

MARCONI BATISTA TEIXEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO DE  
VAZÃO E DE METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA  
IRRIGAÇÃO POR PIVÔ CENTRAL EQUIPADO COM LEPA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2003

MARCONI BATISTA TEIXEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO DE VAZÃO E  
DE METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA IRRIGAÇÃO POR PIVÔ  
CENTRAL EQUIPADO COM LEPA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

APROVADO: 10 de fevereiro de 2003

---

Prof. Márcio Mota Ramos  
(Conselheiro)

---

Prof. Rubens Alves de Oliveira  
(Conselheiro)

---

Dr. Maurício Bernardes Coelho

---

Dr. José Geraldo Ferreira da Silva

---

Prof. Evaldo Chartuni Mantovani  
(Orientador)

Aos meus pais Antônio e Ivone.

Dedico.

Ao Prof. Everardo C. Mantovani

“Pessoa Iluminada”

Agradeço.

Ao meu grande amor, Délia.

Ofereço.

## AGRADECIMENTO

A Deus, pela constante em todas minhas dificuldades e fraquezas.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), por intermédio do Departamento de Engenharia Agrícola e do Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, pela oportunidade de realizar este treinamento.

Ao Programa Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento do Café e ao Núcleo de Cafeicultura Irrigada, por ter financiado este trabalho.

À VALMONT Indústria e Comércio Ltda, por ter cedido um pivô central para a UFV para geração de pesquisa. Um agradecimento especial ao Diretor Presidente da Empresa Bernhard Kiep e principalmente ao Eng. Agr. Marcus Schmidt por sua amizade, e por não medir esforços para estreitar os laços de união entre a empresa e a universidade, contribuindo imensamente para o desenvolvimento de pesquisas aplicadas a necessidade do mercado.

Aos meus pais, a minha gratidão é pequena , diante da grandeza do que vocês fizeram por mim. Meu muito obrigado de coração.

A minha namorada, por ter abraçado este sonho junto comigo, por ter suportado minha ausência em momentos importantes, pelas palavras de incentivo e gesto de compreensão quando era preciso.

Aos meus irmãos, por todo o incentivo e apoio cheio de entusiasmo.

A Everardo Chartuni Mantovani, por todas as oportunidades concedidas, pelos valiosos ensinamentos e apoio em momentos importantes e pela honra de poder chamá-lo de amigo.

Aos professores Márcio Motta Ramos e Rubens Alves de Oliveira, que foram meus mestres na arte de fazer uma dissertação e tornaram-se meus grandes amigos durante esta trajetória.

Ao professor Walter Yoshizo Okano, pela sua belíssima orientação, despertando em mim o gosto pela pesquisa.

A Edson Carlos Schwambach, pela paciência, incentivo e por ter sido meu professor de aula prática, dando-me valiosos ensinamentos sobre a cultura do café.

A Tia Ninita e meu tio Eugênio, que possibilitaram que este sonho fosse concretizado, sem esperar nada em troca, vocês apoiaram de forma incondicional o desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu tio Joaquim (Kinka), pelo valioso apoio em momentos importantes. A tia Conceição e tia Aparecida, meu sincero agradecimento pelo apoio.

Aos tios Eloísio e Geraldo, por ser exemplos de dedicação e determinação.

As minhas amigas eternas, Cláudia, Rosinha, Márcia, Mirinha, Kelle Ane e tia Cláudia, por todo o apoio e amizade.

A “Chicão” pela valiosa contribuição para o desenvolvimento do Dispositivo de medição de vazão, sua amizade e apoio foram fundamentais.

A Ricardo S. S. Amorim por ter se mostrado um bom amigo e ter despendido seu precioso tempo para me auxiliar na análise estatística dos dados.

A Edson pela amizade e auxílio valioso para a elaboração das calhas, meus sinceros agradecimentos.

A Darik e Alexandre, pelo apoio incondicional para o bom desenvolvimento de todo o trabalho, pela paciência e companheirismo em momentos importantes.

Aos meus amigos do Projeto Café Marcelo, Adilson, Adjalma, Luiz Fabiano, Magrão, Hiran e Maíra, pela paciência, incentivo e colaboração.

A Luiz “Guinho”, pelo apoio na coleta de dados e amizade.

A Cleiber pela brilhante colaboração para o bom desenvolvimento deste trabalho.

A Guilherme Ferreira, Rafael, Jean e Marlos pelo apoio técnico e amizade.

Aos funcionários do DEA e Laboratório de Hidráulica Edna, Marcos, Galinari, Zé Mauro e Sr. Antônio pela colaboração e amizade.

A todos que contribuíram, de forma direta ou indireta, para a realização deste trabalho.

A todos vocês, dedico esta obra.

## **BIOGRAFIA**

MARCONI BATISTA TEIXEIRA, filho de Antônio Darcy Teixeira e Ivone Batista Teixeira, nasceu na cidade de Caratinga, MG, em 20 de março de 1976.

Em 1995, iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa, graduando-se em março de 2001.

Foi bolsista de Iniciação Científica (FAPEMIG), no período de março de 1998 a fevereiro de 1999, no projeto de Análise da estrutura e dinâmica da comunidade zooplancônica da Represa do Belvedere, Viçosa, MG. Após o encerramento deste projeto, começou a estagiar com a equipe do Projeto-Café sob a orientação do Prof. Everardo C. Mantovani, tornando posteriormente bolsista de Iniciação Científica do Programa Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento do Café vinculado ao Consórcio Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento do Café, durante o período de março de 2000 a fevereiro de 2001.

Em 2001, iniciou o curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, com área de concentração em Irrigação e Drenagem, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em fevereiro de 2003. Neste mesmo período, foi bolsista do Programa Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento do Café vinculado ao Consórcio Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento do Café.

## ÍNDICE

RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. A cafeicultura irrigada no Brasil	4
2.2. Uniformidade de aplicação de água	5
2.3. Irrigação por pivô central	11
2.4. Manejo de irrigação	15
2.5. Programa computacional AVALIA	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1. Desenvolvimento do dispositivo	17
3.2. Avaliação do uso de reguladores de pressão no controle da vazão	21
3.3. Utilização em campo do dispositivo e estudos quanto ao número ...	23
3.3.1. Avaliações dos sistemas	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1. Importância da utilização do dispositivo	31
4.2. Uso de reguladores de pressão no controle da vazão	32
4.3. Detalhes técnicos das avaliações dos sistemas	34
4.3.1. Uniformidade de aplicação de água dos sistemas avaliados	37

5. RESUMO E CONCLUSÕES	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
ANEXO	57

## RESUMO

TEIXEIRA, Marconi Batista, M.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2003. **Desenvolvimento de um dispositivo de medição de vazão e de metodologia para avaliação da irrigação por pivô central equipado com LEPA.** Orientador: Everardo Chartuni Mantovani. Conselheiros: Rubens Alves de Oliveira e Márcio Mota Ramos.

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de propor uma metodologia para avaliação de um sistema de irrigação por pivô central equipado com emissores do tipo Lepa. Um dispositivo para medição da vazão do emissor Lepa foi desenvolvido para operar em condições de campo. As medições de vazão foram feitas em todos os bocais, com os pivôs posicionados em aclave e em declive. Em seguida, determinou-se a percentagem de emissores (100, 50, 33, 25 ou 10%) a ser avaliados para otimizar o tempo de coleta, sem comprometer os coeficientes de uniformidade. Os testes para o desenvolvimento do dispositivo e das metodologias propostas para avaliação de pivô central equipado com emissor tipo Lepa, foram realizados na Área de Observação e Pesquisa em Cafeicultura Irrigada (PNP&D-Café/DEA-UFV/VALMONT), localizada no município de Paula Cândido, Minas Gerais. Com o intuito de comprovar a praticidade do dispositivo desenvolvido e as metodologias propostas, foram avaliados seis sistemas de irrigação localizados nos municípios de Patrocínio, Estrela do Sul e Uberlândia, na região do Triângulo Mineiro. Foram avaliados os seguintes

parâmetros: velocidade de deslocamento do pivô central; pressões na bomba, no ponto do pivô e no último emissor; evaporação; velocidade do vento; e vazão para cada emissor, ao longo da linha lateral. Os resultados das medições de campo permitiram observar a efetividade do dispositivo de avaliação, que viabiliza medições das vazões individuais dos emissores em condições de campo. De acordo com os resultados não há necessidade de medir a vazão de todos os emissores para avaliação dos coeficientes de uniformidade de Christiansen e de distribuição, podendo-se avaliar somente 50% dos emissores, pois, esta metodologia não diferiu significativamente da metodologia usada para avaliar todos os emissores. A metodologia proposta para avaliar 10% dos emissores diferiu estatisticamente da metodologia padrão. Vale ressaltar, a importância da realização de futuros estudos no sentido de verificar a real contribuição desta metodologia.

## ABSTRACT

TEIXEIRA, Marconi Batista, M.S., Universidade Federal de Viçosa, February 2003. **Developing a flow rate measuring device and a methodology for evaluating the irrigation by a central pivot equipped with Lepa** Adviser: Everardo Chartuni Mantovani. Committee Members: Rubens Alves de Oliveira e Márcio Mota Ramos.

A study was carried out to propose a methodology for evaluating the irrigation system by central pivot equipped with Lepa-type emitters. A device for measuring the flow rate of the Lepa emitter was developed to operate under field conditions. The measurements of the flow rate were performed in all nozzles with the central pivots positioned at acclivity and slope. Then, the percentage of the evaluated emitters (100, 50, 33, 25 and 10%) were determined in order to optimize the collection time without committing the uniformity coefficients. The tests for the development of the device and the methodologies proposed to evaluate the central pivot equipped with the Lepa-type emitter were conducted at the Irrigated Coffee growing Research and Observation Area (PNP&D-Café/DEA-UFV/VALMONT), located in Paula Cândido county, Minas Gerais State. To verify the feasibility of the developed device and the proposed methodologies, six irrigation systems located at counties Patrocínio, Estrela do Sul, and Uberlândia, in Triângulo Mineiro region were evaluated. The following

parameters were evaluated: the central pivot displacement speed; pump pressures at the pivot point and in last emitter; evaporation; wind speed; and flow rate from each emitter along the lateral line. The results of the field measurements allowed to observe the effectiveness of the device, that makes possible to measure the individual flow rates of the emitters under field conditions. According to the results, there is no need for measuring the flow rate from all emitters to evaluate the Christiansen uniformity coefficients and the distribution coefficients, and just the evaluation of 50% emitters is enough since this methodology did not significantly differ from the methodology addressed to the evaluation of all emitters. The methodology proposed the evaluation of 10% emitters statistically differed from the pattern methodology. It is worth to emphasize the importance of future studies to verify the real contribution of this methodology.

## 1. INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada ocupa, atualmente, 17% das terras mundialmente cultivadas, respondendo por cerca de 36% do alimento produzido (ONGLEY, 1996). Segundo PAZ et al. (2000), a agricultura irrigada consome 70% do total de água utilizada pelo homem. Esta demanda tem tendência ao crescimento, evidenciando a necessidade de os irrigantes manejarem este recurso com maior eficiência, pois, as reservas de água doce estão cada vez mais escassas.

Dentre as vantagens atribuídas à irrigação na cultura do café, citam-se a criação de um ambiente mais favorável ao desenvolvimento do cafeeiro; redução de riscos e a utilização de áreas climaticamente marginais à cultura que, associadas ao manejo adequado, resultam em maior produtividade e rentabilidade.

Numa visão integrada, o conceito de manejo da irrigação amplia-se para manejo da agricultura irrigada, quando pontos importantes relacionados com o manejo da irrigação são considerados, tais como: avaliação e ajuste do sistema de irrigação, verificação da eficiência da irrigação, etapas e cuidados na implantação da quimigação (fertirrigação e demais aplicações de produtos químicos via água), cultura (espaçamento, tratos culturais, época de plantio, programação da colheita), ampla utilização das informações climáticas, previsão de produtividade, dentre outras (MANTOVANI, 2000).

O pivô central é um equipamento de irrigação amplamente utilizado no Brasil, onde seu uso abrange 650.000 ha, o que representa cerca de 20% da área total irrigada (CHRISTOFIDIS, 2002). Na cafeicultura sua utilização concentra-se nas regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba em Minas Gerais, Norte do Espírito Santo e Oeste da Bahia. Nestas regiões, a expansão da cafeicultura irrigada é crescente, porém nem sempre os equipamentos são dimensionados e manejados corretamente.

A necessidade de otimizar o uso de água e de energia elétrica levou ao desenvolvimento de novos emissores, como o Lepa (low energy precision application, ou aplicação precisa de água com baixo consumo de energia). Tais emissores apresentam amplas possibilidades de irrigação de diversas culturas, sendo que, no Brasil, tem-se restringido à cultura do cafeeiro em plantio circular.

Devido às características de aplicação de água de forma localizada e por ser um sistema recentemente desenvolvido, existem controvérsias quanto à economia de água proporcionada pela utilização dos emissores do tipo Lepa. Há necessidade de estudos quanto à metodologia para avaliação da uniformidade de aplicação de água, em sistemas de pivô central equipado com esses emissores.

O desenvolvimento de uma metodologia para avaliar de forma segura a uniformidade de aplicação de água, proporcionada pelo pivô central equipado com Lepa, é de fundamental importância para o adequado dimensionamento e manejo em condições de campo.

Visando estabelecer uma metodologia para avaliação da uniformidade de aplicação de água, em sistemas de irrigação por pivô central equipado com emissores tipo Lepa, este trabalho foi realizado com os seguintes objetivos:

- Desenvolver um dispositivo, que permita coletar a água aplicada por sistemas pivô central equipado com emissores do tipo Lepa.
- Avaliar a utilização deste dispositivo.
- Avaliar o efeito do uso de reguladores de pressão no controle da uniformidade de aplicação de água pelo emissor do tipo Lepa.

– Adequar uma metodologia de coleta de dados, que permita avaliar a uniformidade de aplicação de água de sistemas pivô central equipados com emissores do tipo Lepa.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. A cafeicultura irrigada no Brasil**

No Brasil, a cafeicultura desenvolveu-se em regiões onde os riscos de ocorrer deficiência hídrica, durante períodos críticos da cultura são mínimos. Recentemente, a cafeicultura expandiu-se para regiões que apresentam maiores riscos e períodos extensos de deficiência hídrica, como o Triângulo Mineiro e o Alto Paranaíba, em Minas Gerais, o Norte do Espírito Santo e as regiões sul e oeste da Bahia. Nestas regiões, a irrigação é essencial para garantir a produção e proporcionar elevadas produtividades.

As condições edafoclimáticas do sudoeste e oeste baiano têm proporcionado altos índices de produtividade da cultura, sendo que atualmente a Bahia é o novo pólo da cafeicultura irrigada, graças ao apoio governamental e ao baixo preço das terras.

Nas áreas de cerrado de Minas Gerais, 80 a 90% do total anual de precipitações concentra-se no período de outubro a abril (LUCHIARI JÚNIOR et al., 1986), coincidindo com as fases de crescimento vegetativo e frutificação do cafeeiro; entretanto, nesta época, podem ocorrer longos períodos de estiagem e veranicos.

O veranico tem menor efeito sobre o cafeeiro, quando comparado às culturas anuais, por ter um sistema radicular mais desenvolvido. No entanto, em condições de cerrado, seu efeito pode ser sentido, em razão de esses solos apresentarem baixa capacidade de retenção de água (LOPES, 1984). Nessas condições, a irrigação suplementar é utilizada para elevar a umidade do solo próximo à capacidade de campo, nos períodos de veranico coincidentes com as fases críticas de déficit hídrico do cafeeiro.

## **2.2. Uniformidade de aplicação de água**

A variabilidade da lâmina de água aplicada à superfície do solo pode ser medida, sendo comum expressá-la por coeficientes de uniformidade.

Em razão da crescente necessidade de racionalização do uso dos recursos hídricos, da competitividade pelo uso da água, dos custos de energia e insumos e da estabilização dos preços dos produtos agrícolas, os sistemas de irrigação devem ser dimensionados de modo a obter uma aplicação uniforme de água, enquanto o manejo deve ser conduzido no sentido de maximizar a eficiência de uso.

A uniformidade de distribuição tem impacto na eficiência da irrigação, a qual caracteriza-se pela quantidade de água necessária ao desenvolvimento e rendimento de determinada cultura. BERNARDO (1995) afirma que a uniformidade da irrigação tem efeito no rendimento das culturas, sendo considerada um dos fatores mais importantes na operação de sistemas de irrigação. A desuniformidade de distribuição gera áreas com déficit e áreas com excesso de umidade, mas a melhoria na uniformidade de aplicação está associada a um aumento nos custos de instalação, operação e manutenção dos sistemas.

