

DESEMPENHO HIDRÁULICO E DIÂMETRO DE GOTAS DE UM CANHÃO DO TIPO TURBINA

Júlio H. Fernandes César¹, Felizardo Adenilson Rocha², Antônio Marciano da Silva³; Carlos Rogério de Mello³

¹Faculdade da Terra, Brasília, DF, jhfcesar@ig.com.br

²Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG,

³Departamento de Engenharia, Universidade Federal Lavras. Lavras, MG.

1 RESUMO

O trabalho objetiva avaliar o desempenho técnico do aspersor canhão do tipo turbina Mercury. Para este estudo foram testados três bocais (16, 20 e 22 mm), com pressões de serviço de 250, 300, 350, 400, 450 e 500 kPa, pelo método de ensaio radial, com a finalidade de verificar a influência destes parâmetros na uniformidade de distribuição, intensidade de aplicação, diâmetro médio de gotas, raios de alcance e uniformidade de rotação. Observou-se que o diâmetro médio de gotas aumentou à medida que se reduziu a pressão de serviço, sendo que o comportamento do mesmo não se adaptou ao modelo clássico de aumento gradual do diâmetro médio das gotas pois foram constatados vários diâmetros de gotas ao longo do raio molhado. Os dados de vazão versus pressão se ajustaram à equação potência, onde o bocal 16 mm mostrou-se mais susceptível às variações de pressão de serviço. O perfil de distribuição demonstrado é do tipo "doughnut" e retangular. Os dados de uniformidade de rotação demonstraram a eficiência do sistema de rotação do tipo turbina. Recomenda-se o uso das tabelas geradas em substituição ao catálogo do fabricante.

UNITERMOS: Irrigação por aspersão, perfil de distribuição, coeficiente de uniformidade.

CESAR, J. H. F.; ROCHA, F. A.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R. HYDRAULIC PERFORMANCE AND DROP DIAMETER OF TURBINE-TYPE GUN SPRINKLER

2 ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the technical performance of a Mercury turbine-type gun sprinkler. The study was developed with three nozzles (16, 20 and 22 mm), operating pressures of 250, 300, 350, 400, 450 and 500 kPa, using the radial method test to verify the influence of these parameters on distribution uniformity, precipitation rate, average drop diameter, reach radius and rotation uniformity. It was verified that the average drop diameter increased as the operating pressure decreased, and that did not fit the classic model of gradual increase of the average drop diameter because several diameters were verified along the wet reach radius. The discharge data versus pressure were adjusted to potential equation, and the 16 mm nozzle was the most susceptible to service pressure variations. The water distribution profile is "doughnut"-like and rectangular. The rotation uniformity data demonstrated the efficiency of the turbine-type rotation system. Thus, the use of the produced tables in this study is recommended to substitute the manufacturer's manual.

KEYWORDS: sprinkler irrigation, distribution profile, irrigation uniformity.

3 INTRODUÇÃO

A irrigação por aspersão tem contribuído acentuadamente para o aumento da área irrigada. Como isso, têm aumentado também o número de empresas fabricantes de equipamentos de irrigação no Brasil.

Nos tempos de elevada competitividade entre os fabricantes nacionais, incrementada pela concorrência externa, deflagrada pela globalização da economia e abertura do mercado às importações, acentua-se a necessidade de uma melhoria na qualidade dos produtos nacionais, a qual, tem na avaliação dos produtos, um subsídio de extrema valia (BERNARDO, 1989; KELLER & BLIESNER, 1990). A aplicação de testes segundo as normas padronizadas torna-se cada vez mais, uma necessidade de sobrevivência no mercado.

A adaptabilidade do produto importado às condições brasileiras é, sem dúvida, um requisito essencial para o sucesso comercial e para manutenção da confiança dos consumidores em relação a um importador. Essa premissa é atingida com a sujeição do produto aos testes propostos pela norma ISO 7749-2 International Organization for Standardization (1990), onde os possíveis defeitos ou qualidades são apontados. Cria-se assim, subsídios para que o importador obtenha, em futuras importações, uma garantia maior de qualidade do produto junto ao fabricante trazendo para si um retorno seguro do capital investido (MARTIN-BENITO et al., 1992; ROCHA, 2000).

O aspersor canhão do tipo turbina tem sua rotação originada pela reação do jato em contato com as palhetas da turbina, obtendo uma rotação uniforme e dispondo de um sistema de reversão lenta e gradual, diferenciando-se dos aspersores tradicionais amplamente difundidos (TOMAZELA, 1996).

Neste sentido, o tamanho de gotas desses aspersores e seus efeitos também podem influenciar a seleção de equipamentos, assim como a uniformidade e eficiência desses sistemas de irrigação. Solomon et al. (1991) afirmam que o tamanho de gotas de um aspersor pode modificar o seu perfil de distribuição, sendo influenciado pelo vento, pela evaporação e deriva. Esses autores relatam que gotas de diâmetros maiores podem ocasionar queda de flores em culturas sensíveis como o feijão e até mesmo selamento da superfície do solo.

Diante do exposto, testes de diâmetros de gotas são de extrema importância para os fabricantes e revendedores de aspersores de médio e grande porte, devido à necessidade de desmistificar o uso dos mesmos, somente para as culturas perenes, pastagens, canaviais, ou na aplicação de resíduos. Observa-se claramente uma tentativa de abertura de mercado para utilização do produto em irrigação de culturas consideradas “sensíveis”, para as quais a recomendação desses aspersores, ao longo do tempo, foi tida como um erro técnico.

