

CORRELAÇÃO DA UNIFORMIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA DE UM AUTOPROPELIDO SOB LANÇAMENTO OBLÍQUO

Fernando Nobre Cunha¹, Nelmício Furtado da Silva²,
Marconi Batista Teixeira³, Frederico Antonio Loureiro Soares⁴

RESUMO

Para que uma irrigação apresente uniformidade de distribuição satisfatória é necessário conhecer as suas características hidráulicas, bem como as características físicas do líquido a ser distribuído assim como os fatores que podem influenciar externamente no campo. Objetivou-se com este estudo avaliar a distribuição de água por meio de diferentes coeficientes de uniformidade em equipamentos autopropelidos, assim como propor equações para demonstrar o lançamento oblíquo da água para relacioná-lo com a qualidade de distribuição em condições de campo. Os ensaios para avaliação do desempenho dos autopropelidos foram realizados na fazenda Cereal Ouro II, localizada na cidade de Rio Verde-GO. As características dos equipamentos utilizados nos ensaios das avaliações foram: Autopropelido Turbomaq 140 GSV 350 - 4RII - PN 10, modelo 2008 (AUTO 1) e modelo 2012 (AUTO 2), pressão na entrada do Carretel 8,7 Kgf cm⁻², mangueira esticada 90 m, velocidade de recolhimento da mangueira 45 m h⁻¹ (AUTO 1) e 100 m h⁻¹ (AUTO 2). Características do canhão aspersor: modelo Twin 202 PRO, bocal cônico, diâmetro 30 mm, vazão 86,33 m³ h⁻¹, raio de alcance 45 m, lâmina aplicada 31,97 mm, pressão no canhão aspersor 6,5 Kgf cm⁻² e ângulo de abertura 210°. Após o estudo de cada coeficiente utilizado para determinação da uniformidade dos equipamentos, foram determinadas equações propostas para demonstrar o lançamento oblíquo da água para posteriormente relacionar a qualidade de distribuição dos autopropelidos. A desuniformidade de aplicação (DA) para ambos os autopropelidos ficou próximo sendo em média de 15,4 e 18,32% para o auto 1 e 2 respectivamente.

Palavras-chave: dimensionamento, características, uniformidade de aplicação, velocidade dos ventos.

CORRELATION OF UNIFORM OF LEVEL WATER OF A SELF-PROPELLED UNDER LAUNCH OBLIQUE

ABSTRACT

For an irrigation uniformity submit a satisfactory distribution is necessary to know their hydraulic characteristics, as well as the physical characteristics of the liquid to be dispensed as well as

¹ Eng. Agrônomo, Doutorando em Ciências Agrárias - Agronomia, Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde – GO, e-mail: fernandonobrecunha@hotmail.com

² Eng. Agrônomo, Doutorando em Ciências Agrárias - Agronomia, IFGoiano – Campus Rio Verde, Rio Verde – GO, Rodovia Sul Goiana, Km 01, CEP: 75.901-170, Rio Verde – GO, e-mail: nelmiciofurtado@gmail.com

³ Eng. Agrônomo, Prof. Dr. em Agronomia, IFGoiano – Campus Rio Verde, Rio Verde – GO, e-mail: marconibt@gmail.com

⁴ Eng. Agrícola, Prof. Dr. em Engenharia Agrícola, IFGoiano – Campus Rio Verde, Rio Verde – GO, e-mail: fredalsoares@hotmail.com

