

Samuel Silva Reis
Bambuú Bioenergia S/A
reisagro6@gmail.com

Paulo Ricardo Frade
Professor do Centro Universitário de Formiga -
MG
paulorfrad@gmail.com

Pâmela Rafanele França Pinto
Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária,
Universidade Federal de Lavras
pamelarfrancs@gmail.com

Davidson Silva Ribeiro
Graduando em Engenharia Agrícola, Universidade
Federal de Lavras
davidsonsvm88@gmail.com

Michael Silveira Thebaldi
Professor da Universidade Federal de Lavras
michael.thebaldi@ufla.br

DESEMPENHO DA APLICAÇÃO DE VINHAÇA POR SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOPROPELIDO NA REGIÃO DE BAMBUÍ – MG - BRASIL

RESUMO

Em uma indústria localizada em Bambuí - MG, vinhaça é distribuída nas áreas de cultivo de cana por meio de fertirrigação, empregando-se o sistema de irrigação autopropelido. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de um equipamento de irrigação por meio de autopropelido, a partir de duas formas de amostragem da lâmina precipitada, visando à otimização da lâmina de vinhaça aplicada, avaliando-se a uniformidade e a eficiência desse sistema. Utilizaram-se três indicadores de desempenho: o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e o coeficiente de uniformidade estatístico (CUE). As eficiências calculadas foram a eficiência de irrigação (Ei), a eficiência de aplicação (Ea), a eficiência de distribuição (Ed), a eficiência potencial de aplicação (Eap) e a eficiência de armazenagem (Es). Para a determinação dos coeficientes e as respectivas eficiências, realizaram-se dois ensaios de precipitações, usando os coletores espaçados entre 4 e 8 m. Verificou-se que a distribuição da água de fertirrigação na área estudada encontra-se próximo aos valores recomendados pela literatura, porém, a eficiência de irrigação obtida foi baixa, com valores não recomendados para esse tipo de sistema, o que pode comprometer o desenvolvimento da cana-de-açúcar.

Palavras-chave: Eficiência. Fertirrigação. Uniformidade.

PERFORMANCE OF VINASSE APPLICATION BY SELF-PROPELLED IRRIGATION SYSTEM IN THE REGION OF BAMBUI - MG – BRAZIL

ABSTRACT

In an industry located in Bambuí city, MG, Brazil, vinasse is distributed into sugarcane tillage areas through fertigation using a self-propelled irrigation system. With this, the objective of this paper was to evaluate the performance of a self-propelled irrigation equipment, with two forms of water precipitation depths sampling, aiming at the optimization of the applied vinasse depth, evaluating the uniformity and efficiency of this system. Three uniformity indicators were used: Christiansen uniformity coefficient (CUC), distribution uniformity coefficient (CUD) and statistical uniformity coefficient (CUE). The calculated efficiencies were irrigation efficiency (Ei), application efficiency (Ea), distribution efficiency (Ed), potential application efficiency (Eap) and storage efficiency (Es). To determine the coefficients and their respective efficiencies, two precipitation tests were performed, using collectors spaced between 4 and 8 m. The distribution of fertigation water in the studied area was found to be near to the values recommended by the literature, however, the irrigation efficiency obtained was low, with values not

recommended for this type of system, which may compromise the development of sugarcane.

Keywords: Efficiency. Fertigation. Uniformity.

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço da agrotecnologia relacionadas ao cultivo, os principais limitantes da produção agrícola são o excesso de água e o estresse causado pela ausência desta no solo (LOPES et al., 2007). Desta forma tem-se que a realização da irrigação em quantidade compatível ao ciclo da cultura traz uma melhor eficiência na produção, possibilitando economia dos recursos hídricos, fazendo-se necessário para tal, o conhecimento dos processos fisiológicos da cultura (LIMA et al., 2010).