Assim sendo, conjugando os interesses da indústria METAL LAVRAS Ltda, firma produtora de equipamentos de irrigação com os do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, por intermédio da Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais, desenvolveu-se o presente trabalho com a finalidade de avaliar o desempenho técnico de aspersores canhão do tipo turbina, que a referida indústria importa da *Società Hidromecânica Emiliana (SIME)* Itália.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados no Campo de Testes da Indústria Metal Lavras, no município de Lavras, região Sul de Minas Gerais, geograficamente definida pelas coordenadas de 21° 14' de latitude Sul, 45° 00' de longitude Oeste, e altitude de 910 m.

Para realização dos ensaios, utilizou-se de um aspersor da SIME (*Società Hidromecânica Emiliana*) importado da Itália, pela indústria Metal Lavras Ltda. O modelo testado foi o MERCURY com diâmetro de base 50,8 mm e bocais 16 mm, 20 mm e 22mm, sendo as pressões estabelecidas dentro da faixa de operação recomendada pelo fabricante. O método de ensaio utilizado foi o

preconizado pela norma International Organization for Standardization 7749-2 (1990) que discorre sobre o método radial.

A área para testes é de 22000 m², topografia plana, com reservatório de 40 m³, abastecido por um conjunto motobomba diesel com motor MWM 6-10 T e bomba FAL capacidade de 125 m³ h⁻¹ e elevação de 100 m.c.a. situada no ribeirão próximo à indústria. Do reservatório ao equipamento, outro conjunto motobomba foi utilizado para atender aos testes. O aspersor foi instalado a uma altura de 1,70 m em tripé com tubo de subida de 76,2 mm fabricado para uso em campo. A altura do bocal em relação ao solo foi de 2,10 m.

A vazão do aspersor foi medida por meio de um medidor de palhetas *Ômega* previamente aferido com a média de três leituras por teste. Com os valores de pressão e vazão a equação potencial foi aplicada para demonstrar a relação vazão versus pressão (KELLER e BLIESNER, 1990).

A velocidade de rotação foi medida por cronômetro totalizando o tempo necessário para uma volta completa e por quadrante. A medição por quadrante foi necessária para comprovar a uniformidade de rotação e a eficiência do sistema mecânico tipo turbina. Foram realizados três tomadas de tempo por teste.

A distribuição dos coletores na área foi na forma radial, de acordo com a norma International Organization for Standardization 7749-2 (1990). O espaçamento entre coletores foi de 2 m, conforme especificado pela norma para aspersores com diâmetro de cobertura maior que 20 m. A altura da borda do coletor em relação ao solo foi de 0,70 m e do centro do bocal em relação a borda do coletor de 1,40 m, atendendo a norma citada, que estabelece um altura de dez vezes o diâmetro do tubo de subida e não menos que 0,50 m. Os testes tiveram duração de uma hora, conforme especifica a norma citada. A necessidade da total ausência do vento exigida pela norma foi contornada com a realização dos testes nas primeiras horas da manhã e no final da tarde.

Quanto às perdas por evaporação foram utilizados três coletores próximos a área de teste. A perda foi estimada pela média dos coletores e reposta em cada coletor. As medidas climáticas de temperatura, umidade e velocidade do vento foram originadas de uma estação climatológica *Davis*, localizada a 40 m da área de testes.

Os coeficientes de uniformidade foram determinados simulando um conjunto de aspersores operando simultaneamente em disposições retangulares e triangulares, com vários espaçamentos inferiores a 60% do diâmetro molhado pelo aspersor, sendo considerado o raio de alcance como a distância do aspersor ao coletor de precipitação mínima de 0,25 mm h⁻¹, conforme a norma. Se a lâmina requerida estiver entre dois coletores, o raio será obtido por interpolação linear conforme a norma ISO 7749-2 (1990).

O programa computacional CACHT3D versão 4.6 foi utilizado para simular uma malha de coletores e aspersores dispostos de forma retangular e triangular com espaçamentos variados e inferiores a 60% do diâmetro molhado (ROCHA, 2000). Os coeficientes de uniformidade de Christiansen também foram gerados para cada espaçamento.

As intensidades de precipitações para cada tipo de disposição foram calculadas seguindo as orientações de Gomes (1994) como a seguir:

Disposição retangular:

$$I = \frac{q}{S_1 \times S_2} \quad (1)$$

Disposição triangular:

$$I = \frac{\sqrt{3} \times q}{1.5 \times S_1^2} \quad (2)$$

em que: I = intensidade de aplicação (mm h⁻¹); q = vazão do aspersor (l h⁻¹); S₁ = espaçamento na linha (m); S₂ = espaçamento entre linhas (m).

O coeficiente de uniformidade de Christiansen foi obtido pela fórmula:

$$CUC = 100x \left(1,0 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n\bar{X}} \right) \quad (3)$$

em que: CUC = Coeficiente de uniformidade de Christiansen, expresso em porcentagem; X_i = Altura de precipitação coletada no iésimo coletor; \bar{X} = Altura de precipitação média dos coletores; $\sum |X_i - \bar{X}|$ = Somatório dos desvios absolutos dos valores de X_i em relação à média \bar{X} ; n = Número de coletores.

Os testes de diâmetros de gotas foram realizados conforme Vilela (1995), cuja equação que representa o peso médio do grânulo e o diâmetro da gota é:

$$D = 1,0874 P^{0,364412} \quad (4)$$

em que: D = diâmetro da gota (mm) e P = peso médio do grânulo (mg)

O diâmetro de gotas foi obtido utilizando-se o método da farinha. Por este método, a farinha é acondicionada em recipientes de vidro com 0,150 m de diâmetro e 0,04 m de altura, sendo colocados sobre suportes de madeira a 0,70 m do solo, para evitar respingos (ROCHA, 1998; VILELA, 1995). Em seguida, os recipientes foram alinhados e espaçados de 4 em 4m em relação ao centro do aspersor, para bocal 16 mm; de 5 em 5 m para bocal 20 mm e de 7 em 7 m para o bocal de 22 mm.

