

DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE UM ASPERSOR FIXO EQUIPADO COM PLACA DEFLETORA ESTRIADA COM MOVIMENTO ROTATIVO¹

SÉRGIO ANTÔNIO VERONEZ DE SOUSA², MÁRCIO MOTA RAMOS³, EVERARDO CHARTUNI MANTOVANI⁴,
FERNANDO FALCO PRUSKI e ANTONIO ALVES SOARES⁵

RESUMO - O objetivo do presente trabalho foi desenvolver placas defletoras estriadas com movimento rotativo e determinar o perfil de precipitação e as características hidráulicas de um aspersor fixo operando com as placas desenvolvidas. No desenvolvimento, foram mantidas as características de uma placa estriada fixa convencional, quanto ao número de estrias e diâmetro da placa, sendo as estrias feitas em helicóides, para possibilitar o movimento rotativo das placas. Foram desenvolvidos três tipos de placas: plana, côncava e convexa, as duas últimas apresentando uma inclinação de 10°. Constatou-se que a placa côncava foi a que apresentou os maiores valores de raio molhado e, conseqüentemente, os menores valores de intensidade de precipitação média; as diferenças mais acentuadas, entre a placa côncava e as demais, foram observadas nas menores alturas de instalação do difusor. De modo geral, o aumento na altura do difusor proporcionou reduções nos valores de intensidade de precipitação. Simulou-se, a partir dos perfis de precipitação, o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), para sistemas de irrigação do tipo pivô central e linear. Os valores de CUC simulados foram elevados, superando, na maioria dos casos estudados, os valores mínimos recomendados; os menores espaçamentos resultaram, de modo geral, nos maiores valores de CUC. Não foi evidenciada uma placa que se destacasse por apresentar os maiores valores de CUC.

Termos para indexação: placa defletora rotativa, difusor, irrigação.

DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF A FIXED SPRINKLER WITH A ROTATING SERRATED PLATE

ABSTRACT - The objective of the present work was to develop serrated deflector plates with rotating movement and to determine the precipitation profile and hydraulics characteristics of one irrigation spray nozzles working with the deflector plates developed. The number of serrates and the diameter used were the same as for the conventional fixed plate. However, serrates were made in helicoidal form to ensure the rotating movement. Plane, concave and convex plates with a ten-degree angle were developed. The concave plate presented the highest wetted radius and consequently the lowest average precipitation rate, specially for lower height of sprinkler positioning. In general, the average precipitation rate decreased as the sprinkler height increased. The precipitation profiles for sprays with the plate were used to simulate the Christiansen Uniformity Coefficient (CUC) for center pivot and linear systems. The CUC increased as the sprinkler spacing decreased. All the CUC were higher than the minimum recommended. There was no difference between the CUC values for the different plates.

Index terms: spray, irrigation.

INTRODUÇÃO

Dentre os métodos de irrigação existentes, a aspersão tem sido um dos mais difundidos nos últimos tempos. No Brasil, até 1988, o método de irrigação por aspersão ocupava 54% do total da área irrigada na região Nordeste, 88% na região Centro-Oeste, 59%

¹ Aceito para publicação em 25 de agosto de 1997.

² Eng. Agr., M.Sc., Dep. de Eng. Rural, ESALQ-USP, CEP 13418-900 Piracicaba, SP. Bolsista do CNPq. E-mail: savsousa@carpa.ciagri.usp.br

³ Eng. Agr., Dr., Prof. Titular, Dep. de Eng. Agrícola, UFV, CEP 36570-000 Viçosa, MG.

⁴ Eng. Agríc., Dr., Prof. Adjunto, Dep. de Eng. Agrícola, UFV.

⁵ Eng. Agríc., Ph.D., Prof. Titular, Dep. de Eng. Agrícola, UFV.

na região Sudeste e 5% na região Sul (Bernardo, 1992).

Para grandes áreas cultivadas, a utilização de sistemas convencionais de irrigação por aspersão torna-se restrita, por causa da mão-de-obra requerida para a movimentação das tubulações e dos aspersores. Nessas áreas, há preferência pelo emprego de sistemas com maior grau de automatização, destacando-se o sistema do tipo pivô central.

Dentre os diferentes tipos de pivô central, os que operam com baixa pressão, e, portanto consomem menos energia, têm a preferência de grande parte dos agricultores. Esses pivôs operam com aspersores fixos, também chamados difusores, que consistem de um bocal e uma placa defletora, que podem ser de diferentes tipos. O impacto do jato de água sobre a placa defletora provoca a sua dispersão e a precipitação da água em uma área circular ao redor do difusor.

Uma economia de energia entre 20 e 40% pode ser obtida pela redução da pressão de serviço. Embora os sistemas economizem energia, seu uso pode criar problemas, tais como aumento do potencial de escoamento superficial e erosão do solo e baixa uniformidade na aplicação da água. A intensidade do problema varia de um local para outro, dependendo de fatores como: tipo de solo, topografia, cultura, e práticas culturais (Gilley & Mielk, 1980; James & Blair, 1984).

Christiansen (1942) apresenta seis perfis de precipitação teóricos para aspersores, conforme esquematizado na Fig. 1.

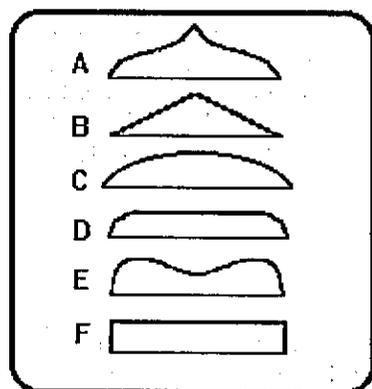


FIG. 1. Formas geométricas típicas de perfis de precipitação de aspersores.

Geralmente, o perfil de precipitação dos aspersores existentes não corresponde à forma triangular que é considerada a ideal, principalmente sob vento. Nos perfis retangular e trapezoidal, a lâmina de água é aproximadamente constante ao longo do diâmetro molhado, e no trapezoidal, a lâmina tende a zero suavemente, em direção à periferia do raio molhado, enquanto no retangular essa queda da lâmina ocorre bruscamente (Finkel, 1982).