Neste contexto, o sistema autopropelido encontra-se inserido no método de irrigação por aspersão, porém, mecanizada, o que facilita o manejo, porém, em contrapartida, há, normalmente um consumo elevado de energia. Porém, quando manejado corretamente, se pode utilizá-lo por um período menor do que o projetado com maior eficiência e uniformidade, levando a uma economia de energia (SCALOPPI e COLOMBO, 1995; ROCHA et al., 2005)

Em linhas gerais, têm sua uniformidade afetada por variáveis meteorológicas como a velocidade e direção do vento, além pelas características hidráulicas do equipamento (VELLAME et al., 2011), mas também apresenta vantagens, como: custo de implantação relativamente baixo; prático e de fácil manejo no campo; necessita de pouca mão de obra e permite irrigar várias áreas com apenas um equipamento (BASTOS et al., 2011). Já as limitações, são principalmente o alto consumo de energia

advindas das perdas de carga na movimentação do equipamento, no comprimento da mangueira e no funcionamento do canhão; e a alta intensidade de aplicação, além de não ser indicado para áreas declivosas e com baixo índice de cobertura vegetal (BASTOS et al., 2011; MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2013).

Por consequência de elevada pressão de trabalho e do diâmetro considerável do bocal, o sistema de autopropelido propicia a aplicação de águas de qualidade inferior sem a necessidade de uma filtragem relevante. Com isso, a vinhaça, resíduo obtido pelas destilarias, vem sendo tratada como uma parcela importante no racionamento de água nestas lavouras e no avanço da produção de cana-de-açúcar (JUSTI, 2012).

Desta forma, seu aproveitamento no processo de fertirrigação faz-se interessante - já que para a produção de cada litro de álcool, em média, 13 litros se transformam em vinhaça, e por esta solução ser rica em nutrientes extraídos pela e da própria cultura (PAULINO et al., 2011).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de um equipamento de irrigação autopropelido, por meio de coeficientes de uniformidades e diferentes índices de eficiência, visando a otimização da lâmina de vinhaça aplicada.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no município de Bambuí-MG, localizado, geograficamente, na latitude 20°05'49,5" S, longitude 44°04'06,29" W, com altitude de 758 metros. Possui uma área total de 1.453,99 km² e fica a 270 km de Belo Horizonte, no Centro-Oeste Mineiro. De acordo com a classificação climática Köppen, o clima da região é caracterizado como subtropical húmido (Cwa), apresentando precipitação média anual de 1529mm e a temperatura média anual de 20,4 °C (ALVARES et al., 2013).

Os testes foram realizados em agosto de 2018, na área de cultivo de cana-de-açúcar, identificada como setor 01, de uma indústria localizada na cidade de Bambuí, na qual o uso da vinhaça para fertirrigação é constante.

O sistema avaliado foi um autopropelido do tipo carretel enrolador, composto, na extremidade da mangueira, por um carro porta-aspersor, sobre o qual fica instalado o canhão hidráulico, e da mangueira de polietileno propriamente dita, o carretel enrolador, que é responsável pelo recolhimento da mangueira e, conseqüentemente, pelo deslocamento do carro porta-aspersor.

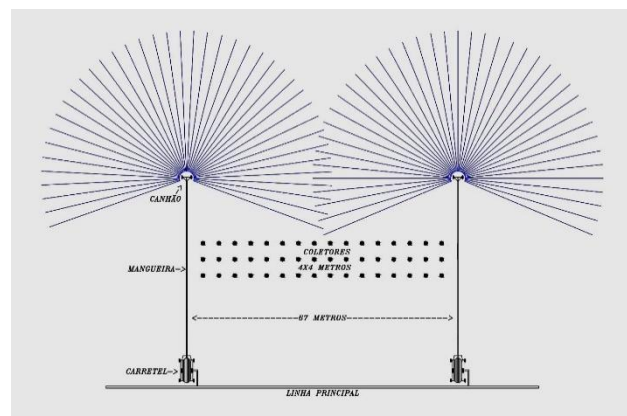
Para determinar a uniformidade de distribuição dos sistemas de irrigação autopropelido foram os coeficientes de uniformidade de Christiansen – CUC (CHRISTIANSEN, 1942), de uniformidade de distribuição – CUD (KELLER; KARMELI, 1974) e o coeficiente de uniformidade estatístico – CUE (WILCOX; SWAILES, 1947).

Os dados de precipitação foram obtidos por meio de coletores (pluviômetros), com área de captação de 50 cm², compostos de PVC rígido, produzidos pela Fabrimar, instalados sobre hastes de alumínio a 0,60 m do solo, com as dimensões: 80 mm de diâmetro por 75 mm de

altura.

