



## **DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE PARA REPRESENTAR O PERFIL DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA APLICADA POR UM EQUIPAMENTO DE IRRIGAÇÃO MECANIZADO TIPO LATERAL MÓVEL**

B. G. Nörenberg<sup>1\*</sup>, L. C. Faria<sup>2</sup>, S. Beskow<sup>2</sup>, A. Colombo<sup>3</sup>, J. H. N. Flores<sup>4</sup>, S. V. Boeira<sup>5</sup>

**RESUMO:** Distribuições de probabilidade são amplamente utilizadas para descrever o perfil de distribuição da lâmina de água aplicada por equipamentos de irrigação. Entretanto, são poucos os estudos avaliando a qualidade do ajuste de distribuições de probabilidades para equipamentos de irrigação mecanizados do tipo lateral móvel. Dessa forma, esse estudo tem por objetivo avaliar a qualidade com que as distribuições de probabilidades normal e uniforme representam a lâmina de água aplicada por um equipamento de irrigação mecanizado do tipo lateral móvel equipado com aspersores de placa oscilante. Para tanto, foram realizados, seguindo a norma técnica NBR 14244, ensaios de distribuição água com coletores de 8cm de diâmetro e de profundidade, dispostos em duas linhas paralelas ao equipamento de irrigação e distanciadas 5 m entre si, com espaçamento de 3 m entre coletores. A lâmina observada nos ensaios de campo foi ajustada às distribuições normal e uniforme de probabilidade, além disso, utilizou-se a distribuição empírica de Weibull para comparar as distribuições ajustadas com o a distribuição da lâmina observada nos ensaios de campo. Por fim, o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov foi aplicado para avaliar a qualidade do ajuste, a um nível de 5% de significância. Os resultados mostraram que a distribuição normal representou adequadamente a distribuição da lâmina de água aplicada pelo equipamento de irrigação lateral móvel, diferentemente da distribuição uniforme, que não se ajustou à maioria dos ensaios e campo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Normal; Distribuição uniforme; Aspersão.

## **PROBABILITY DISTRIBUTION FUNCTIONS TO REPRESENT WATER DISTRIBUTION PATTERN APPLIED BY A MECHANICAL LATERAL MOVE IRRIGATION SYSTEM**

<sup>1</sup> Pesquisador, Doutorando em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas (UFPel), CEP 96010-610, Pelotas, RS, Brasil, (53) 3921-1240. E-mail: bernardo.norenberg@hotmail.com

<sup>2</sup> Doutor, Pesquisador, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, UFPel, Pelotas, RS, Brasil.

<sup>3</sup> Doutor, Pesquisador, Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras (UFLA), MG, Brasil.

<sup>4</sup> Pesquisador, Doutorando em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, UFLA, Lavras, MG, Brasil.

<sup>5</sup> Graduando em Engenharia Hídrica, UFPel, Pelotas, RS, Brasil.

**ABSTRACT:** Probability distributions are widely used to describe the water distribution pattern applied by irrigation equipment because they serve to make it possible to determine the quality with which the water reach the soil surface, However, there are few studies evaluating the goodness-of-fit of probability distributions functions (PDFs) applied on mechanical lateral move irrigation systems. This study aims to evaluate the goodness-of-fit with which the normal PDF and uniform PDF represent the water pattern applied by a mechanical lateral move equipped with oscillating plate sprinklers (I-Wob). Water distribution tests, in according with NBR 14244, were carried out with 8cm diameter and depth catch, being arranged in two lines parallel to the irrigation equipment and spaced 5m apart, with spacing of 3 m between catch can. The observed depth in the field tests was adjusted to the normal and uniform PDFs, in addition, Weibull's empirical distribution was used to compare the adjusted distributions with that observed in field tests. The Kolmogorov-Smirnov goodness-of-fit test was applied at a level of 5% significance. The results showed that the normal PDF adequately represented the water depth distribution applied by the mechanical lateral move irrigation system, unlike the uniform PDF, which did not fit most of the tests and field.

