



## **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL NA CULTURA DO CAFÉ**

---

Lucas Rosa Pereira<sup>1</sup>, Jean Karlos Barros Galote<sup>2</sup>, Joabe Martins de Souza<sup>3</sup>, Maria Christina Junger Delôgo Dardengo<sup>4</sup>, Edvaldo Fialho dos Reis<sup>5</sup>.

<sup>1</sup>Mestrando em Produção Vegetal da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Alegre - ES, Brasil (lucasrosapereira@hotmail.com)

<sup>2</sup>Tecnólogo em Cafeicultura pelo Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) Alegre - ES, Brasil

<sup>3</sup>Doutorando em Produção Vegetal da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Alegre - ES, Brasil

<sup>4</sup>Doutorado em Produção Vegetal, Pesquisadora do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre, Alegre - ES – Brasil

<sup>5</sup>Professor Doutor da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Alegre - ES, Brasil.

**Recebido em: 12/04/2014 – Aprovado em: 27/05/2014 – Publicado em: 01/07/2014**

---

### **RESUMO**

A análise de sistemas de irrigação em nível de campo contribui para atenuar as perdas que ocorrem durante e após a aplicação de água pelo sistema. Com isso este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de um sistema de irrigação por aspersão convencional instalada em uma área de café no município de Alegre-ES. A área entre o aspersor avaliado foi dividida em subáreas quadradas de aproximadamente 3 m x 3 m e coletores foram instalados no centro de cada subárea, de forma que a lâmina de água coletada representasse sua precipitação. O sistema de irrigação foi ligado por um período de uma hora e os volumes coletados foram medidos. A uniformidade de aplicação de água do sistema foi estimada através do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), coeficiente de uniformidade estatístico (Us), além desses foram calculadas, a irrigação real necessária, a lâmina de água coletada, lâmina de água aplicada, as perdas do sistema e a eficiência de aplicação. Com base nos valores encontrados pode-se concluir que o projeto de irrigação avaliado apresentou uma boa uniformidade de aplicação de água (81,2 %), um bom Coeficiente de uniformidade de distribuição (71,73%), razoável Coeficiente de uniformidade estatístico (77,25%), a lâmina média de água aplicada no período avaliado foi inferior à irrigação real necessária.

**PALAVRAS-CHAVE:** aspersores, água, eficiência, uniformidade.

## PERFORMANCE EVALUATION OF AN IRRIGATION SYSTEM BY CONVENTIONAL SPRAY IN CULTURE COFFEE

### ABSTRACT

The analysis of irrigation systems at field level contributes to mitigate the losses that occur during and after the application of water through the system. Thus, this work aimed to evaluate the performance of an irrigation system sprinkler installed in a coffee area in the municipality of Alegre-ES. The area between the spray evaluated was divided into square sub-areas of approximately 3 m x 3 m. Collectors were installed in the center of each area, so that the blade water collected represented a precipitation. The irrigation system was turned on for a period of one hour, and the collected volumes were measured. The uniformity of water application system was estimated using the coefficient of uniformity Christiansen (CUC), coefficient of uniformity distribution (CUD), coefficient of uniformity statistician (Us), besides these we calculated the, actual irrigated necessary, the blade water collected, the blade water applied, system losses and application efficiency. Based on the values as found can be concluded that the irrigation project evaluated showed good uniformity of water application (81.2%), a good distribution uniformity coefficient (71.73%), reasonable statistician uniformity coefficient (77.25%), the blade mean water applied in the study period was less than actual irrigated required.

**KEYWORDS:** Uniformity, sprinklers, efficiency, water.

### INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada tem sido uma importante estratégia para otimização da produção de alimentos, promovendo desenvolvimento sustentável no campo, com geração de emprego e renda (LUNA et al., 2013). Porém, a disponibilidade de água tem se tornado cada vez mais limitante, devendo ser utilizada de maneira criteriosa e precisa, não só visando a otimização da produtividade e da qualidade final do produto, mas também o uso adequado dos recursos hídricos, (BERNARDO et al., 2006).

A irrigação promove o incremento da produção, já que a produtividade da lavoura cafeeira é comprometida quando ocorrem períodos críticos de deficiência hídrica durante as fases de floração e frutificação até, aproximadamente a décima oitava semana após a floração (BONOMO et al., 2008).

