



**INFLUÊNCIA DE ÂNGULOS SETORIAIS E
PRESSÃO DE SERVIÇO NA UNIFORMIDADE
DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE UM
EQUIPAMENTO DE IRRIGAÇÃO
AUTOPROPELIDO**

WELLINGTON WILLIAM ROCHA

1998



WELLINGTON WILLIAN ROCHA

**INFLUÊNCIA DE ÂNGULOS SETORIAIS E PRESSÃO DE SERVIÇO
NA UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE UM
EQUIPAMENTO DE IRRIGAÇÃO AUTOPROPELIDO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Irrigação e Drenagem, para obtenção do título de "Mestre".

Orientador

Prof. Nilson Salvador

LAVRAS

MINAS GERAIS – BRASIL

1998

Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA

Rocha, Wellington Willian

Influência de ângulos setoriais e pressão de serviço na uniformidade de distribuição de água de um equipamento de irrigação autopropelido / Wellington Willian Rocha . – Lavras : UFLA, 1998.

46 p. : il.

Orientador: Nilson Salvador.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Irrigação – Avaliação. 2. Sistema autopropelido. 3. Irrigação por aspersão. 4. Uniformidade de distribuição. 5. Pressão de serviço. 6. Ângulo setorial. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-631.587

WELLINGTON WILLIAN ROCHA

**INFLUÊNCIA DE ÂNGULOS SETORIAIS E PRESSÃO DE SERVIÇO
NA UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE UM
EQUIPAMENTO DE IRRIGAÇÃO AUTOPROPELIDO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal
de Lavras, como parte das exigências do curso
de Mestrado em Engenharia Agrícola, área
de concentração em Irrigação e Drenagem,
para obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 11 de dezembro de 1998

Prof. Élio Lemos da Silva

UFLA

Prof. Jacinto Assunção de Carvalho

UFLA



Prof. Nilson Salvador

UFLA

(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

**Aos meus avós Arnaldo (in memoriam) e Aparecida
ao meu tio William**

**ao meu amigo Marco César Martins, que com sua brusca
ausência, nos fez refletir sobre as inconstâncias da vida
à Sra. Marlene e família pelo apoio, compreensão
e exemplo de vida**

OFEREÇO

**À minha esposa, Lose
pelo amor, amizade e companherismo
e por acreditar
DEDICO**

AGRADECIMENTOS

A Universidade federal de Lavras, em especial ao Departamento de Engenharia, pelo acolhimento e pela oportunidade oferecida para a realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa, a qual tornou viável a realização deste trabalho.

Ao Professor Nilson Salvador, pela orientação e empenho na realização deste trabalho.

Ao Professor Luiz Antônio Lima, pelo apoio técnico e amizade.

Aos Professores Antônio Marciano da Silva, Luís Artur Alvarenga Vilela, Geraldo Magela Pereira e Élio Lemos da Silva, pelo auxílio e atenção prestados.

Ao Professor José Maria Lima, pela amizade e apoio no início do curso.

Aos meus amigos de graduação e mestrado, Paulo Marinho de Oliveira, Admilson Írio Ribeiro, Antônio Carlos Neri, Flávio Vasconcelos Godinho,

Aos servidores do Laboratório de Hidráulica, em especial ao Sr. Lindemberg.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO -----	i
ABSTRACT -----	ii
1 INTRODUÇÃO -----	1
2 REVISÃO DE LITERATURA -----	3
2.1 Irrigação por aspersão -----	3
2.2 Sistemas autopropelidos -----	6
2.3 Diâmetros de gotas -----	10
3 MATERIAL E MÉTODOS -----	11
3.1 Área Experimental -----	12
3.2 Descrição do equipamento -----	12
3.3 Teste de Campo -----	13
3.4 Parâmetros Avaliados -----	16
3.4.1 Lâminas médias e intensidade de aplicação -----	16
3.4.2 Uniformidade de Distribuição -----	16
3.4.3 Perdas de carga localizadas -----	16
3.4.5 Velocidade de deslocamento -----	17
3.4.6 Diâmetro de Gotas -----	17
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO -----	19
4.1 Uniformidade de Distribuição -----	19
4.2 Lâmina Aplicada e Intensidade de Aplicação -----	23
4.3 Perda de Carga -----	27
4.4 Diâmetro de gotas -----	30
5 CONCLUSÕES -----	32
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	34
ANEXOS -----	38

RESUMO

ROCHA, Wellington Willian. Influência de ângulos setoriais e pressão de serviço na uniformidade de distribuição de água de um equipamento de irrigação autopropelido. Lavras: UFLA, 1998. 46p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Agrícola)

O objetivo deste estudo foi avaliar o comportamento de um equipamento de irrigação autopropelido em condições de campo, operando com duas pressões (200 e 250Kpa), três diferentes ângulos setoriais (330, 345 e 360 °) e três diferentes comprimentos de mangueira desenrolada (40, 70 e 100m), verificando assim a influência destes fatores em: uniformidade de distribuição de água (CUC), lâmina aplicada e na intensidade de aplicação e perdas de cargas localizadas. Também se promoveu o teste do aspersor, que equipa o conjunto autopropelido, com o objetivo de se verificar o diâmetro médio de gotas produzidas. Observou - se que funcionando com a maior pressão testada e com menor ângulo setorial , o (CUC), se mostrou maior, tendo também se obtido maiores valores de lâmina d' água aplicada e consequentemente maiores valores de intensidade de aplicação. O comprimento de mangueira desenrolada, se mostrou ser outro fator de importância na variação de (CUC), à medida que a mangueira vai sendo enrolada, nota - se também um progressivo aumento da velocidade de deslocamento do carro aspersor, e como consequência, resultando menores lâminas d'água e menores valores de (CUC). Com o enrolamento da mangueira, houve um aumento na perda de carga devido à mangueira, proporcionando uma redução da vazão e pressão no aspersor, o que gerou uma redução na intensidade de aplicação, Na análise dos diâmetros de gotas produzidas por este aspersor ficou evidente a formação de maiores gotas d'água na periferia do jato d'água, o que gerou velocidades terminais e energia cinéticas das gotas também crescentes do início para a extremidade do jato d'água.

Comitê Orientador: Nilson Salvador – UFLA (Orientador), Élio Lemos da Silva
– UFLA, Luiz Antônio Lima - UFLA

ABSTRACT

ROCHA, Wellington Willian Influence of sectorial angles and service pressure and the uniformity of water distribution in a traveler irrigation machine. Lavras: UFLA, 1998. 46p. (Dissertation - Master Program in Agricultural Engineering).

The objective of this study was to evaluate a traveler irrigation machine, in field conditions, working under two pressures (200 and 250kPa), three different sectorial angles (330, 345 e 360 °) and three different lengths uncoiled hose (40, 70 e 100m), verifying the influence of these factors in: uniformity of water distribution (CUC), the depth of water applied and the intensity of the application and in loss of pressure. Testing of the travelers sprinkler system was also, with the objective of verifying the average diameter of drops produced. It was observed that, working this equipment with the greatest pressure tested and using the smallest sectorial angle, the (CUC), showed to be larger, also showing that larger water depths were obtained. And the consequently higher application intensity values. The lengths uncoiled hose also showed to be an important factor in the variation of (CUC). With the uncoiling of hose, it was observed that there was a progressive increase in the sprinkler's car velocity and consequently, small depth of water applied and decreases in the intensity of the application were obtained, also resulting in lower values of (CUC). In the analysis of the diameters of water drops produced by this sprinkler, it was evident the formation of larger water drops in the perimeter of the spray area, that also generated higher terminal speeds and higher kinetic energy in the extremity of the spray area, than dops of water falling down near the sprinkler.

Guidance Committee: Nilson Salvador - UFLA (Major Professor), Élio Lemos da Silva - UFLA, Luiz Antônio Lima - UFLA.

1 INTRODUÇÃO

A irrigação, conceituada como a técnica de suprir as deficiências hídricas das culturas, na época certa, visa suplementar a água necessária à cultura na quantidade e qualidade adequadas e permitir o uso mais intensivo da terra, com o cultivo não tradicional, na época seca.

Atualmente, dentre os métodos de irrigação existentes, o de aspersão tem se expandido de forma mais significativa, pelas seguintes razões: a) boa uniformidade de distribuição, quando bem planejado; b) fácil controle da lâmina d'água aplicada; c) grande versatilidade para as diversas condições de topografia e tipos de solos; d) menor dispêndio de mão-de-obra, e e) maior divulgação por parte de fabricantes e vendedores.

O alto custo e a desqualificação da mão -de-obra necessária para operar os sistemas de irrigação por aspersão convencional, tem levado muitos irrigantes a preferir o uso dos sistemas automatizados, como autopropelidos e pivôs centrais. Esses sistemas, na sua maioria, são implantados sem o conhecimento prévio das propriedades físico-hídricas dos solos, das condições climáticas e operacionais do equipamento no campo, levando muitos agricultores ao insucesso, e até mesmo à desativação de seus sistemas.

Os produtores de cana- de-açúcar e destilarias de álcool do estado de São Paulo, preferem o sistema autopropelido, dentre os sistemas automatizados, na aplicação de vinhaça no solo como fertilizante, otimizando assim o aproveitamento racional deste subproduto da produção de álcool , em razão de seu menor custo de instalação por unidade de área, do fácil manejo, da grande capacidade de deslocamento e adaptação às mais variadas áreas onde opera; mesmo que este equipamento apresente um alto consumo de energia, por operar com altas pressões de serviço. As inúmeras vantagens dos sistemas

autopropelidos e a falta de recursos humanos para operá-los, têm contribuído para seu mau uso e a uma instalação inadequada, levando até mesmo à queda de produtividade das culturas. Desta forma, todo trabalho de pesquisa que vise orientar os produtores no sentido de racionalizar o uso dos recursos existentes, é de fundamental importância para a agricultura irrigada.

Visando aumentar a vida útil da mangueira condutora d'água até à carreta que transporta o aspersor e diminuir a potência necessária ao seu arraste, em sistemas de irrigação autopropelidos, foram desenvolvidos sistemas contendo uma carreta com aspersor, uma mangueira de polietileno e um carretel vertical montado sobre um chassi com um mecanismo de acionamento que enrola a mangueira. Nesse caso, o carretel é ancorado e enquanto gira, recolhe a mangueira que traciona a carreta com o aspersor, ou seja, a mangueira, além de condutora de água, executa a função de puxar o carro aspersor. Esse sistema dispensa o cabo de aço usado nos demais sistemas autopropelidos.

