

EFEITO DE ÂNGULO DE GIRO ASSIMÉTRICO NA DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE SISTEMAS AUTOPROPELIDOS DE IRRIGAÇÃO

GIULIANI DO PRADO¹, ALBERTO COLOMBO²

¹ Engenheiro Agrônomo, Professor Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Maringá - UEM, (44) 3675-1779, gprado@uem.br

² Engenheiro Agrônomo, Professor Doutor, Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras - UFLA, (35) 3829-1388, acolombo@ufla.br

Apresentado no
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

RESUMO: O trabalho objetivou simular a distribuição de água de sistemas autopropelidos de irrigação operando com ângulos de giro assimétricos. Nas simulações das lâminas aplicadas, para a condição de ausência de vento, aspensor com perfil radial teórico retangular e movimentando-se com velocidade de 50 m h^{-1} , foram considerados: i) seis ângulos de giro ($180, 210, 240, 270, 300$ e 330°) e; ii) assimetria de 0 a 90° do ângulo de giro em relação do eixo do carreador. Os valores de Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) foram calculados sobrepondo as lâminas aplicadas para espaçamentos de faixa compreendidos entre 30 a 100% do diâmetro molhado (DM) do aspensor. Independente do ângulo de giro, espaçamentos menores que 50% do DM proporcionaram valores de CUC maiores que 80% . Para o ângulo de giro de 180° , assimetria em relação ao eixo de movimentação do aspensor levou a uma redução dos valores de CUC. Assimetria em relação ao eixo de movimentação do aspensor maior que 30° , para os ângulos de giro de 300 e 330° , proporcionou altos valores de uniformidade ($\text{CUC} > 80\%$) nos espaçamentos entre 30 e 80% do DM. Este mesmo comportamento não foi observado nas demais condições operacionais de ângulo de giro.

PALAVRAS-CHAVE: carreador, coeficiente de uniformidade, espaçamento de faixa

ASYMMETRIC WETTED ANGLE EFFECT ON WATER DISTRIBUTION FROM TRAVELLING GUN IRRIGATION

ABSTRACT: The work aimed to simulate the water distribution from travelling gun irrigation adjusting wetted angle asymmetrically. On simulations of water depth applied, for no wind condition, gun sprinkler presenting a theoretical radial leg of rectangular shape and, constant travel speed of 50 m h^{-1} , were considered: i) six wetted angle ($180, 210, 240, 270, 300$ and 330°) and; ii) asymmetry from 0 to 90° of wetted angle from the travel path axis. The Christiansen Uniformity Coefficient (CUC) values were calculated by overlapping the water depth applied for strip spacing range between 30 and 100% of the gun sprinkler wetted diameter (WD). Regardless of wetted angle, strip spacing shorter than 50% of WD resulted in CUC values bigger than 80% . For wetted angle of 180° , asymmetry in relation to the gun sprinkler travel path axis led to a reduction of CUC values. Asymmetry in relation to the gun sprinkler travel path axis greater than 30° , for wetted angle of 300 and 330° , resulted in high uniformity values ($\text{CUC} > 80\%$) with strip spacing between 30 and 80% of WD. In the other working conditions of wetted angle, the same outcomes were not observed.

KEYWORDS: travel path, uniformity coefficient, strip spacing

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) do mundo e, em média, 55% da cana produzida é transformada em álcool (BEBÉ et al., 2009). Na produção de álcool é gerado um grande volume de vinhaça, resíduo com alta carga orgânica e rica em potássio, cálcio, magnésio e sódio. Dentre as práticas mais econômicas e eficientes de utilização da vinhaça, a disposição desse resíduo nas lavouras de cana-de-açúcar é uma forma amplamente empregada.

Os sistemas autopropelidos de irrigação têm sido empregados largamente na aplicação de água e vinhaça nas lavouras de cana-de-açúcar (PAULINO et al., 2011). O emprego desse tipo de equipamento está relacionado à menor exigência de mão-de-obra, facilidade operacional do sistema e irrigação de áreas relativamente grandes (até 80 ha).

Conforme OLIVEIRA et al. (2012), a distribuição de água dos aspersores do tipo canhão hidráulico que operam nos sistemas autopropelidos de irrigação é influenciada por fatores controláveis pelo operado (tipo de aspersor, diâmetro de bocal, pressão de serviço, ângulo do jato, ângulo de giro e espaçamento entre carregadores) e fatores climáticos (velocidade e direção do vento). A combinação correta desses fatores pode proporcionar altos valores de uniformidade de aplicação de água ou vinhaça, entretanto, uma inadequada combinação desses fatores pode comprometer a distribuição de água ou vinhaça na área irrigada pelo sistema de irrigação.