Segundo FARIA et al. (2009) e JUSTI et al. (2010) os sistemas de irrigação por aspersão devem aplicar água da maneira mais uniforme possível. A desuniformidade de aplicação de água diminui o retorno econômico e aumenta o impacto ambiental da irrigação, em função da redução na produtividade das culturas irrigadas e do desperdício de água, de energia e de fertilizantes.

A avaliação do desempenho de um sistema de irrigação é etapa fundamental antes que qualquer estratégia de manejo de irrigação seja implementada, porque é com base nesses resultados que será possível avaliar e adequar o equipamento e sua utilização, em relação aos requerimentos de água dos cultivos utilizados. No entanto, a avaliação do desempenho de sistemas de irrigação em áreas cultivadas é uma prática que os agricultores têm dado pouca importância. A melhoria da uniformidade de um sistema de irrigação é uma das decisões mais importantes para o manejo adequado da água aplicada, pois a água em excesso, além da perda de

água, pode carrear nutrientes para zonas do solo não exploráveis pelas raízes, (BERNARDO et al., 2006).

Segundo BERNARDO et al. (2006), o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e a eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação (Ea) podem ser utilizados para determinação da uniformidade de aplicação e distribuição de água de sistema de irrigação, bem como a eficiência do mesmo.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de um sistema de irrigação por aspersão convencional instalada em uma área de café no município de Alegre-ES.

## MATERIAL E METODOS

A avaliação do sistema de irrigação foi realizada no mês de agosto de 2013 em uma área com cultivo de café Conilon (*Coffea canephora*), localizada na área experimental do Instituto Federal do Espírito Santo – *Campus* de Alegre, no sul do estado do Espírito Santo (41°32' de longitude Oeste e 20°43' de latitude Sul). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa, caracterizado pelo inverno seco e verão chuvoso, com precipitação média anual de 1400 mm e temperatura média anual entre 28° C.

O sistema de irrigação utilizado foi o de aspersão, com aspersores tipo rotativos de média pressão com bocais de 4,8 e 3,2 mm, que segundo as especificações do fabricante tem diâmetro molhado de 28 a 30 m com vazão variando de 1,81 a 2,39 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> pressão na base de 20 a 35 mca, sendo utilizado uma pressão de 30 mca, e intensidade de aplicação de 7,4 a 10,8 mm h<sup>-1</sup>.

Os aspersores foram instalados a três metros da superfície do solo no espaçamento de 18 m entre linhas e 18 m entre aspersores. A área é irrigada quando o operador do sistema verifica visualmente que o solo se encontra seco ou na ausência de chuva.

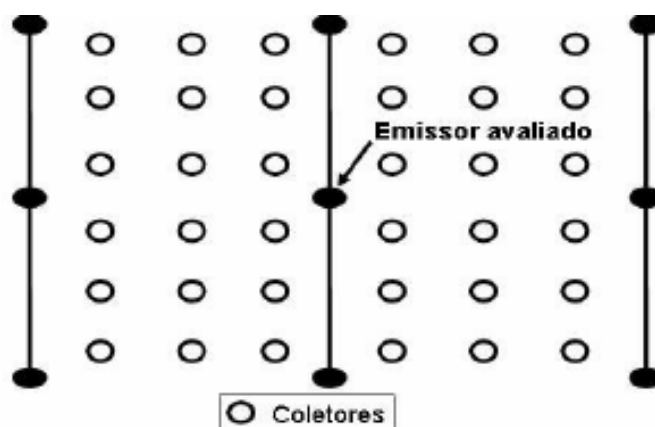
Foram coletadas amostras deformadas de solo em três pontos (repetição) dentro da área avaliada nas camadas de 0,00-0,20 m e 0,20-0,40 m de profundidade, para a determinação da densidade do solo, umidade do solo na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha (PMP), com o auxílio do extrator de Richards de acordo com a metodologia da EMBRAPA (1997), e determinação da umidade atual do solo pelo método-padrão de estufa.

A avaliação da uniformidade de aplicação de água do sistema de irrigação em estudo foi realizada de acordo com a metodologia de CHRISTIANSEN (1942) citada por MANTOVANI (2009), e consistiu em coletar as precipitações por meio de coletores instalados em uma malha de pontos sob a área de influência de quatro aspersores (324m<sup>2</sup>), que possuíam espaçamento de 18 x 18 m.