Um dos parâmetros mais importantes para avaliar os sistemas de irrigação por aspersão é a uniformidade de distribuição. No caso dos sistemas autopropelidos, esse parâmetro torna-se mais relevante, porque os mesmos usam aspersores do tipo canhão hidráulico, que requerem alta pressão de serviço e grandes vazões, que proporcionam jatos de água de longo alcance, tornando o equipamento sujeito a maiores interferências do vento.

Outros parâmetros importantes referentes ao equipamento, para o dimensionamento e o manejo racional da irrigação, são a quantidade de água aplicada e a intensidade com que esta lâmina é aplicada. O melhor processo para determinar esses parâmetros é por meio de testes de campo, operando o sistema nas condições em que esses prevaleçam, quando em normal funcionamento.

Assim, o presente estudo, teve por objetivo avaliar o desempenho de um equipamento de irrigação do tipo autopropelido, considerando: a uniformidade de distribuição de água, a lâmina média aplicada, a intensidade de aplicação e

perdas de cargas localizadas, todas em função de duas pressões de serviço, três ângulos setoriais do aspersor e três diferentes comprimentos de mangueira desenrolada. Tal avaliação também teve por objetivo obter diâmetro médio de gotas produzidas por este equipamento com base nas pressões estudadas.

Baseado no conceito de economia de energia e problemas de ordem técnica, optou-se por operar o equipamento com baixas pressões 200 e 250 kPa e verificar até que ponto estas pressões interferem na uniformidade de distribuição e demais parâmetros avaliados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Irrigação por Aspersão

O principal objetivo da irrigação por aspersão é aplicar água, na forma de chuva de baixa intensidade, para que esta se infiltre no solo, sem que exista escoamento superficial, segundo Christiansen citado por Rosa (1986). Rosa (1986), comenta também que a uniformidade de distribuição depende do perfil de distribuição do aspersor, o qual se relaciona com o sentido, velocidade do vento, pressão de serviço, uniformidade de rotação, altura de elevação e com o diâmetro e tipo de bocal dos aspersores. No caso específico dos sistemas autopropeidos, o espaçamento entre carregadores e a velocidade de deslocamento também podem influenciar na uniformidade de distribuição de água.

Hart et al. Citados por Rosa (1986), estabelecem que segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), a eficácia de um sistema de irrigação pode ser avaliada por meio da análise de sua uniformidade de distribuição. Esses mesmos autores, afirmam que, além da uniformidade de distribuição, o conhecimento da lâmina de água a ser aplicada e da intensidade de aplicação, são fatores essenciais para o dimensionamento e o manejo racional de um sistema de irrigação por aspersão, recomendando que para determinar

esses parâmetros são necessários ensaios de campo, em condições semelhantes as que o equipamento irá operar.

Christiansen, citado por Charmelo (1990), afirma que a produtividade das culturas irrigadas, está diretamente relacionada com a uniformidade de distribuição de água, dependendo do sistema de irrigação utilizado e foi também o primeiro pesquisador que mediu e adequou a uniformidade de distribuição de água por um sistema de irrigação por aspersão, resultando assim a seguinte equação:

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

em que:

CUC = Coeficiente de uniformidade de Christiansen, %,

\bar{X} = Média aritmética dos volumes coletados nos pluviômetros, ml ;

X_i = volume de água obtido no pluviômetro de ordem i , ml e

n = número de observações.

Merrian, Keller e Alfaro (1973), recomendam os valores mínimos de CUC para culturas de alto rendimento econômico, considerando a profundidade do sistema radicular da cultura irrigada, onde estabeleceram o seguinte: a) para culturas com sistema radicular raso, o CUC deve ser maior que 88% ; b) para culturas com sistema radicular médio, o CUC deve ser maior que 82% e c) para culturas com sistema radicular profundo, o CUC deve superar 70% .

De acordo com Dillon, Hiller e Vittetoe (1967), Lopez (1975) e Bernardo (1995), o vento, a umidade relativa e a temperatura do ar, são os principais elementos climáticos que influenciam na irrigação por aspersão. O

vento pode alterar a uniformidade de distribuição dos aspersores e é responsável pelas perdas por arrastamento, sendo por isso, necessário avaliar sua velocidade e sua direção predominante, e , juntamente com a umidade relativa e a temperatura do ar, provocam perdas d'água por evaporação.

Para Jensen, Swaner e Phelan (1967), o perfil de distribuição de água de um aspersor pode ser utilizado para estimar a sobreposição de água proporcionada pelos aspersores no sistema de irrigação. Com o conhecimento do perfil, da sobreposição e do tempo de duração dos testes, pode-se calcular a duração de uma irrigação, com a finalidade de aplicar a lâmina d'água desejada. Para os mesmos autores, a manutenção de coeficientes de distribuição de água altos deve ser estudado juntamente com a resposta econômica da cultura que está sendo irrigada.

É importante estabelecer a pressão ideal de funcionamento do aspersor, para possibilitar a melhor distribuição de água, por que, de acordo com Bridai (1984) , quando se eleva a pressão de serviço acima da ideal, o jato de água adquire alta velocidade e encontrando grande resistência do ar, o que o pulveriza a água em excesso fazendo as gotas caírem nas proximidades do aspersor, ficando o extremo do círculo mal irrigado. Também, ao contrário, quando a pressão de serviço está abaixo da ideal para a irrigação, ocorre a formação de gotas de diâmetros grandes, sendo seus efeitos sobre o solo e sobre as culturas bem desastrosos, considerando a energia cinética e velocidade terminal destas gotas de diâmetros maiores. Nesse sentido, Ollita (1977), considera que a pressão de serviço e o diâmetro do bocal devem ter uma combinação ideal, tendo como resultado final uma distribuição mais uniforme da água e um tamanho de gotas adequado ao tipo de solo e cultura. Este autor recomenda ainda que o diâmetro de gotas não ultrapasse 4mm, a fim de se evitar a formação de incrustações na superfície do solo e de prejudicar as folhas das plantas. Por outro lado, gotas com diâmetros inferiores a 1mm, são facilmente levadas pelo

vento, o que afetaria diretamente a uniformidade de distribuição de água.

Segundo Melo et al. (1997), a melhor uniformidade de distribuição para o canhão hidráulico SKIPPER usado neste estudo, ocorre com uma pressão de 30mca e um bocal de 12mm.

2.2 Sistemas Autopropelidos

Avaliando a uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação autopropelido, Scardua e Leme (1979), utilizaram diversos parâmetros, como o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, e as intensidades mínimas e médias de aplicação. Concluíram que velocidades do vento superiores a 3 m s^{-1} e com direção próxima ao sentido de deslocamento do conjunto autopropelido prejudicam sensivelmente a uniformidade de distribuição de água e a lâmina aplicada, não recomendando o uso desse equipamento em áreas onde prevaleçam essas condições.

Também Shull e Dylla (1979), trabalhando com conjuntos autopropelidos, sob diversas condições de vento e vários espaçamentos entre carreadores, concluíram que os menores espaçamentos entre carreadores levaram a uma boa uniformidade de distribuição, sendo que, em geral, esses espaçamentos não são operacionalmente eficientes em função do maior trabalho necessário à mudança do equipamento entre faixas e da aplicação de altas lâminas médias. Os espaçamentos maiores entre carreadores, que garantem o bom manejo operacional no campo, forneceram uma distribuição da água aceitável em apenas uma pequena parte do tempo sob condições de vento fortes. Nos casos em que a velocidade do vento não foi maior que 2 m s^{-1} , os espaçamentos entre carreadores utilizados forneceram boa uniformidade de distribuição para o equipamento testado.

Rochester (1952), desenvolveu uma equação que, prevê o tempo necessário para irrigar adequadamente vários pontos, do início ao final, da faixa irrigada, na tentativa de diminuir os problemas de aplicação de lâminas menores no início e no final da faixa irrigada com autopropelido, devido à própria tendência que existe em se iniciar o deslocamento do equipamento dentro da faixa a ser irrigada e não no limite da mesma, assim como de antecipar o local de parada dentro da faixa e não no final, , sendo essa equação descrita como:

$$T = \left(\frac{FI}{S}\right)\left(\frac{\theta}{2}\right) + \left(\frac{I}{2S}\right)\left(\frac{D}{D_{max}}\right) - \frac{I}{2S} \quad (2)$$

em que:

T= tempo de parada, h;

F= relação entre o valor da lâmina média de aplicação e da mínima aceitável, adimensional;

I=lâmina a ser aplicada na irrigação, mm;

S= intensidade de aplicação, mm h⁻¹ ;

θ = ângulo de operação do aspersor, radianos;

D= distância da posição inicial do aspersor, m, e

D_{max} = distância do aspersor até o ponto médio da área de superposição entre dois carregadores, m.

Grant, Anderson e Rochester (1984), estabelecem ser o ângulo setorial de operação do aspersor , um dos parâmetros que influenciam significativamente a uniformidade de distribuição da água, nos conjuntos autopropelidos, concluíram que, para ângulos menores, têm - se maiores intensidades de aplicação, que seriam limitantes para solos com baixa capacidade de infiltração, embora proporcionem melhores uniformidades de distribuição de água.

Na tentativa de avaliar a influência do número de camadas de mangueira enrolada no carretel na lâmina média aplicada e na variação da velocidade de deslocamento do carro aspersor, Collier e Rochester (1986), trabalharam com

dois sistemas de irrigação autopropelido, sendo que um contava com três camadas de mangueira, quando totalmente enroladas, e o outro com cinco camadas, chegaram aos seguintes resultados: o fator que prevaleceu na variação da intensidade de aplicação d'água foi o aumento da velocidade do carro aspersor, quando este se aproximou do carretel. O caso mais crítico observado pelos autores, ocorreu para o sistema que constou com cinco camadas de mangueira, quando totalmente enrolada, sendo observado um aumento da velocidade de 44%, com conseqüente redução da lâmina aplicada de 32%

Existem no mercado dois tipos de mecanismos que proporcionam o deslocamento do carro aspersor, sendo um por meio de pistão hidráulico ou câmara de pressão e outro por meio de turbina. A ASBRASIL (1981), recomenda levar em consideração as seguintes características na escolha de um desses mecanismos: a) caso a água contenha grande número de partículas sólidas em suspensão como areia e resíduos industriais quimicamente inativos, deve-se optar pelos sistemas contendo turbina e; b) no caso de terrenos em aclive ou declive, deve-se optar pelo sistema do tipo pistão, pois este, permite uma velocidade de deslocamento da carreta menos variável.

