

# DETERMINAÇÃO DO PERFIL RADIAL DE ASPERSORES A PARTIR DE ENSAIOS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM SISTEMAS AUTOPROPELIDOS DE IRRIGAÇÃO

GIULIANI DO PRADO<sup>1</sup>, ALBERTO COLOMBO<sup>2</sup>

**RESUMO:** Este trabalho apresenta uma rotina computacional, em *Visual Basic 6*, para determinar o perfil radial de aspersores, mediante ensaios de equipamentos autopropelidos de irrigação. Para a avaliação do programa, foi utilizado o aplicativo computacional SIMULASOFT e dados de ensaios de campo de sistemas autopropelidos de irrigação. As lâminas aplicadas, geradas pelo programa SIMULASOFT, foram para o aspersor PLONA-RL250 (bocal = 20 x 6 mm; pressão = 490 kPa), em deslocamento linear com velocidade de 50 m h<sup>-1</sup>, e quatro ângulos de giro distintos (180; 270; 330 e 360°). As lâminas aplicadas, observadas nos ensaios de campo, em condições de vento menores que 1,5 m s<sup>-1</sup>, foram para o aspersor PLONA-RL250, operando na pressão de 392 kPa e sob as condições: i) bocal de 14 mm, ângulo de giro de 240° e velocidade de 30 m h<sup>-1</sup>; ii) bocal de 14 x 6 mm, ângulo de giro de 270° e velocidade de 55 m h<sup>-1</sup>. O perfil radial gerado pela rotina computacional com as lâminas aplicadas, geradas com SIMULASOFT, foi igual ao perfil radial obtido em ensaios de laboratório, revelando que o procedimento de cálculo está correto. Uma boa semelhança entre os perfis radiais do aspersor, determinados em ensaios de laboratório e gerados pela rotina computacional, com as lâminas obtidas nos ensaios de campo, foi observada, mostrando que ensaios de campo de sistemas autopropelidos de irrigação podem ser utilizados para a obtenção do perfil radial de aspersores.

**PALAVRAS-CHAVE:** programa computacional, lâminas aplicadas, ensaios de laboratório.

## DETERMINING SPRINKLER PATTERNS FROM WATER DISTRIBUTION TESTS OF TRAVELLER IRRIGATION SYSTEMS

**ABSTRACT:** This paper presents a computational algorithm, in *Visual Basic 6*, to determine rain gun radial water distribution patterns, based on catch can data collected at standard tests of traveller irrigation machines. The algorithm was evaluated by using both simulated and measured data input. The simulated data input were obtained by running a software, named SIMULASOFT, in order to generate catch can data of a traveller irrigation machine transect section. Simulated values were computed considering the PLONA-RL250 sprinkler (nozzle = 20 x 6 mm; pressure = 490 kPa) working with four wetted sector angles (180°, 270°, 330° and 360°) and a 50 m h<sup>-1</sup> linear traveling speed. The measured catch can data were obtained at field tests, held under wind speeds lower than 1.5 m s<sup>-1</sup>, of a traveler irrigation machine working with the PLONA-RL250, at 392 kPa, under the following conditions: i) nozzle = 14 mm; sector angle 240°, and traveling speed = 30 m h<sup>-1</sup>; ii) nozzle = 14 x 6 mm, sector angle = 270°, and traveling speed = 55 m h<sup>-1</sup>. Comparisons among radial water application profiles measured at the test bench and the ones generated by the algorithm indicated that computed profiles based on simulated data were more accurate than the computed profiles based on field measured data. A great similarity obtained with simulated input data demonstrate the numerical accuracy of the proposed algorithm. The reasonably good resemblance of radial patterns generated by the algorithm, when using experimental input values, demonstrates that catch can transect values collected during standard field test of traveller irrigation machines may be used in order to determine rain gun radial water distribution pattern.

**KEYWORDS:** software, water depth, laboratory tests.

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Maringá, UEM, Cidade Gaúcha - PR, Fone: (0XX44) 3675.1879, gprado@uem.br

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, PhD, Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras - MG, Fone (0XX35) 3829.1388, acolombo@ufla.br

Recebido pelo Conselho Editorial em: 11-3-2008

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 11-1-2010

## INTRODUÇÃO

A produção agrícola sob irrigação, devido às exigências hídricas da cultura e ao cultivo em grandes extensões de terra, é um dos setores da cadeia produtiva que mais consomem água. Desta forma, sistemas de irrigação bem dimensionados, apresentando adequados índices de uniformidade de aplicação de água, aliados a um correto manejo da irrigação, são essenciais para maximizar a produtividade e reduzir as perdas de água (FRIZZONE & DOURADO NETO, 2003).

Nos sistemas autopropelidos de irrigação, a uniformidade de aplicação de água, na maioria das vezes, não é adequada, principalmente pelo desconhecimento das melhores condições operacionais do equipamento de irrigação (ROCHA et al., 2005). Conforme PRADO & COLOMBO (2005a), estas recomendações inadequadas são consequência da falta de conhecimento das reais características de distribuição de água dos aspersores utilizados nestes equipamentos de irrigação.

O conhecimento das características de distribuição de água dos aspersores é essencial para projetistas estabelecerem as melhores condições operacionais do sistema de irrigação por aspersão, de modo a otimizar a uniformidade de aplicação de água (PRADO et al., 2007). Segundo SGINER et al. (1992), a mensuração do perfil radial de distribuição de água de um aspersor é requerida para a pesquisa, desenvolvimento de protótipos de aspersores, controle da qualidade de fabricação e avaliação dos aspersores pelo consumidor. Diante da importância do conhecimento da distribuição de água dos aspersores, é surpreendente a falta de informações técnicas a respeito dos diversos modelos de aspersores disponíveis no mercado (MARTÍN-BENITO et al., 1992).