Para a realização do estudo, a área entre o aspersor avaliado foi dividida em subáreas quadradas de aproximadamente 3 m x 3 m. Os coletores foram instalados no centro de cada subárea, de forma que a lâmina coletada representasse sua precipitação (Figura 1).

Os coletores usados foram copos plásticos descartáveis transparentes, com diâmetro de 8,0 cm, o que corresponde a uma área de 50,264 cm<sup>2</sup>. Os coletores foram apoiados em suportes de vergalhão, que tinham na sua parte superior um semicírculo para acomodação e apoio do coletor, que foram espalhados em 6 linhas, sendo 6 por linha, totalizando 36 coletores na área avaliada.

Após a montagem da malha de coletores, o sistema de irrigação foi ligado por um período de uma hora. Os volumes medidos nos coletores em mL foram convertidos em lâminas d'água (mm), considerando a área do coletor, de acordo com a equação 1.



**FIGURA 1:** Esquema da distribuição dos coletores durante a avaliação do sistema de irrigação.

Durante o estudo, mediu-se a vazão dos bocais dos quatro aspersores avaliados, de maior e de menor diâmetro. Para a medição da vazão dos aspersores foi medido o volume aplicado por cada bocal em um determinado período de tempo, com auxílio de um recipiente de 15 litros, cronômetro, repetindo o processo por três vezes.

$$Lâm = \frac{Lcol}{Ac} \quad (1)$$

onde:

Lâm = Lâmina coletada (mm); Lcol = Lâmina coletada (mL); Ac = área do coletor (cm<sup>2</sup>);

A uniformidade de aplicação de água do sistema foi estimada por meio do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) determinados pelas equações 2 e 3, respectivamente descritas por BERNARDO et al. (2006) e MANTOVANI et al. (2009) e o Coeficiente Estatístico (Us) proposto por WILCOX & SWAILES (1947) (equação 4).

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |L_i - L_m|}{n L_m} \right) \quad (2)$$

$$CUD = 100 \left( \frac{L_{q25\%}}{L_m} \right) \quad (3)$$

$$Us=100\left(1-\frac{Sd}{Lm}\right) \quad (4)$$

onde:

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen (%); CUD = Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (%); Us = coeficiente de uniformidade estatística (%); Lm = lâmina média de todas as observações (mm); Li = lâmina obtida no coletor "i" (mm); n = número de coletores; Lq<sub>25%</sub> = Média de 25% dos menores valores de lâminas observadas nos coletores (mm); Sd = desvio-padrão dos dados de precipitação.

A interpretação dos valores dos coeficientes de uniformidade (CUC, CUD e Us) baseou-se na metodologia apresentada por MANTOVANI (2001) apresentada na Tabela 1.

**TABELA 1.** Classificação dos valores do desempenho dos sistemas de irrigação por aspersão.

Classificação	CUC (%)	CUD(%)	Us(%)
Excelente	> 90	> 84	90 100
Bom	80 90	68 84	80 90
Razoável	70 80	52 68	70 80
Ruim	60 70	36 52	60 70
Inaceitável	< 60	< 36	< 60

De posse dos resultados dos parâmetros físico-hídricos do solo da área em estudo, foi calculada a lâmina de irrigação real necessária (IRN) para elevar a umidade atual do solo à capacidade de campo, utilizando-se a metodologia, descrita por MANTOVANI et al. (2009) conforme equação 5. Foi utilizado valor de Z = 30 cm para o projeto em estudo. Após a determinação da IRN, determinou-se a lâmina aplicada durante a irrigação por meio da metodologia descrita por MANTOVANI et al. (2009) (Equação 6). E as perdas por evaporação e arraste do vento pela equação 7.

$$IRN = \frac{(CC - Ua)}{10} \times ds \times Z \quad (5)$$

onde:

IRN = irrigação real necessária (mm); CC = umidade do solo na capacidade de campo, (% em peso); Ua = umidade atual do solo, antes da irrigação (% em peso); Ds = densidade do solo (g cm<sup>-3</sup>); Z = profundidade efetiva do sistema radicular (cm).

$$Lapl = \frac{1000 \cdot Q \cdot T}{S1 \cdot S2} \quad (6)$$

onde:

Lapl = lâmina aplicada (mm); Q = vazão do sistema (m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>); T = Tempo (h); S1 = espaçamento entre posições ao longo da linha lateral (m); S2 = espaçamento entre linhas laterais (m).

$$P_{ev+arraste} = \frac{L_{apl}-L_{col}}{L_{apl}} \cdot 100 \quad (7)$$

onde:

$P_{ev+ar}$  = Perdas por evaporação e arraste (%);  $L_{apl}$  = Lâmina aplicada durante a irrigação (mm);  $L_{col}$  = Lâmina média coletada (mm).