A potência da turbina é proporcional à vazão e à velocidade da água que a alimenta, sendo sua regulação efetuada por meio de bocais e engrenagens de transmissão e a velocidade de deslocamento, sofre variações durante o percurso. No caso do pistão, a potência desenvolvida é dada pela pressão da água que alimenta, estando a pressão regulada por meio de válvulas e de bocais de descarga. Este sistema exige água livre de partículas abrasivas, que podem induzir um maior desgaste nos componentes de válvulas e pistão.

Oakes e Rochester (1986), estudando a utilização de energia em dois equipamentos autopropelidos, acionados por pistão hidráulico e por turbina, concluíram que o mecanismo de pistão hidráulico promove perda de água, enquanto o mecanismo de turbina promove perda de pressão. Em geral, foram

necessários 6 e 7% da energia de entrada para o funcionamento do pistão e da turbina, respectivamente. Os autores encontraram maior eficiência no uso da energia de entrada para a irrigação no equipamento tracionado por turbina, sendo essa distribuída da seguinte forma: no sistema de pistão, 45% da energia foi consumida pelas perdas por atrito e voltas da mangueira no carretel, e aproximadamente mesma quantidade foi consumida na irrigação propriamente dita; no sistema com turbina, as perdas por atrito e voltas da mangueira no carretel foi de 20%, e o uso de energia na irrigação, propriamente dita, foi de 69%.

Charmelo (1990) , avaliando o desempenho de irrigação de um sistema autopropelido, concluiu que: a) a pressão de serviço do aspersor afeta a uniformidade de distribuição a lâmina média e da intensidade de aplicação de água, indicando que para cada diâmetro de bocal existe uma pressão de serviço ideal; b) a uniformidade de distribuição aumentou, e a lâmina média e a intensidade de aplicação diminuíram com o aumento do ângulo setorial de serviço e; c) a interferência do espaçamento entre carreadores na uniformidade de distribuição da água está intimamente relacionada com o ângulo setorial de serviço do aspersor, da seguinte forma: Para o ângulo setorial de 360° , à medida que se aumentou o espaçamento, diminui-se a uniformidade de distribuição, e para os ângulos setoriais 330 e 345° , à medida em que o espaçamento era aumentado, ocorria um incremento da uniformidade de distribuição da água.

Colombo (1991) simulando o desempenho de um equipamento autopropelido tracionado por cabo de aço, afirma que existe uma relação linear entre o esforço necessário para o deslocamento do autopropelido e o comprimento de mangueira tracionado, não sendo regra geral. Este autor recomenda ainda, um estudo mais detalhado para autopropelidos com mais de 200m de mangueira e apresenta um modelo matemático para prever a velocidade instantânea média do autopropelido Chuvisco da ASBRASIL, tracionado por

cabo de aço, encontrando um desvio máximo de 1,08m/h entre a velocidade média observada e a prevista pelo modelo.

2.3 Diâmetro de Gotas

A erosão do solo agrícola é entendida como o arrastamento de partículas das camadas superficiais em áreas cultivadas para outros locais, por intermédio principal da água das chuvas e/ou de irrigação, e que ainda, conseqüentemente, afeta a produção agrícola (Ellison 1944). Este e outros autores já se mostravam preocupados com os danos causados ao solo devido ao impacto das gotas, e Ellison (1944), estudando o processo de erosão do solo e seus principais fatores, como por exemplo, a velocidade com que a gota chega ao solo, a declividade do terreno, intensidade de precipitação, direção e velocidade do vento, observou que no impacto das partículas de maior diâmetro, há uma transferência de energia promovendo seu movimento no sentido da declividade do terreno. E que o maior ou menor efeito provocado pelas gotas, é diretamente relacionado com a energia cinética da mesma.

O espectro de gotas formado pelos aspersores é amplo e a velocidade terminal das mesmas é influenciada pela resistência do ar circunvizinho, Merrington e Richardson, citados por Khol (1974).

Segundo Garcia citado por Carvalho (1991), o fracionamento do jato de água é fator importante na irrigação. O impacto de gotas grandes pode produzir, em cultivos delicados, danos diretos à parte aérea da planta e, em determinados solos, a compactação da camada superficial, reduzindo a infiltrabilidade, com conseqüente aumento do risco de erosão. Por outro lado, maior pulverização aumenta as perdas por evaporação e a ação de arraste das gotas pelo vento, distorcendo o padrão de distribuição de água e reduzindo a uniformidade de aplicação.

Estudando o efeito do impacto da gota de água proveniente de chuva artificial sobre erosão do solo, Ellison, citado por Vilela (1995), concluiu que a quantidade relativa de solo desprendida da superfície era função do tamanho e da velocidade das gotas e da intensidade da chuva. Nesses estudos as gotas necessitam ser caracterizadas, utilizando – se para isto o seu diâmetro.

Para Vilela (1995), o método mais prático, simples e mais utilizado para se determinar o diâmetro de gotas é o da farinha, uma vez que não necessita de equipamentos sofisticados. Entretanto, Lowe e Oliveira citados por Vilela (1995), apresentam dificuldades quando se trata de gotas de menor diâmetro.

Pereira, Lima e Muniz (1996), baseados na classificação de Tanda descrita por eles, Anexo 1A, estudaram a influência do grau de pulverização de gotas produzido por um aspersor tipo canhão hidráulico na queda de flores do feijoeiro (Cultivar “Carioca – MG”). Este grau teoricamente indica que quanto menor o seu valor, maior é o diâmetro de gotas formado pelo aspersor, e concluíram que não houve influência significativa da redução do grau de pulverização sobre a queda de flores do feijoeiro, contrariando assim a classificação descrita por Tanda.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho constou da avaliação de um equipamento de irrigação autopropelido, considerando três comprimentos de mangueira desenrolada (100, 70 e 40m). Para tal avaliação, foi analisado a influência de três diferentes ângulos setoriais (330, 345 e 360^o) e duas pressões de serviço (200 e 250 kPa) no CUC, na lâmina média, intensidade de aplicação e perdas de cargas localizadas. Para o aspersor que equipa o autopropelido testado, foi realizado um teste, no qual este aspersor, operou em um suporte fixo, tendo por objetivo acompanhar a distribuição das gotas d'água através de seu diâmetro.

3.1 Área Experimental

Procurando atender às recomendação das normas ISO 8224/1(1985) e ISO 8224/2 (1991), a área experimental utilizada nos ensaios era gramada, com altura média das plantas de aproximadamente 50mm, plana no sentido longitudinal e com 1% de declive no sentido transversal. Suas dimensões eram de 150m de comprimento e 65m de largura.

Esta área se encontra situada ao lado do Laboratório de Hidráulica, pertencente à UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS - UFLA, situada na cidade de Lavras – Minas Gerais. A captação da água foi realizada por intermédio de um conjunto moto-bomba, sendo a bomba d'água, com as seguintes características: vazão de $160\text{m}^3 / \text{h}$, altura manométrica de 80m, diâmetro do rotor de 200mm, e rotação de 1750 rpm.

3.2 Descrição do Equipamento

O equipamento utilizado na condução deste experimento, foi um carretel enrolador da marca IRTEC modelo 50F/ 250 de fabricação italiana e comercializado no Brasil. Este equipamento é capaz de irrigar uma faixa de até 0,97 ha (dados do fabricante), possuindo um mecanismo de enrolamento da mangueira acionado por turbina hidráulica, acompanhado por um canhão hidráulico da marca SKIPPER, também de fabricação italiana, sendo a mangueira constituída de polietileno rígido. Uma vez a água passando pela turbina do carretel, esta é acionada e conseqüentemente promove o movimento de rotação neste carretel que enrola a mangueira, tracionando assim o carro aspersor. Encontra-se na Tabela 1, a descrição das características do equipamento utilizado nos testes.

TABELA 1. Especificação do Sistema de Irrigação Autopropelido.

Item	Especificação
.Marca	IRTEC
.Modelo	50F/ 250
.Propulsão	Turbina hidráulica
.Comprimento da mangueira de polietileno	150m
.Diâmetro da mangueira	80mm
.Aspersor - marca	Setorial (SKIPPER)
.Diâmetro do bocal	12mm

Fonte: Dados fornecidos pelo fabricante

3.3 Teste de Campo

Com o intuito de verificar a influência do enrolamento da mangueira no desempenho do autopropelido, utilizou – se três linhas de pluviômetros montadas perpendicularmente ao deslocamento do carro aspersor, conforme mostra a Figura 1. A primeira linha de pluviômetros foi montada de modo a corresponder a um comprimento de 100m de mangueira desenrolada. As duas linhas de pluviômetros restantes, foram montadas com um espaçamento de 30m entre si, ou seja, a 70 e 40m de mangueira desenrolada, respectivamente.

Os pluviômetros utilizados neste teste, são recipientes de PVC rígido instalados sobre hastes metálicas de 500 mm de altura, e possuem 80 mm de diâmetro nominal e 75 mm de altura. Foram necessários, para cada linha, 48 pluviômetros de cada lado do carro aspersor, totalizando 96 coletores por linha, montados com um espaçamento entre si de 0,5m, deixando-se um espaço de 1,5m no centro da linha de coletores, suficiente para a passagem do carro aspersor.

