

UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO DO TIPO CONVENCIONAL

WATER DISTRIBUTION UNIFORMITY FOR CONVENTIONAL SPRINKLER IRRIGATION SYSTEM

Carlos Ricardo Fietz¹ Luis Carlos Hernani²

RESUMO

Na irrigação por aspersão, o conhecimento da uniformidade de distribuição tem grande importância, pois permite identificar áreas deficientes ou excessivamente irrigadas. Em trabalho realizado na área experimental do Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste (EMBRAPA-CPAO), em Dourados, MS, determinou-se a uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por aspersão do tipo convencional. Utilizou-se um aspersor Samoto, modelo Sagra AJ-25, diâmetro do bocal 5,6mm, instalado a 70cm de altura, operando em quatro pressões de serviço (280, 340, 400 e 480kPa). Através da simulação das superposições, obteve-se a distribuição das precipitações para quatro espaçamentos (12x12, 12x18, 18x18 e 18x24m). O local dos ensaios foi dividido em subáreas de 9m², no centro das quais foram instalados pluviômetros a 30cm de altura. A velocidade do vento foi medida a 2m de altura. Foram realizados dois ensaios para cada pressão de serviço, cada um com duração de 60 minutos. A uniformidade de distribuição foi calculada pelos coeficientes de Christiansen, Wilcox e Swailes, Benami, eficiência padrão de Criddle e eficiência padrão de Beale. Os coeficientes foram mais elevados no espaçamento 12x18, seguido pelo de 12x12m. De maneira geral, a uniformidade de distri-

buição diminuiu com o aumento da velocidade do vento. Para velocidades de vento semelhantes ou próximas houve incremento da uniformidade com o aumento da pressão de serviço. O coeficiente de uniformidade de Christiansen, seguido do de Wilcox e Swailes, apresentaram os índices de uniformidade mais elevados, enquanto o de Benami foi o mais rigoroso.

Palavras-chave: irrigação por aspersão, uniformidade de distribuição, desempenho da aspersão.

SUMMARY

The knowledge about the distribution uniformity is very important when working with sprinkler irrigation because it allows the identification of under-and-over-irrigated areas. In an experiment carried out at Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste (EMBRAPA-CPAO), Dourados, Mato Grosso do Sul State, the distribution uniformity of a conventional type sprinkler irrigation system was ascertained. One sprinkler, mounted at height 70cm and operating under four working pressures (280, 340, 400 and 480 kPa) was used. Using simulation of overlapping, the

¹Engenheiro Agrônomo, MSc., EMBRAPA-CPAO, Caixa Postal 661, 79804-970 - DOURADOS, MS, autor para correspondência.

²Engenheiro Agrônomo, PhD., EMBRAPA-CPAO.

distribution of precipitation for four spacings (12x12, 12x18, 18x18 and 18x24m) was obtained. The experimental area was divided into 9m² plots. At the center of each plot one pluviometer was installed at height 30cm. The wind speed was measured with an anemometer mounted 2m above ground. Two 60 minutes assays were carried out for each working pressure. The distribution uniformity was calculated by the following coefficients: the Uniformity Coefficient of Christiansen, the Coefficient of Wilcox and Swailes, the Uniformity Coefficient of Benami, the Criddle Pattern Efficiency and the Beale Pattern Efficiency. The highest coefficients were the ones with 12x18 and 12x12 spacing. In general, the uniformity decreased with increasing wind speed, with similar wind speed there was increase in uniformity with increasing work pressure. The highest uniformity indices were obtained with Coefficient of Christiansen, followed by Coefficient of Wilcox and Swailes, while Coefficient of Benami provided the lowest values.

Key words: sprinkler irrigation, distribution uniformity, sprinkler performance.

INTRODUÇÃO

O planejamento racional de sistemas de irrigação necessita, entre outras informações, do conhecimento de parâmetros que avaliem a qualidade da operação. Na irrigação por aspersão, o conhecimento da uniformidade de distribuição tem fundamental importância, pois permite identificar áreas deficientes ou excessivamente irrigadas, nas quais pode ocorrer déficit hídrico ou drenagem profunda.