Os coletores pluviométricos foram colocados em três linhas perpendiculares à direção de deslocamento do autopropelido, conforme mostra a Figura 1. A primeira e a última linha ficaram afastadas no início e no final da faixa, respectivamente, de modo que as precipitação gerada a partir do aspersor canhão, no início e no final, não atingissem as linhas dos pluviômetros.

Figura 1 - Esquema de distribuição dos coletores para a avaliação do autopropelido



Fonte: Os autores, 2019.

Foram realizados dois ensaios com três repetições, sendo que, no primeiro, o espaçamento entre os coletores no campo foi de quatro metros, com a fixação do primeiro coletor a quatro metros do canhão. Já no segundo teste, o espaçamento entre os coletores foi de oito metros, com o objetivo de verificar possíveis alterações da uniformidade obtida em função da modificação do espaçamento entre coletores.

Para se determinar as perdas por evaporação da água recolhida nos coletores, foram utilizados quatro recipientes com volume conhecido de vinhaça, os quais foram colocados fora da área a ser irrigada. No final do teste, mediu-se o volume de água nos coletores, e, pela

diferença entre o volume inicial e o final, obteve-se a evaporação, sendo considerada a média desses valores para cálculo.

Os valores encontrados de CUC, CUD e CUE foram classificados conforme apresentado em Mantovani (2009).

Os dados meteorológicos foram coletados no momento da avaliação, (temperatura, umidade relativa e velocidade média do vento), com a utilização de um anemômetro modelo Icel Manaus AN-3090.

Foram aferidos, em campo, a vazão, a pressão de serviço, o ângulo de giro, o raio de alcance e o diâmetro do bocal do canhão hidráulico. Mediu-se a velocidade de deslocamento do equipamento no início, no meio e no final do carreador, determinando-se o tempo gasto para que fosse percorrida uma distância de 20 m.

Assim, a Eficiência de Irrigação (EI) pôde ser calculada com a Equação 4.

$$EI = 100 \times \frac{IRN}{ITD} \quad (4)$$

em que:

IRN – Irrigação real necessária - lâmina de irrigação benéficamente usada para satisfazer outros usos benéficos (mm); e

ITD – lâmina média de irrigação derivada ao campo - uso benéfico + não benéfico (mm).

Já a Eficiência de Aplicação (EA) foi obtida com o uso da Equação 5.

$$EA = 100 \times \frac{IARM}{ITA} \quad (5)$$

em que:

IARM – lâmina de irrigação útil armazenada,

disponível para a cultura (mm); e

ITA – lâmina média de irrigação aplicada na parcela - irrigação total aplicada (mm).

A Eficiência Potencial de Aplicação (EPA) foi determinada por meio da Equação 6.

$$EPA = 100 \times \frac{INF}{ITA} \quad (6)$$

em que:

INF – lâmina média de irrigação infiltrada na parcela (mm);

Em sequência, a partir do uso da Equação 7, determinou-se a Eficiência de Armazenagem (ES).

$$ES = 100 \times \frac{IARM}{IRN} \quad (7)$$

Por fim, com a aplicação da Equação 8, calculou-se a Eficiência de Distribuição (ED).

$$ED = 100 \times \frac{IRN}{INF} \quad (8)$$

Por se tratar de uma área de produção não experimental, foi considerada como irrigação real necessária (IRN) a lâmina determinada para aplicação pelo recurso humano técnico da empresa, porém, baseada na necessidade da cultura. Já para a lâmina média de irrigação aplicada na parcela (ITA), os dados foram coletados no momento do ensaio para a execução do seu cálculo bem como para determinação da lâmina média de irrigação derivada ao campo (ITD) – Tabela 1.

Tabela 1 – Lâminas obtidas para o cálculo das eficiências de irrigação com o uso de sistema autopropelido em lavoura de cana-de-açúcar com aplicação de vinhaça, em diferentes espaçamentos entre coletores de água

Lâminas (mm)	Espaçamento entre coletores (m)	
	4	8
IRN	25,0 ± 0,0	25,0 ± 0,0
ITD	41,9 ± 0,8	42,4 ± 0,0
IARM	18,7 ± 2,6	20,7 ± 2,0
INF	23,2 ± 4,1	28,3 ± 2,5
ITA	26,9 ± 0,0	26,9 ± 0,0

Fonte: Os autores, 2019.