A desuniformidade pode afetar os parâmetros, que descrevem a eficiência da irrigação (HOWELL, 1964a). Algumas medidas de eficiência quantificam fisicamente a irrigação, por terem relação com o volume de água aplicado, o que é importante devido aos custos da água e da energia. As medidas

de eficiência dependem da uniformidade e da forma pela qual o sistema é operado (FRIZZONE, 1992).

Uma das etapas básicas na implantação ou manejo de um projeto de irrigação consiste em determinar a uniformidade de distribuição da água de irrigação, pois esta é o melhor indicativo da qualidade da irrigação. Muitas vezes, a qualidade de uma irrigação é verificada por meio da uniformidade com que a água é aplicada. Vários coeficientes foram desenvolvidos com a finalidade de quantificar a uniformidade de aplicação da água.

Christiansen, em 1942, propôs uma forma de avaliação da uniformidade de distribuição da água para um sistema de aspersão, empregando uma equação que avalia a uniformidade de aplicação, com base na média dos desvios absolutos em relação à média dos valores obtidos de precipitação.

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

em que

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen, em %;

$\bar{L}$  = lâmina média coletada, em mm;

$L_i$  = lâmina coletada nos pluviômetros de ordem  $i$ , em mm;

$|L_i - \bar{L}|$  = valor absoluto dos desvios, em mm; e

$n$  = número de observações.

Na equação desenvolvida por Christiansen está intrínseco que cada coletor representa áreas de mesmo tamanho, uma vez que foi desenvolvido para sistemas de aspersão convencional. Isto não ocorre em sistema do tipo pivô central, em que os coletores são equidistantemente espaçados ao longo de uma linha radial, que parte do ponto central do pivô para a extremidade. Dessa forma, HEERMANN e HEIN (1968) redefiniram o coeficiente de uniformidade de Christiansen, para sistemas do tipo pivô central, ponderando as lâminas coletadas

em relação à área representada por cada coletor, segundo a seguinte equação ajustada:

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

em que

$S_i$  é a distância do centro de rotação do pivô ao ponto  $i$ , em m.

Para medir a uniformidade de distribuição de água de irrigação é, também, usado o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD). A avaliação da distribuição baseia-se na razão entre a média das 25% menores lâminas coletadas (menor quartil) e a média geral de precipitações. Segundo a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) (1985), o CUD é uma medida de distribuição da água de irrigação que utiliza a quarta parte da área irrigada total que recebe menos água. Este coeficiente é recomendado pelo Departamento de Agricultura dos EUA, para a avaliação da uniformidade de distribuição da água aplicada pelos sistemas de irrigação por aspersão (SANTOS, 1988).

Do mesmo modo que o CUC, o coeficiente de uniformidade de distribuição também foi ajustado (HEERMANN & HEIN, 1968) para os sistemas de irrigação do tipo pivô central, sendo definido pela equação:

$$CUD = 100 \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^q LiSi}{\sum_{i=1}^q Si} \bigg/ \frac{\sum_{i=1}^n LiSi}{\sum_{i=1}^n Si} \right) \quad (3)$$

em que

$q$  = elemento da série crescente correspondente à soma de  $\frac{1}{4}$  das lâminas coletadas.

O valor numérico de CUC é, geralmente, maior que o do CUD. Valores baixos de CUC ou de CUD indicam grandes perdas por percolação, quando comparados a uma irrigação adequada. Para o sistema pivô central, recomenda-se: um CUC maior ou igual a 88%, para culturas com alto valor comercial ou sistema radicular raso; um CUC entre 80 e 90%, para cultivar com sistema radicular médio; e um CUC de 75 a 85% para cultivares com sistema radicular profundo. O valor mínimo recomendado para o CUD, em sistemas do tipo pivô central, é de 70% (BERNARDO, 1995).

De acordo com RING e HEERMANN (1978), é necessário determinar, periodicamente, o desempenho de um sistema de irrigação, a fim de avaliar sua aplicabilidade sob certas condições. A uniformidade de distribuição de água é uma característica, que pode ser usada para comparar sistemas. Uma uniformidade deficiente resulta em áreas irrigadas com excesso ou déficits. A fim de obter a mesma produtividade, um sistema com baixa uniformidade teria que aplicar mais água. Se dois sistemas distribuem a mesma quantidade de água, o sistema com melhor uniformidade tem melhor eficiência no uso de água.

Aplicando-se a lâmina recomendada para um sistema de irrigação com baixa uniformidade, algumas plantas não receberão o volume de água necessário ao seu pleno desenvolvimento, sendo, portanto, necessário aumentar o volume de água aplicada, fazendo com que as demais recebam excesso de água, que se perderá por percolação profunda.

Para sistemas de irrigação por pivô central, o coeficiente mais utilizado é o de Christiansen, modificado por HEERMANN e HEIN (1968).

Os fatores que afetam a uniformidade de distribuição da água em sistemas de irrigação por pivô central podem ser classificados em climáticos e não-climáticos. Os fatores climáticos são: temperatura do ar, umidade relativa e condições locais do vento. Os fatores não-climáticos são aqueles relacionados ao equipamento. Quanto ao equipamento, os fatores são: pressão de operação do

emissor, velocidade e alinhamento da linha lateral do equipamento, espaçamento e altura dos emissores. A redução da altura do emissor, em relação à cultura, é uma técnica muito utilizada para reduzir as perdas por evaporação e deriva. De acordo com JAMES e BLAIR (1984), DENÍCULI et al. (1993) e MIRANDA et al. (1994), a utilização de tubos de descida reduz a sobreposição dos jatos, provocando um decréscimo na uniformidade de aplicação da água. Nos sistemas do tipo pivô central equipados com emissores tipo Lepa, este decréscimo na uniformidade de aplicação da água ocorre, quando a irrigação é aplicada em área total.

Quanto ao método de avaliação, os fatores que influenciam a determinação da uniformidade de distribuição são o espaçamento e o número de linhas radiais de coletores. De acordo com DAVIS (1966), o número de coletores a serem utilizados e o espaçamento entre estes depende da relação entre a quantidade de amostras necessárias para obtenção de um valor preciso e a facilidade e economia na utilização de poucas amostras nos testes. Quanto maior a desuniformidade de um sistema de irrigação, maior será o número de amostras necessárias para obtenção de um valor preciso.

De acordo com LOPEZ (1975), o elemento climático mais importante na aspersão é o vento, sendo, portanto necessário ter uma idéia aproximada sobre sua velocidade, a qual desempenha um papel significativo na eficiência de aplicação. O autor esclarece, ainda, que as altas temperaturas e a baixa umidade relativa do ar diminuem a eficiência do sistema, aumentando as perdas por evaporação.

CHRISTIANSEN (1942) estimou as perdas por evaporação, na irrigação por aspersão, concluindo que tais perdas foram de 10 a 42%, para os testes realizados à tarde, e próximas a 4% para aqueles conduzidos pela manhã. Mesmo não tendo realizado estudos para diferentes condições de clima, o autor concluiu que as perdas são mais elevadas em dias com ventos fortes, quentes e secos. KELLER (1984) reporta que, em condições de baixa demanda evaporativa, as perdas por evaporação e arraste estão entre 5 e 10%, atingindo valores entre 30 e 40%, sob condições de alta demanda.

Um fator a ser considerado no manejo de sistemas por aspersão é o horário das irrigações, uma vez que à noite a velocidade do vento é menor. Por esta razão, é aconselhável alternar as irrigações diurnas e noturnas para uma mesma posição a fim de aumentar a uniformidade de aplicação d'água acumulada de várias irrigações (TARJUELO MARTÍN-BENITO, 1995).

A avaliação do desempenho de um sistema de irrigação é uma etapa fundamental e deve ser realizada antes que qualquer estratégia de manejo de irrigação seja implementada, pois, os resultados obtidos nesta avaliação constituirão a base para se avaliar e adequar o equipamento e a sua utilização, em relação aos requerimentos de água dos cultivos utilizados, considerando-se a eficiência e a uniformidade de aplicação de água do sistema.

A eficiência de aplicação constitui um dos parâmetros mais importantes a ser considerados na elaboração de um projeto. Valores acima ou abaixo da eficiência efetivamente requerida para o projeto podem provocar o insucesso deste, sendo de fundamental importância um bom manejo da irrigação.

O conceito de eficiência abrange dois aspectos básicos, isto é, a uniformidade de aplicação, que reflete a perda por percolação, e as perdas que podem ocorrer durante a operação do sistema (vazamentos, deriva pelo vento e evaporação). Para que a eficiência alcance valores altos, é necessário que as perdas, ocorrendo durante a operação, sejam as menores possíveis e a uniformidade de aplicação seja a maior possível (KELLER & BLIESNER, 1990).

A eficiência, em potencial, de aplicação (Epa) pode ser descrita de duas maneiras. Na primeira delas, descrita por BERNARDO (1995), a eficiência é medida diretamente no campo, por meio das perdas por evaporação e arraste pelo vento, fornecendo um valor momentâneo para as condições em que o teste foi realizado. A segunda, descrita por KELLER e BLIESNER (1990), permite a estimativa da Epa para as condições médias do dia da avaliação, fornecendo, portanto, um valor mais representativo das condições gerais.

A eficiência, em potencial, de aplicação, descrita por BERNARDO (1995), foi calculada através da seguinte equação:

$$EPa_{\text{Bernardo}} = 100 \frac{L_p}{L_{apl}} \quad (4)$$

em que

$EPa_{\text{Bernardo}}$  = eficiência, em potencial, de aplicação, em %;

$L_p$  = lâmina média coletada, em mm; e

$L_{apl}$  = lâmina aplicada, em mm.

A determinação da eficiência, em potencial, de aplicação proposta por KELLER e BLIESNER (1990), pode ser descrita da seguinte forma:

$$EPa_{\text{Keller}} = 0,976 + 0,005 ET_o - 0,00017 ET_o^2 + 0,0012 V_v - CI(0,00043 ET_o + 0,00018 V_v + 0,000016 ET_o V_v) \quad (5)$$

em que

$ET_o$  = evapotranspiração de referência, em mm dia<sup>-1</sup>;

$V_v$  = velocidade do vento, em km h<sup>-1</sup>; e

$CI$  = coeficiente adimensional, que caracteriza o potencial de evaporação e arraste.

SANTOS (1988) estimou a eficiência, em potencial, de aplicação ( $E_{pa}$ ) para um pivô de baixa pressão, operando em três diferentes velocidades de deslocamento. O autor observou que, para uma mesma velocidade operacional do sistema, quanto maior a temperatura e menor a umidade relativa do ar, maior foi a perda por evaporação e, conseqüentemente, menor foi a eficiência. A velocidade média do vento variou entre 0,6 e 2,2 m s<sup>-1</sup> e a umidade relativa do ar entre 60 e 67%. Nestas condições, os valores de  $E_{pa}$  variaram de 66 a 78%. Analisando o conjunto de informações obtidas, o autor concluiu que uma menor velocidade de deslocamento do sistema proporcionou maior eficiência e uniformidade de distribuição de água.

### 2.3. Irrigação por pivô central

Na irrigação por aspersão, os aspersores são dispostos na área de forma a aplicar uma lâmina uniforme sobre a superfície, o que se consegue promovendo a superposição dos círculos irrigados. Com a evolução desse método, foram desenvolvidos sistemas adequados às diversas combinações de solo, planta, clima e outros fatores locais. Dentre esses sistemas, destaca-se o pivô central, no qual os emissores são dispostos ao longo de uma tubulação posicionada acima da superfície do solo, apoiada em torres metálicas providas de rodas e sustentadas por treliças, a uma altura compatível com a cultura entre 4 e 5 m. O comprimento da tubulação pode chegar a 750 m, possibilitando irrigar áreas de até 150 ha.

A necessidade de reduzir o consumo de energia e simultaneamente, manter a uniformidade e a eficiência da aplicação de água, tornou-se uma grande preocupação. Segundo GILLEY e WATTS (1977) e GILLEY et al. (1990), a redução na pressão de operação por meio de emissores de baixa pressão é a maneira mais fácil de reduzir o consumo de energia dos sistemas do tipo pivô central. Os emissores de baixa pressão foram desenvolvidos para substituir os tradicionais aspersores de impacto, pois, a mesma lâmina de água é aplicada com uniformidade comparável e menor utilização de energia. Os sistemas de pivô central passaram, então, a ser projetados ou redimensionados para operar com pressão reduzida. Entretanto, estes sistemas tendem a apresentar problemas de manejo de água e solo, tais como o aumento da taxa de aplicação (predisposição para escoamento superficial), perdas pelo vento e evaporação, além de redução na uniformidade devido à menor superposição.

A idéia de tornar o pivô central mais eficiente conduziu ao desenvolvimento do emissor Lepa. Neste sistema, a água é aplicada diretamente sobre a copa das plantas (plantio circular). A utilização deste emissor aumenta, moderadamente, o custo do sistema de irrigação, mas torna-se imprescindível para alcançar bons resultados na solução de problemas, como gastos de energia e água. Em muitas situações, esses benefícios justificam a substituição dos difusores existentes em um pivô por um sistema Lepa. Com a utilização deste sistema, dificilmente as perdas de água ultrapassam 2 a 5%. No caso do sistema

do tipo pivô central convencional, as perdas atingem 25 a 30% (LYLE & BORDOVSKY, 1983).

É possível a transformação de um pivô equipado com emissores convencionais (irrigação em área total) para um pivô dotado de emissores Lepa. Para isso, é necessário o redimensionamento hidráulico, feito em geral por empresas fabricantes de equipamentos, o que pode requerer a troca do conjunto motobomba, ou alterações no rotor da bomba.

A irrigação do cafeeiro com sistema de irrigação do tipo pivô central é, normalmente, feita em área total, ocorrendo desperdício de água e de produtos aplicados via água de irrigação (fertilizantes, fungicidas, inseticidas, etc.) no centro das fileiras, além de custos mais elevados no controle do mato, seja por capinas mecânicas seja por herbicidas, pois, a maioria dos plantios apresenta espaçamentos entre linhas superiores a 3,5m.

O cultivo em círculo contribui para melhorar a distribuição de água, quando se utiliza o sistema de pivô central equipado com emissor Lepa. Quando as culturas são plantadas num círculo, o pivô equipado com emissor Lepa aplica a água, localizadamente, sobre a copa das plantas. É de suma importância zelar pelo alinhamento das covas em, relação à marcação feita pelo emissor Lepa, a fim de garantir que, durante todo o desenvolvimento da cultura, ocorra aplicação de água exatamente sobre a fileira de plantas (Figura 1).



Figura 1 – Detalhe da aplicação de água feita sobre a fileira de plantas em plantio circular.

No bocal do Lepa, a pressão não deve variar mais que 20% da pressão de projeto. Geralmente os sistemas podem ser projetados sem reguladores, quando a mudança máxima de elevação é de 1,52 m ou menos da base até à extremidade do pivô sem custos de bombeamento e pressão operacional significativamente crescentes. Onde as mudanças de elevação são maiores que 1,6 m, o aumento do custo devido aos reguladores às vezes pode ser recuperado devido às menores pressões de projeto e os menores custos de bombeamento resultantes (NEW e FIPPS, 1990).

Um dos problemas decorrentes da utilização de emissores localizados, como os dispositivos Lepa, em pivôs centrais com áreas irrigadas superiores a 70 ha, é a possibilidade de ocorrência de escoamento superficial, em virtude de a taxa de aplicação de água exceder a taxa de infiltração do solo. Estes problemas são mais acentuados na extremidade da linha lateral do pivô, quando são comuns as montagens triplas de Lepa, que proporcionam altas taxas de precipitação.

A intensidade de aplicação de água no sistema Lepa é elevada, quase sempre superando a capacidade de infiltração dos solos. Para evitar problemas de escoamento superficial em áreas onduladas, podem ser adotadas soluções de

manejo do solo e da cultura, tais como curvas de nível e restos culturais (palhada).

De acordo com DILLON et al. (1972), o escoamento superficial no terreno inicia-se, quando o armazenamento no microrelevo é completado. Na realidade, o armazenamento superficial não é função apenas da declividade no terreno, pois, existem outros fatores envolvidos, tais como a rugosidade da superfície do solo, a presença de cobertura morta sobre o solo, a uniformidade de precipitação, dentre outros.

O sulco de represamento é muito eficiente para reduzir o escoamento superficial proveniente da irrigação com o Lepa. O sulco de represamento é uma operação de aração mecânica, que coloca amontoados de solo em intervalos escolhidos ao longo do sulco entre as fileiras de plantas, a fim de formar pequenas bacias de armazenagem. A água da chuva ou de irrigação é presa e armazenada nas bacias, de modo que infiltra-se no solo em vez de escoar. Foi verificado que o sulco de represamento reduz o escoamento superficial e aumenta a produção de culturas irrigadas (LYLE & DIXON, 1977; JONES & CLARK, 1982).