Determinou-se também, a lâmina média coletada ( $L_{col}$ , em mm), a lâmina média percolada ( $L_{perc}$ , em mm), a lâmina deficitária ( $L_{def}$ , em mm), a lâmina armazenada ( $L_{arm}$ , em mm), a eficiência de aplicação de água pelo sistema de irrigação ( $E_a$ , em%), a perda por percolação ( $P_{per}$ , em %), o coeficiente de déficit ( $C_d$ , em %) e a Irrigação total necessária (ITN, em mm) através da metodologia descrita por BERNARDO et al. (2006).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, estão apresentados os valores do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e do coeficiente de uniformidade estatístico ( $U_s$ ) e os respectivos valores encontrados na avaliação do sistema de irrigação em estudo.

**TABELA 2.** Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), coeficiente de uniformidade estatística ( $U_s$ ), e suas respectivas classificações, do sistema de irrigação avaliado.

Coeficientes %	Valor	Classificação
CUC	81,20	Bom
CUD	71,73	Bom
US	77,25	Razoável

O coeficiente de uniformidade de Christiansen é um importante parâmetro para o estudo da uniformidade de irrigação. Esse parâmetro é utilizado para medir a variabilidade espacial da lâmina de água aplicada pelo sistema de irrigação. No sistema avaliado, tem-se que aproximadamente 81,20% da área está recebendo uma lâmina maior ou igual à lâmina média de aplicação, sendo classificado como bom (MANTOVANI 2001).

PAULINO et al. (2009), destacam que o dimensionamento técnico do sistema de irrigação foi uma das principais causas da desuniformidade do sistema. A melhoria da uniformidade pode ser obtida por meio da adoção de práticas de manejo, como limpeza periódica mais criteriosa do sistema de filtragem, possibilitando maior pressão nos pontos de emissão e o desentupimento dos aspersores.

QUEIROZ et al., (2012), ao avaliarem um aspersor convencional encontraram CUC 83,20% que se classifica na faixa de bom, ou seja, apresenta uma boa uniformidade para um sistema de aspersão. MARTINS (2013), avaliando o desempenho de sistemas de irrigação por aspersão no Sul do Estado do Espírito Santo, encontrou um coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) médio de

70,54%, sendo classificado como razoável. Em contrapartida, BERTOSI (2013), avaliando um sistema de irrigação por aspersão em malha em pastagem, encontrou um CUC inaceitável de 59,5%.

O coeficiente de uniformidade de distribuição é outro parâmetro utilizado para avaliação da uniformidade, a utilização deste método possibilita uma medida mais restrita, dando maior peso às plantas que recebem menos água. Valores baixos de CUD indicam a ocorrência de perdas excessivas por percolação profunda, caso toda a área receba uma lâmina igual ou maior à lâmina real necessária. No sistema de irrigação em estudo, foi encontrado um coeficiente de uniformidade de distribuição, de 71,73 %, sendo classificado como bom (MANTOVANI 2001). Para BERNARDO et al. (2006) o CUD é uma medida mais restrita, pois, ao se melhorarem as técnicas de manejo, preocupa-se mais com as plantas que recebem menos água.

O Coeficiente estatístico de uniformidade utiliza o desvio padrão como medida de dispersão e também pode ser empregado para o estudo da uniformidade da irrigação. Normalmente, valores acima de 75% são aceitos a nível comercial. No sistema avaliado foi encontrado um valor de 77,25%, sendo classificado como razoável (MANTOVANI 2001).