Na Tabela 2, estão detalhadas as características do sistema de autopropelido utilizado no estudo.

Tabela 2 – Dados do sistema de autopropelido utilizado

PS	q	A	r	v
6	90	180°	36	50

Fonte: Os autores, 2019. Em que: PS: pressão de serviço (kgf.cm^{-1}); q: vazão ($\text{m}^3.\text{h}^{-1}$); A: ângulo de giro; r: raio de alcance do jato (m); v: velocidade de deslocamento (m/h).

Assim, os resultados obtidos foram analisados em um delineamento inteiramente casualizado (DIC), sendo o tratamento o espaçamento entre coletores em campo (dois níveis: 4 e 8 m), com três repetições. Para analisar possíveis diferenças significativas entre tratamentos, foi realizado o teste F a 5% de probabilidade estatística e, quando necessário, teste de Scott-Knott para comparação de médias, também a 5% de probabilidade estatística.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após realizada Análise de Variância, não foram encontradas diferenças significativas das médias entre nenhuma das variáveis respostas em função dos tratamentos aplicados. Assim, os resultados dos coeficientes de uniformidade encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Coeficientes de uniformidade da distribuição da água aplicada (%) referentes aos testes realizados no campo

Coeficientes de Uniformidade	Espaçamento entre coletores	
	4 m	8 m
CUC	79,77 ± 9,46 a	75,78 ± 5,19 a
CUD	60,13 ± 15,07 a	68,89 ± 5,38 a
CUE	73,96 ± 11,25 a	68,89 ± 5,38 a

Fonte: Os autores, 2019. Valores seguidos de mesma letra na horizontal não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade estatística.

Para os cálculos dos coeficientes de uniformidade, foram realizados três ensaios para cada espaçamento entre coletores (4 m e 8 m). No primeiro teste, com 4 m de espaçamento, foi encontrado o valor médio do CUC de 79,37%. De acordo com Mantovani (2009), esse resultado (Tabela 3) pode ser considerado razoável para esse tipo de equipamento de irrigação, mostrando que a quantidade de água aplicada na faixa irrigada está dentro da porcentagem aceitável, porém, fora do que é considerado excelente.

Já no teste em que se utilizaram 8 m de espaçamento entre coletores, o valor médio de CUC foi de 75,78%, também considerado razoável, segundo o mesmo autor.

Keller e Bliesner (1990) citam que a concepção de baixos valores de uniformidade é

relativa. Porém, geralmente consideram-se como baixos aqueles com Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) menores que 75%, sendo que valores superiores a 84% são recomendados para culturas de maior valor econômico.

Bernardo, Soares e Mantovani (2005) dizem que o valor mínimo recomendável de Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, para a irrigação por aspersão, é de 80%. Já Matsura e Testezlaf (2003) afirmam que, para sistemas autopropelidos de irrigação, valores da ordem de 70% podem ser considerados como bons; e para Mantovani e Ramos (1994), os valores de CUC para o sistema de irrigação via autopropelido variam de 80 a 85%.

Em estudo feito por Rodrigues et al. (2012), que consistiu na avaliação da uniformidade da aplicação de vinhaça por sistemas autopropelidos em empreendimentos rurais localizados no Norte do Espírito Santo, foram obtidos valores de CUC superiores aos encontrados neste estudo – sendo o menor deles, 78%, para seis equipamentos avaliados. Neste, os autores tecem conclusão interessante, explanando que uma adequação no mecanismo de controle da velocidade de deslocamento do canhão hidráulico e da largura da faixa irrigada pode proporcionar valores superiores de CUC, o que se faz importante, já que a vinhaça é um resíduo líquido com alto potencial poluente.

Para este trabalho, com a diminuição do espaçamento entre coletores o CUC foi elevado, o que pode ser explicado pela representatividade maior de lâminas amostrais em relação ao aplicado, o que diminui os desvios em relação à lâmina média obtida, sendo este somatório mais diluído em função do maior número de amostras.