KELLER & BLIESNER (1990), BERNARDO et al. (2005) e FARIA et al. (2009) salientam que as características de distribuição de água dos aspersores dependem do modelo de aspersor considerado, das suas condições operacionais (altura de instalação, diâmetro de bocal, pressão de serviço e ângulo de giro) e das condições climáticas durante sua operação. Além destas várias possibilidades de combinações operacionais dos aspersores, o procedimento para a determinação do perfil radial de distribuição de água de aspersores, conforme as normas técnicas (ISO, 1990 e ASAE, 1987), é moroso e bastante trabalhoso, sendo o grau destas dificuldades aumentado pelo incremento no raio molhado do aspersor em questão.

Em função das dificuldades e da inviabilidade de as empresas fabricantes de aspersores disponibilizarem, em seus catálogos técnicos, todos os dados de distribuição de água dos aspersores para todas as combinações operacionais de bocal, pressão de serviço e ângulo de jato, é preciso desenvolver técnicas de modo a reduzir o número de ensaios e determinar estes valores diretamente em condições reais de campo. PRADO & COLOMBO (2005b) apresentam uma metodologia de interpolação de perfis radiais adimensionais para a obtenção do perfil radial não ensaiado. NEWELL et al. (2003) apresentam uma técnica para a obtenção do perfil radial de distribuição de água que dispensa o uso de instalações especiais para ensaio do aspersor estacionário.

Com a metodologia apresentada por NEWELL et al. (2003), é possível a obtenção do perfil radial de distribuição de água por meio de ensaios de campo de distribuição de água do aspersor acoplado em um equipamento autopropelido de irrigação, como os ensaios realizados em baixas condições de vento por ROCHA (2000) e PRADO et al. (2007). Desta forma, a partir de um ensaio específico de distribuição de água do equipamento autopropelido, é possível simular com programas computacionais, como o SIMULASOFT (PRADO, 2004) e TRAVGUN (NEWELL et al., 2003), a distribuição de água para outras situações não ensaiadas e estabelecer as condições operacionais de modo a maximizar os valores de uniformidade de aplicação de água.

NEWELL et al. (2003), em seu trabalho, apenas descrevem a metodologia para a obtenção do perfil radial de distribuição de água mediante ensaios com equipamentos autopropelidos de irrigação. De modo a apresentar uma sequência de cálculos para a obtenção do perfil radial, a partir da metodologia descrita por NEWELL et al. (2003), este trabalho teve os objetivos de: i) apresentar um algoritmo para a obtenção do perfil radial a partir de ensaios de distribuição de água de

aspersores em equipamentos autopropelidos de irrigação, e ii) verificar se o procedimento de cálculo é adequado para a obtenção do perfil radial de distribuição de água de aspersores.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Descrição do modelo

De acordo com a Figura 1, um aspersor acoplado em um sistema autopropelido de irrigação, em movimento linear com velocidade constante e operando com um ângulo de giro  $\theta$  apresenta ângulo seco  $\beta$ , que é determinado por:

$$\beta = \frac{360 - \theta}{2} \quad (1)$$

em que,

$\beta$  - metade do ângulo seco do aspersor, graus, e

$\theta$  - ângulo de giro do aspersor, graus.

A distribuição de água desse aspersor, em movimento linear ao longo do eixo “W” (Figura 1), o qual coincide com o carreador, é determinada de acordo com a norma ISO 8224-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2003), com auxílio de um dado número (N) de coletores de água dispostos ao longo do eixo “y”, situado perpendicularmente ao sentido de deslocamento do aspersor.

Os coletores de água dispostos ao longo do eixo “y”, espaçados em  $\Delta e$  (em m), estendem-se ao longo do raio de alcance do aspersor (Figura 1). Após a passagem do aspersor, cada coletor de água, que se encontra a uma dada distância em relação ao carreador e contida no vetor “ $\mathbf{d} = (d_1, d_2, \dots, d_N)^b$ ”, apresenta uma dada lâmina de irrigação aplicada, caracterizada pelo vetor “ $\mathbf{I} = (I_1, I_2, \dots, I_N)^b$ ”. A partir da lâmina aplicada no último coletor que recebeu água e do antepenúltimo, é estabelecido o raio de alcance do aspersor, prolongando linearmente as lâminas aplicadas até o valor de zero, que é dado por:

$$R = d_{(N)} - I_{(N)} \left( \frac{d_{(N-2)} - d_{(N)}}{I_{(N-2)} - I_{(N)}} \right) \quad (2)$$

em que,

R - raio de alcance do aspersor, m;

d - vetor distância  $(d_1, d_2, \dots, d_N)^t$  de cada coletor em relação ao carreador, m;

I - vetor lâmina  $(I_1, I_2, \dots, I_N)^t$  de irrigação aplicada em cada coletor, mm, e

N - número de coletores de água dispostos ao longo do eixo y.

