

## ANÁLISE DA UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE UM EQUIPAMENTO AUTOPROPELIDO

Felizardo Adenilson Rocha<sup>1</sup>; Geraldo Magela Pereira<sup>2</sup>; Fernando da Silva Rocha<sup>3</sup>; Joseane Oliveira da Silva<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Rua Antônio Ferreira Mendes, 65 CEP 36570-000, Viçosa, MG, felizardo.rocha@bol.com.br

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia, Universidade Federal Lavras, Lavras, MG

<sup>3</sup>Departamento de Fitopatologia, Universidade Federal Lavras, Lavras, MG

<sup>4</sup>Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Produção Vegetal, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos, RJ

### 1 RESUMO

Este estudo objetivou avaliar o desempenho de um equipamento de irrigação autopropelido tipo carretel enrolador, acoplado com canhão tipo turbina, em condições de campo. Para este estudo, foram testadas três pressões (400, 450 e 500 kPa), três velocidades de recolhimento da mangueira (40 e 70 e 120 m h<sup>-1</sup>) e bocal do aspersor de 22 mm, com a finalidade de verificar a influência destes parâmetros na uniformidade de distribuição de água, intensidade de aplicação, lâmina média e perda de carga na mangueira e na turbina. Os resultados da análise estatística demonstraram que os maiores valores de CUC foram verificados para larguras de faixas correspondentes a 70% e 80% do diâmetro molhado pelo aspersor (DM). Observou-se que é possível trabalhar com pressão no aspersor de 400 kPa, sem prejuízo considerável na uniformidade de distribuição de água. O aparelho *irrigamatic 100* foi eficiente no controle velocidade de recolhimento, permitindo melhor controle para velocidades inferiores a 70 m h<sup>-1</sup>.

**UNITERMOS:** Avaliação, autopropelido, características hidráulicas.

**ROCHA, F. A.; PEREIRA, G. M.; ROCHA, F. S.; SILVA, J. O.**  
**ANALYSIS OF WATER DISTRIBUTION UNIFORMITY OF A TRAVELER IRRIGATION EQUIPMENT**

### 2 ABSTRACT

This study aimed to evaluate the performance of a traveler irrigation machine, rolling spool type, coupled to the gun turbine, under field conditions. Three pressures (400, 450 and 500 kPa), three hose coiling speeds (40, 70 and 120 m h<sup>-1</sup>), and a 22-mm nozzle were studied to verify the influence of these parameters in the water distribution uniformity, application intensity and applied average height. The results obtained in this work showed the largest values of CUC were verified for band breadths corresponding to 70% and 80% of the diameter that was wet by the sprinkler (WD). It was observed that it is possible to use 400kP without considerable damage in the water distribution uniformity. The *irrigamatic 100* was efficient to control hose coiling speed, allowing better results for speeds lower than 70 m h<sup>-1</sup>.

**KEYWORDS:** Evaluation, traveler, hydraulic characteristics.

### 3 INTRODUÇÃO

O sistema de produção agrícola no Brasil emprega diversas técnicas de irrigação imprescindíveis à produção de grãos em determinadas regiões e épocas do ano. Neste sentido, a irrigação por aspersão

mecanizada tem contribuído acentuadamente para o aumento da área irrigada e do número de empresas fabricantes de equipamentos de irrigação no Brasil.

O sistema autopropelido foi a primeira evolução da aspersão em termos de automação, apresenta facilidade de manejo e adapta-se a diferentes tipos de cultura. No entanto, necessita de alta pressão de serviço e, conseqüentemente, elevado consumo de energia. O custo variável do sistema autopropelido pode ser um fator limite na escolha deste tipo de equipamento, contudo, se for adotado um manejo adequado é possível utilizar, muitas vezes, o sistema de irrigação em tempo inferior àquele em que foi projetado, economizando assim em termos de operação, com reflexos diretos nos custos de energia de bombeamento e mão-de-obra (SCALOPPI e COLOMBO, 1995).

O custo de instalação do autopropelido, em áreas com café irrigado, oscila entre R\$1.500 a R\$2.000 ha<sup>-1</sup>, relativamente superior à aspersão convencional, que está na faixa de R\$ 1.200 a R\$1.800 ha<sup>-1</sup> e bem abaixo da irrigação localizada por gotejamento, que fica entre R\$2.000 e R\$4.000 ha<sup>-1</sup> (MANTOVANI, 2000). No sistema autopropelido a mangueira é a parte mais sensível devido ao seu alto custo, variando de 20 a 30% do preço de venda do equipamento, dependendo do comprimento e da pressão nominal da mangueira.

Apesar dos sistemas autopropelidos terem seu uso restrito em comparação com os outros sistemas de irrigação, os produtores de cana-de-açúcar e álcool, principalmente do estado de São Paulo, têm empregado esse sistema na distribuição da vinhaça junto com a água de irrigação, como forma de aproveitamento racional deste subproduto da produção do álcool e também como fonte de adubação potássica. Esse sistema tem sido utilizado na cultura do mamão, em algumas regiões do estado do Espírito Santo, em culturas de café irrigado, no Sul de Minas, e inclusive na cultura do feijão, bastante sensível no que se refere ao diâmetro de gotas produzido pelo aspersor.