Foi montado na área experimental, uma mini estação climatológica digital de fabricação da ELE – International, em uma haste de 3m de altura, cuja

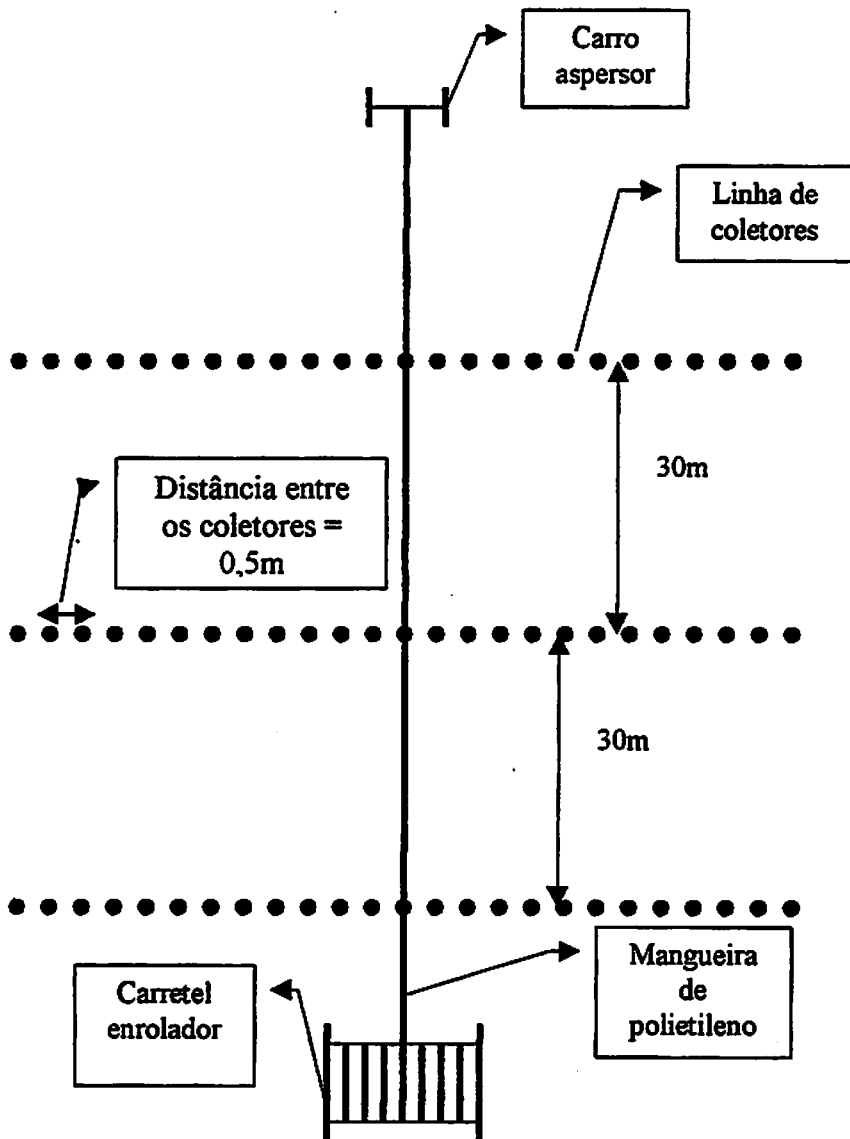


FIGURA 1. Distribuição das linhas de coletores conforme sistema montado no campo.

função era ter um acompanhamento preciso das condições climatológicas presentes no local no momento dos testes, tais como: Umidade relativa do ar, temperatura do ar, velocidade e direção do vento, Vale ressaltar que umidade relativa e temperatura do ar mantiveram-se entre 65 e 80% e 23 e 30°C respectivamente, e que a velocidade do vento não ultrapassou 0,9 m/s, parâmetros estes que não chegaram a interferir nos testes, pois se encontraram dentro dos limites aceitáveis pelas normas ISO 8224/1(1985) e ISO 8224/2 (1991). O fato da velocidade do vento ter sido relativamente baixa, ocorreu porque os testes foram conduzidos entre os meses de janeiro e abril, época de pouco vento nesta região e também devido ao fato de se iniciar os testes bem cedo, por volta das 5:30 da manhã.

Utilizou-se de um pluviômetro extra, com a finalidade de verificar a evaporação da água. Este pluviômetro, consistiu de um coletor com as mesmas especificações dos que foram utilizados na coleta da água e instalado nas mesmas condições.

Antes do carro aspersor ser colocado em movimento, o conjunto funcionou parado por uma hora, com o objetivo de atingir a estabilização do sistema e expulsar todo o ar que por ventura estivesse armazenado na tubulação. Também para se evitar tendências de deslocamentos causados por possíveis rastros deixados pela passada do carro.aspersor e mangueira, tomou-se o cuidado para que o carro aspersor não passasse pelo mesmo percurso já realizado anteriormente. Isto se conseguiu variando a posição lateral do carretel enrolador, através da adição ou remoção de tubos à tubulação de recalque.

Contudo, observou-se que distância mínima de 1 m de peças especiais, tais como registros, deve ser obedecida na instalação deste medidor de vazão, para que se possa evitar o efeito do turbilhonamento nos registros do aparelho, evitando assim uma oscilação nos valores de vazão registrados pelo aparelho.

Além da influência dos comprimentos de mangueira desenrolada, optou-se ainda por observar, no desempenho do equipamento testado, a influência de três diferentes ângulos setoriais (330, 345, 360°) e duas pressões de serviço (200 e 250 kPa).

Para cada uma das duas pressões avaliadas, realizou-se três testes, sendo que cada um destes testes, foi realizado com um dos três diferentes ângulos setoriais descritos, com três repetições, dando um total de 18 testes.

3.4 Parâmetros Avaliados

3.4.1 Lâminas médias e intensidade de aplicação

Foram obtidas conforme metodologia descrita por Charmelo (1990). Procedeu-se também a simulação de duas condições de sobreposição do jato de água, uma que constou com 50% e outra com 70% de sobreposição, utilizando-se para isto a metodologia descrita por Merrian e Keller (1978)

3.4.2 Uniformidade de Distribuição

Obtida através do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), Conforme Equação 1.

3.4.3 Perdas de carga localizadas

No conjunto autopropelido quatro pontos de tomada de pressão foram levados em consideração, são eles: saída da bomba, entrada e saída da turbina hidráulica e base do aspersor. Com isto pode-se saber a influência isolada destes pontos na determinação da perda de carga. A perda de carga foi calculada pela diferença entre as pressões de entrada e saída das peças de interesse.

A medição das pressões no sistema foi realizada com o auxílio de um manômetro de Bourdon, acoplado a um sistema de engate rápido, sendo este manômetro previamente calibrado.

Para a determinação da vazão operante no sistema, foi montado na estação de bombeamento, junto à tubulação de recalque, um medidor de vazão digital que registrava a vazão que passava pela tubulação.

3.4.4 Velocidade de Deslocamento

A velocidade e deslocamento do carro aspersor foi medida através da utilização do método direto.

Para o acompanhamento da velocidade de deslocamento, fez-se uma marca com tinta própria na mangueira e a cada 10m fincou-se no solo, uma estaca de madeira. Com a utilização de um cronômetro digital, a cada vez que a marca feita na mangueira passava pela estaca de madeira, anotava-se o tempo em função do espaço percorrido(m).

3.5 Diâmetro de Gotas

Para este teste, utilizou-se da farinha de trigo comercial. Esta farinha foi seca em estufa a 105^oC, por quatro horas, sendo logo em seguida peneirada em peneira com abertura de 0,297mm e acondicionada em sacos plásticos, seguindo recomendações de Vilela (1995). A curva de calibração, foi obtida utilizando -se da Equação 3, conforme metodologia descrita pelo mesmo autor.

$$D = 1,0874 P^{0,364412} \quad (3)$$

Onde : D = diâmetro da gota(mm)

P = peso médio do grânulo(g)

Para este teste, utilizou-se o aspersor que faz parte do conjunto autopropelido avaliado, operando às pressões de 200 e 250 kPa, e montado sobre um tripé a 1,5m em relação ao nível do solo, sendo o conjunto motobomba o mesmo utilizado na avaliação do autopropelido.

Este método consta da coleta de gotas produzidas pelo aspersor. A farinha após colocada nas bandejas, teve sua superfície nivelada.

As bandejas são recipientes de alumínio de 0,255m de diâmetro e 0,04m de altura, alinhadas e espaçadas de 4 em 4m em relação ao centro do aspersor, sobre suportes de madeiras de 0,30m de altura, com o intuito de se evitar respingos provenientes do solo para dentro das bandejas.

Esperou-se que este jato de água, passasse pelas bandejas apenas uma única vez. Em seguida, o aspersor foi paralisado para a retirada das bandejas sendo as mesmas submetidas a uma nova camada fina de farinha peneirada, para evitar perdas por evaporação e facilitar a formação dos grânulos, sendo logo após deixadas ao ar livre por um período de duas horas e levadas à estufa a uma temperatura de 105°C por 24h. Após este período de tempo, introduziu-se um anel coletor com 0,20m de diâmetro no centro das bandejas, seguindo metodologia descrita por Vilela(1995).

Passou-se depois de seca, a farinha contida no anel coletor por um jogo de peneiras, de malhas(5,65; 4,75; 4,00; 3,36; 2,80; 1,70; 1,18; 1,0; 0,85; 0,60; 0,425mm), separando-se assim os grãos de mesmo diâmetro. Uma vez separados, promoveu-se a contagem e pesagem dos mesmos, para cada bandeja relativa às posições 4, 8, 12, 16, 20 e 24m. Conhecendo-se estes valores e com base na curva de calibração obtida por Vilela(1995), foi possível determinar o diâmetro médio das gotas para cada pressão de serviço avaliada. De posse destes dados, pode-se calcular a energia cinética, com base na velocidade terminal das gotas, sendo este último obtido com a ajuda de um programa desenvolvido para uso da calculadora hp 48G. A listagem completa do programa utilizado para o cálculo da velocidade terminal das gotas e o exemplo de cálculo da energia cinética, se encontram no Anexos 2A e 3A, respectivamente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Uniformidade de Distribuição

Os valores dos Coeficientes de Uniformidade de Christiansen e velocidade de deslocamento, em função da pressão de serviço, do ângulo setorial e da variação do comprimento de mangueira desenrolada, se encontram na Tabela 2. Verificou-se que houve aumento na velocidade de deslocamento do carro aspersor, à medida que a mangueira foi sendo enrolada, sendo que esta variação da velocidade não se deu de maneira uniforme, fato este que pode ser explicado devido à desuniformidade de enrolamento da mangueira no tambor enrolador. O próprio design do equipamento favorece a isto, pois o mesmo possui um tambor enrolador de pequeno diâmetro e grande área útil de enrolamento, já que a mangueira é constituída de polietileno rígido.


Parte desta desuniformidade de enrolamento, também pode ser devido à baixa eficiência do mecanismo que ajusta a mangueira no carretel, à medida que a mesma vai sendo enrolada, uma vez que nesse equipamento há um aumento da velocidade de deslocamento do carro aspersor com o número de camadas de mangueira enrolada no tambor enrolador.