O valor médio de CUD encontrado no

ensaio de 4 m foi de 60,13%, e, no segundo ensaio, de 8 m, 53,7%. No entanto, esses valores, segundo Bernardo (1989), são considerados como abaixo do mínimo aceitável, que é de 70%. Relacionando-se CUC e CUD, Rezende (1992) afirma que o fato de CUD ser sempre menor que CUC é inerente às variáveis das equações utilizadas na determinação desses coeficientes, pois, no cálculo de CUD, consideram-se apenas 25% da área que recebeu menos água, como afirmam Keller e Bliesner (1990).

Quando se observa que o valor médio de CUE no teste em que se utilizou o espaçamento de 4 m entre os coletores foi de 73,95% e, no de 8 m, foi de 68,8%, a classificação do sistema de irrigação passa a ser razoável e ruim, respectivamente, de acordo com o apresentado por Mantovani (2009), pois isso demonstra que existem problemas que podem afetar a distribuição de lâmina d'água na área.

A velocidade média do vento encontrada durante os ensaios foi de $6,33 \text{ m.s}^{-1}$, considerado forte. Tarjuelo (2005) classificou o vento em três níveis de velocidade: vento fraco (0 a 2 m.s^{-1}), vento mediano ($2,1$ a 4 m.s^{-1}) e vento forte (acima de 4 m.s^{-1}). Este mesmo autor cita que a uniformidade de distribuição de água diminui 20% quando a velocidade do vento ultrapassa 4 m.s^{-1} .

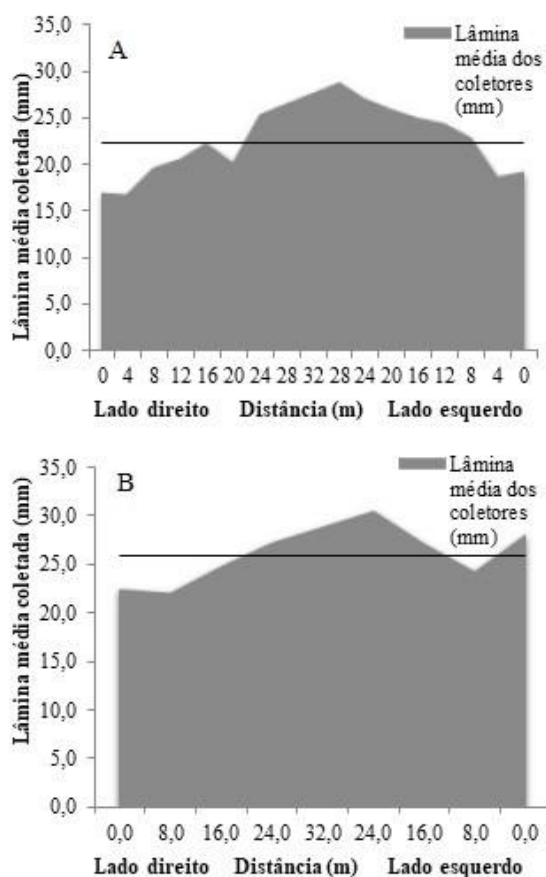
De acordo com a recomendação apresentada por Keller e Bliesner (1990), sob condições de vento moderado a fraco, os valores típicos de CUC para autopropelido devem estar acima de 70%. Portanto, vê-se que, em condições atmosféricas melhores, há uma tendência do aumento dos coeficientes de uniformidade do sistema analisado.

Irrigações que são realizadas por

autopropelido geralmente tem baixa uniformidade quando há no local uma alta intensidade de vento, já que esse sistema lança o jato em faixas de altura maiores que 7 metros de distância do solo. Para amenização do problema projetistas diminuem o espaçamento entre as faixas do canhão, porém, isso implica no aumento dos custos totais do sistema (PRADO; COLOMBO, 2011).

No momento dos ensaios, foi possível observar que o vento sobre a área ocasionou a alteração das lâminas coletadas, uma vez que houve diferença nas lâminas de água coletadas nos testes do lado direito e esquerdo, devido à alternância da velocidade e da direção do vento (Figura 2).

Figura 2 - Precipitação média em função da posição do coletor, do lado esquerdo e direito do canhão, nos ensaios de 4 m (A) e 8 m (B).