**CORRELAÇÃO DA UNIFORMIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA
DE UM AUTOPROPELIDO SOB LANÇAMENTO OBLÍQUO**

factors that may influence the external field. The objective of this study was to evaluate the water distribution by means of different coefficients of uniformity in self-propelled equipment, as well as to propose equations to demonstrate the oblique release of water to relate it to the quality of distribution under field conditions. Assays for performance evaluation of self-propelled farm were performed in Cereal Ouro II, located in Rio Verde-GO. The characteristics of equipment used in the tests of ratings are: Self-propelled Turbomaq 140 GSV 350 - 4RII - PN 10, model 2008 (AUTO 1) and model 2012 (AUTO 2), inlet pressure Spool 8.7 kgf cm⁻², hose stretched 90 m, speed pickup hose 45 m h⁻¹ (AUTO 1) and 100 m h⁻¹ (AUTO 2). Characteristics of the spray gun: Twin Model 202 PRO, tapered nozzle, diameter 30 mm, Flow 86.33 m³ h⁻¹, 45m operating range, 31.97 mm depth applied pressure in the sprinkler cannon angle and 6.5 kgf cm⁻² opening 210. After studying each factor used to determine the uniformity of equipment, equations were proposed to demonstrate the oblique launch of water for later distribution to relate the quality of self-propelled. The unevenness of Aplicação (DA) for both self-propelled was next with an average of 15.4 and 18.32% for self 1 and 2 respectively.

Keywords: sizing, characteristics, uniformity of application, wind speed.

INTRODUÇÃO

Dentre os sistemas de irrigação por aspersão, o autopropelido é considerado um equipamento que utiliza grandes potências, pois necessita de altas pressões no bombeamento para o seu bom deslocamento e para garantir, assim, a uniformidade de distribuição do líquido. Para que uma irrigação apresente uniformidade de distribuição satisfatória é necessário conhecer as suas características hidráulicas, bem como as características físicas do líquido a ser distribuído pelo sistema (BARRETO, 2007).

A maior parte dos sistemas autopropelidos de irrigação disponíveis no mercado nacional são do tipo carretel enrolador, os quais, de acordo com Matsura e Testezlaf (2003), são compostos por: aspersor de grande ou médio porte, mangueira de média ou alta densidade, carretel enrolador e mecanismo de propulsão tipo turbina. Nesses equipamentos, o sistema de propulsão é responsável pelo giro do carretel que traciona a mangueira de alimentação, recolhendo o aspersor, promovendo assim o seu deslocamento linear ao longo do carretel, irrigando uma faixa de largura regular (SANTOS, 2010).

De acordo com Mantovani et al. (2007), no sistema de aspersão por

autopropelido, o aspersor é um canhão hidráulico montado sobre um carrinho, que se desloca em movimento retilíneo ao longo da área a ser irrigada. É tracionado por cabo de aço ou mangueira e apresenta grande consumo de energia e média eficiência de irrigação.

Este método de irrigação tem sido empregado no Brasil principalmente por produtores de cana-de-açúcar, além disso nas usinas este também é utilizado para aplicação de vinhaça. Segundo Paulino et al. (2011) a aplicação de vinhaça é feita em grande parte com o sistema autopropelido. Rodrigues et al. (2012) salientam ainda que no emprego de autopropelidos para a aplicação de vinhaça a uniformidade de distribuição torna-se ainda mais relevante, uma vez que a desuniformidade de aplicação irá acarretar na aplicação desigual do resíduo na área, podendo levar a aplicação excessiva de potássio e dos outros constituintes, chegando até mesmo a ultrapassar os limites permitidos por lei.

Para Marques et al. (2006) o sistema autopropelido apresentou os maiores custos totais da irrigação devido ao seu alto custo de bombeamento comparado aos sistemas de pivô. Estes resultados mostram a necessidade de se trabalhar com equipamentos com maior uniformidade de

aplicação que otimize a distribuição de água e nutrientes.

Dessa forma, objetivou-se com este estudo avaliar a distribuição de água por meio de diferentes coeficientes de uniformidade em equipamentos autopropelidos, assim como propor equações para demonstrar o lançamento oblíquo da água para relacioná-lo com a qualidade de distribuição em condições de campo.

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios para avaliação do desempenho dos autopropelidos foram realizados na fazenda Cereal Ouro II, localizada na cidade de Rio Verde - GO. O clima da região é classificado conforme Köppen (2013), como Aw (tropical), com chuva nos meses de outubro à maio, e com seca nos meses de junho à setembro. A temperatura média anual varia de 20 a 35°C e as precipitações variam de 1.500 a 1.800 mm anuais e o relevo é suave ondulado (10% de declividade).