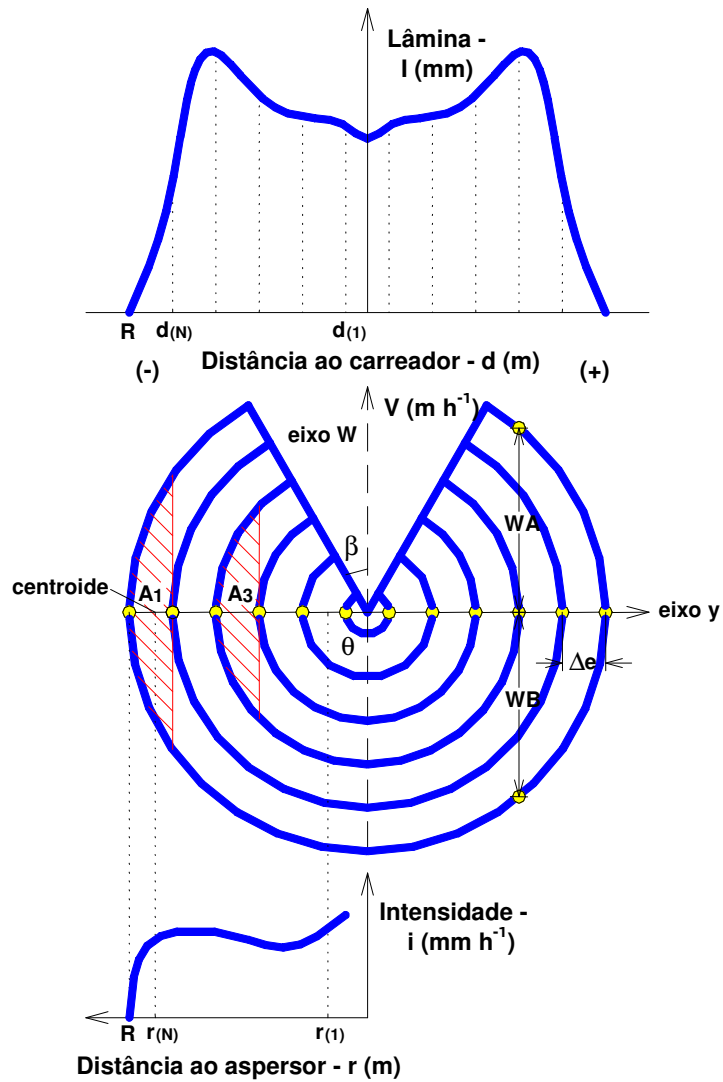


FIGURA 1. Representação da distribuição de água de um aspersor em movimento, com velocidade linear constante ao longo do carreador. Adaptado de NEWELL et al. (2003). **Water distribution representation of a travelling sprinkler with a constant linear speed along a towpath. Adapted from Newell et al. (2003).**

Durante a passagem do aspersor, cada coletor recebeu água durante um intervalo de tempo “T (em h)”, que, de acordo com a Figura 1, começa no início da aplicação de água e termina no final da aplicação de água. Este tempo de molhamento depende da velocidade linear de deslocamento do aspersor e da distância entre o início e o fim da aplicação de água. Para determinação desta distância, são usadas as variáveis auxiliares WA e WB (Figura 1), que dependem do ângulo seco  $\beta$ , da coordenada “y” em que o coletor em questão se encontra ( $y_a$ ) e da coordenada “y” do próximo ponto ( $y_p$ ), dadas por:

$$WA(y_a, y_p, \beta) = \begin{cases} 0, & \text{para : } y_a \geq y_p \\ \sqrt{y_p^2 - y_a^2}, & \text{para : } y_p \text{ sen}(\beta) \leq y_a < y_p \\ y_a \text{ cotg}(\beta), & \text{para : } y_a < y_p \text{ sen}(\beta) \end{cases} \quad (3)$$

$$WB(y_a, y_p) = \begin{cases} 0, & \text{para : } y_a \geq y_p \\ -\sqrt{y_a^2 - y_p^2}, & \text{para : } y_a < y_p \end{cases} \quad (4)$$

em que,

WA(ya, yp,  $\beta$ ) - função que define o valor da coordenada “W” no início da aplicação de água, m;  
 WB(ya, yp) - função que define o valor da coordenada “W” no final da aplicação de água, m;  
 ya - coordenada “y” em que o coletor de água se encontra, m, e  
 yp - coordenada “y” do próximo ponto, m.

Para ensaios de distribuição de água do aspersor operando em equipamentos autopropelidos, sob baixos valores de velocidade de vento (menor que  $0,9 \text{ m s}^{-1}$ ), as lâminas aplicadas nos coletores à direita e à esquerda ao aspersor são praticamente iguais, permitindo trabalhar com a média das lâminas aplicadas nestes coletores. Desta forma, as lâminas aplicadas à direita e à esquerda são simétricas, possibilitando caracterizar a posição de cada coletor como anéis (Figura 1). A partir destes anéis, são determinadas as intensidades de precipitação, caracterizadas pelo vetor “ $\mathbf{i} = (i_1, i_2, \dots, i_{N+1})^t$ ”, ocorridas no perfil radial de distribuição de água.

Para o último coletor que recebeu água, “ $I_{(N)}$ ”, a intensidade de precipitação média “ $i_{(N)}$ ”, ocorrida na área “A1” (Figura 1) e calculada pela expressão 5, representa a relação entre a lâmina de precipitação, “ $I_{(N)}$ ”, e o tempo necessário para o aspersor percorrer a distância correspondente à base da área “A1”, a qual é calculada a partir da distância “ $d_{(N)}$ ” ao carreador e do raio de alcance do aspersor, utilizando as funções auxiliares WA e WB.

$$i_{(N)} = \frac{I_{(N)} V}{WA(d_{(N)}, R, \beta) - WB(d_{(N)}, R)} \quad (5)$$

em que,

$i_{(N)}$  - intensidade de precipitação média ocorrida em um ponto de índice N e contida no vetor  $\mathbf{i} = (i_1, i_2, \dots, i_{N+1})^t$ ,  $\text{mm h}^{-1}$ , e  
 V - velocidade linear constante de deslocamento do aspersor no carreador,  $\text{m h}^{-1}$ .