É possível observar, na literatura, experiências positivas e negativas em relação ao condicionamento de microrelevo. Frequentemente as características locais de solo e de precipitação natural no terreno contribuem, decisivamente, no tipo de experiência relatada (COELHO, 1996).

#### **2.4. Manejo de irrigação**

Saber o momento certo de iniciar as irrigações e quanto de água se deve aplicar às culturas é o objetivo do manejo racional da irrigação. Nos dias atuais, tem ocorrido não somente uma elevação nos custos de energia, mas, também, a escassez do recurso água, obrigando o irrigante a assumir posturas diferenciadas quanto a esta questão.

Segundo ABREU e SÁNCHEZ (1987), LÓPEZ et al. (1992), VERMEIREN e JOBLING (1997), para calcular as necessidades hídricas das culturas sob irrigação localizada, deve-se aplicar à ETc um coeficiente de redução kl, ou coeficiente de cobertura. Embora a estimativa precisa deste coeficiente necessite de investigação experimental mais profunda, pode-se utilizar fórmulas empíricas com base no índice de cobertura pela folhagem, vista em projeção sobre o plano horizontal. Outro coeficiente a ser considerado no cálculo da ETc é o ks, que representa a correção da ET em função da redução de água no solo (BERNARDO, 1995).

A resposta à pergunta sobre a quantidade de irrigação passa pela definição da lâmina de irrigação necessária ao pleno desenvolvimento da cultura, que é denominada lâmina líquida de irrigação. A aplicação desta lâmina, utilizando-se os atuais sistemas de irrigação implica em perdas, que variam com as características do sistema de irrigação, com as condições climáticas do momento da irrigação e com a cultura e seu estágio de desenvolvimento. Tais perdas ocorrem durante a aplicação, principalmente por meio de evaporação direta e arraste do vento (MANTOVANI, 2000).

## **2.5. Programa computacional AVALIA**

O programa computacional AVALIA permite ao usuário avaliar sistemas de irrigação por aspersão dos tipos aspersão convencional, autopropelido e pivô central, bem como sistemas de irrigação localizada dos tipos microaspersão, gotejamento e tubos de polietileno flexível perfurado. Com base em dados obtidos de testes de campo, tais como lâmina aplicada, lâminas coletadas em malhas de coletores, vazão de emissores, vazão de sistema, pressão de serviço do sistema, umidade de capacidade de campo, umidade do solo antes da irrigação, disposição do sistema de irrigação no campo, dentre outros, realiza-se a avaliação da uniformidade de aplicação de água pelos sistemas e a avaliação de desempenho da irrigação (BORGES JÚNIOR e MANTOVANI, 2001).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Desenvolvimento do dispositivo para coleta do volume de água aplicado pelo emissor Lepa**

Um dos problemas que dificultam a utilização da metodologia tradicional para avaliar o sistema de pivô central equipado com Lepa (Figura 2) refere-se ao fato de o emissor aplicar água de forma localizada, dificultando a coleta, devido à pequena área dos pluviômetros, o que gera a necessidade de mudar a forma de aplicação de todos os emissores, ao longo da linha lateral do pivô central, para área total, ocasionando perda de tempo na avaliação. Outro problema é que a forma de aplicação em área total do emissor Lepa (Figura 3) não permite uma coleta eficiente da lâmina aplicada, em virtude de o Lepa aplicar a água em forma de raios, fazendo com que o alinhamento, em campo, dos pluviômetros muitas vezes não permita interceptar um ou mais desses raios para coletar a água aplicada pelos emissores.

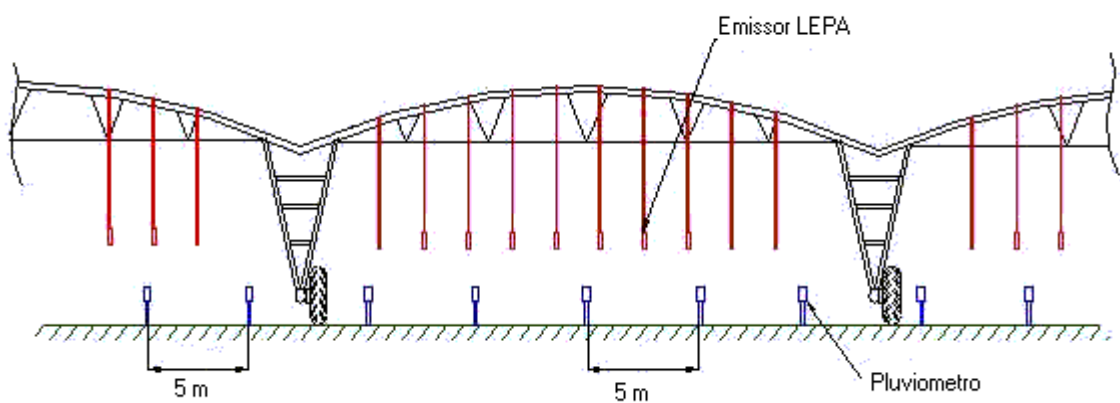
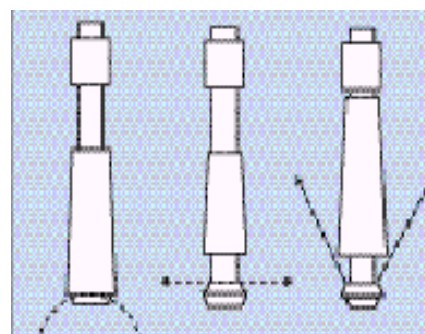


Figura 2 – Uso de metodologia tradicional para avaliar pivô central.



(a)



(b)

Figura 3 – Detalhe da forma de aplicação em raios (a), e das formas de aplicação de água do emissor Lepa (b).

Vários métodos são usados para medir ou calcular a lâmina de água, aplicada por dispositivos de aspersão dos sistemas de irrigação de movimento mecânico. Os coletores, método mais comum, variam desde pequenos pluviômetros, com aproximadamente 100 mm de diâmetro, até grandes tanques e calhas para coletar a precipitação proveniente dos dispositivos do Lepa. Os lisímetros de pesagem com áreas de vários metros quadrados também podem ser usados como coletores (SCHNEIDER & HOWELL, 1990). As vazões dos bocais dos emissores Lepa podem ser medidas, individualmente, e usadas para calcular a lâmina de aplicação ao longo da linha principal do sistema de irrigação (BUCHLEITER, 1992).

Os hidrômetros, segundo LINSLEY e FRANZINI (1978), não são instrumentos precisos e não se prestam para medição de valores muito pequenos de fluxo por que o líquido pode passar através do hidrômetro sem provocar o deslocamento das peças móveis. Este fato foi confirmado por FURUKAWA (1991).

Foram desenvolvidos, e testados, quatro modelos do dispositivo para coletar o volume de água aplicado pelo emissor Lepa, na área de Observação e Pesquisa em Cafeicultura Irrigada, localizada no município de Paula Cândido, MG, utilizando-se o sistema de irrigação do tipo pivô central equipado com Lepa. No primeiro modelo do dispositivo, utilizou-se um recipiente com volume conhecido (10 L) foi determinado o tempo de enchimento, para calcular a vazão do emissor. Para proceder à coleta da água, o balde era pendurado à linha lateral do pivô central por meio de uma corda com ganchos presos nas duas pontas (Figura 4a).

No segundo modelo, a corda foi substituída por duas hastes com 1,5 m de comprimento. Nas extremidades de cada haste, prenderam-se um gancho e uma corrente de 1,5 m. O gancho possibilitava apoiar as hastes nas treliças do pivô central, enquanto a corrente permitia alterar a altura do balde com o posicionamento de um gancho nos elos da mesma (Figura 4b). Para a avaliação dos emissores posicionados no vão em balanço, manteve-se o uso de cordas como no modelo 1.

O terceiro modelo de dispositivo (Figura 4c) consta de um tubo de PVC (100 mm) com 30 cm de comprimento, conectado a uma mangueira flexível com diâmetro de 25 mm, de presilhas para afixar o dispositivo ao emissor e de um recipiente com volume conhecido. A conexão do tubo de PVC à mangueira é feita, utilizando-se um tampão de 100 mm de diâmetro e um flange de 25 mm. O flange conectado à uma mangueira foi inserido no fundo do tampão para direcionar a vazão do coletor até o recipiente de volume conhecido.

No quarto modelo, uma haste de 1,5 m foi anexada ao coletor para servir como suporte para o dispositivo (Figura 4d), permitindo avaliar emissores com altura acima de 2,0 m. Para anexar a haste ao coletor, utilizou-se uma braçadeira.

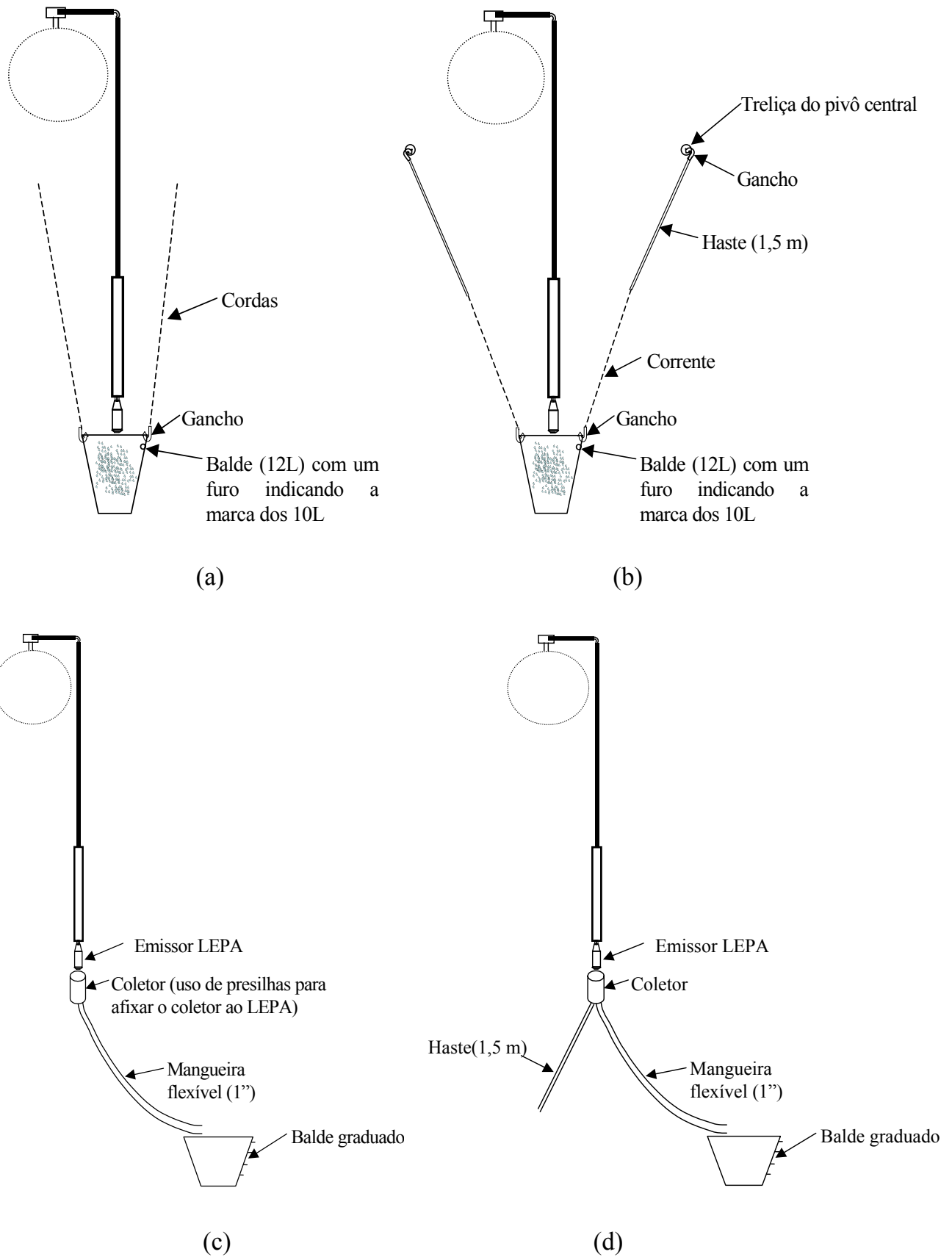


Figura 4– Desenhos ilustrativos (a, b, c e d) dos dispositivos desenvolvidos para coleta do volume de água aplicado pelo emissor Lepa.

O Quadro 1 apresenta a relação de preços dos materiais utilizados para montagem dos quatro modelos do dispositivo

Quadro 1 – Relação de materiais utilizados para montagem dos dispositivos

Material	Preço (R\$)	Quantidade	Modelo			
			1	2	3	4
Balde	3,60	1	Sim	Sim	Sim	Sim
Corda	1,20/m	10 m	Sim	-----	-----	-----
Gancho	???	4	Sim	Sim	-----	-----
Haste (1,5 m)	???	2	-----	Sim	-----	Sim
Corrente	3,50/m	3 m	-----	Sim	-----	-----
Tubo de PVC (100 mm)	???	0,30 m	-----	-----	Sim	Sim
Mangueira flexível (25 mm)	2,80/m	2 m	-----	-----	Sim	Sim
Tampão (100 mm)	2,60	1	-----	-----	Sim	Sim
Flange (100 mm)	5,70	1	-----	-----	Sim	Sim
Presilhas	1,30	2	-----	-----	Sim	-----
Total			15,60	14,10	20,10	17,50

Os materiais os quais não estão constando os preços, são materiais que não são necessários adquirir no comércio. Os preços destes materiais foram consultados no comércio local de Viçosa, MG, entre os dias 17/10/2002 e 22/10/2002.

### **3.2. Avaliação do efeito do uso de reguladores de pressão na uniformidade de aplicação de água em sistemas de pivô central equipado com Lepa**

Na região de Viçosa, o experimento foi conduzido em uma Área de Observação e Pesquisa em Cafeicultura Irrigada (PNP&D-Café/DEA-UFV/VALMONT), localizada no trecho da rodovia MG 280 (Viçosa–Paula

Cândido) km 15, pertencente ao município de Paula Cândido (20<sup>o</sup>52S e 42<sup>o</sup>58W), Minas Gerais, a 731m de altitude média, cujas condições climáticas enquadram-se na classificação de irrigação suplementar/complementar com inverno frio (15/17<sup>o</sup>C).

O Quadro 2 apresenta as informações técnicas do sistema de irrigação por pivô central equipado com Lepa, instalado na Área de Observação e Pesquisa em Cafeicultura Irrigada. Este sistema foi utilizado para verificar o efeito do uso de válvulas reguladoras de pressão, relativamente à declividade do terreno, sobre possíveis alterações na uniformidade de aplicação de água, e assim como para possibilitar o desenvolvimento do dispositivo.

Quadro 2 – Características técnicas do pivô central equipado com emissor do tipo Lepa

Características	Valores
Velocidade (m h <sup>-1</sup> )	133,33
Raio da última torre (m)	55,11
Vão em balanço (m)	25,45
Pressão de serviço média (kPa)	310,00
Tempo máximo de operação diário (horas)	21,00
Diâmetro do maior bocal (mm)	10,00
Diâmetro do menor bocal (mm)	4,50
Vazão (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	7,10

Este sistema está equipado com 26 emissores do tipo Lepa da marca Senninger, acoplados às válvulas reguladoras de pressão Valley. Os 20 emissores iniciais, contando a partir da torre central, estão equipados com reguladores de pressão de 41,4 kPa e os últimos 6 emissores equipados com reguladores de 69,0 kPa. A área irrigada por este sistema corresponde a 2,04 ha, sendo cultivada com café variedade Topázio (porte baixo), em plantio circular instalado há aproximadamente 11 meses.

O percentímetro foi regulado a 100% da velocidade, proporcionando aplicação de uma lâmina média de 0,90 mm volta<sup>-1</sup>. No ponto pivô foi medida a pressão com um manômetro de Bourdon, mantida constante a 300 kPa durante todo o ensaio, com exceção da avaliação em aclave, em que usou-se a pressão de 310 kPa, em média. Para avaliação dos reguladores de pressão, foram instalados um manômetro antes e outro depois da válvula reguladora de pressão, em cada emissor Lepa, medindo-se, assim, a variação de pressão em nível (0%), em declive (-8%) e aclave (9%). Para obtenção dos coeficientes de uniformidade (CUC e CUD) acima da superfície, a primeira versão do dispositivo para coleta do volume de água aplicado pelo emissor Lepa foi testada em um recipiente de volume conhecido, obtendo-se a vazão do emissor a partir da determinação do tempo necessário para atingir o volume desejado no recipiente.