Após o jato de água passar pelo recipiente promoveu-se a retirada dos mesmos, deixando-os duas horas ao ar livre para formação dos grânulos. Depois os recipientes foram conduzidos à estufa onde permaneceram por um período de 24 horas a 105 °C. Posteriormente, a farinha foi peneirada em um jogo de peneiras de malhas 4,75; 4,00; 2,80; 1,70; 1,18; 1,00; 0,85; 0,60 e 0,425 mm, de onde foram separados, pesados e contados os grânulos de mesmo diâmetro, em cada recipiente relativo a cada posição. Com esses valores e com base na curva de calibração obtida por Vilela (1995) e utilizada por Rocha (1998), determinou-se o diâmetro médio das gotas para cada pressão de serviço utilizada.

No teste de diâmetro de gotas, foram avaliados três valores de pressão para os três bocais selecionados com as mesmas características de montagem para o teste de uniformidade descrito anteriormente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 são apresentadas as equações potenciais ajustadas e os respectivos coeficientes de determinação. Para cada modelo e bocal, tem-se cinco valores de pressão e vazão.

Os dados ajustaram-se muito bem a equação potencial amplamente empregada. Um maior expoente na equação potencial, permite uma maior variação da vazão em função de uma variação mínima da pressão de serviço. Sendo assim, pode-se afirmar que o bocal 16 mm está mais susceptível as variações de pressão, e o bocal 20 mm apresenta uma característica de permitir uma oscilação maior na pressão de serviço sem causar o aumento da vazão.

Nas Figuras 2 e 3 são apresentados alguns dos perfis de distribuição das intensidades de precipitação para o modelo Mercury, de acordo com o bocal e a pressão estabelecidos.

Em todos bocais testados, observou-se que à medida que se aumentou a pressão de serviço, houve uma maior uniformidade de aplicação de água e, conseqüentemente, um melhor perfil de distribuição. Nas Figuras 2 e 3 é mostrado um exemplo deste comportamento.

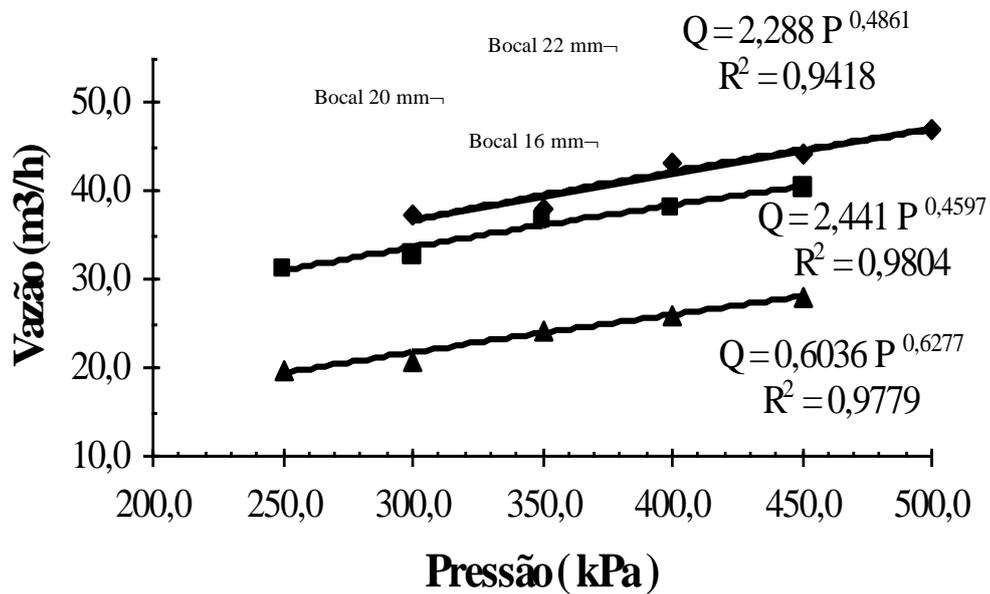


Figura 1. Dados comparativos da equação característica da vazão em função da pressão para o aspersor Mercury, bocais 16 , 20 e 22 mm.

Aspersores de grande porte trabalhando com baixa pressão de serviço, apresentam uma quebra do jato deficiente e conseqüentemente um espectro de gotas de maior diâmetro, originando uma precipitação maior próxima ao eixo do aspersor e sobre uma coroa intermediária do círculo molhado. Segundo Gomes (1994), a concentração sobre a coroa intermediária é decorrente da redução da velocidade de saída pelo bocal do aspersor, unida a uma fragmentação do jato em gotas maiores. Desta forma caracteriza-se o perfil do tipo "doughnut" para essas situações. Observou-se a formação de perfil de distribuição do tipo "doughnut" para o bocal 22 mm quando operando a baixas pressões de serviço.