As características dos equipamentos utilizados nos ensaios das avaliações foram: Autopropelido Turbomaq 140 GSV 350 - 4RII - PN 10, modelo 2008 (AUTO 1) e modelo 2012 (AUTO 2), pressão na entrada do Carretel 8,7 Kgf cm⁻², mangueira esticada 90 m, velocidade de recolhimento da mangueira 45 m h⁻¹ (AUTO 1) e 100 m h⁻¹ (AUTO 2). Características do canhão aspersor: modelo Twin 202 PRO, bocal cônico, diâmetro 30 mm, vazão 86,33 m³ h⁻¹, raio de alcance 45 m, lâmina aplicada 31,97 mm, pressão no canhão aspersor 6,5 Kgf cm⁻² e ângulo de abertura 210°.

Para avaliação da uniformidade de aplicação dos autopropelidos, foram alocados coletores de pluviosidade perpendicularmente a direção de deslocamento do mesmo, de 3 em 3 m (90 m), em 3 linhas de coletores espaçadas em 10 m, visando a coleta de toda pluviosidade aplicada dentro do dimensionamento de ação do aspersor, conforme as recomendações de

Frizzone (1992). A medição da água aplicada foi realizada nos 60 coletores alocados nas 3 linhas após 1 hora de funcionamento de cada equipamento.

Os dados meteorológicos no momento das avaliações foram: temperatura do ar entre 20 e 25,5° C, umidade relativa variando entre 30 a 50% e velocidade vento 3 a 11 km h⁻¹. Para a avaliação dos dados meteorológicos foi utilizado anemômetro digital (Termo-Higro-Anemômetro; Digital Portátil; Modelo THAL-300, Precisão de 3%-20 m s⁻¹ de velocidade do ar; 1,2°C - 0 a 50°C; 4% - 10 a 95% de UR).

Os dados de pluviosidade coletados foram utilizados para realização dos cálculos de uniformidade de distribuição pelos coeficientes de Christiansen (CUC), estatístico (CUE) e de uniformidade (CUD) destacados nas equações 1 a 3, para cada linha de coletores posicionada na avaliação dos autopropelidos.

$$CUC = 100 \left\{ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n \cdot \bar{X}} \right\} \quad (1)$$

$$CUE = 100 \left(1 - \frac{S}{\bar{X}} \right) \quad (2)$$

$$CUD = 100 \left(\frac{X_{25\%}}{\bar{X}} \right) \quad (3)$$

sendo: CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen, em %; CUE - coeficiente de uniformidade estatístico, em %; CUD - coeficiente de uniformidade de distribuição, em %; X_i - lâmina coletada em cada coletor, em L h⁻¹; X - lâmina média coletada pelos coletores, em L h⁻¹; n - número de coletores utilizados; S - desvio-padrão dos dados de lâmina coletados, em L h⁻¹; X_{25%} - média de 25% do total de coletores, com as menores lâminas, em L h⁻¹; X_{12,5%} - média de 12,5% do total de coletores, com as maiores lâminas, em L h⁻¹.

Após o estudo de cada coeficiente utilizado para determinação da uniformidade

**CORRELAÇÃO DA UNIFORMIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA
DE UM AUTOPROPELIDO SOB LANÇAMENTO OBLÍQUO**

dos equipamentos, foram determinadas equações propostas para demonstrar o lançamento oblíquo da água para posteriormente relacionar a qualidade de distribuição dos autopropelidos. A obtenção desses valores permite a representação funcional de aplicação dos aspersores, permitindo assim a correlação entre a condição avaliada daquela ideal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A uniformidade de distribuição de água de maneira geral para o autopropelido 1 e 2 apresentou valores acima de 74 e 80% para o CUD, enquanto para o CUC estes valores foram superiores a 83 e 87%, valores similares foram obtidos através do CUE, os quais ficaram acima de 78 e 84%, auto 1 e 2 respectivamente, valores estes classificados em média como bons para ambos de acordo com a classificação proposta por Bernardo et al. (2005); valores de CUC superiores aos mínimos aceitáveis para este sistema de irrigação, que é de 80% conforme Mantovani e Ramos (1994).