Com relação à uniformidade de distribuição, o que se pode observar é que seus valores foram maiores para a pressão de serviço de 250kPa, dada a melhor pulverização do jato de água, sendo que esta pulverização pode ser também influenciada pelas condições atmosféricas predominantes no momento da irrigação.

Ao se verificar o efeito da velocidade de deslocamento nos valores de CUC, através dos comprimentos de mangueira desenrolada (100, 70 e 40m), pode-se observar que para as mesmas condições de ângulos setoriais e pressão de serviço, a característica apresentada pelo equipamento foi a de um aumento

TABELA 2. Coeficiente de Uniformidade de Christiansen e velocidade de deslocamento, para o aspersor operando com pressões de 200 e 250 kPa, ângulos setoriais de 330, 345 e 360° e comprimentos de mangueira desenrolada de 100, 70 e 40m.

Pressão (kPa)	Ângulo Setorial (graus)	Comprimentos de Mangueira (m)	Velocidade de Deslocamento (m/h)	CUC (%)
200	330	100	27,80	78,53
		70	29,06	80,87
		40	30,47	75,50
	345	100	28,00	75,96
		70	30,06	78,80
		40	32,36	73,73
	360	100	28,63	71,94
		70	31,02	76,10
		40	33,50	70,53
250	330	100	29,16	81,33
		70	32,76	83,37
		40	33,84	78,87
	345	100	30,60	80,03
		70	33,48	83,63
		40	33,84	75,80
	360	100	30,24	76,79
		70	33,84	80,41
		40	34,20	75,23



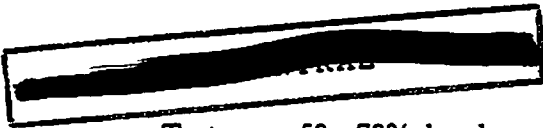
nos valores de CUC até um comprimento de mangueira de 70m, sendo logo em seguida observada uma redução nestes valores. Esta variação tem explicação na desuniformidade de enrolamento da mangueira. O que ocorre até um comprimento de mangueira de aproximadamente de 65m, ou seja metade do comprimento, é um enrolamento uniforme com boa acomodação da mangueira enrolada no carretel, sendo após este comprimento observado a desuniformidade de enrolamento descrita anteriormente, afetando diretamente a lâmina aplicada, a vazão e a pressão de serviço, conseqüentemente a uniformidade de distribuição.

Ao analisar o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, com relação aos ângulo setoriais (330, 345, e 360^o), verificou - se que para as mesmas condições de comprimento de mangueira desenrolada e pressão de serviço, houve a tendência de aumento dos valores de CUC, à medida que se diminuiu o ângulo setorial, resultados estes condizentes com os que foram apresentados por Grant, Anderson e Rochester (1984).

Quando se procedeu a simulação da sobreposição do jato de água proposta por Merrian e Keller (1978) mostrada na Figura 2, observou-se que as mesmas tendências de aumento dos valores de CUC com à redução dos ângulos setoriais prevaleceram em todas as condições, sejam elas com ou sem sobreposição.

Baseado na Figura 2, o que se observa é que a sobreposição do jato de água influencia positivamente nos valores de CUC , quando comparado com os valores obtidos diretamente no campo sem a sobreposição.

As condições mais favoráveis foram para a pressão de 250kPa e com 70% de sobreposição do jato de água e um ângulo setorial de 330^o, ou seja na passada seguinte do carro aspersor, este deveria se posicionar aproximadamente a 15m em relação à posição anterior a qual apresentou um CUC médio de 84,34%.



Tanto para 50 e 70% de sobreposição do jato de água, os valores de CUC foram superiores quando comparados com a condição que não constou com sobreposição.

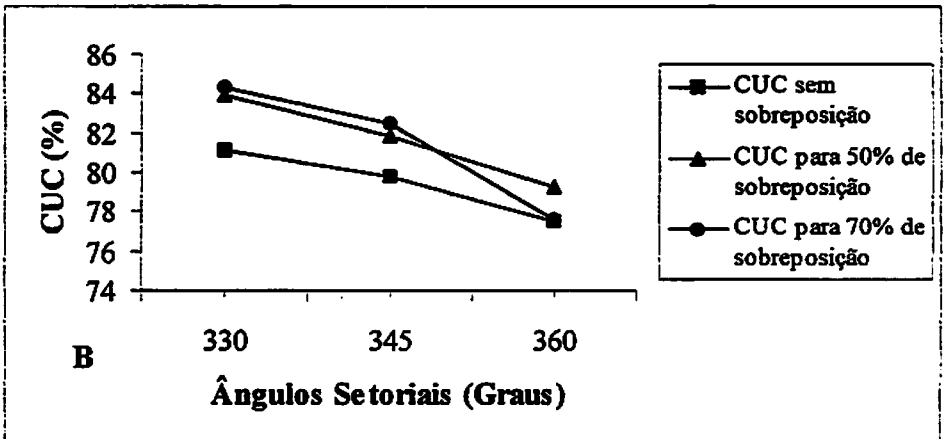
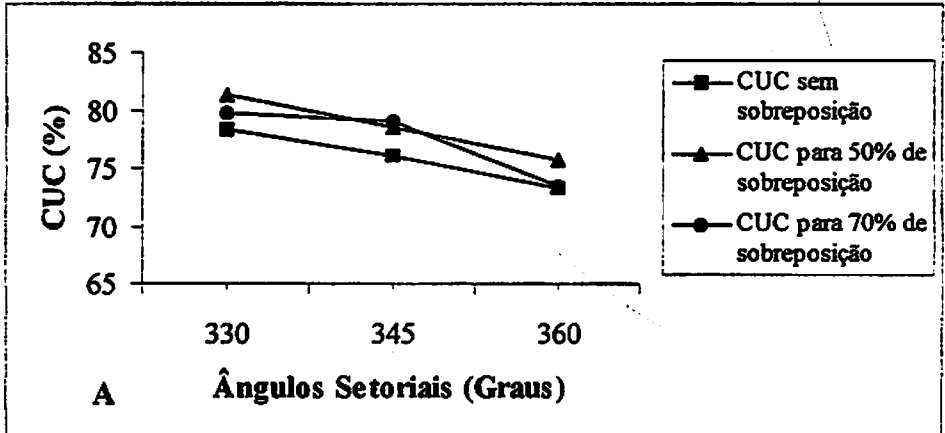


FIGURA 2. Variação de CUC com três diferentes ângulos setoriais nas condições sem sobreposição e com 50 e 70% de sobreposição, para às pressões de serviço de 200kPa (A) e 250kPca (B) respectivamente.

4.2 Lâmina Aplicada e Intensidade de Aplicação

As Figuras 3, 4, 5, 6, 7 e 8, mostram a variação da lâmina d'água e intensidade de aplicação, com a variação da pressão de serviço e ângulo setorial.

Pode – se observar que de modo geral, a lâmina d'água aplicada foi sensivelmente menor para a pressão de serviço de 200kPa. Ao se comparar o efeito da influência do ângulo setorial na lâmina d'água aplicada, verifica - se, que para os maiores ângulos setoriais, houve a tendência da redução da lâmina aplicada. Pode-se notar também que para maiores comprimentos de mangueira desenrolada, ou seja, menor velocidade de deslocamento, a lâmina aplicada foi maior.

O fato da lâmina reduzir com a redução do comprimento de mangueira desenrolada, ocorreu para ambas as pressões de serviço testadas, o que pode a princípio ter explicação, além do aumento da velocidade de deslocamento do carro aspersor, o aumento da perda de carga na mangueira, proporcionando a redução da vazão e da pressão de serviço do aspersor. Sendo que estas reduções na vazão e pressão do aspersor, ocasionaram um decréscimo na intensidade de aplicação, à medida que a mangueira foi sendo enrolada.

Nota – se que para a pressão de 250kPa nas mesmas condições de ângulo setorial e comprimento de mangueira desenrolada, a intensidade de aplicação foi superior e tendo seus valores reduzidos para maiores ângulos setoriais.

Esta redução de lâmina também foi observada por Collier e Rochester (1986).

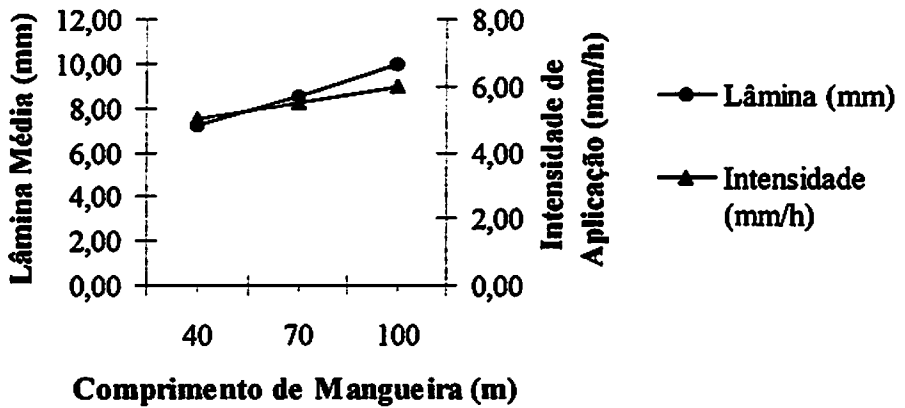


FIGURA 3. Variação da lâmina d'água e intensidade de aplicação, em função do comprimento de mangueira desenrolada para o ângulo setorial de 360° e pressão de serviço de 200kPa.

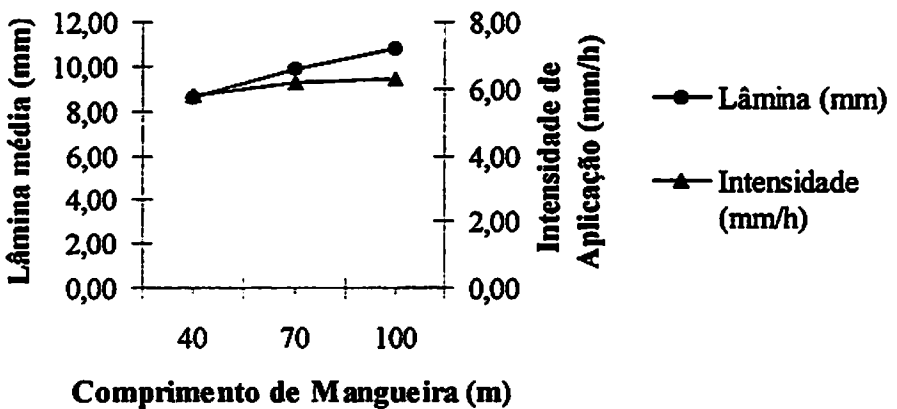


FIGURA 4. Variação da lâmina d'água e intensidade de aplicação, em função do comprimento de mangueira desenrolada para o ângulo setorial de 345° e pressão de serviço de 200kPa.