Mais recentemente, vários produtores (de gado de leite e de corte), da região Sudeste, visando maior eficiência, estão investindo em irrigação de pastagens utilizando esse sistema, devido à facilidade de manejo nas áreas de pastagens rotacionadas. Segundo Drumond e Fernandes (2001) existem hoje áreas irrigadas de pastagem com taxa de lotação de dez unidades animal por hectare (UA ha<sup>-1</sup>) na primavera-verão e de seis UA ha<sup>-1</sup> no outono-inverno. Já em pastagens não irrigadas, a taxa de lotação é de oito UA ha<sup>-1</sup> na primavera-verão e de um a 1,5 UA ha<sup>-1</sup> no outono-inverno.

Na prática, qualquer sistema de irrigação apresenta certo grau de desuniformidade, resultando em áreas irrigadas com excesso ou com déficit. No sistema de irrigação autopropelido esta uniformidade de distribuição de água é influenciada pelo tipo de perfil de distribuição do aspersor, pela velocidade e direção do vento, pressão de serviço, uniformidade de rotação do aspersor, altura de elevação do aspersor, diâmetro e tipo de bocal dos aspersores (ROSA, 1986).

Shull e Dylla (1979), ao trabalharem com um sistema autopropelido, simularam vários espaçamentos entre carregadores, sob diversas condições de vento, e verificaram que os menores espaçamentos entre carregadores proporcionaram uma melhor uniformidade de distribuição. Nestas condições, ocorre uma aplicação de altas lâminas médias e, normalmente, estes espaçamentos não são operacionalmente eficientes devido ao maior trabalho necessário na mudança do equipamento entre faixas.

De acordo com Addink et al. (1983), o coeficiente de uniformidade de aplicação de água de um equipamento de irrigação decresce caso a velocidade de deslocamento do carro aspersor ao longo do carregador não seja constante. Estes autores relatam que na literatura encontram-se valores extremos de até 60% de variação na velocidade de deslocamento de autopropelidos. A causa desta variação é atribuída a variações no diâmetro do carretel enrolador de mangueira e a variações na velocidade de rotação do mecanismo propulsor.

Cada sistema de irrigação tem suas vantagens e limitações, de ordem técnica e econômica. Para os modelos autopropelidos atualmente disponíveis no mercado, não existem disponíveis na literatura científica dados conclusivos sobre o desempenho do autopropelido em condições de campo. Esses modelos atuais utilizam dispositivos eletrônicos que controlam a velocidade de recolhimento da mangueira e bem como aspersores do tipo turbina, de reversão lenta e automática que, operando em conjunto, podem melhorar a uniformidade de distribuição de água.

Neste sentido, todo trabalho de pesquisa que vise orientar os produtores e dar subsídios aos projetistas, no processo de decisão, fornecendo informações técnicas confiáveis sobre o produto (especificações técnicas e parâmetros de desempenho) tornam-se de fundamental importância.

O presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho do conjunto autopropelido Hidro-Roll 90/240, acoplado com um canhão tipo turbina *Big River* 76,2 mm, importado da Società Hidromecânica Emiliana (SIME) Itália, conforme as normas International Organization for Standardization 8224/1 (1985) e International Organization for Standardization 7749/2 (1990), em condições de campo.

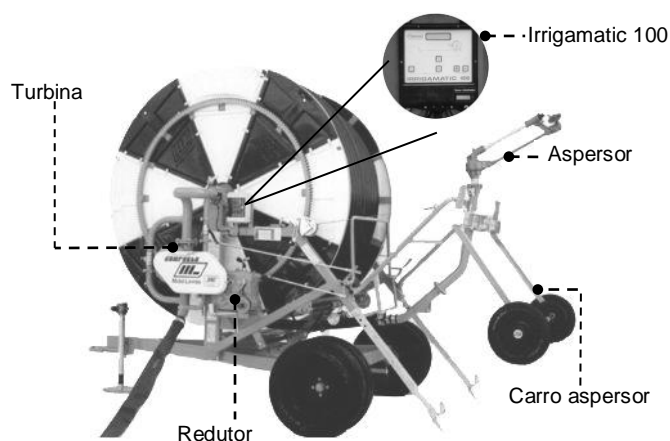
#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho avaliou o desempenho do autopropelido modelo Hidro Roll 90/240, em condições de campo. Foram avaliadas três pressões (400, 450 e 500 kPa), três velocidades de recolhimento da mangueira (40, 70 e 120 m h<sup>-1</sup>) e diâmetro de bocal de 22 mm, considerando as especificações recomendadas pelo fabricante, com a finalidade de verificar a influência destes parâmetros na uniformidade de distribuição de água, intensidade de aplicação de água, lâmina média, rotação da turbina e perdas de carga na turbina e mangueira. Utilizou-se um ângulo setorial para o aspersor de 270° em todos os testes por recomendações do fabricante e dos autores Keller e Bliesner (1990). Os trabalhos foram conduzidos no campo experimental da empresa Metal Lavras, situada no município de Lavras, MG. A área de testes possuía declividade inferior a 1%, tanto no sentido longitudinal como no sentido transversal.

##### 4.1 Descrição do equipamento

O sistema de propulsão deste equipamento é constituído por uma turbina, acionada pela própria água de irrigação. A água passa pela turbina (tipo pelton) que está interligada através de polia e correia a uma caixa redutora de velocidade que, por sua vez aciona um sistema de engrenagens, que promove o giro do carretel, responsável pelo enrolamento da mangueira e, conseqüentemente, o movimento do carro aspersor.