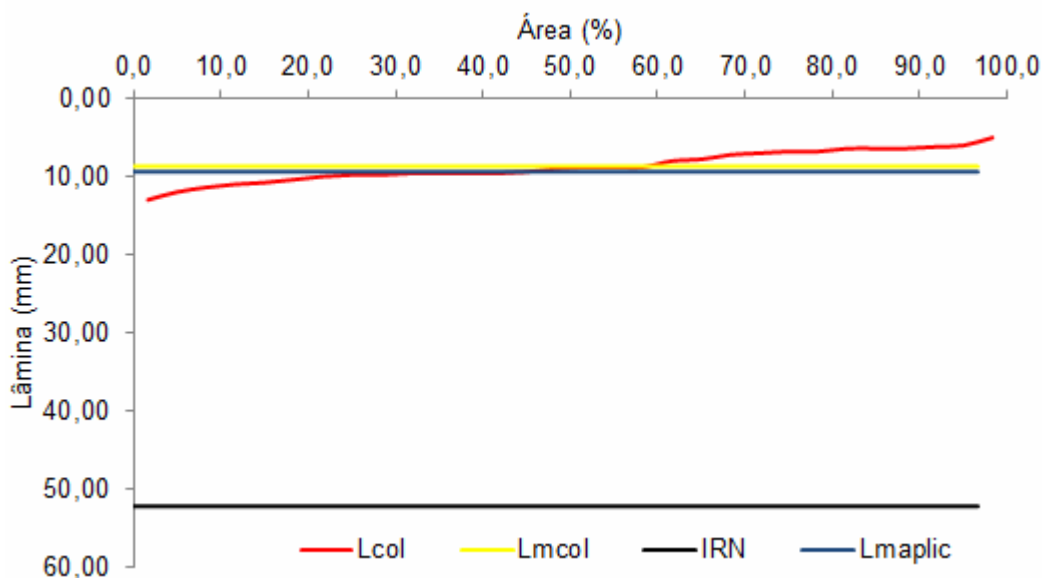
Pela Tabela 3, verifica-se o alto valor da IRN exigido para que o solo atinja a capacidade de campo 52,21 mm, sendo a lâmina aplicada pelo projeto de irrigação apenas 9,35 mm, correspondendo a somente 17,9% da IRN exigida. A pequena diferença entre a lâmina aplicada pelo sistema e a lâmina média coletada é resultado do baixo valor de perdas por evaporação e arraste pelo vento no momento da avaliação do sistema, resultando assim em uma perda de apenas 7,32%. SOUZA et al. (2008) em sistemas de irrigação por aspersão convencional instalado na Vila Rural Flor do Campo, localizada na região Noroeste do Estado do Paraná, encontrou valores de  $L_{apl}$  inferior à lâmina real necessária, indicando que a irrigação foi deficitária, resultado similar ao encontrado nesse trabalho.

**TABELA 3.** Valores da Irrigação real necessária (IRN), lâmina média aplicada ( $L_{mapl}$ ), lâmina média coletada ( $L_{mcol}$ ), perdas por evaporação e arraste ( $P_{ev+ar}$ ), lâmina percolada ( $L_{perc}$ ), lâmina deficitária ( $L_{def}$ ), lâmina armazenada na zona radicular ( $L_{arm}$ ), eficiência de aplicação ( $E_a$ ), perdas por percolação ( $P_{per}$ ) e o coeficiente de déficit ( $C_d$ ).

IRN (mm)	$L_{mapl}$ (mm)	$L_{mcol}$ (mm)	$P_{ev+ar}$ (%)	$L_{perc}$ (mm)	$L_{def}$ (mm)	$L_{arm}$ (mm)	$E_a$ (%)	$P_{per}$ (%)	$C_d$ (%)
52,21	9,35	8,67	7,32	0,0	43,54	8,67	92,72	0,0	83,39

A lâmina deficitária foi de 43,54 mm, consequência do alto valor de IRN em relação à lâmina média aplicada pelo sistema, com isso, o coeficiente de déficit foi 83,39%. A eficiência de aplicação é obtida pela relação entre a quantidade de água armazenada no sistema radicular e a quantidade de água aplicada, por isso a alta eficiência do sistema já que a água armazenada foi próxima à aplicada. A eficiência de aplicação para sistemas de irrigação por aspersão em culturas de grande importância econômica, como é o caso do café deve estar acima de 75% (BERNARDO et al., 2006).

Na Figura 2, encontra-se a relação entre IRN, Lcol, Lmcol e Lmapl do sistema de irrigação avaliado, onde se percebe mais uma vez a lâmina deficitária que está sendo aplicada em relação à exigida pelo solo, essa falta de água disponível para as plantas, causam diversos prejuízos à cultura. Tendo em vista que o cafeeiro, como as demais culturas agrícolas, necessita de água disponível no solo em sua fase vegetativa, para promover o crescimento de ramos plagiotrópicos e em sua fase reprodutiva (floração, expansão e granação dos frutos), para se desenvolver e produzir satisfatoriamente (MANTOVANI & SOARES, 2003).