O valor da intensidade de precipitação, calculado pela expressão 5, que ocorreu no perfil radial de distribuição de água, encontra-se a uma dada distância em relação ao aspersor. Esta distância ao aspersor, caracterizada pelo vetor “ $\mathbf{r} = (r_1, r_2, \dots, r_{N+1})^t$ ”, corresponde a distância do aspersor até o centroide de “A1”(Figura 1), que pode ser calculada por:

$$dc(ya, yp) = \frac{2 (yp^2 - ya^2)^{1,5}}{3 \left[ yp^2 \arctg\left(\frac{\sqrt{yp^2 - ya^2}}{ya}\right) - ya \sqrt{yp^2 - ya^2} \right]} \quad (6)$$

em que,

dc(ya, yp) - função que define a distância do aspersor até o ponto em que ocorreu a intensidade de precipitação, m, e  
 arctg( $\tau$ ) - função matemática que retorna ao arco tangente de  $\tau$ .

Para os demais valores de intensidades de precipitação média e distâncias ao aspersor, ocorridas no perfil radial de distribuição de água, o procedimento de cálculo é semelhante; entretanto, é preciso retirar as lâminas precipitadas no coletor em questão, que são decorrentes das intensidades de precipitação médias ocorridas em pontos mais distantes do perfil radial de distribuição de água. Desta forma, a intensidade de precipitação média ocorrida em um coletor de índice “p” pode ser determinada pela expressão:

$$i_{(p)} = \frac{I_{(p)} - \left( i_{(N)} \cdot T1 + \sum_{k=2}^{N-p} i_{(p+k-1)} \cdot T2 \right)}{T} \quad \text{com: } 1 \leq p < N$$

sendo:

$$T = \frac{WA(d_{(p)}, d_{(N)}, \beta) - WB(d_{(p)}, d_{(N)})}{V} \quad (7)$$

$$T1 = \frac{(WA(d_{(p)}, R, \beta) - WA(d_{(p)}, d_{(N)}, \beta)) - (WB(d_{(p)}, R) - WB(d_{(p)}, d_{(N)}))}{V}$$

$$T2 = \frac{(WA(d_{(p)}, d_{(p+k)}, \beta) - WA(d_{(p)}, d_{(p+k-1)}, \beta)) - (WB(d_{(p)}, d_{(p+k)}) - WB(d_{(p)}, d_{(p+k-1)}))}{V}$$

As intensidades de precipitações médias calculadas, contidas no vetor “i”, de aspersores operando em sistemas autopropelidos de irrigação com ângulos de giro menor que 360°, são corrigidas pelo fator  $\theta/360$ .

### Validação do modelo

Para verificar se o procedimento de cálculo apresentado está correto, foi utilizado o aplicativo computacional SIMULASOFT (PRADO, 2004). Este programa simula, a partir das características técnicas de vazão, raio de alcance e perfil radial de distribuição de água do aspersor, as lâminas aplicadas pelo aspersor em um equipamento autopropelido de irrigação, operando com um ângulo de giro  $\theta$  e deslocando-se com uma velocidade linear constante.

Com auxílio do programa, foram determinadas, com o perfil radial de distribuição de água do aspersor da marca PLONA®, modelo RL250, obtido com os bocais 20 x 6 mm sob a pressão de serviço de 490 kPa, na bancada de ensaio de aspersores da Universidade Federal de Lavras, em Lavras - MG, as lâminas aplicadas por este aspersor, deslocando-se com uma velocidade constante de 50 m h<sup>-1</sup> e quatro ângulos de giro distintos (180; 270; 330 e 360°).

A partir das quatro condições simuladas, as lâminas aplicadas em coletores espaçados em 2 m foram utilizadas, com o auxílio do procedimento de cálculo descrito, para estabelecer o perfil radial de distribuição de água do aspersor. Este perfil radial estimado foi comparado com o perfil radial utilizado no SIMULASOFT para gerar as lâminas aplicadas pelo aspersor.

Para a validação experimental do modelo, foram determinados, na bancada de ensaios de aspersores da Universidade Federal de Lavras, a vazão, o raio de alcance e o perfil radial de distribuição de água do aspersor PLONA-RL250, para duas condições operacionais distintas. Estes ensaios foram realizados de acordo com o procedimento descrito por PRADO & COLOMBO (2005a), com o aspersor operando com os bocais 14 mm e 14 x 6 mm na pressão de 392 kPa.

Os ensaios de campo de distribuição de água foram feitos com o aspersor PLONA-RL250, operando em um carretel enrolador da marca Metal Lavras, modelo Hidro Roll 63/150. Estes ensaios foram realizados no Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET) de Uberaba-MG, em um terreno com declividade de 2%, no sentido do deslocamento do aspersor, observando-se as seguintes condições operacionais: i) bocal de 14 mm, ângulo de giro de 240° e velocidade de 30 m h<sup>-1</sup>; ii) bocais de 14 x 6 mm, ângulo de giro de 270° e velocidade de 55 m h<sup>-1</sup>.

Nos ensaios de campo, foram instaladas três linhas de coletores, espaçadas de 6 m. Em cada lado destas linhas, 20 coletores de plástico, com 8 cm de diâmetro, foram instalados. O espaçamento entre coletores foi de 2 m, sendo o primeiro coletor de cada linha instalado a uma distância de 1 m da linha de deslocamento do aspersor. A área de captação dos coletores foi mantida em nível, a uma distância média de 40 cm da superfície do solo. Durante os ensaios, a velocidade média do vento, que era monitorada a cada 5 minutos, com um anemômetro de canecas, instalado a 2 m de altura, não excedeu 1,5 m s<sup>-1</sup>.