Os coeficientes de uniformidade tendem a se distanciar um do outro apresentando resultados cada vez mais dissipados, tal fato se mostra como um inconveniente, por dificultar a avaliação da uniformidade e conseqüentemente na verificação da real condição do sistema (CUNHA et al., 2013).

O CV do auto 1 apresentou uma diferença entre as linhas de 2,2%, sendo a

máxima variação de 21,31% muito acima de 10% considerado como valor limite do que se considera como aceitável, já para o auto 2 a variação observada foi menor do que a encontrada no auto 1 em média de 14,52%, entretanto a diferença entre linhas foi maior, sendo esta de aproximadamente 3,5% (Tabela 1). Carvalho et al. (2015) verificaram que o coeficiente de variação é afetada pelo produto aplicado, o que causa alterações de forma gradativa, além disso o CV tende a aumentar com o tempo de funcionamento.

A uniformidade de distribuição de água aplicada pelo autopropelido 1 e 2 conforme esperado demonstrou-se ser afetada por fatores externos como o vento, o que fez com que ocorresse uma distribuição irregular de água; no entanto, mesmo sistemas com potencial para aplicar água com boa uniformidade de distribuição podem apresentar uniformidade ruim; entre os principais fatores que possibilitam boa uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação estão: dimensionamento e manejo adequados e correta manutenção do equipamento (SOUZA, 2002).

A aplicação de água do autopropelido geralmente é desuniforme nas laterais e centro da área irrigada (aspersor setorial), além do vento, a uniformidade de aplicação pode ser afetado pelo espaçamento entre carregadores e ângulo de giro. Bernardo et al. (2005), recomendam espaçamento entre carregadores com valores próximos de 80% do diâmetro molhado em condições

Tabela 1. Valores de uniformidade de distribuição dos autopropelidos em cada linha de coletores avaliada.

Linha de coletores	Coeficientes (%)			
	CUC	CUE	CUD	CV
AUTO 1				
1	85,46	80,88	74,42	19,11
2	83,31	78,69	70,76	21,31
3	85,99	80,14	74,50	19,86
AUTO 2				
1	89,09	84,74	85,08	15,27
2	87,06	84,11	80,96	15,89
3	89,74	87,61	84,13	12,39

de ventos fracos, já em relação ao ângulo de giro Prado et al. (2007) observam que os melhores valores de uniformidade de aplicação de água foram obtidos com ângulos de giro do aspersor está entre 180 e 210°.

A aplicação de água do autopropelido segue o lançamento oblíquo (formando certo ângulo α com a horizontal), de tal forma ou de maneira análoga a lâmina aplicada será resultante deste lançamento, que é afetado por uma série de fatores, os quais diminuem acentuadamente a uniformidade e pode reduzir a eficiência de aplicação; considerando o diâmetro e logo a aplicação em duas direções distintas ou lado esquerdo e direito (dentro do ângulo de giro) observa-se que estes dois lançamentos originarão uma curva média (parabólica) equivalente a estes lançamentos que são oriundos de duas trajetórias parabólicas (Figura 1 e 2), pois a água descreve uma trajetória parabólica, logo verificasse que esta trajetória será afetada de forma significativa, quando esta estiver sobre o efeito do vento e outros fatores.

Pode-se considerar de uma maneira mais ampla que o somatório destes efeitos negativos na uniformidade provenientes de

fatores como o vento, pode ser observado de forma indireta através do ajustamento (R^2) da lâmina de água a uma função do segundo grau coletada em duas direções horizontais distintas (próximas, opostas ou não), sendo esta direção totalmente dependente da situação encontrada em campo, principalmente em função do ângulo de giro ou até mesmo em relação à direção do vento. Na literatura são propostos valores que enquadram-se na faixa de velocidade de vento recomendada para sistemas autopropelidos (SHULL; DYLLA, 1979) recomendam parar a irrigação em condições de vento maior do que $2,2 \text{ m s}^{-1}$.

