Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

Uniformidade e eficiência de aplicação de água em um sistema de irrigação por aspersão em pastagem

Uniformity of application and efficiency of water in an irrigation system sprinkler in pastures

Lucas Rosa Pereira, Joabe Martins de Souza, Anatan da Matta Rafael, Edimar Almeida da Cruz, Ariany das Graças Teixeira, Edvaldo Fialho dos Reis

Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Centro de Ciências Agrárias e Engenharias (CCAE), Alto Universitário s/n, Caixa Postal 16, CEP 29500-000, Alegre, ES. E-mail: lucasrosapereira@hotmail.com

Recebido em: 17/02/2014 Aceito em:10/08/2016

Resumo. Com o objetivo de avaliar a uniformidade e a eficiência de um sistema de irrigação por aspersão instalado em uma área de pastagem no município de Alegre-ES, a área entre quatro aspersores avaliados 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 coletada representasse sua precipitação. Após a montagem da malha de coletores, o sistema de irrigação foi ligado por um período de uma hora e os volumes coletados foram medidos e posteriormente convertidos em mm de água. A uniformidade de aplicação de água do sistema foi estimada através do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e do Coeficiente de Uniformidade Estatística (Us), além desses foram calculados a irrigação real necessária, a lâmina coletada, lâmina aplicada, as perdas do sistema, a eficiência de aplicação e a irrigação total necessária. Com base nos valores encontrados pode-se concluir que o projeto de irrigação avaliado apresentou uma uniformidade razoável de aplicação de água, a lâmina média aplicada no período avaliado foi superior a lâmina real necessária à cultura irrigada e a eficiência de aplicação de água do sistema encontra-se abaixo do recomendado pela literatura.

Palavras-chave. Aspersores, coletores, irrigação.

Abstract. Aiming to evaluate the uniformity and efficiency of a sprinkler irrigation system installed in a grazing area in the municipality of Alegre-ES, the area between four sprinklers reviews was divided into square subfields of approximately 3 mx 3 m collectors were installed in the center of each area, so that the blade collected represented their precipitation. After mounting the mesh collector, the irrigation system was turned on for a period of one hour and the collected volume was measured and converted to mm of water. The uniformity of water application system was estimated by Christiansen Uniformity Coefficient (CUC), Distribution Uniformity Coefficient (CUD) and the Coefficient of Uniformity Statistics (Us), the actual irrigation beyond those required were calculated, the blade collected, depth applied, system losses, application efficiency and total irrigation required. Based on the values found can be concluded that the irrigation project evaluated showed a reasonable uniformity of water application, the average depth applied in the study period was higher than the actual blade necessary for irrigated and water application efficiency of the system is is below that recommended by the literature.

Key words. Sprinklers, collectors, irrigation.

Introdução

Nos últimos anos a evolução da pecuária brasileira tem ampliado a participação da irrigação no agronegócio, fazendo com esta se torne cada vez mais uma estratégia importante para o aumento da produção, produtividade e rentabilidade da propriedade rural.

No Sul do Estado do Espírito Santo, os projetos de irrigação vêm se consolidando como importante alternativa na modernização e crescimento da

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

agricultura nesta região. A aplicação de determinadas medidas, como por exemplo, a análise de sistemas de irrigação a nível de campo, contribui para atenuar as perdas que ocorrem durante e após a aplicação de água pelo sistema (MARTINS et al., 2011). Para (López-Mata et al., 2010) o decréscimo de disponibilidade de água para a agricultura, o aumento dos custos de energia e a crescente preocupação mundial com os recursos hídricos leva à adoção de estratégias de manejo que possibilitam economia de água, sem prejuízos da produtividade.

Segundo (Faria et al., 2009) e (Justi et al., 2010) os sistemas de irrigação por aspersão devem aplicar água da maneira mais uniforme possível, visto que 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.

Vários coeficientes expressam a uniformidade de aplicação da irrigação. Segundo (Bernardo et al., 2006), o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), proposto por (Christiansen, 1942), o Coeficiente de Uniformidade Estatística (Us), proposto (Wilcox & Swailes, 1947) e o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), proposto por (Criddle et al., 1956) são os três coeficientes mais utilizados para determinação da uniformidade de aplicação e distribuição de água de um sistema.

A avaliação do desempenho de sistemas de irrigação é uma prática cujos irrigantes não têm dado importância, apesar de terem acessos à tecnologia, muitos não a utilizam de maneira adequada, por falta de conhecimento ou até mesmo de orientação (SILVA & SILVA, 2005). Isto indica que a irrigação pode ser excessiva ou deficitária sendo demostrado em ambos os casos, prejuízos econômicos relevantes na agricultura irrigada (MARTINS et al., 2011).

Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a uniformidade e a eficiência de aplicação de água em um sistema de irrigação por aspersão em pastagem no sul do Estado do Espírito Santo.

Material e métodos

A avaliação do sistema de irrigação foi realizada no mês de novembro de 2013 em uma área com pastagem localizada na área experimental do Instituto Federal do Espírito Santo – *Campus* de Alegre, no sul do estado do Espírito Santo situada sob as coordenadas geográficas 41º32’ de longitude Oeste e 20º43’ 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 28º C.

O sistema de irrigação utilizado foi o de aspersão, com mini canhões Plona Modelo KS 1500, tipo rotativos, que segundo as especificações do fabricante tem diâmetro molhado de 56 a 68 m com vazão variando de 12,46 a 16,58 $m^3 h^{-1}$ com pressão na base de 25 a 45 mca, sendo utilizada uma pressão de 25 mca.

Os aspersores foram instalados a 1 m da superfície do solo no espaçamento de 25m entre linhas e 12 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 indeformadas e 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 (300 m²), que possuíam espaçamento de 25 x 12 m.

Para a realização do estudo, a área entre os quatro aspersores avaliados 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.

Os coletores usados foram copos plásticos descartáveis transparentes, com diâmetro de 8,0 cm, o que corresponde a uma área de 50,264 cm^2. Os coletores foram apoiados em suportes de vergalhão, que tinham na sua parte superior um semicírculo para

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

acomodação e apoio do coletor, que foram espalhados em 10 linhas, sendo 6 coletores por linha, totalizando 60 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.

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 17 litros, cronômetro, repetindo o processo por três vezes.

Para determinação da pressão de serviço do aspersor, foi utilizado um manômetro para medir a pressão no bocal de maior diâmetro de cada um dos quatro aspersores avaliados. Foi avaliada a pressão e vazão de serviços dos aspersores (equações 2 e 3) conforme (Mantovani et al., 2009).

$$Lâm=\frac{Lcol}{Ac} \qquad (1)$$

$$VPs=\frac{PSmáx-PSmin}{PSmed} \times 100 \qquad (2)$$

$$VQs=\frac{Qmáx-Qmin}{Qmed} \times 100 \qquad (3)$$

onde: VPs = Variação da pressão de serviço (%); VQs = Variação da vazão de serviço (%);Lâm = Lâmina coletada (mm); Lcol = Lâmina coletada (mL); Ac = área do coletor (cm²); PSmáx = Pressão de serviço máxima (kPa); PSmín = Pressão de serviço mínima (kPa); PSmed = Pressão de serviço média (kPa); Qmáx = Vazão máxima (m^3h^{-1}); Qmín = Vazão mínima (m^3h^{-1}); Qmed = Vazão média (m^3h^{-1});

A uniformidade de aplicação de água do sistema foi estimada através do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) determinados pelas equações 4 e 5, respectivamente descritas por (Bernardo et al.,2006) e (Mantovani et al., 2009) e o Coeficiente Estatístico (Us) proposto por (Wilcox & Swailes, 1947) (equação 6).

$$CUC=100\left(1\frac{\sum_{I=1}^{n}|Li-Lm|}{nLm}\right) \qquad (4)$$

$$CUD=100\left(\frac{L_{q25\%}}{Lm}\right) \qquad (5)$$

$$Us=100\left(1-\frac{S_d}{Lm}\right) \qquad (6)$$

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; $Lq_{25\%}$ = 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 7. Foi utilizado valor de Z = 30 cm para o projeto em estudo, pois se entende que 90% das raízes das gramíneas se concentram nessa profundidade (VIEIRA, 1995). Após a determinação da IRN, determinou-se a lâmina aplicada durante a irrigação por meio da metodologia descrita por Mantovani et al. (2009) (Equação 8). E as perdas por evaporação e arraste do vento pela equação 9.

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

$$IRN=\frac{(CC-Ua)}{10} \text{ x ds x Z} \qquad (7)$$

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^{-3}); Z = profundidade efetiva do sistema radicular (cm).

$$Lapl=\frac{1000.\ Q.\ T}{S1.S2} \qquad (8)$$

onde: Lapl = lâmina aplicada (mm); Q = vazão do sistema (m^3 h^{-1}); T = Tempo (h); S1 = espaçamento entre posições ao longo da linha lateral (m); S2 = espaçamento entre linhas laterais (m).

$$Pev+arraste=\frac{Lapl-Lcol}{Lapl}.\ 100 \qquad (9)$$

onde: Pev+ar = Perdas por evaporação e arraste (%); Lapl = Lâmina aplicada durante a irrigação (mm); Lcol = Lâmina média coletada (mm).