**KEYWORDS:** Normal; Uniform; Sprinkler.

## INTRODUÇÃO

Grande parte dos novos projetos de irrigação são de equipamentos de irrigação por aspersão mecanizados tipo pivô central e lateral móvel. De acordo com FACI et al., (2001), originalmente esses sistemas de irrigação eram equipados com aspersores do tipo de impacto, os quais operam com pressão de serviço relativamente alto. Entretanto, atualmente, esses sistemas são dimensionados com aspersores que operam com baixa pressão de serviço.

De acordo com Elliott et al. (1980), o conhecimento por parte do projetista das características da distribuição de água aplicada por um equipamento de irrigação é fator determinante para a eficiente operação do sistema, desta forma, diversas distribuições de probabilidade teóricas podem ser utilizadas para descrever a distribuição de água aplicada pelo equipamento de irrigação.

A distribuição de probabilidades acumulada é muito utilizada na irrigação devido a sua capacidade de indicar a porcentagem da área que está recebendo uma quantidade maior ou menor de água do que aquela estipulada pelo irrigante (KELLER & BLIESNER, 1990; ANYOJI & WU, 1994).

Heermann et al. (1992) avaliando a qualidade de ajuste de diferentes distribuições de probabilidades, ao se ajustarem ao perfil de lâminas de água aplicadas por equipamentos de irrigação tipo pivô central equipados com aspersores de impacto e aspersores tipo spray de placa fixa, observaram que a distribuição normal de probabilidade descreveu adequadamente (5% de significância) a distribuição de água aplicada por esse equipamento.

Comparando a qualidade com que as distribuições de probabilidades normal e uniforme representaram os perfis de distribuição de água aplicadas por um sistema de irrigação por aspersão convencional, Karmeli (1978) observou que, quando operando com elevados índices de uniformidade de aplicação de água, a distribuição uniforme é capaz de estimar a aplicação de água pelo equipamento de irrigação de maneira similar a distribuição normal. Porém, quando operando com baixa uniformidade de aplicação ( $CUC < 55\%$ ) a distribuição uniforme é a que representa melhor a distribuição de água de sistemas convencionais de irrigação.

Desta forma, este trabalho teve como objetivo comparar a qualidade do ajuste das distribuições normal e uniforme de probabilidades em representarem os perfis de distribuição de água de um equipamento de irrigação mecanizado do tipo lateral móvel equipado com aspersores de placa oscilante.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse estudo, foi utilizado um equipamento de irrigação mecanizado do tipo lateral móvel instalado no Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado (CPACT-ETB/EMBRAPA), Rio Grande do Sul, Brasil. O clima da região é definido, segundo classificação de Köppen como temperado úmido com verão quente (Cfa). Essa localidade é característica de um clima subtropical, próxima ao mar, com verão sub-úmido e o resto do ano sendo úmido ou super-úmido.

O equipamento de irrigação mecanizado do tipo lateral móvel é de fabricação da Valmont Industries, com um comprimento, em cinco vãos, de 265 m. Equipado com um motor ciclo diesel capaz de prover 43.4 cv no eixo, estando conectado à uma bomba centrífuga com vazão nominal de  $180 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  a uma altura manométrica de 30 mca.

Todos os aspersores estavam equipados com de bocal de 6,35 mm de diâmetro com vazão de  $1313 \text{ L h}^{-1}$  e válvula reguladora de pressão de 10 psi (68,9 kPa). Além disso, os aspersores foram instalados em tubos flexíveis de descida espaçados de 2,3 metros e dispostos a 2,0 m de altura da borda do coletor.

Os ensaios para avaliação da uniformidade de distribuição de água do equipamento lateral móvel foram realizados de acordo com a norma técnica NBR 14244 (ABNT, 1998). Foram conduzidos 6 ensaios de campo do sistema linear móvel, sendo estes realizados no período de irrigação da cultura do arroz.

Os coletores da marca Fabrimar com diâmetro e profundidade de 8 cm, instalados à uma altura de 70 cm da superfície do solo. Os coletores foram dispostos em duas linhas paralelas ao equipamento lateral móvel e distanciadas de 5 m entre si, sendo, em cada linha, instalados 88 coletores com espaçamento de 3 m entre si. O volume de água em cada coletor foi mensurado logo após o término do ensaio, por meio de uma proveta de vidro de 100 mL.