As equações utilizam o coeficiente de determinação (R^2), ou seja, a medida de ajustamento do modelo estatístico quadrático generalizado, em relação aos valores de lâmina coletados na avaliação da uniformidade, apresentado na Figura 1, relacionado com o coeficiente de Christiansen (CUC).

O coeficiente de determinação foi utilizado como simulação de um modelo de aplicação ideal, onde a resistência do ar é desprezada, e em detrimento as condições do equipamento avaliado; deste modo, ao correlaciona-lo com o CUC, ou um

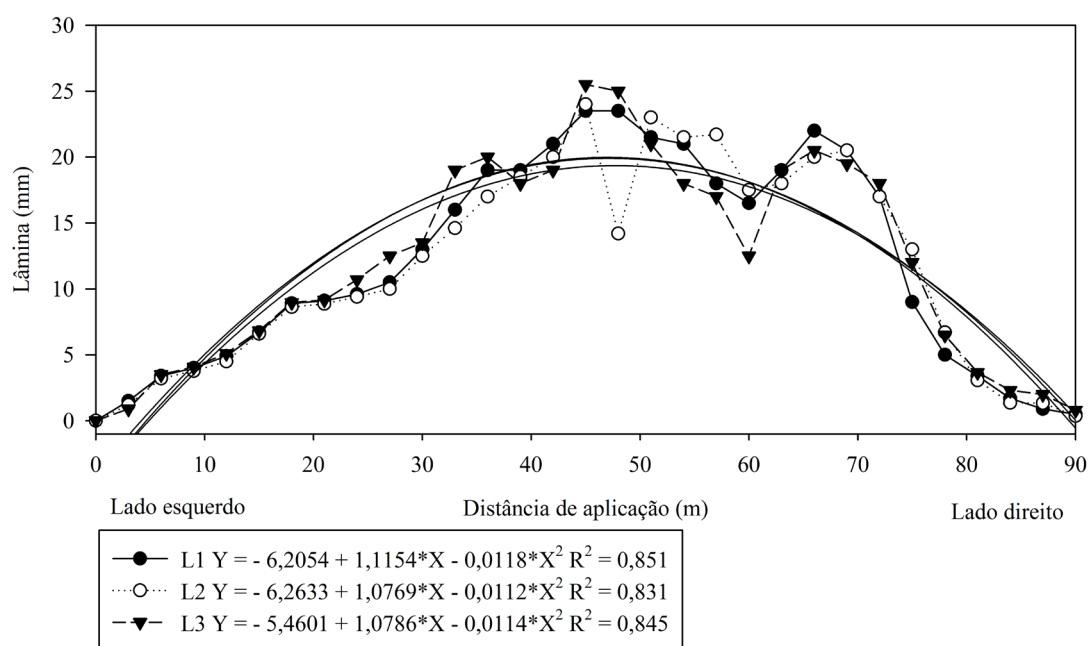


Figura 1. Distribuição espacial da lâmina de água do AUTO 1 ao longo do perfil radial no dimensionamento do aspersor.

$$DA = 100 \sqrt{1 - \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n \cdot \bar{X}}\right) - \left(1 - \frac{SQ_{res}}{SQ_{tot}}\right)} + \left[\left(1 - \frac{SQ_{res}}{SQ_{tot}}\right) \times \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n \cdot \bar{X}}\right) \right] \quad (5)$$

$$D = 100 - DA - AI \quad (6)$$

Para reforçar a representatividade de D e obter uma melhor interpretação é interessante também calcular a relação R²/uniformidade (RU), similarmente ao D este parâmetro avalia a relação R²/CUC, sem, no entanto dar especificamente o tamanho proporcional deste desvio, através do DA e AI conforme o D, já o RU (Equação 7) procura demonstrar apenas a diferença direta entre R² e CUC, assim o RU terá o seus valores mais próximo de 1 quando R² se aproximar do CUC, seus valores tenderá para zero quando R² < CUC, e para valores maiores do que 1 quando R² > CUC, de maneira geral o RU tem como objetivo apenas avaliar qual proximidade do R² e do CUC, ou seja, o peso que cada um está tendo na AI consequentemente o D será complementar ao RU.