A uniformidade de distribuição da água é influenciada pelo tipo de perfil de distribuição, espaçamento dos aspersores, relação entre pressão e diâmetro do bocal e velocidade do vento (BEALE & HOWELL, 1966 e HEERMANN & HEIN, 1968). Segundo WITHERS & VIPOND (1988), com velocidade de vento de até 2,2m/s, a uniformidade de distribuição é pouco alterada, sendo toleráveis ventos de no máximo 3,6m/s. Todavia, RAPOSO (1980) salienta que a irrigação por aspersão pode ser usada, sem inconvenientes, com ventos de até 6m/s, tornando-se impraticável com ventos superiores a 8m/s. Quanto maior a velocidade do vento e menor o tamanho das gotas, maior será a distorção da distribuição de água, quando comparada com a conseguida em condições de ventos de pouca intensidade (OLITTA, 1978).

O parâmetro mais utilizado para quantificar a uniformidade de distribuição foi proposto por CHRIS-

TIANSEN (1941), sendo conhecido como Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC):

$$(\%) \text{ CUC} = (1 - \sum_{i=1}^N |L_i - LM| / N \cdot LM) 100 \quad (\text{eq.1})$$

em que: L_i é a precipitação do pluviômetro de ordem i (mm); LM é a precipitação média (mm) e N é o número de observações.

No coeficiente de uniformidade de Wilcox e Swailes (CWS), WILCOX & SWAILES, citados por ELLIOTT et al. (1980), o valor do desvio absoluto médio da equação de Christiansen foi substituído pelo desvio padrão das precipitações (s):

$$(\%) \text{ CWS} = (1 - s/LM) \quad (\text{eq.2})$$

Analisando CUC e CWS, BENAMI & HOARE (1964) verificaram que o coeficiente proposto por Christiansen nem sempre avalia satisfatoriamente a performance da irrigação, pois usando os desvios absolutos das precipitações, em relação à média, esse coeficiente possibilita que distintas distribuições possam apresentar resultados semelhantes. Segundo os mesmos autores, o CWS não diferencia adequadamente irrigações com uniformidade satisfatória ou insatisfatória. Assim, um novo coeficiente que utiliza os desvios das precipitações acima e abaixo da média geral (CUB) foi proposto por BENAMI & HOARE (1964):

$$(\%) \text{ CUB} = \left\{ \frac{Nb}{i=1} \left[\sum |L_i - Mb| / Nb \right] \right\} / \left\{ \frac{N}{i=nb1} \left[\sum |L_i - Ma| / Na \right] \right\} 100 \quad (\text{eq.3})$$

em que: Ma e Mb são as médias dos grupos abaixo e acima da média geral, respectivamente (mm); Na e Nb são os números de observações abaixo e acima da média geral, respectivamente e $nb1$ é $Nb + 1$.

Alguns coeficientes de uniformidade foram desenvolvidos levando em consideração partes da área irrigada que recebem lâminas extremas, como a eficiência padrão de Criddle (BEALE & HOWELL, 1966), a qual considera a média das lâminas da área irrigada que recebe as menores precipitações:

$$(\%) \text{ EPC} = (LQI/LM) 100 \quad (\text{eq.4})$$

em que: LQI é a lâmina média de 25% da área que recebe as menores precipitações (mm).

Por sua vez, BEALE, citado por BEALE & HOWELL (1966), propôs o coeficiente conhecido por eficiência padrão de Beale (EPB), que se baseia na lâmina média da área que recebe as maiores precipitações:

$$(\%)EPB = (2 - LQS/LM)100 \quad (\text{eq.5})$$

em que: LQS é a lâmina média de 25% da área que recebe as maiores precipitações (mm).

Este trabalho objetivou avaliar, por diferentes métodos, a uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por aspersão do tipo convencional, operando em distintas condições de pressão de serviço, espaçamento entre aspersores e entre laterais e intensidade de vento.

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados no Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste (EMBRAPA-CPAO), em Dourados, MS, cujas coordenadas geográficas são 22°14' S e 54°49' W. O clima da região é o Cwa de Köppen (mesotérmico úmido, com verão chuvoso e inverno seco).

Um aspersor Samoto, modelo Sagra AJ-25, diâmetro do bocal de 5,6mm, foi instalado a 70cm de altura. Através da simulação das superposições, obteve-se a distribuição das precipitações para quatro espaçamentos (12x12, 12x18, 18x18 e 18x24m), em quatro pressões de serviço (280, 340, 400 e 480kPa.).