### **3.3. Utilização em campo do dispositivo selecionado (modelo 4) e estudos quanto ao número de emissores a ser avaliados**

A partir das avaliações realizadas com o pivô central equipado com Lepa, na Área de Observação e Pesquisa em Cafeicultura Irrigada localizada em Paula Cândido, MG, para desenvolvimento e aperfeiçoamento do dispositivo, foram realizados testes com o modelo 4 do dispositivo, nos municípios de Patrocínio, Estrela do Sul e Uberlândia, localizados na região do Triângulo Mineiro, sendo avaliados seis sistemas de irrigação por pivô central equipado com Lepa.

As Figuras 5 e 6 esquematizam o uso do dispositivo, em situação de campo.

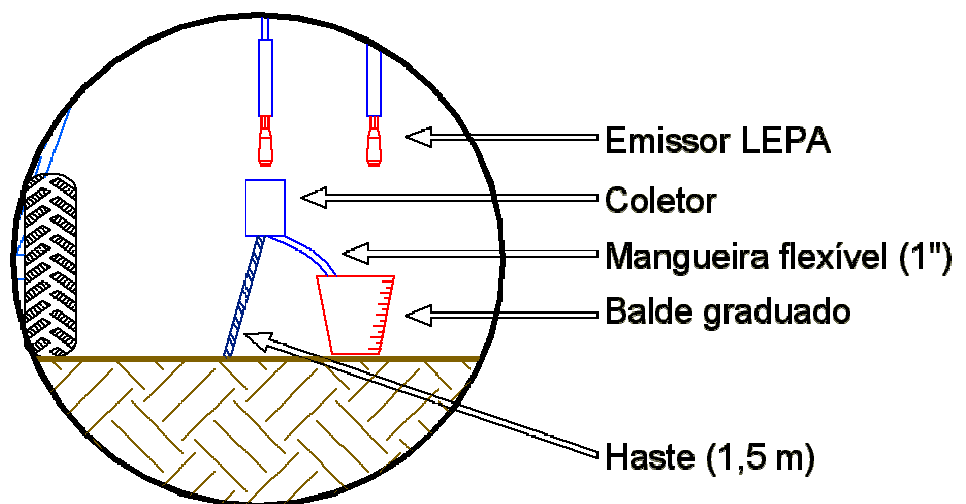
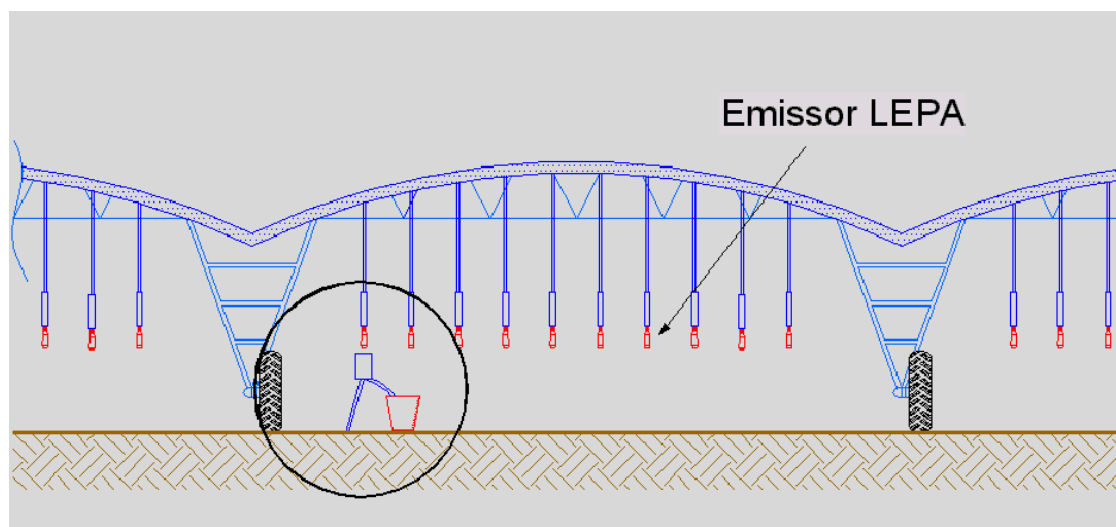


Figura 5 – Desenho ilustrativo do uso do dispositivo em campo.



Figura 6 – Detalhe do uso do dispositivo para coleta do volume de água aplicado pelo emissor Lepa em campo.

A escolha dos sistemas de irrigação avaliados baseou-se, principalmente, em informações sobre o tamanho do equipamento, uso do emissor Lepa e local instalado, sendo estas informações fornecidas pela empresa de irrigação que atua na região (VALMONT Indústria e Comércio Ltda), por pesquisadores da EPAMIG, órgão de pesquisa do Estado de Minas Gerais, e pela Associação dos cafeicultores da região de Patrocínio (ACARPA).

Para obter as uniformidades de aplicação de água dos pivôs, foi utilizado o dispositivo (Figura 4d) para coleta do volume de água aplicado pelo emissor Lepa, sendo realizadas três coletas do volume em cada emissor da linha lateral.

Calcularam-se os coeficientes de uniformidade, utilizando a vazão de todos os bocais em dois raios (aclive e declive) e em 50%, 33%, 25% e 10% dos emissores, na tentativa de reduzir o número de medições de vazão dos bocais, sem, contudo, comprometer o valor dos coeficientes de uniformidade. Foi enumerada a relação de bocais dos emissores Lepa, conforme sua respectiva posição na linha lateral do pivô central avaliado, a fim de observar a necessidade ou não de troca da posição dos bocais.

Durante os testes, era fixado o volume (5L) no recipiente (balde) e marcado o tempo necessário para completar este volume com os dados obtidos,

calculava-se a vazão para cada emissor Lepa instalado ao longo da linha lateral. As avaliações foram feitas com os sistemas de pivô central, em movimento (Quadro 3).

No Quadro 3, são apresentadas informações sobre os equipamentos avaliados: tempo de uso, localização, número de emissores, espaçamento entre emissores e área irrigada. Esses pivôs têm tamanho variado e irrigam uma área de 2,04 até acima de 100 ha.

Quadro 3 – Informações sobre os pivôs avaliados: idade do equipamento, área irrigada, n<sup>o</sup> de emissores, espaçamento entre emissores, faixa molhada, regulagem do percentímetro e localização dos sistemas avaliados

Pivô central	Idade (anos)	Área irrigada (ha)	N <sup>o</sup> de emissores	Espaçamento entre emissores (m)	Faixa molhada (m)	Regulagem do percentímetro (%)	Localização
1	3	26,74	77	3,70	0,80	25	Patrocínio–MG
2	3	57,61	112	3,70	1,25	25	Patrocínio–MG
3	3	73,51	106	3,90	0,80	100	Patrocínio–MG
4	2,5	117,31	149	3,90	0,80	25	Estrela do Sul–MG
5	4	78,56	132	3,80	0,80	25	Uberlândia–MG
6	4	60,03	111	3,80	0,80	50	Uberlândia–MG
7	1	2,04	26	3,00	0,80	100	Viçosa–MG

### 3.3.1. Avaliação dos sistemas

A avaliação da uniformidade de distribuição de água dos sistemas e a avaliação de desempenho da irrigação foram realizadas, utilizando-se o programa computacional AVALIA.

A velocidade de deslocamento da última torre de cada pivô foi determinada na regulagem de 100%, marcando-se um trecho de dez metros, ao

longo da trilha da roda da torre, e medindo-se o tempo gasto para o equipamento percorrer a distância delimitada.

As pressões no ponto pivô e na extremidade do equipamento (último emissor) foram medidas, utilizando-se manômetro metálico. A adaptação de um manômetro à adutora do pivô permitiu medir a pressão de serviço no ponto pivô. A vazão do sistema foi determinada por meio do somatório das vazões individuais dos emissores instalados ao longo da linha lateral.

Utilizando os dados de vazão do sistema, estimou-se a lâmina média diária aplicada (Lmda), para 20 horas de funcionamento diário, por meio da equação

$$Lmda = \frac{Q}{A} \times 20.000 \quad (6)$$

em que

Lmda = lâmina média diária aplicada, em mm dia<sup>-1</sup>;

Q = vazão do sistema, em m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>; e

A = área irrigada pelo pivô central, em m<sup>2</sup>.

Para o cálculo da lâmina de água aplicada (Lapl), utilizou-se a vazão do sistema, conforme a equação

$$Lapl = \frac{Q \times T}{A} \times 1000 \quad (7)$$

em que

Lapl = lâmina de água aplicada, em mm volta<sup>-1</sup>; e

T = tempo necessário para dar uma volta completa, h.

A partir dos dados de precipitação, a lâmina média coletada ponderada (Lp) foi calculada da seguinte forma:

$$Lp = \frac{\sum_{i=1}^n (Li Si)}{\sum_{i=1}^n (Si)} \quad (8)$$

em que

$Lp$  é a lâmina média coletada ponderada, em mm.

Os valores de evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), utilizados no cálculo da eficiência potencial de aplicação proposta por KELLER e BLIESNER (1990), foram obtidos do banco de dados do programa SISDA para o mesmo período e região em questão.

A eficiência de distribuição de água para área adequadamente irrigada de projeto (ED<sub>ad</sub>) foi estimada, aplicando-se a metodologia apresentada por KELLER e BLIESNER (1990), ou seja,

$$ED_{ad} = 100 + \left( 606 - 24,9Pad + 0,349Pad^2 - 0,00186Pad^3 \right) (1 - CUC/100) \quad (9)$$

em que

ED<sub>ad</sub> = eficiência de distribuição para área adequadamente irrigada, em %;

Pad = porcentagem de área adequadamente irrigada, em %; e

CUC = Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, em %.

A partir dos valores encontrados de EPaKeller, da eficiência de condução dos sistemas e da ED<sub>80</sub>, determinou-se a eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada de projeto (Eip<sub>80</sub>), considerando-se um ajuste na lâmina aplicada para o valor referente ao déficit de água no solo em 80% da área.

No caso do cafeeiro, adotou-se um índice de 80% para área adequadamente irrigada, por se tratar de uma cultura de médio a alto valor econômico e cujo sistema radicular é bem desenvolvido.

A eficiência de irrigação para área de projeto adequadamente irrigada é um índice a ser utilizado na estimativa da lâmina aplicada, em uma condição de

manejo adequado, possibilitando atingir uma porcentagem preestabelecida de área adequadamente irrigada. A eficiência de irrigação é estimada a partir dos valores da eficiência de distribuição de uma área de projeto adequadamente irrigada (EDad) e eficiência potencial de aplicação (EPa), obtidos por meio das metodologias desenvolvidas por KELLER e BLIESNER (1990), usando-se a seguinte expressão:

$$E_{ipad} = ED_{ad} EP_{a} K_{eller} E_c \quad (10)$$

em que

$E_{ipad}$  = eficiência de irrigação para área de projeto adequadamente irrigada;

$ED_{ad}$  = eficiência de distribuição para uma porcentagem de área adequadamente irrigada, decimal; e

$E_c$  = eficiência de condução, decimal (no valor de  $E_c$ , considerou-se 0% como perdas).

A partir dos dados de precipitação obtidos ao longo do pivô, determinou-se o perfil de distribuição das lâminas de irrigação, além de parâmetros importantes na avaliação de desempenho da irrigação.

A fim de possibilitar a realização da análise estatística, cada equipamento foi considerado como um experimento em virtude de seus diferentes tamanhos, da declividade do terreno, vazão e demais características próprias de cada sistema. Para cada sistema, foram gerados coeficientes de uniformidade de aplicação de água, utilizando-se médias móveis para cada repetição nos dois raios avaliados em campo, para cada uma das metodologias propostas.

Considerando-se os aspectos operacionais e que durante os testes, os sistemas estavam em movimento, as repetições de medidas de vazões em cada emissor, ao longo da linha lateral de cada pivô, foram obtidas instantaneamente em cada emissor (três medidas de vazões) e, posteriormente, no próximo emissor e assim sucessivamente, ou seja, não foram feitas medições completas de todo o raio para, então, retornar ao primeiro emissor e reiniciar as medidas de vazões.

Para proceder à análise de variância, utilizou-se o teste F, seguido de um teste de média, utilizando-se o teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

O teste F foi conclusivo para comparação entre raios, para cada equipamento avaliado. Para comparar as médias de cada metodologia proposta (50%, 33%, 25% e 10%) com as médias do tratamento padrão (100% dos emissores avaliados), utilizou-se o teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

As análises estatísticas foram realizadas, utilizando-se o programa computacional SAEG (EUCLYDES, 1983), e o teste de Dunnett (BANZATTO e KRONKA, 1992).

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Importância da utilização do dispositivo para coleta do volume de água aplicado pelo emissor Lepa**

Os testes preliminares realizados com um pivô central de 2,04 ha instalado na área experimental localizada em Paula Cândido, MG, possibilitaram o aperfeiçoamento do dispositivo de medição de vazão do emissor tipo Lepa. O primeiro dispositivo desenvolvido não oferecia praticidade, sendo necessário um tempo elevado para coleta de dados (10 minutos por emissor, em média). O segundo dispositivo permitiu diminuir o tempo de coleta (6 minutos por emissor, em média), mas não oferecia segurança para a sua utilização, devido a presença de ganchos anexados nas correntes e por ser pouco prática a sua montagem. O terceiro modelo do dispositivo, devido a sua facilidade de montagem e uso, contribuiu para diminuir o tempo de coleta (0,5 a 2 minutos por emissor, em média), mas apresentou o inconveniente quanto a emissores com altura superior a 2,0m, não permitindo a coleta de forma eficiente. O quarto modelo do dispositivo solucionou este problema, com a utilização de uma haste de 1,5 m para alcançar emissores com altura superior a 2 m.

O tempo necessário para avaliar um raio, variou de 35 minutos para um pivô de 2,04 ha a 4,5 horas para um pivô de 117,0 ha, comprovando a praticidade

do uso do dispositivo (modelo 4), que permite a coleta de vazão em tempo hábil. Outras vantagens inerentes ao dispositivo (modelo 4) foram os preços baixos das peças utilizadas em sua montagem e a facilidade de elaboração do mesmo.

#### **4.2. Uso de reguladores de pressão no controle da uniformidade de vazão**

Na Figura 7, observa-se variação na pressão medida antes e após o uso do regulador de pressão, nas posições de declive (antes D e depois D), em nível (antes N e depois N) e aclave (antes A e depois A), ao longo da linha lateral do pivô central instalado na área de Observação e Pesquisa em Cafeicultura Irrigada, localizada em Paula Cândido, MG.

As medições feitas antes do uso do regulador de pressão evidenciam um ganho de pressão ao longo da linha lateral, quando este foi posicionado em declive. Quando posicionado em nível ocorreu uma razoável manutenção da pressão ao longo da linha lateral do equipamento, mas um decréscimo contínuo da mesma, quando posicionado em aclave. Com o uso do regulador, a pressão manteve-se uniforme, com exceção dos seis últimos emissores (com reguladores de pressão maiores), evidenciando o bom desempenho dos reguladores de pressão.

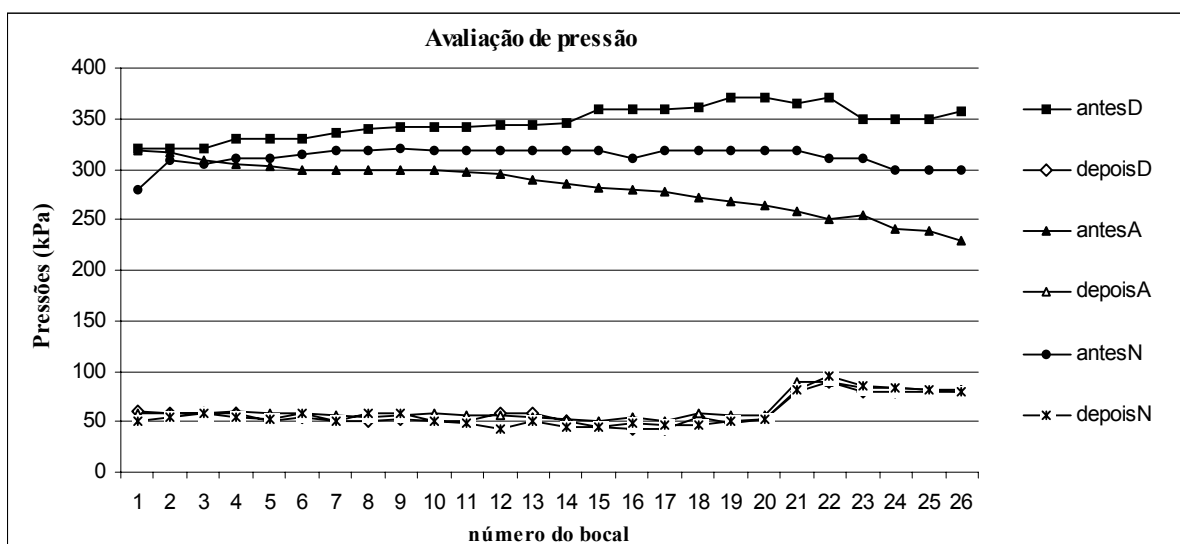


Figura 7 – Valores de pressão medidos antes e após o regulador de pressão ao longo da linha lateral do pivô central, posicionado em declive, em aclave e em nível.