$$RU = \frac{\left(1 - \frac{SQ_{res}}{SQ_{tot}}\right)}{\left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n \cdot \bar{X}}\right)} \quad (7)$$

O AI quando comparado com o CUC para o auto1 apresentou pouca diferença ficando esta abaixo de 0,74%, já ao considerar o auto2 esta diferença se mostrou bem mais acentuada sendo a maior de aproximadamente 14%, assim o CUC demonstrou uma uniformidade média para o auto2 de 88,63%, enquanto que o AI médio para o mesmo autopropelido foi de 78,92%, constatando-se uma diferença média de 9,7%, este maior desvio do auto 1 (lâmina mais continua) para o auto 2 (lâmina menos continua) pode ser observado na Figura 1. Prado et al. (2012) observaram que independentemente do tipo de perfil radial de distribuição de água, ângulos de giro próximos de 270° proporcionam baixos

valores de coeficiente de uniformidade de aplicação de água.

Também é possível verificar que a diferença do AI para o CUC deve-se principalmente pelo baixo R², ocasionado por fatores externos, que provocaram uma maior instabilidade na lâmina aplicada, é interessante ressaltar que o R² irá priorizar uma aplicação mais continua e consequentemente menos irregular por decorrer de uma parábola, assim ocorrerá um maior ajustamento (R²) quando os dados observados se mostram mais contínuos, com curvas com menos “arestas”.

Bastos et al. (2014) verificaram que em sistemas autopropelido a sobreposição se faz necessária para alcançar uma maior uniformidade, sabendo que nesse tipo sistema em comparação com outros a uniformidade é relativamente baixa, por apresentar distorções no perfil de distribuição de água.

O DA para ambos os autopropelidos ficou próximo sendo em média de 15,4 e 18,32% para o auto 1 e 2 respectivamente, sendo esta diferença de apenas 2,92%, desta forma o DA, explica só parcialmente o grande desvio observado no auto 2; com o auxílio do D e do RU, se torna mais explícito essa maior variação ocorrida no auto 2, pode-se verificar que o D ficou próximo de 0% e o RU de 1% para o auto 1, enquanto para o auto 2 estes valores foram bem mais significativos sendo em média de aproximadamente 2,76 e 1,27% respectivamente (Tabela 2).

Confrontando estes resultados com os encontrados por Rocha et al. (2005) onde os maiores valores de CUC foram verificados para as simulações de largura de faixa molhada correspondentes a 70 e 80% do diâmetro molhado (DM) pelo aspersor. Nestas circunstâncias e, considerando apenas as sobreposições, verificaram, também, os maiores espaçamentos entre carregadores, e obviamente um menor custo por área irrigada; além de uma uniformidade de distribuição de água dentro do limites técnicos aceitáveis (CUC acima de 75%).

Estes sistemas apresentam facilidades de deslocamento, operação e adaptação as

**CORRELAÇÃO DA UNIFORMIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA
DE UM AUTOPROPELIDO SOB LANÇAMENTO OBLÍQUO**

Tabela 2. Resultados da avaliação dos aspersores pelas equações propostas para estimativa do lançamento oblíquo.

Linha de coletores	Equações (%)			
	AI	DA	D	RU
AUTO 1				
1	85,28	14,71	0,01	1,004
2	83,21	16,78	0,01	1,002
3	85,26	14,72	0,02	1,017
AUTO 2				
1	80,90	17,02	2,08	1,213
2	73,19	22,31	4,50	1,415
3	82,67	15,64	1,69	1,178

condições de campo. Porém, necessitam de alta pressão de serviço e, conseqüente, elevado consumo de energia, além de terem a uniformidade de aplicação de água muito afetada pelas condições de operação, em especial pelo vento (BERNARDO et al., 2008). Os parâmetros adotados neste trabalho mostraram ser mais simples e sensíveis para avaliação de um sistema de autopropelido a campo, uma vez que estes equipamentos possuem uma demanda de área muito elevada, geralmente trabalham em condições adversas, principalmente na irrigação da cana-de-açúcar, onde poucos equipamentos irrigam uma área considerável.