Wilcox & McDougald, citados por Carvalho (1991), estudando a influência de diferentes perfis de precipitação, espaçamento e pressão de operação do aspersor na uniformidade de distribuição de água, concluíram que, de modo geral, o melhor tipo de perfil de distribuição é o que apresenta decréscimo uniforme das lâminas de água aplicadas na direção do aspersor para as bordas da área molhada. Esse perfil, entretanto, por si só, não garante boa uniformidade de distribuição, e os perfis irregulares podem vir a apresentar distribuição de água mais uniforme para determinados espaçamentos.

De modo geral, os perfis de distribuição de difusores, obtidos com o uso das placas lisas, são bastante irregulares, com baixa precipitação próximo ao difusor. O uso da placa estriada, na maioria dos casos, é o que propicia maior raio molhado e, conseqüentemente, menor intensidade de precipitação média. A placa estriada é a que propicia maior precipitação próximo ao difusor, porém apresenta perfis de precipitação muito desuniformes (Oliveira et al., 1992; Ramos et al., 1992; Miranda, 1993).

Em virtude das características de fabricação do sistema de pivô central, há necessidade de aumentar a vazão aplicada, por unidade de comprimento, o que é obtido aumentando-se a intensidade de precipitação à medida que se afasta do centro do pivô.

Os sistemas do tipo pivô central que utilizam aspersores fixos são os que apresentam os maiores problemas, devidos às altas taxas de precipitação, pois apresentam as menores larguras de faixa molhada pelos difusores. Também são os que apresentam as maiores perdas por evaporação e deriva pelo vento, por causa do pequeno diâmetro das gotas, sendo comum a instalação dos difusores em pendurais, os quais afetam as características de operação dos difusores.

O coeficiente de uniformidade de Christiansen é um dos mais utilizados para expressar a uniformidade de distribuição de água.

Merriam et al. (1973) recomendam, para culturas de alto valor econômico e com sistema radicular raso, um coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) acima de 88%; para culturas com sistema radicular médio, um CUC variando entre 80 e 88%, e para frutíferas ou culturas com sistema radicular profundo, um CUC entre 70 e 80%.

Para tentar minimizar os problemas originados pelas altas intensidades de precipitação, comuns nos sistemas que utilizam difusores, e melhorar a uniformidade de distribuição de água destes equipamentos, foram desenvolvidas placas defletoras estriadas com movimento rotativo, planas e inclinadas, avaliando-se o desempenho destes equipamentos em diferentes condições de operação. O presente trabalho teve por objetivos desenvolver placas defletoras estriadas com movimento rotativo e diferentes formas, e determinar o perfil de precipitação, as características hidráulicas e o coeficiente de uniformidade do aspersor fixo AF-1, operando com as placas desenvolvidas, para diferentes diâmetros de bocal e alturas de instalação do aspersor, em condições de vento nulo.

MATERIAL E MÉTODOS

As placas defletoras foram construídas na Oficina de Serralheria da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG. No desenvolvimento, foram mantidas as características de uma placa estriada fixa convencional quanto ao número de estrias e diâmetro da placa, sendo as estrias feitas em helicóides para possibilitar o movimento rotativo das placas (Fig. 2).

Foram desenvolvidos três tipos de placas: plana, côncava e convexa, as duas últimas apresentando uma inclinação de 10° na superfície de dispersão do jato de água (Fig. 3). Foram construídas três placas de cada tipo, para permitir a realização das repetições em cada teste de avaliação.

Para possibilitar a rotação, as placas foram fixadas a um eixo, conforme representado na Fig. 4. Para a avaliação das placas, o eixo desenvolvido foi adaptado ao aspersor fixo AF-1, fabricado pela FABRIMAR, e com este aspersor modificado foram feitos os testes de avaliação das placas (Fig. 5).

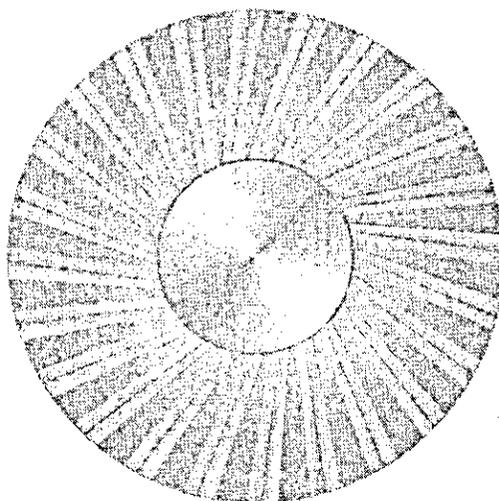


FIG. 2. Vista de topo das placas defletoras desenvolvidas.

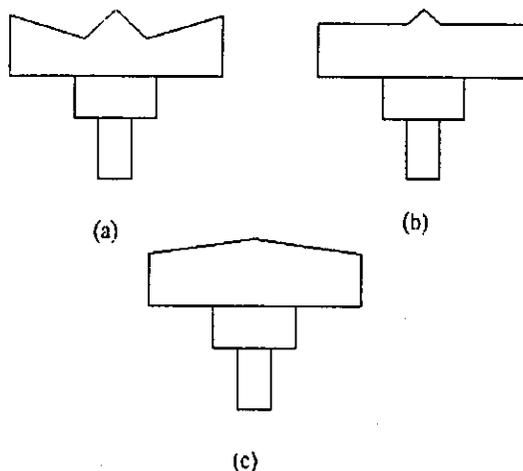


FIG. 3. Vista lateral das placas defletoras desenvolvidas: côncava (a), plana (b) e convexa (c).