Os valores de lâminas aplicadas foram utilizados para determinar, com auxílio do procedimento de cálculo descrito, as intensidades de precipitação de água do perfil radial de distribuição de água do aspersor, para as duas condições operacionais ensaiadas no campo. Estes dois perfis radiais estimados foram comparados com os perfis radiais obtidos em laboratório.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o procedimento de cálculo descrito para a obtenção do perfil radial, a partir das lâminas aplicadas por um aspersor operando em um equipamento autopropelido de irrigação, foi desenvolvido, de modo a auxiliar o desenvolvimento de rotinas computacionais, o algoritmo:

ENTRADA: ângulo de giro ( $\theta$ ), velocidade de deslocamento do aspersor ( $V$ ), vetor distância ao carreador  $\mathbf{d} = (d_1, d_2, \dots, d_N)^t$  e vetor lâmina aplicada  $\mathbf{I} = (I_1, I_2, \dots, I_N)^t$

$$\text{Passo 1: Faça } T = \frac{WA(d_{(N)}, R, \beta) - WB(d_{(N)}, R)}{V} \quad ; \quad i_{(N)} = \frac{I_{(N)}}{T}$$

$$r_{(N)} = dc(d_{(N)}, R) \quad ; \quad x = N$$

$$r_{(N+1)} = R \quad ; \quad i_{(N+1)} = 0$$

Passo 2: Para  $j = 2, \dots, N$  siga os passos 3-7.

Passo 3: Faça  $r_{(x-1)} = dc(d_{(x-1)}, d_{(x)})$

$$d1 = WA(d_{(x-1)}, d_{(x)}, \beta) \quad ; \quad d2 = WB(d_{(x-1)}, d_{(x)})$$

$$T = \frac{d1 - d2}{V} \quad ; \quad I0 = 0$$

Passo 4: Para  $k = 1, \dots, j$  siga os passos 5-6.

Passo 5: Se  $k = j$

$$dA = WA(d_{(x-1)}, R, \beta) \quad ; \quad dB = WB(d_{(x-1)}, R)$$

$$T1 = \frac{(dA - d1) - (dB - d2)}{V}$$

$$I1 = i_{(N)} \cdot T1 \quad ; \quad I0 = I0 + I1$$

Passo 6: Se  $k \neq j$

$$dA = WA(d_{(x-1)}, d_{((N+(k-j)+1)}, \beta) \quad ; \quad dB = WB(d_{(x-1)}, d_{((N+(k-j)+1)})$$

$$T1 = \frac{(dA - d1) - (dB - d2)}{V}$$

$$I1 = i_{(N+(k-j))} \cdot T1 \quad ; \quad I0 = I0 + I1$$

$$d1 = dA \quad ; \quad d2 = dB$$

Passo 7: Faça  $x = x - 1$

$$i_{(x)} = \frac{I_{(x)} - I0}{T}$$

Passo 8: Para  $j = 1, \dots, N$  Faça  $i_{(j)} = i_{(j)} \cdot \frac{\theta}{360}$

SAÍDA: vetor distância ao aspersor  $\mathbf{r} = (r_1, r_2, \dots, r_{N+1})^t$  e vetor intensidade aplicada  $\mathbf{i} = (i_1, i_2, \dots, i_N)^t$

O algoritmo descrito acima foi utilizado para desenvolver uma rotina computacional para a obtenção do perfil radial, a partir de ensaios de aspersores em equipamentos autopropelidos de irrigação, a qual foi incorporada ao aplicativo computacional SIMULASOFT (PRADO, 2004). Conforme a Figura 2, esta rotina apresenta duas janelas: uma para entrada de dados e outra apresentando o perfil radial de distribuição de água estimado. Na primeira janela (Figura 2a), o usuário deve entrar com os dados do ensaio de campo do aspersor operando no equipamento autopropelido. Com estes dados, o programa estima, apresenta e salva o perfil radial de distribuição de água do aspersor na segunda janela (Figura 2b).

Nas Figuras 3a, 3b e 3c, são mostradas as lâminas de irrigação geradas, para quatro ângulos de giro distintos, com auxílio do programa SIMULASOFT, pelo perfil radial de distribuição de água, apresentado nas Figuras 3d, 3e e 3f (linha vermelha), do aspersor PLONA-RL250 (bocal = 20 x 6 mm e pressão = 490 kPa). Estes valores de lâminas aplicadas foram inseridos na rotina computacional (Figura 2) e determinado o perfil radial de distribuição de água do aspersor apresentado nas Figuras 3d, 3e e 3f (linha azul).