As variáveis meteorológicas foram monitoradas por meio de uma estação meteorológica, instalada a cerca de 50 m da área irrigada, a uma altura de 2 m da superfície do solo e equipada com sensores de temperatura, umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento; sendo os dados registrados em um datalogger em intervalos regulares de 1 minuto. Além disso, foram registrados os horários de início e término de cada ensaio de distribuição de água.

A distribuição normal de probabilidades, equação 1, e a distribuição uniforme de probabilidades, equação 2, foram as utilizadas nesse estudo. A função cumulativa distribuição (FCP) normal da distribuição normal, não possui solução analítica, sendo, esta função, o resultado da integração da FDP da distribuição normal de infinito negativo até x, sendo x o valor da variável aleatória, resultando assim na probabilidade do valor obtido ser menor ou igual ao à “x”.

$$FDP_{Normal} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\cdot\pi}} \cdot e^{-0,5 \cdot \left[\frac{(X_i - \mu)}{\sigma}\right]^2} \quad (1)$$

$$FCP_{Uniforme} = \begin{cases} 1 & \text{for } X_i < (\mu - \sigma\sqrt{3}) \\ \frac{(\mu + \sigma\sqrt{3}) - X_i}{2\sigma\sqrt{3}} & \text{for } (\mu - \sigma\sqrt{3}) \leq X_i \leq (\mu + \sigma\sqrt{3}) \\ 0 & \text{for } X_i > (\mu + \sigma\sqrt{3}) \end{cases} \quad (2)$$

Onde:

$FDP_{Normal}$  – Função densidade de probabilidade da distribuição normal;

$FCP_{Uniforme}$  – Função cumulativa de probabilidade da distribuição uniforme;

$\mu$  – Parâmetro de locação;

$\sigma$  - Parâmetro de escala;

$X_i$  – Lâmina coletada no coletor “i”.

Para determinar a posição de plotagem dos conjuntos de lâminas coletadas nos ensaios de campo do equipamento de irrigação mecanizado tipo lateral móvel, foi utilizada a equação de Weibull, Equação 3, conforme indicado por Stedinger, Vogel e Foufoula-Georgiou (1993).

$$q = \frac{i}{n+1} \quad (3)$$

Onde:

q – Probabilidade empírica de não excedência da lâmina Xi;

i – Posição da lâmina Xi ordenado de maneira crescente (1, ..., 88)

n – Tamanho da amostra (n=88).

Para verificar a qualidade do ajuste das distribuições de probabilidades aos dados observados nos ensaios de campo do equipamento de irrigação mecanizado do tipo lateral móvel, foi aplicado o teste não-paramétrico de Kolmogorov-Smirnov (KS), Equação 4, que de acordo com Heermann et al. (1992), é o que melhor avalia a adequabilidade das distribuições de probabilidades teóricas, ajustadas às lâminas coletadas em ensaios de campo de equipamentos de irrigação.

$$KS = \max |q(x) - FCP(x)| \quad (4)$$

Onde:

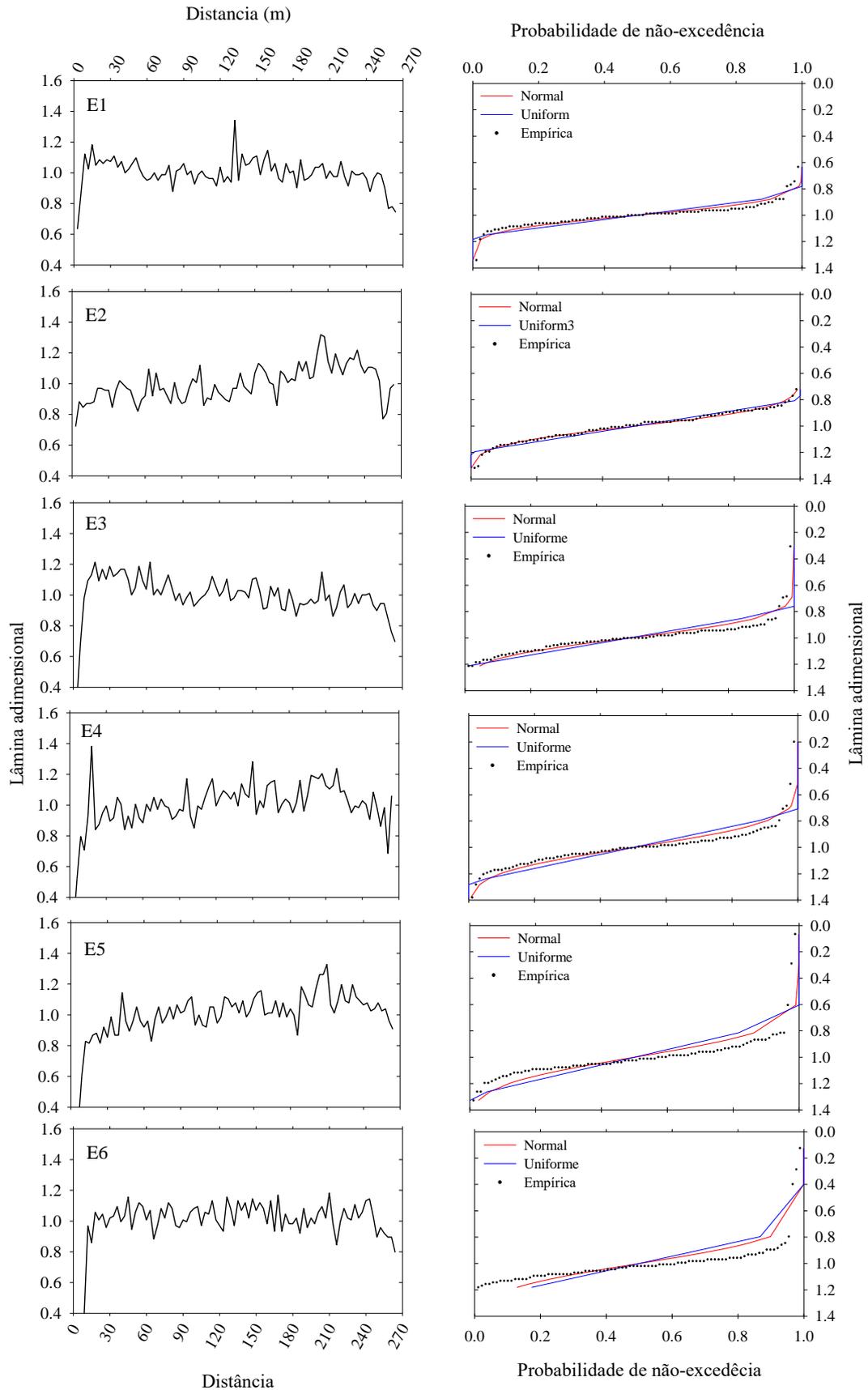
KS – máxima diferença entre a distribuição empírica observada e a FCP da distribuição testada;

q(x) – Probabilidade de não-excedência da função empírica na lâmina x;

FCP (x) – Probabilidade de não-excedência da FCP da distribuição teórica testada na lâmina x.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 estão mostrados os perfis de distribuição de água para os 6 ensaios de campo do equipamento de irrigação mecanizado do tipo lateral móvel, bem como as funções cumulativas das distribuições de probabilidade e a distribuição empírica da lâmina coletada.



**Figura 1.** Perfil da lâmina de água coletada para os 6 ensaios de irrigação (esquerda). Distribuições de probabilidades ajustadas aos 6 ensaios de campo (direita).

Pode-se verificar na Figura 1, que quanto maior a variação da lâmina de água coletada em um ensaio, maior é a inclinação das curvas das funções cumulativas das distribuições de probabilidade, este comportamento está de acordo com o observado por Anyoji & Wu (1994), os quais afirmam que quanto maior a variabilidade da lâmina, maiores são as áreas que não estão recebendo água de maneira adequada, resultando assim na redução da eficiência com que o sistema de irrigação opera.

Além disso, corroborando com Heermann et al (1992), foi verificado que, para a maioria dos casos, a curva da função cumulativa da distribuição normal de probabilidades ficou mais próxima aos dados observados em campo, quando comparados com a distribuição uniforme de probabilidades, fato esse comprovado na Tabela 1, a qual apresenta os valores do teste de KS para os 6 ensaios de campo do equipamento de irrigação.