O controle da velocidade de recolhimento da mangueira se dá através de um instrumento eletrônico computadorizado (Figura 1), o *Irrigamatic 100*, que monitora e regula automaticamente velocidades que vão de 5 a 200 m h<sup>-1</sup>; de acordo com a lâmina de água a ser aplicada. É composto por central eletrônica computadorizada, que está interligada por um cabo a um conjunto rolo medidor (rolete), que se movimenta quando a mangueira está sendo enrolada. Este rolete possui um sensor que transmite um sinal à central eletrônica que promove o acionamento de um micro motor acoplado a uma válvula by-pass, fechando a mesma de forma a manter a velocidade de recolhimento constante. A velocidade é monitorada a cada 0,80 m de mangueira recolhida, fechando gradativamente a válvula by-pass, mantendo a velocidade programada estabilizada.



**Figura 1.** Conjunto autopropelido avaliado.

O equipamento apresenta ainda a característica de possuir um fim de curso automático. A parada se dá quando uma haste metálica acoplada na mangueira, próxima ao carro aspersor, desloca para trás uma barra na parte inferior do carretel, interligada ao redutor por uma cabo metálico, que promove o

acionamento de uma chave seletora para a posição desacoplado (desengrenado). Nesta posição, a caixa redutora não transmite o movimento para o carretel que enrola a mangueira, e com isso o carro aspersor pára. A caixa redutora permite duas posições de trabalho: posição 1, para velocidades menores (5 a 50 m h<sup>-1</sup>), e posição 2, para velocidades maiores (50 a 200 m h<sup>-1</sup>).

#### 4.2 Procedimento de campo

Sobre o carro aspersor foi instalado um canhão hidráulico da marca Sime, de fabricação italiana, modelo *Big River* 76,2 mm, com ângulo de inclinação do bocal de 25°, de reversão lenta e automática (feita por um conjunto de engrenagens), diferente dos modelos tradicionais, que utilizam um sistema composto por braço reversor e balancim para promover seu funcionamento.

Para determinação da uniformidade de distribuição de água, foram distribuídas 3 linhas de coletores, na posição perpendicular à direção de deslocamento espaçados equidistantemente de 3 m, sendo a distância das mesmas, em relação ao carretel enrolador, de 72 m, 75 m e 78 m, respectivamente. Os coletores foram instalados sobre hastes de alumínio a 0,60 m do solo, possuindo as dimensões de 80 mm de diâmetro por 75 mm de altura. Em cada linha foram colocados 100 coletores, 50 de cada lado do carro aspersor, sendo espaçados entre si de 1 m a partir do aspersor (canhão hidráulico), ficando um espaço de 2 m, no centro da linha de coletores, para passagem do carro aspersor. Sobre o carro aspersor (com 1,95 m de largura), foi montado um tubo de subida, onde foi instalado o canhão hidráulico, de forma que a distância vertical entre a seção de captação do coletor e o bocal do aspersor fosse de aproximadamente 1,13 m, superior ao valor mínimo de 0,50 m exigido pela norma International Organization for Standardization 8224/1 (1985). A velocidade do vento durante os testes se manteve inferior a 1,5 m s<sup>-1</sup>.

Na determinação da uniformidade de distribuição de água, seguiu-se o seguinte procedimento: primeiramente foi considerada, como lâmina mínima, para fins de cálculo, aquela correspondente à intensidade de aplicação de no mínimo 0,25 mm h<sup>-1</sup> no coletor, conforme recomendação da norma International Organization for Standardization 7749/2 (1990). A evaporação ocorrida durante os testes foi considerada para o cálculo do CUC.

O diâmetro molhado efetivo em cada teste foi definido como sendo o alcance obtido pela média das lâminas médias mínimas resultantes em cada lado do carreador (lado direito e lado esquerdo). Em seguida, conforme o procedimento descrito anteriormente, foi obtida a largura de faixa irrigada considerando a média das 3 linhas de coletores. Posteriormente, foi determinado o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para cada uma das linhas de coletores utilizado a seguinte fórmula:

$$CUC = 100x \left( 1,0 - \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n\bar{X}} \right) \quad \text{eq.(1)}$$

em que:

*CUC* – coeficiente de uniformidade de Christiansen, expresso em porcentagem;

$X_i$  – altura de precipitação coletada no iésimo coletor;

$\bar{X}$  – altura de precipitação média dos coletores;

$\sum |X_i - \bar{X}|$  – somatório dos desvios absolutos dos valores de  $X_i$  em relação à média  $\bar{X}$ ;

*n* – número de coletores.

Utilizando-se a planilha eletrônica e os valores de precipitação encontrados em cada linha de coletor, simulou-se a distribuição de água para diferentes espaçamentos entre carreadores, ou seja, 100%, 80%, 70% e 60% do valor do diâmetro molhado do teste em questão. As simulações foram realizadas seguindo recomendações de Vilela (1995), conforme Tabela 1, a qual leva em consideração a velocidade do vento sobre a área.

**Tabela 1.** Largura da faixa molhada ou distância entre carregadores em função do diâmetro molhado pelo canhão e da velocidade do vento.