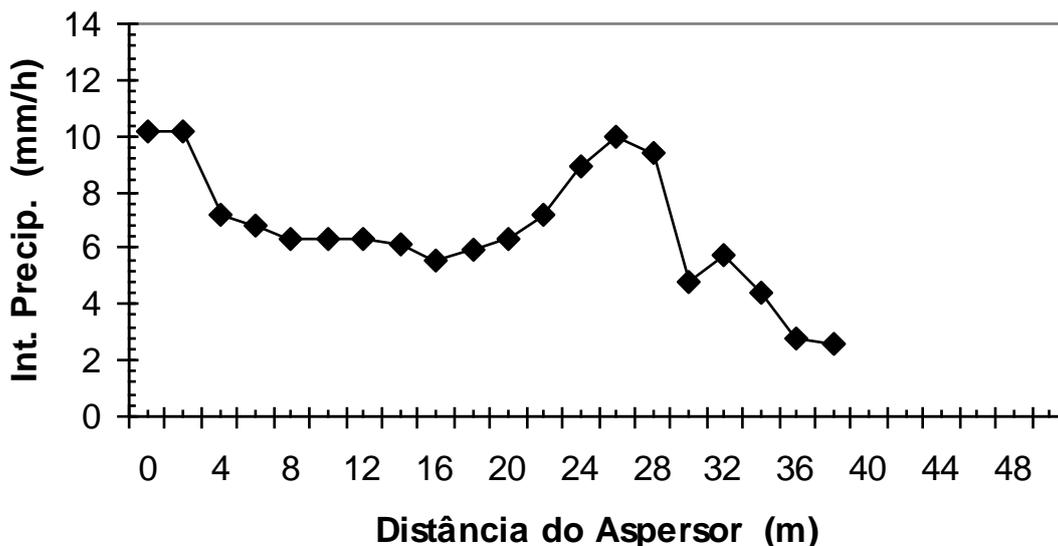


Figura 2. Perfil de distribuição da intensidade de precipitação para o aspersor Mercury bocal 22 mm e pressão de 300 kPa.

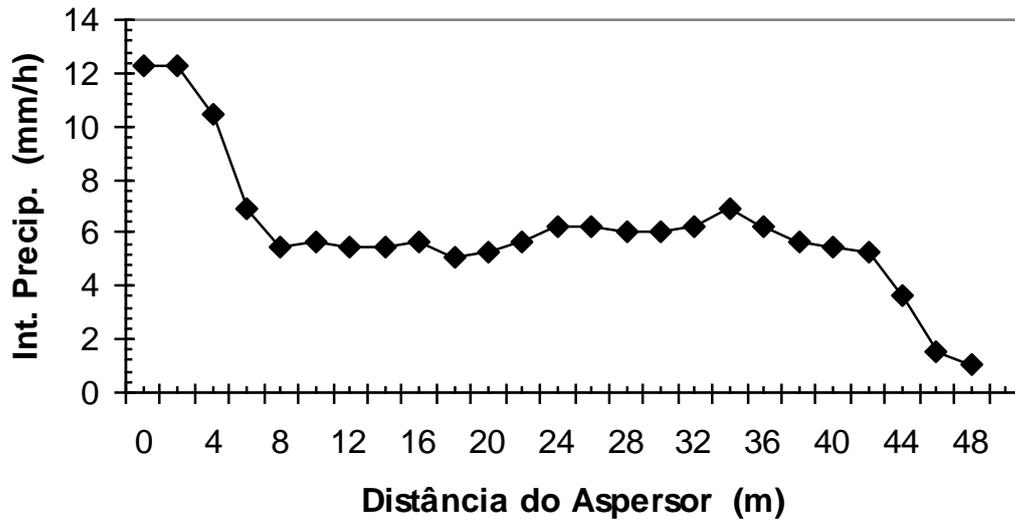


Figura 3. Perfil de distribuição da intensidade de precipitação para o aspersor Mercury bocal 22 mm e pressão de 500 kPa.

Pela Figura 4 pode-se observar um aumento uniforme da rotação à medida que se aumentam as pressões de serviço e que para os bocais de diâmetros maiores a rotação tende a ser mais uniforme. Em geral, todos bocais apresentaram velocidade de rotação inferior a 0,5 rotação por minuto, o que de acordo com BERNARDO (1989) é ideal para aspersores de grande porte.

O aspersor Mercury apresentou em todos os ensaios, rotação inferior à máxima (3,0 rpm), preconizada pela norma ISO 7749-1 (1995), para realização dos testes.

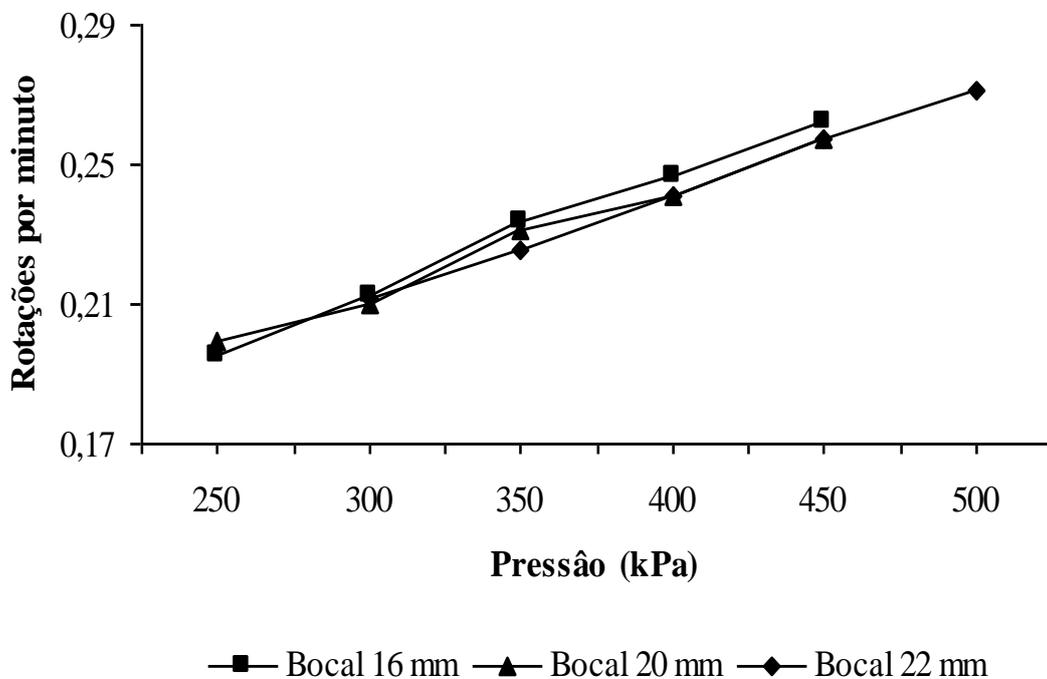


Figura 4. Velocidade de Rotação do aspersor Mercury, em função da pressão e do diâmetro do bocal.