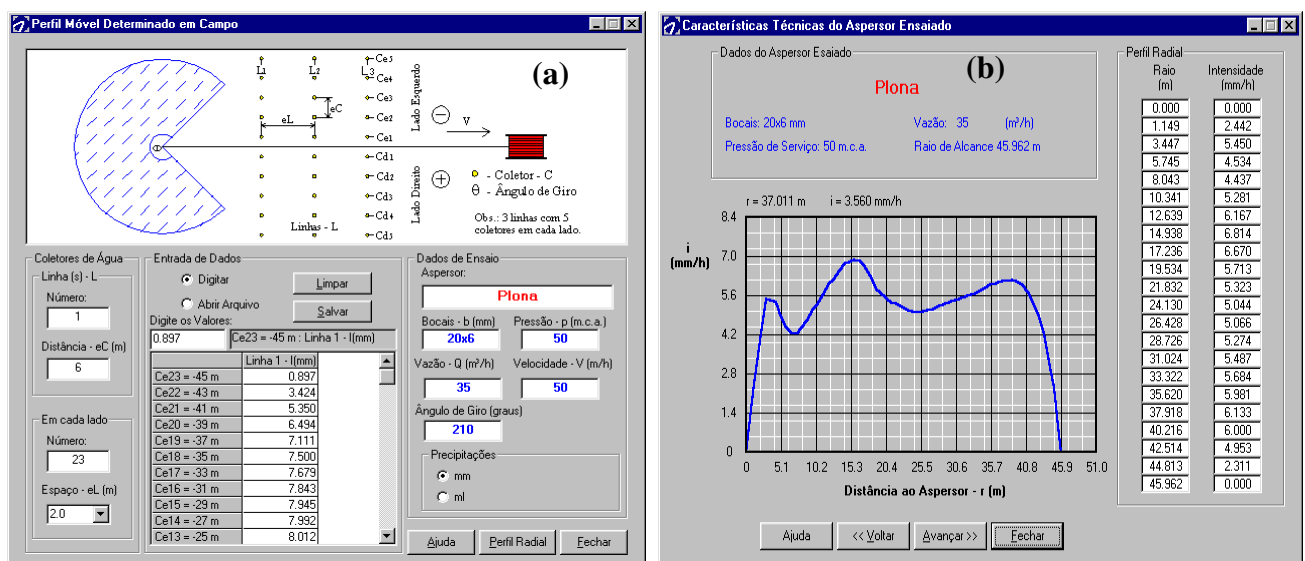


FIGURA 2. Rotina computacional desenvolvida a partir do algoritmo descrito: (a) janela para entrada de dados, e (b) janela com perfil radial de distribuição de água estimado. **Computational routine developed according to the described algorithm: (a) input data window and (b) window with an estimated radial water distribution profile.**

Na Figura 3, observa-se que os valores de intensidade de precipitação do perfil radial de distribuição de água, gerado pelo algoritmo apresentado, são praticamente idênticos aos valores de intensidade de precipitação observados no perfil radial de distribuição de água determinado em laboratório. Esta similaridade mostra que a sequência de cálculos apresentada no algoritmo é satisfatória para determinar o perfil radial de qualquer aspersor, a partir de ensaios de distribuição de água de equipamentos autopropelidos de irrigação operando em baixas condições de vento.

Nas Figuras 4a e 4b (linha vermelha) são apresentadas as lâminas aplicadas pelo aspersor PLONA-RL250 acoplado em um sistema autopropelido de irrigação obtidas nos ensaios de campo. Também nas Figuras 4a e 4b (linha azul) é mostrada a média das lâminas aplicadas, do lado direito, com as do lado esquerdo, no carreador. A partir deste valor médio das lâminas aplicadas de ambos os lados do carreador, foi estabelecido o perfil radial de distribuição de água do aspersor, mostrado nas Figuras 4c e 4d (linha azul), com auxílio da rotina computacional apresentada na Figura 2.



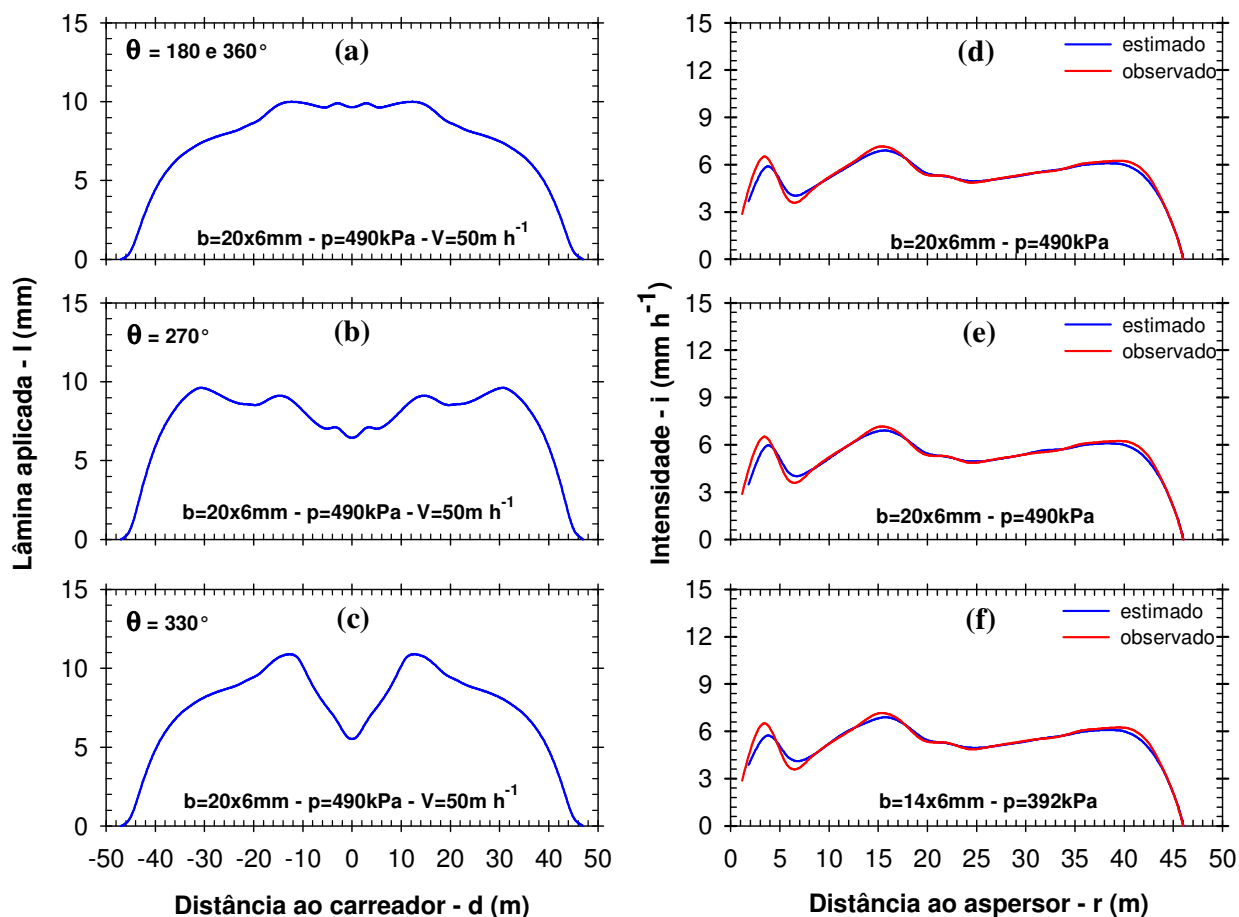


FIGURA 3. Lâminas de irrigação geradas pelo SIMULASOFT com o perfil radial observado e perfil radial de distribuição de água observado e estimado com auxílio do algoritmo. **Irrigation depths generated by SIMULASOFT software showing observed radial profile and radial water distribution estimated by the algorithm.**