De acordo com as Equações 2, 3 e 4 e utilizando 100% dos emissores, foram calculados os coeficientes CUC, CUD e a eficiência, em potencial, de aplicação, descrita por BERNARDO (1995) para as variações de declividade citadas (Quadro 4).

Quadro 4 – Valores dos coeficientes de uniformidade CUC e CUD e eficiência, em potencial, de aplicação (EPa), descrita por BERNARDO (1995), para 100% dos emissores avaliados, para o sistema pivô central instalado na área de observação localizada em Paula Cândido, Minas Gerais

Declividade	CUC (%)	CUD (%)	EPa (%)
Declive (-8%)	94,1	88,9	97,2
Em nível (0%)	94,0	89,3	97,0
Aclave (9%)	94,1	89,0	97,5

Nas condições do ensaio, observou-se que o uso de reguladores de pressão em pivô central torna-se imprescindível ao alcance de resultados satisfatórios, quanto à uniformidade de vazão em áreas que apresentam variações

em declividade. De acordo com os resultados apresentados no Quadro 4, o equipamento encontra-se em condições satisfatórias de operação.

A partir deste ensaio, foi possível avaliar a primeira versão do dispositivo de medição de vazão, sendo observados pontos importantes como o prolongado tempo requerido na coleta de dados e a pouca praticidade desta versão do dispositivo.

#### **4.3. Detalhes técnicos das avaliações dos sistemas**

No Quadro 5, são apresentadas as características dos sete sistemas de irrigação por pivô central equipado com Lepa. Parte dos dados apresentados foram obtidos por meio de medições diretas no campo (vazão, pressão no ponto pivô, pressão na extremidade do pivô e velocidade de deslocamento da última torre a 100%), sendo os dados restantes obtidos da ficha técnica dos equipamentos.

Quadro 5 – Resumo dos resultados de avaliação dos sistemas: tempo de giro a 100% (TG), lâmina de projeto (Lpr), lâmina de água aplicada (Lapl), lâmina média diária aplicada (Lmda), vazão medida (Qm), vazão de projeto (Qp), raio irrigado (Ri), área irrigada (Ai), pressão no ponto pivô (Ppp), pressão na extremidade do pivô (Pep) e velocidade de deslocamento da última torre a 100% (Vd)

Parâmetros	Unid.	Pivô central						
		1	2	3	4	5	6	7
TG (relê a 100%)	h	6,37	9,63	10,29	13,88	11,27	9,80	2,60
Lpr	mm volta <sup>-1</sup>	2,65	1,93	2,16	3,24	4,51	3,43	0,80
Lapl	mm volta <sup>-1</sup>	2,78	2,11	1,81	3,22	4,49	3,74	0,89
Lmda*	mm dia <sup>-1</sup>	8,33	4,00	4,19	4,67	8,00	7,00	6,19
Qm	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	116,78	126,54	128,73	272,15	313,28	228,93	7,01
Qp	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	111,43	115,21	154,02	273,73	314,24	210,12	6,31
Ri	m	291,77	428,21	483,72	611,08	500,06	437,14	80,56
Ai	ha	26,74	57,61	73,51	117,31	78,56	60,03	2,04
Ppp	mca	18,00	50,00	21,12	26,00	35,00	24,00	31,00
Pep	mca	10,00	34,00	13,00	6,00	3,00	12,00	22,50
Vd	m h <sup>-1</sup>	264,70	252,00	235,30	264,00	262,80	258,80	133,33

\* Tempo de funcionamento – 20 horas.dia<sup>-1</sup>

Os equipamentos avaliados, tinham tamanhos diversos, sendo que os raios variavam de 80 m até 611 m.

A velocidade de deslocamento das torres permite flexibilidade de manejo devido aos baixos tempos de giro e lâmina aplicada por volta. É importante que os produtores tenham cautela quanto à reposição de água no solo, durante períodos ocasionais de alta demanda evapotranspirativa, pois, nesses períodos ou

após as inevitáveis paradas para manutenção do equipamento, pode ocorrer significativa redução da produtividade.

O pivô 3 apresentou a maior diferença entre a vazão medida em campo e a vazão de projeto. Esta diferença pode ter ocorrido devido este sistema apresentar os nove emissores do primeiro vão fechados e um canhão instalado no final do balanço, cuja vazão não foi medida em campo. O pivô 6 apresentou vazão medida superior à vazão de projeto, implicando em uma lâmina diária aplicada superior àquela de projeto.

Outro aspecto importante é a lâmina média diária aplicada. Pode-se notar que nenhum dos sistemas avaliados aplica lâmina superior a 8,33 mm, considerando-se 20 horas diárias de funcionamento do equipamento. É importante ressaltar que à medida que a lâmina diária é aumentada, ocorre alta intensidade de aplicação de água no final da linha lateral do pivô central. Portanto, o produtor deve estar atento às tomadas de decisão de irrigar ou não, levando em conta a demanda hídrica da cultura em determinada fase.

No Quadro 6, são apresentados os resultados obtidos nas avaliações de irrigação dos sete sistemas em estudo.

Quadro 6 – Resultados dos parâmetros de desempenho de irrigação para os sete pivôs avaliados: lâmina média coletada (Lp), eficiência potencial de aplicação (EPa), eficiência de distribuição de projeto (ED<sub>80</sub>) e eficiência para área de projeto adequadamente irrigada (Eip<sub>80</sub>)

Parâmetro	Unid.	Raio	Pivô central						
			1	2	3	4	5	6	7
Lp	mm	acive	2,55	2,10	2,62	3,57	4,30	3,80	0,86
		declive	3,14	2,31	-----	3,55	4,42	4,05	0,86
EPaKeller	%	médio	97,83	97,79	97,66	97,98	97,85	97,91	97,83
ED <sub>80</sub>	%	acive	90,13	92,00	89,22	83,36	79,99	90,00	93,45
		declive	92,67	92,42	-----	86,77	78,17	90,00	93,50
Eip <sub>80</sub>	%	acive	88,17	89,97	87,13	81,68	78,27	88,11	91,42
		declive	90,66	90,38	-----	85,02	76,49	88,11	91,47

Foi observado que a eficiência em potencial de aplicação (EPa), que representa as perdas ocorridas por evaporação e arraste pelo vento, para os sistemas por aspersão, apresentou valores elevados para todos os sistemas avaliados, quando estimada por meio da metodologia proposta por KELLER e BLIESNER (1990).

Nos sistemas avaliados, os valores de Eip<sub>80</sub> variaram de 76,49 a 91,47%, permitindo predizer que a lâmina bruta a ser aplicada nestes sistemas, para que 80% da área seja adequadamente irrigada, seja superior à lâmina requerida.

#### 4.3.1. Uniformidade de aplicação de água dos sistemas avaliados

O Quadro 7 apresenta os valores médios dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e distribuição (CUD), para as metodologias propostas em cada um dos raios avaliados.

Quadro 7 – Número de emissores, coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD) e respectivo teste de média entre as metodologias e os raios em aclave e declive para cada sistema avaliado

Pivô central	N <sup>o</sup> de emissores	Raio	CUC					CUD				
			N <sup>o</sup> de emissores avaliados					N <sup>o</sup> de emissores avaliados				
			100%	50%	33%	25%	10%	100%	50%	33%	25%	10%
1	77	Aclave	90,57aB	90,91aB	91,46bB	91,97bB	93,93bB	86,63aA	86,98aA	87,69aA	88,43bA	91,48bA
		Declive	93,00aA	92,77bA	93,25bA	93,67bA	95,07bA	87,24aA	87,15bA	87,88bA	88,40bA	91,43bA
2	112	Aclave	92,36aB	92,32aB	92,71aB	92,90bB	93,54bB	89,64aA	90,15bA	91,09bA	91,52bA	92,74bA
		Declive	92,76aA	92,97bA	93,59bA	93,92bA	94,93bA	87,60aB	88,39bB	89,30bB	89,75bB	91,53bB
3 **	106	Aclave	89,70a	89,63a	90,12b	90,50b	91,75b	89,57a	89,73b	90,35b	90,72b	92,24b
		Declive										
4	149	Aclave	84,11aB	84,19aB	84,34aB	84,43aB	84,78bB	83,65aB	83,86bB	84,17bB	84,30bB	84,93bB
		Declive	87,37aA	87,03aA	87,16aA	87,17aA	87,18aA	86,35aA	87,04bA	87,39bA	87,68bA	87,87bA
5 **	132	Aclave	80,89a	82,47b	83,59b	84,44b	87,28b	70,83a	72,08b	72,90b	74,62b	79,55b
		Declive	79,15	80,22	81,13	81,61	84,45	66,80	69,31	71,94	73,83	77,34
6 **	111	Aclave	91,19	92,80	93,50	93,88	95,13	88,19	91,00	92,05	92,84	95,34
		Declive	90,45	91,86	92,62	92,99	93,46	88,57	91,00	91,83	92,57	94,09
7	26	Aclave	93,74aA	94,00aA	94,32aA	94,59bA	96,71bA	88,07aA	89,26bA	90,23bA	91,53bA	94,55bA
		Declive	93,79aA	94,30bA	94,79bA	95,07bA	96,80bA	88,14aA	89,26bA	90,63bA	91,29bA	94,67bA

\* Média com a mesma letra minúscula entre colunas não tem diferença significativa pelo teste Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. Média com a mesma letra maiúscula entre linhas (entre posições de um pivô) não tem diferença significativa pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

\*\* Não foi possível avaliar, estatisticamente, os raios em declive para o pivô 3 e 5 e os dois raios para o pivô 6, devido ter sido feita somente uma coleta de dados sem repetição.

Os valores médios de velocidade do vento, obtidos nos testes, variaram de 0,8 a 4,0 m s<sup>-1</sup>. TARJUELO MARTÍN-BENITO (1995) afirma que os sistemas de irrigação com linha lateral em movimento, como é o caso do pivô central, sofrem menor influência do vento, comparativamente aos outros sistemas de irrigação por aspersão. Isto se deve ao fato de a linha lateral ocupar infinitas posições durante a irrigação e no caso particular do pivô equipado com Lepa, a irrigação é localizada sobre a copa das plantas e a altura dos emissores em relação à cultura é pequena, sendo uma vantagem quando se irriga sob condições de ventos fortes. Os valores de umidade relativa foram obtidos do banco de dados do programa computacional SISDA (valores de normais climatológicas), para o mesmo período em que foram realizados os testes na região em questão. Como esses valores variaram de 75,0 a 80,0 %, não se pode considerar que os mesmos favorecem as perdas por evaporação.

Em sistemas de irrigação por pivô central, o CUC recomendado está na faixa de 75 a 85%, para culturas com sistema radicular profundo, como é o caso do cafeeiro, enquanto o CUD recomendado está acima de 70% (BERNARDO, 1995).

Pode-se observar que, em todas as avaliações realizadas, exceto para os pivôs 3, 4 e 6, o valor do CUC é maior do que o valor de CUD, o que já era esperado, uma vez que o segundo coeficiente dá um tratamento mais rigoroso aos problemas de distribuição que ocorrem ao longo da linha do pivô.

O pivô 3 apresentou valores de CUC menores que CUD, em todas as avaliações, com exceção para 100% dos emissores avaliados. O mesmo comportamento foi observado para o pivô 4, para o raio em declive, sendo que no raio em aclave apenas a avaliação de 25% dos emissores apresentou valores de CUC menores que CUD.

O pivô 6 apresentou valores de CUC menores que CUD, apenas quando foram avaliados 10% dos emissores.

A ocorrência de valores de CUC menores que CUD podem ser devida as penalizações causadas pelas metodologias propostas sobre as lâminas (50%, 33%, 25% e 10% dos emissores), somadas à penalização necessária para o

cálculo de CUD (25% menores lâminas), permitindo, assim, uma melhor distribuição das lâminas utilizadas para o cálculo de CUD.

O Quadro 7, apresenta valores médios para os coeficientes de uniformidade, para 100%, 50%, 33%, 25% e 10% dos emissores avaliados. Apenas para a metodologia usada na avaliação de 100% dos emissores foi feita a média das três repetições. Para as demais metodologias, os valores dos coeficientes de uniformidade foram obtidos, a partir do cálculo da média móvel para as três repetições de precipitação coletadas em cada emissor ao longo da linha lateral de cada pivô avaliado.

Em anexo, encontram-se os valores de CUC e CUD gerados para cada repetição em cada um dos raios, para as metodologias propostas, assim como a análise de variância para as avaliações realizadas.

No caso do pivô central 5, a coleta de dados foi feita com apenas uma repetição para o raio em declive, não permitindo comparar, estatisticamente, os valores dos coeficientes de uniformidade entre os raios avaliados. Desta forma, foi possível comparar estatisticamente, somente, as metodologias propostas para o raio em aclave. No caso do pivô central 6, também não foi possível fazer a análise de variância, pois, a coleta de dados foi feita com apenas uma repetição para ambos os raios. Isto ocorreu em campo, devido à impossibilidade de ligação dos sistemas para fazer apenas as avaliações.

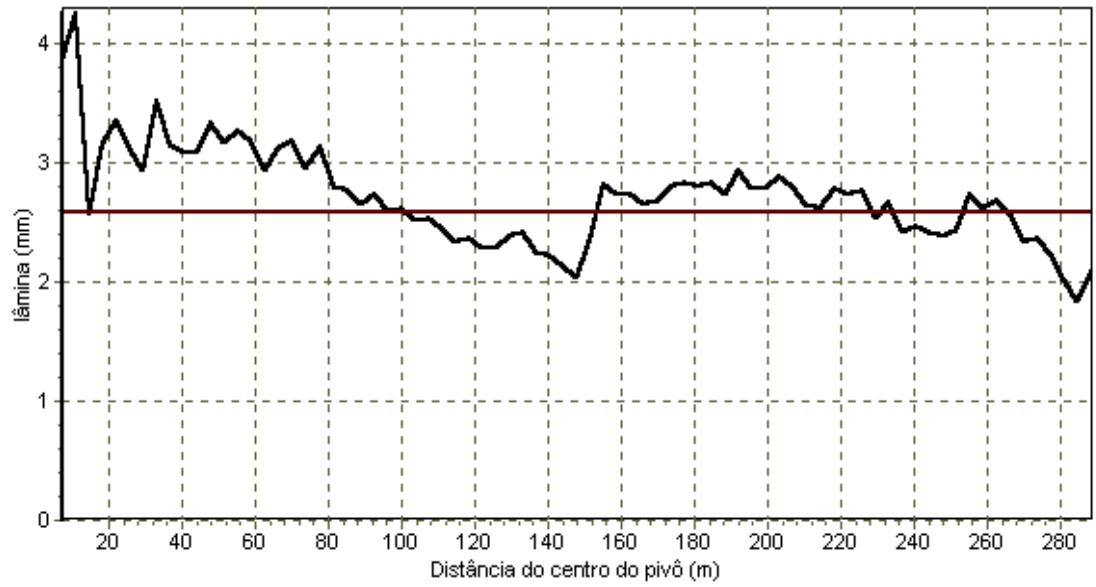
Quanto à comparação entre os raios, apenas o pivô 7 não apresentou diferença estatística entre estes para ambos os coeficientes; o pivô 1 apresentou diferença para o cálculo de CUD. A maioria dos sistemas apresentou valores mais elevados para o raio em declive, com exceção do pivô 2 para o cálculo de CUD, em que o raio em aclave apresentou melhores resultados.

Entre os sete sistemas avaliados, apenas o pivô 4 não apresentou diferença estatística entre as metodologias, em relação ao método padrão (100% dos emissores avaliados), para o raio em declive, especificamente para o cálculo de CUC. O raio em aclave apresentou diferença estatística em relação ao método padrão, apenas, para o cálculo de CUC quando se avaliaram 10% dos emissores.