Os resultados dos coeficientes de uniformidade de Christiansen para as disposições retangulares e triangulares em diferentes espaçamentos estão apresentados nas Tabelas 1 e 2 onde também estão inseridas os valores de intensidade de precipitação.

Para a disposição retangular o maior espaçamento considerado foi entre linhas e na disposição triangular o maior espaçamento na linha de aspersores.

Tabela 1. Intensidade média de precipitação (mm h^{-1}) e coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para diferentes combinações de pressão e espaçamentos retangulares para o aspersor Mercury bocal 16 mm.

P KPa	Q m^3/h	R m	I un. mm/ h	ESPAÇAMENTOS EM DISPOSIÇÃO TRIANGULAR $S_1 \times S_2$											
				S_1 X S_2	18 x 24	24 x 24	24 x 30	30 x 30	30 x 36	36 x 36	36 x 42	48 x 48	48 x 54	54 x 60	60 x 60
250	19.7	30	7.00		45.6 *93.6	34.2 *93.3	27.4 *83.8	21.9 *79.7	18.3 *82.9	15.2 *77.5	13.0 *75.2				
300	20.9	32	6.50				29.0 *89.7	23.2 *85.4	19.3 *79.6	16.1 *80.0	13.8 *79.9	9.0 *71.9			
350	24.2	34	6.70				33.7 *91.6	26.9 *87.8	22.4 *82.9	18.7 *80.9	16.0 *82.6	10.5 *76.4	9.3 *75.3		
400	25.84	36	6.30				35.9 *93.2	28.7 *91.3	23.9 *88.6	19.9 *87.2	17.1 *88.9	11.2 *83.3	10.0 *78.2	8.0 *66.5	7.2 *61.0
450	28.12	38	6.20				39.0 *94.4	31.2 *94.2	26.0 *87.6	21.7 *84.2	18.6 *84.8	12.2 *84.1	10.8 *81.6	8.7 *79.2	7.81 *75.8

* valores de CUC em %; S_1 = espaçamento na linha ; S_2 = espaçamento entre linhas; P= Pressão (kPa); R = raio de alcance (mm); Q= Vazão $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$; Iun. = Intensidade unitária (mm h^{-1}).

Os cálculos de intensidade seguiram as citações de Gomes (1994) e estão inseridos nas tabelas 1 e 2. De um modo geral os coeficientes de uniformidade obtidos acima de 80% são recomendados, com os devidos espaçamentos.

Os dados do aspersor Mercury fornecidos pelo fabricante estão apresentados na Tabela 3. Nessa Tabela os dados de intensidade de precipitação, não apresentam os valores de coeficiente de uniformidade, além de considerar espaçamentos entre emissores que não são múltiplos de 6 m. O cálculo de intensidade de precipitação para a disposição triangular, segundo o fabricante, é obtido com a divisão dos valores de vazão pela multiplicação do espaçamento na linha e entre linhas dos aspersores, divergindo dos resultados obtidos seguindo as recomendações de Gomes (1994). Diante do exposto, recomenda-se a substituição do catálogo do fabricante pelas tabelas geradas neste trabalho, pois além dos valores de intensidade média de precipitação (mm h^{-1}) para os espaçamentos recomendados, apresentam complementarmente, os valores do coeficiente de uniformidade de Christiansen.

Tabela 2. Intensidade média de precipitação (mm h^{-1}) e coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para diferentes combinações de pressão e espaçamentos triangulares para o aspersor Mercury bocal 16 mm.

P kPa	Q $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$	R m	Iun. mm/h	ESPAÇAMENTOS EM DISPOSIÇÃO TRIANGULAR												$S_1 \times S_2$		
				S_1 X S_2	30 x 24	36 x 30	42 x 30	42 X 36	48 x 30	48 x 36	54 x 30	54 x 36	54 x 48	60 x 30	60 x 36	60 x 48		
250	19.7	30	7.00		25.3 *84.6	17.6 *79.0	12.9 *80.0	12.9 *73.2	9.9 *77.6	9.9 *74.9	7.8 *66.8	7.8 *67.3	7.8 *69.5					
300	20.9	32	6.50		26.8 *88.7	18.6 *83.0	13.7 *80.7	13.7 *76.2	10.5 *84.8	10.5 *78.4	8.3 *84.8	8.3 *77.4	8.3 *76.0	6.7 *77.0	6.7 *70.0			
350	24.2	34	6.70			21.6 *85.3	15.9 *82.6	15.9 *79.3	12.2 *86.8	12.2 *80.7	9.6 *88.1	9.6 *79.5	9.6 *79.3	7.8 *80.3	7.8 *72.9	7.8 *74.9		
400	25.84	36	6.30			23.0 *91.9	16.9 *91.8	16.9 *88.6	13.0 *88.6	13.0 *88.6	10.2 *83.5	10.2 *82.9	10.2 *82.1	8.3 *73.7	8.3 *73.5	8.3 *71.6		
450	28.12	38	6.20				18.4 *87.5	18.4 *84.3	14.1 *90.5	14.1 *85.6	11.1 *92.4	11.1 *85.6	11.1 *83.8	9.0 *83.8	9.0 *79.9	9.0 *78.5		

* valores de CUC em %; S_1 = espaçamento na linha ; S_2 = espaçamento entre linhas; P= Pressão (kPa); R = raio (mm); Q= Vazão $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$; Iun. = Intensidade unitária (mm h^{-1}).