Determinou-se a também, a lâmina média coletada (Lcol, em mm), a lâmina média percolada (Lperc, em mm), a lâmina deficitária (Ldef, em mm), a lâmina armazenada (Larm, em mm), a eficiência de aplicação de água pelo sistema de irrigação (Ea, em%), a perda por percolação (Pper, em %), o coeficiente de déficit (Cd, em %) e a Irrigação total necessária (ITN, em mm) através da metodologia descrita por Bernardo et al. (2006).

Resultados e Discussão

Na avaliação do sistema foi constatada uma variação na pressão de serviço (VPs) de 5,53 % entre os quatro aspersores avaliados, fato que pode ser explicado devido a vazamentos nas tubulações, que foi verificado durante a avaliação do sistema.

As vazões apresentaram-se diferentes, sendo que a variação de vazão de serviço (VQs) dos aspersores foi de 15,09 %, a vazão média dos aspersores foi de 12,55 m^3 h^{-1}, mantendo-se próxima a vazão especificada pelo fabricante de 12,46 m^3 h^{-1} (Figura 1), contudo, um dos aspersores apresentou valor menor de vazão em relação aos demais, reforçando fato de que havia vazamentos nas tubulações. (Bertossi et al., 2013) trabalhando com sistema de aspersão em pastagem no sul do Estado do Espírito Santo, também verificaram vazão média próxima a especificada pelo fabricante.

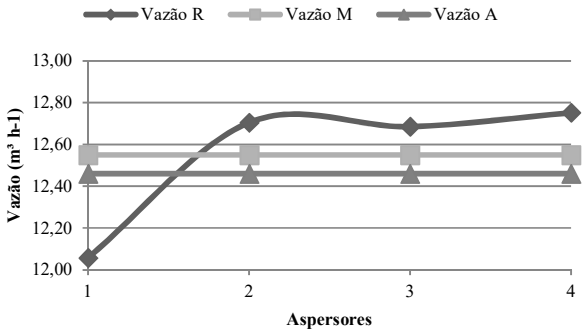


Figura 1. Distribuição da vazão dos aspersores avaliados.

Na Tabela 2, estão apresentados os valores do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e Coeficiente de Uniformidade Estatística (Us), e as respectivas classificações dos valores dos coeficientes de uniformidade do projeto de irrigação por aspersão convencional em pastagem avaliado.

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 79,31% da área estão recebendo uma lâmina maior ou igual à lâmina média de aplicação, sendo classificado como razoável, por (Mantovani, 2001). Martins, (2013) avaliando o desempenho de sistemas de irrigação por aspersão no Sul do Estado do Espirito Santo, encontrou um Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) médio de 70,54 %. Em contrapartida, (Bertossi, 2013), avaliando um sistema de irrigação por aspersão em malha em pastagem encontrou um CUC inaceitável de 59,5%. (Paulino et al., 2009) ao avaliarem o desempenho de sistemas de irrigação por aspersão convencional, observaram baixa uniformidade de aplicação de água nos projetos avaliados.

O Coeficiente de Uniformidade de Distribuição é outro parâmetro utilizado para avaliação da uniformidade, a utilização deste método

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

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 69,79 %, sendo classificado por (Mantovani, 2001) como bom.

Tabela 2. Valores e classificação do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e Coeficiente de uniformidade estatístico (Us).

Coeficientes %	Valor	Classificação
CUC	79,31	Razoável
CUD	69,79	Bom
US	75,41	Razoável

O Coeficiente Estátistico 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 Coeficiente Estátistico de 75,41 %, sendo classificado como razoável por (Mantovani, 2001).

Na Tabela 3, nota-se o baixo valor requerido para que o solo atinja a capacidade de campo, uma IRN de 3,50 mm, isso ocorre pelo fato de a umidade do solo encontrar-se próximo a capacidade de campo no momento da avaliação do sistema. (Martins et al., 2011) ao avaliarem o desempenho de sistemas de irrigação por aspersão convencional na cultura do milho observaram que em todos os projetos a lâmina de irrigação aplicada (Lapl) também foi maior que a lâmina real necessária (IRN), indicando que todos os projetos em estudo aplicavam água em excesso, apresentando, portanto, baixa eficiência de aplicação.