Em condições de ausência de ventos, um aspersor fixo, modelo AF-1 (operando com as placas desenvolvidas), foi instalado no Laboratório de Hidráulica da Universidade Federal de Viçosa, em posição vertical, com o jato direcionado para baixo, e sustentado por uma estrutura que permitia a regulação da altura do aspersor. Acima do aspersor foi feita uma tomada de pressão, para instalação de um manômetro de mercúrio. Acima desta tomada de pressão foram instaladas uma válvula reguladora de pres-

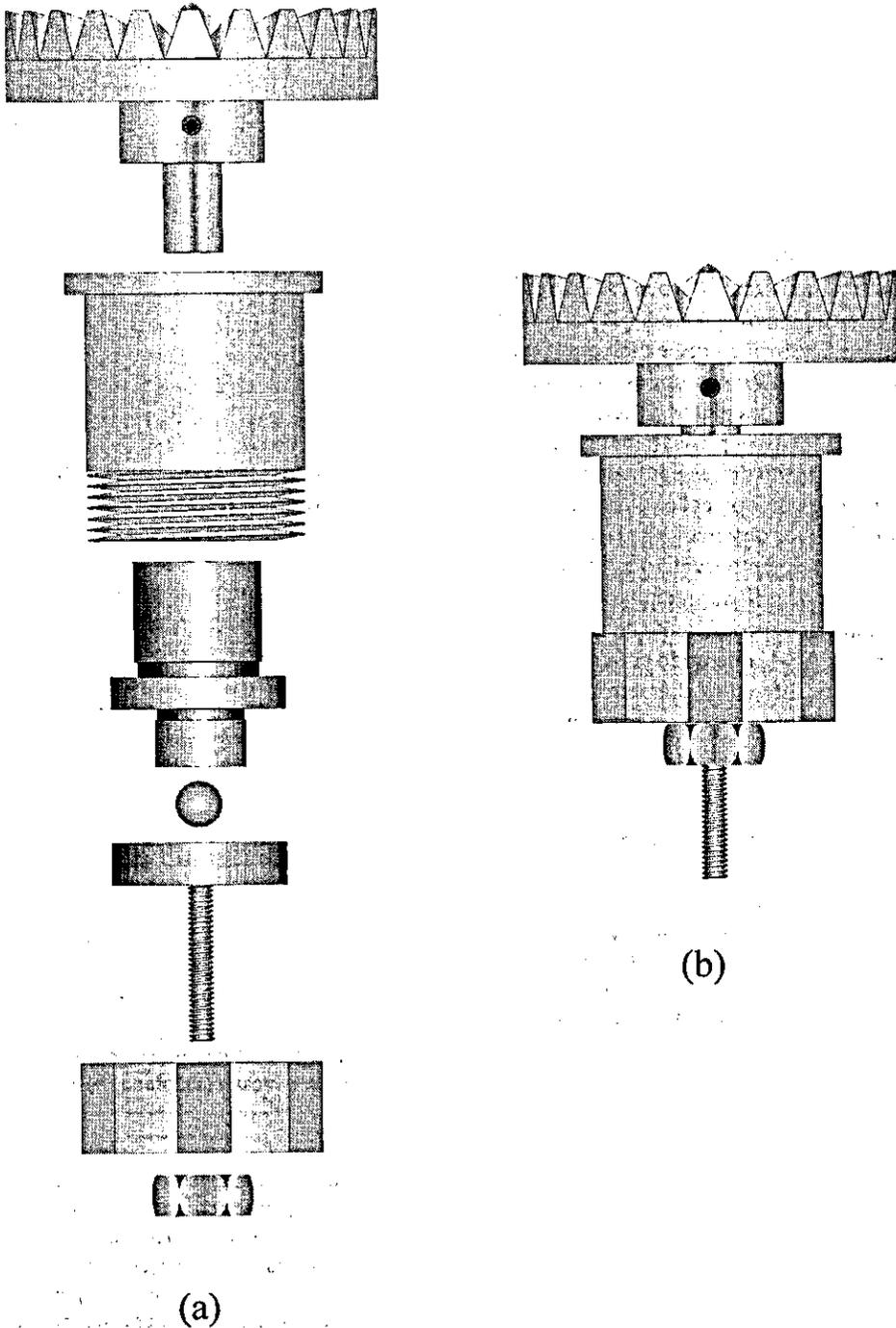


FIG. 4. Esquema do sistema de eixo desenvolvido, mostrando a vista expandida (a) e o conjunto montado (b).

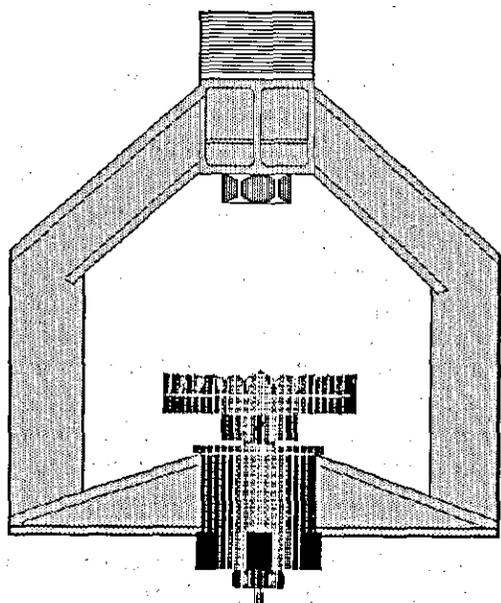


FIG. 5. Esquema do aspersor fixo AF-1 modificado.

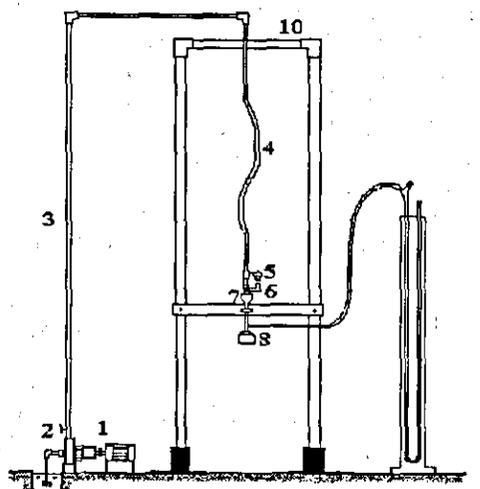
são, modelo RP2-20, fabricada pela FABRIMAR, para manter a pressão de operação próxima a 147 kPa e uma válvula de esfera, para permitir uma rápida interrupção do fluxo d'água. Foi instalado também um manômetro de Bourdon para o acompanhamento da pressão na entrada da válvula reguladora de pressão. O sistema foi conectado a uma mangueira flexível, que permitia a regulagem da altura do difusor e, por meio de uma tubulação de aço galvanizado de 25,0 mm de diâmetro interno, o sistema foi conectado a um conjunto motobomba (Fig. 6).

Os dados foram coletados utilizando-se um conjunto de 20 calhas que cobriam um setor de 30°, conforme representado na Fig. 7. Cada uma das calhas tinha a largura de 50 cm, altura de 20 cm e o perímetro variável, em função da distância da calha ao centro da circunferência. A superfície de coleta da precipitação era contínua, cada calha sendo conectada à posterior por meio de um encaixe. Assim, em cada teste, foi possível coletar toda a precipitação do difusor em uma área correspondente a 1/12 do total.