Tabela 3. Dados do aspersor Mercury fornecidos pelo fabricante.

d	P	r	Q	Disposição em quadrado		Disposição em triângulo		
				Espaçamento entre aspersores	IP	Espaçamento na linha	Espaçamento entre linhas	IP
16	200	26,0	17,8	36	13,7	45	39	10,1
	300	28,0	21,8	39	14,3	48	42	10,8
	400	32,0	25,2	45	12,4	55	48	9,5
	500	35,0	28,1	49	11,7	60	52	9,0
18	300	32,0	27,1	45	13,4	55	48	10,2
	400	35,0	31,6	49	13,1	60	52	10,1
	500	38,0	35,0	53	12,4	65	57	9,4
	600	41,0	38,7	57	11,9	71	61	8,9
20	300	34,0	32,3	47	14,6	59	51	10,7
	400	37,5	37,6	52	13,9	65	56	10,3
	500	41,0	40,8	57	12,5	71	61	9,4
	600	44,5	46,1	62	11,9	77	67	8,9

d= diâmetro do bocal (mm); P= pressão (kPa); r = raio de alcance (m); Q= vazão ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$); IP= intensidade de precipitação (mm h^{-1})

De acordo com as Figuras 5 e 6 pode-se analisar a influência de áreas de maior precipitação quando sobrepõem áreas de menor (Figura 5), que resultam em uma melhor distribuição; entretanto, quando as mesmas áreas sobrepõem áreas também de maior precipitação (Figura 6), tem-se uma distribuição irregular resultando em coeficientes de uniformidade abaixo de 80%.

Os resultados em relação ao diâmetro médio de gotas do aspersor "Mercury" para três valores de pressão de serviço e três bocais são apresentados nas Figuras 7 a 9. A análise dos mesmos permite constatar que o aumento na pressão de serviço há uma tendência de aumento dos diâmetros médios das gotas, contrariando as afirmações de Carvalho (1991).

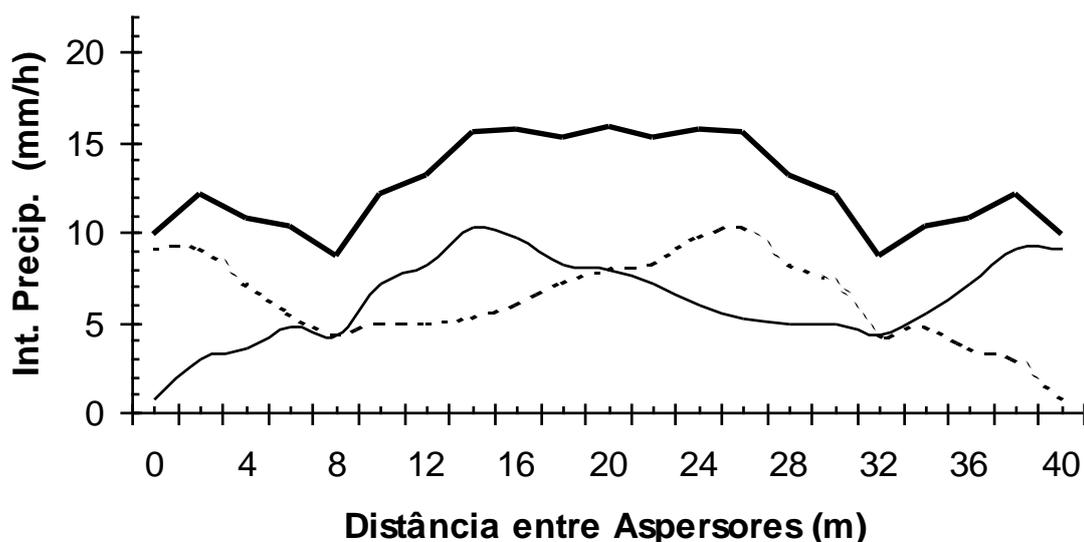


Figura 5. Sobreposição para aspersores com perfil do tipo "doughnut", espaçados de 40 m.

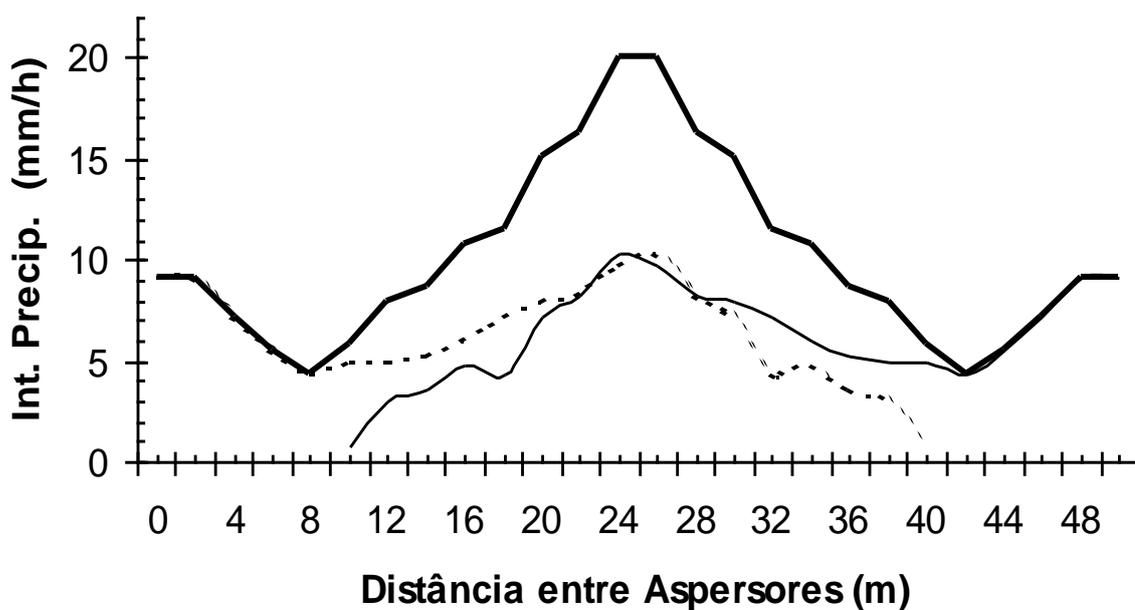


Figura 6. Sobreposição para aspersores com perfil do tipo "doughnut", espaçados de 50 m.