Fonte: Os autores, 2019

O maior espaçamento entre coletores leva a uma menor concentração destes por área, o que invariavelmente levaria a uma redução da uniformidade calculada, em função da variabilidade espacial das lâminas, como mostrado na Figura 2, já que, para o equipamento ensaiado, há uma propensão a se ter maiores lâminas no centro da área irrigada. Neste trabalho, porém, não foi encontrada diferença estatística significativa entre os coeficientes de uniformidade avaliados, para espaçamentos entre coletores de 4 e 8 m, o que pode indicar uma amostragem razoável da lâmina aplicada mesmo que se tenha à disposição pouco material para a avaliação do sistema. Na Tabela 4, é possível observar os resultados obtidos para os cálculos de eficiências realizados.

Tabela 4 – Resultados obtidos das eficiências do sistema de autopropelido

Eficiência	Espaçamento entre coletores	
	4 m	8 m
EI	59,98 ± 1,00 a	58,98 ± 0,00 a
EA	69,41 ± 9,64 a	77,22 ± 7,35 a
ED	98,48 ± 1,61 a	88,92 ± 7,60 a
EPA	86,40 ± 15,36 a	98,82 ± 2,04 a
ES	77,91 ± 14,54 a	82,96 ± 7,89 a

Fonte: Os autores, 2019. Valores seguidos de mesma letra na horizontal não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade estatística.

Os valores médios de eficiência de irrigação (EI) encontrados foram de 59,98 e 58,98 %, para os ensaios de 4 m e 8 m, respectivamente. A eficiência de irrigação é um termo utilizado para comparar usos benéficos e não benéficos da água de irrigação. Os baixos valores encontrados de eficiência de irrigação destinam-se à percolação profunda excessiva, ao

escoamento superficial e à deriva pelo vento.

A eficiência de aplicação (EA) descreve quão bem o sistema de irrigação satisfaz a necessidade de irrigação, cujo objetivo é atingir uma determinada quantidade desta. É usada para estimar o que acontece durante um simples evento de irrigação, embora a água não tenha sido usada pela cultura. Os valores encontrados para esta eficiência foram de 69,41%, para o espaçamento de 4 m, e 77,21%, para o de 8 m.

A eficiência potencial de aplicação (EPA) encontrada foi superior a 90%, para espaçamento entre coletores de 8 m. Este resultado, segundo Gomes (2007), indica que o desempenho deste equipamento, de forma geral, encontra-se dentro do que é recomendado. Conforme o mesmo autor, para culturas de elevado valor econômico, como é o caso da cana-de-açúcar, estes valores devem ficar em patamares acima de 90%.

Baixos valores de eficiência apontam perda excessiva de água por vazamentos nas tubulações e/ou bombas danificadas, refletindo na produtividade e na qualidade da cana produzida. Oliveira et al. (2004) encontraram valores de EPA variando entre 80 e 99% para diferentes pivôs centrais. Para eles, esses resultados se devem à lâmina d'água infiltrada, que, assumida como igual à média coletada, aproximou-se da lâmina bruta aplicada, indicando a reduzida perda de água por evaporação e carreamento pelo vento.

Os valores médios de eficiência de armazenagem (ES) foram de 77,91 e 82,96%, classificados como satisfatório e excelente, respectivamente (HART; PERI; SKOGERBOE, 1979) e a eficiência de distribuição (ED), 98,48 e 88,92%, ambas classificadas como excelentes

(HART; PERI; SKOGERBOE, 1979). Assim como no caso dos coeficientes de uniformidade, a menor amostragem da área, com o uso de coletores espaçados em 8 m, não implicou em diferenças significativas dos valores encontrados das eficiências de irrigação calculadas.

A evaporação média identificada durante o teste foi de 2,16 mm, que significa mais de 8% da lâmina média aplicada que foi 27 mm. Esta perda está relacionada à alta temperatura e à baixa umidade relativa do ar no momento do teste. Pereira (1995) simulando as perdas de água por evaporação e a uniformidade de distribuição na irrigação por aspersão convencional, constatou que as perdas de água por evaporação e arrastamento pelo vento variam de 9,25 a 11,50 % do volume de água aplicado.