O valor baixo de Larm foi limitado pela baixa IRN no momento da avaliação do sistema. Como a Lapl foi muito superior a IRN, a lâmina deficitária e o coeficiente de déficit apresentaram valor 0,0 mm.

Tabela 1. Valores da Irrigação real necessária (IRN), lâmina média aplicada (Lmapl), lâmina média coletada (Lmcol), perdas por evaporação e arraste (Pev+ar), lâmina percolada (Lper), lâmina deficitária (Ldef), lâmina armazenada na zona radicular (Larm), eficiência de aplicação (Ea), perdas por percolação (Pper), coeficiente de déficit (Cd) e Irrigação total necessária (ITN).

IRN (mm)	Lmapl (mm)	Lmcol (mm)	Pev+ar (%)	Lperc (mm)	Ldef (mm)	Larm (mm)	Ea (%)	Pper (%)	Cd (%)	ITN (mm)
3,50	41,83	19,23	54,04	15,72	0,0	3,50	8,37	37,59	0,0	5,76

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 baixa eficiência do sistema (8,37%) já que a água armazenada foi pouco em relação à aplicada, haja vista que a lâmina aplicada (Lapl) foi aproximadamente 12 vezes superior à requerida (3,50mm) para que o solo atingisse a capacidade de campo. O valor encontrado está bem abaixo do recomendado pela literatura para sistemas de irrigação por aspersão, que varia de 75-85% (BERNARDO et al., 2006). Na Figura 2, nota-se que e a lâmina média coletada foi menor que a aplicada, essa diferença representa as perdas por evaporação e arraste, que foram de 54,04% (Tabela 5). Analisando o volume coletado durante a avaliação nota-se que 100% da área recebeu uma lâmina superior IRN, podendo haver perdas por percolação profunda.

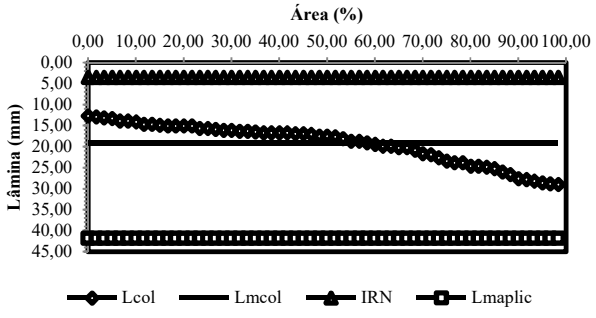


Figura 2. Relação entre Irrigação real necessária (IRN), lâmina coletada (Lcol), Lâmina média coletada (Lmcol) e lâmina média aplicada (Lmapl).

A lâmina média aplicada foi em torno de 1195% superior a requerida para que o solo chegasse a capacidade de campo, desta forma, é importante adotar boas práticas de manejo, evitando desperdícios de água, energia e fertilizantes.

Conclusões

O sistema de irrigação avaliado apresentou um CUC razoável, CUD bom e Us razoável. Uma lâmina média aplicada 1195% superior a IRN, necessitando da adoção de práticas de manejo a fim de evitar desperdícios de água, energia e fertilizantes.

Referencias

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

BERTOSSI, A. P. et al. Avaliação de um sistema de irrigação por aspersão em malha em pastagem. **Nucleus**, v.10, n.1, 2013.

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

CRIDDLE, W. D.; DAVIS, S.; PAIR, C.; SHOCKLEY, D. G. Methods for evaluating irrigation systems.Washinhton DC: Soil Conservation Service- USDA, 1956. 24p.

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

LÓPEZ-MATA, E. et al. Effect of irrigation uniformity on the profitability of crops. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 98, p. 190-198, 2010.

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

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

MARTINS, C. A. S.et al. Desempenho de sistemas de irrigação por aspersão convencional na cultura do milho (Zea mays L.). **Idesia**, v. 29, n. 3. p. 65-74, 2011.

MARTINS, C. L. Análise de irrigação no cultivo do café conilon no Sul do Estado do Espírito Santo. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Espirito Santo. Alegre, fev, 2013.

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.

SILVA, C. A. da; SILVA, C. J. Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v. 4, n. 8, 2005.

sprinklers. Scientific Agriculture, v.27, n.11, p.565-583, 1947.

VIEIRA, D. B. **As técnicas de irrigação**. 2 ed. São Paulo: Globo, 1995. 263 p

WILCOX, J. C.; SWAILES, G. E. **Uniformity of wa ter distribution by some undertree orchard**