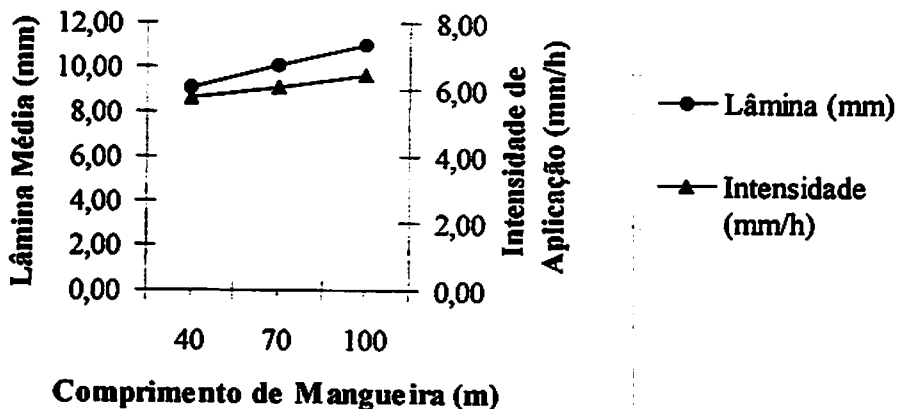


FIGURA 5. Variação da lâmina d'água e intensidade de aplicação, em função do comprimento de mangueira desenrolada para o ângulo setorial de 330° e pressão de serviço de 200kPa.

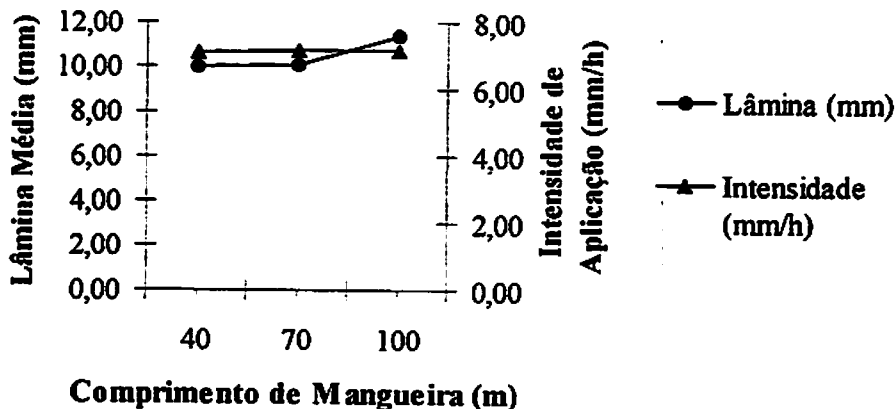


FIGURA 6. Variação da lâmina d'água e intensidade de aplicação, em função do comprimento de mangueira desenrolada para o ângulo setorial de 360° e uma pressão de serviço de 250Kpa.

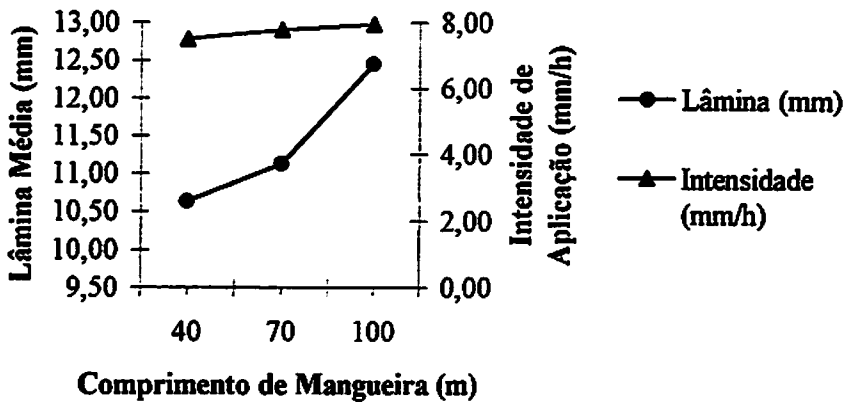


FIGURA 7. Variação da lâmina d'água e intensidade de aplicação, em função do comprimento de mangueira desenrolada para o ângulo setorial de 345° e pressão de serviço de 250Kpa.

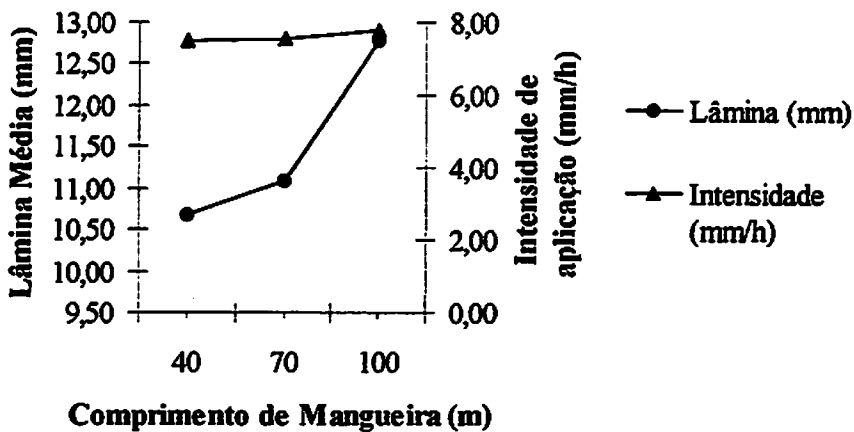


FIGURA 8. Variação da lâmina d'água e intensidade de aplicação em função do comprimento de mangueira desenrolada para o ângulo setorial de 330° e pressão de serviço de 250Kpa.

4.3 Perda de Carga

Nas Figuras 9, 10, 11, 12, 13 e 14, são apresentadas a perda de carga na turbina, a pressão e vazão no aspersor. Verificar-se que em todas as condições estudadas a perda de carga na turbina, tende a diminuir à medida que a mangueira vai sendo enrolada. Esta redução de perda de carga, é devido ao aumento do número de camadas de mangueira enroladas no carretel, que conseqüentemente, torna o carro aspersor mais leve. Vale ressaltar também que o atrito mangueira – solo é reduzido, sendo por isto um menor esforço solicitado da turbina hidráulica. Observou - se também a redução da pressão de serviço e vazão do aspersor à medida que a mangueira vai sendo enrolada, fato este também observado por Charmello (1990). Esta redução na pressão de serviço e vazão, significa que a perda de carga na mangueira vai aumentando à medida que a mesma vai sendo enrolada. Tal fato pode ser devido ao aumento do percurso a ser realizado pela água dentro da mangueira.

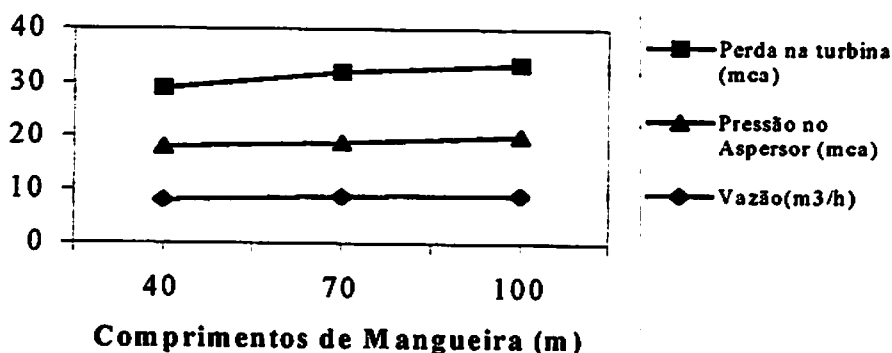


FIGURA 9. Perda de carga pela turbina, Pressão no aspersor e Vazão, para o equipamento operando com uma pressão de serviço de 200kPa e um ângulo setorial de 330°.

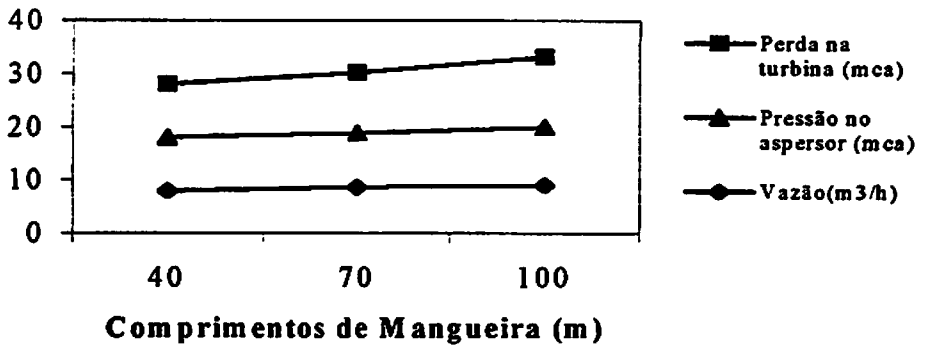


FIGURA 10. Perda de carga pela turbina, Pressão no aspersor e Vazão, para o equipamento operando com uma pressão de serviço de 200kPa e um ângulo setorial de 345°.

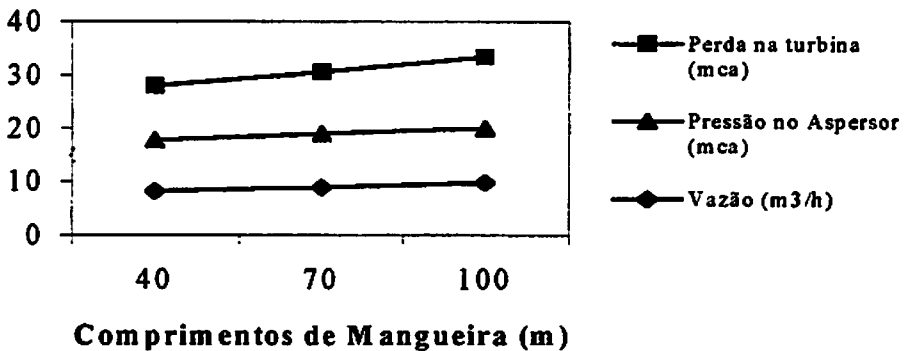


FIGURA 11. Perda de carga pela turbina, Pressão no aspersor e Vazão, para o equipamento operando com uma pressão de serviço de 200kPa e um ângulo setorial de 360°.