Os fatores controláveis, diâmetro de bocal e pressão de serviço, afetam diretamente na forma geométrica do perfil radial de distribuição de água do aspersor. PRADO & COLOMBO (2007), ao estudar as formas geométricas do perfil radial do aspersor tipo canhão hidráulico PLOLA-RL250, observaram que, operando sob adequadas combinações de bocais e pressões de serviço, a forma geométrica do perfil radial do aspersor tendeu para o perfil teórico retangular (perfil F de CHRISTIANSEN, 1942). Todavia, condições de baixas pressões de serviço associadas aos maiores diâmetros de bocais, devido a falta de pulverização do jato, levaram ao acúmulo de água na extremidade final do perfil radial de distribuição de água do aspersor (perfil tipo rosquilha).

O ângulo de lançamento do jato de água também afeta a forma geométrica do perfil radial de distribuição de água. Aspersores operando com ângulos de jato maiores que 20° sob adequada combinação de pressão e diâmetro de bocais proporcionam perfis radiais tendendo para o perfil teórico retangular de CHRISTIANSEN (1942). Entretanto, para ângulos de lançamento menores que 20°, há um acúmulo de água na extremidade final do perfil radial (PRADO et al., 2013).

KELLER & BLIESNER (1990), por considerarem que os canhões apresentam um perfil radial quase retangular, recomendam, para a condição de ventos calmos, um espaçamento entre carregadores próximo de 80% do diâmetro molhado e ângulo de giro simétricos em relação ao carregador na faixa entre 210 e 240°. PRADO et al. (2012), ao estudarem as formas geométricas teóricas (triangular, elíptica e retangular) do perfil radial de aspersores operando em sistemas autopropelido de irrigação, verificaram que ângulos de giro simétricos em relação ao carregador na faixa de 240 a 330° associados a espaçamentos entre carregadores entre 50 a 80% do diâmetro molhado do aspersor proporcionam baixos valores de uniformidade de aplicação de água.

Fabricantes de sistemas autopropelidos de irrigação têm recomendado operar o aspersor com ângulo de giro igual a 270° (ROCHA et al., 2005) e larguras de faixa entre 60 a 70% do diâmetro molhado do aspersor, que leva a uma inadequada distribuição de água. Desta forma, o trabalho objetiva avaliar o efeito do ângulo de giro assimétrico, em relação ao carregador, na distribuição de água de aspersores com perfil radial teórico retangular em sistemas autopropelidos de irrigação.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Maringá, em Cidade Gaúcha, Pr. Para as simulações digitais do aspersor operando em sistemas autopropelidos de irrigação, na condição de ausência de ventos e com ângulo de giro assimétrico, em relação a trajetória linear de movimentação de aspersor, foi desenvolvido um programa em

Visual Basic para aplicativos na planilha eletrônica Excel.

Para as simulações foi considerado um aspersor deslocando ao longo do carreador (Figura 1) com velocidade linear constante de 50 m h^{-1} , vazão de $50 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e raio de alcance igual a 42 m. Conforme observado por PRADO & COLOMBO (2007), a forma geométrica do perfil radial de distribuição de água de aspersores empregados em sistemas autopropelidos de irrigação, operando com adequada pressão de serviço, tende ao perfil F (retangular) apresentado por CHRISTIANSEN (1942). Desta forma, as intensidades de aplicação de água, em função da distância radial de uma aspersor com perfil radial teórico retangular, podem ser determinadas por:

$$i(r) = \begin{cases} \text{Para : } 0 \leq r \leq R \rightarrow i(r) = \frac{1000 \cdot Q}{\pi \cdot R^2} \cdot \frac{360}{\theta} \\ \text{Para : } r > R \rightarrow i(r) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

em que,

- $i(r)$ - intensidade de aplicação de água a uma distância r do aspersor, mm h^{-1} ;
- r - distância radial ao aspersor, m;
- Q - vazão do aspersor, $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$;
- R - raio de alcance do aspersor, m, e
- θ - ângulo de giro do aspersor, graus.