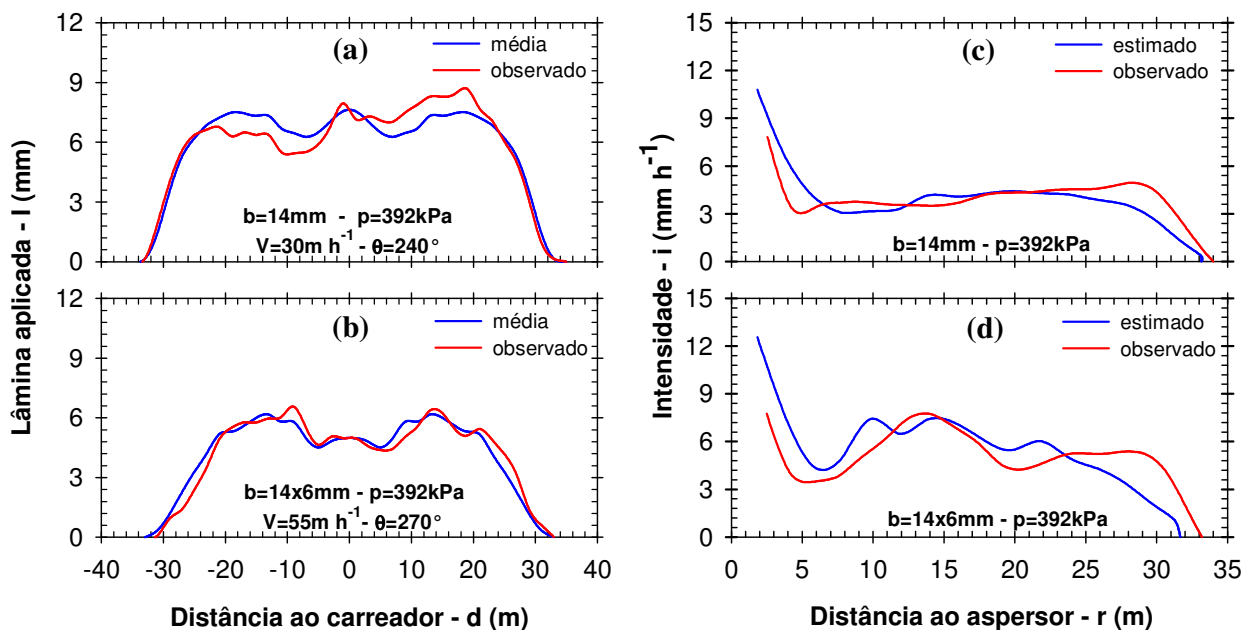


FIGURA 4. Lâminas de irrigação aplicadas pelo aspersor PLONA-RL250 em um sistema autopropelido de irrigação e perfis radiais estimados e observados em laboratório. **Irrigation depths applied by the PLONA-RL250 gun sprinkler in a travelling machine and radial profiles estimated and observed in laboratory tests.**

Nas Figuras 4c e 4d, observa-se que o perfil radial de distribuição de água estimado a partir das lâminas aplicadas pelo aspersor, em um equipamento autopropelido de irrigação, apresenta boa semelhança ao perfil radial de distribuição de água obtido no ensaio de laboratório. Conforme MONTERO et al. (2001), estas diferenças nos valores de intensidades de precipitação de água, entre o perfil radial estimado e observado em laboratório, são decorrentes de pequenas variações operacionais (pressão de serviço, velocidade linear de deslocamento e regulação do ângulo de giro) e das condições climáticas de vento que não são absolutamente nulas.

Como apresentado na Figura 5, apesar das diferenças nos valores de intensidades de precipitação dos perfis radiais obtidos em laboratório com os perfis radiais gerados pela rotina computacional, os valores de uniformidade de aplicação para sistemas autopropelidos obedecem a uma mesma tendência. PRADO (2004), na validação do aplicativo computacional SIMULASOFT, observou este mesmo comportamento entre os valores de uniformidade de aplicação de água, obtidos nas simulações digitais e nos ensaios de campo com sistemas autopropelidos de irrigação.

De acordo com as observações de VORIES et al. (1987), as diferenças entre os valores de intensidade de precipitação observados e estimados nos perfis radiais de distribuição de água (Figuras 4c e 4d), decorrente de variações operacionais e climáticas, apresentam menor influência nos valores de uniformidade de aplicação de água (Figura 5). Desta forma, estes perfis radiais de distribuição de água permitem simular, em aplicativos computacionais, como o SIMULASOFT (PRADO 2004) e TRAVGUN (NEWELL et al., 2003), os valores de uniformidade de aplicação de água para diferentes condições operacionais e selecionar, a partir dos dados apresentados na Figura 5, as situações de trabalho que promovam adequados índices de uniformidade de aplicação de água.