CONCLUSÕES

Os parâmetros adotados neste trabalho mostraram ser sensíveis na determinação da uniformidade de equipamentos autopropelidos.

O CUC demonstrou uma uniformidade média para o autopropelido 2 de 88,63%, enquanto que o AI médio para o mesmo autopropelido foi de 78,92%.

O DA para ambos os autopropelidos ficou próximo sendo em média de 15,4 e 18,32% para o autopropelido 1 e 2 respectivamente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), ao Conselho

Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e ao Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde, pelo apoio financeiro e estrutural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARRETO, A. C. **Efeito de sólidos totais da água residuária de uma suinocultura no desempenho de um sistema de irrigação com carretel enrolador.** 2007. 88p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

BASTOS, A. V. S.; OLIVEIRA, R. C.; CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; BASTOS, F. J. C.; TEIXEIRA, M. B. Uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por autopropelido. **Irriga**, Edição Especial 01, p. 94-103, 2014.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação.** 7.ed.- Viçosa: Ed. UFV, 2005. 596 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação.** 8. ed. Viçosa: UFV, 2008. 625 p.

CARVALHO, L. C. C.; COELHO, R. D.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; CUNHA, F. N.; SILVA, N. F. Desempenho de gotejadores autocompensantes submetidos

a soluções concentradas de ferro e carga orgânica. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.9, n.6, p.366-375, 2015.

CUNHA, F. N.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, N. F.; MOURA, L. M. F.; TEIXEIRA, M. B.; GOMES FILHO, R. R. Variabilidade temporal da uniformidade de distribuição em sistema de gotejamento. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.7, n.4, p.248-257, 2013.

FRIZZONE, J. A. **Irrigação por Aspersão: Uniformidade e Eficiência**. Série Didática n. 3. Piracicaba, 1992. 53 p.

KÖPPEN, W. Köppen climate classification. Geography about. (2013). Disponível em: <<http://geography.about.com/library/weekly/aa011700b.htm>>. Acesso em: 12 jan. 2017.

MANTOVANI, E. C.; RAMOS, M. M. **Manejo da irrigação**. In: COSTA, E. F. da; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação. Brasília: Embrapa, SPI, 1994. p.129-158.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa MG: UFG, 2007. 358 p.

MARQUES, P. A. A.; MARQUES, T. A.; FRIZZONE, J. A. Viabilidade econômica sob condições de risco para a irrigação da cana-de-açúcar na região de Piracicaba-SP. **Irriga**, v.11, n.1, p.55-65, 2006.

MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. **Autopropelido**. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. Irrigação. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2003. p.179-207.

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

PRADO, G.; COLOMBO, A.; BIAGIONI, P. F. Ângulo de giro e espaçamento entre carregadores em sistemas autopropelidos de irrigação com o PLONA-RL400. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.2, p.346-353, 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**, v.32, n.3, p.522-529, 2012.

ROCHA, F.A.; PEREIRA, G.M.; ROCHA, F.S.; SILVA, J.O. Análise da uniformidade de distribuição de água de um equipamento autopropelido. **Irriga**, v.10, n.1, p.96-106, 2005.

RODRIGUES, R. C. SOUZA, J. M.; PIRES, F. R.; BONOMO, R. Avaliação da uniformidade de aplicação de vinhaça por autopropelido. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.15, p.265-272, 2012.

SANTOS, M. V. M. **Caracterização hidráulica de carretéis enroladores durante o seu deslocamento**. 2010. 106 f. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras.

SHULL, H.; DYLLA, A. S. Traveling boom sprinkler operation in wind. **Transactions of the ASAE**, v.22, n.3, p.537-539, 1979.