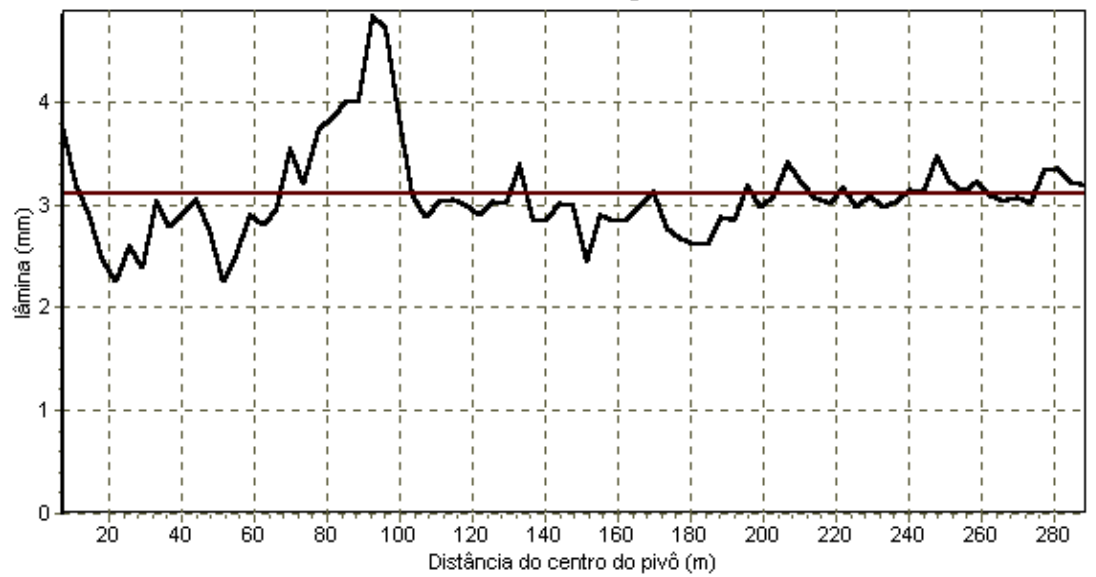
Para os pivôs 1 e 3, apenas para o raio em aclave, não houve diferença estatística em relação ao método padrão quando se avaliaram 50% dos emissores para o cálculo de CUC. Entretanto, para os valores de CUD, vale ressaltar que apenas o pivô 1 não apresentou diferença estatística para o raio em aclave, quando se avaliaram 50% e 33% dos emissores, em comparação com o método padrão.

Os pivôs 2 e 7 não apresentaram diferença estatística, em relação ao método padrão, apenas para o raio em aclave, quando se avaliaram 50% e 33% dos emissores, para o cálculo de CUC.

As Figuras de 8 a 14 apresentam os perfis de distribuição de água dos pivôs centrais avaliados.

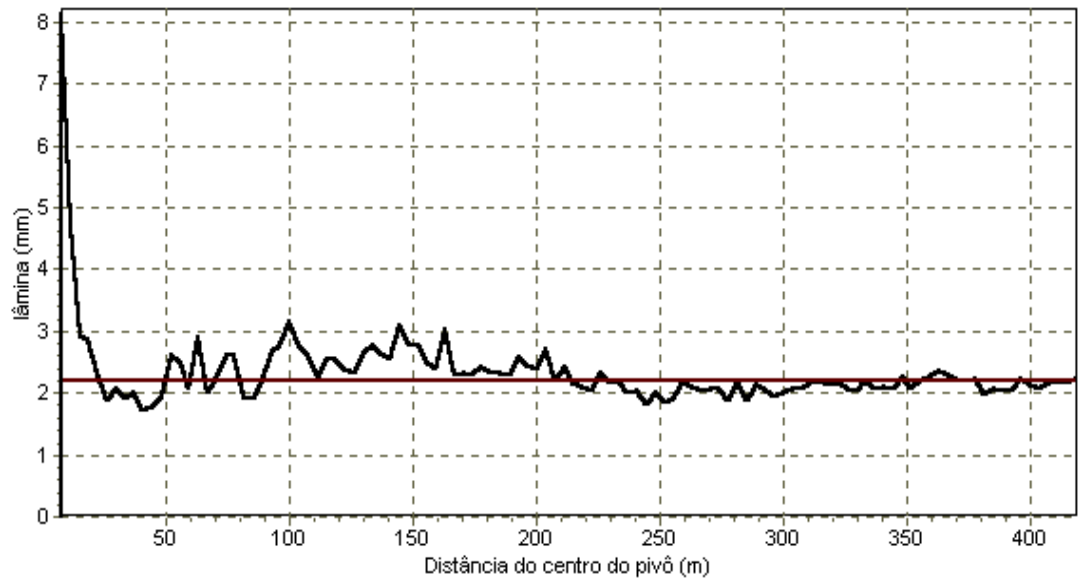


(a)

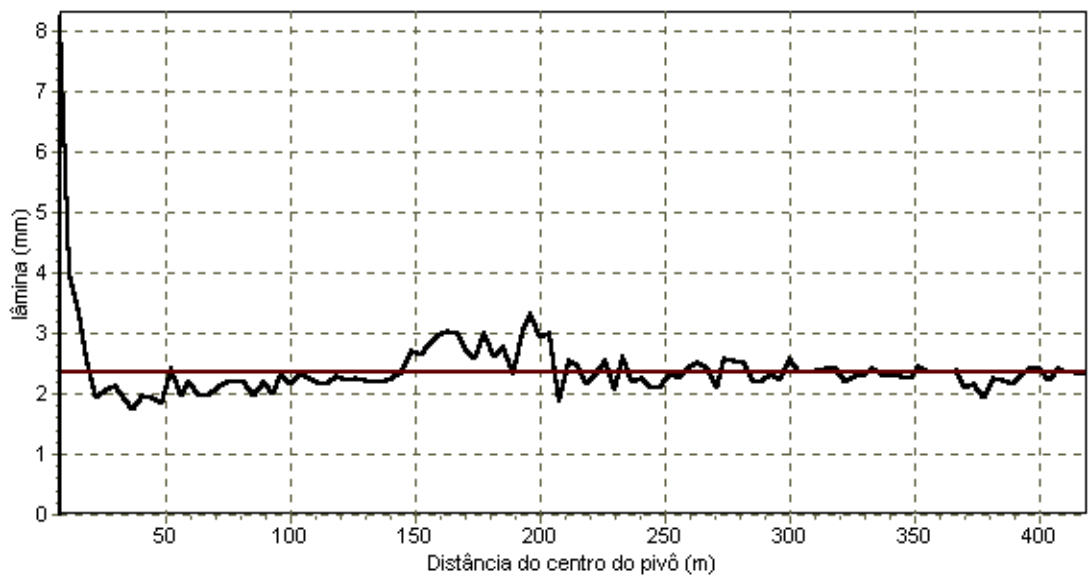


(b)

Figura 8 – Lâmina média coletada e lâmina coletada ao longo da linha lateral do pivô 1: (a) active e (b) declive.

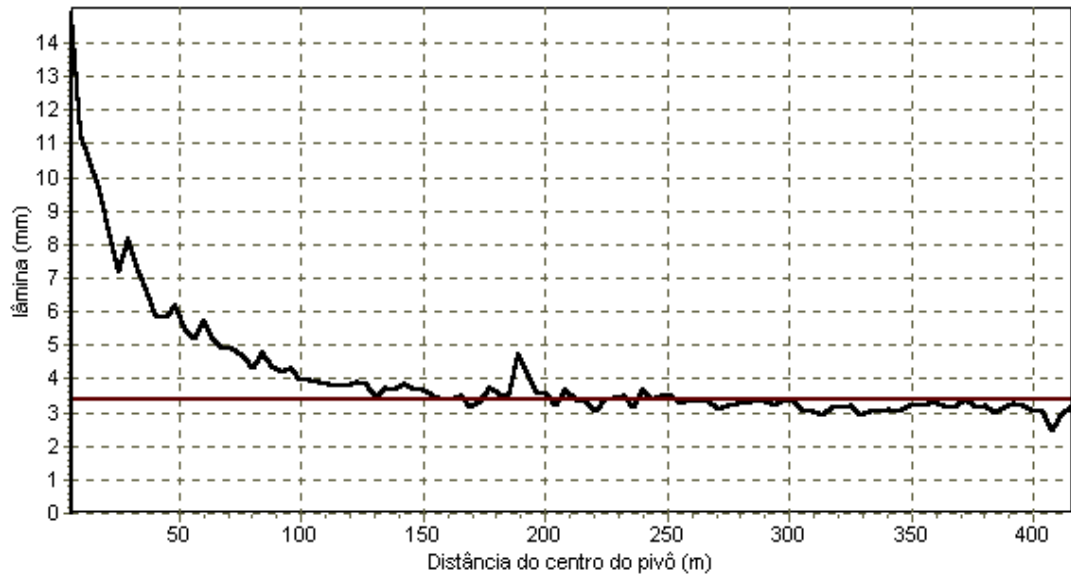


(a)



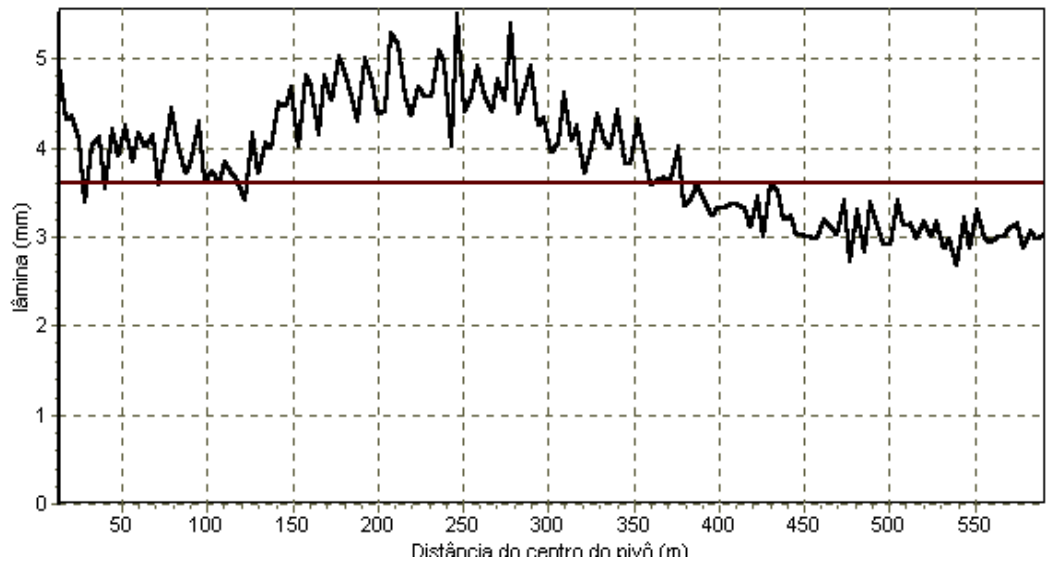
(b)

Figura 9 – Lâmina média coletada e lâmina coletada ao longo da linha lateral do pivô 2: (a) aclive e (b) declive.

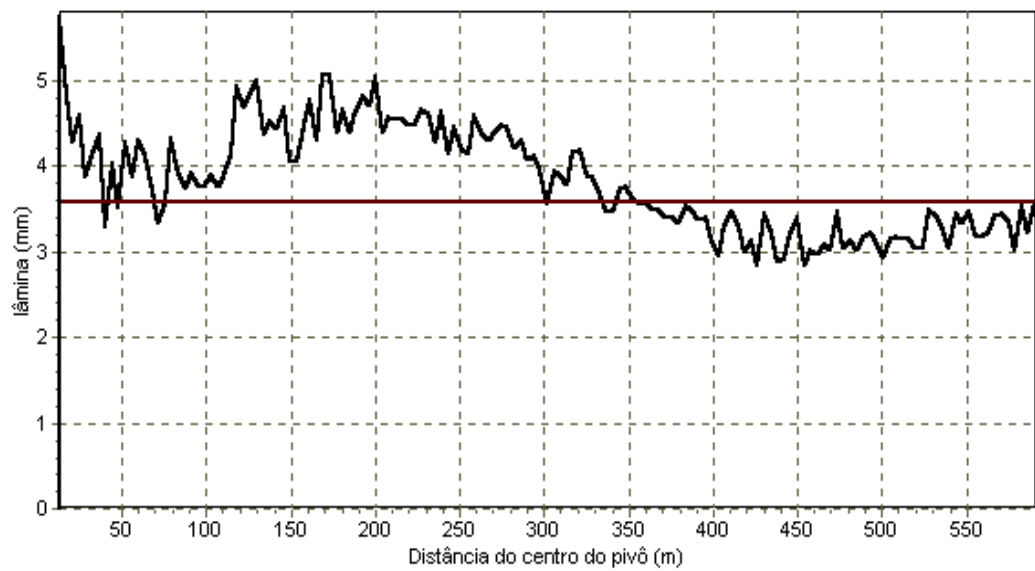


(a)

Figura 10 – Lâmina média coletada e lâmina coletada ao longo da linha lateral do pivô 3: (a) acrive.

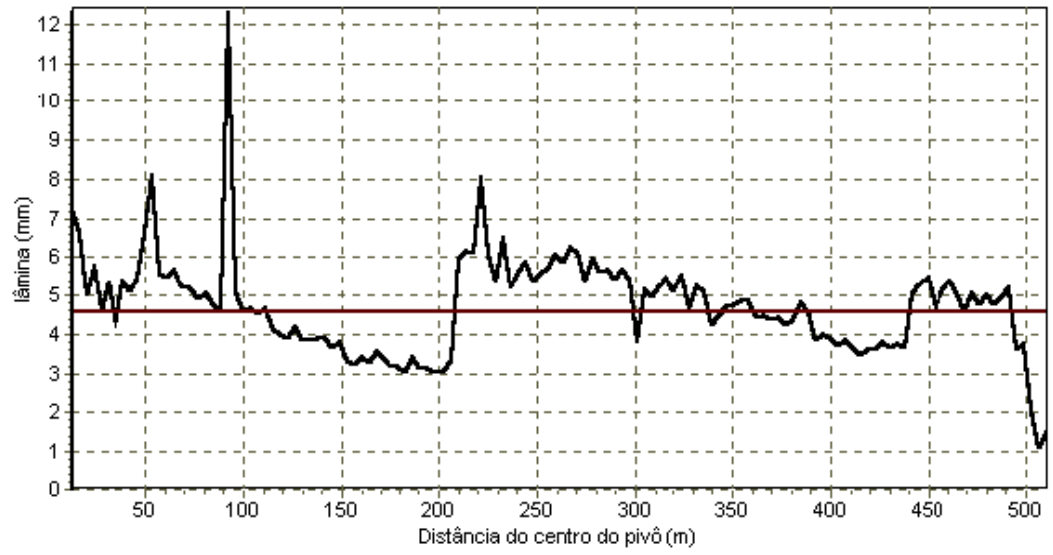


(a)

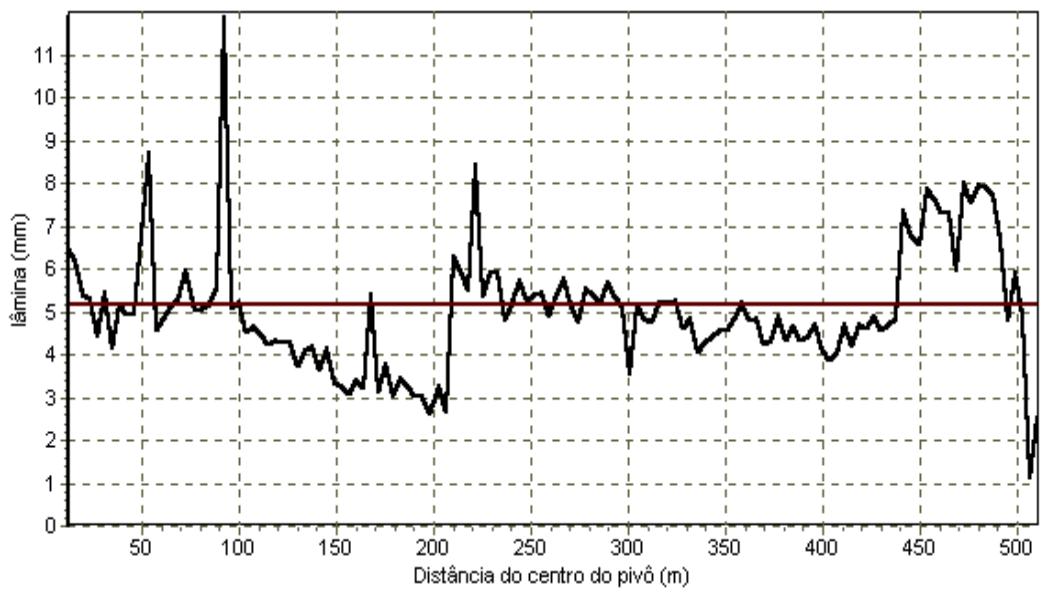


(b)

Figura 11 – Lâmina média coletada e lâmina coletada ao longo da linha lateral do pivô 4: (a) acrive e (b) declive.