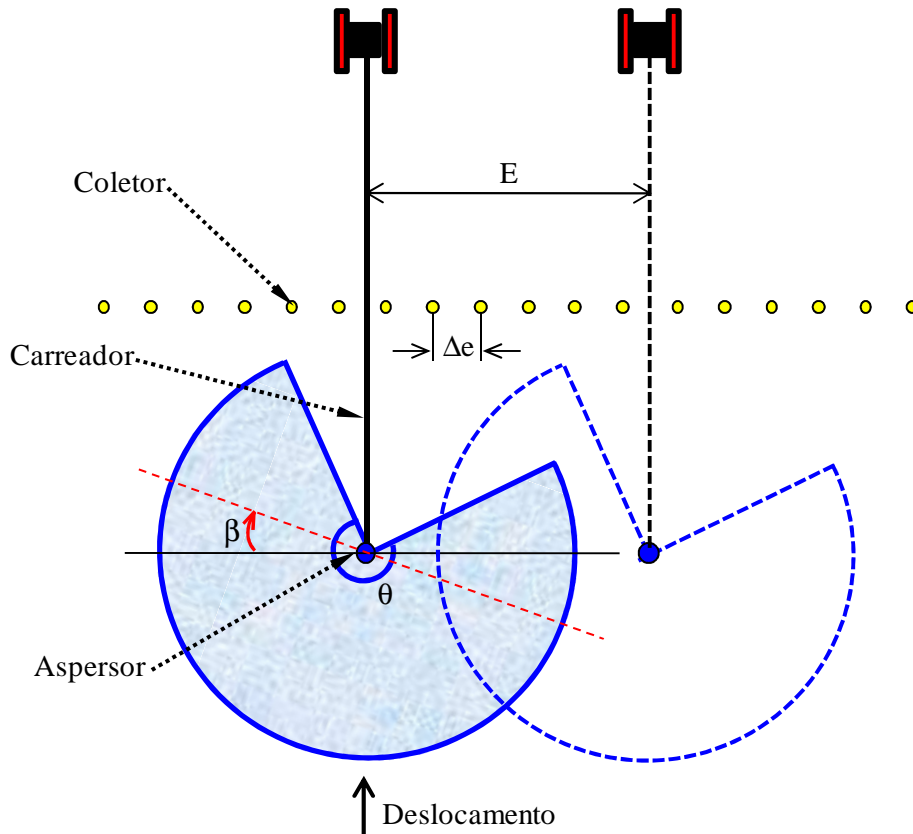


FIGURA 1. Representação do ajuste do ângulo de assimetria do aspersor (β) em relação a trajetória linear de deslocamento no carreador.

Como ângulo de giro (θ) do aspersor foi definido seis ângulos setoriais ($180, 210, 240, 270, 300$ e 330°). Para cada ângulo de giro foi determinado um ângulo de assimetria (β), em relação a trajetória linear de deslocamento do aspersor (Figura 1), que variou de 0 a 90° com intervalos crescentes de 5° .

Identificando, em função da distância radial (r), do ângulo de giro (θ) e do ângulo de assimetria (β) do aspersor, os pontos de amostragem que recebem água na malha de coletores apresentada na Figura 2 são determinados os valores de intensidades de precipitação aplicados pelo

aspersor operando de forma estacionária. Os valores de intensidades de precipitação estimados em cada coluna da malha de coletores (Figura 2) são integrados para determinação das lâminas aplicadas transversalmente (Figura 1) ao sentido de movimentação linear do aspersor.