Durante os ensaios não foram notadas variações na velocidade do autopropelido. Segundo Addink et al. (1983), os coeficientes de uniformidade de aplicação de água de um equipamento autopropelido decrescem caso a velocidade de deslocamento do carro aspersor ao longo do carreador não seja constante. Estes autores relatam que, na literatura, foram encontrados valores extremos de até 60% de variação na velocidade de deslocamento de autopropelidos.

O ângulo de giro do canhão, descrito na Tabela 2, é de 180°, habitualmente utilizado na fertirrigação da cana-de-açúcar em uma indústria situada em Bambuí. Esse ângulo não é o adequado, podendo ser um dos motivos de resultados insatisfatórios nos testes de uniformidade, distribuição e eficiência.

Conforme Keller e Bliesner (1990), alguns aspersores acoplados em autopropelidos necessitam ser operados com ângulo de giro

inferior a 360° para se obter maior uniformidade de distribuição de água. Ao mostrarem a influência do ângulo de giro, os autores supracitados afirmam que, quando este é igual a 210°, proporciona um perfil de aplicação de água mais uniforme para o aspersor em movimento no carreador. Entretanto, o perfil produzido com o ângulo de 240° é quase tão bom quanto com o de 210°, sendo que o ângulo de 270° propicia uma uniformidade razoavelmente baixa.

Oliveira et al. (2004) encontraram valores de EPA variando entre 80 e 99% para diferentes pivôs centrais, sendo estes resultados decorrentes da lâmina d'água infiltrada, que, assumida como igual à média coletada, aproximou-se da lâmina bruta aplicada, indicando a reduzida perda de água por evaporação e carreamento pelo vento.

Outra causa da má distribuição pode estar relacionada à pressão de serviço do canhão, apresentada na Tabela 2. Bernardo, Soares e Mantovani (2009) relatam que uma pressão de serviço muito alta resulta em uma elevada pulverização do jato de água, diminuindo seu raio de alcance, causando, conseqüentemente, uma concentração da precipitação próxima ao aspersor. Já uma pressão muito baixa implica em uma pulverização inadequada do jato de água, ocasionando um perfil de distribuição muito irregular, o que não foi observado nos ensaios realizados.

Outro fator diretamente ligado a esses resultados insatisfatórios foi a presença de vazamentos na adutora e no acoplamento da mangueira do carretel, notada na hora do teste realizado em campo. As perdas de água por vazamento são decorrentes das condições de manutenção do projeto.

Em sistemas com boa manutenção, elas são menores que 1%. Entretanto, naqueles com manutenção inadequada, esse valor pode chegar a 10%, ou seja, a eficiência de condução de água será somente de 90%. Essas perdas ocorrem, principalmente, nos acoplamentos da tubulação (MUDRIK, 2005).

4. CONCLUSÃO

A eficiência de irrigação foi considerada inaceitável, uma vez que todos os coeficientes de uniformidade avaliados apresentaram valores reduzidos quando comparados aos recomendados pela literatura. Assim, em virtude da eficiência de irrigação inferior, o desempenho avaliado encontra-se abaixo do que é esperado para esse tipo de sistema, podendo comprometer o desenvolvimento da cana-de-açúcar.

Algumas medidas devem ser adotadas, como a manutenção, ou até mesmo a troca, da mangueira do carretel e da tubulação principal (adutora), pois apresentam muitos vazamentos. O bocal do canhão também deve ser substituído, já que está visivelmente desgastado. Além disso, o horário de realização da fertirrigação também pode ser revisto, uma vez que aplicações em momentos de temperatura elevada e baixa umidade relativa provocam grandes perdas por evaporação.

REFERÊNCIAS

ADDINK, J. W.; KELLER, J.; PAIR, C. H.; SNEED, R. E.; WOLFE, J. W. **Design and operation of sprinkler systems**. In: JENSEN, M. E. (Ed.) Design and operation of farm irrigation systems. St. Joseph: Transactions of American Society of Agricultural Engineers, p. 621-658., 1983.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G.

Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, vol. 22, n.6, p. 711-728, 2013.