<b>Velocidade do vento (<math>m s^{-1}</math>)</b>	<b>Largura da faixa (m)</b>
sem vento	80% do diâmetro molhado pelo aspensor
até 2,2	70 a 80% do diâmetro molhado pelo aspensor
2,2 a 4,7	60 a 70% do diâmetro molhado pelo aspensor
acima de 4,7	50 a 60% do diâmetro molhado pelo aspensor

Na determinação da intensidade de precipitação, primeiramente foi determinado o volume médio aplicado, tomando-se a média aritmética da evaporação ocorrida nos coletores, acrescentando-se a esse o volume médio coletado em cada teste. Em seguida, dividindo-se o volume médio aplicado pela seção transversal dos coletores, foi encontrada a lâmina média aplicada.

Em cada teste foram feitas leituras de pressão, através de tomadas instaladas na entrada e saída da turbina e da mangueira, com a finalidade de obter, pela diferença de pressão, a perda de carga na turbina e na mangueira. As tomadas de pressão foram do tipo engate rápido com um manômetro de Bourdon com glicerina, previamente aferido, com escada de precisão adequada.

As perdas de carga na turbina e na mangueira foram determinadas para as pressões de 400 e 500 kPa, para a máquina operando com velocidade de recolhimento da mangueira de 40, 70 e 120  $m h^{-1}$ . As leituras de pressão foram determinadas para 2 posições do carro aspensor: com 15 e 160 metros de mangueira desenrolada. Além da pressão, foi medida a rotação no eixo da turbina através de um Tacômetro digital.

Para obter a velocidade de recolhimento, mediu-se, com estacas espaçadas de 30 m em um trecho total de 90 m, o tempo necessário para que o carro aspensor percorresse o comprimento conhecido entre as estacas ao longo do carregador.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelos resultados obtidos pela análise estatística, observou-se que 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 aspensor (Tabela 2). Nestas circunstâncias e, considerando apenas as sobreposições, verificou-se, 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%). Portanto, em termos de uniformidade, as larguras de faixa mais recomendadas devem ser aquelas correspondentes a estas situações.

Nestas duas condições simuladas, a velocidade do vento foi inferior a 2,2  $m s^{-1}$ , enquadrando-se na faixa de velocidade de vento recomendada para sistemas autopropelidos (SHULL e DYLLA, 1979). Para valores de velocidade do vento acima de 2,2  $m s^{-1}$ , estes mesmos autores recomendam parar a irrigação.

Ao compararmos a simulação equivalente a 100% do DM com a de 60% DM, os valores de CUC se mostraram estatisticamente inferiores à simulação correspondente a 100% do DM, isto é, sem sobreposição do jatos de água, como mostra a análise estatística (Tabela 2). Porém, ao confrontarmos as largura de faixas molhadas de 60 e 100% do DM com aquelas correspondentes a 70 e 80% do DM, elas se mantiveram inferiores. Esta situação demonstra que a superposição do jato torna-se necessária, em sistemas autopropelidos, para corrigir as distorções no perfil de distribuição de água, comum neste sistema.

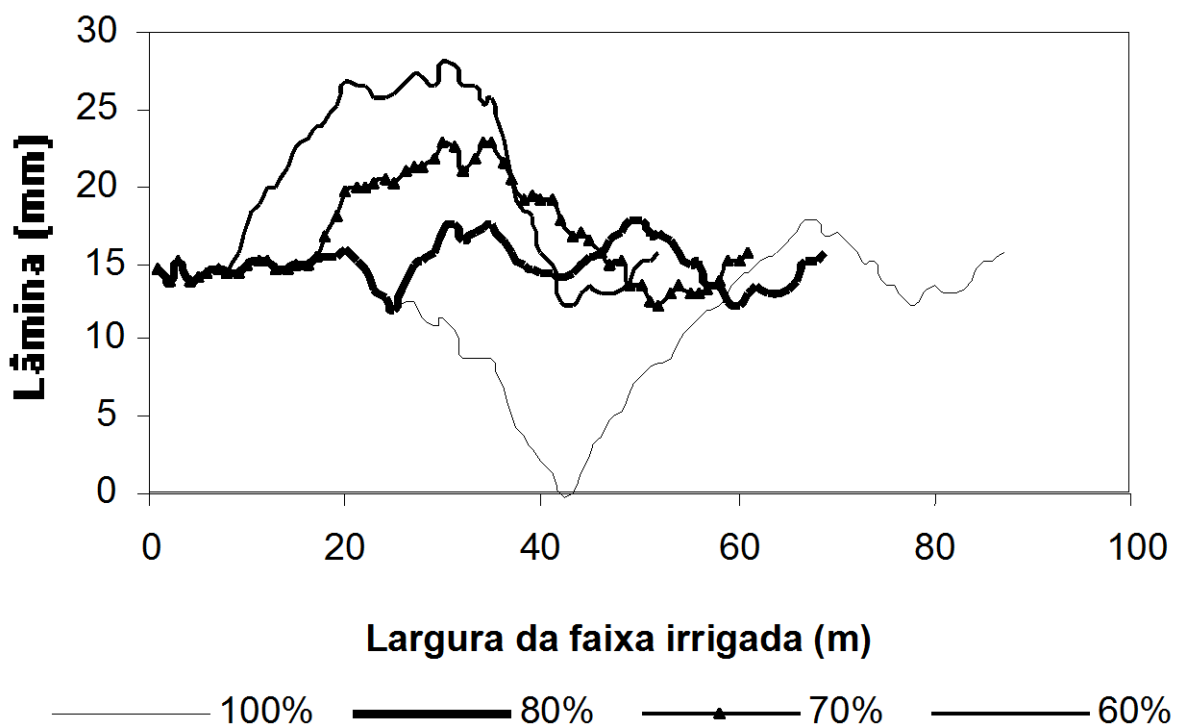
Por outro lado, pôde-se notar claramente a existência de uma condição ótima de sobreposição dos jatos que proporciona uma melhor uniformidade de distribuição de água; a partir daí, aumentando a sobreposição, o CUC diminuiu. Os resultados sugerem que a empresa deva adotar larguras de faixa molhada de 68 m, equivalente 80% do DM, ao invés de 60 m, valor este adotado pela empresa como recomendação técnica. Isto equivale a um ganho de 13,33% em área irrigada por faixa, independente da pressão de serviço e velocidade de deslocamento do carro aspensor. O alcance do jato de água do aspensor foi de 43,5 e 47,5 m para as pressões de 400 e 500 kPa, respectivamente.