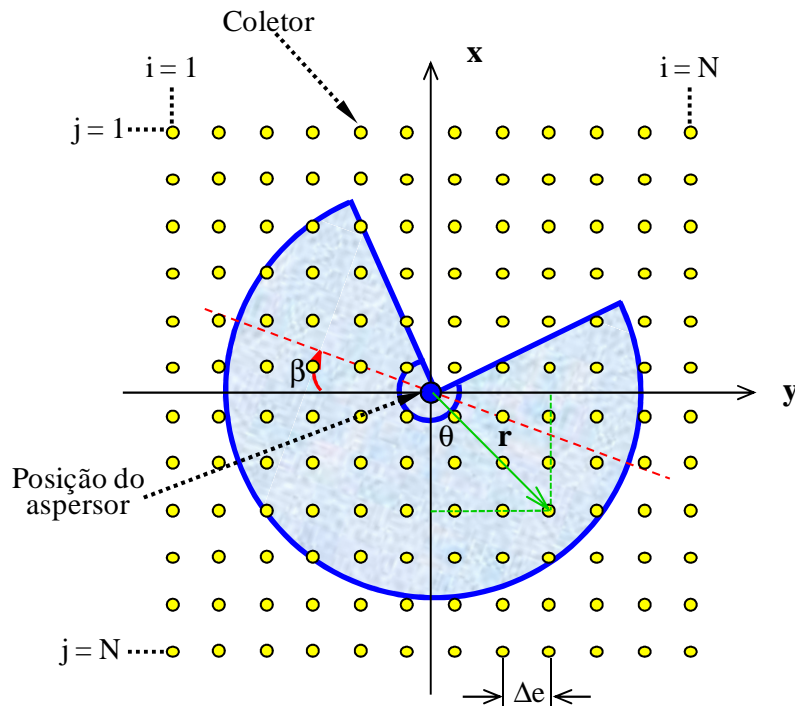


FIGURA 2. Distribuição dos coletores de água espaçados a Δe em torno do aspersor para determinação das intensidades de aplicação de água na distância r ao aspersor.

As lâminas aplicadas transversalmente ao sentido de deslocamento do aspersor foram sobrepostas simulando espaçamento entre carreadores (E) compreendidos entre 30 a 100% do diâmetro molhado do aspersor. Com as lâminas de água sobrepostas, para cada condição operacional, foi calculado o coeficiente de uniformidade de Christianser por:

$$CUC = \left(1 - \frac{|I_m - I_{s_j}|}{N \cdot I_m} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

em que,

CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;

I_{s_j} - lâmina aplicada sobreposta em um coletor de índice j alocado transversalmente ao deslocamento do aspersor, mm;

I_m - lâmina de aplicação de água sobreposta média, mm e

N - número de coletores.

Os valores de coeficiente de uniformidade de Christiansen, para cada ângulo de giro, foram representados em gráficos em contornos relacionando o espaçamento entre carreadores, expressos em termos da porcentagem do diâmetro molhado (DM), no eixo da abscissa e o ângulo de assimetria em relação ao carreador no eixo da ordenada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 é apresentada a forma geométrica teórica (perfil F de CHRISTIANSEN, 1942) do perfil radial de distribuição de água, empregada nas simulações digitais do aspersor operando com ângulo de giro assimétrico em relação ao carreador. De acordo com PRADO & COLOMBO (2007) e PRADO et al. (2012), aspersores do tipo canhão hidráulico, utilizados em sistemas autopropelidos de irrigação, operando com combinações adequadas de diâmetro de bocais e pressão de serviço e

também ângulos de lançamento do jato entre 24 e 28° apresentam um perfil radial que tende para a forma geométrica teórica retangular.

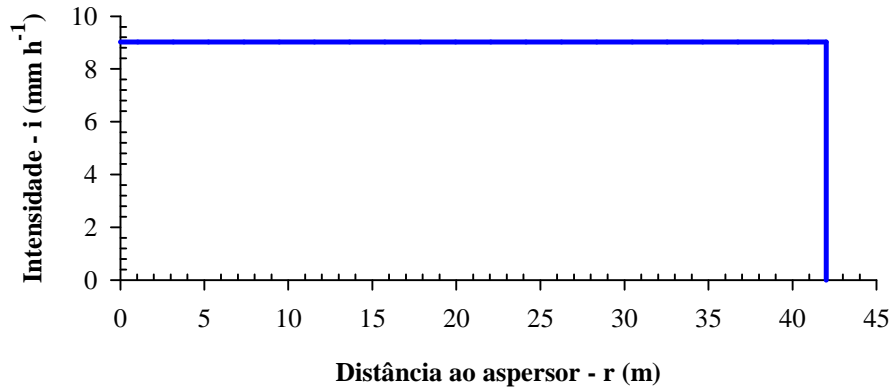


FIGURA 3. Perfil radial de distribuição de água teórico tipo retangular empregado nas simulações do aspersor operando com ângulo de giro assimétrico em relação ao carreador.

Os valores de intensidade de aplicação de água do perfil radial (Figura 3) foram empregados para determinar as intensidades do aspersor operando de forma setorial em torno de uma malha de coletores. Os valores de intensidades de aplicação de água da coluna da malha de coletores foram integrados, em função de tempo de molhamento, para estabelecer perfis transversais de lâminas de água aplicadas (Figura 4) para o aspersor em movimento linear no carreador.