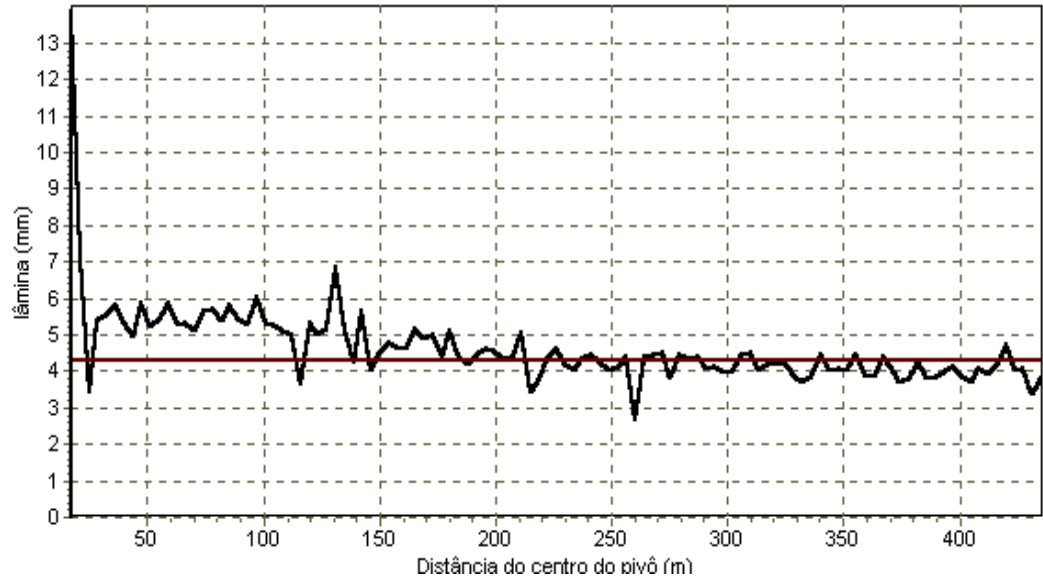


(a)

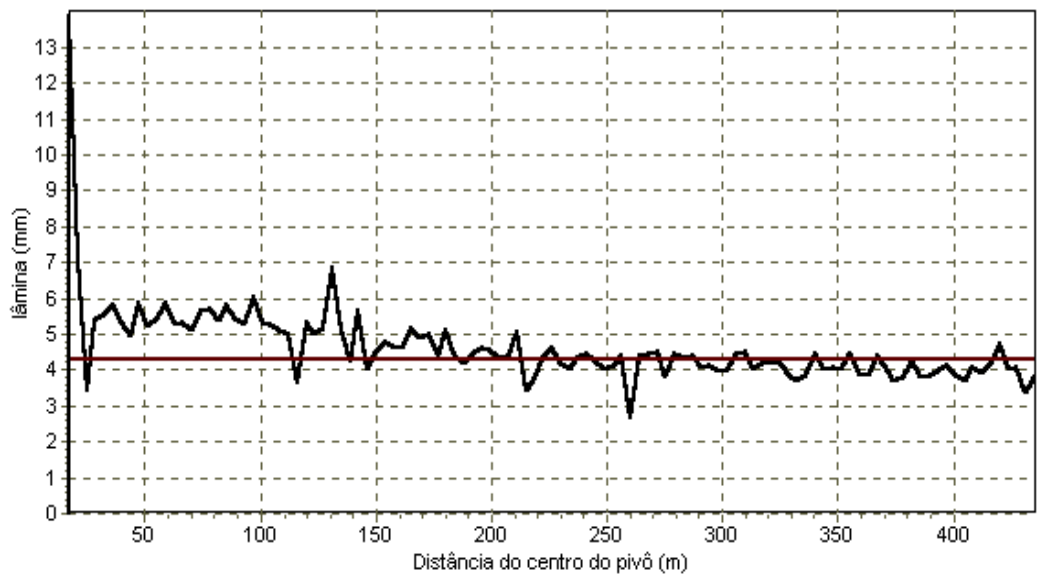


(b)

Figura 12 – Lâmina média coletada e lâmina coletada ao longo da linha lateral do pivô 5: (a) acive e (b) declive.

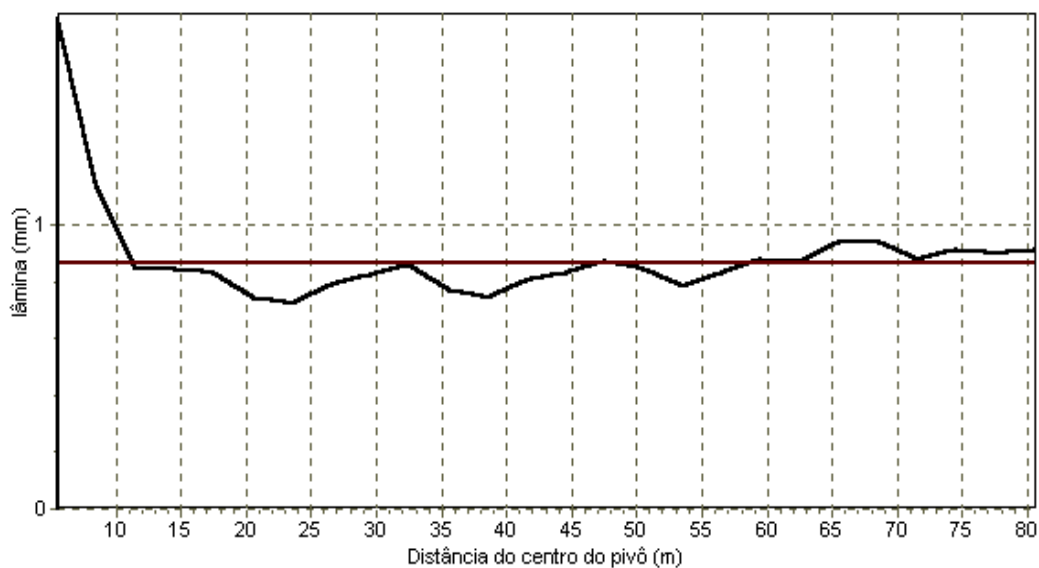


(a)

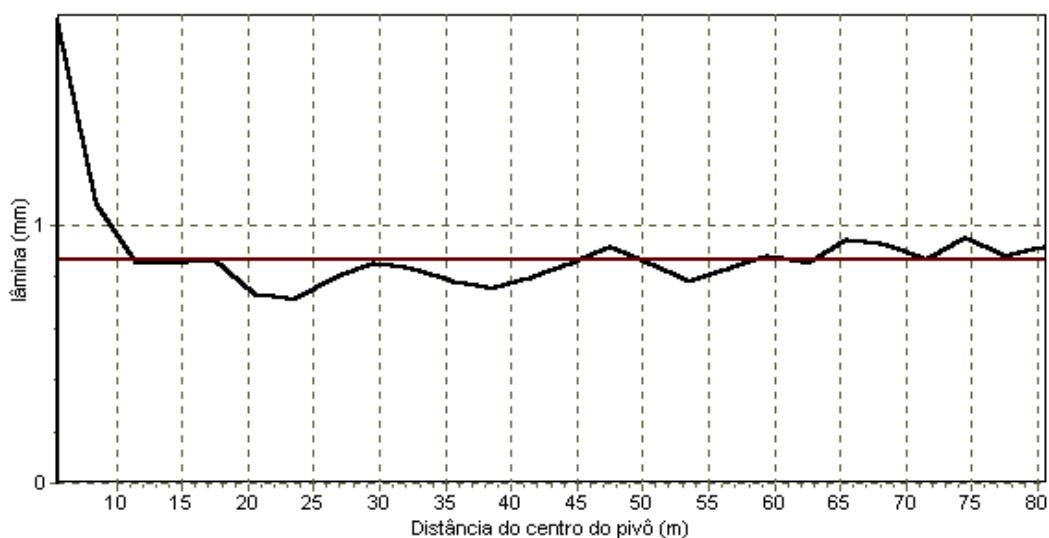


(b)

Figura 13 – Lâmina média coletada e lâmina coletada ao longo da linha lateral do pivô 6: (a) active e (b) declive.



(a)



(b)

Figura 14 – Lâmina média coletada e lâmina coletada ao longo da linha lateral do pivô 7: (a) acíve e (b) declive.

Nas Figuras 8 e 9, referentes aos pivôs 1 e 2, observa-se uma adequada distribuição de água por estes sistemas, apresentando valores de coeficientes de uniformidade elevados para todas as metodologias, nos dois raios avaliados. O pivô 1 apresentou diferenciação quanto à distribuição das lâminas entre os raios (Figuras 8a e 8b), provavelmente, devido à variação na declividade do terreno

para a situação de aclave, o que acarretou diminuição das lâminas coletadas à medida que se afastava do ponto do pivô, comparativamente à situação de declive.

Representado nas Figuras 9 (a) e 9 (b), o pivô 2 apresentou valores satisfatórios para os coeficientes de uniformidade (Quadro 6). Vale ressaltar que este equipamento encontra-se em condição satisfatória de manutenção, não sendo observados problemas relevantes quanto a entupimento de emissores ou vazamentos. Outro aspecto é que este equipamento irriga uma área com declividade suave, resultando que a distribuição das lâminas tanto na situação de aclave quanto declive seja semelhante.

O perfil de distribuição de água do pivô 3, apresentado na Figura 10 (a), mostrou resultados satisfatórios para CUC e excelentes para CUD. Pode-se observar a tendência para diminuição das lâminas, que foram coletadas à medida que se afastava do ponto do pivô.

O equipamento denominado pivô 4, cujos perfis de distribuição de água são apresentados nas Figuras 11 (a) e 11 (b), respectivamente, apresentou variação de pressão de serviço tanto no ponto do pivô quanto em sua extremidade, durante os testes. Isto pode ter contribuído para que não fossem obtidos valores excelentes para CUC, apesar deste equipamento não apresentar vazamentos ou entupimentos de emissores.

Os perfis de distribuição de água para a situação de aclave e declive, para o pivô 5, estão apresentados nas Figuras 12 (a) e 12 (b), respectivamente. Em geral, este sistema apresentou, os valores mais baixos para os coeficientes de uniformidade de aplicação de água, recebendo no máximo a classificação “bom” em alguns casos e “razoável” nos demais. Tal fato é devido ao entupimento parcial de reguladores de pressão e emissores colocados em posição errada, em alguns pontos ao longo da tubulação.

Os pivôs 6 e 7, cujos perfis de distribuição de água são representados nas Figuras 13 (a), 13 (b), 14 (a) e 14 (b), respectivamente, apresentaram valores excelentes de uniformidade de aplicação de água. Vale ressaltar que, no pivô 7, houve uma tendência de crescimento das lâminas coletadas à medida que se

afastava do ponto pivô, o que pode ter ocorrido devido à troca do tipo de reguladores de pressão dos últimos emissores.

## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

O presente trabalho objetivou desenvolver um dispositivo para coleta do volume de água aplicado pelo emissor Lepa, bem como avaliar a importância do uso de reguladores de pressão no controle da uniformidade de aplicação de água e adequar uma metodologia de coleta de dados que permita avaliar a uniformidade de aplicação de água de sistemas do tipo pivô central equipados com emissores tipo Lepa.

Desenvolveu-se um dispositivo de avaliação, para medição da vazão do emissor Lepa em condições de campo. As avaliações da vazão, utilizando o dispositivo, foram feitas em todos os bocais em dois raios (aclive, declive). A partir dessas avaliações, determinou-se o número de emissores (100, 50 ou 25%) a ser avaliados para otimizar o tempo de coleta e a praticidade das avaliações, sem comprometer a análise dos coeficientes de uniformidade. Com o intuito de comprovar a praticidade do dispositivo desenvolvido e a eficácia das metodologias propostas, foi avaliado um sistema localizado no município de Paula Cândido e, a partir deste, outros seis sistemas de irrigação localizados nos municípios de Patrocínio, Estrela do Sul e Uberlândia, na região do Triângulo Mineiro.

Nestas avaliações, foram analisadas a velocidade de deslocamento do pivô central, as pressões na bomba, no ponto pivô e no último emissor, a

evaporação, a velocidade do vento e a vazão para cada emissor ao longo da linha lateral, além de vários parâmetros como a lâmina aplicada, eficiência potencial de aplicação e coeficientes de uniformidade de aplicação de água, que refletem o desempenho de cada sistema em estudo.

Os resultados obtidos, nas condições em que os trabalhos foram conduzidos, possibilitaram as seguintes conclusões:

– O dispositivo (modelo 4) mostrou-se eficiente para medição de vazão, apresentando como vantagens o baixo custo, praticidade de montagem e de uso, economia de tempo nas avaliações dos sistemas de pivô central equipado com Lepa e praticidade na avaliação de sistemas com altura média de emissores superior a 2 m, ou seja, para cafeeiros que apresentam, em média, idade superior a 3 anos.

– A avaliação de apenas 10% dos emissores diferiu do método padrão em todos os sistemas avaliados, mostrando que a avaliação de apenas 10% dos emissores não é satisfatória.

– A avaliação de 50% dos emissores em sistemas do tipo pivô central equipado com Lepa, foi a que permitiu alcançar os melhores resultados, em alguns casos, quanto à economia de tempo na avaliação e confiabilidade dos dados coletados. Portanto, estudos posteriores tornam-se necessários para quantificar a sua real contribuição.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, J. M. H.; SÁNCHEZ, J. R. C. **Riego localizado**. Diseño agronómico, obstruções e fertirrigación. In: CURSO INTERNACIONAL DE RIEGOS. Brasília, 1987. 194p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Sistema de irrigação por aspersão pivô central, caracterização de desempenho – método de ensaio. 1<sup>o</sup> Projeto de Normas. Rio de Janeiro, 1985. 22p.
- BANZATTO, D. A., KRONKA, S. N. Experimentação agrícola. Jaboticabal: FUNESP, 1992. 247p.
- BERNARDO, S.; **Manual de irrigação**. UFV, Impr. Univ. 6<sup>a</sup> edição. 657p. 1995.
- BORGES JÚNIOR, J. C. F.; MANTOVANI, E. C. Desenvolvimento de um programa para avaliação da irrigação por sistemas pressurizados. **Trabalhos apresentados no IV Simpósio Brasileiro de Pesquisa em Cafeicultura Irrigada, Araguari – MG, pela Equipe da Universidade Federal de Viçosa – Resumos Expandidos**. Araguari: 2001. p. 42-48.
- BUCHLEITER, G. W. Performance of LEPA equipment on center pivot machines. **Applied Engineering in Agriculture**. 8 (5): 631-637. 1992.
- CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkley: University of California, 1942. 124p. (California Agricultural Experimental Station, Bulletin, 670).

- CHRISTOFIDIS, D. **Considerações sobre conflitos e uso sustentável em recursos hídricos, em Conflitos e uso sustentável dos recursos naturais**, Suzi Huff Theodoro (org), Garamont, Brasília, 2002.
- COELHO, R. D. Caracterização do sistema pivô central operando em condições de microrelevo condicionado. São Carlos, 1996. 181p. (Tese Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São-Paulo.
- DAVIS, J. R. Measuring water distribution from sprinklers. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.9, n.1, p.94-97, 1966.
- DENÍCULI, W.; ITABORAHY, C. R.; LOUREIRO, B. T.; RAMOS, M. M. Uniformidade de aplicação de água em sistema de irrigação por aspersão com deslocamento contínuo equipado com tubos de descida flexíveis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., 1993, Ilhéus. **Anais...Jaboticabal**: SBEA, 1993. p.2787-2801.
- DILLON, R. C.; HILLER, E. A.; VITTETOE, G. Center-pivot sprinkler design based on intake characteristics. **Transactions of ASAE**, v.15, n.5, p.996-1001, 1972.
- EUCLYDES, R. F. **Sistemas para análises estatísticas e genéticas (SAEG)**. Manual provisório. Viçosa, MG: UFV, 1983. 74p. (Apostila).
- FRIZZONE, J. A. **Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Engenharia Rural, 1992. 53p. (Série Didática 3).
- FURUKAWA, C. **Avaliação de Irrigação por Pivô Central na Região de Rio Verde – GO**. Viçosa: UFV, 1991. 68p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – UFV, 1991.
- GILLEY, J. R.; WATTS, D. G. Possible energy savings in irrigation. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, v.103, n.1R4, p.445-457, Dec. 1977.
- GILLEY, J. R.; HACKBART, C. A.; STETSON, L. E.; FEYEN, J. Energy management. In: HOFFMAN, G. J.; HOWEL, T. A.; SOLOMON, K. N. (Ed.) **Management of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASAE, 1990. p.719-746.
- HEERMANN, D. F.; HEIN, P. R. **Performance characteristics of self-propeled center-pivot sprinkler irrigation system**. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 11(1): 11-5, 1968.
- HOWELL, D. T. Nonuniformity and sprinkler application efficiency. **Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE**, v.90, n. IR3, p.41-53, 1964a.