**Tabela 2.** Valores médios de CUC em função de quatro simulações de largura de faixa irrigada correspondentes a 100, 80, 70 e 60% do diâmetro molhado pelo aspersor (DM).

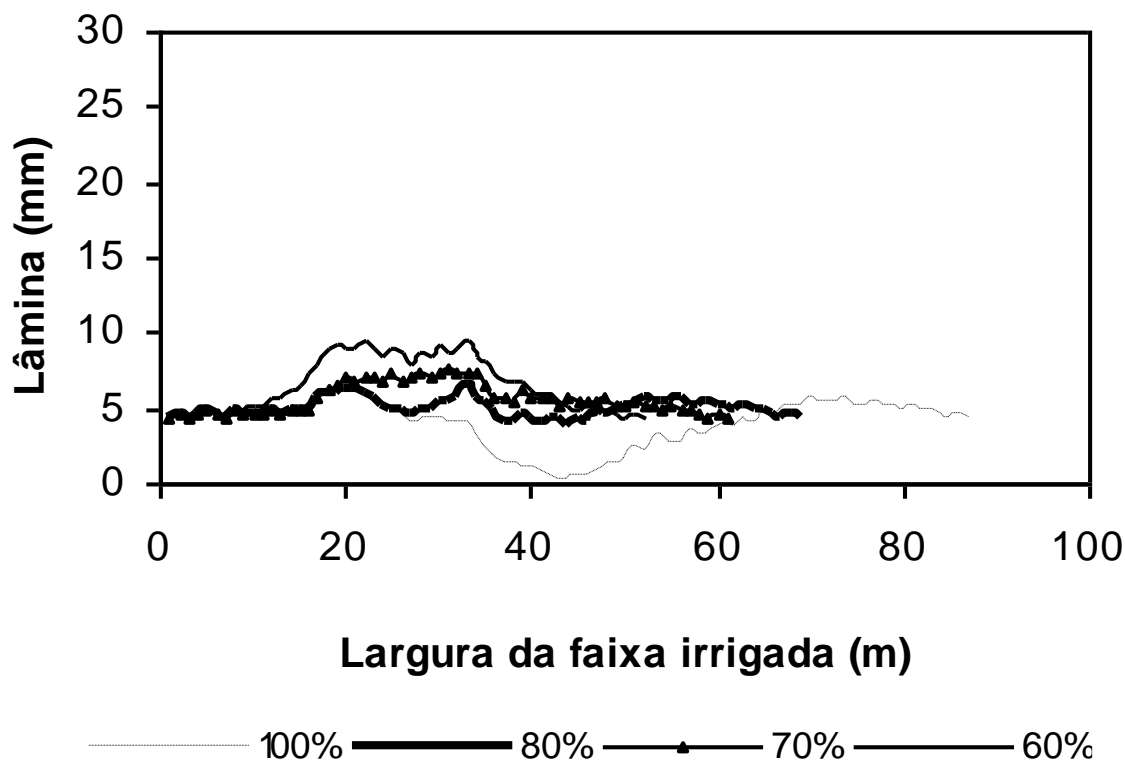
Descrição do teste	Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (%)			
	100% do DM	80% do DM	70% do DM	60% do DM
P400V40	69,91 cA <sup>(1)</sup>	91,21 aA	82,48 bB	74,12 cB
P450V40	55,03 cB	83,39 bB	92,27 aA	82,26 bA
P500V40	68,63 dA	91,09 aA	82,16 bB	73,26 cB
P400V70	72,02 bA	85,33 aA	74,09 bB	69,10 bB
P450V70	62,05 bB	86,27 aA	90,70 aA	86,93 aA
P500V70	54,95 dC	82,49 cA	91,93 aA	85,77 bA
P400V120	66,29 cB	87,13 aA	83,09 aA	74,90 bA
P450V120	64,29 cB	84,60 aA	82,20 aA	75,42 bA
P500V120	72,24 cA	88,89 aA	78,56 bA	73,33 cA

<sup>(1)</sup>médias seguidas por letras distintas minúsculas, na horizontal, e letras distintas maiúsculas (para uma mesma velocidade), na vertical, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey à nível de 5% de probabilidade; P400- pressão de 400 kPa no aspersor e V40- velocidade de enrolamento da mangueira de 40 m h<sup>-1</sup>.