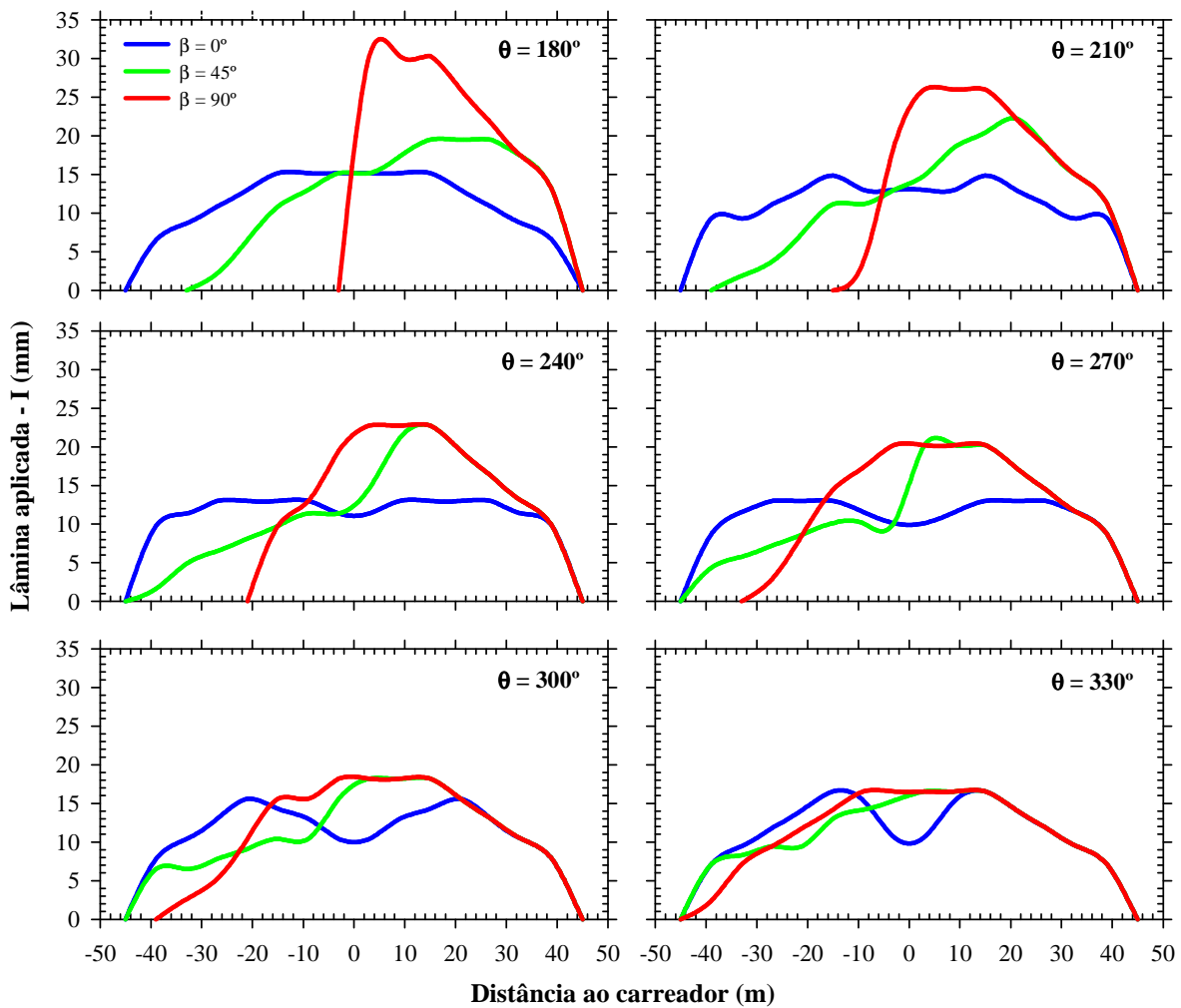


FIGURA 4. Lâminas aplicadas pelo aspersor em deslocamento linear constante ao longo do carreador em função do ângulo de giro (θ) e do ângulo de assimetria em relação ao eixo do carreador (β).

As sobreposições laterais de perfis transversais das lâminas aplicadas (Figura 4), para o aspersor operando com diferentes regulagens do ângulo de giro e espaçamento compreendidos entre 30 a 100% do diâmetro molhado (DM), foram empregadas para o cálculo dos coeficientes de uniformidade de aplicação de água de Christiansen (CUC), que são apresentados na Figura 5.