O comportamento padrão estabelecido para os aspersores, de que, com o aumento do raio molhado têm-se um crescimento do diâmetro médio de gotas pode, em parte, ser aplicado para aspersores de médio porte. Isto porque ao longo do raio molhado, em cada ponto de coleta, foi observado algumas variações no diâmetro de gotas, provavelmente devido a desintegração do jato d'água ocasionado pela resistência oferecida pelo ar e outras devido à quebra de gotas maiores, com o impacto das mesmas. Matsura (1993), estudando o diâmetro de gotas de aspersores constatou a existência de vários diâmetros de gotas ao longo do raio molhado, caracterizando um comportamento sem uniformidade.

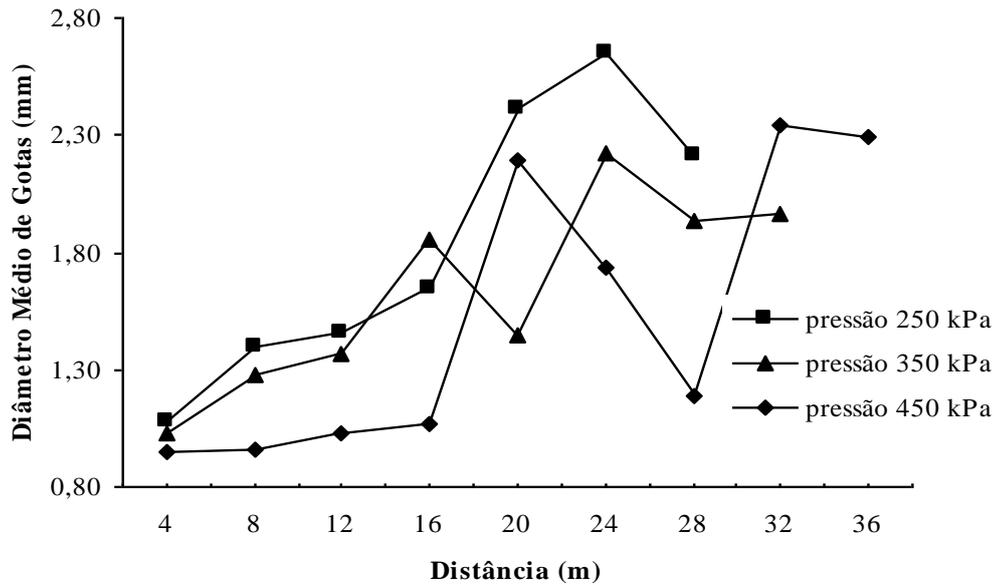


Figura 7. Variação do diâmetro médio de gotas ao longo do raio de alcance do aspersor, para o bocal 16 mm e pressões de serviço 250, 350 e 450 kPa.

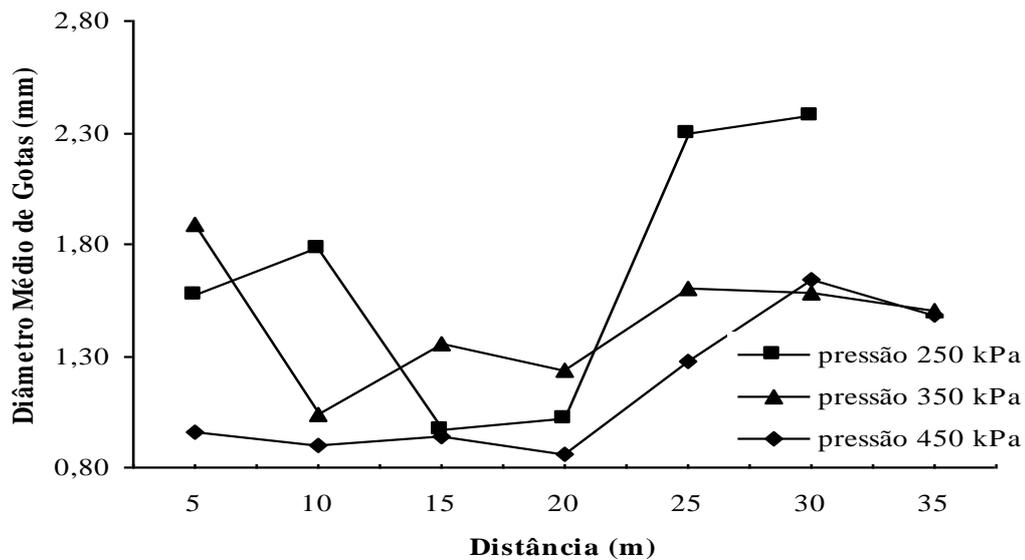


Figura 8. Variação do diâmetro médio de gotas ao longo do raio de alcance do aspersor, para o bocal 20 mm e pressões de serviço 250, 350 e 450 kPa.

