143,62	58,41	29,02
Raio irrigado (m)	234,50			232,40			231,20			232,70			232,70		
Área irrigada (ha)	4,32			4,24			4,20			4,25			17,01		
Tempo para um giro completo (h)	2,11	5,31	10,53	2,13	5,09	10,66	2,11	5,24	10,49	2,14	5,22	10,31	8,48	20,86	41,98
Largura de molhamento na extremidade (m)	12,60			12,40			12,30			12,40			12,43		
Tempo de molhamento na extremidade (min)	5,24	13,19	26,13	5,21	12,42	26,04	5,10	12,70	25,41	5,22	12,76	25,19	5,19	12,77	25,70
Precipitação máxima aplicada (mmh^{-1})	63,15	63,00	56,12	58,70	62,95	59,02	58,12	53,86	65,31	54,14	64,02	60,14	58,32	60,89	60,09
Vazão estimada (m^3h^{-1})	86,88	79,99	69,50	75,89	79,82	72,60	77,26	68,18	78,60	70,00	78,31	73,26	77,62	76,57	73,54

Com base nas condições em que foram realizados os testes, podem-se ter, dentre outras, as seguintes conclusões:

1) pelos valores dos coeficientes de uniformidade de Christiansen, o sistema estava operando com boa uniformidade de distribuição;

2) a lâmina coletada mostrou-se mais variável na porção inicial e final da linha lateral;

3) de acordo com o método sugerido pela ABNT para avaliar a uniformidade de distribuição de água em pivô central, devem-se distribuir as linhas de coletores numa posição representativa das condições topográficas do terreno;

4) a eficiência potencial de aplicação foi menor com temperatura elevada e baixa umidade relativa do ar;

5) menor velocidade de deslocamento propiciou maior eficiência potencial de aplicação e maior uniformidade de distribuição da água.

5. SUMMARY

(UNIFORMITY OF DISTRIBUTION AND POTENTIAL EFFICIENCY OF APPLICATION IN A CENTER PIVOT IRRIGATION SYSTEM)

The distribution uniformity of a three-speed center pivot was measured with the Christiansen uniformity coefficient on the basis of methods proposed by Merriam *et al.* and recommended by the ABNT.

The system presented a reasonable distribution uniformity. There was a greater variation in the depth of water applied at the beginning and ending of the lateral line.

In accordance with the methods recommended by the ABNT, the line of sprinkler water collectors functioned most accurately when placed in a position representing the average topography of the area.

The potential application efficiency increased as the relative humidity decreased.

In general, the potential application efficiency and the water distribution uniformity were greater for the lower system speeds.

6. LITERATURA CITADA

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Sistema de irrigação por aspersão pivô central-caracterização de desempenho - método de ensaio*. 1º Projeto de Normas. Rio de Janeiro, 1984. 22p (PN 12:02.08-005).
2. ADDINK, J.W., MILES, D.L. & SKOGERBOE, G.V. Water intake under center-pivots from time-varying application rates. *Trans. of the ASAE*, 18(3):523-525, 1975.
3. BARRETO, G.B. *Irrigação; princípios, métodos e prática*. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1974. 185p.

4. BERNARDO, S. *Manual de Irrigação*. 3. ed. Viçosa, Imprensa Universitária, 1984. 463 p.
5. CHRISTIANSEN, E.J. *Irrigation by sprinkling*. Berkeley, University of California, 1942. 142p. (Bulletin, 670).
6. DAKER, A. *A água na agricultura; irrigação e drenagem*. 6 ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1984. v. 3. 543p.
7. DILLON, R.C.; HILLER, C. A. & VITTETOE, R. Center-pivot sprinkler design based on intake characteristics. *Transaction of the ASAE*, 15(5): 966-1001, 1972.
8. FARIA, M.A. & VIEIRA, J. Irrigação por aspersão - sistemas mais usados no Brasil. *Informe Agropecuário*, 12(139):27-39. 1986.
9. HART, W.E.; PERT, G. & SKOGERBOE, G.V. Irrigation performance: an evaluations. *Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE*. 105(IR 3): 275-88, 1979.
10. HEERMANN, D.F. & HEIN, P.R. Performance Characteristics of self-propelled center-pivot sprinkler irrigation system. *Transaction of the ASAE*, 11(1):11-15, 1968.
11. LYTHIN, J. N. *Drenaje de tierras agrícolas; teoria y aplicaciones*. Mexico, Linusa, Wiley, 1967. 684p.
12. MERRIAM, J.L.; KELLER J. & ALFARO, J. *Irrigation system evaluation and improvement*. Logan, Utah State University, 1973. s.p.
13. RIGITANO, E.J.V. *Manual básico sobre irrigação*. São Bernardo do Campo, ASBRASIL, S.d. 51p.