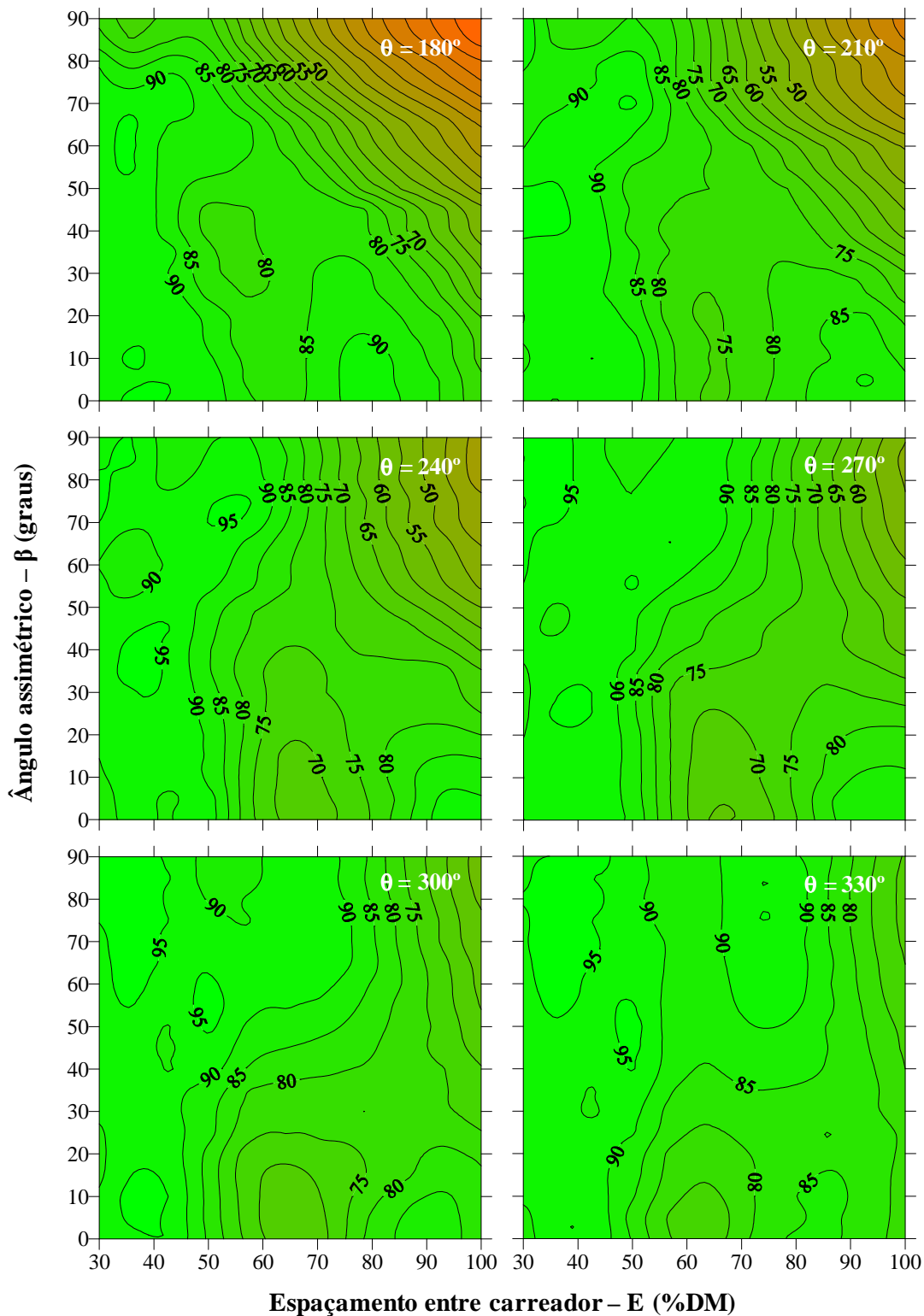


FIGURA 5. Coeficiente de uniformidade de Christiansen – CUC (%), em função do espaçamento entre carreadores e do ângulo de assimetria ao carreador (β), para seis ângulos de giro do aspersor (θ).