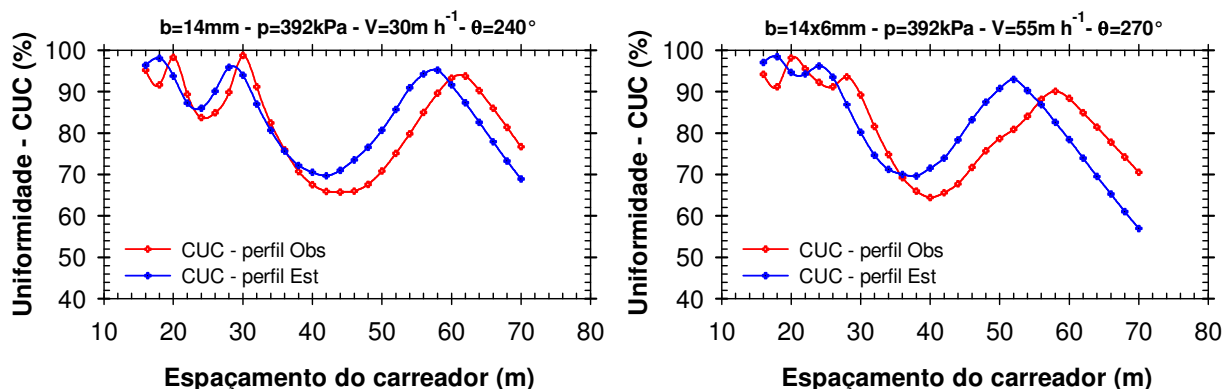


FIGURA 5. Uniformidade de aplicação de água (coeficiente de Christiansen - CUC) obtida em simulações digitais com o perfil radial estimado pela rotina computacional e pelo perfil radial determinado em laboratório. **Digital simulations of water application uniformity (Christiansen coefficient - CUC) based on radial profiles estimated by the computational routine and based on radial profiles determined in laboratory tests.**

## CONCLUSÕES

O procedimento numérico de cálculo é adequado para a obtenção do perfil radial de distribuição de água de aspersores a partir de ensaios de sistemas autopropelidos de irrigação.

Ensaio de distribuição de água de aspersores em equipamentos autopropelidos, realizados obedecendo às normas técnicas e para baixas condições de velocidade do vento (menor a  $0,9 \text{ m s}^{-1}$ ), podem ser utilizados para a obtenção do perfil radial de distribuição de água do aspersor.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. ASAE Standard S330.1. Procedure for sprinkler distribution testing research purposes. St. Joseph, 1987. p.487-489.

- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E.C. *Manual de irrigação*. 7.ed. Viçosa - MG: Imprensa Universitária, 2005. 611 p.
- FARIA, L.C.; COLOMBO, A.; OLIVEIRA, H.F.E.; PRADO, G. Simulação da uniformidade da irrigação de sistemas convencionais de aspersão operando sob diferentes condições de vento. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.29, n.1, p.19-27, 2009.
- FRIZZONE, J.A.; DOURADO NETO, D. Avaliação de sistemas de irrigação. In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. *Irrigação*. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2003. p.573-651.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7749-2 Irrigation equipment - Rotating sprinkler: uniformity of distribution and test methods. Switzerland, 1990. part 2, 6 p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 8224-1 Traveller irrigation machines: operational characteristics and laboratory and field test methods. Switzerland, 2003. part 1, 36 p.
- KELLER, J.; BLIESNER, R.D. *Sprinkle 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.895-913, 1992.
- MONTERO, J.; TARJUELO, J. M.; CARRIÓN, P. SIRIAS: a simulation model for sprinkler irrigation. II Calibration and validation of the model. *Irrigation Science*, New York, v.20, n.2, p.85-98, 2001.
- NEWELL, G. F.; FOLEY, J.; SMITH, R. TRAVGUN-Travelling Gun Simulation model user's manual. Version 1.1. Toowooba, QLD. Australia. 2003. 91 p.
- PRADO, G. *Aplicativo computacional para simulação da distribuição de água pelo aspersor PLONA-RL300 em sistemas autopropelidos de irrigação*. 2004. 86 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.
- PRADO, G.; COLOMBO, A. Caracterização técnica do aspersor PLONA-RL300. *Irriga*, Botucatu, v.10, n.1, p.53-63, 2005a.
- PRADO, G.; COLOMBO, A. Interpolação de perfis radiais de aplicação de água de aspersores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 34., 2005, Canoas. *Anais...* Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2005b. 1 CD-ROM.
- PRADO, G.; COLOMBO, A.; BARRETO, A.C.; FARIA, L.C.; OLIVEIRA, H.F.E. Simulações digitais e ensaios de uniformidade de aplicação de água de equipamentos autopropelidos de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., 2007, Bonito. *Anais...* Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2007. 1 CD-ROM.
- PRADO, G.; COLOMBO, A.; BIAGIONI, P.F. Ângulo de giro e espaçamento entre carreadores em sistemas autopropelidos de irrigação com o PLONA-RL400. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.27, n.2, p.346-353, 2007.
- ROCHA, A.F. *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, F.A.; PEREIRA, G.M.; ROCHA, F.S.; SILVA, J.O. Análise da uniformidade de distribuição de água de um equipamento autopropelido. *Irriga*, Botucatu, v.10, n.1, p.96-106, 2005.

SEGINER, I.; KANTZ, D.; NIR, D.; BERNUTH, R.D. Von. Indoor measurement of single-radius sprinkler patterns. *Transactions of the American society of Agricultural Engineers*, St. Joseph, v.35, n.2, p.523-533, 1992.

VORIES, E. D.; ASCE, S.M.; BERNUTH, R.D. Von. Simulating sprinkler performance in wind. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v.113, n.1, p.119-130, 1987.