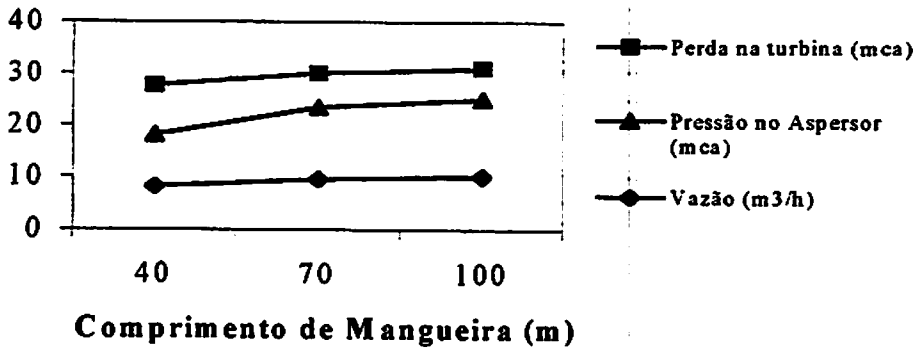


FIGURA 12. Perda de carga pela turbina, Pressão no aspersor e Vazão, para o equipamento operando com uma pressão de serviço de 250kPa e um ângulo setorial de 330°.

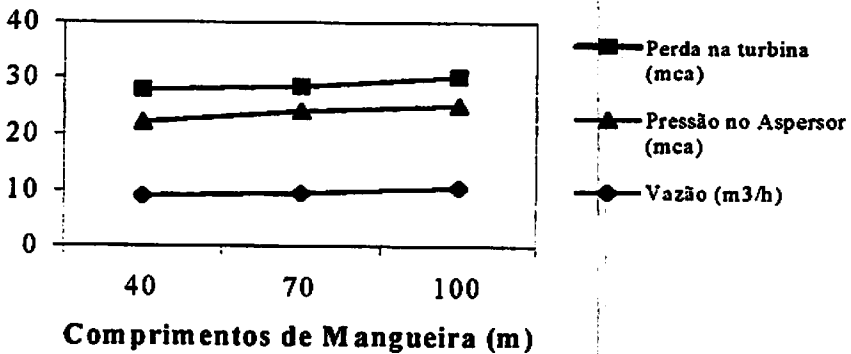


FIGURA 13. Perda de carga pela turbina, Pressão no aspersor e vazão, para o equipamento operando com uma pressão de serviço de 250kPa e um ângulo setorial de 345°.

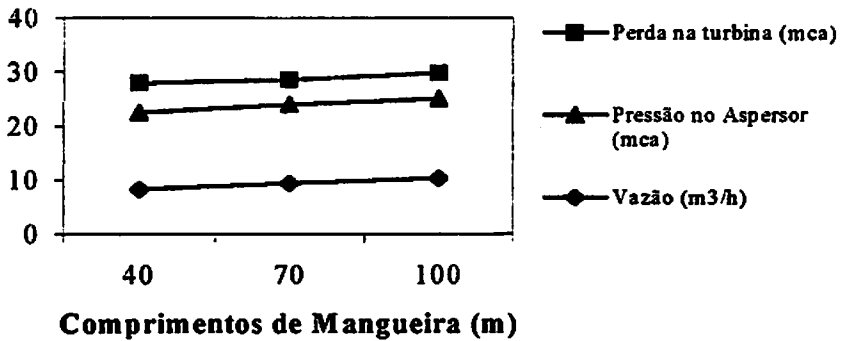


FIGURA 14. Perda de carga pela turbina, Pressão no aspersor e vazão, para o equipamento operando com uma pressão de serviço de 250kPa e um ângulo setorial de 360°.

4.4 Diâmetro de gotas

Com relação ao diâmetro médio de gotas, observa-se pela Figura 15 que houve um aumento dos mesmos com o aumento do raio de alcance do aspersor avaliado, resultado este obtido para as duas pressões de serviço testadas 200 e 250kPa. Os diâmetros médios representativos de cada posição estudada foram de 0,875; 0,986; 1,110; 2,340; 3,450 e 4,860 mm, respectivamente, para a pressão de serviço de 200kPa e 0,75; 0,90; 1,00; 1,10; 3,08 e 4,07 mm, respectivamente, para a pressão de serviço de 250kPa. Com base nos diâmetros aqui apresentados, nota-se que para a pressão de serviço de 250kPa, os diâmetros médios de gotas, são em valores, menores que os diâmetros médios observados para a pressão de serviço de 200kPa, fato este que é explicado pela maior pulverização do jato de água proporcionada por uma

pressão maior.

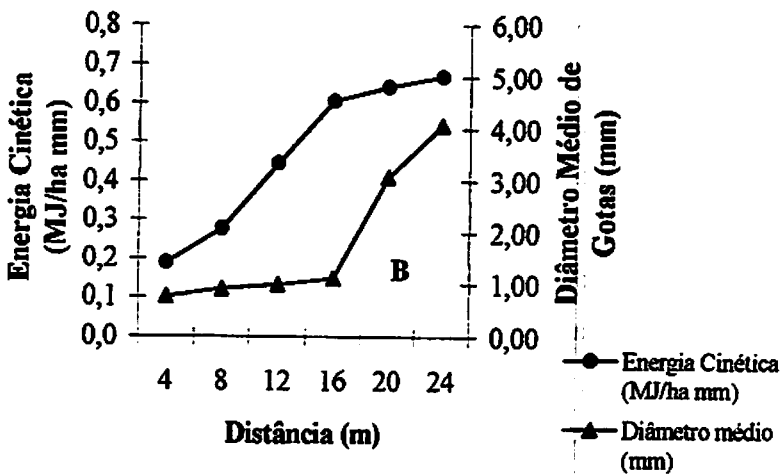
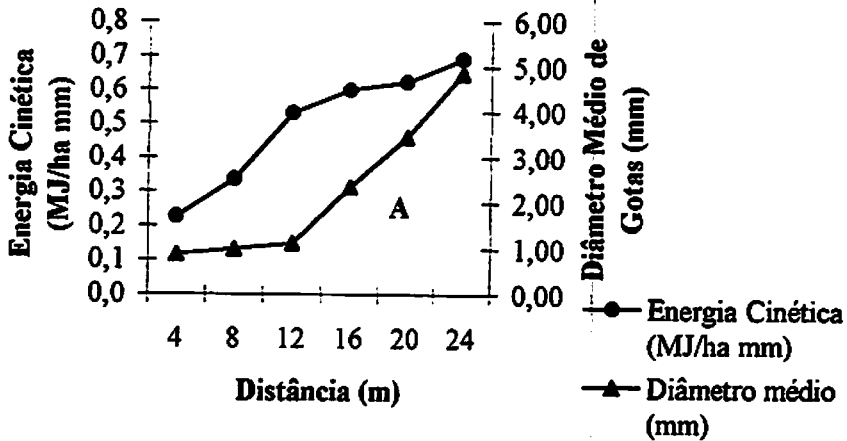


FIGURA 15. Variação do diâmetro médio de gotas e da energia cinética, com o aumento do raio de molhamento do aspersor, para as pressões de serviço de 200kPa (A) e 250kPa (B).

Verifica-se também que a energia cinética das gotas produzidas aumenta do aspersor para a periferia de sua área molhada, mesma tendência obtida por Vilela (1995), deste fato o que se pode observar é que gotas maiores possuem massas maiores e velocidades terminais também maiores.

Observou – se que, independente da pressão de serviço até a distância de 8m, ocorreu a formação de gotas de diâmetro menor que 1mm e que aos 24m, ocorreu a formação de gotas de diâmetro maior que 4mm, o que, segundo Ollita (1977), é desaconselhável, pois, de acordo com este autor, causaria uma faixa mau irrigada próximo ao aspersor, um maior risco de erosão do solo e danos físicos provocados às plantas na extremidade do jato de água.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos na avaliação deste equipamento de irrigação autopropelido, conclui-se que:

Menores valores da, lâmina média, intensidade de aplicação e perda de carga na turbina, foram obtidos à medida que a mangueira era enrolada.

Os valores de CUC:

Aumentaram até um comprimento de 70m de mangueira desenrolada, diminuindo em seguida.

Diminuíram com o aumento do ângulo setorial

Aumentaram com o aumento da pressão de serviço

Em condições de sobreposição, os maiores ângulos setoriais proporcionaram menores valores de CUC.

A perda de carga na turbina diminuiu à medida que a mangueira foi enrolada.

A perda de carga na mangueira aumentou à medida que a mangueira foi enrolada .