O conjunto de calhas foi montado sobre cavaletes com altura de 50 cm e declividade de 1%, para facilitar a drenagem da água coletada em cada calha, para um recipiente de PVC, o que era feito por meio de uma mangueira.

A determinação dos volumes de água coletados em cada recipiente, em cada um dos testes, foi feita pelo método gravimétrico.

Foram realizados testes com o aspersor operando com as placas rotativas desenvolvidas (plana, côncava e conve-



1- CONJUNTO MOTOBOMBA 6- VÁLVULA DE ESFERA
2- VÁLVULA DE GAVETA 7- VÁLVULA REG. DE PRESSÃO
3- TUBULAÇÃO 8- DIFUSOR
4- MANGUEIRA FLEXÍVEL 9- MANÔMETRO DE TUBO EM U
5- MANÔMETRO METÁLICO 10- ESTRUTURA METÁLICA

FIG. 6. Esquema de instalação do difusor.

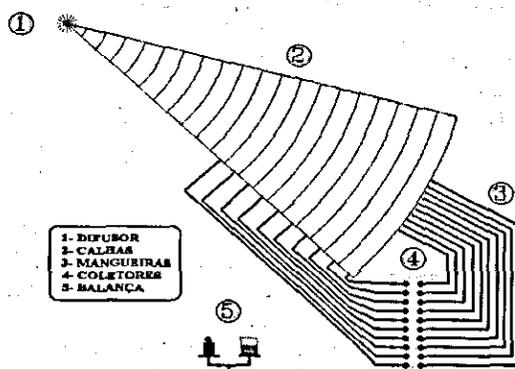


FIG. 7. Esquema do sistema de coleta dos dados.

xa) e com a placa estriada fixa (plana) fabricada pela FABRIMAR, utilizada como testemunha. Para cada placa foram realizados testes com os bocais de 3,6; 5,0; 6,6; 8,0 e 9,6 mm, nas alturas de instalação de 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0 m, em relação à superfície coletora da primeira calha. Para cada combinação de diâmetro de bocal e altura foram realizadas três repetições.

Para a obtenção dos perfis de precipitação individuais, utilizou-se o seguinte procedimento: em cada teste, ligava-se o sistema, deixando este funcionar por, pelo menos, 15 minutos, para estabilização dos fluxos de entrada e saída. Após este tempo, os coletores eram colocados em cada

saída, correspondente a cada calha, por um período de 15 minutos. A água coletada em cada recipiente era pesada, para a determinação do volume aplicado. A intensidade de precipitação em cada calha era obtida multiplicando-se o volume de água coletado, em cada coletor, por um fator que levava em consideração a área da calha e o tempo de coleta. Os fatores foram obtidos, para cada calha, multiplicando-se o inverso da área das mesmas por 4, para obter o resultado em mm/h, visto que o tempo de coleta foi de 15 minutos.

O perfil de precipitação foi obtido utilizando-se a média das três repetições realizadas para cada uma das placas avaliadas.

Para o traçado do perfil de precipitação, foram considerados os pontos médios de cada calha, desprezando-se a primeira calha, para evitar influência de respingos oriundos do difusor. Assim, obtiveram-se os perfis do difusor considerando pontos com espaçamento de 0,50 m entre si, tendo o primeiro ponto o espaço de 0,75 m do difusor.

A vazão, em cada teste, foi obtida dividindo-se o volume total, coletado em todos os recipientes coletores correspondentes a cada calha, pelo tempo de coleta, e multiplicando-se o resultado por 12, pois as calhas coletavam 1/12 do total da água aspergida em cada teste.

A vazão média do aspersor, para cada diâmetro de bocal, foi obtida pela média das vazões obtidas, em cada teste realizado com o bocal correspondente (60 testes para cada bocal).

O raio molhado médio foi obtido determinando-se, no perfil médio, a máxima distância do difusor em que ocorreu uma precipitação de 0,26 mm/h (American Society of Agricultural Engineering, 1989).

A intensidade de precipitação média foi obtida dividindo-se o volume total coletado pela respectiva área de coleta, e a intensidade de precipitação máxima foi obtida diretamente do perfil de precipitação do difusor.

Foram realizadas análises de regressão para estabelecer a relação entre o raio molhado e a intensidade de precipitação média, em função da altura de instalação do difusor, para cada diâmetro de bocal e placa defletora. Estabeleceu-se também a variação do raio molhado e da intensidade de precipitação média, com a variação da altura e do diâmetro de bocal do difusor, para cada placa defletora.

Determinou-se, por meio de simulações, o CUC para sistemas de irrigação do tipo pivô central e linear equipados com difusores operando com as placas convexa, plana, côncava e fixa, para bocais de 3,6 e 9,6 mm e alturas de 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0 m. Para cada combinação de placa, bocal e altura, simulou-se o CUC relativo a cinco espaçamentos entre os difusores ao longo da linha lateral (2,0; 3,0; 4,0; 5,0 e 6,0 m). Na simulação utilizou-se o procedimento computacional desenvolvido por Itaborahy (1993).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figs. 8 e 9 são apresentados os perfis de precipitação do difusor, operando com os protótipos de placas desenvolvidos (convexa, plana e côncava) e com a placa fixa, para as alturas de 1,0; 2,0 e 3,0 m e diâmetros de bocal de 3,6 e 9,6 mm, respectivamente.

Verifica-se que, de modo geral, as variações na altura do difusor, fixando-se um diâmetro de bocal e tipo de placa, promoveram variações menos acentuadas nas formas dos perfis, em comparação com as variações nos diâmetros de bocal, fixando-se uma altura e tipo de placa.

Em geral, as placas côncava e fixa determinaram maiores valores de intensidade de precipitação próximo ao difusor, diferente do observado por Ramos et al. (1992), que, trabalhando com placas convencionais, conclui que seus perfis caracterizam-se por pequenas lâminas de água próximas ao difusor.