BASTOS, E. A.; NOGUEIRA, C. C. P.; VELOSO, M. E. C.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; SOUSA, V. F., PAZ, V. P. S. Métodos e sistemas de irrigação. In: SOUSA, V. F., MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. Irrigação e Fertirrigação em fruteiras e hortaliças. 1. Ed. Brasília, 2011. cap. 4, p.137-156.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5. ed. Viçosa, MG: Imprensa Universitária, 1989. 596 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8.ed. revisada e ampliada - Viçosa: UFV, 2009. 625 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7.ed. Viçosa: UFV, 2005. 661 p.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkley: University of California, 1942. 124 p.

HART, W. E.; PERI, G.; SKOGERBOE, G. V. Irrigation Performance: an evaluation. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, v.105, n.3, p. 275-288, 1979

GOMES, W. F. J. **Balanço hídrico e fertilização na cana-de-açúcar** in: Curso De Especialização Gestão E Tecnologia Agrícola No Setor Sucroalcooleiro. Maceió, PECEGE/ESALQ/USP, 2007.

JUSTI, A. L. **Efeito do uso de polímero redutor de atrito no escoamento forçado de água e de vinhaça**. 77 fls. Dissertação (Doutorado em Agronomia - Irrigação e Drenagem), Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, Botucatu - SP, 2012.

KELLER, J., BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Avibook, 1990. 649 p.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.17, n.4, p.678-84, 1974.

LIMA, M. DE A.; BEZERRA, M. A.; GOMES FILHO, E.; PINTO, C. M.; FILHO, J. E. Trocas gasosas em folhas de sol e sombreadas de cajueiro anão em diferentes regimes hídricos. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.41, n.4, p.654-663, 2010.

LOPES, G. N.; KROETZ, V. J.; ALVES, J.M.A.; SMIDERLE, O.J. Irrigação Magnética. **Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v.1, n.1, p.1, 2007.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**.

3. ed., atual. e ampl. Viçosa, MG: UFV, 2013. 355p.

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

MUDRIK, A. S. **Manejo da irrigação por gotejamento em cafeeiros nas condições edafoclimáticas do cerrado do Triângulo Mineiro**. 2005.

OLIVEIRA, A. S.; PEREIRA, F. A. C.; PAZ, V. P.S.; SANTOS, C. A. **Avaliação do desempenho de sistemas pivô central na região oeste da Bahia**. Irriga, Botucatu, v.9, n.2, p.126-135, maio-agosto, 2004.

PAULINO, J.; ZOLIN, C. A.; BERTONHA, A.; FREITAS, P. S. L.; FOLEGATTI, M. V. Estudo exploratório do uso da vinhaça ao longo do tempo. II. Características da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Campina Grande, PB, v.15, n.3, p.244 - 249, 2011.

PEREIRA, G. M. **Simulação de perdas de água por evaporação e da uniformidade de distribuição na irrigação**. 1995. 125p. Tese – Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa.

PRADO G; COLOMBO A. Ajuste de parâmetros para distorção da distribuição de água aplicada por canhões hidráulicos em condições de vento. Botucatu, SP. **Irriga**. v. 16, n. 1, p. 52-69, janeiro-março, 2011.

REZENDE R. **Desempenho de um sistema de irrigação pivô central quanto à uniformidade e eficiência de aplicação de água abaixo e acima da superfície do solo**. Piracicaba: ESALQ/ USP, 1992. 86p. Dissertação Mestrado.

RODRIGUES, R. C.; SOUZA, J.M.de; PIRES, F.R.; BONOMO, R. Avaliação da uniformidade de aplicação de vinhaça por autopropelido. Goiânia, GO. **Centro Científico Conhecer**. v.8, n.15, p.265 - 271, 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**, Botucatu, v. 10, n.1, p.96-106. 2005.

SCALOPPI, E. J.; COLOMBO, A. Dimensionamento de sistemas de irrigação por aspersores autopropelidos. In: Congresso brasileiro de engenharia agrícola, 24., 1995, Viçosa. **Anais...** Sorocaba: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, p.218-222. 1995.

TARJUELO, J. M. El Riego por aspersión y su tecnología. 3.ed. Madrid: Mundi-Prensa, 2005. 581p.

VELLAME, L. M.; SOUZA, W. DE J.; ARMINDO, R. A.; COELHO, R. D. Determinação do perfil radial e da uniformidade do aspersor modelo Komet 140 Plus operando em sistema autopropelido. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.5, p.105-112, 2011.

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