O diâmetro de gotas e a energia cinética das gotas aumentaram à medida que se reduziu a pressão e que se aumentou a distância do aspersor para o fim do jato de água.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASBRASIL. Irrigação por aspersão. ASBRASIL Nordeste irrigação Ltda. , 1981. 89 p.**
- BERNARDO, S. Manual de irrigação. 6. ed. Viçosa: UFV, Impr.Univ. 1995. 596 p.**
- BRIDI, S. Análise de uniformidade da distribuição de água em sistema de pivô central. Viçosa: UFV, Impr. Univ. , 1984. 87 p. (Tese de mestrado)**
- CARVALHO, J. A. Tamanho de gotas e uniformidade de distribuição de água de dois aspersores de média pressão. Viçosa : UFV. 1991. 73p. (Tese - Mestrado em irrigação e Drenagem).**
- CHARMELO, L.C.L. Desempenho de um sistema de irrigação autopropelido, sob diferentes condições operacionais. Viçosa : UFV, Impr. Univ. , 1990. 50p. (tese de mestrado).**
- COLLIER, R.L. , ROCHESTER, E.W. Water application uniformity of hose towed traveler irrigators. Trans. of the ASAE, v.23, n.5, p. 1135 - 1138, 1986.**
- COLOMBO, A. Simulação do desempenho de um equipamento autopropelido de irrigação. Piracicaba: ESALQ, 1991. 120p. (Tese de mestrado).**

- DILLON, R.C. , HILLER, E.A., VITTETOE, R. Center - pivot sprinkler desing based on intake characteristics. Trans. of the ASAE, v.15, n5, p. 996 - 1001, 1972.
- ELLISON, W . D. Studies of raindrop erosion. Agricultural Engineering , St Joseph , v.25, n.4, p . 131 - 136, Apr., 1944.
- GRANT, T. W., ANDERSON, W.C., ROCHESTER, E.W. Constant and variable operating - angle sprinklers for traveler irrigators. Trans. of the ASAE, v.27, n.4, p. 1106 -1010, 1984.
- JENSEN, M.E., SWANER, L.R., PHELAN, J.T. Improving irrigation efficiencies. In: HAGAN, R.M., HAISE, J.R., EDMINSTER, T.W. (eds.) Irrigation of agricultural lands. Madison: American Society of Agronomy, 1967. p. 1120 -42 (Agronomy II).
- INTERNATINAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Switzeland.
ISO 8224 / 1; Traveller irrigation machine – Part 1 : Laboratory and field test methods . Switzeland , 1985 . 9p
- INTERNATINAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Switzeland.
ISO 8224 / 2; Traveller irrigation machine – Part 2: Softwall hose couplings – Test methods. Switzeland , 1991 . 9p
- KOHL, R. A. Drop size distribution from medium agricultural sprinklers. Tansactions of ASAE, St Joseph, v. 17, n.4, p. 690 - 693, July/ Aug. 1974.

- LOPEZ, J. Riego por aspersion. Petrolina, SUDENE: Convênio MINTER – IIGA, julho, 1975.**
- MERRIAN, J. L., KELLER, J., ALFARO, J. Irrigation system evaluation and improvement. Logan: Utah State University, 1973. 164 p.**
- MERRIAN, J. L., KELLER, J. Farm irrigation system evaluation: a guide for management . Logan: Utah State University, 1978. 271 p.**
- MELO, L. J. V., DEL PINO, M. A. I. T., SILVEIRA, R. C., PEREIRA, G. M., LIMA, L. A., Caracterização Hidráulica e de Distribuição de Água do Canhão Hidráulico Skipper. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26, Campina Grande, 1997 . Anais ... Campina Grande : UNESP. 1997. v. 1.**
- OAKES, P.L., ROCHESTER, E.W. Energy utilization of hose towed traveler irrigators. Trans. of the ASAE, v. 23, n5, p. 1131 - 1134, 1986.**
- OLITTA, A.F.L. Os métodos de irrigação. São Paulo: Livraria Nobel S.A., 1977. 267 p.**
- PEREIRA, G. M., LIMA, L. A., MUNIZ, J. A. Impacto da irrigação por aspersão sobre a queda de flores do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e sobre o salpico do solo. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25, Bauru, 1996 . Anais ... Bauru : UNESP. 1996. V. 1 , p. 227.**

- ROCHESTER, E.W.** Position requirements for mid - field start with traveler irrigation. *Trans. of the ASAE*, v.26, n.6, p. 1744 - 1746, 1952.
- ROSA, J. P.** Avaliação do desempenho de um sistema de irrigação micro – autopropelido em diferentes condições de operação Viçosa: UFV, Impr. Univ., 78 p. 1986. (Tese M.S.) .
- SCARDUA, R. , LEME, E.J. de A.** Determinação da uniformidade e eficiência da irrigação por aspersão com equipamento autopropelido em projetos de irrigação em cana - de - açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS DO BRASIL, I. Maceió , 1979. *Anais...*, Maceió, 1979. p. 286 - 290.
- SHULL, H., DYLLA, A.S.** Traveling boom sprinkler operation in wind. *Trans. of the ASAE*, v. 22, n.3, p. 537 - 539, 1979.
- VILELA, L, A.** Avaliação do impacto de gotas sobre a superfície de um latossolo vermelho escuro irrigado por aspersão. Lavras : UFLA. 1995. 76p. (Tese – Mestrado em irrigação e Drenagem).

ANEXOS

ANEXO A	Página
TABELA 1A	Índice de Tanda.....40
LISTAGEM 2A	Descrição do Software utilizado no cálculo da velocidade terminal das gotas.....41
TABELA 3A	Exemplo do Cálculo da energia cinética das gotas.....44

**TABELA 1B. Valores médios de CUC para as condições de
0, 50 e 70% de sobreposição do jato de água.....46**

TABELA 1A Índice de Tanda

Grau de Pulverização	Chuva	Sensibilidade	Adequação
< 3	Grossa	Insensíveis	Pastagens
3,1 – 5,0	Semi – grossa	Pouco sensíveis	Cana
5,1 – 5,5	Semi – fina	± Sensíveis	Fruteiras
5,6 – 6,0	Fina	Sensíveis	Feijão, flores
> 6	Finíssima	Muito sensíveis	Hortaliças

LISTAGEM 2A. Software desenvolvido para a calculadora hp 48G, para o cálculo da velocidade terminal das gotas.

```

>
"TRAJETÓRIA DA GOTA"
{"D:" "DIÂMETRO DA GOTA (MM) ?" 0}
{"A" "ÂNGULO DE ARREMESSO (GRAUS) ?" 0}
{"PS" "PRESSÃO DE SERVIÇO (MCA) ?" 0}
{"ZA" "ALTURA DO ASPERSOR" 0}
}}}}
INFORM
IF 1 ==
THEN
OBI ← DROP
9,80665 . 01 0
,T' STO , DT' STO , G' STO , ZA' STO , PS' STO , PS' STO , A'
STO , D' STO
.804 . 264 D * -. 066 D 2 * + .004 D 3 * - . 1.109 / D / 'C2' STO
.972 G * PS * .5 * 'V0' STO
0 , X' STO ZA , Y' STO
DO
V0 1 FM - 'V' STO
1 XY
UNTIL V0 1 FM - 0 ≤
END
Y , ZM' STO 0 , V0' STO
DO
V0 2 FM + 'V' STO
2 XY
UNTIL Y ZA ≤
END
3,14159265359 D 3 √ 12 / V SQ * 'E' STO
CLLCD
"RESULTADOS" 1 DISP
"X(m) = " X 3 RND ← STR + 3 DISP
"ZM(m) = " ZM 3 RND ← STR + 4 DISP
"T(s) = " T 2 RND ← STR + 5 DISP
"V(m/s) = " V 3 RND ← STR + 6 DISP
"Ec(m) = " E 1 RND ← STR + 7 DISP
3 FREEZE
END

```

Continuação da listagem 2A

{ D A P S Z A G D T C 2 Y V 0 }

>>

Armazene-a na variável TRAJ.

PRCEDURES

<<

→ f

<<

C2 SQ V0 4 ^ * 2 C2 * V0 SQ * A SIN * G *

IF f 1 == THEN + ELSE - END

G SQ + . 5 ^ DT *

>>

>>

Armazene-a na variável FM.

<<

→ f

<<

V0 V + 2 / → vm

<<

vm A COS * DT * 'X' STO +

vm A SIN * DT *

IF f 2 == THEN NEG END

'Y' STO + V 'V0' STO

DT 'T' STO +

>>

>>

>>

Armazene-a na variável XY.

Obs : 1) As variáveis globais TRAJ, FM, e XY devem estar no mesmo diretório.

2) Executa-se o programa acessando a variável TRAJ.

Exemplo:

Diâmetro da gota (D) : 1mm

Ângulo de arremesso (A) : 45 graus

Pressão de serviço (PS) : 25 mca

Altura do aspersor (ZA) : 1m

Resulta:

Alcance horizontal (X) = 4,267m

Alcance vertical (Z) = 3,116m

Tempo de percurso (t) = 1,43s

Velocidade final (v) = 8,996 m/s

TABELA 3 A. Exemplo de determinação da energia cinética.

Peneira (mm)	Número de grânulos (ud)	Peso líquido (g)	Peso Unitário (mg)	Diâmetro (mm)	Diâmetro médio da classe (mm)	Massa (Kg x 10 ⁻⁵)	Velocidade (m/s)	Volume (l x 10 ⁻⁴)	Energia cinética (MJ/ha mm)
0,425	1756	0,158	0,090	0,452	0,452	0,005	6,435	0,849	0,001
0,600	1435	0,402	0,280	0,684	0,568	0,010	7,100	1,377	0,002
0,850	1247	0,686	0,550	0,875	0,779	0,025	7,941	3,089	0,005
1,000	1089	0,839	0,770	0,989	0,932	0,042	8,070	4,611	0,007
1,180	875	1,190	1,360	1,216	1,103	0,070	8,527	6,141	0,011
1,700	634	2,035	3,210	1,663	1,430	0,156	9,003	9,911	0,019
2,000	506	4,195	8,290	2,350	2,007	0,423	9,635	21,417	0,048
2,800	312	6,830	21,890	3,348	2,849	1,211	10,316	37,793	0,097
3,360	201	5,278	26,260	3,578	3,463	2,175	10,706	43,712	0,120
4,000	115	3,596	31,270	3,813	3,695	2,642	10,751	30,388	0,084
4,750	87	3,230	37,130	4,059	3,936	3,193	10,808	27,780	0,078
5,650	54	2,385	43,170	4,324	4,192	3,857	10,874	20,826	0,059
Mediana=				1,663	Total=			207,893	0,531
Media=				2,093	Lâmina=	0,6618mm			
					Área de=	0,031415 m²			
					coleta				



Obs: 1) Os diâmetros de gotas foram obtidos à partir da curva de calibração desenvolvida por Vilela (1995).

2) Considerou-se para o cálculo da energia cinética, a área do anel coletor de 20 cm de diâmetro que foi introduzido no centro das bandejas. A velocidade terminal das gotas, foi obtida através do programa apresentado no Anexo 2A

TABELA 1B. Valores médios de CUC para as condições de 0, 50 e 70% de sobreposição do jato de água.

Pressão de Serviço (kPa)	Ângulo Setorial (Graus)	Sobreposição		
		0%	50%	70%
200	330	78,3	81,35	79,76
	345	76,13	78,56	79,00
	360	73,24	75,77	73,34
250	330	81,18	83,98	84,34
	345	79,81	81,87	82,45
	360	77,47	79,23	77,65