Quanto à placa côncava, o perfil se caracterizou por uma elevada precipitação próximo ao difusor, decrescendo até atingir um valor relativamente uniforme na parte intermediária do raio molhado, seguido de um pequeno pico e posterior decréscimo até o final do raio molhado pelo difusor. Essa placa foi a que proporcionou os menores valores de intensidade de precipitação na região intermediária do raio molhado.

O perfil obtido com a placa convexa caracterizou-se por um alto pico de precipitação na região situada no segundo terço da área molhada, exceto no que diz respeito ao bocal de 3,6 mm e altura de 3,0 m.

As placas fixa e plana apresentaram comportamentos intermediários no tocante às características do perfil de precipitação, mostrando-se mais sensíveis às variações nos diâmetros de bocal e na altura de instalação do difusor.

Considerando-se uma mesma altura e um mesmo diâmetro de bocal, a placa côncava foi a que apresentou os maiores valores de raio molhado, e a convexa os menores. As placas fixa e plana registraram valores intermediários deste parâmetro, conforme esperado, e semelhantes aos resultados obtidos por Miranda (1993) relativamente a uma placa côncava fixa.

Usando a placa côncava, a intensidade de precipitação máxima ocorreu na região situada a 0,75 m do

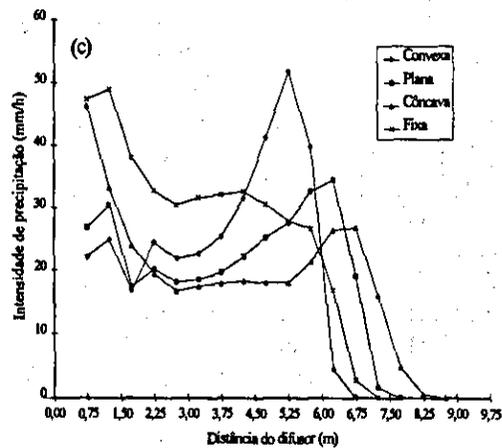
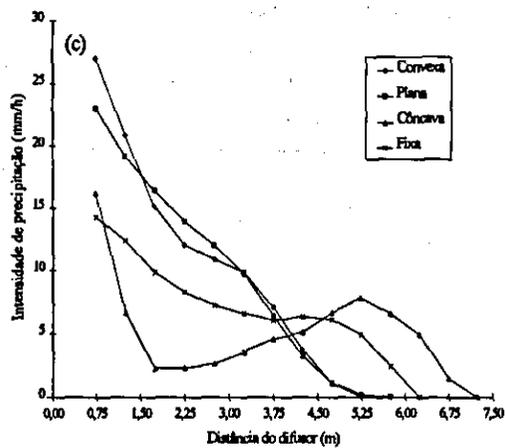
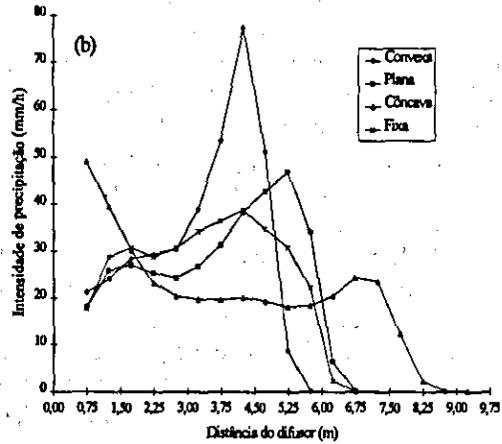
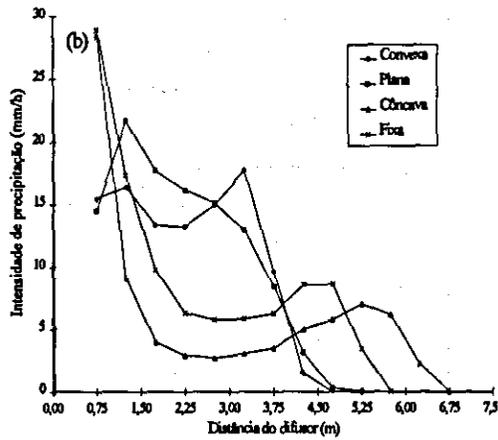
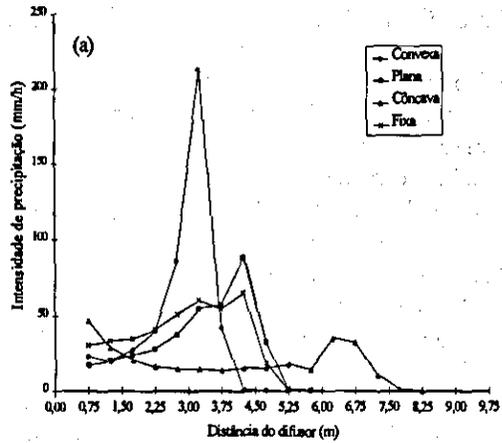
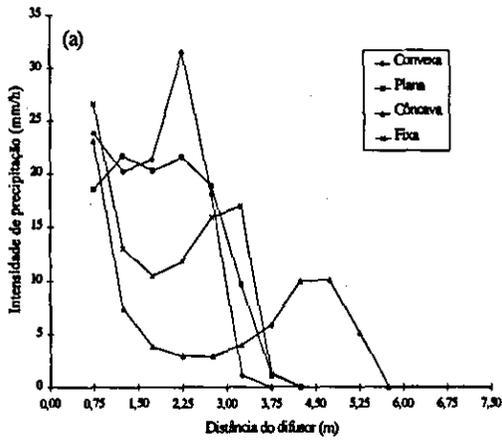


FIG. 8. Perfis de precipitação horária do difusor operando com as diferentes placas, para o bocal de 3,6 mm e alturas de 1,0 m (a), 2,0 m (b) e 3,0 m (c).

FIG. 9. Perfis de precipitação horária do difusor operando com as diferentes placas, para o bocal de 9,6 mm e alturas de 1,0 m (a), 2,0 m (b) e 3,0 m (c).

difusor. Com a placa convexa, a intensidade de precipitação máxima ocorreu, na maioria dos casos, na região situada no segundo terço da área molhada pelo difusor. Nas placas plana e fixa a região onde ocorreu a intensidade de precipitação máxima não ficou bem caracterizada, variando de acordo com o diâmetro do bocal e da altura de instalação.