Espaçamentos entre carreadores menores que 50% do diâmetro molhado do aspersor,

independentemente da regulagem do ângulo de giro, proporcionaram valores de CUC maiores que 80% (Figura 5). Todavia, para espaçamentos superiores a 50% do diâmetro molhado do aspersor, algumas condições operacionais de regulagens do ângulo de giro levam a valores adequados de CUC, enquanto outras resultam em uma distribuição de água irregular.

Para a regulagem do ângulo de giro do aspersor igual a 180°, a simetria do ângulo de giro ($\beta = 0$), em relação ao eixo do carreador, geram altos valores de CUC, principalmente, na faixa de espaçamentos entre carreadores compreendidos entre 60 a 70% do diâmetro molhado do aspersor, que é usualmente recomendada pelos fabricantes de sistemas autopropelidos de irrigação. Assimetria em relação ao eixo do carreador para o ângulo de giro de 180° não é recomendada, pois a lâmina aplicada em um dos lados do carreador torna-se extremamente elevada (Figura 4).

Na faixa de espaçamento (60 a 70% do DM) recomendada pelos fabricantes de sistemas autopropelidos de irrigação, regulagens do ângulo de giro do aspersor entre 210 a 330° e simetria em relação ao eixo do carreador ($\beta = 0$), proporciona valores de CUC inferiores a 80%, como observado por PRADO et al. (2012). Porém, algumas condições de assimetria, principalmente, para os ângulos de giro de 270, 300 e 330°, podem aumentar os valores de CUC em relação a regulagens simétricas do ângulo de giro do aspersor.

As formas geométricas dos perfis transversais das lâminas aplicadas pelo aspersor, em movimento no carreador, para assimetrias em relação ao eixo de movimentação do aspersor maiores que 30° com os ângulos de giro entre 300 a 330°, ao serem sobrepostas na faixa de espaçamento do carreador entre 30 e 80% do DM, proporcionam altos valores de uniformidade (CUC > 80%). Esta regulagem do ângulo de giro também proporciona menor intensidade de aplicação de água gerada por ângulos de giro menores, porém promove molhamento do carreador.

CONCLUSÕES

Espaçamentos menores que 50% do diâmetro molhado do aspersor, independente da regulagem do ângulo de giro do aspersor, proporciona altos valores de uniformidade de aplicação de água.

Na faixa de espaçamento compreendida entre 60 e 70% do diâmetro molhado do aspersor apenas o ângulo de giro de 180°, regulado de forma simétrica em relação ao eixo do carreador gerou altos valores de uniformidade de aplicação de água.

Assimetrias em relação ao eixo do carreador maiores que 30° proporcionaram, para os ângulos de giro de 300 e 330° elevados valores de coeficientes de uniformidade.

REFERÊNCIAS

BEBÉ, F. V.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R.; SILVA, G. B.; OLIVEIRA, V. S. Avaliação de solos sob diferentes períodos de aplicação com vinhaça. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.13, n.6, p.781-787, 2009.

CHRISTIANSEN, J. E. *Irrigation by Sprinkling*. Berkeley: California Agricultural Station, 1942. 124 p. (Bulletin, 670).

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

OLIVEIRA, H. F. E.; COLOMBO, A.; FARIA, L. C.; PRADO, G. Efeitos da velocidade e da direção do vento na uniformidade de aplicação de água de sistemas autopropelidos. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.32, n.4, p.669-678, 2012.

PAULINO, J.; FOLEGATTI, M. V.; ZOLIN, C. A.; ROMÁN, R. M. S.; JOSÉ, J. V. Situação da agricultura irrigada no Brasil de acordo com o censo agropecuário 2006. *Irriga*, Botucatu, v.16, n.2, p.163-176, 2011.

PRADO, G.; COLOMBO, A. Análise da uniformidade de aplicação de água pelo aspersor PLONARL250 em sistemas autopropelidos de irrigação. *Irriga*, Botucatu, v.12, n.2, p.249-262, 2007.

PRADO, G.; COLOMBO, A.; OLIVEIRA, H. F. E; FARIA, L. C. Uniformidade de aplicação de água de equipamentos autopropelidos de irrigação com aspersores de perfil radial triangular, elíptico e retangular. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.32, n.3, p.522-529, 2012.

PRADO, G.; FARIA, L. C.; OLIVEIRA, H. F. E; COLOMBO, A. Efeito do ângulo do jato nas características técnicas de um canhão hidráulico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.17, n.7, p.689-697, 2013.

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.