O local dos ensaios foi dividido em subáreas de 9m² (3x3m), no centro das quais foram instalados pluviômetros compostos de latas de óleo lubrificante de 10cm de diâmetro. Os pluviômetros foram sustentados por estacas de madeira, de forma que suas seções de coleta ficaram a 30cm de altura. O volume coletado em cada pluviômetro foi medido com provetas de 250cm³, graduadas em 2cm³. Para evitar a evaporação, colocou-se em cada pluviômetro, antes de cada teste, 10ml de óleo diesel.

Para controle da pressão de serviço instalou-se, na conexão do aspersor com o tubo de subida, um manômetro de Bourdon. A pressão foi ajustada através da aceleração do motor do conjunto motobomba e do registro, na saída da bomba. Foram realizados dois testes para cada pressão de serviço, sempre entre 8 e 10 horas e com duração de 60 minutos. A velocidade do vento, durante os testes, foi medida com um anemômetro totalizador instalado a 2m de altura, junto à área experimental.

A uniformidade de distribuição foi calculada pelos coeficientes: Christiansen (CUC), Wilcox e Swailes (CWS), Benami (CUB), eficiência padrão de Criddle (EPC) e eficiência padrão de Beale (EPB), respectivamente, através das equações 1 a 5.

Avaliou-se o efeito da velocidade do vento, da pressão de serviço e do espaçamento entre linhas

e entre aspersores, nos coeficientes de uniformidade, através da análise de regressão múltipla, utilizando-se a técnica de variáveis binárias (DRAPER & SMITH, 19810, com duas variáveis quantitativas (pressão de serviço e velocidade do vento) e uma qualitativa (espaçamento entre aspersores e entre linhas laterais):

$$CU_{ijk} = B_0 + B_1V_i + B_2P_j + E_k \quad (\text{eq.6})$$

em que: CU é o coeficiente de uniformidade nas condições de velocidade do vento i , pressão de serviço j e espaçamento entre aspersores e entre laterais k ; B_0 é o coeficiente linear de modelo; B_1 e B_2 são os coeficientes angulares; V é a velocidade do vento (m/s); P é a pressão de serviço do aspersor (kPa) e E_k é a variável binária que avalia o efeito do espaçamento k ($E_1 = 12 \times 12$; $E_2 = 12 \times 18$ e $E_3 = 18 \times 18$ m).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os coeficientes de distribuição apresentaram os maiores valores no espaçamento 12x18 e índices um pouco menores no de 12x12m. Houve declínio da uniformidade nos espaçamentos 18x18 e, principalmente, no de 18x24m (Figura 1). Os resultados são semelhantes aos encontrados por OLIVEIRA et al. (1992), que na avaliação do mesmo modelo de aspersor obtiveram os maiores índices de CUC nos espaçamentos 12x12 e 12x18m. De maneira geral, houve diminuição da uniformidade de distribuição com o aumento da velocidade do vento. Mas o efeito dessa variável foi dependente do espaçamento. Nos espaçamentos 12x12 e 12x18m o incremento da velocidade do vento teve pouca influência na uniformidade de aplicação, porém nos espaçamentos 18x18 e, principalmente, 18x24m, esse efeito ficou evidente.

A uniformidade de distribuição foi afetada positivamente pela pressão, especialmente nos ensaios em que as velocidades de vento foram semelhantes ou próximas (Figura 1). No entanto, deve-se considerar que durante a realização dos testes as velocidades de vento foram de nível moderado, sempre inferiores a 6m/s, valor limite estabelecido por RAPOSO (1980). Resultado semelhante foi obtido por COELHO et al. (1992), que explicaram tal comportamento em seus testes, considerando que o aumento do grau de pulverização das gotículas, provocado pelo aumento da pressão, teve menor efeito sobre a uniformidade de distribuição do que os resultantes do aumento do raio de alcance do aspersor e das sobreposições dos jatos.