A sobreposição implica em uma quantidade cada vez maior de água aplicada em faixas cada vez menores, o que significa lâminas maiores no centro da faixa irrigada. No entanto, a uniformidade destas lâminas depende, também, da velocidade de recolhimento do carro aspersor como mostra as Figuras 2a e 2b. Um aumento na velocidade de recolhimento melhora a uniformidade da lâmina aplicada ao mesmo tempo em que proporciona maior desgaste na mangueira. Desta forma, na prática, não se recomenda utilizar altas velocidades de recolhimento do carro aspersor, pois a mangueira é um dos componentes mais caros deste sistema, além de possuir uma vida útil de no máximo 10 anos (DANIELETTO, 1990).



(2a)



(2b)

**Figuras 2a e 2b.** Perfis de distribuição de água do aspersor operando com pressão de 400 kPa, com velocidade de 40 m h<sup>-1</sup> (2a) e velocidade de 120 m h<sup>-1</sup> (2b), simulando faixas correspondentes a 100, 80, 70 e 60% do DM pelo aspersor.

Este desgaste é ainda maior em solos muito abrasivos (arenosos). Uma das formas de contornar este problema pode ser com o uso de carregadores vegetados. Além disto, como a mangueira, além de condutora de água, executa a função de puxar o carro aspersor, observa-se que com o tempo ocorre uma deformação em sua seção circular, ficando a mangueira, após algum tempo de uso, achatada.

As simulações correspondentes a 70 e 80% do DM sugerem que, ao invés de operar com pressão de 500 kPa, o aspersor pode trabalhar com a pressão de 450 kPa, ou até mesmo 400 kPa, sem prejuízo considerável da uniformidade de distribuição (Tabela 2), já que, neste sistema, valores de CUC acima de 75% são considerados satisfatórios (KELLER e BLIESNER, 1990). Além disto, considerando-se o consumo de óleo diesel em função da potência do motor, citado por Bernardo (1989), um aumento de 400 kPa para 500 kPa na pressão de serviço do aspersor, implica em um aumento no consumo de óleo diesel, em litros por m<sup>2</sup> irrigado, da ordem de 13,26%, podendo chegar a 25,37% (Tabela 3).

Os resultados apresentados na Tabela 3 demonstram que com o enrolamento da mangueira pelo carretel, a perda de carga na turbina reduziu, independentemente da velocidade de recolhimento programada. Isto acontece porque à medida que ocorre o enrolamento da mangueira no carretel, menor é o comprimento de mangueira em contato com o solo, o que diminui o atrito com o mesmo, e conseqüentemente menor é a exigência de esforço na turbina. Colombo (1991) encontrou resultados semelhantes.

Ao baixar a velocidade de recolhimento da mangueira de 120 para 70 m h<sup>-1</sup> houve uma redução na perda de carga devido a uma diminuição da vazão que passa pela turbina. Nesta situação, a máquina operou com a mesma relação de transmissão no redutor (1/117), ou seja, a posição II da alavanca de mudança de velocidade. Para se trabalhar com a velocidade de 40 m h<sup>-1</sup>, a relação de transmissão no redutor deve ser alterada, passando a 1/254 (posição I da alavanca de mudança de velocidade), não possibilitando comparações com as velocidades de 70 e 120 m h<sup>-1</sup>, uma vez que mudando a relação de

**Tabela 3.** Valores de rotação no eixo da turbina, perda de carga na mangueira e na turbina, obtidos em campo para 15 e 160 metros de mangueira desenrolada.

Descrição do teste	15 me de mangueira				AC	160 metros de mangueira			
	RT	HFT	HFM	PE		RT	HFT	HFM	PE
P400V120	585,0	6,68	24,60	712,8	18,9	643,0	7,73	22,50	702,3
P500V120	592,7	8,45	25,88	843,3		630,0	9,14	23,21	823,5
P400V70	349,5	2,82	25,67	684,9	13,3	410,0	5,27	22,86	681,3
P500V70	350,0	4,23	26,37	806,0		428,2	5,98	23,21	791,9
P400V40	435,4	2,61	25,78	683,39	22,8	452,0	5,27	22,86	681,3
P500V40	436,3	2,82	28,13	809,5		470,0	5,63	24,26	798,9

RT- rotação no eixo da turbina (rpm); HFT- perda de carga na turbina (mca); HFM- perda de carga na mangueira (mca); AC- acréscimo no consumo de óleo diesel por m<sup>2</sup> irrigado, em %, quando se aumenta a pressão de 400 kPa para 500 kPa; P500- corresponde a pressão de 500 kPa no aspersor; V120- velocidade de recolhimento de 120 m h<sup>-1</sup> e PE- pressão mínima necessária na entrada da maquina.

transmissão, os esforços exigidos na turbina serão diferenciados. Contudo, estas análises demonstram que para uma mesma relação de transmissão, menores velocidades de recolhimento do carro aspersor resultam em menores valores de perda de carga na turbina.

É de conhecimento que este tipo de equipamento exige altas pressões de funcionamento. Neste caso, constatou-se que para se conseguir 400 kPa de pressão de serviço no aspersor, é preciso ter na entrada do autopropelido 712,8 kPa, ou seja, 43,9 % da pressão de entrada é devido as perdas de carga existentes na turbina e na mangueira, desprezando aquelas existentes no tubo de subida do aspersor e nas curvas da tubulação.