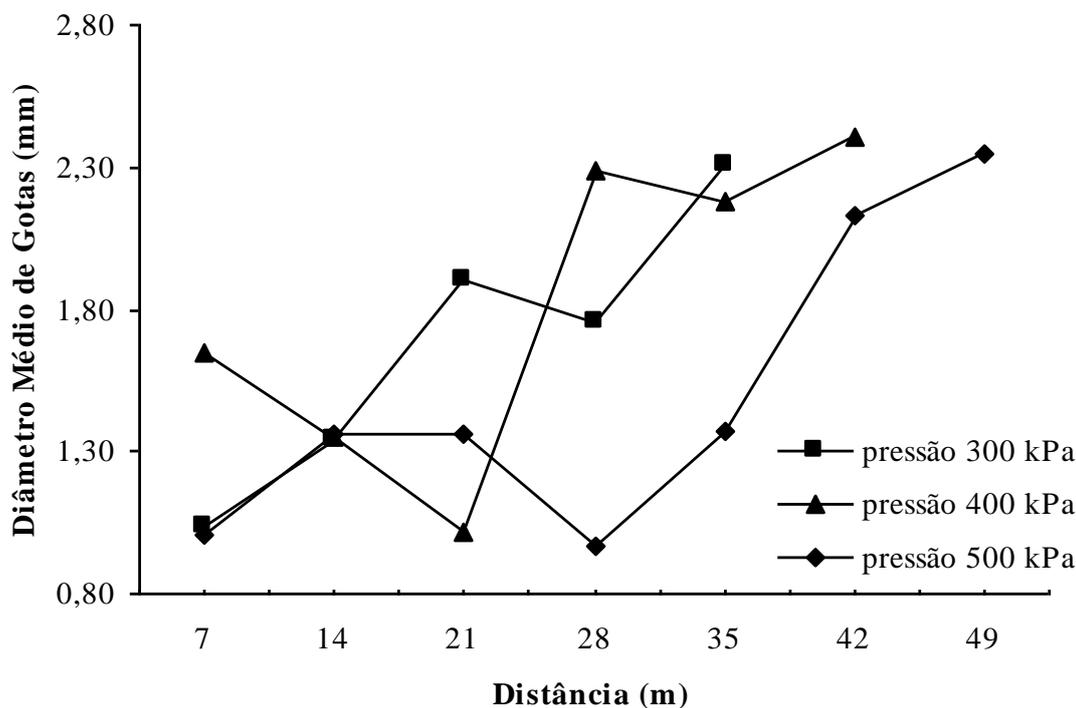


Figura 9. Variação do diâmetro médio de gotas ao longo do raio de alcance do aspersor, para o bocal 22 mm e pressões de serviço 300, 400 e 500 kPa.

Rocha (1998), testando o aspersor “Skipper” com bocal de 12 mm e pressões de 200 kPa e 250 kPa, considerado como aspersor de pequeno porte com sistema de rotação do tipo turbina, apresentou uma amplitude de diâmetros médios de gotas entre 1 mm e 4 mm, sendo os mesmos crescentes com o afastamento do aspersor.

Para todos os bocais foram observados diâmetros médios de gotas inferiores a 2,5 mm, o que demonstra a eficiência do sistema de rotação tipo turbina e sua quebra do jato para o aspersor de médio porte, em relação ao consagrado sistema de braço oscilante, cujo espectro de gotas apresenta uma grande amplitude.

6 CONCLUSÕES

a) O diâmetro médio de gotas aumentou à medida que se reduziu a pressão de serviço. Entretanto, o comportamento do mesmo, não se adapta ao modelo clássico de aumento gradual do diâmetro médio das gotas ao longo do raio de alcance do aspersor;

b) A relação vazão versus pressão foi bem representada pela equação potencial. O aspersor com bocal de 16 mm apresentou vazão mais susceptível às variações de pressão de serviço;

c) O sistema de rotação do tipo turbina, demonstrou boa eficiência, sendo o mesmo apenas influenciado pela pressão de serviço, garantindo assim uma melhor distribuição por quadrantes;

d) Recomenda-se a substituição do catálogo do fabricante pelas tabelas geradas neste trabalho, pois além dos valores de intensidade média de precipitação (mm h^{-1}) para os espaçamentos recomendados, apresentam complementarmente, os valores do coeficiente de uniformidade de Christiansen.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1989. 596 p.
- CARVALHO, J.A. **Tamanho de gotas e uniformidade de distribuição de água de dois aspersores de média pressão**. 1991. 73 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.
- GOMES, H.P. **Engenharia de Irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento**. João Pessoa: UFPB, Editora Universitária. 1994. 344 p.
- INTERNATIONAL STANDARD FOR ORGANIZATION. **ISO 7749-1: agricultural irrigation equipment: rotating sprinklers. Part 1: design and operational requirements**. Genève, 1995. 12 p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7749/2: irrigation equipment: rotating sprinklers. Part 2: uniformity of distribution and teste methods**. Genève, 1990. 6 p.
- KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkler and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.
- MARTÍN-BENITO, J. M. T.; GÓMEZ, M. V.; PARDO, J. L. Working conditions of sprinkler to optimize application of water. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 118, n.6, p.895-914, 1992.
- MATSURA, E.E. Granulometria de gotas de um aspersor tipo canhão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 12; 1993, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: SBEA/CEPLAC, 1993. v.5, p.2840-2846.
- ROCHA, F.A. **Desempenho de um equipamento de irrigação autopropelido em condições de campo**. 2000. 80 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.
- ROCHA, W.W. **Influência de ângulos setoriais e pressão de serviço na uniformidade de distribuição de água de um equipamento de irrigação autopropelido**. 1998. 46 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.
- SOLOMON, H. K.; ZOLDOSKE, D. F.; OLIPHANT, J. C. Laser optical measurement of sprinkler drops sizes. In: Transactions of the ASAE winter meeting, Chicago, 1991, 1991. **Proceedings...** Chicago: Transactions of the ASAE, 1991. p. 87-96.
- TOMAZELA, C. **Otimização do uso de um aspersor tipo canhão em função das características operacionais e velocidade média do vento**. 1996. 59 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.
- VILELA, L. A. **Avaliação do impacto de gotas sobre a superfície de um latossolo vermelho escuro irrigado por aspersão**. 1995. 76 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.