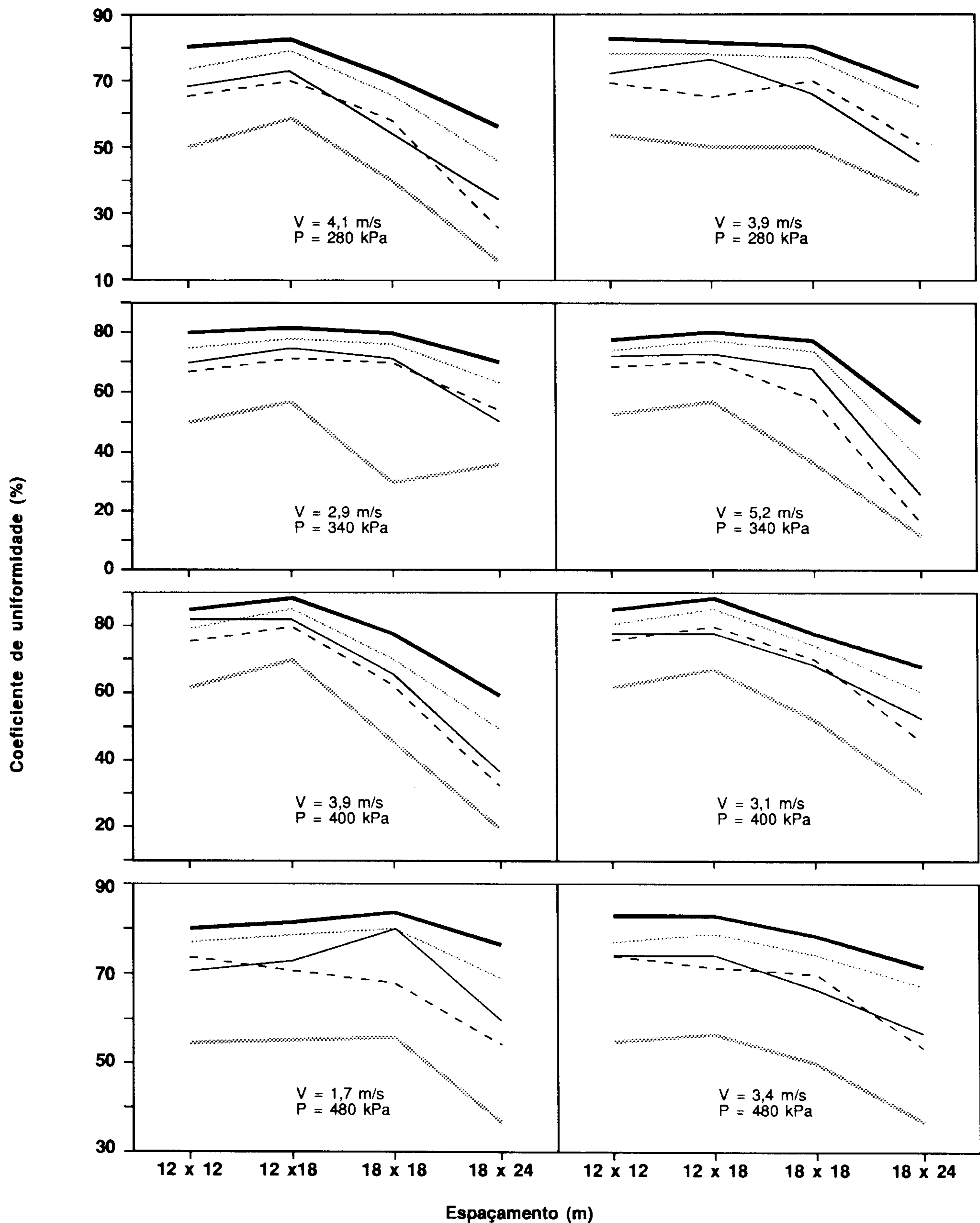


Figura 1 - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, CUC (—); Coeficiente de Wilcox e Swaile, CWS (.....); Coeficiente de Uniformidade de Benami, CUB (—); Eficiência Padrão de Criddle, EPC (---) e Eficiência Padrão de Beale, EPB (.....) para diferentes espaçamentos entre aspersores e laterais, velocidade de vento e pressão de serviço.

Em praticamente todos os ensaios, o CUC, seguido do CWS, foi o coeficiente com índices de uniformidade mais elevados. O CUB foi o índice de uniformidade que apresentou valores mais baixos em todos os ensaios. Isto demonstra que a utilização de desvios médios das precipitações, acima e abaixo da média geral, torna o CUB mais rigoroso na avaliação da uniformidade, se comparado ao CUC e ao CWS, que utilizam, respectivamente, desvios absolutos ou elevados ao quadrado.