Trabalhando-se com 500 kPa no aspersor, a pressão mínima necessária na entrada do autopropelido sobe para 843,3 kPa. Este acréscimo de 343,3 kPa (68,7% a mais de pressão) é devido às perdas de carga existentes na mangueira e na turbina, podendo atingir valores ainda maiores dependendo do tipo de solo, da vegetação e da umidade do mesmo.

No que se refere à rotação na turbina, constatou-se uma grande variação da mesma para um mesmo teste realizado. Esta variação foi proveniente da diferença de esforço exigido, que, por sua vez, é dependente do comprimento de mangueira em contato com o solo, conforme a Tabela 3. Esta variação no esforço exigido fez a válvula by-pass atuar constantemente, às vezes abrindo-se ou fechando-se, alterando a rotação da turbina. Entretanto, para uma mesma relação de transmissão, reduzindo a velocidade de recolhimento da mangueira a rotação caiu. Com esta redução na rotação, a perda de carga diminuiu, o que também foi verificado por Colombo (1991).

Em todas as velocidades de recolhimento avaliadas a perda de carga na mangueira aumentou à medida que ela foi sendo enrolada no carretel. Isto se deve ao fato de que à medida que a mangueira é enrolada no carretel, aumenta a resistência ao escoamento, ou seja, o aumento do número de camadas de mangueira disposta na forma não retilínea (circular) ocasiona maior perda de carga.

O acréscimo máximo na perda de carga devido ao enrolamento da mangueira, entre os dois pontos de tomada de pressão (Tabela 3), para o aspersor operando com de 400 kPa foi de 2,1 mca, o que significa 9,3% a mais de perda de energia na mangueira somente por causa do enrolamento da mesma pelo carretel. Para a pressão de 500 kPa, este acréscimo chegou a 2,67 mca, representando 11,5% a mais de perda de energia. Em outras palavras, colocando o equipamento em funcionamento com o canhão na pressão de 500 kPa, ao fim do recolhimento da mangueira a pressão neste canhão será de no máximo 47,3 kPa.

Os valores de lâmina média, apresentados na Tabela 4, mostram que para uma mesma pressão de serviço, aumentando-se a velocidade de recolhimento da mangueira, houve uma redução na lâmina média aplicada, uma vez que o tempo para irrigar uma mesma área é cada vez menor. Além disto, para uma mesma velocidade de recolhimento do carro aspersor, o aumento na pressão de serviço não mostrou uma tendência clara de aumento ou diminuição na lâmina média (Lm) e na intensidade de precipitação médias (Ip) aplicada sobre os coletores. Este último parâmetro é um fator de grande importância em irrigação, pois a definição do o aspersor a ser utilizado é depende da intensidade de precipitação e da taxa de infiltração de água no solo.

A Tabela 5 mostra a velocidade de recolhimento da mangueira medida em campo e sua variação, quando comparada com a velocidade programada.



**Tabela 4.** Valores de lâmina média sobre os coletores e intensidade de precipitação para uma largura de faixa irrigada correspondente a 80% do diâmetro molhado pelo aspersor.

Pressão (kPa)	Vr (m h <sup>-1</sup> )	Lf (m)	Lm (mm)	Ip (mm h <sup>-1</sup> )
400	40	70	14,9	9,6
	70	67	9,2	10,9
	120	70	5,0	9,9
450	40	77	13,9	8,8
	70	70	8,5	9,3
	120	66	6,8	12,9
500	40	78	14,0	8,5
	70	78	8,5	9,0
	120	78	5,6	9,9

Vr- Velocidade de recolhimento da mangueira; Lf - largura de faixa irrigada; Lm- lâmina média sobre os coletores e Ip- intensidade de precipitação.

**Tabela 5.** Valores de velocidade de recolhimento da mangueira (m h<sup>-1</sup>), medidos em campo, e a variação em cada teste para os três trechos analisados.

Descrição do teste	T <sub>1</sub> (120 a 90 m)	E <sub>1</sub> (%)	T <sub>2</sub> (90 a 60 m)	E <sub>2</sub> (%)	T <sub>3</sub> (60 a 30 m)	E <sub>3</sub> (%)	σ	c.v. (%)
P400V40	39,39	-1,5	39,78	-0,6	40,22	+0,6	0,34	0,85
P450V40	39,74	-0,7	39,93	-0,2	40,22	+0,6	0,20	0,49
P500V40	40,94	+2,4	41,14	+2,9	40,45	+1,1	0,29	0,71
P400V70	70,20	+0,3	71,05	+1,5	71,29	+1,8	0,47	0,66
P450V70	69,14	-1,2	70,13	+0,2	70,82	+1,2	0,69	0,98
P500V70	68,79	-1,7	69,23	-1,1	74,10	+5,8	2,41	3,40
P400V120	116,80	-2,7	117,52	-2,1	127,21	+6,0	4,75	3,40
P450V120	115,80	-3,5	116,13	-3,2	129,10	+7,6	6,19	3,94
P500V120	117,60	-2,0	118,1	-1,6	124,60	+3,8	3,19	2,65

T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> e T<sub>3</sub>- trecho medido, ou seja, são as distâncias percorridas pelo carro aspersor, em metros; E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> e E<sub>3</sub> (%) - erro cometido para mais ou para menos, no trecho considerado, para as velocidades de recolhimento programada de 40, 70 e 120 m h<sup>-1</sup>, σ - desvio padrão, em cada teste, nos trechos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> e T<sub>3</sub> e c.v. - coeficiente de variação nos trechos T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> e T<sub>3</sub>.