**FIGURA 2.** Relação entre Irrigação real necessária (IRN), lâmina coletada (Lcol), Lâmina média coletada (Lmcol) e lâmina média aplicada (Lmaplic) do sistema de irrigação avaliado.

As práticas de manejo e gestão da irrigação são extremamente importantes, contribuindo para a adequação da irrigação às necessidades da cultura, visando aumentar a produtividade e a eficiência do uso dos fertilizantes (BERNARDO et al., 2006). Por isso, é fundamental avaliar os sistemas de irrigação periodicamente, a fim de melhorar a uniformidade de distribuição, minimizando as perdas de água, energia elétrica e fertilizante.

### CONCLUSÕES

O projeto de irrigação avaliado apresentou uma boa uniformidade de aplicação de água (81,2 %), um bom coeficiente de uniformidade de distribuição (71,73%), razoável coeficiente estatístico de uniformidade (77,25%), a lâmina média de água aplicada no período avaliado foi inferior à irrigação real necessária.

### REFERÊNCIAS

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8.ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.



BERTOSSI, A. P.; MILEN, L. C.; HOTT, M. O.; RODRIGUES, R. R.; REIS, E. F. Avaliação de um sistema de irrigação por aspersão em malha em pastagem. **Nucleus**, v.10, n.1, 2013.

BONOMO, R.; OLIVEIRA, L. F. C.; SILVEIRA NETO, A. N.; BONOMO, P. Produtividade de cafeeiros arábica irrigados no cerrado goiano. Pesquisa **Agropecuária Tropical**, v. 38, n. 4, p. 233-240, 2008.

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

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1997. 212p.

FARIA, L. C.; COLOMBO, A.; OLIVEIRA, H. F. R.; PRADO, G. Simulação da uniformidade da irrigação de sistemas convencionais de aspersão operando sob diferentes condições de vento. **Engenharia Agrícola**, v.29, n.1, p.19-27, 2009.

JUSTI, A. L.; VILAS BOAS, M. A.; SAMPAIO, S. C. Índice de capacidade do processo na avaliação da irrigação por aspersão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.2, p.264-270, 2010

LUNA, N. R. S.; ANDRADE, E. M.; CRISÓSTOMO, L. A.; MEIRELES, A. C. M.; AQUINO, D. N. Dinâmica do nitrato e cloreto no solo e a qualidade das águas subterrâneas do distrito de irrigação Baixo Acaraú, CE. **Revista Agro@ambiente Online**, v.7, n.1, p.53-62, 2013.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação, princípios e métodos**. 3.ed. atual. ampl. Viçosa: UFV. 2009. 355p.

MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. R. Irrigação do cafeeiro: informações técnicas e coletânea de trabalhos. Viçosa, MG: **Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais**, 2003. 260 p. (Engenharia na Agricultura – Boletim Técnico, 8).

MANTOVANI, E. C. **AVALIA: Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada**. Viçosa, MG: UFV. 2001.

MARTINS, C. A. S.; REIS, E. F.; PASSOS, R. R.; GARCIA, G. O. Desempenho de sistemas de irrigação por aspersão convencional na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Idesia**, v. 29, n. 3. p. 65-74, 2011.

PAULINO, M. A. O.; FIGUEIREIDO, P. F.; FERNANDES, R. C.; MAIA, J. T. L. S.; GUILHERME, D. O.; BARBOSA, F. S. Avaliação da uniformidade e eficiência de aplicação de água em sistemas de irrigação por aspersão convencional. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.3, n.2, p.48-54, 2009.

QUEIROZ, W. M.; SIMEÃO, M.; SANTOS, A. R. B.; MOUSINHO, F. E. P. Uniformidade de distribuição de água em um sistema de irrigação com o uso de aspersores setoriais. **IN: Inovagri International Meeting**, I, Anais Fortaleza: INOVAGRI, 2012.

SOUZA, E. A. M.; SOUZA, P. C.; BOAS, M. A. V. Avaliação do desempenho de sistemas de irrigação por aspersão convencional fixo e gotejamento em vila rural. **Irriga**, v. 13, n. 1, p. 47-62, 2008.

WILCOX, J. C.; SWAILES, G. E. Uniformity of water distribution by some undertree orchard sprinklers. **Scientific Agriculture**, v.27, n.11, p.565-583, 1947.