Na Fig. 10 são apresentadas as curvas e equações que representam a variação do raio molhado de acordo com a altura do difusor, com referência a bocais de 3,6; 6,6; e 9,6 mm, nas quatro placas defletoras estudadas.

Pode-se observar que, para uma mesma altura e um mesmo diâmetro de bocal, a placa côncava determinou os maiores valores de raio molhado. A diferença no valor do raio molhado entre a placa côncava e as demais foi mais acentuada nas menores alturas de instalação do difusor. O maior raio molhado apresentado por essa placa em relação à placa fixa convencional é benéfico, principalmente em solos compactados ou com baixa capacidade de infiltração, pois proporciona reduções nos valores de intensidade de precipitação média, em geral mais elevados, para os difusores instalados em tubos de descida de maior comprimento. Para a altura de 1,0 m, os valores de raio obtidos com a placa côncava foram, em média, 40% superiores aos obtidos com a placa fixa. Para a altura de 1,5 m, este valor foi, em média, 26% maior.

A análise das equações de regressão apresentadas na Fig. 10 mostra que, nas placas convexa, plana e fixa, um aumento na altura do difusor determina um aumento linear no raio molhado, exceção para o bocal de 3,6 mm e placa fixa, e bocal de 6,6 mm com placa plana, cujos modelos, que melhor explicam as variações do raio molhado com a altura do difusor são, respectivamente, o polinomial de ordem 2 e de ordem 3. Este último modelo foi o melhor, pois ajustou os dados obtidos com a placa côncava, exceto com relação ao bocal de 3,6 mm de diâmetro.

Em todos os casos estudados, as maiores diferenças entre o raio molhado obtido com a placa côncava, em comparação com as demais, foram maiores nas menores alturas de instalação do difusor.

Em alguns casos, obtiveram-se menores valores de raio molhado nas alturas de 2,5 e 3,0 m, em comparação com a altura de 2,0 m. Esse comportamento

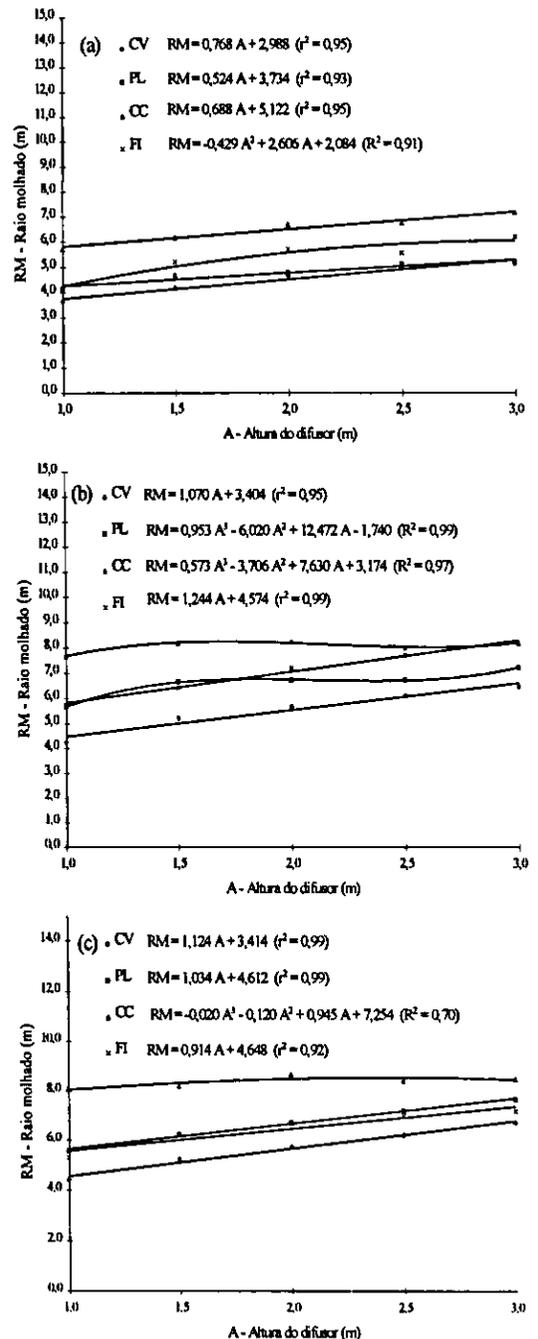


FIG. 10. Raio molhado pelo difusor em função da altura, para as placas defletoras convexa (CV), plana (PL), côncava (CC) e fixa (FI), e diâmetro de bocal de 3,6 (a), 6,6 (b) e 9,6 (c) mm.

não era esperado, pois sabe-se que o raio molhado cresce com a altura do difusor até um determinado ponto, a partir do qual o aumento na altura do difusor não mais proporciona aumentos nos valores de raio molhado. O decréscimo do raio molhado com a altura deve-se provavelmente a erros no sistema de coleta dos dados na periferia da área molhada, pois os valores foram obtidos pela interpolação de volumes coletados em espaçamento de 50 cm, considerando-se que a lâmina coletada ocorria no ponto médio da calha. Assim, se a lâmina coletada tivesse ocorrido na região anterior ou posterior ao ponto médio da calha, estaria superestimando ou subestimando os valores do raio molhado.

As equações para estimativa do raio molhado, em função da altura do difusor e do diâmetro do bocal, são apresentadas a seguir:

Placa convexa:

$$RM = -0,5657 + 1,8641 A - 0,2114 A^2 - 0,8241 B - 0,0487 B^2 \quad (R^2 = 0,97) \quad (1)$$

Placa plana:

$$RM = -1,9184 + 1,5215 A - 0,1966 A^2 - 1,6193 B - 0,0988 B^2 \quad (R^2 = 0,95) \quad (2)$$

Placa côncava:

$$RM = 0,8445 + 1,2536 A - 0,2240 A^2 + 1,3949 B - 0,0782 B^2 \quad (R^2 = 0,91) \quad (3)$$

Placa fixa:

$$RM = -2,7802 + 2,1449 A - 0,2674 A^2 + 1,8333 B - 0,1236 B^2 \quad (R^2 = 0,98) \quad (4)$$

em que

RM = raio molhado, m;

A = altura de instalação, m;

B = diâmetro do bocal, mm.

Na Fig. 11 são apresentadas as curvas e equações que descrevem a variação da intensidade de precipitação média em função da altura do difusor, para os bocais de 3,6; 6,6; e 9,6 mm e para as quatro placas defletoras estudadas.