Analisando os dados da Tabela 5, observa-se que o erro cometido pelo irrigamatic 100, que controla velocidade de recolhimento, tende a ser maior com o aumento da velocidade de recolhimento, podendo ocasionar variações na lâmina aplicada, conforme mostra o desvio padrão e o coeficiente de variação. No entanto, está variação na velocidade de recolhimento da mangueira parece não ser significativa, uma vez que os perfis de distribuição de água refletem o inverso, ou seja, a lâmina é aplicada de forma mais uniforme com o aumento da velocidade de recolhimento. Portanto, estas variações na velocidade não são significativas. Por outro lado, à medida que o tempo de passagem do carro aspersor pelos coletores aumenta, ou seja, quando se reduz a velocidade de recolhimento, as condições climáticas locais e às características hidráulicas do aspersor são determinantes para uma boa uniformidade de lâmina aplicada. Quando menor a velocidade de recolhimento maior a lâmina aplicada sobre os coletores e maior a possibilidade de distorção nos jatos d'água aplicado (Figuras 2a e 2b).

Para a velocidade de 40 m h<sup>-1</sup>, o regulador de velocidade eletrônico - irrigamatic 100 - conseguiu manter maior uniformidade na velocidade de recolhimento do carro aspersor. Esta variação na velocidade se deu provavelmente devido ao tempo de resposta do aparelho regulador de velocidade - irrigamatic 100 - já que a regulagem é lenta e gradativa, feita pela válvula by-pass, sendo monitorada somente a cada 0,80 m de mangueira, ou seja, a velocidade de recolhimento é monitorada (verificada) a cada 24, 41 e 72 segundos para as velocidades de 120, 70 e 40 m h<sup>-1</sup>, respectivamente. Nestes intervalos de tempo, a válvula by-pass deve atuar e ajustar a velocidade de recolhimento do carro aspersor.

Para velocidades de 120 m h<sup>-1</sup> este tempo não é suficiente, já que o tempo gasto para percorrer os 0,80 m de mangueira é menor do que o tempo gasto para que a válvula ajuste a velocidade, como mostra o desvio padrão e o coeficiente de variação (Tabela 5). Além disto, a variações de esforços exigidos na

turbina exigem constantes atuações da válvula by-pass, fato que causa constantes oscilações na leitura do aparelho e perda de precisão no controle da velocidade.

As variações encontradas na velocidade de recolhimento foram pequenas, como comprova os baixos valores de desvio padrão e coeficiente de variação; principalmente se considerarmos que nos modelos antigos a variação na velocidade de recolhimento atingia valores de até 60% (ADDINK et al., 1983). Desta forma, o irrigamatic foi eficiente no controle da velocidade de recolhimento da mangueira, compensando a variação na lâmina aplicada. Na prática, velocidades de recolhimento do carro aspersor inferior a  $70 \text{ m h}^{-1}$  são recomendadas.

## 6 CONCLUSÕES

1. A melhor condição de uniformidade de distribuição de água foi obtida para uma largura de faixa irrigada correspondente a 80% do diâmetro molhado e com o aspersor operando com pressão de 400 kPa;
2. Para uma mesma relação de transmissão, menores velocidades de recolhimento do carro aspersor resultam em menores perdas de carga e rotação na turbina;
3. Com o enrolamento da mangueira pelo carretel as perdas de carga na turbina e na mangueira diminuem e aumentam, respectivamente;
4. O aparelho *irrigamatic 100* foi eficiente no controle velocidade de recolhimento, permitindo uma melhor equalização para velocidades a inferiores a  $70 \text{ m h}^{-1}$ .

## 7 AGRADECIMENTOS

À empresa Metal Lavras, por ter cedido o equipamento e toda a infra-estrutura necessária à condução dos testes.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDINK, J. W. Et al. 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, 1983. p. 621-658.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5 ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1989. 596 p.
- COLOMBO, A. **Simulação do desempenho de um equipamento autopropelido de irrigação**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1991. 120 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- DANIELETTO, J. R. B. **Tubos de polietileno e polipropileno: características e dimensionamento**. São Caetano do Sul: Medialdêa, 1990. 340 p.
- DRUMOND, L. C. D.; FERNANDES, A. L. T. Viabilidade econômica de irrigação de pastagem. **Revista ABCZ**, Uberaba - Ano 0, n. 1, Abr. 2001. <Disponível em: [www.abcz.org.br/revista/05/mat06.htm](http://www.abcz.org.br/revista/05/mat06.htm) > Acesso em 28/ de Março de 2004.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7749/2**. Irrigation equipment - Rotating sprinklers. Part 2: Uniformity of distribution and teste methods. Switzerland, 1990. 6 p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8224/1**. Traveller irrigation machines. Part 1: Laboratory and field test methods, Switzerland. 1985. 9 p.
- KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkler and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.

MANTOVANI, E. C. A irrigação do cafeeiro. **Revista ITEM**, Brasília, n.48, p.45-49, 2000.

ROSA, J. A. **Avaliação do desempenho de um sistema de irrigação microautopropelido em diferentes condições de operação**. 1986. 72 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SCALLOPI, 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, 1995. p.218-222.

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

VILELA, L. A. **Avaliação do impacto de gotas sobre a superfície de um latossolo vermelho escuro irrigado por aspersão**. 1995. 76 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.