Os coeficientes EPC e EPB apresentaram resultados aproximados, evidenciando que a distribuição dos valores das precipitações aproximaram-se da normal, pois num modelo de distribuição que obedece exatamente a função Gaussiana, esses dois índices devem ser semelhantes.

As equações de regressão múltipla geradas apresentaram coeficientes de determinação significativos, indicando que tais equações chegam a explicar cerca de 80% da uniformidade de distribuição (Tabela 1). As regressões ratificam os resultados obtidos, apresentando seus maiores e menores índices, respectivamente, nos espaçamentos 12x18 e 18x24m, havendo incremento positivo com aumento da pressão de serviço e negativo com o aumento da velocidade do vento.

CONCLUSÕES

Os maiores coeficientes de uniformidade de distribuição foram obtidos no espaçamento 12x18m; de maneira geral, houve diminuição dos índices de uniformidade com o aumento da velocidade do vento;

Tabela 1 - Equações de regressão múltipla obtidas para diferentes coeficientes de uniformidade, em função da velocidade do vento (V), pressão de serviço (P) e espaçamento entre aspersores e laterais (E).

Equação	Coeficiente de determinação (R ²)
CUC=67,10-2,64V+0,015P+17,65E ₁ +19,06E ₂ +13,90E ₃	0,791**
CWS=58,53-3,06V+0,020P+20,56E ₁ +23,20E ₂ +16,66E ₃	0,796**
CUB=20,47-2,13V+0,042P+25,66E ₁ +28,39E ₂ +15,64E ₃	0,783**
EPC=45,50-3,89V+0,030P+28,26E ₁ +29,77E ₂ +21,60E ₃	0,759**
EPB=46,39-3,19V+0,027P+27,85E ₁ +30,34E ₂ +20,44E ₃	0,817**

** Significativo em nível de 1% de probabilidade (Teste F).

para velocidades de vento semelhantes ou próximas houve incremento dos índices de uniformidade com o aumento da pressão de serviço; o CUB e o CUC foram, respectivamente, os índices de uniformidade mais e menos rigorosos e todos os coeficientes apresentaram o mesmo nível de precisão na estimativa de resposta da uniformidade de distribuição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEALE, J.G., HOWELL, D.T. Relationships among sprinkler uniformity measures. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, v. 92, n. 1, p. 41-48, 1966.
- BENAMI, A., HORE, F.R. A new irrigation-sprinkler distribution coefficient. *Transactions of the ASAE*, v. 7, n. 2, p. 157-158, 1964.
- CHRISTIANSEN, J.E. The uniformite of application of water by sprinkler systems. *Agricultural Engineering*, v. 22, n. 3, p. 89-92, 1941.
- COELHO, E.F., NOGUEIRA, L.C., CONCEIÇÃO, M.A.F. Comportamento de aspersores de média pressão sob diferentes condições de vento. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 9., Natal. *Anais*. Fortaleza: 1992. v. 1, t. 1, p. 153-171.
- DRAPER, N.R., SMITH, H. *Applied regression analysis*. 2. ed. New York: John Wiley, 1981. cap. 5: More complicated models: p. 218-293.
- ELLIOTT, R.L., NELSON, J.D., LOFTIS, J.C., HART, W.E. Comparison of sprinkler uniformity models. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, v. 106, p. 321-330, 1980.
- HEERMANN, D.F., HEIN, P.R. Performance characteristics of self-propelled centerpivot sprinkler irrigation system. *Transactions of the ASAE*, v. 11, n. 1, p. 11-15, 1968.
- OLITTA, A.F.L. *Os métodos de irrigação*. 1. ed. São Paulo: Nobel, 1978. cap. II: O sistema portátil de aspersão: p. 15-61.
- OLIVEIRA, P.C.E., AZEVEDO, H.M., et al. Uniformidade de distribuição de água do aspersor Samoto AJ25A1, sob as condições climáticas do município de Sousa - PB. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 9., 1991', Natal. *Anais*. Fortaleza: 1992. v. 1, t. 1, p. 563-580.
- RAPOSO, J.R. *A rega por aspersão*. Lisboa: Classica, 1980. 339 p.
- WITHERS, B., VIPOND, S. *Irrigação: projeto e prática*. 3. ed. São Paulo: Nobel, 1988. 339 p.