Observa-se que a placa côncava foi a que apresentou os menores valores de intensidade de precipitação média, a saber: em torno de 7, 10 e 18 mm/h, respectivamente para os bocais de 3,6; 6,6 e 9,6 mm. A placa convexa apresentou os maiores valores, e as placas plana e fixa apresentaram valores intermediários de intensidade de precipitação média. As diferenças entre os valores de intensidade de precipita-

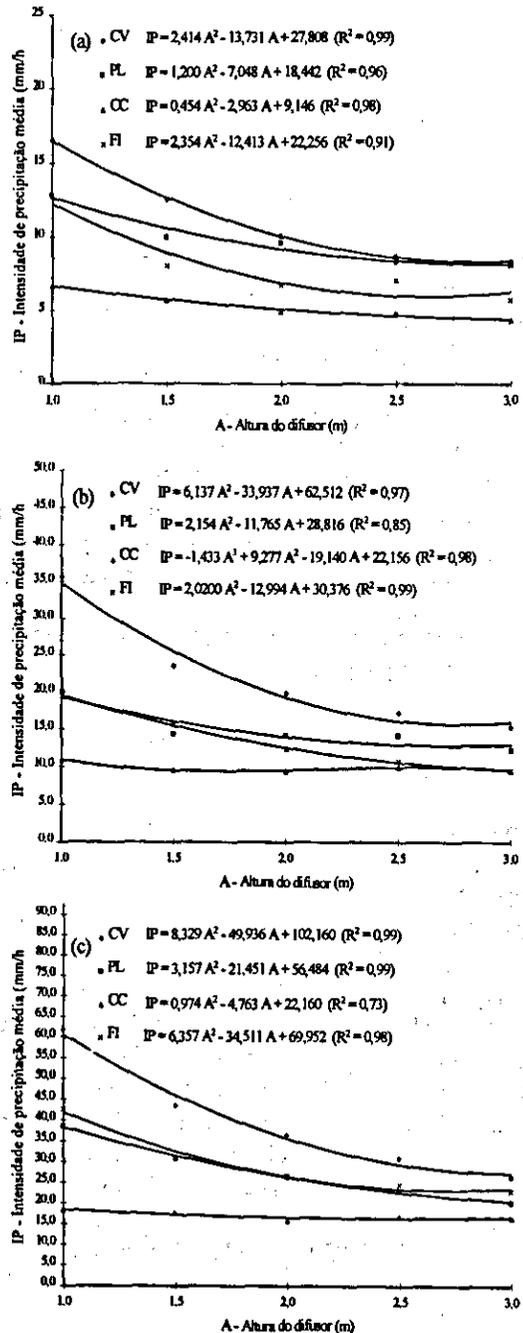


FIG. 11. Intensidades de precipitação média em função da altura, para as placas defletoras convexa (CV), plana (PL), côncava (CC) e fixa (FI), e diâmetro de bocal de 3,6 (a), 6,6 (b) e 9,6 (c) mm.

ção média obtidos com a placa côncava, em comparação com as demais, foram mais acentuadas nas menores alturas do difusor de 1,0 e 1,5 metros, onde os problemas ocasionados pelos elevados valores de intensidade de precipitação são mais acentuados. Na altura de 1,0 m, os valores de intensidade de precipitação média obtidos com a placa fixa convencional foram, em média, 96% superiores aos obtidos com a placa côncava desenvolvida.

De modo geral, o aumento na altura do difusor proporcionou reduções nos valores de intensidade de precipitação média. Na maioria dos casos estudados, o comportamento da intensidade de precipitação com a variação na altura do difusor seguiu um modelo polinomial de ordem 2.

As equações obtidas, por meio de regressão, para estimativa da intensidade de precipitação média em função da altura e do diâmetro de bocal, para cada tipo de placa defletora, são apresentadas a seguir:

Placa convexa:

$$IP = 41,2905 - 31,7657 A + 5,4245 A^2 + 1,4072 B + 0,2689 B^2 \quad (R^2 = 0,91) \quad (5)$$

Placa plana:

$$IP = 28,7003 - 13,0506 A + 2,1526 A^2 - 2,1410 B + 0,3929 B^2 \quad (R^2 = 0,93) \quad (6)$$

Placa côncava:

$$IP = 8,0931 - 3,6987 A + 0,7063 A^2 - 0,0810 B - 0,1487 B^2 \quad (R^2 = 0,98) \quad (7)$$

Placa fixa:

$$IP = 36,9400 - 17,8890 A + 3,0868 A^2 - 3,8764 B + 0,5592 B^2 \quad (R^2 = 0,98) \quad (8)$$

em que IP é a intensidade de precipitação, mm/h.

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os valores simulados de coeficiente de uniformidade de Christiansen, para sistemas pivô central e linear, considerando as quatro placas defletoras estudadas, as diferentes alturas, e os cinco espaçamentos entre os difusores, para os bocais de 3,6 e 9,6 mm.

Analisando os resultados obtidos, observa-se que os valores de CUC foram elevados, superando, na maioria dos casos, os valores mínimos recomendados por Merriam et al. (1973).

Analisando-se a influência do espaçamento entre difusores na uniformidade de distribuição, verificou-se que, de modo geral, os menores espaçamentos entre difusores resultaram em valores de CUC mais elevados.

TABELA 1. Coeficiente de uniformidade de Christiansen (%), em diferentes alturas, placas defletoras e espaçamentos entre difusores, para o bocal de 3,6 mm.