**Tabela 1.** Parâmetros das distribuições normal e uniforme de probabilidades e resultados do teste de aderência de Komogorov-Smirnov.

Data	Ensaio	V (m s <sup>-1</sup> )	μ	σ	KS	
					Normal	KS Uniforme
12/03/2014	E1	1,89	1	0,0930	0,1229	0,1693*
14/03/2014	E2	5,34	1	0,1146	0,0751	0,0727
21/03/2014	E3	4,66	1	0,1251	0,1238	0,1762*
21/03/2014	E4	5,18	1	0,1536	0,1178	0,1662*
22/03/2014	E5	6,09	1	0,1690	0,1473*	0,1840*
22/03/2014	E6	5,86	1	0,1602	0,2046*	0,2328*

\*Ensaio que não se ajustaram segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov à 5% de probabilidade (KS > 0.1448).

Na Tabela 1, verifica-se que o desvio padrão das lâminas coletadas nos 6 ensaios de campo variou entre 0,0930 e 0,1690. Além disso, observa-se que a distribuição normal de probabilidades se ajustou à 4 dos 6 ensaios de campo, enquanto a distribuição uniforme de probabilidades ajustou-se apenas à 1 ensaio de campo do equipamento de irrigação mecanizado do tipo lateral móvel equipado com aspersores de placa oscilante.

Estes resultados estão de acordo com os resultados observados por Heermann et al. (1992) e Dukes (2006), que avaliando equipamentos de irrigação tipo pivô central e tipo lateral móvel, respectivamente, verificaram que a distribuição normal de probabilidades se ajusta à maioria dos ensaios de campo. Entretanto, estes resultados divergem dos resultados observados por Karmeli (1978), que afirmou, para equipamentos de irrigação por aspersão convencional, que a distribuição uniforme de probabilidades apresenta desempenho semelhante ao da distribuição normal de, resultado esse não observado neste estudo.

## CONCLUSÕES

A distribuição normal de probabilidades se ajustou à 4 dos 6 ensaios de campo do equipamento de irrigação mecanizado do tipo lateral móvel equipados com aspersores de placa oscilante modelo I-Wob, enquanto a distribuição uniforme de probabilidades se ajustou à apenas um ensaio de campo do equipamento de irrigação.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro para a aquisição dos equipamentos e materiais utilizados na obtenção dos dados para esse estudo.

À Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária – EMBRAPA Campo Experimental de Terras Baixas – ETB, Pelotas - RS.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14244:** Equipamentos de irrigação mecanizada – Pivô central e lateral móvel providos de emissores fixos ou rotativos – Determinação da uniformidade de distribuição de água. Rio de Janeiro, 1998. 11 p.
- ANYOJI, H.; WU, I. P. Normal distribution water application for drip irrigation schedules. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**. v. 37, n.1, p.159-164, 1994. <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=28066&t=2&redir=&redirType>
- DUKES, M. D. Effect of wind speed and pressure on linear move irrigation system uniformity. **Applied Engineering in Agriculture**. v. 22, n. 4, p. 541-548, 2006. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.21222>
- 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, n.4, p.321-330, 1980. <http://cedb.asce.org/CEDBsearch/record.jsp?dockey=0009921>
- FACI, J. M.; SALVADOR, R.; PLAYÁN, E.; SOURELL, H. Comparison of fixed and rotating spray plate sprinklers. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 127, p. 224-233, 2001. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)07339437\(2001\)127:4\(224\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)07339437(2001)127:4(224))

HEERMANN, D. F.; DUKE, H. R.; SERAFIM, A. M.; DAWSON, L. J. Distribution functions to represent center-pivot water distribution. **Transactions of American Society of Agricultural Engineers**. v.32, n.5, p.1465-1472, 1992. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.28754>

KARMELI, D. Estimating sprinkler distribution patterns using linear regression. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**. v.21, n.4, p.682-686, 1978. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.35367>

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: AnaviBook/Van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.

STEDINGER, J. R.; VOGEL, R. M.; FOUFOULA-GEORGIU, E. Frequency analysis of extreme events. In: MAIDMENT, D. R. (Ed.). **Handbook of Hydrology**, New York, McGraw-Hill, 1993, p.18.1-18.66.