- JAMES, L. G.; BLAIR, S. K. Performance of low-pressure center-pivot systems. **Transactions of the ASAE**, 27 (6): 1753-7; 1762, 1984.
- JONES, O. R.; CLARK, R. N. **Effect of furrow dikes on water conservation and dryland crops yields**. Soc. Sci. Soc. Am. J. 51:(5): 1307-1314. 1982.
- KELLER, J. **Sprinkler irrigation**. Logan, Utah State University, 1984. 621p.
- KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Avibook, 1990. 652p.
- LINSLEY, R. K., FRANZINI, J. B. **Engenharia de recursos hídricos**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978. 798p.
- LOPES, A. S. **Solos sob “cerrados”**: características, propriedades e manejo. Piracicaba: PATAFOS, 1984. 162p.
- LOPEZ, E. M. **Riego por aspersion**. Centro de Treinamento em Irrigação. Petrolina. Petrolina, SUDENE/MINTER – IICA, 1975.
- LÓPEZ, R. J.; ABREU, J. M. H.; REGALO, A. P.; HERNÁNDEZ, J. F. **Riego localizado**. Madri: Ediciones Mundi-Prensa, 1992. 205p.
- LUCHIARI JÚNIOR, A.; RESENDE, M.; RITCHEY, K. D.; FREITAS, E.; SOUZA, P. I. M. Manejo de solos e aproveitamento de água. In: GOEDERT, W. J. (Ed.). **Solos dos cerrados**. São Paulo: EMBRAPA/Nobel, 1986. p. 285-322.
- LYLE, W. M.; BORDOVSKY, J.P. LEPA irrigation system evaluation. **Transactions of the ASAE** 26: 776-781. 1983.
- LYLE, W. M.; DIXON, M. R. **Basin tillage for rainfall retention**. ASAE Trans. 20:1013-1017, 1031. 1977.
- MANTOVANI, E. C. A irrigação do cafeeiro. **ITEM – Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, n.48, p.45-49, 2000.
- MIRANDA, F. R. de; RAMOS, M. M.; DENÍCULI, W.; SOARES, A. A. Uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação, do tipo linear e de baixa pressão, em função da altura de instalação e do tipo de placa defletora. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23., 1994, Campinas. **Anais...**Jaboticabal: SBEA, 1994. p.119.
- NEW, L.; FIPPS, G. **Lepa Conversion And Management**. Texas Agricultural Extension Service, B-1691. 1990.

- ONGLEY, E. D. **Control of water pollution from agriculture**. FAO 55. Rome, 101p. 1996.
- PAZ, V. P. S.; TEODORO, E. T.; MENDONÇA, F. C. **Recursos Hídricos, Agricultura Irrigada e Meio Ambiente**. Comunicado Técnico. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n.3, p.465-473. Campina Grande, PB, DEAg/UFPB. 2000.
- RING, L.; HEERMANN, D. F. **Determining center-pivot sprinkler uniformities**. Logan, USDA, 1978. N. P. (USDA. Paper, 78-2001).
- SANTOS, N. C. dos. **Uniformidade de distribuição e a eficiência potencial de aplicação de água em um sistema de irrigação do tipo pivô central, em condições de cerrado**. Viçosa, 1988. 80p. (M.S. – Universidade Federal de Viçosa).
- SCHNEIDER, A. D.; HOWELL, T.A. Sprinkler efficiency measurements with large weighing lysimeters. In **Proc. 3rd National Irrigation Symposium**, 69-76, Phoenix, Ariz. St. Joseph, Mich.: ASAE. 1990.
- TARJUELO MARTÍN- BENITO, J. M. **El riego por aspersión y su tecnología**. Madrid: Mundi-Prensa, 1995. 491p.
- VERMEIREN, L.; JOBLING, G. A. **Irrigação localizada**. Tradução de GHEYI, H. R.; DAMASCENO, F. A. V.; SILVA J. R.; MEDEIROS, J. F. Campina Grande: UFPB, 1997. 184p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 36).

## **ANEXO**

## ANEXO A

### Formulário utilizado para avaliação dos sistemas

Avaliação de Sistemas de Irrigação Pivô Central equipado com Lapa

1 - Local: \_\_\_\_\_ Cidade: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

2 - Propriedade: \_\_\_\_\_ Proprietário: \_\_\_\_\_

3 - Cultura: idade: \_\_\_\_\_ profundidade da zona radicular: \_\_\_\_\_ (cm)

4 - Equipamento: Marca: \_\_\_\_\_

Comprimento \_\_\_\_\_ (m), Diâmetro da Tubulação: \_\_\_\_\_

Dist. entre Torres \_\_\_\_\_ (m), Balanço \_\_\_\_\_ (m),

Tipo de emissores \_\_\_\_\_, Presença de regulador de pressão (    ),

Presença de Canhão (    ), Bomba “Booster” (    ).

Raio molhado pelo canhão \_\_\_\_\_ (m).

5 - Área irrigada = \_\_\_\_\_ (ha)

6 - Diferença de Nível: L-O \_\_\_\_\_ (m), N-S \_\_\_\_\_ (m).

7 - Diâmetro: Menor Bocal \_\_\_\_\_ (mm), Maior bocal \_\_\_\_\_ (mm),

8 - Tempo por volta: \_\_\_\_\_ hr, para uma dada regulagem do percentímetro  
( \_\_\_\_\_ %).

9 - Vazão do pivô (de projeto): \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/h.

10 – Espaçamento entre Lepas: \_\_\_\_\_ m.

11 – Altura dos Lepas: \_\_\_\_\_ m.

12 – Coleta da precipitação:

Data: \_\_\_\_\_ (Raio 1) \_\_\_\_\_ (Raio 2)

Hora: \_\_\_\_\_ (Raio 1) \_\_\_\_\_ (Raio 2)

a) Altitude no ponto: (Raio 1) \_\_\_\_\_ (Raio 2) \_\_\_\_\_

b) Altitude na extremidade: (Raio 1) \_\_\_\_\_ (Raio 2) \_\_\_\_\_

c) Declividade do raio avaliado (%): (Raio 1) \_\_\_\_\_ (Raio 2) \_\_\_\_\_

d) Reguladores de pressão: (  )SIM (  )NÃO

Marca dos reguladores: \_\_\_\_\_

e) Reg. percentímetro(%): (Raio 1) \_\_\_\_\_ (Raio 2) \_\_\_\_\_

f) Pressão (bomba): (Raio 1) \_\_\_\_\_ (Raio 2) \_\_\_\_\_

g) Pressão (ponto pivô): (Raio 1) \_\_\_\_\_ (Raio 2) \_\_\_\_\_

h) Pressão (ext. pivô): (Raio 1) \_\_\_\_\_ (Raio 2) \_\_\_\_\_

i) Vel. Última Torre (m/h): (Raio 1) \_\_\_\_\_ (Raio 2) \_\_\_\_\_

Espaço entre estacas no campo: \_\_\_\_\_

Tempo para percorrer a distância entre as estacas: \_\_\_\_\_

j) Velocidade Do Vento:

INÍCIO: Raio 1 \_\_\_\_\_ (m/s); Raio 2 \_\_\_\_\_ (m/s)

FINAL: Raio 1 \_\_\_\_\_ (m/s); Raio 2 \_\_\_\_\_ (m/s)

k) Evaporação:

INÍCIO: Raio 1 \_\_\_\_\_ (m/L); Raio 2 \_\_\_\_\_ (m/L)

FINAL: Raio 1 \_\_\_\_\_ (m/L); Raio 2 \_\_\_\_\_ (m/L)

Exemplo do Quadro utilizado para coleta de dados de precipitação em cada emissor Lepa nos raios avaliados.

Lepa	Reg. Pressão	N. Bocal	Vol. utilizado (Litros)	RAIO 1			RAIO 2		
				T 1	T 2	T 3	T 1	T 2	T 3
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									

## ANEXO B

Quadro 7 – Valores de CUC e CUD para cada um dos sistemas avaliados

Pivô Central	Metodologia	Repetição	Active		Declive	
			CUC	CUD	CUC	CUD
1	100	1	89.91	86.05	91.67	84.92
1	100	2	90.70	86.35	91.78	84.55
1	100	3	90.63	86.75	92.27	86.84
1	50	1	89.44	86.22	91.72	85.53
1	50	2	91.42	87.19	92.09	85.79
1	50	3	91.13	87.59	93.06	86.98
1	25	1	89.20	85.85	91.52	84.14
1	25	2	91.68	88.78	91.93	86.24
1	25	3	91.12	88.44	92.32	85.96
2	100	1	92.29	89.38	91.93	86.32
2	100	2	90.22	87.16	91.22	85.42
2	100	3	92.16	89.02	91.56	86.71
2	50	1	91.90	87.31	91.90	86.91
2	50	2	91.18	88.70	90.40	84.91
2	50	3	92.00	89.55	90.37	85.69
2	25	1	92.96	90.60	90.83	85.79
2	25	2	92.31	88.01	90.13	81.96
2	25	3	91.79	88.82	90.93	86.23
3	100	1	88.93	88.85		
3	100	2	89.59	88.93		
3	100	3	89.27	88.46		
3	50	1	88.36	89.54		
3	50	2	89.26	89.26		
3	50	3	88.60	88.66		
3	25	1	85.48	87.44		
3	25	2	87.22	88.42		
3	25	3	86.22	87.80		
4	100	1	83.60	82.71	86.86	85.93
4	100	2	82.94	81.83	87.04	85.22
4	100	3	84.21	83.43	86.98	85.98
4	50	1	83.48	82.38	87.00	86.39
4	50	2	83.23	82.41	87.42	86.05
4	50	3	84.83	84.39	86.62	85.71
4	25	1	83.12	81.02	86.41	86.38
4	25	2	84.04	83.28	87.47	85.44
4	25	3	84.35	83.34	86.71	85.84
5	100	1	80.93	70.31	79.15	66.80
5	100	2	80.75	70.52		
5	100	3				
5	50	1	81.84	72.75	80.34	68.37
5	50	2	82.02	72.80		
5	50	3				
5	25	1	80.70	70.02	80.24	66.80
5	25	2	80.54	71.42		

Continua...

Continuação Quadro7.

Pivô Central	Metodologia	Repetição	Active		Declive	
			CUC	CUD	CUC	CUD
5	25	3				
7	100	1	93.69	88.25	93.10	87.37
7	100	2	93.18	87.89	93.90	88.02
7	100	3	93.80	88.30	93.07	87.58
7	50	1	91.86	88.45	91.77	86.94
7	50	2	92.36	87.24	92.66	88.40
7	50	3	92.46	88.33	91.07	86.85
7	25	1	87.31	86.55	87.41	84.82
7	25	2	88.35	86.76	89.36	86.21
7	25	3	88.73	87.48	87.44	85.27

## ANEXO C

Análises de Variância para os valores de CUC e CUD para os sistemas avaliados

Quadro 8 – Análise de variância para os valores de CUC e CUD para o pivô central número 1, com área equivalente a 26 ha

CUC					
Fontes de variação	G. L.	Soma de quadrado	Quadrado médio	F	Signif.
Met.	4	38.88884	9.722210	91.072	.00000
Raio	1	19.86157	19.86157	186.052	.00000
Rep.	2	3.113824	1.556912	14.584	.00017
Raio x met.	4	.6515799	.1628950	1.526	.23684
Resíduo	18	1.921555	.1067530		
Coeficiente de variação		.353			
CUD					
Fontes de variação	G. L.	Soma de quadrado	Quadrado médio	F	Signif.
Met.	4	109.2755	27.31889	85.034	.00000
Raio	1	.1633E-01	.1633E-01	.051	*****
Rep.	2	7.281719	3.640860	11.333	.00065
Raio x met.	4	1.784701	.4461753	1.389	.27745
Resíduo	18	5.782845	.3212692		
Coeficiente de variação		.643			

Quadro 9 – Análise de variância para os valores de CUC e CUD para o pivô central número 2, com área equivalente a 57,61ha

CUC					
Fontes de variação	G. L.	Soma de quadrado	Quadrado médio	F	Signif.
Met.	4	23.98053	5.995132	20.702	.00000
Raio	1	4.446741	4.446741	15.355	.00101
Rep.	2	9.430580	4.715290	16.282	.00009
Raio x met.	4	1.464374	.3660934	1.264	.32033
Resíduo	18	5.212677	.2895932		
Coeficiente de variação		.579			
CUD					
Fontes de variação	G. L.	Soma de quadrado	Quadrado médio	F	Signif.
Met.	4	78.93869	19.73467	57.676	.00000
Raio	1	26.71523	26.71523	78.077	.00000
Rep.	2	16.30054	8.150272	23.820	.00000
Raio x met.	4	.8343088	.2085772	.610	*****
Resíduo	18	6.158981	.3421656		
Coeficiente de variação		.650			

Quadro 10 – Análise de variância para os valores de CUC e CUD para o pivô central número 3, com área equivalente a 73,51ha

CUC					
Fontes de variação	G. L.	Soma de quadrado	Quadrado médio	F	Signif.
Met	4	13.30010	3.325026	363.532	.00000
Rep.	2	.4976916	.2488458	27.207	.00027
Resíduo	8	.73171E-01	.91464E-02		
Coeficiente de variação		.106			
CUD					
Fontes de variação	G. L.	Soma de quadrado	Quadrado médio	F	Signif.
Met	4	21.26490	5.316225	338.693	.00000
Rep.	2	.1291628	.64581E-01	4.114	.05905
Resíduo	8	.1255703	.15696E-01		
Coeficiente de variação		.139			

Quadro 11 – Análise de variância para os valores de CUC e CUD para o pivô central número 4, com área equivalente a 117,31ha

CUC					
Fontes de variação	G. L.	Soma de quadrado	Quadrado médio	F	Signif.
Met	4	1.340217	.3350544	3.325	.03319
Raio	1	75.01849	75.01849	744.475	.00000
Rep.	2	.7935243	.3967621	3.937	.03815
Raio x met.	4	.2563129	.64078E-01	.636	*****
Resíduo	18	1.813805	.1007669		
Coeficiente de variação		.371			
CUD					
Fontes de variação	G. L.	Soma de quadrado	Quadrado médio	F	Signif.
Met	4	13.72285	3.430712	43.155	.00000
Raio	1	73.94702	73.94702	930.181	.00000
Rep.	2	5.602971	2.801486	35.240	.00000
Raio x met.	4	.21966E-01	.54916E-02	.069	*****
Resíduo	18	1.430954	.79497E-01		
Coeficiente de variação		.330			

Quadro 12 – Análise de variância para os valores de CUC e CUD para o pivô central número 5, com área equivalente a 78,56ha

CUC					
Fontes de variação	G. L.	Soma de quadrado	Quadrado médio	F	Signif.
Met	4	46.99844	11.74961	1221.047	.00000
Rep.	1	.81000E-01	.81000E-01	8.418	.04406
Resíduo	4	.38490E-01	.96225E-02		
Coeficiente de variação		.117			
CUD					
Fontes de variação	G. L.	Soma de quadrado	Quadrado médio	F	Signif.
Met	4	105.4714	26.36785	439.370	.00002
Rep.	1	.28089E-01	.28089E-01	.468	*****
Resíduo	4	.2400513	.60012E-01		
Coeficiente de variação		.331			

Quadro 13 – Análise de variância para os valores de CUC e CUD para o pivô central número 7, com área equivalente a 2,04ha

CUC					
Fontes de variação	G. L.	Soma de quadrado	Quadrado médio	F	Signif.
Met	4	36.96199	9.240499	71.923	.00000
Raio	1	.4864133	.4864133	3.786	.06747
Rep.	2	.87549E-01	.43774E-01	.341	*****
Raio x met.	4	.5048876	.1262219	.982	*****
Resíduo	18	2.312599	.1284777		
Coeficiente de variação		.378			
CUD					
Fontes de variação	G. L.	Soma de quadrado	Quadrado médio	F	Signif.
Met	4	171.9390	42.98476	506.871	.00000
Raio	1	.73012E-01	.73012E-01	.861	*****
Rep.	2	.34819E-01	.17409E-01	.205	*****
Raio x met.	4	.8564586	.2141147	2.525	.07692
Resíduo	18	1.526474	.84804E-01		
Coeficiente de variação		.321			