Altura (m)	Esp. (m)	Tipos de placa defletora			
		Convexa	Plana	Côncava	Fixa
1,0	6,0	69,00	81,12	74,62	87,70
	5,0	95,36	95,97	94,19	85,47
	4,0	75,99	85,97	88,59	82,09
	3,0	74,67	88,99	95,98	95,66
	2,0	86,98	97,40	96,96	87,70
1,5	6,0	88,69	85,82	80,51	83,09
	5,0	91,31	95,02	99,26	87,09
	4,0	83,91	88,13	89,60	93,14
	3,0	98,48	97,62	92,92	96,74
	2,0	91,36	91,58	99,76	98,83
2,0	6,0	87,59	89,27	92,64	88,45
	5,0	89,51	94,21	90,25	94,91
	4,0	85,80	90,49	90,76	92,22
	3,0	95,13	98,30	94,83	96,71
	2,0	87,59	92,72	96,60	99,33
2,5	6,0	90,13	92,16	93,64	93,93
	5,0	94,14	92,96	90,60	90,78
	4,0	90,36	91,54	93,06	98,63
	3,0	99,82	97,66	97,01	98,17
	2,0	91,58	93,86	97,96	98,63
3,0	6,0	89,81	89,73	95,60	90,80
	5,0	94,63	94,28	89,59	99,08
	4,0	93,36	92,66	97,24	93,82
	3,0	99,24	96,56	99,01	93,24
	2,0	93,36	94,02	99,59	96,68

Pelos resultados obtidos, verifica-se que, nas condições estudadas, não foi evidenciada uma placa que apresentasse os maiores valores de CUC.

Os valores de CUC obtidos por simulação foram elevados, se comparados com os valores normalmente encontrados no campo. A principal razão é que a simulação foi feita em condições de vento nulo; no campo o vento deforma o perfil, reduzindo a uniformidade, além de promover perdas por evaporação e por deriva.

Considerando-se apenas os valores de intensidade de precipitação média, a placa côncava desenvolvida é a mais recomendada, principalmente para os difusores instalados em tubos de descida mais longos, nos quais a redução na intensidade de precipitação foi mais acentuada.

TABELA 2. Coeficiente de uniformidade de Christiansen (%), em diferentes alturas, placas defletoras e espaçamentos entre difusores, para o bocal de 9,6 mm.

Altura (m)	Esp. (m)	Tipos de placa defletora			
		Convexa	Plana	Côncava	Fixa
1,0	6,0	69,46	66,87	86,37	76,76
	5,0	69,72	81,16	85,83	83,83
	4,0	73,66	93,03	89,91	98,74
	3,0	75,64	95,37	88,96	96,11
	2,0	73,66	96,48	97,33	99,94
1,5	6,0	66,75	77,61	87,75	81,57
	5,0	81,24	97,28	89,72	93,62
	4,0	90,04	90,76	93,38	94,51
	3,0	93,02	93,06	94,51	96,41
	2,0	97,90	98,19	99,81	97,76
2,0	6,0	67,20	85,19	87,85	83,29
	5,0	83,71	95,36	95,12	97,77
	4,0	90,99	91,48	94,49	93,08
	3,0	99,65	92,04	99,39	93,93
	2,0	93,78	96,50	96,53	96,93
2,5	6,0	75,61	91,56	95,83	86,62
	5,0	96,23	92,86	90,53	99,58
	4,0	91,87	97,92	96,27	96,45
	3,0	92,30	97,89	96,22	97,16
	2,0	99,56	99,60	99,02	98,80
3,0	6,0	85,25	93,84	89,41	94,51
	5,0	91,56	88,36	90,80	95,45
	4,0	90,18	94,59	94,57	97,69
	3,0	90,11	93,84	95,42	98,66
	2,0	96,03	96,89	99,45	98,71

CONCLUSÕES

1. Para a placa côncava, o perfil de precipitação caracteriza-se por uma elevada precipitação próximo ao difusor.

2. O perfil obtido com a placa convexa caracteriza-se por um elevado pico de precipitação no terço médio da área molhada.

3. As placas fixa e plana apresentam perfis de precipitação intermediários na maior parte do raio molhado, em comparação com as placas convexa e côncava.

4. A placa côncava apresenta os maiores valores de raio molhado, sendo as diferenças mais elevadas nas menores alturas de instalação do difusor.

5. A placa convexa apresenta os menores valores de raio molhado, e as placas plana e fixa valores intermediários deste parâmetro.

6. O aumento na altura do difusor proporciona, de modo geral, reduções nos valores de intensidade de precipitação média.

7. Os valores do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), obtidos por simulação, superam, na maioria dos casos, os valores mínimos recomendados.

8. Os menores espaçamentos resultam, de modo geral, nos maiores valores de CUC.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERING. Procedure for sprinkler testing and performance reporting. In: ASAE Standards. St. Joseph, 1989. p.546-547.
- BERNARDO, S. Desenvolvimento e perspectiva da irrigação no Brasil. *Engenharia na Agricultura: Irrigação e Drenagem*, Viçosa, v.1, n.14, p.1-14, 1992.
- CARVALHO, J.A. Tamanhos de gotas e uniformidade de distribuição de água de dois aspersores de média pressão. Viçosa: UFV, 1991. 73p. Tese de Mestrado.
- CHRISTIANSEN, J.E. *Irrigation by sprinkling*. Berkeley: California Agricultural Station, 1942. 124p. (Bulletin, 670).
- FINKEL, H.J. *CRC handbook of irrigation technology*. Boca Raton: CRC Press, 1982. v.1, 369p.
- GILLEY, B.J.R.; MIELK, L.N. Conserving energy with low-pressure center-pivot. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, v.106, n.1, p.49-59, 1980.
- ITABORAHY, C.R. *Influência da altura, inclinação, espaçamento e diâmetro do bocal de um aspersor fixo nas características de sistemas de irrigação*. Viçosa: UFV, 1993. 83p. Tese de Mestrado.

- JAMES, L.G.; BLAIR, S.K. Performance of low pressure center-pivot systems. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.27, n.6, p.1753-1757, 1984.
- MERRIAN, J.L.; KELLER, J.; ALFARO, J. *Irrigation system evaluation and improvement*. Logan: Utah State University, 1973. 167p.
- MIRANDA, F.R. *Influência da altura de instalação, do diâmetro do bocal e do tipo de placa defletora de um aspersor fixo sobre suas características de operação*. Viçosa: UFV, 1993. 67p. Tese de Mestrado.
- OLIVEIRA, R.A.; RAMOS, M.M.; SOARES, A.A.; DENÍCULI, W. Distribuição de gotas, por tamanho, de um aspersor fixo. *Engenharia na Agricultura: Irrigação e Drenagem*, Viçosa, v.1, n.12, p.1-13, 1992.
- RAMOS, M.M.; OLIVEIRA, R.A.; DENÍCULI, W.; SOARES, A.A. Perfil de precipitação de um aspersor fixo. *Engenharia na Agricultura: Irrigação e Drenagem*, Viçosa, v.1, n.11, p.1-12, 1992.